



TEMİZ ÜRETİM, YEŞİL MUTABAKAT VE SÜRDÜRÜLEBİLİR ATIK YÖNETİMİ

Editörler

Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN

Prof. Dr. Güleda ENGİN



TÜRKİYE BİLİMLER AKADEMİSİ
TURKISH ACADEMY OF SCIENCES

**TEMİZ ÜRETİM,
YEŞİL MUTABAKAT
VE
SÜRDÜRÜLEBİLİR
ATIK YÖNETİMİ**



TÜRKİYE BİLİMLER AKADEMİSİ
TURKISH ACADEMY OF SCIENCES

Temiz Üretim, Yeşil Mutabakat ve Sürdürülebilir Atık Yönetimi
Cleaner Production, Green Consensus and Sustainable Waste Management

© Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları, 2023 / © Turkish Academy of Sciences Publication, 2023

TÜBA Raporları No / TÜBA Reports No: 51

ISBN: 978-625-8352-57-3

DOI: 10.53478/TUBA.978-625-8352-57-3

Editörler / Editors:

Mehmet Emin Aydın

Güleda Engin

Sekreteryaya / Secretariat:

Büşra Sözen

Bu kitapta yer alan tüm yazıların dil, bilim, etik ve hukuk açısından bilimsel sorumluluğu yazarlarına aittir. Editörlerin ve Türkiye Bilimler Akademisi'nin sorumluluğu bulunmamaktadır.

The scientific responsibility for the language, scientific, ethical and legal aspects of all the articles included in the book belongs to the authors. Turkish Academy of Sciences and the editors have no responsibility.

Türkiye Bilimler Akademisi / Turkish Academy of Sciences

Vedat Dalokay Cad. No: 112 06670 Çankaya - Ankara

Tel: +90 312 442 29 03 • www.tuba.gov.tr

Grafik Tasarım - Graphic Designer:

Mustafa Altıntepe

Ali Buğra Ergin

Birinci Baskı / 1st. Edition

Baskı Yeri, Tarihi/ Publication Place and Date:

Tek Ses Ofset Matbaa / Ankara / 2023

Baskı Adedi / Pcs.:1000

Temiz Üretim Yeşil Mutabakat ve Sürdürülebilir Atık Yönetimi / Ed. Mehmet Emin Aydın, Güleda Engin. --- Ankara : Türkiye Bilimler Akademisi, 2023.

400 s. ; 20 x 26 cm. – (TÜBA Raporları No; 51)

Includes bibliographical references.

ISBN 978-625-8352-57-3

1. Temiz Üretim. 2. Clean production. 3. Çevre Teknolojileri. 4. Environmental Technologies.

5. Atık Yönetimi. 6. Waste Management. 7. Yeşil Mutabakat. 8. Green Consensus.

HC79.E5 2023

363.7



Bu eser Creative Commons Atımtı-Gayrı Ticari -Türetilemez (BY-NC-ND) 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-No Derivative (BY-NC-ND) 4.0 International License.

CLEANER PRODUCTION, GREEN CONSENSUS AND SUSTAINABLE WASTE MANAGEMENT



TÜRKİYE BİLİMLER AKADEMİSİ
TURKISH ACADEMY OF SCIENCES

İÇİNDEKİLER

Table of Content

TAKDİM

Foreword

Muzaffer ŞEKER

1

ÖNSÖZ

Preface

Mehmet Emin AYDIN, Güleda ENGİN

5

TÜRKİYE İMALAT SANAYİNDE TEMİZ ÜRETİM UYGULAMALARI

Cleaner Production Studies in Turkish Manufacturing Industry

Şeyma KARAHAN ÖZBİLEN

9

TEKSTİL SEKTÖRÜNDE TEMİZ ÜRETİM UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Clean Production Application Examples in the Textile Industry

Mustafa Gürdal ADAL

37

SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ ÜRETİMİ

Sustainable Energy Production

Azize AYOL, Özgün TEZER

49

SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA AMAÇLARI ÇERÇEVESİNDE

AVRUPA YEŞİL MUTABAKATI VE TÜRKİYE’NİN DURUMU

The European Green Deal and the Status of Türkiye Within the Framework of Sustainable Development Goals

Burcu YAVUZ TİFTİKÇİGİL

63

NET SIFIR EMİSYON POLİTİKALARI VE YEŞİL MUTABAKATA UYUM

Net Zero Emission Policies and the Compliance with the Green Deal

Tuğba DİNÇBAŞ, Abdurrahim DURMUŞ

91

YEŞİL MUTABAKATIN DEĞER ZİNCİRİNE ETKİSİ

The Impact of Green Deal on the Value Chain

Nurşen NUMANOĞLU

111

İKLİM KRİZİ VE YEŞİL MUTABAKAT ÇERÇEVESİNDE BİYOBOZUNUR ATIKLARIN YÖNETİMİ

Management of Biodegradable Wastes in the Framework of Climate Crisis and Green Deal

Hatice YEŞİL, A. Evren TUĞTAŞ, Barış ÇALLI

127

ARITMA ÇAMURLARINDA MİKROKİRLİTİCİLER VE TARIMSAL KULLANIMI

Micropollutants in Sewerage Sludge and Their Agricultural use

Mehmet Emin AYDIN, Senar AYDIN

157

MİKROPLASTİK ATIKLARIN NEDEN OLDUĞU MAKRO PROBLEMLER: SÜRDÜRÜLEBİLİR YÖNETİM YAKLAŞIMI

Macro Problems Caused by Microplastic Waste: A Sustainable Management Approach

Güleda ENGİN, Hanife SARI ERKAN

179

SIFIR ATIK SERÜVENİ

Zero Waste Journey

Okan BAHRİOĞLU

197

SIFIR ATIK YÖNETİMİ VE DÖNGÜSEL EKONOMİ

Zero Waste Management and Circular Economy

Aybike MISIR, Osman Atilla ARIKAN

205

YEREL YÖNETİMLERDE GERİ KAZANIM İYİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Good Practice Examples of Recycling in Local Governments

Gülen GÜLLÜ

225

ATIKSULARIN GERİ KAZANIMI VE ATIKSULARDAN ENERJİ ELDESİ

Wastewater Reuse and Energy Recovery From Wastewater

Eyüp DEBİK

245

DÖNGÜSEL EKONOMİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA: MEVCUT DURUM VE YAPILMASI GEREKENLER

Circular Economy and the Sustainable Development: A Review of the Current Situation and Suggestions on
What Must Be Done

Mustafa ACAR

265

HAVA KALİTESİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ PERSPEKTİFİNDEN EMİSYON AZALTIMI

Emission Reduction From Air Quality and Climate Change Perspective

Mete TAYANÇ

289

YEŞİL MUTABAKAT ÇERÇEVESİNDE DESTEKLENEBİLİR PROJELER

Possible Granted Project Within European Green Deal

Mustafa ERSÖZ

317

DEPREM ATIKLARININ YÖNETİMİ KAPSAMINDA ÜLKEMİZDEN MEVCUT EN İYİ ÇEVRESEL UYGULAMALAR

Best Environmental Practices in Earthquake Waste Management from Türkiye

Mustafa ŞAHMARAN, Emircan ÖZÇELİKÇİ

335

2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMİNDE TASARIM HATALARININ DEPREM HASARINA ETKİSİ

The Effect of Design Faults on Earthquake Damage in 2023 Kahramanmaraş Earthquake

Hasan Hüsnü KORKMAZ

365

DİZİN / INDEX

389

TAKDİM

Türkiye Bilimler Akademisi çatısı altında görev yapan Çevre, Biyoçeşitlilik ve İklim Değişikliği Çalışma Grubu dünyamızın son dönemde artarak yaşadığı çevre problemlerine ve çözüm önerilerine odaklandığı “Temiz Üretim, Yeşil Mutabakat Ve Sürdürülebilir Atık Yönetimi Çalıştayı”nı 17-18 Mart 2023 tarihlerinde Konya Büyükşehir Belediyesi’nin ev sahipliğinde Konya’da gerçekleştirmiştir. Bu kitap adı geçen çalıştayda sunulan makalelerden oluşmaktadır. Beş oturum ve bir panel olarak gerçekleştirilen çalıştayda sanayide temiz üretime geçiş, yeşil mutabakatın sektöre etkileri ve sürdürülebilir yönetim çerçevesindeki konular ile ilgili akademisyenler, araştırmacı ve uzmanlar sunumlarını gerçekleştirmişlerdir.

İmalat sektörü geleneksel olarak lineer bir ekonomik yaklaşım ile üretilen ürünler için doğal kaynak kullanımı yolunu tercih etmektedir. Ancak bu şekilde bir üretim anlayışı hem sınırlı doğal kaynaklarımızın sürdürülebilir bir şekilde üretimini engellemekte hem de sektörden ve son tüketiciden kaynaklanan ve bertaraf edilmesi gereken ciddi miktarlarda atık oluşumunu desteklemektedir. Bu sürdürülemez uygulamalar, doğal çevremizde önemli değişiklikleri tetiklemekte ve insan yaşamı ve ekosistem için yıkıcı sonuçlar doğurmaktadır. Son yıllarda, özellikle Avrupa Birliği başta olmak üzere pek çok ülkede sanayiciler, emisyonlar ve atık üretimi de dahil olmak üzere kaynak tüketen sistemlere olan bağımlılıklarını azaltmak ve yeniden kullanımı arttırmak için döngüsel ekonomi stratejilerini benimsemeye ve yeniden tasarlamaya başlamışlardır. Bunun en bariz örneği Avrupa Yeşil Mutabakatı ile karşımıza çıkmaktadır. Avrupa Yeşil Mutabakatı daha sürdürülebilir bir ekonomi ve daha yeşil bir kıta hedefiyle dünyanın karşı karşıya olduğu iklim değişikliği krizi ile mücadele etmeyi amaçlamaktadır.

Doğal kaynakların küresel olarak kullanımındaki artış, daha yüksek yaşam standartlarından ve gelişmekte olan ülkelerde gerçekleşen altyapı ve üstyapı yatırımlarından kaynaklanmaktadır. Gelişmekte olan ekonomilerde hızlı şehirleşme ve sanayileşme özellikle belli hammaddeler için rekabeti arttırmaktadır. Tahminler, aynı hızda üretmeye devam edilmesi durumunda fosil yakıtlar, biyokütle, metal ve mineraller dahil olmak üzere doğal kaynaklara olan talebin 2020 ile 2060 yılları arasında önceki döneme göre iki kat artacağı yönündedir. Ayrıca, üretimdeki artış sera gazlarının salımını arttırmakta bu da küresel iklim üzerinde yıkıcı bir etki yaratmaktadır. Dolayısıyla, hükümetlerin ve karar vericilerin döngüsel ekonomi modelini teşvik etmeleri gerekmektedir.

Diğer çalışma gruplarımız gibi TÜBA Çevre, Biyoçeşitlilik ve İklim Değişikliği Çalışma Grubu Türkiye'nin önceliklerini dikkate alarak dünyadaki güncel gelişmeleri takip etmekte ve çevre tahribatının azaltılması için uygun yönetim stratejileri geliştirilmesine yönelik konularda bilimsel toplantılar düzenlemekte ve bu toplantılarda sunulan makaleleri kitap haline getirerek daha fazla kişinin istifadesine sunmaktadır. “Temiz Üretim, Yeşil Mutabakat ve Sürdürülebilir Atık Yönetimi” kitabı da çalışma grubumuzun bu kapsamda yaptığı yayınlardan birisidir. Bu vesile ile başta çalışma grubunun yürütücüsü ve değerli üyelerine, kitaba katkı sunan yazarlara ve hakemlik sürecinde destek veren bilim insanlarına teşekkür eder; kitabın okurla buluşma ve bilim dünyası ile paylaşılma sürecindeki kıymetli katkılarından ötürü editörlere ve yayınlanmasında emeği geçenlere şükranlarımı sunarım.

Prof. Dr. Muzaffer ŞEKER
TÜBA Başkanı

FOREWORD

The Environment, Biodiversity and Climate Change Working Group under the umbrella of the Turkish Academy of Sciences held the “Workshop on Cleaner Production, Green Consensus and Sustainable Waste Management” in Konya on 17-18 March 2023, hosted by Konya Metropolitan Municipality. This book consists of the papers presented at the aforementioned workshop. In the workshop, which was held in five sessions and one panel, academicians, researchers and experts made presentations on the transition to clean production in industry, the effects of the green consensus on the sector and the issues within the framework of sustainable management.

The manufacturing sector traditionally prefers to use natural resources for items produced with a linear economic approach. However, such a production approach prevents the sustainable production of our limited natural resources and supports the generation of significant amounts of waste from the sector and the end consumer. These unsustainable practices trigger significant changes in our natural environment and have devastating consequences for human life and the ecosystem. In recent years, industrialists in many countries, particularly in the European Union, have begun to adopt and redesign circular economy strategies to reduce their reliance on resource-consuming systems, including emissions and waste generation, and to increase reuse. The most obvious example of this is the European Green Deal. The European Green Deal aims to tackle the climate change crisis facing the world with the goal of a more sustainable economy and a greener continent.

The increase in the global use of natural resources is driven by higher living standards and investments in infrastructure and superstructure in developing countries. Rapid urbanization and industrialization in emerging economies are increasing competition for certain raw materials. Projections suggest that if production continues at the same pace, demand for natural resources, including fossil fuels, biomass, metals and minerals, will double between 2020 and 2060 compared to the previous period. Moreover, the increase in production increases the emission of greenhouse gases, which has a devastating impact on the global climate. Therefore, governments and decision makers need to promote the circular economy model.

Similar to the other working groups, the TÜBA Working Group on Environment, Biodiversity and Climate Change follows current developments in the world, taking into account Türkiye's priorities, organizes scientific meetings on issues related to the development of appropriate management strategies to reduce environmental degradation, and makes the articles presented at these meetings available to more people by publishing them as books. The book "Temiz Üretim, Yeşil Mutabakat ve Sürdürülebilir Atık Yönetimi" is one of the publications of our working group in this context. I would like to thank the executive head and valuable members of the working group, the authors who contributed to the book and the scientists who supported the refereeing process. I would also like to express my gratitude to the editors and those who contributed to the publication of the book for their valuable contributions in the process of meeting the readers and sharing it with the scientific world.

Prof. Dr. Muzaffer ŞEKER
TÜBA President

ÖNSÖZ

Avrupa Komisyonu, Aralık 2019’da ekonomisini daha sürdürülebilir ve daha yeşil bir seviyeye çıkarmayı amaçlayan bir politika paketi yayınlamıştır. Dünyanın karşı karşıya olduğu iklim değişikliği krizi ile mücadele amacıyla başlatılan ve “Avrupa Yeşil Mutabakatı” olarak adlandırılan bu girişimin temel hedefleri, 2050 yılına kadar net sera gazı emisyonlarını sıfıra indirerek karbon-nötr ilk kıta olmak ve yeşil ekonomiye geçiş sürecini Avrupa için bir fırsata çevirmek olarak ifade edilebilmektedir. Ülkemizin ekonomisinin Ar-Ge ve inovasyona dayalı, katma değeri yüksek teknolojik çözümlerle, karbon salımı azaltılmış bir üretim sürecine yönlendirilmesi gerekmektedir. Türkiye Bilimler Akademisi, Çevre, Biyoçeşitlilik ve İklim Değişikliği Çalışma Grubu konu ile ilgili kurum ve kuruluşlarda görev yapan araştırmacıları ve halkı bilgilendirmek, bilinçlendirmek için Temiz Üretim, Yeşil Mutabakat Ve Sürdürülebilir Atık Yönetimi Çalıştayı’nı Konya Büyükşehir Belediyesi ev sahipliğinde düzenlemiştir.

Küresel sanayileşme ve kentleşmenin yoğun bir şekilde artmasıyla birlikte, enerji, mineraller ve hatta su gibi çeşitli kaynak ve malzemelerin tüketimi ciddi bir hızla artmakta, bu da malzeme arzı üzerinde büyük bir baskı oluşturmaktadır. Ayrıca, malzemelerin yoğun kullanımı da düşük verimliliğe yol açarak büyük kaynak israfının yanı sıra ciddi çevre kirliliği ve bozulmasına neden olmuş, özellikle hızla büyüyen ve gelişmekte olan ülkeler için ekonomi ve toplumun sürdürülebilir kalkınmasını ciddi şekilde engellemiştir. Sürdürülebilir kalkınmaya geçişi teşvik etmek için kaynak verimliliğini artırmak gerekmektedir ve döngüsel ekonomi ve atıkların değerlendirilmesi bu hedefe ulaşmak için önemlidir.

Döngüsel ekonomi dünyada ve ülkemizde yüzyıllardır uygulanmaktadır. Ancak döngüsel ekonominin teorik çerçevesindeki ana unsurların tanımlanması gerekmektedir. Avrupa Birliği gibi gelişmiş ekonomiye sahip ülkeler dahi henüz döngüsel ekonomi ve atık değerlendirme uygulamaları ile ilgili yerleşmiş mevzuatlara ve teknolojik standartlara sahip değillerdir. Gelişmekte olan ülkelerin mevcut durumdan çıkarımlar yaparak toplumun kültürünü de dikkate alarak döngüsel ekonomiye geçiş ve atıkların değerlendirilmesi için etkili yolları belirlemeleri gerekmektedir.

Sürdürülebilir kalkınmanın önemli bileşenlerinden biri, toplumun kullandığı enerji ve malzemelerin doğasına uygun bilimsel ve teknolojik çözümler tasarlamaktır. Dünyamıza zarar vermeden hayat kalitesini korumak ve hatta artırmak için sürdürülebilir kalkınmaya ulaşma sürecinde ürünlerde, süreçlerde ve sistemlerde sürdürülebilirlik erişilebilir bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Bilindiği gibi, sürdürülebilir kalkınma, sınırlı kaynaklarımızın uzun vadede kullanılabilmesi için kaynakları optimum düzeyde kullanmayı amaçlar. Sosyal adaleti ön planda tutan toplum, ekonomik kalkınma ve çevresel bütünlük sürdürülebilir kalkınmanın üç temel ayağıdır ve birbiriyle doğrudan ilişkilidir. Bu temel ayakların her birinin eylemleri diğerlerini doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyebilmektedir. Sürdürülebilirlik, yeşil ve temiz üretim,

sosyal sorumluluk gibi kavramlar, klasik lineer ekonomik yönetim anlayışından ayrışılması gerektirdiğini göstermektedir. Mevcut koşullar göz önünde bulundurulduğunda, gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakabilmek için sürdürülebilir modellerin benimsenmesi ve sağlam bir anlayışla uygulanması şarttır.

Yeşil ve sorumlu bir yönetim hakkında bilgiyi aktarmak ve yaymak için akademisyenler, araştırmacılar ve karar vericiler arasında bir iletişim kanalı oluşturmayı amaçlayan bu çalıştayda ele alınan konular dünyamızın çeşitli çevresel baskılar altında olduğu günümüzde önemli bir kaynak teşkil ettiği düşünülmektedir. Son yıllarda sıklıkla ele alınan konularından olan yeşil mutabakat, temiz üretim ve döngüsel ekonominin aynı platformda tartışılma fırsatı bu çalıştayda elde edilmiştir. Çalıştayda, seçilmiş bazı sektörlerden temiz üretim uygulamaları ile yeşil mutabakatın reel sektör üzerindeki etkilerinin tartışıldığı, döngüsel ekonomi ve atık değerlendirme kavramlarının ele alındığı kapsamlı bir program gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla bu kitapta, temiz üretime geçiş sürecinin, yeşil mutabakatın öncelikli olarak etkilediği sektörlerin ele alındığı ve ülkemizde sıfır atık, döngüsel ekonomi ve atık değerlemenin uygulanmasına yönelik politika ve uygulamaların tanıtıldığı makaleler yer almaktadır.

Beş oturum ve bir panel oturumu halinde düzenlenen çalıştaya akademisyenler, araştırmacılar, yöneticiler, mühendisler ve yerel yönetimler katkı sağlamışlardır. 6 Şubat 2023 tarihinde yaşanan deprem felaketi sonrasında afet yönetimi bakımından önemli olan deprem hasarları ve atıklarının yönetimi, temiz üretim, yeşil mutabakat, sürdürülebilir atık yönetimi, sıfır atık ve geri kazanım teknolojileri, döngüsel ekonomi ve sürdürülebilirlik başlıkları altındaki konularla ilgili bildiri sunumları gerçekleştirilmiştir. Bu oturumların ardından Konya, Kayseri ve Samsun gibi Büyükşehir Belediyelerinin sürdürülebilir atık yönetimi uygulamaları konunun uzmanları tarafından aktarılmıştır.

Çeşitli çevre felaketleriyle karşı karşıya kaldığımız ve sürdürülebilir çözümlere ihtiyaç duyduğumuz bu dönemde hem imalat sektörümüzü hem de toplumu doğrudan ilgilendiren çevre ile alakalı konuları odağına alan çalıştayın yararlı sonuçlar ürettiğini ümit ederiz.

Çalıştayı teşrif eden Sayın Konya Büyükşehir Belediye Başkanı Uğur İbrahim Altay'a ve kamu kurum temsilcilerine, çalıştayın tüm aşamalarında destek olan TÜBA Başkanı Prof. Dr. Muzaffer Şeker'e, TÜBA konsey üyelerine, Çevre Biyoçeşitlilik ve İklim Değişikliği Çalışma Grubu üyelerine, makaleleri sunan değerli hocalarımıza, makaleleri değerlendiren hakem heyetine, bu süreçlerin takibini yapan TÜBA personeline teşekkür ederiz.

Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN
*TÜBA Çevre, Biyoçeşitlilik ve
İklim Değişikliği Çalışma
Grubu Yürütücüsü*

Prof. Dr. Güleda ENGİN
*TÜBA Çevre, Biyoçeşitlilik ve
İklim Değişikliği Çalışma
Grubu Üyesi*

PREFACE

In December 2019, the European Commission published a policy package aimed at making its economy more sustainable and greener. The main objectives of this initiative, named the “European Green Deal”, which was launched to combat the climate change crisis facing the world, are to become the first carbon-neutral continent by reducing net greenhouse gas emissions to zero by 2050 and to turn the transition to a green economy into an opportunity for Europe. The economy of Türkiye should be directed towards a production process based on R&D and innovation, with high value-added technological solutions and reduced carbon emissions. Turkish Academy of Sciences, Environment, Biodiversity and Climate Change Working Group organized the Cleaner Production, Green Consensus and Sustainable Waste Management Workshop (Temiz Üretim, Yeşil Mutabakat ve Sürdürülebilir Atık Yönetimi Çalıştayı) hosted by Konya Metropolitan Municipality in order to inform and raise awareness of researchers working in relevant institutions and organizations and the public.

With the intensive increase in global industrialization and urbanization, the consumption of various resources and materials, such as energy, minerals and even water, is increasing at a significant pace, which puts great pressure on the supply of materials. Moreover, the extensive use of materials has also led to low efficiency, resulting in a huge waste of resources as well as serious environmental pollution and degradation, seriously hindering the sustainable development of the economy and society, especially for rapidly growing and developing countries. Improving resource efficiency is necessary to promote the transition to sustainable development, and the circular economy and waste utilization are important to achieve this goal.

The circular economy has been practiced in the world and in our country for centuries. However, the main elements in the theoretical framework of the circular economy need to be defined. Even countries with developed economies such as the European Union do not yet have established legislation and technological standards for circular economy and waste valorization practices. Developing countries need to take lessons from the current situation and identify effective ways to transition to a circular economy and waste utilization, while respecting the culture of the society.

One of the important components of sustainable development is to design scientific and technological solutions that are appropriate to the nature of the energy and materials used by society. Sustainability in products, processes and systems must be implemented in an attainable way in the process of achieving sustainable development in order to maintain and even increase the quality of life without harming our world. As it is known, sustainable development aims to use resources at an optimum level so that our limited resources can be used in the long term. A society that prioritizes social justice, economic development and environmental integrity are the three pillars of sustainable development and are directly interrelated. The actions of each

of these pillars can directly or indirectly affect the others. Concepts such as sustainability, green and clean production, and social responsibility show that a departure from the classical linear economic management approach is required. Considering the current conditions, sustainable models must be adopted and implemented with a solid understanding in order to leave a habitable world to future generations.

Aiming to create a communication channel between academics, researchers and decision-makers to transfer and disseminate knowledge on green and responsible management, the topics discussed in this workshop are considered to be an important resource today as our world is under various environmental pressures. This workshop provided an opportunity to discuss green deal, cleaner production and circular economy, frequently discussed in recent years, on the same platform. In the workshop, a comprehensive program was carried out in which cleaner production practices from some selected sectors and the effects of green deal on the real sector were discussed, and the concepts of circular economy and waste valuation were discussed. Therefore, this book contains articles on the process of transition to cleaner production, the sectors primarily affected by the green deal, and the policies and practices for the implementation of zero waste, circular economy and waste valorization in our country.

Academicians, researchers, managers, engineers and local administrations contributed to the workshop organized in five sessions and one panel session. In the aftermath of the earthquake disaster in February 6th, 2023, the papers presented were related on earthquake damage and waste management, clean production, green deal, sustainable waste management, zero waste and recovery technologies, circular economy and sustainability, which are important in terms of disaster management. Following these sessions, sustainable waste management practices of Metropolitan Municipalities such as Konya, Kayseri and Samsun were presented by experts.

Given the urgent need to address environmental issues and find sustainable solutions, we hope that the workshop on environmental concerns in our manufacturing sector and society will produce useful results.

We would like to thank Mr. Ugur Ibrahim Altay, Mayor of Konya Metropolitan Municipality, for attending the workshop and The representatives of public institutions, Prof. Dr. Muzaffer Şeker, the President of TÜBA, who supported the workshop at all stages, TÜBA council members, Environment Biodiversity and Climate Change Working Group members, our esteemed professors who presented the articles, and the referees who evaluated the articles, and TÜBA staff who followed up these processes.

Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN
*TÜBA Environment, Biodiversity and
Climate Change Working Group
Executive Director*

Prof. Dr. Güleda ENGİN
*TÜBA Environment, Biodiversity and
Climate Change Working Group
Executive Member*

**TÜRKİYE İMALAT SANAYİNDE
TEMİZ ÜRETİM UYGULAMALARI**

**CLEANER PRODUCTION STUDIES IN TURKISH
MANUFACTURING INDUSTRY**

Şeyma KARAHAN ÖZBİLEN

TÜRKİYE İMALAT SANAYİNDE TEMİZ ÜRETİM UYGULAMALARI

Şeyma KARAHAN ÖZBİLEN
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi

Özet

Başta su kıtlığı olmak üzere küresel kaynakların hızla tükenmesine ilişkin artan endişe, endüstriyel sürdürülebilirliği sağlamak için kaynak verimliliği ve temiz üretim yaklaşımının benimsenmesini zorunlu kılmaktadır. Sanayi devrimi sırasında endüstriyel ve teknolojik gelişmelerdeki artış, çevre sorunlarının artmasına katkıda bulunmuştur. Bu durum doğal kaynakların tükenmesini hızlandırmış, asit yağmuru, kuraklık, küresel ısınma ve ozon tabakasının incilmesi gibi küresel sorunlara yol açmıştır. Üreticilerin çevre yatırımlarını önemsememeleri, dünya çapında bu çevre sorunlarını şiddetlendirmiştir. Ancak, sanayileşmedeki artış ve AB düzenlemelerinin uygulanmaya başlanması, kaynakların etkin ve verimli kullanılmasının önemini ortaya çıkarmıştır. Sürdürülebilir kalkınma için döngüsel ekonomi yaklaşımını benimsemek, yaşam döngüsü boyunca ürün kaynaklı atığı en aza indirmeyi ve atıkların yeniden kullanımını ve geri dönüşümünü teşvik etmeyi gerektirir. Bu çalışma, imalat sanayi alt sektörlerinde enerji, su ve hammadde kaynaklarında genel iyileştirme uygulamalarından örnekler sunmaktadır. Enerji verimliliği için yanmanın iyileştirilmesi ve atık ısıların geri kazanımı gibi önlemler önemlidir. Bu, baca gazı, flaş buhar, blöf enerjisi, atıksu ısıları gibi atık ısı kaynaklarının kullanılmasını içerir. Böylece, enerji kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanılması sağlanır. Su verimliliği açısından, proses bazında su tüketiminin izlenmesi ve atıksu kalitesinin incelenmesi önemlidir. Bu sayede, üretim süreçlerinde suyun geri kazanılması ve tekrar kullanılması sağlanabilir. Su tüketiminin azaltılması ve su kaynaklarının korunması amacıyla suyun verimli bir şekilde kullanılması büyük önem taşır. Bu iki önlem ve hammadde/kimyasal madde tasarrufu kaynakların daha sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasını ve çevresel etkilerin azaltılmasını hedefler.

Anahtar Kelimeler

İmalat sanayi, Kaynak verimliliği, Temiz üretim, Döngüsel ekonomi, Sürdürülebilir kalkınma

CLEANER PRODUCTION STUDIES IN TURKISH MANUFACTURING INDUSTRY

Şeyma KARAHAN ÖZBİLEN
TUBITAK Marmara Research Center

Abstract

The increasing concern regarding the rapid depletion of global resources, particularly water scarcity, necessitates the adoption of a resource-efficient and cleaner production approach to ensure the sustainability of industries. The rapid industrial and technological advancements during the industrial revolution have contributed to environmental issues. Consequently, this has accelerated the depletion of natural resources, leading to global problems such as acid rain, drought, global warming, and ozone layer depletion. The lack of environmental investments by producers has worsened these environmental issues on a global scale. However, the rise in industrialization and the implementation of regulations by the European Union (EU) have highlighted the importance of effectively and efficiently utilizing resources. Embracing the circular economy approach for sustainable development involves minimizing waste generated throughout the entire life cycle of a product and promoting waste reuse and recycling. This study provides examples of general improvement practices in energy, water, and raw material resources within various manufacturing industry sectors. To enhance energy efficiency, it is crucial to focus on measures like improving combustion processes and recovering waste heat. This can be achieved by utilizing waste heat sources such as flue gas, flash steam, blowdown energy, and wastewater heat, thereby ensuring more efficient utilization of energy resources. Regarding water efficiency, monitoring water consumption on a process level and examining wastewater quality play significant roles. By doing so, water can be recovered and reused in production processes, contributing to the overall reduction in water consumption and preservation of water resources. These measures, along with conserving raw materials and chemicals, aim to promote sustainable resource usage and mitigate environmental impacts.

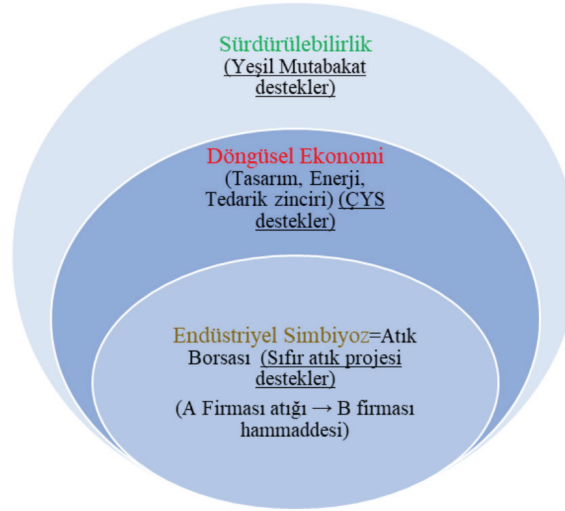
Keywords

Manufacturing industry, Resource efficiency, Cleaner production, Circular economy, Sustainable development

1. Giriş

Sanayi geliştikçe ve teknoloji ilerledikçe, hazır tüketime yönelik ihtiyaç artmakta ve bu da kentsel atık oluşumunun artmasına neden olmaktadır. Bu eğilimin, özellikle doğal kaynakları tüketmek ve iklim değişikliğine katkıda bulunmak açısından zararlı çevresel etkileri vardır (Standard, 2018).

Son yıllarda iklim değişikliği kaynaklı olaylar ve buna sebep olan etmenler ön plana çıkmaktadır. Önümüzdeki yıllarda kaynakların verimsiz şekilde ve mevcut doğrusal yöntemlerle kullanılması durumunda kaynaklar üzerinde baskı oluşacaktır. Bundan dolayı imalat sektörlerinin sürdürülebilirliklerini sağlamak için temiz üretim ve döngüsel ekonomi konusunda girişimlerde bulunmaları zorunludur (Balbay vd., 2021). Döngüsel ekonominin bir parçası olan “Endüstriyel Simbiyoz”, bir işletmenin üretim sonucu açığa çıkan atık veya enerjinin ham madde (veya ikincil malzeme) veya başka bir iş için enerji kaynağı olarak kullanılmasını içerir. Bu süreci kolaylaştırmak için kullanılan sistem ise genellikle “Atık Borsası” olarak anılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Döngüsel ekonomi, endüstriyel simbiyoz ve sürdürülebilirlik arasındaki bağlantı (Balbay vd., 2021)

Avrupa Birliği (AB) tarafından 2019 yılında açıklanan Yeşil Mutabakat doğrultusunda AB, 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını %55 oranında azaltmayı ve 2050 yılına kadar karbon nötr olmayı hedeflemektedir. Avrupa Komisyonu, demir-çelik, cam, seramik, çimento, tekstil, otomotiv, enerji ve ulaştırma, gibi birçok sektörde karbon ayak izini indirmek için birçok tedbir geliştirmektedir. Yeşil Mutabakat çerçevesinde elektrik üretimi, gübre, demir-çelik ve çimento gibi sektörlerde karbon salınımı kısıtlanmakta ve bu limitleri aşan üreticiler ek ücret ödemekle yükümlü tutulmaktadır. Yeşil Mutabakat ile bu sistem daha genişletilerek “Sınırdaki Karbon Düzenlemesi Mekanizması”nı gündeme getirmiştir. Bu düzenleme, AB’de emisyon hedefi daha düşük olan ülkelerin üretim yapmasının ve bu ülkelerden mal ithal etmesinin önüne geçmeyi amaçlamaktadır (YMEP, 2021). Bu kapsamda T.C. Ticaret Bakanlığı tarafından “Yeşil Mutabakat Eylem Planı-2021” yayınlanmıştır. Söz konusu Eylem Planında;

- (1) yeşil ve döngüsel bir ekonomi,
- (2) sınırdaki karbon düzenlemeleri,
- (3) yeşil finansman,
- (4) iklim değişikliğiyle mücadele,
- (5) sürdürülebilir akıllı ulaşım,
- (6) sürdürülebilir tarım,
- (7) temiz, ekonomik ve güvenli enerji arzı,
- (8) diplomasi,
- (9) Avrupa Yeşil Mutabakatı bilgilendirme ve bilinçlendirme faaliyetleri ana başlıkları altında 81 eylem planı bulunmaktadır (YMEP, 2021).

Ülkemizde Paris Anlaşması 22 Nisan 2016 tarihinde imzalanmış ve 7 Ekim 2021 tarihinde onaylanarak yürürlüğe girmiştir. Bu kapsamda hazırlanan Ulusal Katkı Beyanı'na göre, 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarının referans senaryo (BAU) artışına göre %41 oranda azaltılması öngörülmektedir. 2053 yılında ise net sıfır emisyon hedeflenmektedir (ÇŞİB, 2023a). AB tarafından yayınlanan Yeşil Mutabakat ve ülkemizde yürürlüğe giren Paris anlaşması çerçevesinde taahhüt edilen emisyon artışındaki azalmayı ve çevresel etkileri azaltmak için özellikle imalat sanayinde hem çevre ve doğal kaynakların korunması hem de sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması için temiz üretim ve döngüsel ekonomi yaklaşımı benimsenmeye başlanmıştır.

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde literatürde konuyla ilgili yapılan çalışmalar ve TÜBİTAK MAM saha çalışmaları ve temiz üretim etütlerindeki gözlemleri vasıtasıyla temiz üretim ve döngüsel ekonomi kavramı açıklanarak, imalat sanayinde enerji, su ve hammadde tasarrufu konularında yapılabilecek iyileştirme olanaklarının derlenmesidir.

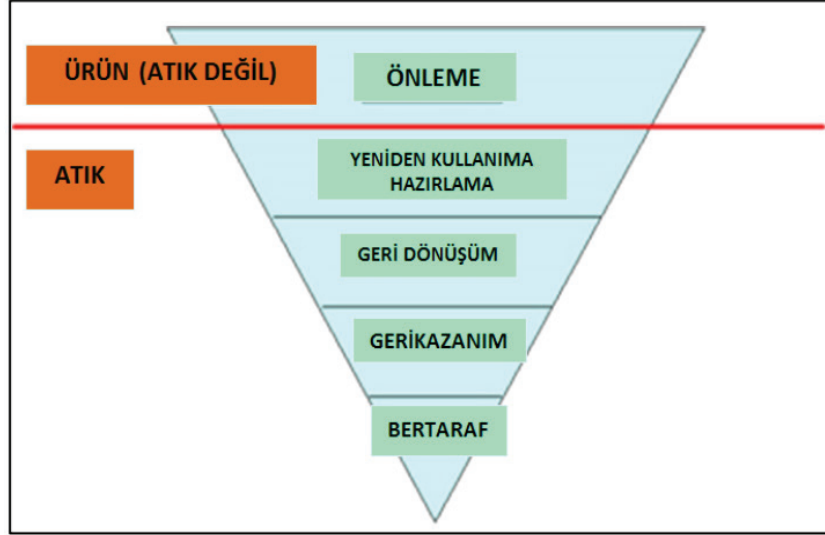
1.1. Döngüsel Ekonomi

Döngüsel ekonomi, endüstriyel bir ekonomi olarak tanımlanmakta olup genel olarak kaynakların döngüsel bir şekilde yönetilmesidir. Döngüsel ekonomi, toplumun mevcut ve gelecekteki gereksinimlere yanıt olarak kaynak tüketiminin azaltılmasına olanak tanırken, kaynaklarından en iyi şekilde yararlanmasına yardımcı olur. Döngüsel ekonomide, atık önleme, endüstriyel simbiyoz, geri dönüşüm, geri kazanım (malzeme ve enerji) ve yeniden kullanım gibi uygulamalar ile gerçek gereksinimleri karşılamak için tüketim ayarlanırken toplumun kaynaklarının değerini en üst düzeye çıkarılması hedeflenir. Böylece birincil kaynaklara yönelik talep optimize edilirken çevreye etki ve enerji kullanımı da azaltılmış olur (PAGEV, 2015).

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ve Döngüsel ekonomi yaklaşımı arasında güçlü bir sinerji olup, hedeflere ulaşılması amacıyla döngüsel ekonomi uygulamalarının artırılmasının önemi vurgulanmaktadır. Sanayi açısından bakıldığında ise döngüsel ekonomi yaklaşımının işletmelere ve ülke ekonomilerine önemli katkıları olduğu değerlendirilmektedir. Sanayi politikalarında ve eylem planlarında da önemli bir yere sahiptir.

“Atık Yönetimi” ifadesi, atığın bertaraf edildikten sonra gerçekleşen çeşitli işlemleri tanımlamak için kullanılır. Bu işlemler arasında atığın kaynağında azaltılması, özelliklerine göre ayrılması, toplanması, ara depolanması, geçici depolanması, geri kazanılması, taşınması, bertarafı ve kontrolü gibi adımlar yer alır (AYY, 2015).

Atığın oluşumunu kaynağında önlemek, bu yapılamıyorsa atığı azaltmak, atık oluşumu kaçınılmazsa atığı geri kazanmak Türkiye’nin atık yönetimi politikasının temel ilkelerindendir (Şekil 2).

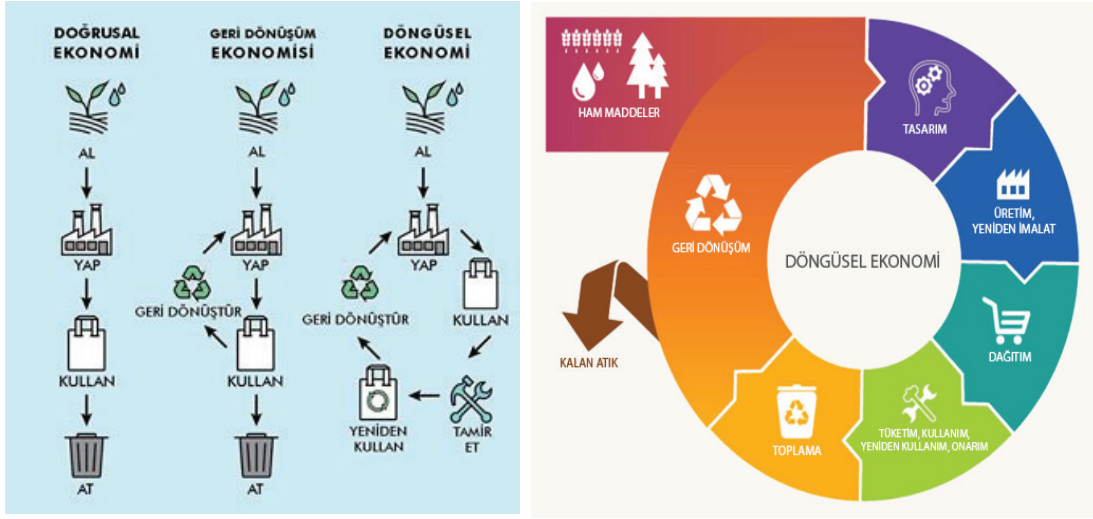


Şekil 2. Atık yönetimi hiyerarşisi (EU, 2008)

Atıklarımızı sürdürülebilir kalkınma ilkeleri çerçevesinde yönetmek ve gelecek nesillere temiz, kalkınmış bir Türkiye ve yaşanabilir bir dünya bırakmak için 2017 yılında ülke genelinde “Sıfır Atık Projesi” hayata geçirilmiştir.

“Sıfır Atık Projesi”nin amacı, kaynakların korunması, israfın önlenmesi veya atık oluşumunun azaltılması sonucunda oluşan atıkların mümkün olan en düşük seviyede geri dönüşümünü sağlamaktır. Ayrıca, “Sıfır Atık Projesi”, “Endüstriyel Simbiyoz” ve “Atık Borsası”nı teşvik etmektedir. Türkiye, 2019’dan bu yana sürdürülebilirlik bayrağı altında döngüsel bir ekonomi uygulama yolunda ilerlemektedir. Özellikle AB’nin Yeşil Mutabakatı zorunlu tutması, iklim değişikliği ve kuraklıklar (yüksek sıcaklıklar) nedeniyle bu kavram ön plana çıkmıştır (Balbay vd., 2021).

Lineer ekonomi değerlendirilirken “al-kullan-at” modeli kullanılırken döngüsel ekonomi tüm kaynakları (enerji, hammadde, su vb.) daha uzun süre ve daha verimli kullanmayı amaçlar. Döngüsel ekonomi ile endüstriyel simbiyoz gibi yöntemler uygulanarak tüketim sonu ya da üretim kaynaklı atıklar/atık ısı sektörler arası iş birliği ile döngü içerisinde tutularak birbirleri arasında değerlendirilmektedir (Şekil 3). Böylece atık azaltımı ve enerji verimliliği de sağlanabilmektedir (İDER, 2020; DEP, 2023).



Şekil 3. Döngüsel Ekonomi Yaklaşımı (İDER, 2020)

Döngüsel ekonomi üç temel konu başlığında ele alınmıştır. Bunlar:

a-Hammadde: Malzeme kullanımının en aza indirilmesi ve optimize edilmesi, endüstriyel simbiyoz, yeniden kullanım, geri dönüşüm, yeniden dağıtım, yenileme, bakım, onarım, hizmetler ve daha fazlası dahil olmak üzere ham maddelerden en iyi şekilde yararlanmanın birçok etkili yolu vardır.

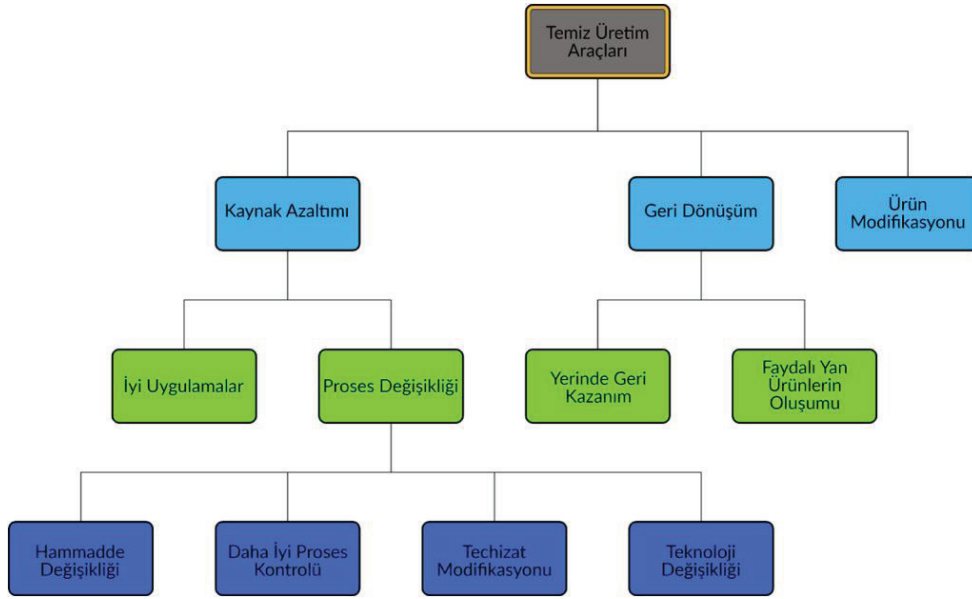
b-Tasarım: Kaynakların tasarruflu şekilde kullanılabilmesi için iyi bir tasarım gerekmektedir. Eko-tasarım gerekliliklerinin kapsamı, ürünlerin artan enerji verimliliğini, tamir edilebilirliğini, yükseltilebilirliğini, dayanıklılığını ve geri dönüştürülebilirliğini kapsar.

c-Tedarik zinciri: i) Malzeme kullanımını en aza indirmek için ürün ve süreç tasarımlarını yeniden tasarlamak, ii) Geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanılması, iii) Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, iv) Yalnızca miktarları azaltmaya odaklanmak yerine zayıflıklarını ve zayıflıklarını belirleyerek tedarik zincirinin verimliliğini artırmak olarak sıralanabilir (İDER, 2020).

Ancak 2023 yılında yayımlanan “Döngüsellik Boşluk Analizi” Raporunda küresel ekonominin döngüsellik oranının 2018 ve 2020 yılları süresince %9,1’den %8,6’ya düştüğü her geçen yıl azalmakta olduğu vurgulanmaktadır. 2023 raporunda ise küresel ekonominin döngüsellik oranının %7,2 olduğu ifade edilmiştir. Bu duruma sebep olarak malzeme eldesi ve kullanımının artışı vurgulanmaktadır. Raporda, artmakta olan bu malzemelerin geri dönüşüm oranlarının az olmasına da dikkat çekilmektedir (DEP, 2023).

1.2 Temiz Üretim

Temiz üretim, birim üretim için doğal kaynakların kullanımının azaltılması ve yüksek verimli üretim teknikleri kullanılarak atık üretiminin azaltılması ilkelerine dayanmaktadır. Bir başka deyişle, temiz üretim sadece çevre kirliliğini önlemek için değil ekonomik anlamda da işletmelere katkı sağlamaktadır. Temiz üretim, geleneksel kirlilik yönetimi yöntemlerinden farklı olarak, kirliliği basitçe yönetmek yerine, kirliliği kaynağında önlemeyi ve en aza indirmeyi amaçlar. Ekonominin ve toplumun gelişmesiyle birlikte, temiz üretimin sınırı bazı multidisipliner alanları kapsayacak şekilde genişletilmiştir (Giannetti vd., 2021). Temiz üretim, sera gazı emisyonlarının ve atık (atıksu) azaltımı ile ilgilenirken aynı zamanda, sürdürülebilir teknoloji, ekonomik dinamikler ve sosyal normlar açısından bazı süreçlere daha fazla odaklanır (Pradhan vd., 2021). Kaynağında kirliliği azaltma, gerek üretim proseslerinde gerekse ürünlerde değişiklikler yaparak sağlanır. Maliyeti düşüren uygulamalar, hammaddenin nitelik ve miktarında değişiklikler, yenilikçi ve çevreci teknolojilerin kullanılması proses değişikliklerinde izlenebilecek stratejilere örnek olarak verilebilir (Çelikli, 2016; Demirer, 2001). Süreç entegrasyonu, modelleme ve optimizasyon yoluyla sürdürülebilir temiz üretim, enerji tasarrufu (Friedler, 2010), genel kirliliğin azaltılması (Varbanov vd., 2018), proses endüstrisi yönetimi (Mbatha vd., 2021) ve hatta ortaya çıkan kirlletici madde yönetimi (Tong vd., 2022) ile günümüzde ön plana çıkmıştır (Fan vd., 2018). Temiz üretim, sürdürülebilirlik kavramı ile iç içedir. Şekil 4’te temiz üretim araçlarının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 4. Temiz Üretim araçları (Silva vd., 2019)

Temiz üretim uygulamaları, bir ürün yaşam döngüsünün birçok aşamasında (hammadde temini, üretimi, kullanımı ve kullanım sonrası bertarafı) gerçekleştirilir. Bu bağlamda temiz üretim uygulamaları birçok meslektan ekip çalışmasını gerektirmektedir. Temiz üretim araçları, üç ana başlık altındaki teknikleri içermektedir.

Bu teknikler genel olarak aşağıdaki beş başlık altında açıklanabilir.

- Kaynak Azaltımı
 - o İyi uygulamalar ve proses değişikliği
- Geri Dönüşüm
 - o Yerinde geri kazanım ve faydalı ürünlerin oluşumu
- Ürün modifikasyonu (Silva vd., 2019)

2. Dünyada ve Türkiye’de Temiz Üretim Uygulamaları

Temiz üretim konusunda kurumsal yapının oluşturulması 90’lı yıllarda Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) Teknoloji, Endüstri ve Ekonomi Bölümü’nün Temiz Üretim Programı’nı başlatmasıyla sağlanmıştır. Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Teşkilatı (UNIDO ve UNEP iş birliğinde 1995 yılında Ulusal Temiz Üretim Merkezleri Programı (NCPC) başlatılmıştır. Hindistan, Tanzanya, Çin, Meksika, Çek Cumhuriyeti, Brezilya, Slovakya ve Zimbabve temiz üretim merkezlerini kuran ilk ülkeler olmuştur (UNEP-UNIDO, 2015). Ulusal Temiz

Üretim Merkezleri, uygulamış oldukları eğitim programları, donanımları geliştirmeye yönelik faaliyetleri, yayımlanan kitapları ve diğer faaliyetleri ile temiz üretim kavramının ulusal ve bölgesel anlamda gelişmesi için önemli çalışmalara imza atmışlardır (Atak, 2014; Ulutaş vd., 2011). Temiz üretim merkezlerinin yıllık ortalama 400 bin USD gelir elde ettiği ifade edilmektedir. Merkezler incelendiğinde Kore Endüstriyel Teknoloji Enstitüsü'nün yılda 2,2 milyon USD ile en fazla gelir getiren merkezlerin başında olduğu gözlenmiştir. 1989 yılında KOBİ'lerin teknolojik altyapısını geliştirmek için devlet desteğiyle kurulan enstitü, büyüyerek Kore'nin en büyük araştırma kuruluşu haline geldi. Merkez, sürdürülebilir üretim sistemleri ve ileri üretim teknolojileri ve alanında Ar-Ge çalışmaları yürütmektedir. Bununla birlikte özel sektöre teşvik sağlamakta ve eko-endüstriyel parkların dönüşümü, temiz üretim bilgi ağının kurulması ve temiz üretim teknolojisi geliştirme gibi ulusal ölçekli büyük programlar yürütmektedir (KITECH, 2020).

“Sürdürülebilir tüketim ve üretim” fikri, özellikle AB ülkelerinde giderek daha fazla öne çıkmaktadır. “Sürdürülebilir tüketim ve üretim” olarak adlandırılan bu kavram, “temiz üretim” ve “sürdürülebilir tüketim süreçleri” fikirlerini birleştirir. Burada, en önemli zorlukların, ürünlerin tüm yaşam döngüleri boyunca çevresel performansını artırmak, daha iyi mallara ve üretim tekniklerine yönelik talebi artırmak ve bilinçli seçimler yapabilmeleri için tüketicileri eğitmek olduğu açıkça ortaya çıkmaktadır (Atak, 2014;; Atımtay ve Kentel, 2010). AB'nin sürdürülebilir tüketim ve üretim politikasının temelini oluşturan temel yaklaşım, entegre ürün politikası ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı etrafında şekillenmektedir. Ek olarak, tematik stratejisi atık önleme ve geri dönüşüm etrafında döner (Atak, 2014; Ulutaş vd., 2011).

AB, bu politikalara uygun olarak 2008 yılında “Temiz Tüketim ve Üretim ve Sürdürülebilir Sanayi Politikası Eylem Planı”nı yayınlamıştır. Bu eylem planı, kaynak verimliliği, ürün performansı ve eko-inovasyon gibi kavramların geliştirilmesini sağlayacak şekilde düşük karbonlu ve temiz teknolojinin, sürdürülebilir ürün ve hizmetlerin geliştirilmesini ve tüketici davranışının değiştirilmesini teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca dünya genelinde sürdürülebilirliğin sağlanmasına yardımcı olacak temiz üretim politikaları geliştirmeyi hedeflemektedir (Atak, 2014; TTGV, 2009).

Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ve TTGV tarafından 1999 yılında başlatılan ilk çalışmalarla 1990'lı yılların sonlarından itibaren temiz üretim anlayışının benimsenmesi yolunda ilk adımlar atılmıştır. Temiz üretim kavramı öncelikli bir alan olarak kabul edilmektedir. TÜBİTAK'ın Vizyon 2023 Teknoloji Öngörüler Projesi kapsamında hazırlanan Çevre ve Sürdürülebilir Kalkınma Tematik Paneli Yön ve Öngörü Raporu'nda ulusal bilim ve teknoloji politikalarının oluşturulmasından sorumlu öncü kurum Bilim ve

Teknoloji Yüksek Kurulu tarafından vurgulanmıştır. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi bünyesinde yer alan mülga Çevre Enstitüsü yeniden yapılandırılarak mülga Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü olmuştur. Akabinde mülga Kalkınma Bakanlığı tarafından desteklenen Temiz Üretim Teknolojileri Mükemmeliyet Merkezi (TÜTMM) projesi ile enerji verimliliği, atık ve atıksu geri kazanım laboratuvarları tesis edilmiş olup ayrıca çevresel etki analizi altyapısı kurulmuş, yaşam döngüsü analizleri gerçekleştirilmektedir. Söz konusu merkez işletmelere doğrudan teknik danışmanlık sağlamakla birlikte teknoloji gelişimi ve Ar-Ge projeleri üzerine çalışmaktadır.

2.1 İmalat Sanayinde Kaynak Verimliliği

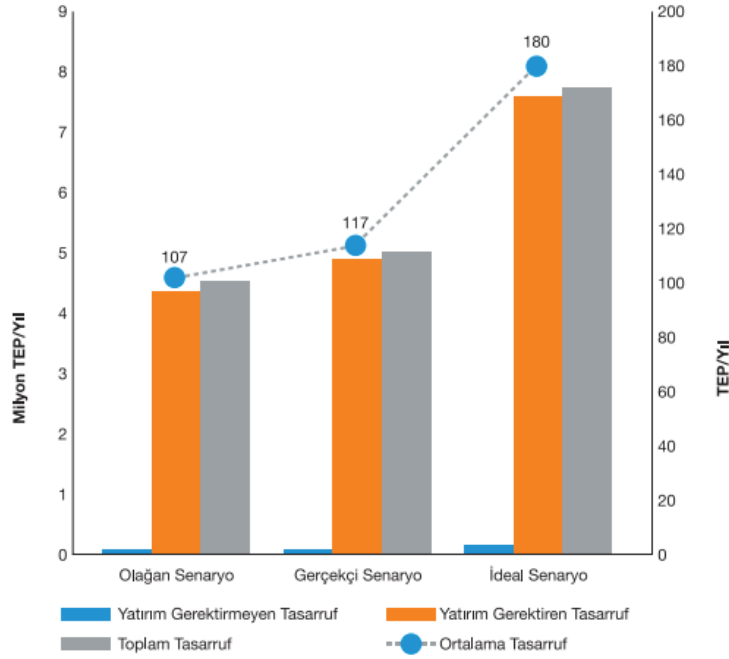
Türkiye imalat sanayinin mevcut durumu incelendiğinde, 2021 yılı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın yayınladığı Ulusal Enerji Denge Tablosu'na göre imalat sanayinde toplam enerji tüketimi 36,3 Milyon TEP olup “Metalik Olmayan Mineral Ürünleri İmalatı” ve “Ana Metal Sanayii” sektörleri %29’ar pay ile 10,4 Milyon TEP enerji tüketmektedir. Söz konusu sektörler içerisinde de %76 ile “Çimento Ürünleri İmalatı” ve %88 ile “Demir Çelik Ürünlerin İmalatı” alt sektörleri en çok enerji tüketmektedir (UEDT, 2021).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) Sera Gazı Emisyon İstatistikleri Raporu'na göre ise 2021 yılında toplam sera gazı emisyonları bir önceki yıla göre %7,7 artarak 564,4 milyon ton (Mt) CO₂ eşdeğeri (eq.) olmuştur. Toplam sera gazı emisyonlarının en büyük kısmını %71,3 ile enerji kaynaklı emisyonlar oluştururken, bunu %13,3 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %12,8 ile tarım ve %2,6 ile atık sektörü izlemiştir (TÜİK, 2021).

Ülkemizde 2014-2017 yılları arasında mülga Verimlilik Genel Müdürlüğü tarafından desteklenen ve mülga TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü tarafından yürütülmüş olan “Sanayide Kaynak Verimliliği Potansiyelinin Belirlenmesi Projesi”nde imalat sanayinde hammadde tasarruf potansiyeli parasal olarak enerji ve su tasarruf potansiyeli ise miktarsal ve parasal olarak tahmin edilmiştir.

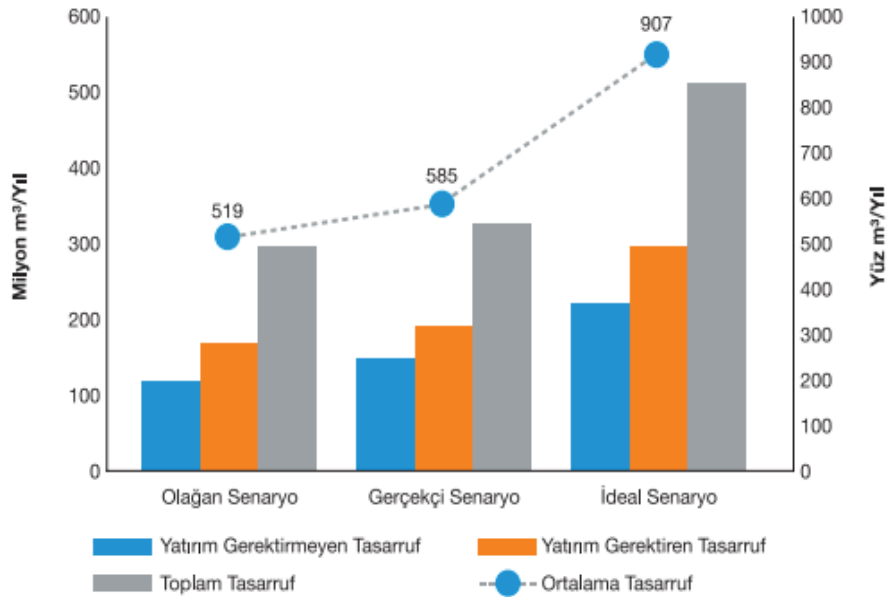
Proje kapsamında ele alınan seçili beş sektör NACE Rev.2 sınıflandırmasına göre (10) Gıda ürünlerinin imalatı, (13) Tekstil ürünlerinin imalatı, (20) Kimyasalların ve kimyasal ürünlerinin imalatı, (23) Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı ve (24) Ana metal sanayiidir. Bu sektörlerden analizler ile elde edilen veriler diğer alt sektörler ile benzetim yapılarak imalat sanayine genelleme çalışması yapılmıştır.

İmalat sanayinde enerji için yapılan farklı senaryolar altında yapılan analizler sonucunda tahmin edilen tasarruf potansiyeli, yaklaşık 4,6 milyon TEP/yıl ile 7,8 milyon TEP/yıl arasında değişmektedir. Türkiye imalat sanayinde işletme bazında enerji tasarruf değeri ise senaryolara göre ortalama 107 TEP/yıl ile 180 TEP/yıl arasında değişmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Türkiye imalat sanayinde senaryolar bazında enerji tasarruf potansiyeli (Karahan vd., 2017).

Su tasarruf potansiyeli ise 297 milyon m³/yıl ile 519 milyon m³/yıl arasında değişmektedir (Şekil 6). Türkiye imalat sanayinde işletme bazında su tasarruf miktarı ise ortalama 519 m³/yıl ile 907 m³/yıl arasında değişmektedir (Karahan vd., 2017).



Şekil 6. Türkiye imalat sanayinde senaryolar bazında su tasarruf potansiyeli (Karahan vd., 2017).

Tahmin edilen kaynak tasarrufu potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda çevresel faydalar da sağlanacaktır. Senaryolara göre, çevresel etkide %4,4 ile %23,5 arasında bir azalma sağlanabileceği ve eko-verimlilikte %12 ile %25 arasında bir artış sağlanabileceği öngörülmektedir. Bu çalışmada özetlenen tahmini tasarruf potansiyeli ve doğrudan çevresel etkilerin yalnızca kapıdan kapıya fabrika içi üretim faaliyetlerini kapsadığına dikkat etmek önemlidir (Partal vd., 2017).

3. İmalat Sanayinde Temiz Üretim Uygulamaları

3.1. Enerji Verimliliği Uygulamaları

Yüksek enerji tüketimi ve maliyeti açısından imalat sanayi, enerji verimliliği ve tasarruf çalışmalarında önceliklidir. Enerji verimliliği; ısı, buhar, gaz, hava ve elektrikte enerji kayıplarını önleme, atık ısının geri dönüşümü ve kullanımı, daha verimli enerji kaynakları, gelişmiş endüstriyel süreçler ve enerji geri kazanımı ile üretimi azaltmadan enerji talebini azaltma gibi verimliliği artırıcı önlemlerin bütünüdür. Böylece, ürün başına tüketilen enerji maliyeti azaltılmaktadır. 2007 yılında yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu'nun temel amacı, enerji kaynaklarının ve enerjinin verimli kullanılmasının sağlanmasıdır. Bu yasa ile israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomik yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması amaçlanmaktadır. Ulusal Enerji verimliliği Eylem Planı'nda (2017-2023) sanayi için mevcut durum ve eylem planları yer almaktadır. Sanayi için özellikle aşağıdaki konulara önem verilmiştir.

- Kojenerasyon sistemlerinin yaygın olarak benimsenmesinin teşvik edilmesi.
- Alternatif yakıt kullanımının teşvik edilmesi.
- Endüstriyel simbiyozun, geri dönüşümün ve ikincil hammaddelerin kullanımının kolaylaştırılması.
- Çeşitli sektörler, prosesler, makine ve ekipmanlar için minimum enerji performans standartları oluşturarak enerji verimli makine ve ekipman kullanımının teşvik edilmesi.
- Türkiye'ye uygun mevcut en iyi teknikleri ve uygulamaları belirleyerek sektöre özel en iyi uygulama kılavuzlarının geliştirilmesi
- Kapsamlı analizlere dayalı olarak alt sektörler için detaylı enerji yoğunluğu hedeflerinin belirlenmesi ve ilerleme kaydettikçe revize edilmesi.
- Endüstri 4.0 dönüşümünde Nesnelerin İnterneti altyapısına geçiş planlamasında enerji verimliliği, süreç verimliliği ve rekabet edebilirliğe öncelik verilmesi.
- Elektrik motorlarında enerji verimliliğinin artırılması (UEVEP, 2023).

3.1.1 Flaş Buhar Geri Kazanımı

Flaş buhardaki enerjinin geri kazanımı buhar kazanı kullanan tüm işletmeler için önem arz etmektedir. Yüksek basınç altındaki sıcak kondens suyu veya kazan suyu blöfö, daha düşük bir basınca serbest bırakıldığında, bir kısmı tekrar buharlaşır. Eğer basınç düşürülürse, belirli bir miktarda hissedilir ısı serbest kalır. Bu fazla ısı, gizli ısı şeklinde emilerek, kondens suyunun bir kısmını buhara dönüştürür. Bu buhara “flaş buhar” adı verilmektedir. Flaş buharın bünyesinde, kullanılabilir önemli miktarda ısı enerjisi vardır. Bu ısı enerjisi kullanılmadığı takdirde, büyük miktarda enerji kaybı meydana gelir (TMMOB, 2022). TÜBİTAK MAM tarafından gerçekleştirilen etüt çalışmalarında flaş buharın geri kazanılmadan direk havaya serbest bırakıldığı gözlenmiştir. Örnek bir flaş buhar enerjisi geri kazanım hesabı aşağıda sunulmaktadır.



Şekil 7. Flaş buhar (TÜBİTAK MAM saha çalışmaları-Temiz üretim etütleri)

Saatlik Buhar Kullanımı	:	6.500	kg/h
Ortalama Kondens Dönüş Miktarı	:	4.550	kg/h
Oluşan Flaş Buhar Miktarı	:	352	kg/h
Yıllık Kömür Tasarrufu	:	300	ton/yıl
Toplam Parasal Tasarruf	:	899.808	TL/yıl
Proje Yatırım Bedeli	:	550.000	TL
Geri Ödeme Süresi	:	0,6	Yıl
Karbon dioksit emisyon/kömür	:	1,86	ton/ton
Önlenen Karbondioksit Emisyonu	:	558	ton/yıl

3.1.2 Blöf Enerjisinin Geri Kazanımı

Kazanlara verilen su tamamen saf değildir. Sudaki katı maddeler, erimiş halde ve süspansiyon halinde bulunurlar. Kazana verilen besi suyu; su yumuşatma, ters ozmoz veya demineralize su sisteminde arıtılmış olsa bile sertlik ve iletkenlik açısından tamamen sıfır olmaz. Kazanda buhar üretimi devam ettikçe bu maddeler buhar ile taşınmadığından, konsantrasyonları zamanla artar. Blöf yolu ile kazandan atılmazlarsa, ısı transfer yüzeylerinde sert birikintiler oluştururlar. Bu maddelerden, süspansiyon halinde olanlar dibe çökerler. Bunlar dip blöfü (kesikli blöf) ile kazandan atılırlar. Erimiş halde olanlar ise su yüzeyinde toplanırlar. Bunların da tamamen alınması mümkün değildir. Bir kısmı yüzey blöfü (daimi blöf) ile bir kısmı dip blöfü ile dışarı atılırlar (TMMOB, 2022). Örnek bir blöf enerjisi geri kazanım hesabı aşağıda sunulmaktadır.

Ortalama Kapasite (buhar)	:	6.000	kg/h
İşletme basıncı	:	6	barg
Buhar sıcaklığı	:	165	°C
Besi suyu (TDS) değeri	:	60	µs/cm
Mevcut kazan suyu TDS değeri	:	5.000	µs/cm
Kullanılan yakıt	:	Kömür	

Blöf miktarının hesaplanması:

$$\text{Blöf miktarı} = \frac{F \times S}{B - F}$$

F: Besi suyu TDS değeri
B: İstenilen / mevcut kazan suyu TDS değeri
S: Kazan kapasitesi

$$\text{Blöf Miktarı} = (60 \times 6.000) / (5000 - 60) = 73 \text{ Kg/h}$$

Bu blöfün enerjisini geri kazanmak mümkündür. 6 bar basınçta 73 kg/h kapasiteli kazan suyunun dışarı atılması oluşan flaş buhar, degazör ısıtılmasında kullanılabilir. Kalan kondens ise (100 °C) kazan make up suyunu ısıtabilmektedir.

Blöf ile Dışarı Atılan Kondens	:	73	kg/h
Blöf Basıncı	:	6	bar
Blöf Entalpisi	:	165,6	kcal/kg
Flaş Buhar Basıncı	:	0,5	bar
Buharlaştırma Entalpisi	:	532	kcal/kg
0,5 Bar Kondens Entalpisi	:	111,9	kcal/kg
Blöf ile Açığa Çıkan Enerji	:	Blöf miktarı x (Blöf entalpisi-0,5 Bar kondens entalpisi)	
		3.912	kcal/h
Blöf ile Oluşan Flaş Buhar (0,5 Bar)	:	Blöf ile açığa çıkan enerji / Buharlaştırma entalpisi	
		3.912 / 532 =	7 kg/h

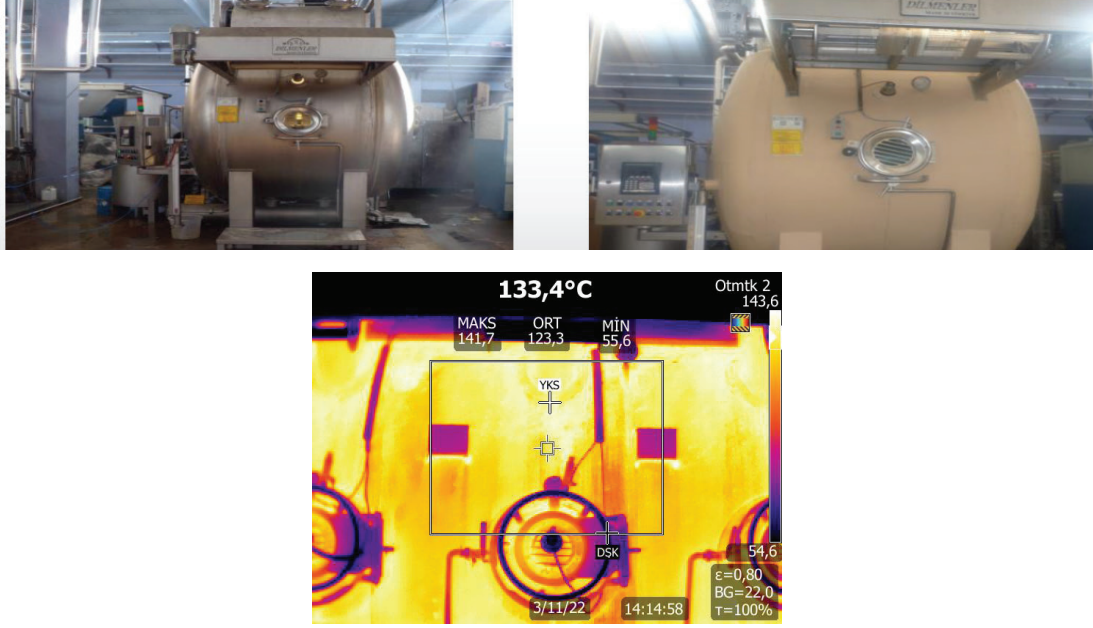
73 kg/h blöfün 7 kg/h'i flaş buhar olarak kullanılırken kalan 66 kg/h'i (100°C) make up suyunun ısıtılmasında kullanılabilir. 66 kg/h, 100 °C sıcaklıktaki blöf suyunun enerjisini 50 °C'ye düşürerek 3.276 kcal/h ($Q=m.c.\Delta T$), enerji kazanmak mümkündür. Blöf ile hem flaş buhar ve hem kalan blöf suyundan toplamda 7.188 kcal/h enerji alınabilir.

Q_{TOPLAM}	:	7.188	kcal/h
Kömür Tasarrufu	:	$Q_{TOPLAM} / H_u .\eta$	
H_u	:	Kömür kalorifik değeri, 4.500 kcal/kg	
η	:	%75	
Kömür Tasarrufu	:	2,1	kg/h
Yıllık Kömür Tasarrufu	:	15	t/yıl
Kömür Birim Fiyatı	:	3.000	TL/ton
Parasal Tasarruf	:	46.001	TL/yıl
Yatırım Maliyeti	:	300.000 TL (Tesisat maliyetleri dahil edilmemiştir.)	
Geri Dönüş Süresi	:	6,5	Yıl
Emisyon Faktörü	:	1,86	ton CO ₂ /ton kömür
Önlenen Karbon Dioksit Emisyonu	:	29	ton CO ₂ /yıl

3.1.3 Termal kayıpların önlenmesi

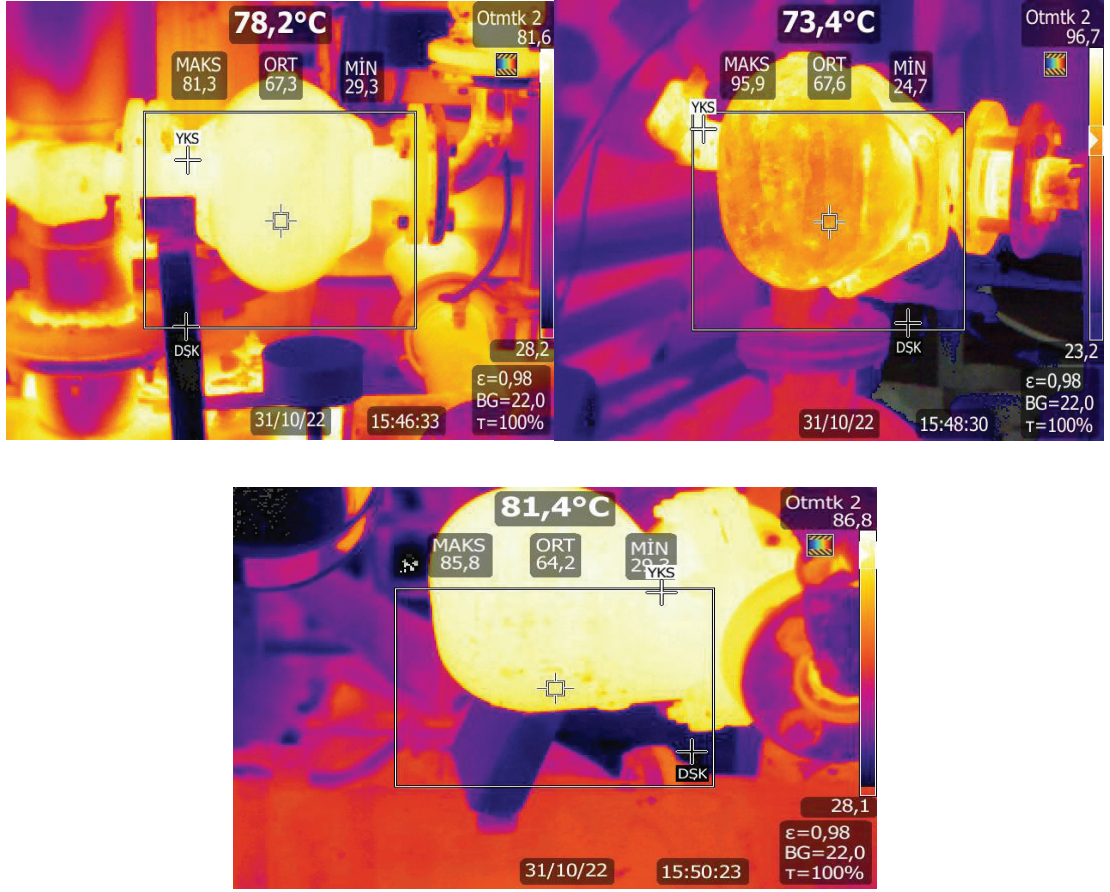
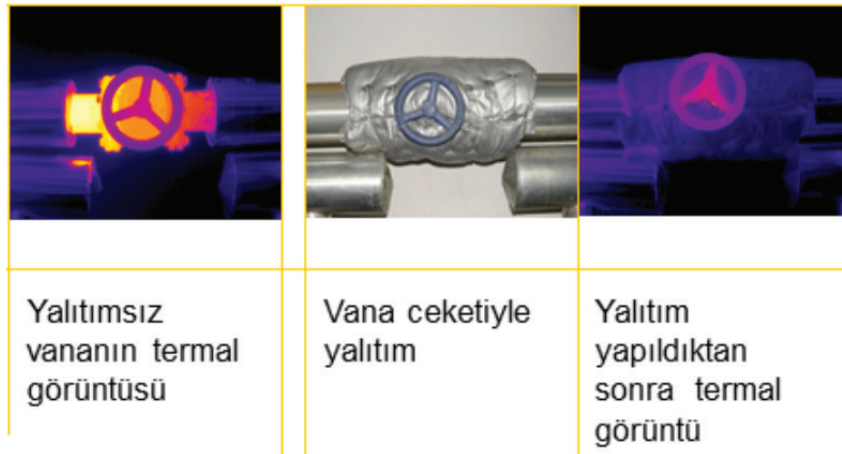
Kazanların izolasyonu

İstenmeyen ısı enerjisi kayıplarını ve sızıntılarını önlemek için kazanların duvarlarının, yanma bölgelerinin ve boru hatlarının ısı yalıtım malzemeleri ile yalıtılması esastır. Örnek bir HT makinası yalıtım hesabı aşağıda sunulmaktadır.



Şekil 8: HT makinalarının izolasyonu (TÜBİTAK MAM saha çalışmaları-Temiz üretim etiütleri)

Toplam Yüzey Alanı (A)	:	371,6	m ²
Ortalama Yüzey Sıcaklığı (Ts)	:	65°C = 338,15	K
Ortam Sıcaklığı (Ta)	:	30°C = 303,15	K
Yalıtım Sonrası Hedeflenen Yüzey Sıcaklığı (Ty)	:	40°C = 313,15	K
Birim Enerji Tasarrufu	:	81.343	kCal/h
Yıllık Kömür Tasarrufu	:	130	ton/yıl
Yıllık Parasal Tasarruf	:	390.445	TL/yıl
Yalıtım Maliyeti	:	551.826	TL/yıl
Geri Ödeme Süresi	:	1,4	yıl
Karbon dioksit emisyon/kömür	:	1,86	ton/ton
Önlenen Karbondioksit Emisyonu	:	242	tonCO ₂ /ton

Buhar hatlarında vana izolasyonu**Şekil 9.** Vana sıcaklık değerleri (TÜBİTAK MAM saha çalışmaları- Temiz üretim etiütleri)**Şekil 10.** Buhar hatlarında vana izolasyonu (TMMOB, 2022)

3.1.5 Baca Gazından Atık Isı Geri Kazanımı

Yüksek enerji yoğun işletmeler için atık ısı enerji tüketimi, dikkatle değerlendirilmesi gereken önemli bir enerji tasarrufu potansiyeli sunar. Bir ekonomizör/geri kazanım sistemi uygulanarak, kazanlardan ve fırınlardan yayılan sıcak akımlarda bulunan ısıнын bir kısmının geri kazanılması ve bacada kaybolmak yerine tekrar verimli kullanıma yönlendirilmesi mümkün hale gelir.

- Baca gazındaki her 20°C'lik artışta verim kaybı %1'dir.
- Kazana ekonomizör ekleyerek %2-10 arasında iyileşme sağlanabilir
- Yanma havasında her 28°C artış ile verimde %1 iyileşme sağlanır (TMMOB, 2022).

Baca Gazı Sıcaklığı	:	230	°C
Baca Gazı Debisi	:	20.000	m ³ /saat
Baca Gazı Çıkış Sıcaklığı	:	160	°C
Geri Kazanılabilir Enerji	:	336.016	kcal/saat
Yıllık Kömür Tasarrufu	:	537,6	ton/yıl
Yıllık Parasal Tasarruf	:	1.612.875	TL
Yatırım Bedeli	:	1.375.000	TL
Geri Ödeme Süresi	:	0,9	yıl
Karbondioksit Emisyon/Kömür	:	1,86	ton/ton
Önlenen Karbondioksit Emisyonu	:	1.000	ton CO ₂

3.1.6 Çimento Sektörü-Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY) Kullanımı

ATY hazırlama ünitesi, endüstriyel ve evsel atıklardan yanıcı olmayan kısımların yanıcı olan kısımlardan ayrılması işlemini gerçekleştirir. ATY üretmek için, cam, metal ve taş gibi tüm yanıcı olmayan malzemeleri çıkarmak için atıkların parçalanması ve dikkatli bir şekilde ayrılması gerekmektedir. Atık parçalandıktan ve ayrıldıktan sonra, yanıcı kısım yakıt olarak peletlere dönüştürülür. Bu işlemin asıl amacı, kömürle çalışan kazanlara/fırınlara kömürle karıştırılmaya uygun bir yakıt üretmektir. ATY, yanıcı kısmın etkin bir şekilde yanabilecek ve özellikle bir çimento fabrikasında kullanılan enerjiyi oluşturabilecek bir forma getirilmesiyle oluşur (Breeze, 2019). İşletmelerin ATY kullanmak istemesinin amacı, döner fırın prosesine beslenen kömür miktarını azaltarak CO₂ salımını düşürmektir.

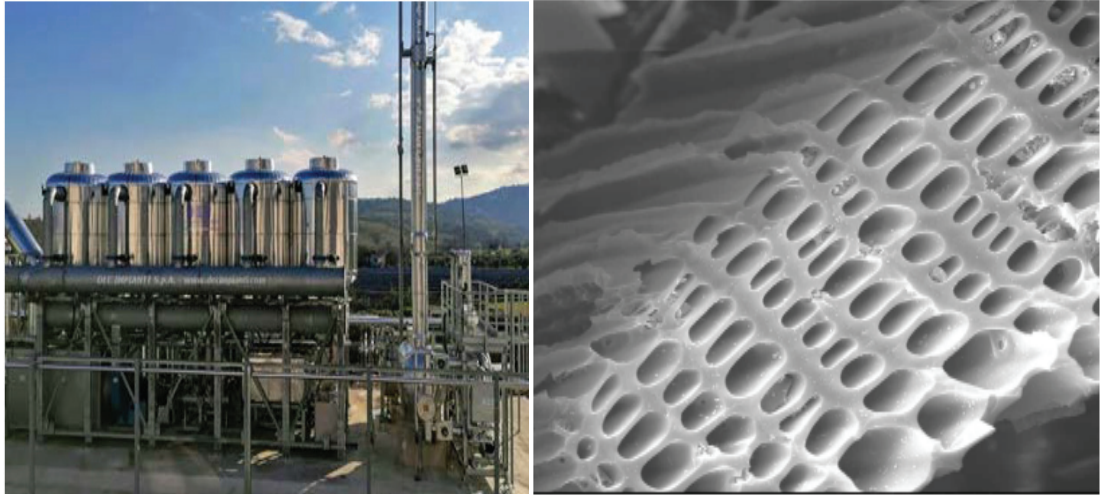
3.2. İmalat Sanayinde Hammadde/Kimyasal Geri Kazanımı

Hammadde, enerji ve su gibi değerli ve sınırlı kaynaklar, yaşamın olduğu kadar sanayinin de ana girdilerini oluşturmaktadır. Hammadde kullanımını/sera gazlarını azaltmak için aşağıdaki yöntemler kullanılabilir.

- Ham madde kayıplarının prosesler bazında izlenmesi ve tedbirlerin alınması,
- Ham maddelerin uygun şartlarda depolanması ve saklanması,
- Ham maddelerin işletmelere uygun şekilde taşınması,
- İkame ham madde kullanımı,
- Artıkların kategorize edilmesi. Artıkların farklı alt sektör ve/veya sektörlerde birbirleri arasında kullanımlarının değerlendirilmesi
- Üretim hatlarında dozajlama ve reçetelerin otomasyonla takip edilmesi (EC, 2003)

3.2.1 Solvent Geri Kazanımı

Ambalaj üretim sektöründe solvent geri kazanım çalışmaları yapılmaktadır. Baskı ve lamine sürecinde çözücü olarak çeşitli solventlerin kullanıldığı ve baca gazı ile atmosfere salınan bu solventlerden etil asetat, etil alkol vb. solventler geri kazanım tesisi ile geri kazanılmaktadır. Mevcut en iyi teknikler dokümanında 35 adsorpsiyon sisteminden elde edilen verilere göre maksimum ve minimum geri kazanım verim aralığı %80-99,9 civarındadır (BAT, 2020).



Şekil 11. Solvent geri kazanım

3.3. İmalat Sanayinde Su Geri Kazanımı

Küresel olarak, çekilen suyun yaklaşık %20'si sanayi için kullanılmaktadır. Ülkemizde TÜİK'in 2020 yılı verilerine göre bu oran %7,8'dir (tatlı su kaynaklarından).

2020 yılı verilerine göre imalat sanayi işyerleri tarafından 2,6 milyar m³ su çekilmiştir ve 2,04 milyar m³ atıksu deşarj edilmiştir (TÜİK, 2020). Su kaynakları daha etkin ve verimli kullanılmazsa, 2030’lu yıllarda Türkiye’nin su kıtlığı yaşama olasılığı yüksektir.

Ülkemizde imalat sanayi tesislerinde en önemli problemlerden biri ölçüm ve izlemenin yetersiz olmasıdır. Özellikle prosesler bazında su tüketiminin ölçülmesi, verilerin kayıt altına alınıp değerlendirilmesi gerekmektedir. Böylece su tüketiminin yüksek olduğu prosesler belirlenip iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır. Ayrıca koruyucu bakım-onarım programları yapıp atıksuyun arıtılarak yeniden kullanımı sağlanmalıdır.

3.3.1 Su Geri kazanımı

Üretim faaliyetleri sonucunda oluşan endüstriyel atıksular fiziksel, biyolojik ve kimyasal olarak arıtdıktan enerjilendirilmiş oksijen teknolojisi sonrası MBR arıtımı ve ters ozmoz membran filtrasyonu ile su geri kazanımı sağlanabilmektedir. Ters ozmoz membran filtrasyonu işleminde ortaya çıkacak membran konsantrelerinde tekrar ters ozmoz membran filtrasyonu ile arıtılarak deşarj edilen su miktarı azaltılmaktadır. Şekil 12’de verilen ters ozmoz yatırımıyla ham su kaynağının yaklaşık %80 civarı ikame edebilmektedir.



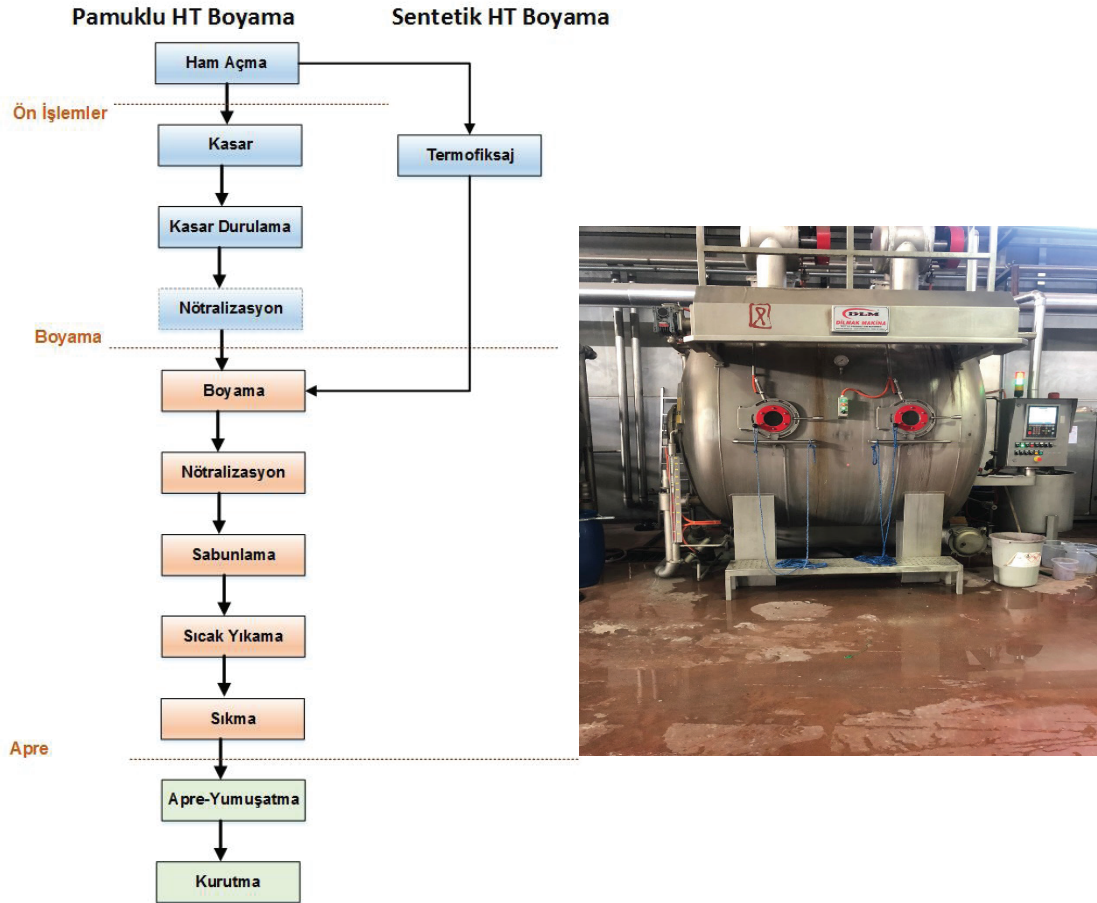
Şekil 12. Ters ozmoz (TÜBİTAK MAM saha çalışmaları- Temiz üretim etütleri)

3.3.2 Tekstil Sektöründe Su Geri kazanımı

2022 yılında Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı “Tekstil Sektöründe Temiz Üretim Uygulamaları Hakkında Genelge” yayımlanmıştır. Bu genelge, proseslerden kaynaklanan olumsuz çevresel etkilerin azaltılması için sektörde temiz üretim teknolojilerinin benimsenmesini teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Tekstil işletmelerinde boya banyosu atık suyundan rengin

uzaklaştırılması ile birlikte kumaş boyama ve yıkamada tuzlu suyun tekrar kullanılmasına olanak sağlayan yöntemlerin kullanılması zorunlu bir uygulama haline gelmiştir. Bu önlem, endüstride atıksu renk giderimini ele almayı ve arıtılmış atıksuyun yeniden kullanımını teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Genelge ayrıca, soğutma sularının ve düşük kirletici yüklü atık suyun ayrı toplanmasını ve optimum şekilde yeniden kullanılmasını ve ayrıca arıtılmış atık suyun ilgili alanlarda potansiyel olarak yeniden kullanılmasını gerektirir (ÇŞİB, 2023b). Ayrıca, su tüketimini azaltmak ve yer altı suyunun tükenmesini önlemek için işletmede kullanılan su miktarının ölçülmesine ve izlenmesine odaklanılacaktır. Bu, su kullanımı üzerinde daha iyi kontrol sağlamayı ve bilinçli su yönetimi uygulamalarını teşvik etmeyi amaçlamaktadır.

Saha çalışmasında görülen uygulamalardan biri ise sektörde kasar durulama suları HT rezerv tankına çekilmesi ve kasar işleminde tekrar kullanılmasıdır.



Şekil 13. HT boyama prosesi ve makinası (TÜBİTAK MAM saha çalışmaları- Temiz üretim etütleri)

4. Sonuç ve Değerlendirme

Kaynak verimliliği ve temiz üretim çalışmaları küresel düzeydeki iklim değişikliği ve su kıtlığı sebebi ile işletmelerin uygulaması gerekli vazgeçilmez birer araçtır. Hızlanan bu küresel eğilim, ülkemizin imalat sanayisi için bir ölçüt görevi görmektedir. Bu bağlamda ülkemizin eylem planlarında ve strateji belgelerinde sürdürülebilir kalkınmanın gereklilikleri (temiz üretim, kaynak verimliliği, döngüsel ekonomi vb.) yerini almıştır. Avrupa Birliği tarafından Yeşil Mutabakat'ın yayınlanması ile birlikte ülkemizde karbon ve su ayak izi çalışmaları hız kazanmıştır. Tekstil sektörüne yönelik 2022 yılında “Tekstil Sektöründe Temiz Üretim Uygulamaları Genelgesi” yayınlamıştır. Bu genelge iyi bir örnek teşkil etmekte olup, imalat sanayinin diğer alt sektörleri için de benzer genelgelerin hazırlanması planlanmaktadır.

İşletmelere gerçekleştirilen teknik etüt çalışmaları sonucunda enerji, su ve hammadde konularında ciddi tasarruflar sağlanabileceği gözlenmiştir. Enerji verimliliği konusunda özellikle atık ısıların geri kazanımı çok önemlidir. Flaş buhar, blöf, baca gazındaki atık ısıların fizibilitesi yapılarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte makineler ve buhar hatlarındaki vana/kondenstoplara yalıtım uygulanmalıdır. Su konusunda ise proses bazında su tüketim değerlerinin kayıt altına alınarak azaltıma yönelik iyileştirme çalışmaları yapılmalıdır. Mümkünse proses bazında çıkan atıksuların analizi yapılarak üretim proseslerinde tekrar kullanılabilirliği araştırılmalıdır.

5. Kaynaklar / References

- Atak, Ş., & Fidan, E.T. (2014). Bütüncül ve Önleyici Bir Çevre Yönetimi Yaklaşımı Olarak Temiz Üretim Yaklaşımı Ve Türkiye’de Uygulanması, *Finans Politik & Ekonomik Yorumlar* 51(596).
- Atımtay, A., & Kentel, E. (2010). Sürdürülebilir (Temiz ve Yenilenebilir) Enerji Kaynakları ve Yönetim, ODTÜ-SEM İklim Değişikliği, Uyum Politikaları ve Türkiye Sertifikalı Eğitim Programı, Ankara.
- AYY, (2015). Atık Yönetimi Yönetmeliği, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.
- Balbay, Ş., Sarıhan, A., & Aşar, E. (2021). Dünya’da ve Türkiye’de “Döngüsel Ekonomi / Endüstriyel Sürdürülebilirlik” Yaklaşımı, *European Journal of Science and Technology* 27, 557-569.
- BAT, (2020). Best Available Techniques (BAT) Reference Document on Surface Treatment Using Organic Solvents including Preservation of Wood and Wood Products with Chemicals”, JRC.
- Breeze, P. (2019), *Power From Waste, Power Generation Technologies* (Third Edition), Newnes, Pages 375-397, ISBN 9780081026311.
- Certain Directives (Waste Framework Directive), 22 Kasım 2008, 28. İDER, (2020). İşletmeler için Döngüsel Ekonomi Rehberi, Hedefler için İş Dünyası ve DCube, <https://www.business4goals.org> (13.04.2023).
- Çelikli, Ç. (2016). Sıralı Dizel Enjektör Üretimi Tesisinde Ekoverimlilik (Temiz Üretim) Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- ÇŞİB, (2023a). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İklim Değişikliği Başkanlığı, <https://>

- iklim.gov.tr (13.04.2023).
- ÇŞİB, (2023b). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, <https://csb.gov.tr/tekstil-sektorunde-temiz-uretim-uygulamalari-genelgesi-yayimlandi-bakanlik-faaliyetleri-37401> (13.04.2023).
- Demirer G.N. (2001). Temiz Üretim/ Kirlilik Önleme Kavramı ve Çevre Mühendisliği Eğitimi, 4. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, TMMOB Çevre Müh. Odası, 212- 221, 7-10
- DEP, (2023). Döngüsel Ekonomi Platformu, <https://donguselekonmiplatformu.com> (10.04.2023).
- EC, (2003). European Commission, Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques for the Textile Industry (BREF) European Commission (EC), EC IPPC Bureau, Seville.
- EU, (2008). Official Journal of the European Union, Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing.
- Fan, Y.V., Varbanov, P.S., Klemeš, J.J., & Nemet, A. (2018). Process efficiency optimisation and integration for cleaner production. *J. Clean. Prod.* 174, 177–183.
- Friedler, F. (2010). Process integration, modelling and optimisation for energy saving and pollution reduction. *Appl. Therm. Eng.* 30 (16), 2270–2280.
- Giannetti, B.F., Agostinho, F., Yang, Z., Liu, G., Hancock, L., & Almeida, C.M.V.B. (2021). Widening Cleaner Production scope and targets: from local to global initiatives. *J. Clean. Prod.* 325, 129215.
- İDER, (2020). Hedefler için İş Dünyası Platformu ve DCube Döngüsel Ekonomi Kooperatifi, Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı. İşletmeler için Döngüsel Ekonomi Rehberi.
- Karahan, Ş., Rende, K., Tosun, C., Şık, E., Partal, R., Duhbacı, Budak, T., Avinal, A., Çakmak, E.G., Günay, A., & Baban, A. (2017). Sanayide Kaynak Verimliliği Potansiyelinin Belirlenmesi Projesi Özet Kitabı, ISBN 978-605-4889-26-6.
- KITECH (2020). Korean Institute of Industrial Technology.
- Mbatha, S., Everson, R.C., Musyoka, N.M., Langmi, H.W., Lanzini, A., & Brilman, W. (2021). Power-to-methanol process: a review of electrolysis, methanol catalysts, kinetics, reactor designs and modelling, process integration, optimisation, and techno-economics. *Sustain. Energy Fuels*, 5 (14), 3490–3569.
- PAGEV, (2015). Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı. Döngüsel Ekonomi Durum Raporu.
- Partal, R., Baban, A., Günay, A., Karahan, Ş., Rende, K., Tosun, C., Şık, E., Duhbacı, Budak, T., & Avinal, A. (2017). Sanayide Kaynak Verimliliği Potansiyelinin Belirlenmesi Projesi Çevresel Etki Analizi Raporu.
- Pradhan, P., Subedi, D.R., Khatriwada, D., Joshi, K.K., Kafle, S., & Chhetri, R.P. (2021). The COVID-19 pandemic not only poses challenges, but also opens opportunities for sustainable transformation. *Earth's Future* 9 (7).
- Silva, F. J.G., Gouvei, J.G.,R. & Miguel. R. (2019). Cleaner Production Tools and Environmental Management Practices, *Cleaner Production*, 153-245.

- Standard, (2018). Döngüsel Ekonomi, *Ekonomik ve Teknik Dergi*, 662, ISSN:1300-836.
- TMMOB, (2022). Makine Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi, Enerji Yöneticisi Eğitim Ders Notları.
- Tong, X., Mohapatra, S., Zhang, J., Tran, N.H., You, L., He, Y., & Gin, K.Y.H. (2022). Source, fate, transport and modelling of selected emerging contaminants in the aquatic environment: current status and future perspectives. *Water Res*, 127, 118418.
- TTGV, (2009). Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı, Türkiye’de Temiz Üretim Uygulamalarının Yaygınlaştırılması İçin Çerçeve Koşulların ve Ar-Ge İhtiyacının Belirlenmesi Raporu, *TTGV Yayınları*.
- TÜBİTAK MAM saha çalışmaları-Temiz üretim etütleri
- TÜİK, (2020). Türkiye İstatistik Kurumu, Su ve Atıksu İstatistikleri, <https://data.tuik.gov.tr>, (12.04.2023).
- TÜİK, (2021). Türkiye İstatistik Kurumu, Sera Gazı Emisyon İstatistikleri Raporu, <https://data.tuik.gov.tr> (13.04.2023).
- UEDT, (2021). Ulusal Enerji Denge Tablosu, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, <https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari> (13.04.2023).
- UEVER, (2023). Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2017-2023), T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- Ulutaş, Ferda; (2011), Türkiye’de Sürdürülebilir Tüketim ve Üretim Politikaları ve AB Uyum Süreci, TTGV Çevre Projeleri Grubu AB 7. Çerçeve Programı Kapsamında Sürdürülebilir Tüketim ve Üretim Projesi Çalıştayı, Ankara.
- UNIDO-UNEP (2015). National Cleaner Production Centres; 20 Years of Achievement, United Nations Industrial Development Organization.
- Varbanov, P.S., Klemeš, J.J., & Wang, X., (2018). Methods optimisation, Process Integration and modelling for energy saving and pollution reduction. *Energy*, 146, 1–3.
- YMEP, (2021). Yeşil Mutabakat Eylem Planı, T.C. Ticaret Bakanlığı.

Yazar Hakkında / About Author

Dr. Şeyma KARAHAN ÖZBİLEN | TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi |
seyma.karahan[at]tubitak.gov.tr | ORCID: 0000-0003-1807-2734

Dr. Şeyma KARAHAN ÖZBİLEN, 2001 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Programı'ndan mezun olmuştur. Sırasıyla 2004 ve 2011 yıllarında aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Programı'ndan Otomotiv üzerine yüksek lisans ve doktora çalışmalarını tamamlamıştır. 2001-2002 yılları arasında aynı üniversite ve bölümde araştırma görevlisi, 2002 yılından günümüze kadar ise TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nde başuzman araştırmacı olarak görev yapmaktadır. Çalışma alanları temiz üretim teknolojileri, kaynak verimliliği, iklim değişikliği, emisyon oluşumu ve azaltılması ve içten yanmalı motorlar olarak sıralanabilmektedir. TÜBİTAK'ta çalıştığı 21 yıl boyunca, Türkiye imalat sanayi için kaynak verimliliği, sürdürülebilir tüketim ve üretim, ulaşım sektöründe sera gazlarının azaltılması, alternatif motor yakıtları, enerji ve çevre teknolojileri alanlarında birçok projeyi koordine etmiştir. En son Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Ofisi tarafından finanse edilen “Temiz Üretim Teknolojilerinde Mükemmeliyet Merkezi” projesini tamamlamıştır.

Şeyma KARAHAN ÖZBİLEN, PhD | TUBITAK Marmara Research Center |
seyma.karahan[at]tubitak.gov.tr | ORCID: 0000-0003-1807-2734

Şeyma KARAHAN ÖZBİLEN, PhD has graduated from Yıldız Technical University as mechanical engineer in 2001. She completed her MSc and PhD studies in Yıldız Technical University-Mechanical Engineering Department in 2004 and 2011 on automotive respectively. She has been working as a research assistant in the same university and department between 2001 and 2002, and as a chief researcher at TUBITAK Marmara Research Center since 2002. She is interested in the areas of cleaner production technologies, resource efficiency, climate change, emission formation&reduction and internal combustion engines (ICEs). During 21 years of working at TUBITAK, she coordinated several projects in the fields of resource efficiency for Turkish manufacturing industry, sustainable consumption and production, reduction of greenhouse gases at the transport sector, alternative motor fuels, energy and environmental technologies. She has completed a project entitled “Center of Excellence in Cleaner Production Technologies” which is funded by T.R Presidency, Strategy and Budget Office.

**TEKSTİL SEKTÖRÜNDE
TEMİZ ÜRETİM
UYGULAMA ÖRNEKLERİ**

**CLEAN PRODUCTION APPLICATION EXAMPLES IN THE
TEXTILE INDUSTRY**

Mustafa Gürdal ADAL

TEKSTİL SEKTÖRÜNDE TEMİZ ÜRETİM UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Mustafa Gürdal ADAL

Emre Tekstil Yöneticisi

Özet

İnsanlık tarihinin en önemli olaylarından ikisi kuşkusuz makinenin icadı ve sanayi devrimidir. Bu olaylardan itibaren insanlık tarihinde üretimler hız kazanmış ve belki de yüzyıllar içerisinde yaşanacak ilerleme kısa süre zarfında gerçekleşmiştir. Aynı zamanda sağlık sektöründe yaşanan gelişmeler insan ömrünün uzamasına, dünya nüfusunun artmasına sebebiyet vermiş, bunun sonucunda da emtialara olan talep artmış, üretim kapasitesi yıllar içerisinde katlanarak artmaya devam etmiştir. Hiç şüphesiz ki “tekstil” gündelik hayatımızda en önemli sektörlerin başında gelir. Tekstilin gündelik faydalarının yanı sıra ekonomik anlamda da çok büyük kazandırmaları vardır. Türkiye birçok ekonomik krizi tekstil sektörü yardımı ile atlatmıştır. Ancak her ne kadar tekstil en önemli sektörlerin başında gelmekte ise de kontrolsüz ve mevzuata aykırı yapılan tekstil üretiminin çevreye zararları çok büyüktür. Bu makale ile kurucu ortağı olduğum Emre Tekstil Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. ile 1990’larda başlayan Sanayi hayatımda en önem verdiğim konulardan biri olan Çevre Kirliliğini önlemeye ilişkin şirket ve şahsım adına yaptığım uygulama örnekledirmelerine değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler

Tekstilde Çevre Kirliliği, Temiz Üretim, Su Tasarrufu

CLEAN PRODUCTION APPLICATION EXAMPLES IN THE TEXTILE INDUSTRY

Mustafa Gürdal ADAL

Emre Textile Manager

Abstract

Two of the most important events in human history are undoubtedly the invention of machines and the industrial revolution. Since these events, production has accelerated in the history of humanity and it may even be that the progression that will take place over the centuries has been realized in a short period of time. Meanwhile, breakthroughs in healthcare have led to the prolongation of human life and increased world population, as a result the demand for commodities has increased, and the production capacity has continued to increase exponentially over the years. Undoubtedly, “textile” is one of the most important sectors in our daily life. In addition to its daily benefits, textile also has great economic advantages. Türkiye has survived many economic crises through the help of the textile sector. Although textile is one of the most important sectors, the environmental damage of uncontrolled and illegal textile production is enormous. In this article, the examples of the practices I have made on behalf of the company and myself regarding the prevention of Environmental Pollution which is one of the most important issues in my industrial life, which started in the 1990s with the company I co-founded “Emre Tekstil Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti”, have been reviewed.

Keywords

Environmental Pollution in Textile, Cleaner Production, Water Saving

1. Giriş

Sanayileşme sürecine giren insanlık tarihi ile ham maddelere olan ihtiyaç gitgide artmış, fosil yakıt kullanımı artık takip edilemez duruma gelmiştir. Sanayileşmenin yararlarını bir kenara bırakırsak, ilerideki sonuçlarını belki de henüz öngöremediğimiz çevre katliamları da makinenin keşfi ve sanayi devrimi ile başlamıştır. Ancak günümüzde geline teknolojik gelişmeler ile özellikle usulüne uygun yapılan tekstil üretiminin çevreye olan zararlarının minimuma indirilmesi hedeflenmektedir.

İnsanlığın temelde üç ihtiyacı vardır. Barınma, beslenme, giyinme. İnsanlık bu üç temel ihtiyaca hayatını devam ettirebilmek için muhtaçtır. Dolayısıyla giyinme ihtiyacını karşılayan tekstil sektörünün hayatımızdan tamamen çıkartılması söz konusu değildir. Kaldı ki giyinme ihtiyacını karşılayan tekstil sektörü sadece bu alanda değil hemen hemen bütün sektörlerde ana kaynak olarak kullanılmaktadır. Bu durum tekstil sektörünün dünyada kontrolsüz bir şekilde büyümesine sebebiyet vermiştir. Burada esas dikkat edilmesi gereken konu “kontrolsüzlük”tür. Usule, mevzuata ve etik ilkelere uygun yapılan tekstil üretimlerinde meydana gelen çevre kirliliği minimum düzeydedir. Burada asıl zarar veren usule mevzuata ve temel ilkelere aykırı yapılan üretimlerdir.

Küresel ısınmanın etkilerinin dünyamızda artık her insan tarafından görülebilir, hissedilebilir hale gelmesi ile yıllar içerisinde bilinçsizce büyüyen bu sektörde son yıllarda çevre bilinci oluşmaya başlamıştır. Her ne kadar çevre bilinci son yıllarda oluşmaya başlamış ise de şahsım ve şirketim olarak vicdanen en rahat olduğumuz konulardan biri temiz üretim ve çevre konularıdır.

Kurucu ortağı olduğum Emre Tekstil Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., 1991 senesinde, İstanbul’da tekstil kimyasalları ve boyaları ithalatı ve ihracatı yapmak üzerine kuruldu. Sanayi hayatımız ise 2000 yılında Çerkezköy Organize Sanayi Bölgesinde kurduğumuz Kasar, Boya ve Apre işlemlerini yapan fabrikamız ile başladı. 2005 yılında yine Çerkezköy Organize Sanayi bölgesinde kasar, boya, apre ve çeşitli kumaşların örülmesi ve boyanması işlemlerini yapabilen ikinci tesisimiz kuruldu. 2016 yılında da entegre tesis haline gelmemizin en önemli adımı olan iplik fabrikamız kuruldu.

Büyümemiz bir yandan devam ederken, üretim sırasında doğal kaynakları en az şekilde kullanmak birinci hedefimiz oldu. Bu hedefimiz ve çabamızın mükafatı, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 2012 senesinde verilen “Doğal Kaynakları En Az Kullanan Örnek Fabrika” ödülü oldu.

2. Tekstilde Su Tüketimi

“Dünyadaki su rezervi 1.384.120.000 km³ olup, bunun %97.5’i deniz ve okyanuslardaki tuzlu sudur. Tuzlu suyun ise kullanılabilir hale gelebilmesi için arıtılması gerekmektedir. Bu işlem ekonomik açıdan maliyetli olup, aynı zamanda arıtma işleminin de çevreye zararı büyüktür. Kullanıma elverişli tatlı su oranı toplam suyun sadece %0,007’si kadardır.” (Kalaycı, Çağlarer, 2021, s.610).

Hal böyle iken dünyanın en büyük risk altındaki doğal kaynağının su olduğu söylenebilir. İnsanların günlük yaşamının her alanında ana kaynak olması bir yana, tekstilin temeli suya dayanmaktadır. Gerek üretim esnasında su ihtiyacını en aza indirerek, gerek ise üretim sonrasında arıtma proseslerini usule uygun gerçekleştirerek “yeşil sanayi” ideolojisinin benimsemeye başlanması gerekmektedir. Bu işlem ancak yeni teknolojik makineler, otomasyon, altyapı ve bilim ile mümkün olabilecektir.

Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, yeni teknoloji ile üretilen makineler eskisine göre çok daha az kaynak ile üretimi mümkün kılmaktadır.

İş hayatına başladığım 1980’li yıllarda 1 kilogram kumaşın boyanabilmesi için 500 L su harcanması gerekiyordu. Üretimdeki hata oranları ise %50 oranındaydı. Bu demek oluyor ki neredeyse üretim esnasında üretimden çıkan her iki partiden biri fire veriyordu. Bu kaynakların boşa harcanmasına sebebiyet vermekteydi. 1985 yılında yeni boyar maddelerin piyasaya girmesi ile ihracat taleplerinin karşılanması amacıyla Türkiye’de sessiz bir tekstil şahlanması yaşandı. Tekstil kalitesi gün geçtikçe artmaya başladı. Gerek tekstil yatırımlarının artması, gerek boyahane altyapı imkanlarının artması ile 1990’lı yıllara gelindiğinde 1 kilogram kumaşın boyanabilmesi için harcanması gereken su miktarı 200 L civarına, hata oranları ise %5 ile %10 oranlarına geriledi. 2000li yıllara gelindiğinde yeni teknolojik makinelerle tüketim 100-150 litrele, hata oranları ise %3 ile %5 oranlarına kadar indi. 2010’lu yıllarda boyahane altyapılarının daha da güçlendirilmesi ve makine parkurlarının en üst teknolojiye kadar yükseltilmesi ile 1 kilogram kumaş için harcanan su miktarı 40-50 litrele kadar geriledi, hata payı ise şu an %1’in altında seyretmektedir.

Teknolojinin geldiği bu aşamada harcanan su miktarının hâlâ istenilen seviyelere düşmediği düşüncesi ile yeni bir proje arayışına girdik. Şu an tesislerimizde proje aşamasında olan bu plan ile her bir üretim parkurunun sonuna bir havuz sistemi yerleştirmeyi hedefliyoruz. Üretimin aşamalarında kullanılan atıksuların bir sonraki aşamada kullanılmak üzere bu havuzda biriktirilmesini hedefliyoruz. Burada esas aldığımız temel, “karıştırmadan ayırtmak”tır. Üretim aşamalarında açığa çıkan “kullanılabilir durumdaki” suların biriktirilerek üretimin diğer aşamalarında tekrar kullanılabilmesini amaçlıyoruz. Böylece kilogram başına su harcamasının 15-20 litrele kadar düşebileceğini öngörmekteyiz. Henüz bu proje planlama aşamasında olduğundan, pratikte sağlanacak tasarruf üzerine kesin veriler elde edebilmiş değiliz.

Ancak teknolojik gelişmelerin yanı sıra firmaların kendi girişimleri ile de tasarruf ve çevre kirliliğini önleyici adımlar atabileceğini savunan bir sanayici olarak bu tarzda girişimlerin çoğalarak daha olumlu sonuçlar elde edeceğini düşünmekteyim.

Her ne kadar sanayi kuruluşlarının bir kısmı üretim sırasında kullanılan eski teknoloji makineleri değiştirmeyi bir maliyet olarak görmektedir ise de aslında bu yatırım, çevresel faydaların yanında her bir sanayi kuruluşuna bir tasarruf aracı olarak geri dönmektedir. Bu hususta yeni teknoloji makinelerine olan devlet teşvikleri de kullanılarak geri dönüşü kısa süreli olan yatırımlar yapılmalıdır.

Tekstilde su tasarrufu sağlayabilmenin en önemli unsurlarından biri de hata payını düşürmektir. Bunun için de tekstile bir bilim gözüyle bakarak temel alınması gereken hususları incelemek gerekir. Tekstilde kumaşın boyanması aslında bir kimyasal reaksiyondur ve bir reaksiyonun gerçekleşmesi için en elverişli şartların sağlanması gerekmektedir. İşte bu aşama tekstilin bilim aşamasıdır. Örneğin, kusursuz bir kumaş boyaması gerçekleştirebilmek için i leimde kullanılan suyun olabildiğince saf olması, saf tuz kullanımı, kumaşın  n işlemlerinin iyi yapılmış olması, kaliteli soda kullanımı, pH değerleri ve sıcaklık son derece önemlidir. Bu malzemeler eşliğinde gerçekleşen reaksiyonda hata payı sıfıra yakındır. Hata payının düşürülmesi  evre kirliliği açısından en önemli adımlardan biridir. Çünkü hatalı üretilen her ürünün telafi edilmesi için aynı işlem tekrarlanır. Bu durumda tek bir ürün elde edebilmek için iki kat ham madde, iki kat doğal kaynak tüketimi, iki kat i  gücü harcanmış olur. Dolayısıyla hatasız üretim için yeni teknoloji makinaların kullanılması yanında kaliteli ve doğru ham madde kullanımı da tasarruf ve  evre kirliliği açısından oldukça önemlidir.

3. Tekstilde Otomasyon

Makineleşmenin ilk örnekleri tekstil sektöründe ba lamı tır. 18. yüzyılın sonralarına doğru makinaların ipleri döndürüp kumaş dokuduğu tekstil fabrikalarında ba layan bu süreç, mevcut teknolojide tüm işlemin neredeyse insansız olarak yürütülmesini dahi mümkün kılacak hale getirmiştir.

Bu teknolojinin önemli bir sonucu da üretim sırasında hata payının yok denecek düzeyde azalmış olmasıdır. Bu durum ham maddelerin gereksiz kullanımının önüne geçmekte, gereksiz doğal kaynak tüketimini de engellemektedir.

Bir  rnek ile açıklayacak olur isek, sanayi tesisimizi otomasyon sisteme geçirmeden önce üretim esnasında kullanılan kimyasalların oranları insan gücüyle ayarlanmaktaydı. Kazan-kepçe usul  denilen bu yöntemde hata payı oldukça yüksekti. Oransal olarak çok dikkatli kullanılması gereken bu kimyasalların %0,01 oranındaki hatası bile üretimdeki dengeleri bozmaktadır ki böylesi bir hassas oranın hesaplanması insan gücü ile pek de mümkün değildir. Kaldı ki insan gücü ile ayarlanan bu oranlar, kumaş ve diğer emtiaların hatalı üretilmesine sebebiyet vermemiş olsa bile üretim sırasında kullanılan suyun daha fazla kimyasala maruz kalmasına sebebiyet vermekteydi. Bu da arıtım sürecini zorlaştıran bir durumdur.

Bu sebeple sanayi kuruluşlarının tamamen otomasyona entegre olması daha az ham madde ve daha az enerji harcaması ile daha fazla emtia üretimine imkan sağlamaktadır. Bu durum sanayi kuruluşlarının çevreye daha az zararlı hatta zararsız üretim yapmasını mümkün kılmaktadır.

Otomasyonun birçok yan faydası da vardır. Düşük maliyet ile emtia  retilimi sağlar, i  i ihtiya ını en aza indirgeyerek üretim maliyetinin d  mesine, üretim sürelerinin azalmasına yardımcı olur. Hızlı teslimat ile ekonomik açıdan nakit akışını hızlandırır.

Otomasyonun önemli bir sermaye gerektirdiği aşıkardır, ancak faydaları kısa sürede görülmektedir. Kaldı ki sadece çevresel faydaları göz önünde bulundurularak bile öncelikli yatırım yapılması gereken bir alandır. Çünkü tekstil insanlık devam ettiği sürece insanlığın muhtaç olacağı bir sektördür. Aynı zamanda dünyada birçok insanın da önemli bir geçim kaynağıdır. Dolayısıyla sektörün devamlılığı açısından her sanayicinin elini taşın altına koyup, bu gibi yatırımlar ile sektörün ömrünü uzatması gerekmektedir. Bu gibi yatırımlar kısa vadede külfet gibi görünse de uzun vadede sanayiye büyük faydalar sağlayacaktır.

4. Tekstilde Arıtma

“Tekstil tesislerinden kaynaklanan atık sular yüksek konsantrasyonlarda boya, KOI, BOI ve askıda atık madde içerir. Yüksek oranda KOI ve renk içeren maddeler atıksuyu estetik açıdan bozulmasına neden olarak normal hayat için gerekli olan çözünmüş oksijen miktarını azaltır ve atıksuyun arıtımını daha zor bir hale getirir.” (Dörtyol M. 2014, s. 86).

Özellikle renkli tekstil atıksuları arıtılmadan deşarj edildiğinde çevreyi tehdit etmektedir (Namal, 2017). Günümüzde faaliyet gösteren birçok tekstil tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerin büyük çoğunluğunda renkli boya kullanılmakta olup, en yüksek kimyasal atık bu boyaların kullanıldığı tesislerden çıkmaktadır. Bu atıkların kontrolsüz bir şekilde doğaya salınması büyük çevre katliamlarına sebep olmaktadır. Bu durumun önüne geçebilecek en iyi önlem mevzuata uygun işleyen bir arıtma tesisine sahip olan işletmeler kurmak ve bunların denetimlerinin sıkı şekilde hatasız ilerlemesine uygun zemin hazırlamaktır.

Pratikte bu denetimi yapabilmenin tek yolu sadece organize bir düzen içerisinde faaliyet sürdürülmesine izin verilmesidir. Organize Sanayi Bölgelerindeki sanayi tesislerinde atıksular ortak arıtma alanında toplanmakta ve arıtılmaktadır. Bu ortam, kontrolü daha mümkün hale getirmektedir. Ancak Organize Sanayi Bölgeleri dışında faaliyet gösteren sanayi tesislerinin arıtma işlemlerini bireysel olarak gerçekleştirmesi denetimi imkansız hale getirmektedir. Dolayısıyla bu konuda esas dikkat edilmesi gereken konu sanayi tesislerinin, altyapı imkan ve olanaklarının sanayi üretimine göre entegre edildiği Organize Sanayi Bölgelerinde kurulmasının zorunlu hale getirilerek, denetiminin devamlılık arz etmesidir.

5. Tekstilde Baca Emisyonu

“Tekstil fabrikalarının kumaş boyahanelerinde uygulanan termofikse (özellikle ön fikse) ve kurutma işlemleri sırasında ram makinelerinin bacalarından atmosfere atılan dumanın içinde bol miktarda yağ zerrecikleri ve zararlı tozlar bulunmaktadır. Bu işlem sırasında kumaşın cinsine bağlı olarak bacadan atılan yağ miktarı da değişkenlik göstermektedir. Bu yanmış yağ ve tozlardan kaynaklı yoğun bir koku emisyonu oluşmaktadır. Ayrıca bu yağlar bacalardan sızarak birikmekte ve çevresel kirliliğe sebep olmaktadır.” (Elitaş, 2018, s. 143).

Tekstilin çevreyi kirlletmeyen yatkın alanı olan üretim evresi boyahanelerdir. Dolayısıyla alınan önlemlerin büyük bir çoğunluğu bu alana yoğunlaşmaktadır. Mevzuat gereği tesislere konulması zorunlu tutulan baca filtrelerinin yanında aynı zamanda yeni düzenlemelerle ram öncesi ön yıkama işlemi zorunlu hale getirilmiştir. Çünkü kumaşın içerisinde bulunan yağ zerrecikleri ısı ile birlikte yanıcı hale gelerek yoğun kimyasal salgılanmasına ve koku emisyonuna sebebiyet vermekte ve filtreleme bile bazı durumlarda yetersiz kalabilmektedir. Bu sebep ile ram öncesi ön yıkama işlemi ile kumaş içerisindeki bu yağ ve toz zerrecikleri azaltılmaktadır. Dolayısıyla bacalardan sızma riski olan yağ ve toz zerreciklerinin en aza indirgenmesi hedeflenmektedir. Sanayi tesislerinin filtreli bacalarından çıkan gazlar denetime tabi tutularak filtrelerin sağlıklı çalışıp çalışmadığı, usulüne uygun işlem yapılp yapılmadığı kontrol edilir. Bu açıdan bakıldığında denetimin sıkı olabilmesi, sürekli takip açısından yine tekstil, boyahane gibi uygulama hataları ile yoğun evre kirliliği oluşturacak tesislerin, denetimin yoğun olduğu, Organize Sanayi Bölgelerinde konumlandırılmasının zorunlu tutulmasını desteklemektedirim.

Doğalgaz kaynaklarının hızla tüketilmesi, dünyanın bugün geldiği politik konum itibariyle günümüzde sanayi sektöründe, doğalgaz yerine alternatif yakıt türlerine yönelinmesine sebebiyet vermiştir. Bunlardan en çevreci olanları biyokütle atıklarıdır. Saman, odun, fındık kabuğu gibi alternatiflerin pelet haline getirilmesi ile sanayi sektörünün doğalgaz ihtiyaı hem daha çevreci hem de daha ekonomik açıdan karşılanabilmektedir. Dolayısıyla yeni yönelimlerin biyokütle atıklarına doğru olması gerektiğini dşnmektedirim.

6. Toplum Alışkanlıklarının Değiştirilmesi

Dünyada hızla artan nüfus, güncel moda politikaları toplumun tüketim odaklı hareket etmesine sebebiyet vermektedir. Üretim odaklı dünya görüşü kapitalizmin etkisiyle tüketim odaklı hale gelmiştir.

“Günümüzde artık üretim odaklı olan modernizmden ziyade tüketim odaklı postmodernizmin başarısından söz edilmektedir. Yeni retim gleri topluma nasıl tüketeceğini de öğretmektedir. Kapitalizm ruhuna sahip olan tüketim toplumuna sürekli tüketme komutu verilmektedir.” (Dal, 2017, s. 2).

Topluma yıllar içerisinde tüketilerek mutlu olunabileceği, malvarlığı oranında mutluluk edinileceği düşüncesi aşılanmaktadır. Özellikle son dönemlerde sosyal medyanın yoğun olarak kullanılmaya başlanması ile moda sektörünün izlediği politikalar birleşerek toplum düzenini tüketim üzerine temellendirmeyi esas almaktadır.

Tüketimin arttırılarak üretim artmasının hedeflenmekte olduğu bir dünya düzeninde sanayicilerin evre adına tek başına aldığı önemlerin yeterli olmadığı aşıkardır. Tekstil sektörü özelinde bakıldığında, dünyada moda anlayışı değişmediği sürece, sanayide evre kirliliğinin tamamen önlenmesi mümkün değildir. Bu noktada önce toplum bilinlenmelidir.

Şekil 1’de Şili’nin Atmaca Çölünde yer alan dev kıyafet çöplüğü görülmektedir. Çölün ortasındaki tekstil çöplüğünde 2019 yılı itibariyle 39 bin tonluk dev bir yığın bulunmaktadır. Bunlar hiç giyilmemiş, tüketiciyle hiç buluşmamış ürünlerdir. Bunların her biri dünya için yerine koyulamayacak bir değeri temsil etmektedir. Üretimi için harcanan doğal kaynak, iş gücü, çevre kirliliği ayrı ayrı üzerinde düşünülmesi gereken hususlardır. Moda sektörünün geldiği bu durumda tesislerin alması gereken önlemler küçük bir detay olarak kalmaktadır. Bu kirliliğin önlenebilmesi için öncelikle toplum kültürünün değiştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 1. Şili’nin Atmaca Çölünde yer alan dev kıyafet çöplüğü

Pandeminin yaşandığı ve neredeyse bütün dünyada üretimin son yılların en düşük seviyesine çekildiği senelerde çevre kirliliği en aza inmiş durumdaydı. Aynı zamanda ekonomik kriz dönemleri incelendiğinde de çevre kirliliğinin diğer dönemlere göre azaldığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi alım gücünün düşmüş olmasıdır. Sanayi arz talep üzerine kuruludur. Talep edilmesi gerekir ki üretim olsun. Dolayısıyla öncelikle bu konuda toplumun bilinçlendirilmesi hedef alınmalıdır.

Ancak bu bilinçlenme sadece tüketimi azaltmak olarak düşünülmemelidir. Tüketilen ürünün daha çevreci olması da yayılması gereken bir bilinçtir. İkinci ellere taleplerin artması, geri dönüştürülmüş iplik ve kumaşlardan üretilen ürünlere taleplerin artması, kullanılan tekstil ürünlerinin renk seçimine dahi dikkat edilmesi gerekmektedir. Beyaz bir kumaşın üretim aşamasında ortaya çıkardığı kirlilik ile siyah veya renkli bir kumaşın ortaya çıkardığı kirlilik aynı değildir. Toplum bu yönde bilinçlenmelidir. Sonuç olarak bakıldığında sanayicinin yaptığı ürünler talep ile bağlıdır. Dolayısıyla tekstil özelinde konuşulduğu zaman kirliliği engellenmenin, önüne geçmenin yolu sadece sanayici üzerinde olmamalı, tüketim toplumunun bilinçlenmesi gerekmektedir.

Son zamanlarda küçük bir topluluğun başlattığı minimalist yaşamın dünyada daha yaygın hale gelmesi tekstil sektöründe de kirliliğin azalmasına sebebiyet verecektir. Bir kişinin hayatını devam ettirebilmesi için kaç adet tekstil ürünü yeterlidir? Bu soruya insanların dürüst cevap vermesi gerekmektedir. Bir kişinin 5 adet tişörtünün olması ile 50 adet tişörtünün olması açısından prestij farkı olabilir belki ancak yaşanabilir bir dünya olmadığında bu prestijin herhangi bir değerinin de olmayacağı aşıkardır.

Dolayısıyla yukarıda anlatılan diğer önlemler bir yana, alınacak en büyük önlemlerden birinin de toplum kültürünün değiştirilmesi olduğunun koyu bir savunucusuyum.

7. Kaynaklar / References

- Dal, N. E. “Tüketim Toplumu Ve Tüketim Toplumuna Yöneltilen Eleştiriler Üzerine Bir Tartışma” Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi Cilt.9 Sayı.19 2017 – Haziran
- Dörtkol M., “Doğal ve Modifiye Kil ile Sulu Çözeltilerden Boyar Madde Giderimi” Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Nevşehir, 2014
- Elitaş A.C., Topaç Şağban F.O.:Tekstil Ramöz Bacasından Kaynaklanan Kirliliğe Önlem Olarak Oluşturulan Filtrasyon Sisteminin Değerlendirilmesi - Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 23, Sayı 2, 2018, DOI: 10.17482/uumfd.332228
- Kalaycı E, Çağlar E. : Tekstilde Boyama Atık Suyundan Isı Geri Kazanımı: Gerçek İşletme Örneği Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 26, Sayı 2, 2021 DOI: 10.17482/uumfd.874025
- Namal, O. Ö. “Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Kullanılan Proseslerin Araştırılması”, Yıl 2017 Cilt 6, 388 - 396, 27.12.2017 Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Nevşehir, DOI: 10.17100/nevbittek.322169
- Senemoğlu O. “Tüketim, Tüketim Toplumu ve Tüketim Kültürü: Karşılaştırmalı Bir Analiz” Yıl/Year 4, Sayı/Issue 12, Bahar/Spring 2017, 66-86 e-ISSN: 2148-7537

Yazar Hakkında / About Author

Mustafa Gürdal ADAL | Emre Tekstil | gurdaladal[at]hotmail.com

1962 yılında İstanbul'un Fatih ilçesinde doğdu. İlkokulu Hekimoğlu Alipaşa İlkokulu, orta ve lise öğrenimini Davutpaşa Lisesinde 1979 yılında tamamladı. Aynı yıl kazandığı İstanbul Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünden 1983 yılında mezun oldu. Mezuniyetini takiben tekstil sektöründe çeşitli alanlarda çalıştıktan sonra, 1991 yılında Emre Tekstil Kimya Sanayi Ticaret Limited Şirketi'ni kurdu. İstanbul'da kurulan ve tekstil kimyasalları ve boya ithalatı ve ihracatı üzerine faaliyet göstermekte olan şirket , 1999 yılında Çerkezköy Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyete başlayan kasar, boya, apre işlemleri yapan ilk fabrika ile sanayi sektöründe giriş yaptı. Daha sonrasında örme fabrikası, devamında ise entegre bir tesis olmanın en önemli adımı olan iplik fabrikasını kurdu. Tekstil sektöründeki faaliyetlerinin yanı sıra inşaat sektöründe de faaliyet göstermekte olan Seg Boya Kimya Tekstil Sanayi Limited Şirketi'nde kurucu ortak olarak inşaat sektöründe başarılı projeler çıkarmaktadır. İş hayatı devam ederken bir yandan da 2005/2015 Yolları arasında Çerkezköy Organize Sanayi Bölgesi yönetiminde Başkan Vekilliği görevini ifa eden Mustafa Gürdal Adal evli, iki çocuk sahibi ve halen İstanbul'da yaşamaktadır.

Mustafa Gürdal ADAL | Emre Textile | gurdaladal[at]hotmail.com

He was born in 1962 in Fatih, Istanbul. He completed his primary school at Hekimoğlu Alipaşa Primary School and his secondary and high school education at Davutpaşa High School in 1979. He graduated from Istanbul University, Chemical Engineering in 1983. After working in various fields in the textile industry following his graduation, he established Emre Tekstil Kimya Sanayi Ticaret Limited Şirketi in 1991 which. The company, which operates on the import and export of textile chemicals and dyes, entered the industrial sector with the first factory that started its operations in Çerkezköy Organized Industrial Zone in 1999, which makes bleaching, dyeing and finishing operations. Later on, he established a knitting factory and then a yarn factory, which is the most important step of being an integrated facility. In addition to its activities in the textile sector, he is a founding partner of Seg Boya Kimya Tekstil Sanayi Limited Şirketi, which operates in the construction sector, produces successful projects in sector. While his business life continues, Mustafa Gürdal Adal, who served as the Deputy Chairman in the management of the Çerkezköy Organized Industrial Zone between 2005 and 2015. He is married, has two children and still lives in Istanbul.

SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ ÜRETİMİ

SUSTAINABLE ENERGY PRODUCTION

Azize AYOL
Özgün TEZER

SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ ÜRETİMİ

Azize AYOL

Dokuz Eylül Üniversitesi

Özgün TEZER

Dokuz Eylül Üniversitesi

Özet

Küresel kalkınma ve ekonominin gerektirdiği enerji talebinin karşılanması ve bunun yanında çevresel etkilerin değerlendirilerek sürdürülebilir enerji sistemlerinin uygulanması hem ülkemizde hem de tüm dünyada önemli bir politika gündemi oluşturmaktadır. Artan nüfusun ihtiyaçları karşılanırken, çevreye ve doğal kaynaklara verilen zararlar erken dönemde göz ardı edilmiş olup, bu yaklaşım günümüzde önemli küresel çevre sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Dünyanın birincil yakıt kaynakları olarak görülen fosil kaynakların azalması, kullanıldığında ise küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi çevreye verdiği zararlar düşünüldüğünde, yenilenebilir kaynaklara olan ilgi artmıştır. Bununla birlikte bu kaynakların sürdürülebilirlik açısından akılcı planlamalar ile kısa ve uzun vadede hem gerekli enerjiyi karşılamak hem mevcut çevresel etkileri azaltmak konusu oldukça önem kazanmıştır. Bir ülkenin kalkınma seviyesini gösteren en önemli parametrelerden biri olan enerji üretimi, geleneksel yöntemlerin dışında sürdürülebilir bir yaklaşım ile çevre ve insan dostu yöntemler ile sağlanması günümüzde kaçınılmaz bir durum haline gelmiştir. Bu çalışmada, sürdürülebilir enerji üretiminin önemi, Dünya ve Türkiye'deki mevcut durum ve sistemlerin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler

Sürdürülebilirlik, Enerji, Yenilenebilir enerji kaynakları, Sıfır atık

SUSTAINABLE ENERGY PRODUCTION

Azize AYOL

Dokuz Eylül University

Özgün TEZER

Dokuz Eylül University

Abstract

Meeting the growing global energy demand and implementing sustainable energy systems that consider environmental impacts are critical policy agendas in both our country and around the world. In the early stages of meeting the needs of the growing population, environmental damages and depletion of natural resources were often ignored, leading to significant global environmental problems today. With the decline of fossil fuel resources, which have been the primary source of energy worldwide, and the harmful environmental effects they cause such as global warming and climate change, interest in renewable resources has increased. However, ensuring the sustainability of these resources requires rational planning to meet short and long-term energy demands while reducing their environmental impact. Today, sustainable and environmentally-friendly methods for energy production have become an inevitable necessity, in addition to traditional methods, in showcasing the development level of a country. This study evaluates the importance of sustainable energy production, the current status and systems worldwide and in Türkiye.

Keywords

Sustainability, Energy, Renewable energy sources, Zero waste

1. Giriş

Dünyada ve ülkemizde gerekli enerji talebinin karşılanması için temiz ve yenilenebilir enerjiye geçiş yapılmaya başlanmıştır. Küresel ısınmanın etkilerini azaltmak ve önlemek için, 2031 yılına kadar tüm enerji ve enerji dışı fosil yakıtların ve biyoyakıt emisyonlarının en az %80'inin ve en geç 2050'ye kadar %100'ünün durdurulması gerekmektedir (Jacobson vd., 2019). Dünyada 2050 yılına kadar 9,7 milyara ulaşması muhtemel bir nüfus artışı beklenmektedir (Ayorloo vd., 2022). Nüfusun sürekli artması, diğer birçok ihtiyaçta olduğu gibi enerjide de tüketim ve talebin artmasına neden olmaktadır. Özellikle hızlı sanayileşme ve küresel ekonomik büyüme, enerji tüketimini artırmaktadır (Chen vd., 2015). Nüfus artışına bağlı olarak kişi başına düşen küresel enerji talebinin artması, fosil yakıtların, yenilenebilir alternatiflerinin kaçınılmaz olarak ikame edilmesini daha belirgin hale getirmektedir (Lobata-Peralta vd., 2021). Fosil yakıtlardan elde edilen enerji arzının çoğuna (yaklaşık %80'i), halen en önemli enerji kaynağı olarak petrolün hâkim olduğu söylenebilir (Gajera vd., 2020). Fosil yakıtların yoğun tüketimi nedeniyle, enerji kıtlığı, küresel ısınma ve partiküler madde gibi çevresel sorunlar son yirmi yılda önemli çevre sorunları olarak yerini almıştır (Park vd., 2019). Ayrıca, son yıllarda teknolojik gelişmelerle birlikte de bu çevresel sorunlar, kirlilik ve toksisite nedeniyle sağlık problemlerinde artışlar ortaya çıkmıştır (Chinas-Palacios vd., 2021). Tüm bu talebi karşılamak amacıyla yapılan enerji yatırımlarında çevresel problemleri en aza indirecek çözüm arayışlarının da arttığı gözlemlenmektedir. Bu alanda da sürdürülebilir kalkınma, yalnızca ekolojik yönden değil; ekonomik ve sosyal yönlerden de önemli bir yere sahiptir (Fytili & Zabaniotou, 2008).

Geleneksel enerji kaynaklarının korunumu sağlanırken, yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili yatırımlar teşvik edilmektedir. Sürdürülebilir kalkınma kavramının bugünkü anlamıyla tanımlanması Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun 1987 yılında yayınladığı Ortak Geleceğimiz raporunda yapılmıştır. Sürdürülebilir kalkınma, bugünün ihtiyaçlarını, gelecek kuşakların da kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin sağlamaktır. Yenilenebilir kaynaklardan enerji, yakıt, ekonomik değeri yüksek kimyasallar ve ileri malzemelerin üretimine yönelik araştırmalar, tüm dünyada enerji ve ekonomik güvenliğin yanı sıra çevresel kazanımların sağlanması açısından öncelikli araştırma konuları arasında yerini almıştır. Bu sebeple araştırmaların odak noktası kademeli olarak temiz, yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanımına kaymış ve enerji yapısının geliştirilmesine yönelmiştir (Ren vd., 2019). Son otuz yılda, sürdürülebilir kalkınma, çevresel ve sosyo-ekonomik kalkınmaya ilişkin temel uluslararası ve ulusal politika girişimlerini destekleyen bir ana akım kavram haline gelmiştir. Yüzyılın başında Binyıl Kalkınma Hedefleri (Millennium Development Goals, MDGs) gibi büyük sürdürülebilirlik gündeminin uygulanması ve ardından 2015 yılında Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'nin (Sustainable Developments Goals, SDGs) kabul edilmesi bu konseptte dayanmaktadır. İklim değişikliği ve küresel nüfus artışı, sürdürülebilirlik sorunlarının üstesinden gelmek ve daha sürdürülebilir bir gelecek sağlamak için bütüncül yaklaşımların geliştirilmesine odaklanmıştır. Bu bakımdan, enerji üretim sistemlerinin sürdürülebilirliği, bu büyük sürdürülebilirlik zorluklarının merkezi haline gelmiştir (Turkson vd., 2020). Nitekim Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'nin yedinci hedefi, 2030 yılına kadar herkes için uygun

fiyatlı, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerji hizmetlerinin evrensel olarak erişilebilir olduğu bir dünyayı tasvir etmektedir. Bu çerçevede sürdürülebilir enerji sistemi üç unsuru karşılamalıdır: enerji ihtiyaçlarını karşılama, enerji adaletini sağlama ve çevresel sınırlara saygı duyma (Holden, Linnerud & Rygg, 2021). Bu çalışma, enerji üretiminin önemini, Dünya ve Türkiye’deki mevcut durum ve enerji sistemlerinin değerlendirilmesini sürdürülebilir bir enerji üretimi kapsamında ele almaktadır.

2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Dünyada ve Ülkemizde Yenilenebilir Enerji Uygulamaları

Yenilenebilir kaynaklar, çevre dostu bir enerji kaynağı olarak dünya çapında dikkatleri üzerine çekmektedir (Jeong vd., 2020). Yenilenebilir enerji kaynakları, geleneksel bir enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtların tükenmesi ve aşırı kullanımı nedeniyle çevreye verdikleri zarar dikkate alındığında, önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Bu kaynakların başında gelen güneş enerjisi; zararlı atık oluşturmaması, kurulumunun ve kullanımının kolay olması gibi özelliklere sahiptir. Dünyada hemen hemen her ülkede güneş enerjisi kullanılmakta ve elektrik üretimi sağlanmaktadır. Dünyadaki şebekeye bağlı diğer bir deyişle on-grid sistemlere bakıldığında, kurulu güç lideri 78 GW üretim ile Çin gelmektedir. Daha sonra Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve Almanya sırasıyla takip etmektedir (www.enerjiatlası.com). Haziran 2022 tarihi itibarıyla Türkiye’de 8.275 MW kurulu güç bulunmaktadır (<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>, 15.03.2023). Ülkemizin bulunduğu jeopolitik konum sayesinde güneşli gün sayısının diğer Avrupa ülkelerine göre oldukça fazla olması, güneş enerjisinin kullanımı açısından avantaj sayılmaktadır. Türkiye’de bölgeler bazında inceleme yapıldığında yıllık toplam güneşlenme süresi en yüksek bölgemiz Güneydoğu Anadolu Bölgesi’dir ve bunu sırasıyla Akdeniz, Ege ve İç Anadolu bölgeleri takip etmektedir. Güneş enerjisi santralleri genel olarak iki temel prensip ile çalışmaktadır. Bunların ilki fotovoltaiik sistemler, diğeri ise termal sistemlerdir (www.enerjiatlası.com). Güneş panellerinin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, sürekli enerji depolama durumunun olmaması ve ışıının kış aylarında daha az ve geceleri de olmaması başlıca dezavantajları arasındadır. Diğer bir yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisine ilgi son yıllarda çevre korumadaki üstün avantajları nedeniyle hızla artmıştır (Liu vd., 2023). Son zamanlarda, aşırı hava olaylarının sık sık meydana gelmesi, rüzgâr enerjisinin değişkenliğinin ve kesintiliğinin artmasına neden olmaktadır. Bu durum, güç sisteminin gerçek zamanlı olarak dengelenmesini daha da zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, rüzgâr enerjisi tahmininin doğruluğunun artırılması, enerjinin dengeli dağıtımı ve güç sisteminin kararlı çalışması için kilit bir rol oynamaktadır (Zheng vd., 2023). Türkiye’de bulunan mevcut rüzgâr enerji santrallerinin toplam kurulu gücü 10.930 MW’dır. 2021 yılında rüzgâr enerji santralleri ile toplamda 31.137.427.230 KWh elektrik üretimi yapılmıştır (www.enerjiatlası.com, 15.03.2023). Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı daha yaygın olmakla birlikte, biyokütle enerjisi son yıllarda önemli bir konu haline gelmiştir. Özellikle güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisinin 24 saat devamlılığının sağlanamaması ve şartlara göre değişkenlik göstermesi önemli dezavantajlar arasındadır. Bu önemli kaynaklar arasında, karbon enerjisi olarak biyokütle, sürdürülebilir bir kaynak olup

düşük kirletici içeriğine sahip ve oldukça farklı çeşitliliğe sahiptir (Ren vd., 2019). Biyokütlenin en büyük avantajı sürekliliğinin olması ve çok yönlü bir kaynak olmasıdır. En çevre dostu kaynaklardan biri olan biyokütle, dünya çapında neredeyse %14 oranında enerji sağlamaktadır (Yang vd., 2021). Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü (OPEC) tarafından yayınlanan istatistiki verilere göre; 2018 yılında günde 27,5 milyon varil petrol eşdeğeri olan biyokütle enerjisine yönelik küresel talebin, 2040 yılında günde 34,5 milyon varil petrol eşdeğerine çıkması beklenmektedir. Ayrıca, Uluslararası Enerji Ajansı tahminine göre, 2050 yılına kadar küresel enerji tüketiminin %27'si sürdürülebilir bir şekilde biyokütle kaynaklarından sağlanabilecektir (Shahbeik vd., 2022). Fosil yakıtlara alternatif olarak birincil enerji kaynağı olan biyokütlenin birçok avantajı vardır. Bunlar arasında en önemlisi, biyokütle kullanımı sırasında atmosferdeki CO₂ miktarının artmamasıdır. Çünkü yenilenebilir enerji kaynakları karbon nötr olarak kabul edilmektedir. Diğer bir avantaj ise biyokütle, ısı, enerji, gaz ve yakıta dönüştürülebilen uygun bir hammadde olarak kabul edilmektedir (Gasparaovic vd., 2011). Yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak, biyokütle enerji geri kazanımına uygulanabilir. Ancak, sürdürülebilir çözümler üretmek için ekonomik, akıllı ve yenilikçi araştırmalara ihtiyaç vardır. Özellikle yenilenebilir bir hammadde olarak biyokütle, enerji ve kimyasallar sağlayabilir ve enerji kaynağı olarak kısmen fosil yakıtların yerini alabilir (Jeong vd., 2020). Biyokütle, çeşitli enerji uygulamaları için katı, sıvı ve gazlı ürünlere dönüştürülebildiği için, fosil yakıtların kullanımını azaltmak ve değiştirmek için en çekici ve gelecek vaat eden yenilenebilir enerji olarak kabul edilmektedir. Yaygın olarak bulunmasına ve şu anda kömür, ham petrol ve doğal gazdan sonra dördüncü en büyük enerji kaynağı olmasına rağmen, aynı zamanda dünyanın nihai enerji tüketiminin yaklaşık %14'ünü sağlamaktadır (Situmurang vd., 2019). Biyokütle enerjisi ve ürünleri pazarının 2030 yılına kadar küresel olarak 1,3 trilyon ABD Doları olacağı tahmin edilmektedir (www.fpac.ca/canadianforestry-industry/forest-products, 14.02.2019). Bu nedenle fosil kaynaklı kaynaklar yerine biyokütle bazlı kaynaklardan çevresel olarak sürdürülebilir, düşük maliyetli enerji ve ürünlerin üretimine yönelik teknolojilerin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Ayrıca, dünya çapındaki iklim değişikliği nedeniyle biyokütle temelli kaynaklardan enerji/materiyal geri kazanımı karbon ayak izi açısından büyük faydalar sağlayacaktır (Yang vd., 2019; Chen vd., 2019). Biyokütleyi enerjiye dönüştürmenin termokimyasal, biyokimyasal ve mekanik ekstraksiyon dâhil olmak üzere başlıca üç yolu vardır. Yakma, piroliz ve gazlaştırma prosesleri termokimyasal dönüşüm teknolojileri olarak tanımlanmaktadır (Ren vd., 2020). Termokimyasal dönüşüm süreçleri genellikle teknik olarak daha değerli olan ısı veya katı petrol gazı veya biyoyağ dönüşümünü içermektedir. Biyokütle gazlaştırma, enerji üretimi ve nakliyesi için alternatif, çevre dostu yakıtlar üretme yöntemidir. Termokimyasal bir süreç olarak gazlaştırmanın katı biyokütleyi yakıta dönüştürdüğü yaygın olarak bilinmektedir (Chen vd., 2019). Bu işlem, katı biyokütlenin yüksek sıcaklıklarda kısmi oksidasyon yoluyla değerli bir sentez gazına veya gaz yakıta dönüştürüldüğü dolaylı bir yakma işlemidir (Saleem vd., 2020). Bu bağlamda, biyokütle gazlaştırma, özellikle esnek rotaların oluşturulmasına izin verdiği için düşük maliyetli bir işlem seçeneği olarak görülebilir (AlNouss vd., 2020). Biyokütleden enerji elde etme yöntemleri arasında gazlaştırma en uygun maliyetli ve verimli süreç olarak kabul edilir (Situmurang vd., 2019; Saleem vd., 2020). Diğer bir temiz enerji kaynağı olan hidrojen enerjisi son yıllarda

büyük önem kazanmıştır. Hidrojen enerjisi, çevresel emisyonlar, sürdürülebilirlik ve enerji güvenliği açısından önemli bir bileşeni olarak kabul edilmektedir. Hidrojen, başta doğal gaz, kömür, biyokütle, nükleer enerji olmak üzere çeşitli uygulamalarla üretilebilmektedir. Fosil yakıtların yanlış kullanımı ve iklim değişikliği nedeniyle, birçok gelişmiş ülke düşük karbonlu bir enerji elde etme yöntemlerine geçiş yapmaktadır. Enerji altyapılarını optimize etmek için döngüsel (mevcut malzemeleri ve ürünleri daha uzun bir döngü için paylaşmayı, onarmayı, yenilemeyi, kiralamayı, yeniden kullanmayı ve geri dönüştürmeyi içeren üretim ve tüketim modeli) ekonomi hidrojen enerjisine öncelik vermektedir (Kakran vd., 2023). Hidrojen üretmek ve uygun yönleri olanlardan yararlanmak için çok sayıda teknik mevcuttur. Ana hidrojen kaynağı, hidrojenin %96'sının üretildiği endüstriyel buhar reformasyonu yöntemidir. Fosil yakıt stoklarından hidrojen çıkarmak için köklü bir teknolojidir. Her yıl ABD'nin yaklaşık 10 milyon ton hidrojen ihtiyacı buhar reformasyonu ile karşılanmaktadır. Kalan %4 hidrojen ise elektroliz işlemi ile üretilebilir. Elektroliz işlemi en önemli ve gelişen teknolojidir. Bu yöntemde elektrik enerjisi kullanılarak su hidrojen/oksijene ayrıştırılabilir. Termokimyasal, rüzgâr, biyokütle gazlaştırma ve güneş radyasyonu gibi diğer yöntemler ön araştırma düzeyindedir.: Hidrojenin kantitatif üretimi için daha fazla deneysel kanıta ihtiyaç duymasına rağmen önemli bir araştırma konusudur. Hidrojen olası bir yakıt olarak düşünülebilir, ancak ticari olarak uygulanabilir hale getirmek için araştırma ve uygulama çalışmalarına devam edilmesi gerekmektedir (Nagar vd., 2023). Güneş ve hidrojen zamanın başlangıcından beri birbirine bağlantılıdır ve sonsuza kadar birlikte enerji üretmeye devam edecektir. Hidrojen enerjisi için sürdürülebilir enerji zinciri, enerji taşıyıcısı olarak hidrojen elde etmek için güneş ışığının veya diğer enerji kaynaklarının toplanmasını içermektedir. Bu enerji taşıyıcısının depolanması, dağıtımı ve kullanımı ya yakıt hücrelerine ya da yanmaya odaklanmış durumdadır. Solar hidrojen, yeşil ve temiz bir enerji taşıyıcısıdır. Elektrolitik hidrojen, sudan üretilir ve daha sonra tekrar suya dönüştürülür. Solar hidrojen, tüm enerji dönüşüm zinciri boyunca çevre dostudur. Su elektrolizi, hidrojen üretmek için yaygın olarak kullanılan bir endüstriyel teknolojidir. Fotoelektron kimyası potansiyel olarak güneş enerjisini depolanabilir bir enerji kaynağı olarak doğrudan hidrojene dönüştürebilir. Büyük boyutlu elektrolizörler, yenilenebilir kesintilerin azaltılması açısından önemli faydalar sağlayabilirken, aynı zamanda ulaşım sektöründeki emisyon azaltımları için hidrojen arabalarının kullanımını arttırmaktadır (Kakran vd., 2023).

3. Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Türkiye'nin Enerji Üretimi Üzerindeki Etkisi

Aralık 2019'da Avrupa Birliği, iklim ve çevre ile ilgili zorluklarla mücadele planlarını içeren Avrupa Yeşil Mutabakatı yayınladı. Bu eylem planı ile birlikte, iklim değişikliğine, çevresel risklere ve ormanların ve okyanusların kirlenmesine bir yanıt olarak, 2050 yılına kadar Avrupa Birliği'nin modern, kaynakları verimli kullanan ve rekabetçi bir ekonomi ile adil ve müreffeh bir topluma dönüşmesi hedeflenmektedir (Hainsch vd., 2022). Avrupa Birliği'ni tamamen karbondan arındırılmış bir ekonomiye dönüştürmeye yönelik bu temel politika stratejisinin enerji sektörüne yönelik hedefleri, önceki Juncker Komisyonu tarafından izlenen Enerji Birliği stratejisine dayanmaktadır (Ringel, Bruch, & Knodt, 2021). Ülkemiz için Yeşil Mutabakat eylem planı kapsamında belirlenen hedefler (1) sınırdaki karbon düzenlemeleri, (2)

yeşil ve dögüsel bir ekonomi, (3) yeşil finansman, (4) temiz, ekonomik ve güvenli enerji arzı, (5) sürdürülebilir tarım, (6) sürdürülebilir akıllı ulaşım, (7) iklim değışikliğı ile mücadele, (8) diplomasi ve (9) Avrupa Yeşil Mutabakatı bilgilendirme ve bilinçlendirme faaliyetleridir. Bu kapsamda 9 ana başlık altında toplamda 32 hedef ve 81 eylemi içeren eylem planına ulaşılması hedeflenmektedir (Yeşil Mutabakat Eylem Planı, 2021).

Üretilen enerjinin, elektrik enerjisi gibi ikincil enerji kaynaklarına dönüştürülmesi, sürdürülebilirlik açısından oldukça önemli bir prosestir. Çünkü bu dönüşüm prosesinin seçimi ve sonrasında elektrik enerjisinin kullanımı antropojenik bir emisyon oluşturmaktadır. Sürdürülebilir bir konseptte enerji verimliliğinin optimize edilerek ve oluşan emisyonların kontrolü ve sınırlaması sağlanmalıdır. Türkiye’de 2022 yılında elektrik üretiminin, %34’si kömürden, %22,2’si doğal gazdan, %20,6’sı hidrolik enerjiden, %10,8’i rüzgârdan, %4,7’si güneşten, %3,3’ü jeotermal enerjiden ve %3,7’si diğer kaynaklardan elde edilmiştir (<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>, 15.03.2023).

4. Genel Değerlendirme

Günden güne azalan fosil yakıt rezervleri, bunların kullanımına bağlı emisyonlar ile birlikte küresel ısınmanın getirdiğı çevresel sorunlara bakıldığında, enerji üretimi konusunda sürdürülebilir bir yaklaşımın benimsenmesi artık bir seçim değildir. Enerji taleplerinin çevre dostu yöntemler ile karşılanması için gerekli eylem planları yetkili merciler tarafından oluşturulmaktadır. Buna göre uygun prosesler seçilerek gerek mevcut enerji sistemlerin adaptasyonu gerekse de yenilenebilir enerji sistemlerinin devreye alınması için gerekli finansal destek ve yetkin mühendislik destekleri oldukça önemlidir. Özellikle, hidrojenin üretimi ve ülkemizin yeşil ve temiz bir enerji yaklaşımında hidrojen ekonomisine yoğunlaşması, öncelikli ülke stratejileri arasında bu teknolojilere gerekli yatırımın yapılması kritik önem taşımaktadır.

5. Kaynaklar / References

- Ajorloo, M., Ghodrat, M., Scott, J., & Strezov, V. (2022). Recent advances in thermodynamic analysis of biomass gasification: A review on numerical modelling and simulation. *Journal of the Energy Institute*, 102, 395–419.
- AlNouss A., McKay, G., & Al-Ansari, T. (2020). A comparison of steam and oxygen fed biomass gasification through a techno-economic-environmental study. *Energy Conversion and Management*, 208, 112612.
- Chen, G., Guo, X., Liu, F., Ma, Z., Cheng, Z., Yan, B., & Ma, W. (2019). Gasification of lignocellulosic biomass pretreated by anaerobic digestion (AD) process: an experimental study. *Fuel*, 247, 324–333.
- Chen, J., Fan, X., Jiang, B., Mu, L., Yao, P., Yin, H., & Song, X. (2015). Pyrolysis of oil-plant wastes in a TGA and a fixed-bed reactor: thermochemical behaviors, kinetics, and products characterization. *Biosource Technologist*, 192, 592-602.

- Chinas-Palacios, C., Vargas-Salgado, C., Aguila-Leon, J., & Hurtado-Perez, E. (2021). A cascade hybrid PSO feed-forward neural network model of a biomass gasification plant for covering the energy demand in an AC microgrid. *Energy Conversion and Management*, 232, 113896.
- Fytili, D. & Zabaniotou, A. (2008). Utilization of treatment sludge in EU application of old and new methods-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 116–140.
- Gajera, Z.R., Verma, K., Tekade, S.P., & Sawarkar, A.N. (2020). Kinetics of co-gasification of rice husk biomass and high sulfur petroleum coke with oxygen as gasifying medium via TGA. *Bioresource Technology Reports*, 11, 100479.
- Gasparaovic, L., Hrablay, I., Vojtekova, Z., & Jelemensky, L. (2011). Kinetic study of pyrolysis of wastewater treatment plant sludge. *Chemical Papers*, 65(2), 139–146.
- Hainsch, K., Löffler, K., Burandt, T., Auer, H., Grando, P.C., Piscella, P., & Zwickl-Bernhard, S. (2022). Energy transition scenarios: What policies, societal attitudes, and technology developments will realize the EU Green Deal?, *Energy*, 239, 122067.
- Holden, E., Linnerud, K., & Rygg, B.J. (2021). A review of dominant sustainable energy narratives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 110955.
- Jacobson, M.Z., Delucchi, M.A., Cameron, M.A., Coughlin, S.J., Hay, C.A., Manogaran, I.P., Shu, Y., & Krausland, A.K. (2019). Impacts of green new deal energy plans on grid stability, costs, jobs, health, and climate in 143 countries. *One Earth*, 1, 449–463.
- Jeong, Y.S., Choi, Y.K., Kang, B.S., Ryu, J.H., Kim, H.S., Kang, M.S., Rhu, L.H., & Kim, J.S. (2020). Lab-scale and pilot-scale two-stage gasification of biomass using active carbon for production of hydrogen-rich and low-tar producer gas. *Fuel Processing Technology*, 198, 106240.
- Kakran, S., Sidhu, A., Kumar, A., Youssef, A.B., & Lohan, S. (2023). Hydrogen energy in BRICS-US: A whirl succeeding fuel treasure. *Applied Energy*, 334, 120670.
- Liu, L., Liu, J., Ye, Y., Liu, H., Chen, K., Li, D., Dong, X., & Sun, M. (2023). Ultra-short-term wind power forecasting based on deep Bayesian model with uncertainty. *Renewable Energy*, 205, 598–607.
- Lobato-Peralta, D. R., Duque-Brito, E., Villafan-Vidales, H. I., Longoria, A., Sebastian, P.J., Cuentas-Gallegos, A. K., Arancibia-Bulnes, C. A., & Okoye, P. U. (2021). A review on trends in lignin extraction and valorization of lignocellulosic biomass for energy applications. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126123.
- Nagar, R., Srivastava, S., Hudson, S.L., Amaya, S.L., Tanna, A., Sharma, M., Achayalingam, R., Sonkaria, S., Khare, V., & Srinivasan, S.S. (2023). Recent developments in state-of-the-art hydrogen energy technologies – Review of hydrogen storage materials. *Solar Compass*, 5, 100033.
- Park, S., Jae, J., Farooq, A., Kwon, E. E., Park, E. D., Ha, J.M., Jung, S.C., & Park, Y.K. (2019). Continuous pyrolysis of organosolv lignin and application of biochar on gasification of high-density polyethylene. *Applied Energy*, 255, 113801.
- Ren, j., Cao, J.P., Zhao, X.Y., Yang, F.L., & Wei, X.Y. (2019). Recent advances in syngas production from biomass catalytic gasification: a critical review on reactors, catalysts, catalytic mechanisms and mathematical models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116, 109426.

- Ren, J., Liu, Y.L., Zhao, X.Y., & Cao, J.P. (2020). Biomass thermochemical conversion: a review on tar elimination from biomass catalytic gasification. *Journal of the Energy Institute*, 93, 1083-1098.
- Ringel, M., Bruch, N., & Knodt, M. (2021). Is clean energy contested? Exploring which issues matter to stakeholders in the European Green Deal. *Energy Research & Social Science*, 77, 102083.
- Saleem, F., Harris, J., Zhang, K., & Harvey, A. (2020). Non-thermal plasma as a promising route for the removal of tar from the product gas of biomass gasification – a critical review. *Chemical Engineering Journal*, 382, 122761.
- Shahbeik, H., Peng, W., Panahi, H.K.S., Dehghani, M., Guillemin, G.J., Fallahi, A., Amiri, H., Rehan, Raikwar, D., Latineci H., Pandalone, B., Khoshnevisan, B., Sonne, C., Vaccaro, L., Nizami, A., Gupta, V.K., Lam, S.S., Pan, J., Luque, R., Sels, B., Tabatabaei, M., & Aghbashlo, M. (2022). Synthesis of liquid biofuels from biomass by hydrothermal gasification: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167-112833.
- Situmorang, Y., A., Zhao, Z., Yoshida, A., Kasai, Y., Abudula, A., & Guoqing G. (2019). Potential power generation on a small-scale separated-type biomass gasification system. *Energy*, 179, 19-29.
- Turkson, C., Acquaye, A., Liu, W., & Papadopoulos, T. (2020). Sustainability assessment of energy production: A critical review of methods, measures and issues. *Journal of Environmental Management*, 264, 110464.
- Yang, H., Wang, C., Xu, S., & Liu, R. (2019). Biomass gasification over hematite in a decoupled dual loop gasifier. *Fuel Processing Technology*, 192, 140–146.
- Yang, S., Liang, J., Wang, S., & Wang, H. (2021). High-fidelity investigation of thermochemical conversion of biomass material in a full-loop circulating fluidized bed gasifier. *Energy*, 5442, 00342.
- Yeşil Mutabakat Eylem Planı, (2021). Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. <https://ticaret.gov.tr/data/60f1200013b876eb28421b23/MUTABAKAT%20YE%C5%9E%C4%B0L.pdf>.
- Zheng, H., Hu, Z., Wang, X., Ni, J., & Cui, M. (2023). VMD-CAT: A hybrid model for short-term wind power prediction. *Energy Reports*, 9, 199-211.
- <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> Türkiye Cumhuriyeti Enerji Bakanlığı, 15.03.2023.
- www.enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik. Türkiye Cumhuriyeti Enerji Bakanlığı, 15.03.2023.
- www.enerjiatlası.com. (15.03.2023)
- www.fpac.ca/canadianforestry-industry/forest-products. (14.02.2019).

Yazarlar Hakkında / About Authors

Prof. Dr. Azize AYOL | Dokuz Eylül Üniversitesi |
azize.ayol[at]deu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-2095-1132

Dr. Azize Ayol Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde çalışmaktadır. Ana çalışma alanı Çevre Mühendisliği ve Çevre Bilimi'dir. Dr. Ayol, 1997 yılından bu yana su, atıksu, atık, çamur, biyokatırların özellikleri ve yenilenebilir enerji uygulamaları üzerine aktif araştırmalarını sürdürmektedir. Delaware Üniversitesi'nde misafir araştırmacı olarak bulunmuştur. Bilimsel liderlik konusunda güçlü bir geçmişe sahiptir ve su/atıksu mühendisliği, atık yönetimi ve endüstriyel atık yönetimi, yenilenebilir enerji, yaşam döngüsü sürdürülebilirlik analizi konularında birçok ulusal ve uluslararası araştırma projesinde yürütücü ve araştırmacı olarak yer almıştır. Avrupa, ABD, Japonya ve Avustralya'dan diğer uluslararası araştırma gruplarıyla birçok araştırma işbirliğine sahiptir. Farklı AB projeleri için aktif değerlendirme uzmanıdır. 2013-2018 yılları arasında TÜBİTAK-ÇAYDAG, danışma/yürütme kurulu üyesi yapmıştır. 2015-2017 yılları arasında Dokuz Eylül Teknoloji Geliştirme Bölgesi-DEPARK yönetim kurulu başkan yardımcısı olarak görev almıştır. Ayrıca 2015-2017 yılları arasında DEPARK Tınaztepe Mühendislik Kampüsü'nün akademik koordinatörlüğünü yürütmüştür. Avrupa Birliği Araştırma Altyapıları Stratejik Formu (ESFRI) Çevre Grubu'nda 2020 yılından bu yana TÜBİTAK adına delege olarak görev yapmaktadır. SCI dergilerinde ve konferans bildirilerinde çok sayıda bilimsel makalesi bulunmaktadır. Ayrıca çok sayıda ulusal ve uluslararası Konferansların Bilimsel Komitesinde yer almaktadır.

Prof. Dr. Azize AYOL | Dokuz Eylül University |
azize.ayol[at]deu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-2095-1132

Dr. Azize Ayol is currently working for Department of Environmental Engineering at Dokuz Eylul University. Her major is the Environmental Engineering and Science. Dr. Ayol has been an active researcher on water/wastewater, waste, sludge, biosolids properties, and renewable energy applications since 1997. She was a visiting researcher at University of Delaware. She has a strong track record of scientific leadership and has been a researcher in many national and international research projects on water/wastewater engineering, waste management, and industrial waste management, renewable energy, life cycle sustainability analysis. She has many research collaborations with other international research groups from Europe, USA, Japan, and Australia. She has been active evaluation expert for different EU Grants. She was also a member of the advisory/executive board of TUBITAK-CAYDAG between 2013-2018. She was on the executive board of Dokuz Eylul Technology Development Zone-DEPARK as vice-chair between 2015-2017. She has acted as a delegate in the ESFRI Environment Group on behalf of TUBITAK since 2020. She has many scientific papers in SCI journals and conference proceedings. She is also on the Scientific Committee of many international and national conferences.

Dr. Özgün TEZER | Dokuz Eylül Üniversitesi |

ozguntezer[at]gmail.com | ORCID: 0000-0003-4631-4585

Dr. Özgün Tezer, Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Prof. Dr. Azize Ayol ile yaptığı doktora çalışmalarını tamamlamıştır. Dr. Özgün Tezer, 2017-2023 yılları arasında YÖK 100/200 Doktora Burs Programı kapsamında, TÜBİTAK 2211/C ve TÜBİTAK 1001 program/projelerinde doktora bursiyeri olarak görev almıştır. Doktora tezini Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Ağustos 2023 yılında tamamlayıp, Çevre Mühendisliği alanında Doktor unvanını almıştır. Doktora tez konusu farklı kaynaklardan elde edilen biyokütlenin gazlaştırılması, hidrojen eldesi ve yaşam döngüsü sürdürülebilirlik analizi ile ilgilidir. Araştırma alanı, yenilenebilir enerji kaynakları ve gazlaştırma teknolojileri üzerinedir. Yüksek lisans çalışması da yine termal prosesler ve gazlaştırma teknolojileri ile ilgilidir. Lisansüstü eğitimi boyunca şuana kadar 8 adet SCI kapsamında yer alan makale ve 19 adet ulusal ve uluslararası nitelikli bildiri yayınlanmıştır. Birçok ulusal ve uluslararası kongrede sözlü sunum yapmıştır. Aktif olarak araştırmalarını enerji teknolojileri üzerine sürdürmektedir.

Dr. Özgün TEZER | Dokuz Eylül University |

ozguntezer[at]gmail.com | ORCID: 0000-0003-4631-4585

Dr. Özgün Tezer completed his PhD studies at Dokuz Eylül University, Department of Environmental Engineering with Prof. Dr. Azize Ayol. Dr. Özgün Tezer worked as a PhD scholar in the scope of YÖK 100/200 Doctoral Scholarship Program, TÜBİTAK 2211/C and TÜBİTAK 1001 programs/projects between 2017-2023. She completed his PhD thesis at Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences in August 2023 and received her PhD degree in Environmental Engineering. Her dissertation topic is related to gasification of biomass from different sources, hydrogen production and life cycle sustainability analysis. Her research area is on renewable energy sources and gasification technologies. Her master's thesis is also related to thermal processes and gasification technologies. During her graduate education, she has so far published 8 SCI articles and 19 national and international papers. She has made oral presentations in many national and international congresses. She actively continues his research on energy technologies.

**SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA AMAÇLARI
ÇERÇEVESİNDE AVRUPA YEŞİL MUTABAKATI
VE
TÜRKİYE’NİN DURUMU**

**THE EUROPEAN GREEN DEAL AND THE STATUS OF
TÜRKİYE WITHIN THE FRAMEWORK OF SUSTAINABLE
DEVELOPMENT GOALS**

Burcu YAVUZ TİFTİKÇİGİL

SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA AMAÇLARI ÇERÇEVESİNDE AVRUPA YEŞİL MUTABAKATI VE TÜRKİYE’NİN DURUMU

Burcu YAVUZ TİFTİKÇİGİL

İstanbul Medipol Üniversitesi

Özet

Birleşmiş Milletler’e (BM) üye ülkeler tarafından Eylül 2015’te kabul edilen Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA), 1 Ocak 2016 tarihinde yürürlüğe girmiştir. 17 maddeden oluşan SKA genel olarak yoksulluğun sona erdirilmesi, çevrenin korunması, iklim krizine karşı önlem alınması, refahın adil paylaşımı ve barışı hedefleyen evrensel bir çağrı niteliğindedir. Günümüzde yaşanan ekonomik, iklimsel ve sosyal krizler bu amaçların önemini daha fazla ortaya çıkarmıştır. Bölgesel ve küresel ölçekli krizlerin sıklığının artmasıyla birlikte ülkeler kapsayıcı ve sürdürülebilir büyüme ve kalkınmaya yönelik politika uygulamalarını hızlandırmışlardır. Avrupa Birliği (AB) Aralık 2019’da merkezinde döngüsel ekonominin yer aldığı iklim değişikliği odaklı yeni bir büyüme ve kalkınma modelini uygulamaya koymuştur. Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM) olarak adlandırılan bu sürecin amacı, AB’yi ekonomik büyümenin kaynak kullanımından ayrıldığı, hiçbir bireyin geride kalmadığı ve net sıfır sera gazı emisyonu olan bir kıta haline getirmektir. AYM’nin temelinde ise SKA’ya uyum yer almaktadır. Türkiye’nin en önemli ekonomik ve politik ortaklarından biri AB’dir. AB’nin AYM’yi uygulamaya koyması Türkiye ekonomisi üzerinde önemli etkilere neden olacaktır. Dolayısıyla Türkiye’nin AYM’ye uyum için gerekli düzenlemeleri uygulamaya koyması gerekmektedir. Bu çerçevede çalışmanın amacı SKA çerçevesinde Türkiye’nin AYM’ye uyumunu analiz etmektir.

Anahtar Kelimeler

Birleşmiş Milletler, Avrupa Birliği, Avrupa yeşil mutabakatı, Sürdürülebilir kalkınma amaçları, Türkiye, Yeşil dönüşüm, Yeşil ekonomi

THE EUROPEAN GREEN DEAL ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS AND TÜRKİYE'S STATUS

Burcu YAVUZ TİFTİKÇİGİL

Istanbul Medipol University

Abstract

The Sustainable Development Goals (SDGs), adopted by United Nations (UN) member states in September 2015, entered into force on January 1, 2016. Consisting of 17 articles, the SDGs are a universal call for ending poverty, protecting the environment, taking measures against the climate crisis, and fair sharing of prosperity and peace. Today's economic, climatic and social crises have made these goals even more important. Countries have accelerated their policy implementation toward inclusive and sustainable growth and development with the increasing frequency of regional and global crises. The European Union (EU) launched a new climate change-focused growth and development model with the circular economy at its centre in December 2019. This process, called the European Green Deal (ECC), aims to make the EU a continent where economic growth is decoupled from resource use, where no individual is left behind, and with net zero greenhouse gas emissions. Aligning with the SDGs is at the heart of the ECC. The European Union is one of Türkiye's most important economic and political partners. The EU's implementation of the ECC will significantly impact the Turkish economy. Therefore, Türkiye needs to put in place the necessary regulations for harmonization with the ECHR. In this framework, this study aims to analyse Türkiye's harmonization with the Constitutional Court within the framework of the SDGs.

Keywords

United Nations, European Union, European green deal, Sustainable development goals, Türkiye, Green transition, Green economy

1. Giriş

1970’li yıllarda ortaya çıkan sürdürülebilirlik tartışmaları büyüme merkezli kalkınma anlayışının yerini alternatif bir kalkınma anlayışı olarak sürdürülebilir kalkınma anlayışının sunulması ile farklı bir boyut kazanmıştır. Özellikle Birleşmiş Milletler nezdinde çevresel, sosyal ve ekonomik problemler tartışılmaya ve bu problemlerle ilgili ortak hareket etme konusunda uzlaşma sağlanmaya başlamıştır. Tüm bu gelişmeler sonucunda 1987 yılında Birleşmiş Milletler (BM) tarafından yayımlanan Ortak Geleceğimiz Raporu’nda sürdürülebilir kalkınmanın ilk kapsamlı tanımı yapılmıştır. Bu kapsamda sürdürülebilir kalkınma *“gelecek kuşakların kalkınma imkanlarının ellerinden alınmaksızın bugünkü neslin ihtiyaçlarının karşılanması olarak tanımlanmıştır”* (WCED, 1987, s. 43). Sürdürülebilir kalkınmanın çevresel, sosyal ve ekonomik olmak üzere üç temel boyutu vardır (United Nations, 1992, s. 107). Bu boyutlar birbiriyle doğrudan ilişkilidir. Örneğin barınma, beslenme, eğitim gibi sosyal temel ihtiyaçlarını karşılayamayan bir topluluğun çevre bilincini önceleyerek ekonomik ve sosyal ihtiyaçlarını karşılamadan doğal kaynakları korumaya yönelmesi oldukça güçtür. Bu sebeple çevresel sürdürülebilirliğin oluşması için ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik konusunda uygun zemin ortamı oluşturulmalıdır.

BM’ye üye ülkeler tarafından Eylül 2015’te kabul edilen Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA), 1 Ocak 2016 tarihinde yürürlüğe girmiştir. 17 maddeden oluşan SKA genel olarak yoksulluğun son erdirilmesi, çevrenin korunması, iklim krizine karşı önlem alınması, refahın adil paylaşımı ve barışı hedefleyen evrensel bir çağrı niteliğindedir. Günümüzde yaşanan ekonomik, iklimsel ve sosyal krizler bu amaçların önemini daha fazla ortaya çıkarmıştır. Bölgesel ve küresel ölçekli krizlerin sıklığının artmasıyla birlikte ülkeler kapsayıcı ve sürdürülebilir büyüme ve kalkınmaya yönelik politika uygulamalarını hızlandırmışlardır.

Avrupa Birliği (AB) Aralık 2019’da merkezinde döngüsel ekonominin yer aldığı iklim değişikliği odaklı yeni bir büyüme ve kalkınma modelini uygulamaya koymuştur. Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM) olarak adlandırılan bu sürecin amacı, AB’yi ekonomik büyümenin kaynak kullanımından ayrıldığı, hiçbir bireyin geride kalmadığı ve net sıfır sera gazı emisyonu olan bir kıta haline getirmektir.

Türkiye’nin en önemli ekonomik ve politik ortaklarından biri AB’dir. AB’nin AYM’yi uygulamaya koyması Türkiye ekonomisi üzerinde önemli etkilere neden olacaktır. Dolayısıyla Türkiye’nin AYM’ye uyum için gerekli düzenlemeleri uygulamaya koyması gerekmektedir. Bu çerçevede çalışmanın amacı SKA çerçevesinde Türkiye’nin AYM’ye uyumunu betimsel analiz tekniği kullanarak incelemektir. Çalışmanın ilk bölümünde SKA ve AYM’nin içeriği açıklanmıştır. İkinci bölümde Türkiye’nin sürdürülebilir kalkınma süreci İnsani Gelişim Endeksi (İGE) ve SKA çerçevesinde değerlendirilmiştir. Son olarak Türkiye’nin AYM’ye uyum açısından durumu Türkiye’de konuyla ilgili yapılan çalışmalar açısından analiz edilmiştir.

2. Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ve Avrupa Yeşil Mutabakatı

2.1. Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları

Sürdürülebilir kalkınmanın ilk kapsamlı yol haritası 2000 yılında gerçekleştirilen Binyıl Zirvesi sonrası yayımlanan Binyıl Kalkınma Hedefleriyle (BKH) çizilmiştir. 2000 yılında BM nezdinde 147 devlet ve hükümet başkanlarının da dahil olduğu 189 ulusun temsilcileri gelerek Milenyum Kalkınma Hedefleri olarak da anılan BKH kabul etmişlerdir. Temel hedef 21. Yüzyılda yoksulluğun ortadan kaldırılması olsa da BKH aşırı yoksulluk ve açlığın ortadan kaldırılması, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması, herkesin temel evrensel eğitim olanaklarına sahip olması, cinsiyet eşitsizliğinin azaltılması, çocuk ölümlerinin azaltılması, anne sağlığının iyileştirilmesi, salgın hastalıklarla mücadele edilmesi ve tüm bu başlıklarla bağlantılı olarak kalkınma için küresel düzeyde ortak hareket edilmesi konularını kapsamaktadır. BKH sekiz maddeden oluşmaktadır: (T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilâtı Müsteşarlığı, 2010, s. 9).

- Amaç 1: Mutlak Yoksulluk ve Açlığı Ortadan Kaldırmak
- Amaç 2: Herkesin Temel Eğitim Almasını Sağlamak
- Amaç 3: Kadınların Konumunu Güçlendirmek ve Toplumsal Cinsiyet Eşitliğini Geliştirmek
- Amaç 4: Çocuk Ölümlerini Azaltmak
- Amaç 5: Anne Sağlığını İyileştirmek
- Amaç 6: HIV/AIDS, Sıtma ve Diğer Salgın Hastalıklarla Mücadele Etmek
- Amaç 7: Çevresel Sürdürülebilirliğin Sağlanması
- Amaç 8: Kalkınma için Küresel Ortaklıklar Geliştirmek

Dünya genelinde BKH'nin uygulamaya girmesinden sonra sürdürülebilir kalkınma açısından önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. BKH'nin süresi 2015 itibarıyla sona ermiştir. Bu hedeflerden sonra BM üyesi 193 ülke tarafından yoksulluğu ortadan kaldırmak, dünya gezegenini korumak ve tüm insanların barış ve refah içinde yaşamasını sağlamak üzere 2015 yılında SKA'yı kabul etmiştir (Tablo 1). SKA 2016 yılında uygulamaya girmiştir. 2030 yılına kadar erişilmesi hedeflenen SKA 17 madde ve 169 hedeften oluşmaktadır (Birleşmiş Milletler Türkiye, 2023).

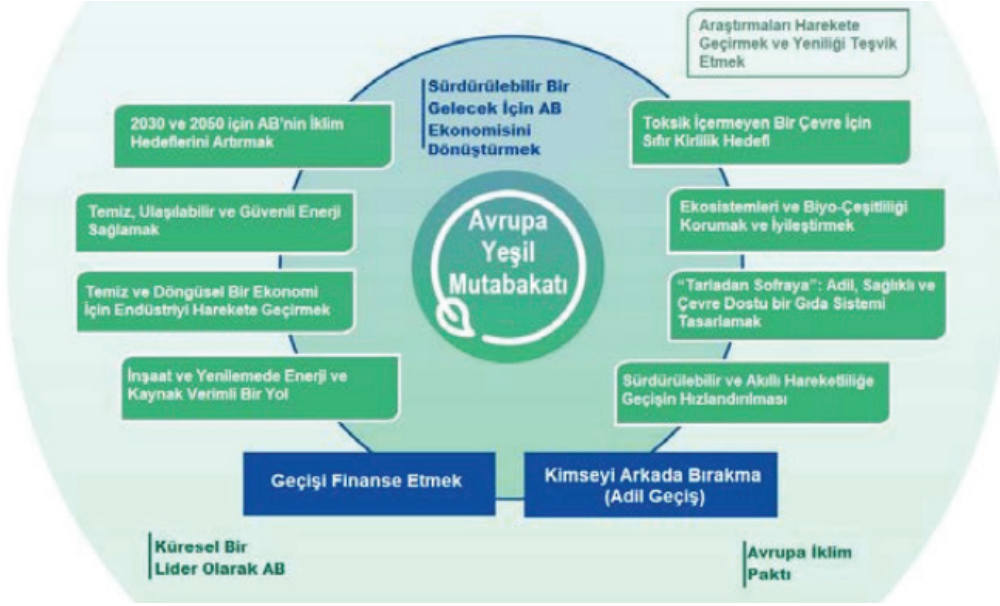
Tablo 1: *Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (Birleşmiş Milletler Türkiye, 2023)*

SKA 1	Yoksulluğa Son
SKA 2	Açlığa Son
SKA 3	Sağlık ve Kaliteli Yaşam
SKA 4	Nitelikli Eğitim
SKA 5	Toplumsal Cinsiyet Eşitliği
SKA 6	Temiz Su ve Sanitasyon
SKA 7	Erişilebilir ve Temiz Enerji
SKA 8	İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme
SKA 9	Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı
SKA 10	Eşitsizliklerin Azaltılması
SKA 11	Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar
SKA 12	Sorumlu Üretim ve Tüketim
SKA 13	İklim Eylemi
SKA 14	Sudaki Yaşam
SKA 15	Karasal Yaşam
SKA 16	Barış, Adalet ve Güçlü Kurumlar
SKA 17	Amaçlar için Ortaklıklar

2.2. Avrupa Yeşil Mutabakatı

AB, Avrupa'nın 2030 yılına kadar karbon salınımlarını %55 oranında azaltma ve 2050 yılına kadar dünyanın ilk karbon-nötr kıtası olma hedefini güden Avrupa Yeşil Mutabakatı'nı (AYM) 11 Aralık 2019 tarihinde açıkladı. AYM, 2050 yılına kadar AB'yi ekonomik büyümenin kaynak kullanımından ayırdığı, hiçbir bireyin geride kalmadığı ve net sıfır sera gazı emisyonu olan bir kıta haline getirmeyi amaçlamaktadır. Merkezinde döngüsel ekonominin yer aldığı yeni bir büyüme ve kalkınma stratejisi olan AYM, BM'in 2030 gündemini ve SKA'yı esas almaktadır (Avrupa Komisyonu, 2023).

AYM, sadece iklim değişikliği ile mücadele ve uyum çalışmaları yapan salt çevre sorunu merkezli bir düzen olarak ele alınmamalıdır. AB; AYM ile küresel standartları yeniden belirleme gayreti içindedir. AYM, bölgesel ve küresel ölçekli ekonomik, sosyal ve iklimsel krizlerin sıklığının artmasıyla birlikte tüm dünyada ihtiyacı hissedilen yeni bir büyüme ve kalkınma stratejisi olarak değerlendirilebilir. AYM, sanayi, enerji, tarım, gıda güvenliği, ulaştırma, inşaat ve sürdürülebilir kalkınma politikalarını kapsamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Avrupa Yeşil Mutabakatı Politika Alanları (Avrupa Yeşil Mutabakatı, 2019)

AYM'nin merkezinde ekonomi modeli olarak 3R¹ yaklaşımının benimsendiği; ürün, malzeme ve kaynakların değerinin ekonomide olabildiğince uzun tutulduğu, atık miktarının en düşük seviyede olduğu "döngüsel ekonomi" modeli bulunmaktadır.

AYM'nin temel hedefleri doğal sermayenin ve biyoçeşitliliğin korunması, iklim nötr olma, adil geçiş, adil, sağlıklı ve çevre dostu bir tarım sistemi, sürdürülebilir ulaşım, temiz endüstri, enerji verimli binalar ve temiz, ulaşılabilir ve güvenli enerji sağlamaktır.

AYM'nin en önemli politika araçları "Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması Sistemi" (SKDM) ve "Emisyon Ticaret Sistemi"dir (ETS).

SKDM karbon salımını sınırlandırmak amacıyla oluşturulmuş bir sistemdir. SKDM, AB'nin ithal ettiği ürünlerin karbon içeriklerine göre sınırdaki belirli oranlarda bir "karbon salımı vergisi" alınmasını düzenlemektedir. Bu düzenleme ile AB sınırları içinde kirliliğe yol açan sektörlerin karbon kaçığının² önlenmesi ve yeşil dönüşümün sadece AB'de değil başta AB ile ticaret yapan ülkelerde olmak üzere tüm dünyada uygulanması hedeflenmektedir (SKDM; bu açıdan AB içi bir sistem olan ETS'nin AB dışına genişletilmesi olarak tanımlanabilir. AB; bir yandan sınırları içindeki şirketlere ücretsiz sera gazı emisyonu tahsisat hakları kademeli olarak

¹ 3R: Recycle (geri dönüşüm), reuse (yeniden kullanım), reduce (azaltma). 3R'ye tüketici açısından ilave bir "R" olarak "rethink"i (yeniden düşün) ekleyebiliriz.

² AB; SKDM ile yeşil dönüşümün başta yüksek karbon salımına neden olan şirketler üzerinde yaratacağı maliyet nedeniyle bu şirketlerin faaliyetlerini karbon salım uygulamalarının daha düşük çevre standartlarına sahip ülkelere kaydırmasını engellemek için önemli bir araçtır. "Karbon kaçığı" olarak adlandırılan bu süreç SKDM ile önlenmeye çalışılmaktadır.

kaldırılırken, bir yandan ithalat yaptığı ülkeler için SKDM’yi kademeli olarak uygulamaya sokacaktır (Aşıcı, 2021).

ETS, AB’nin iklim değişikliğiyle mücadele politikasının temel unsuru niteliğindedir ve sera gazı emisyonlarını maliyet etkin bir şekilde azaltmak için gereklilik olarak kabul edilmektedir. ETS, sisteme dahil olan tesislerin sera gazı emisyonları için sektör ve kapasite bazlı olarak bir üst sınır değer belirlenmesini öngören sistem dahilindeki tesislerin sera gazı emisyonları için bir üst sınır belirlemektedir. Firmalar ihtiyaçları doğrultusunda tahsisat alım satımı işlemlerini bu yolla yapabileceklerdir (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı, 2023).

Dünyanın ilk büyük karbon pazarı olan AB ETS, en büyük karbon pazarı olmaya da devam etmektedir. AB ETS, “üst sınıra ulaş ve ticaret yap” prensibiyle çalışmaktadır. Üst sınır, sistemin içinde yer alan tesislerin salabileceği belirli sera gazının toplam miktarına göre ayarlanmaktadır. Üst sınır zamanla azaltılmakta, böylelikle toplam emisyonlar düşmektedir. Üst sınır dahilinde şirketler, emisyon izinlerini almakta veya satmaktadır; ihtiyaç halinde birbirleriyle bunun ticaretini yapabilmektedirler (European Commission, 2022).

3. Türkiye’nin İnsani Gelişme Endeksi ve Sürdürülebilir Kalkınma Açısından Değerlendirilmesi

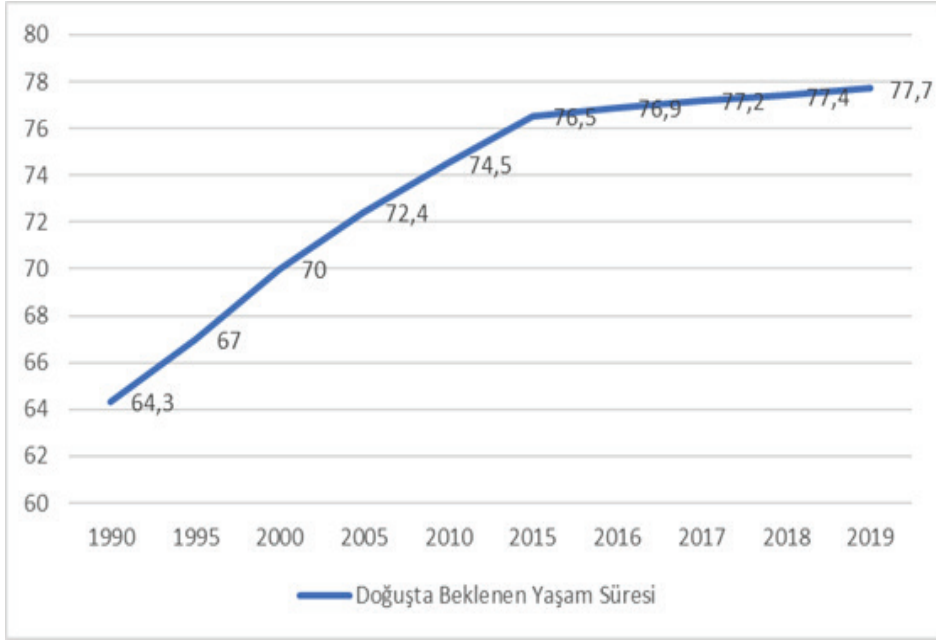
3.1. Türkiye’nin İnsani Gelişme Endeksi Açısından Değerlendirilmesi

İnsani gelişmenin ölçülmesinde birçok kurum, kuruluş ve sivil toplum kuruluşu tarafından farklı endeksler oluşturulmuştur. Birleşmiş Milletler UNDP tarafından oluşturulan İnsani Gelişme Endeksi (İGE) kapsayıcılık ve bütüncül perspektif sunması açısından en yaygın ve temel referans alınan endeksler arasında yer almaktadır.

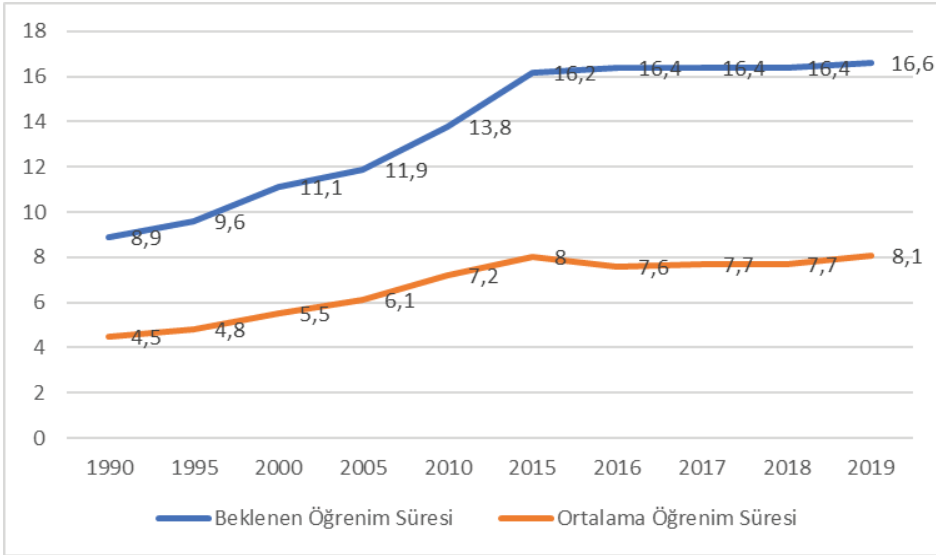
İGE insani gelişmeyi uzun ve sağlıklı bir yaşam, bilgi ve makul yaşam düzeyi boyutları açısından değerlendirmektedir. “Uzun ve sağlıklı bir yaşam” boyutunun göstergesi doğuştan beklenen ortalama yaşam süresi, “Bilgi” boyutunun göstergeleri beklenen eğitim yılı ve ortalama eğitim yılıdır. Makul yaşam düzeyinin göstergesi ise kişi başına düşen GSMH’dır (Satın Alma Gücü Paritesi, ABD Doları).

İGE bu üç değişken çerçevesinde ülkeleri “çok yüksek”, “yüksek”, “orta” ve “düşük” İGE olarak sınıflandırmaktadır. 1993 yılından bu yana ülkelerin İGE’ye göre durumları BM Gelişme Programı (UNDP) tarafından yıllık İnsani Gelişme Raporu’nda sunulmaktadır.

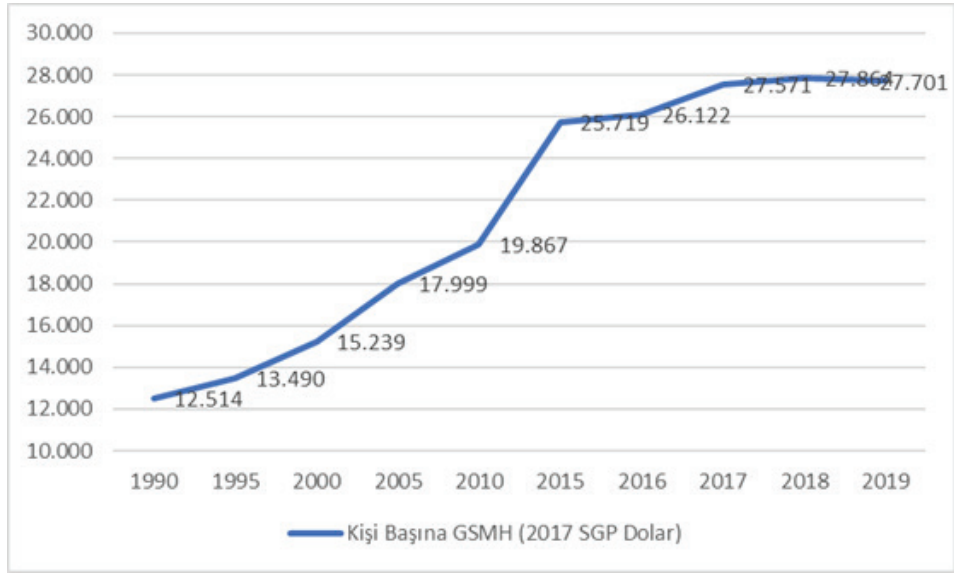
İGE’ye göre, Türkiye’de 1990-2019 arasında beklenen yaşam süresi 13,4 yıl artarak 77,7’ye (Şekil 2), ortalama öğrenim süresi 3,6 yıl artarak 8,1’e, beklenen öğrenim süresi ise 7,7 yıl artarak 16,6’ya (Şekil 3) ulaşmıştır. Ayrıca Kişi başına Gayrisafi Milli Hasıla (GSMH) yaklaşık yüzde 121,4’lük bir artış göstererek 27.701 dolara yükselmiştir (UNDP, 2020) (Şekil 4-5).



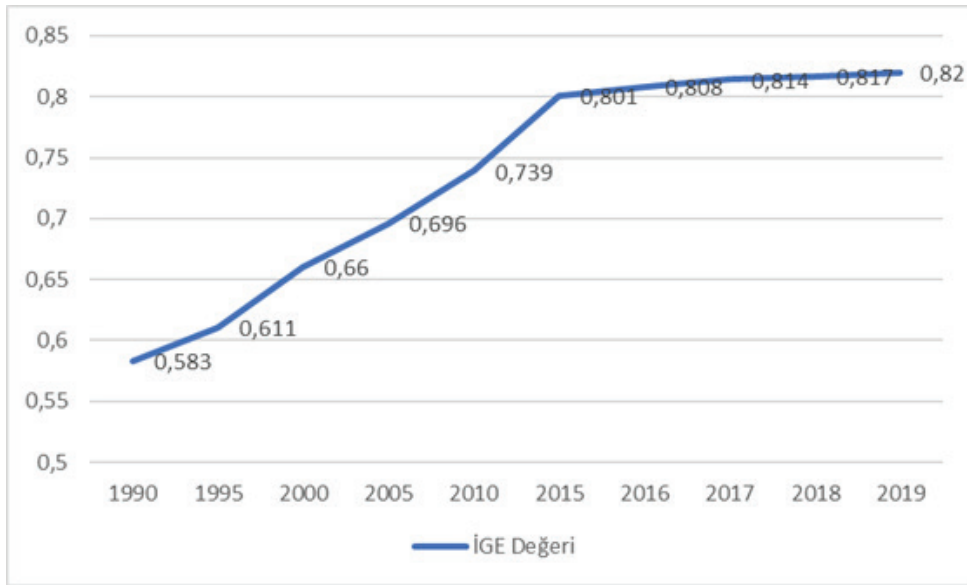
Şekil 2. Doğu'da Beklenen Yaşam Süresi (UNDP, 2020)



Şekil 3. Beklenen ve Ortalama Öğrenim Süresi (UNDP, 2020)



Şekil 4. Kişi Başına Düşen GSMH (2017 SGP Dolar) (UNDP, 2020)



Şekil 5. İGE Değeri (UNDP, 2020)

Bir ülkenin kalkınmışlık seviyesini daha iyi analiz edebilmek için Eşitsizliğe Uyarlanmış İnsani Gelişim Endeksi (EUIGE) ve Toplumsal Cinsiyet Eşitsizliği Endeksi (TCEE) gibi nitelikli endeksleri incelemek gerekir. İGE; kalkınmanın önemli bileşenleri olan eğitim, yaşam süresi ve kişi başına düşen milli gelir açısından ortalama değerleri sunmaktadır. Dolayısıyla İGE de insani gelişimin ülke genelinde nüfusa dağılımında var olan eşitsizliği gizlemektedir. EUIGE, İGE'nin her gelişim boyutunun ortalama değerinden eşitsizlik düzeyinin çıkarılmasıyla hesaplanmaktadır (UNDP, 2020).

Türkiye'nin 2019'da İGE değeri 0,820 olmuştur. Ancak insani gelişimde eşitsizlik farkı düşüldüğünde, Türkiye'nin İGE değeri, boyut endekslerinin dağılımındaki eşitsizliğe bağlı olarak %16,7'lik bir kayıp yaşayarak 0,683'e düşmektedir (Tablo 2). Bu kayıp Azerbaycan'da %9,5, Sırbistan'da %12,5, Avrupa ve Orta Asya'da ortalama %11,9 ve çok yüksek İGE değerine sahip ülkelerde ortalama %10,9'dur.

Tablo 2: Türkiye'nin Eşitsizliğe Uyarlanmış İnsani Gelişim Endeksinin (EUIGE) Seçilmiş Ülkeler ve Ülke Gruplarıyla Karşılaştırılması (UNDP, 2020)

	EUIGE Değeri	Toplam Kayıp (%)	İnsani Eşitsizlik Katsayısı (%)	Doğuşta beklenen yaşam süresinde eşitsizlik (%)	Eğitimde eşitsizlik (%)	Gelir Eşitsizliği (%)
Türkiye	0,683	16,7	16,5	9,0	16,5	24,1
Azerbaycan	0,684	9,5	9,4	13,9	5,3	8,9
Sırbistan	0,705	12,5	12,1	4,9	7,5	24,0
Avrupa ve Orta Asya	0,697	11,9	11,7	9,7	8,2	17,2
Çok Yüksek İGE	0,800	10,9	10,7	5,2	6,4	20,4

Anne ölüm, ergen doğurganlık, kadın parlamenter, en az orta öğrenim görmüş nüfus ve iş gücüne katılım oranı değişkenleri üzerinden hesaplanan TCEE açısından Türkiye'nin kadın parlamenter oranı, en az orta öğrenim görmüş nüfus ve iş gücüne katılım oranı açısından durumunun iyi olmadığı görülmektedir (Tablo 3). Türkiye'de kadınların işgücüne katılım oranı %34 iken erkeklerde bu oran %72,6'dır. Azerbaycan'da bu oranlar sırasıyla %63,4 ve %69,7 iken Sırbistan'da %47,4 ve %62,8'dir. Avrupa ve Orta Asya'da kadınların işgücüne katılım oranı ortalama %45 iken bu oran çok yüksek İGE değerine sahip ülkelerde ortalama %52,3'tür.

Tablo 3: Türkiye'nin 2019 Toplumsal Cinsiyet Eşitsizliği Endeksinin (TCEE) Seçilmiş Ülkeler ve Ülke Gruplarıyla Karşılaştırılması (UNDP, 2020)

	TCEE Değeri	TCEE Sıralaması	Anne Ölüm Oranı	Erken Doğurganlık Oranı	Kadın Parlamento Oranı	En Az Orta Öğrenim Görmüş Nüfusun Oranı (%)		İşgücü Katılım Oranı (%)	
						Kadın	Erkek	Kadın	Erkek
Türkiye	0,306	68	17,0	26,6	17,4	50,2	72,2	34,0	72,6
Azerbaycan	0,323	73	26,0	55,8	16,8	93,9	97,5	63,4	69,7
Sırbistan	0,132	35	12,0	14,7	37,7	86,3	93,6	47,4	62,8
Avrupa ve Orta Asya	0,256	-	19,9	27,8	23,1	79,9	88,1	45,0	70,0
Çok Yüksek İGE	0,173	-	14,2	17,2	28,3	86,5	88,6	52,3	69,1

Anne ölüm oranı her 100.000 canlı doğumdaki anne ölüm sayısı ve erken doğurganlık oranı 15-19 yaşları arasındaki her 1000 kadının yaptığı doğum sayısı ile ifade edilmektedir.

3.2. Türkiye'nin Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları Açısından Değerlendirilmesi

2022 Sürdürülebilir Kalkınma Raporu'na göre Türkiye SKA'lara yönelik gerçekleştirdiği performans açısından 163 ülke arasından 71'inci olmuştur. Ülke puanı ise 70.4'tür. Türkiye OECD bölgesi içinde değerlendirilmektedir. Bölgenin ortalama puanı ise 77.2'dir (Sustainable Development Report, 2022).

Ülkeler SKA amaçlarına ulaşma açısından çeşitli renkler kullanılarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmadaki renklerde kırmızı- büyük zorluklar, turuncu- önemli zorluklar, sarı- zorluklar sürüyor ve yeşil- amaca ulaşıldı anlamına gelmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Türkiye'nin SKA Gösterge Tabloları ve Trendleri (Sustainable Development Report, 2022)

Bu çerçevede Türkiye'de ulaşılabilen bir SKA bulunmamaktadır. Amaç 1: Yoksulluğa Son ve Amaç 7: Erişilebilir ve Temiz Enerji'de önemli gelişmeler gözlemlenirken zorlukların da sürdüğü görülmektedir. Diğer taraftan Amaç 2: Açlığa Son, Amaç 4: Nitelikli Eğitim, Amaç 6: Temiz Su ve Sanitasyon, Amaç 11: Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar, Amaç 17: Amaçlar için Ortaklıklar açısından önemli zorluklar sürmektedir.

Fakat Amaç 3: Sağlık ve Kaliteli Yaşam, Amaç 5: Toplumsal Cinsiyet Eşitliği, Amaç 8: İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme, Amaç 9: Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı, Amaç 10: Eşitsizliklerin Azaltılması, Amaç 12: Sorumlu Üretim ve Tüketim, Amaç 13: İklim Eylemi, Amaç 14: Sudaki Yaşam, Amaç 15: Karasal Yaşam ve Amaç 16: Barış, Adalet ve Güçlü Kurumlar açısından Türkiye'de büyük zorlukların yaşandığı analiz edilmektedir.

Türkiye'nin durumu yeşil mutabakat açısından önemli olan Amaç 7: Erişilebilir ve Temiz Enerji Amaç 12: Sorumlu Üretim ve Tüketim ve Amaç 13: İklim Eylemi açısından detaylı olarak analiz edildiğinde; Amaç 7'nin sarı- zorluklar sürüyor, Amaç 12 ve 13'ün ise kırmızı-büyük zorluklar, turuncu- önemli zorluklar sınıflandırmasında yer aldığı görülmektedir (Tablo 4-6).

Tablo 4: SKA 7 – Uygun Fiyatlı ve Temiz Enerji Derece ve Trend Değerleri (Sustainable Development Report, 2022)

SKA 7 – Uygun Fiyatlı ve Temiz Enerji	Değer	Yıl	Derece	Trend
Elektrik verilen nüfus (%)	100,0	2019		
Yemek pişirmek için temiz yakıt ve teknolojiyi kullanan nüfus (%)	95,1	2019		
Toplam elektrik çıkışına göre (MtCO ₂ /TWh) elektrik ve ısıtma için yakıt tüketimi kaynaklı CO ₂ emisyonu	1,3	2019		
Yenilenebilir enerjinin toplam birincil enerji arzındaki payı (%)	15,9	2019		

Tablo 5: SKA 12 – Sorumlu Tüketim ve Üretim Derece ve Trend Değerleri (Sustainable Development Report, 2022)

SKA 12 – Sorumlu Tüketim ve Üretim	Değer	Yıl	Derece	Trend
Elektronik atık (kg/kişi)	10,2	2019		-
Üretim esashi SO ₂ emisyonu (kg/kişi)	15,1	2018		-
İthalattaki SO ₂ emisyonu (kg/kişi)	1,7	2018		-
Üretim esashi azot emisyonu (kg/kişi)	14,5	2015		
İthalattaki azot emisyonu (kg/kişi)	2,9	2015		
Plastik atık ihracatı (kg/kişi)	0,2	2020		-
Geri dönüştürülmeyen kentsel katı atık (kg/kişi/gün)	1,0	2019		

Tablo 6: SKA 13 – İklim Eylemi Derece ve Trend Değerleri (Sustainable Development Report, 2022)

SKA 13 – İklim Eylemi	Değer	Yıl	Derece	Trend
Fosil yakıt tüketimi ve çimento üretimi kaynaklı CO ₂ emisyonları (tCO ₂ /kişi)	4,7	2020		➔
İthalattaki CO ₂ emisyonu (tCO ₂ /kişi)	0,6	2018		⬆
Fosil yakıt ihracatındaki CO ₂ emisyonu (kg/kişi)	1,0	2020		-
EUR60/ tCO ₂ 'da Karbon Fiyatlandırma Skoru (%), en kötü 0-100 en iyi)	23,6	2018		➔

4. Türkiye'nin Avrupa Yeşil Mutabakatına Uyum Açısından Değerlendirilmesi

4.1. Türkiye'de Sürdürülebilirlikle İlgili Düzenlemeler, Kurum ve Kuruluşlar

Türkiye'de sürdürülebilirlikle ilgili düzenlemeleri yapan kurum ve kuruluşlar aşağıda listelenmiştir:

- Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
- Ticaret Bakanlığı – Yeşil Mutabakat
- Türkiye İhracatçılar Meclisi (TİM) – Sürdürülebilirlik Eylem Planı
- TÜİK – Sürdürülebilir Kalkınma Göstergeleri
- Borsa İstanbul (BİST) – Sürdürülebilirlik Endeksi
- Sermaye Piyasası Kurulu (SPK) – Sürdürülebilirlik İlkeleri Uyum Çerçevesi
- Türk Standartları Enstitüsü (TSE)
- Diğer Kurum ve Kuruluşlar (STK'lar, İnisiyatifler)

4.2 On Birinci Kalkınma Planında Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ve Yeşil Büyüme

2019-2023 dönemini kapsayan On Birinci Kalkınma Planı “daha fazla değer üreten, daha adil paylaşan, daha güçlü ve müreffeh Türkiye” vizyonuyla uzun vadeli bir perspektif sunmaktadır. Bu vizyon çerçevesinde Planın uzun vadeli kalkınma amacı, “*milletimizin temel değerlerini ve beklentilerini esas alarak ülkemizin uluslararası konumunu yükseltmek ve halkımızın refahını artırmaktır*”.

On Birinci Kalkınma Planı ile Türkiye'nin yüksek gelir grubu ülkeler ile en yüksek insani gelişmişlik seviyesindeki ülkeler arasına girmesi amaçlanmaktadır.

Planın hedef ve politikaları şu şekilde belirlenmiştir: (Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019)

- İstikrarlı ve güçlü ekonomi,
- Rekabetçi üretim ve verimlilik,
- Nitelikli insan ve güçlü toplum,
- Yaşanabilir şehirler ve sürdürülebilir çevre,
- Hukuk devleti, demokratikleşme ve iyi yönetim.

On Birinci Kalkınma Planı'nın temel amaç ve ilkeleri arasında Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) yer almaktadır. Plan'a göre:

“Sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması, ekonomik ve sosyal refahın artırılması hukuk devleti, demokratikleşme ve iyi yönetim ilkelerinin devlet tarafından güçlü bir şekilde sahiplenilmesi ve etkili bir biçimde uygulanmasıyla mümkündür.”

11. Kalkınma Planı'nda (2019-2023) SKA'ları önceliklerimiz doğrultusunda politikalara yansıtılması, amaçlara ilişkin etkili bir takip ve gözden geçirme mekanizması oluşturulması temel amaç olarak belirlenmiştir. Buna göre alınacak politika ve tedbirler şöyledir:

- SKA'lar ulusal öncelikler ve koşullar doğrultusunda sektörel ve tematik politika belgelerine yansıtılacaktır,
- Kurumsal stratejik planlar ile sektörel ve tematik politika belgeleri hazırlıklarında SKA'larla uyum gözetilecektir,
- SKA'ların takip ve gözden geçirilmesi için iyi işleyen ve katılımcı bir kurumsal koordinasyon mekanizması kurulacaktır,
- Küresel SKA gösterge setindeki gelişmelere paralel olarak ulusal gösterge setinin kapsamı öncelikler doğrultusunda genişletilecektir,
- Ulusal sürdürülebilir kalkınma amaçları izleme ve değerlendirme sistemi kurulacaktır (Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019).

On Birinci Kalkınma Planı'nda yeşil büyümeye önemli bir yer ayrılmıştır.

“Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla iklim değişikliğinden en çok etkilenecek ülkeler arasında yer almakta ve iklim değişikliğiyle mücadele çabalarına ülke gerçeklerini gözeten bir anlayışla katkı vermektedir. Ülkemizin gelişmekte olan ülke konumuna paralel şekilde, yeşil büyüme ve emisyon artış trendinin sınırlandırılması yönünde bir politika izlenmekte, iklim değişikliğine uyum çabaları önemini korumaktadır.” (Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019, s. 26).

Buna göre Planda yeşil dönüşüm ile ilgili şu hususlar yer almaktadır: (Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019, s. 26, 113, 116, 117, 159, 170.)

- Ulusal Yeşil Bina Sertifika Sistemi kurulacaktır.
- Liman operasyonlarında enerji verimliliğinin artırılması, çevresel etkilerin en aza indirilmesi ve sürdürülebilirliğin sağlanmasına yönelik Yeşil Liman uygulamaları desteklenecektir.
- Yeşil şehir vizyonu kapsamında yaşam kalitesinin artırılması ve iklim değişikliğine uyumu teminen şehirlerimizde Millet Bahçeleri yapılacak ve yeşil alanların miktarı artırılabilecektir.
- Kara ve denizdeki korunan alan miktarı artırılarak bu alanların etkin yönetiminin sağlanması için yeşil koridor oluşturulması, planlama ve altyapı çalışmaları gibi uygulamalar gerçekleştirilecektir.

4.3 Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı Yeşil Mutabakat Eylem Planı

Yeşil yatırımların Türkiye'ye çekilmesi ve ilgili tüm politika alanlarında yeşil dönüşümün desteklenmesini hedefleyen bir yol haritası niteliğindeki Eylem Planına ilişkin Cumhurbaşkanlığı Genelgesi 16.07.2021 tarihli Resmî Gazete'de yayımlanmıştır.

2021 yılından yayınlanan Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı Yeşil Mutabakat Eylem Planında 9 ana başlık altında Türkiye'nin AYM'ye uyumu planlanmıştır: Bu başlıklar altında 32 hedef ve 81 eylem yer almaktadır. Plandaki ana başlıklar şöyledir: (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021, s.9)

- Sınırdaki karbon düzenlemeleri,
- Yeşil ve döngüsel bir ekonomi,
- Yeşil finansman,
- Temiz, ekonomik ve güvenli enerji arzı,
- Sürdürülebilir tarım,
- Sürdürülebilir akıllı ulaşım,
- İklim değişikliği ile mücadele,
- Diplomasi,
- Avrupa Yeşil Mutabakatı bilgilendirme ve bilinçlendirme faaliyetleri

4.4. Türkiye İhracatçılar Meclisi (TİM) Sürdürülebilirlik Eylem Planı

TİM Sürdürülebilirlik Eylem Planı 12 hedeften oluşmaktadır. Bu hedefler (TİM Sürdürülebilirlik Eylem Planı, 2021):

- TİM Sanayide Sürdürülebilirlik Bilim Kurulu
- İhracatta Sıfır Atık Seferberliği
- Dijital Mentorluk ve Eğitim Programları
- Kurumsal Karbon Ayak İzi Çalışmaları
- Sanayide Döngüsellik ve İleri Kazanım
- İleri Arıtma Teknolojileri
- Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi
- Standardizasyon Uygulamaları
- Sertifikasyon Uygulamaları
- Yenilenebilir Enerji Kaynakları
- Sürdürülebilir Ekonomik Büyüme ve İstihdam
- Dijital Ürün Pasaportu ve İzlenebilirlik

4.5. Diğer Kurumlar Tarafından Yapılan Çalışmalar

AYM'ye uyum açısından çeşitli kurumlar tarafından raporlar çıkarılmıştır:

- Güneydoğu Anadolu İhracatçı Birlikleri- Avrupa Yeşil Mutabakatı Genel Çerçevesi- Eylül 2022
- Güneydoğu Anadolu İhracatçı Birlikleri- Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi ve Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması- Kasım 2022
- Climate Focus- Potential impacts of the Carbon Border Adjustment Mechanism on the Turkish Economy- Haziran 2021
- İklim Değişikliği Başkanlığı- Sera Gazı Emisyonlarının Takibi ve İlgili Mevzuat Kapsamında Yapılan Çalışmalar- 2022
- TESEV- TESEV Değerlendirme Notları- Türkiye Küresel İklim Rejimi'ne Neden Uyum Sağlamalı? – Nisan 2021
- İPM-MERCATOR Politika Notu (Ahmet Atıl Aşıcı)- Avrupa Birliği'nin Sınırdaki Karbon Uyarlaması Mekanizması ve Türkiye Ekonomisi- Ocak 2021
- TÜSİAD- Ekonomik Göstergeler Merceğinden Yeni İklim Rejimi- 2020

- TÜSİAD- Avrupa Yeşil Mutabakatı Döngüsel Ekonomi Eylem Planı Türk İş Dünyasına Neler Getirecek? – 2021
- Karbon Piyasalarına Hazırlık Ortaklığı (PMR)- Uygulamada Emisyon Ticareti: Tasarım ve Uygulama El Kitabı
- Dünya Bankası Grubu- Karbon fiyatlandırması Durum ve Eğilimleri- 2015
- Dünya Bankası Grubu- Karbon Fiyatlandırmasının Washington DC Durumu ve Eğilimler- Mayıs 2014
- Pazar Hazırlık Ortaklığı (PMR)- Karbon Kaçağı- Ekim 2015

4.6. Türkiye’de Avrupa Yeşil Mutabakatı’na Uyuma Yönelik Mevzuat

- Sera Gazı Emisyon Raporlarının Doğrulanması ve Doğrulamayı Kuruluşların Yetkilendirilmesi Tebliği
- Sera Gazı Emisyon Tebliği – Ek
- Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliği
- Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliği
- Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik

4.7. Emisyon Ticaret Sistemi ve Sınırdaki Karbon Düzenlemesine İlişkin Çalışmalar

Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı Yeşil Mutabakat Eylem Planında ilk amacı “Sınırdaki Karbon Düzenlemesi Mekanizması”dır (SKDM). SKDM kapsamında “AB’nin sınırdaki karbon düzenlemesinin etkilerinin sınırlandırılmasına yönelik çalışmalar yürütülmesi” ve “Ulusal bir karbon fiyatlandırma mekanizmasına yönelik değerlendirme çalışmalarının sürdürülmesi” hedefleri belirlenmiştir. (T.C Ticaret Bakanlığı, 2021, s. 13). Bu hedefler ilişkin eylemler, sorumlu kurumlar, paydaşlar ve takvim Tablo 7’de yer almaktadır.

Tablo 7: Türkiye’de Sınırdaki Karbon Düzenlemeleri ve Emisyon Ticaret Sistemine İlişkin Hedef ve Eylemler (T.C Ticaret Bakanlığı Yeşil Mutabakat Eylem Planı, 2021)

1. Sınırdaki Karbon Düzenlemeleri						
HEDEF	EYLEM	TAKVİM	SORUMLU/ KOORDİNATÖR KURUM	İLGİLİ KURUM VE PAYDAŞLAR	ÇIKTILAR	
1.1. AB'nin sınırda karbon düzenlemesinin etkilerinin sınırlandırılmasına yönelik çalışmalar yürütülmesi	1.1.1. Sınırdaki Karbon Düzenlemesine tabi olabilecek öncelikli imalat sanayi sektörlerinde sera gazı salımının azaltılmasını desteklemek amacıyla türkiye'nin yol haritasının veya faaliyetlerinin belirlenmesi	2021 III. Çeyrek 2022 IV. Çeyrek	Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Ticaret Bakanlığı İlgili STK'lar	İlgili Kurum ve STK'larla atılması gereken adımları içeren bir yol haritası oluşturulması ve bunları destekleyecek teşvik mekanizmaları kurulması	
	1.1.2. Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizmasının enerji yoğun ve kaynak yoğun sektörlerimize etkilerinin senaryolar bazında modellenerek sektör bazında çalışılması ve yapılması gereken eylemlerin değerlendirilmesi	2021 III. Çeyrek 2022 II. Çeyrek	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı	Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Ticaret Bakanlığı	Etki analizi yapılması Eylem seti önerisi hazırlanması	
	1.1.3. Sanayiden kaynaklı sera gazı emisyonlarının izlenmesine yönelik sistemin ihtiyaçlara göre geliştirilmesi	2022 IV. Çeyrek itibarıyla	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı		Halihazırda var olan online sistemin geliştirilmiş hali ve ETS kurulması durumunda ETS ile uyumlaştırılmış halinin hazırlanması	
	1.1.4. AB tarafından belirlenecek metodoloji/standartlar çerçevesinde belgelendirme faaliyeti gerçekleştirilmesine yönelik çalışmalar yürütülmesi, raporlamaya ilişkin teknik destek sağlanması	2021 IV. Çeyrek itibarıyla	Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı/TSE	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Ticaret Bakanlığı	AB'nin sınırda karbon düzenlemesi kapsamında belirlenebilecek standartlar uyumlaştırılarak karşılıklı tanımaya zemin hazırlayacak şekilde belgelendirme faaliyetleri gerçekleştirilmesinin sağlanması	
1.2. Ulusal bir karbon fiyatlandırma mekanizmasına yönelik değerlendirme çalışmalarının sürdürülmesi	1.2.1. Türkiye'nin uygun bir karbon fiyatlandırma mekanizmasına geçişine yönelik çalışmalar kapsamında, AB'nin sınırda karbon düzenlemesi dikkate alınarak karbon fiyatlandırma konusundaki Türkiye'nin pozisyonunun belirlenmesi	2022 IV. Çeyrek	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı	Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Hazine ve Maliye Bakanlığı Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Tarım ve Orman Bakanlığı Ticaret Bakanlığı	Pozisyon kağıdı hazırlanması	
	1.2.2. Ulusal karbon fiyatlandırma mekanizmasının uygulanmasının sektörler üzerinde yaratacağı ilave maliyetlere ve ekonomiye etkilerine yönelik çalışmalar yapılması ve bu bağlamda, AB ETS Devlet Yardımları Rehberi gibi, artan maliyetlere yönelik destek mekanizmalarının değerlendirilmesi	2023 IV. Çeyrek	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve Ba-	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Hazine ve Maliye Bakanlığı Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Tarım ve Orman Bakanlığı	Ulusal karbon fiyatlandırma mekanizması çalışmalarını kapsamında, olası bir mekanizmadan sağlanacak kaynaklar ile sektörün yeşil dönüşümünün yaratacağı ilave maliyetlerin desteklenmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmesi	

4.8. Karbon Piyasalarına Hazırlık Ortaklığı Programı (PMR)

2011 yılında Dünya Bankası tarafından gelişmekte olan ülkelerde sera gazı emisyonlarının azaltımı çalışmalarına destek vermek ve piyasa temelli emisyon azaltım mekanizmalarının etkin olarak kullanılmasına yönelik olarak “Karbon Piyasalarına Hazırlık Ortaklığı” (Partnership for Market Readiness – PMR) adıyla teknik destek programı başlatılmıştır. (PMR Türkiye, 2023)

Programda amaç ülkelerin piyasa mekanizmalarını ulusal düzeyde uygulamalarına imkân tanıyacak teknik ve finansal desteği sağlamaktır. Programın dört ana bileşeni bulunmaktadır: (PMR, 2019).

- Hazırlık ve Uygulama Aşamasındaki faaliyetlerin ülke nezdinde belirlenmesi ve uygulanması için desteklenmesi,
- Piyasa mekanizmalarının ve yeni yaklaşımların araştırılması ve pilot çalışmaların yapılması,
- Teknik tartışmalar için bir platform oluşturulması ve yeni piyasa mekanizmalarına ilişkin yenilikçi fikirlerin toplanmasının sağlanması,
- İyi uygulama örneklerinin ve alınan derslerin paylaşılması.

PMR Türkiye, 2014 yılından bu yana Dünya Bankası tarafından sağlanan hibe desteği ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yürütülmekte olan bir projedir. PMR'ın hedefleri şöyledir: (PMR Türkiye, 2023)

Sera gazı emisyonlarının azaltımında piyasa temelli yaklaşımların teşvik edilmesi

- Yenilikçi karbon fiyatlandırma araçlarının desteklenmesi
- Teknik tartışmalar için platform sağlanması
- Piyasa araçları için yenilikçi ve kolektif yaklaşımların sağlanması
- BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi taraflarını da içeren uluslararası toplulukla, tecrübelerin paylaşılması

PMR Türkiye Projesinin 1. Uygulama Fazında, karbon fiyatlandırması ve karbon fiyatlandırma mekanizmalarının kullanılması konularında kapasite geliştirme, farkındalık oluşturma ve eğitim çalışmalarının yürütülmesinin ve karar verme süreçlerinin desteklenmesine yönelik analitik çalışmalar yapılmıştır. Projenin 2. Uygulama Fazı ise altı adet ana bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler: (PMR Türkiye, 2023)

- İklim Değişikliği Kanunu ve ETS yönetmeliklerinin yasal ve kurumsal altyapısının oluşturulması,
- Pilot ETS için emisyon üst sınırı ve tahsisat planlarının oluşturulması,
- ETS simülasyonu uygulaması geliştirilmesi,

- ETS için bir kayıt sistemi yazılımı altyapısının geliştirilmesi,
- Paris Anlaşması Madde 6'nın Türkiye açısından değerlendirilmesi,
- PMR projesinin iletişim stratejisinin oluşturulması.

5. Sonuç

Sürdürülebilir kalkınmanın ilk kapsamlı yol haritası 2000 yılında gerçekleştirilen Binyıl Zirvesi sonrası yayımlanan BKH ile çizilmiştir. BKH, 2015 yılına kadar ulaşılması hedeflenen 8 ana hedeften oluşmaktadır. Temel hedef yoksulluğun ortadan kaldırılması olsa da BKH aşırı yoksulluk ve açlığın ortadan kaldırılması, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması, herkesin temel evrensel eğitim olanaklarına sahip olması, cinsiyet eşitsizliğinin azaltılması, çocuk ölümlerinin azaltılması, anne sağlığının iyileştirilmesi, salgın hastalıklarla mücadele edilmesi ve tüm bu başlıklarla bağlantılı olarak kalkınma için küresel düzeyde ortak hareket edilmesi konularını kapsamaktadır.

2015 yılı itibarıyla BKH'ye başarıyla ulaşıldığı değerlendirilmesi yapılması sonrasında bu kez daha kapsamlı ve 2030 yılına kadar sürdürülebilir kalkınmanın çerçevesini oluşturacak SKA yayımlanmıştır. SKA, 17 ana amaç ve bu amaçlara uygun 169 alt hedeften oluşmaktadır. Tüm ana amaçlar ve alt hedefler birbirine entegredir. Alt hedeflere ulaşmadan ana hedefe ulaşılması güçtür.

Günümüzde yaşanan ekonomik, iklimsel ve sosyal krizler bu amaçların önemini daha fazla ortaya çıkarmıştır. Bölgesel ve küresel ölçekli krizlerin sıklığının artmasıyla birlikte ülkeler kapsayıcı ve sürdürülebilir büyüme ve kalkınmaya yönelik politika uygulamalarını hızlandırmışlardır. Yaşanan krizler dünyada yeni bir büyüme ve kalkınma stratejisini de beraberinde getirmiştir.

1929 yaşanan kriz sonrası kabul edilen “yeni mutabakat” (new deal), günümüzde yerini “yeni yeşil mutabakat” a (new green deal) bırakmıştır. Bu yeni yeşil mutabakatın öne sürdüğü üretim modeli ise 3R yaklaşımının benimsendiği ürün, malzeme ve kaynakların değerinin ekonomide olabildiğince uzun tutulduğu ve atık miktarının en düşük seviyede olduğu “döngüsel ekonomi” modelidir.

Yeni yeşil mutabakatın tüm politika boyutlarıyla ilk olarak planlanıp uygulandığı yer AB'dir. AB, 11 Aralık 2019 tarihinde AYM'yi açıklamıştır. Böylelikle AB, AYM ile bir bakıma dünya genelinde yeni bir büyüme ve kalkınma stratejinin açılımını yapmıştır. AYM; 2050 yılına kadar AB'yi ekonomik büyümenin kaynak kullanımından ayırdığı, hiçbir bireyin geride kalmadığı ve net sıfır sera gazı emisyonu olan bir kıta haline getirmeyi amaçlamaktadır. AYM, sadece iklim değişikliği ile mücadele ve uyum çalışmaları yapan çevre politikası olarak ele alınmamalıdır. AYM; sanayi, enerji, tarım, gıda güvenliği, ulaşım, inşaat ve sürdürülebilir kalkınma politikalarını da kapsamaktadır Dolayısıyla AYM ile AB bir taraftan küresel rekabetçiliğini korumak isterken diğer taraftan küresel düzeyde iklim değişikliği ile mücadele çabasının artırılmasını hedeflenmektedir.

AYM'nin temelini SKA oluşturmaktadır. AB'nin, ticaret ilişkisinde olduğu ülkelerde öncelikli taahhütleri arasında SKA'ya uyum yer almaktadır. Bu nedenle özellikle AB'nin ticaret yaptığı ülkelerin AYM'ye uyum çalışmalarında öncelikle SKA'yı gündeme almaları gerekir. AYM'nin iki önemli politika aracını ise SKDM ve ETS oluşturmaktadır. SKDM, AB içi bir sistem olan ETS'in AB sınırları dışına genişletilmesi olarak tanımlanabilir. SKDM, AB sınırları içinde karbon kaçagını önlemek amacıyla AB'nin ithal ettiği ürünlerin karbon içeriklerine göre sınırdan belirli oranlarda bir “karbon salımı vergisi” alınmasını öngörmektedir. AYM'nin başta AB ile dış ticaret ilişkisinde olan ülkeler olmak üzere tüm dünya üzerinde ekonomik ve sosyal etkileri olacaktır.

Türkiye'nin en önemli ekonomik ve politik ortaklarından biri AB'dir. AYM'nin SKD ve ETS gibi uygulamaları Türkiye ekonomisi üzerinde önemli etkiler yaratacaktır. Dolayısıyla Türkiye'nin AYM'ye uyum açısından gerekli uygulamaları ivedi olarak uygulamaya koyması gerekmektedir.

Türkiye İGE değerleri açısından analiz edildiğinde ülkede tüm İGE değişkenleri açısından 1990'lardan itibaren önemli ilerlemeler kaydedildiği izlenmektedir. Fakat daha nitelikli değişkenler olan EUİGE ve TCEE açısından önemli kayıplar yaşandığı görülmektedir. Türkiye SKA açısından değerlendirildiğinde ise henüz gerçekleştirilmiş bir SKA'nın olmadığı görülmektedir. Türkiye'nin durumu özellikle yeşil mutabakat açısından önemli olan Amaç 7: Erişilebilir ve Temiz Enerji Amaç 12: Sorumlu Üretim ve Tüketim ve Amaç 13: İklim Eylemi açısından detaylı olarak analiz edildiğinde; Amaç 7'nin sarı- zorluklar sürüyor, Amaç 12 ve 13'ün ise kırmızı- büyük zorluklar, turuncu- önemli zorluklar sınıflandırmasında yer aldığı görülmektedir.

Türkiye'de AYM'ye uyum açısından çeşitli kurum ve kuruluşlar birçok çalışma yürütmektedir. Bu çalışmalar içinde Türkiye'nin 2021 yılında uygulamaya koyduğu sınırdan karbon düzenlemeleri, yeşil ve döngüsel bir ekonomi, yeşil finansman, temiz, ekonomik ve güvenli enerji arzı, sürdürülebilir tarım, sürdürülebilir akıllı ulaşım, iklim değişikliği ile mücadele, diplomasi ve AYM bilgilendirme ve bilinçlendirme faaliyetleri amaçlarını içeren “Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı Yeşil Mutabakat Eylem Planı” bir çerçeve plan olarak ele alınabilir. Bu çerçeve plana bağlı olarak çeşitli kurum ve kuruluşların hazırladığı ve uygulamaya koyduğu planlar, tebliğler, yönetmelikler bulunmaktadır.

Türkiye'de SKDM ve ETS açısından önemli çalışmalar yapılmaktadır. Yeşil Mutabakat Eylem Planında ilk amacı SKDM'dir. SKDM kapsamında “AB'nin sınırdan karbon düzenlemesinin etkilerinin sınırlandırılmasına yönelik çalışmalar yürütülmesi” ve “Ulusal bir karbon fiyatlandırma mekanizmasına yönelik değerlendirme çalışmalarının sürdürülmesi” hedefleri belirlenmiştir. Bu çerçevede gerçekleştirilecek eylemler bir takvime bağlanmıştır. Türkiye ayrıca Dünya Bankası'nın 2011 yılında başlattığı gelişmekte olan ülkelere sera gazı emisyonlarının azaltımı çalışmalarına destek vermek ve piyasa temelli emisyon azaltım mekanizmalarının etkin olarak kullanılmasına yönelik PMR programına dahildir. PMR Türkiye, 2014 yılından bu yana Dünya Bankası tarafından sağlanan hibe desteği ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yürütülmektedir.

6. Kaynaklar / References

- Acar, S., Aşıcı, A.A., Yeldan, A.E. (2021). Potential Impacts of the Carbon Border Adjustment Mechanism on the Turkish Economy, Erişim Adresi: https://erf.org.eg/app/uploads/2021/05/1620336721_804_1287018_44ahmetatlac.pdf
- Akçakaya, A., Sümer, U.M., Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Ekşioğlu, O., Gürkan, H., Yazıcı, B., Kocatürk, A., Şensoy, S., Bölük, E., Arabacı, H., Açar, Y., Ekici, M., Yağan, S., Çukurçayır, F., (2015). “*Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği*”, Ankara: Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Erişim Adresi: <https://mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim-degisikligi-projeksiyon2015.pdf>
- Aşıcı, A.A. (2021). IPM ve Mercator Politika Notu, *Avrupa Birliği’nin Sınırda Karbon Uyarlaması Mekanizması ve Türkiye Ekonomisi*, Erişim Adresi: <https://ipc.sabanciuniv.edu/Content/Images/CKeditorImages/20210106-00011055.pdf> (Haziran 2021).
- Avrupa Komisyonu. (2023). *European Green Deal*, Erişim Adresi: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en, (01.04.2023).
- Avrupa Yeşil Mutabakatı. (2019). Yeşil Düşünce Derneği çevirisi, Erişim Adresi: <https://yesildusunce.org/avrupa-yesil-mutabakati-turkce-cevirisi-yayinlandi/> . (01.03.2023).
- Birleşmiş Milletler Türkiye. (2023). Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları, Erişim Adresi: <https://turkiye.un.org/tr/sdgs>, (01.02.2023).
- Dünya Bankası Grubu. (2015). Karbon Fiyatlandırması Durum ve Eğilimleri, Erişim Adresi: https://pmturkiye.csb.gov.tr/wp-content/uploads/2016/06/Carbon_Pricing_2014_TR.pdf
- Dünya Bankası Grubu. (2014). *Karbon Fiyatlandırmasının Washington DC Durumu ve Eğilimler*, Erişim Adresi: <https://docplayer.biz.tr/17984291-Karbon-fiyatlandirmasi-durum-ve-egilimleri-washington-dc.html>
- European Commission. (2022). *EU Emissions Trading System (EU ETS)*, Erişim Adresi: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en
- Güneydoğu Anadolu İhracatçı Birlikleri. (2022). *Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi ve Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması*, Erişim Adresi: <https://www.gaib.org.tr/tr/haberler/avrupa-birligi-emisyon-ticaret-sistemi-ve-sinirda-karbon-duzenleme-mekanizmasi-aym-5-raporu-375.html>
- Güneydoğu Anadolu İhracatçı Birlikleri. (2022). *Avrupa Yeşil Mutabakatı Genel Çerçevesi AYM-3 Raporu*, Erişim Adresi: <https://www.gaib.org.tr/tr/haberler/avrupa-yesil-mutabakati-genel-cercevesi-aym-3-raporu-340.html>
- İklim Değişikliği Başkanlığı. (2022). *Sera Gazı Emisyonlarının Takibi ve İlgili Mevzuat Kapsamında Yapılan Çalışmalar*, Erişim Adresi: <https://sera.csb.gov.tr/sera-gazi-emisyonlarına-iliskin-mevzuat-i-4643>
- PMR. (2019). *Using Carbon Revenues*, Technical Note 16, International Bank for Reconstruction and Development, The World Bank, Washington DC.

- PMR Türkiye. (2015). *Karbon Kaçağı Teori, Deliller ve Politika Tasarımı*, Erişim Adresi: <https://pmrturkiye.csbgov.tr/wp-content/uploads/2016/06/karbon-ka%C3%A7a%C4%9F%C4%B1.pdf>
- PMR Türkiye. (2023). *Karbon Piyasalarına Hazırlık Ortaklığı (PMR) Programı Geleceğin Karbon Piyasaları Şekilleniyor*, Erişim Adresi: <https://pmrturkiye.csbgov.tr/pmr-programi/>
- PMR Türkiye. (2016). *Uygulamada Emisyon Ticareti: Tasarım ve Uygulama El Kitabı*, Erişim Adresi: https://pmrturkiye.csbgov.tr/wp-content/uploads/2017/01/Uygulamada-Emisyon-Ticareti_TR.pdf
- Sachs, J., Lafortune, G., Kroll, C., Fuller, G., Woelm, F. (2022). *Krizden Sürdürülebilir Kalkınmaya: 2030 ve Ötesine Bir Yol Haritası Olarak SKA'lar*. (Çev. Bahar Özay) Sürdürülebilir Kalkınma Raporu 2022. Cambridge: Cambridge University Press. <https://www.sdindex.org/>
- T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı. (2010). *Binyıl Kalkınma Hedefleri Raporu Türkiye 2010*, s. 9, Erişim Adresi: http://www.surdurulebilirlik.gov.tr/wp-content/uploads/2016/07/UNDP-TR-TR-2010-MDG-Report_TR.pdf, (01.04.2023)
- T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2019). *11. Kalkınma Planı*, Erişim Adresi: https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/07/On_Birinci_Kalkinma_Plani-2019-2023.pdf
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı. (2023). *Emisyon Ticaret Sistemi Kavram ve Yürütülen Çalışmalar*.
- T.C. Ticaret Bakanlığı. (2021). *Yeşil Mutabakat Eylem Planı*, Erişim Adresi: MUTABAKAT YEŞİL.pdf (ticaret.gov.tr)
- TESEV. (2021). TESEV Değerlendirme Notları, *Türkiye Küresel İklim Rejimi'ne Neden Uyum Sağlamalı?* Erişim Adresi: <https://www.tesev.org.tr/tr/research/turkiye-kuresel-iklim-rejimine-neden-uyum-saglamali/>
- The World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). *Our Common Future*. New York: Oxford University Press.
- Türkiye İhracatçıları Meclisi. (2021). *Sürdürülebilirlik Eylem Planı*, Erişim Adresi: <https://tim.org.tr/files/downloads/T%C4%B0M%20S%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilirlik%20B%C3%BClteni%20ve%20Planlar%C4%B1/T%C4%B0M%20S%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilirlik%20Eylem%20Plan%C4%B1.pdf>
- TÜSİAD. (2021). Avrupa Yeşil Mutabakatı Döngüsel Ekonomi Eylem Planı Türk İş Dünyasına Neler Getirecek? Erişim Adresi: <https://tusiad.org.tr/yayinlar/raporlar/item/10790-avrupa-yesil-mutabakati-dongusel-ekonomi-eylem-planı-türk-is-dunyasina-neler-getirecek>
- TÜSİAD. (2020). *Ekonomik Göstergeler Merceğinden Yeni İklim Rejimi Raporu*, Erişim Adresi: <https://tusiad.org.tr/yayinlar/raporlar/item/10633-ekonomik-gostergeler-merceğinden-yeni-iklim-rejimi-raporu>
- UNDP. (2020). *Önümüzdeki Sınır İnsani Gelişme ve Antroposen Türkiye Raporu*.

- United Nations. (1992). *Report of The United Nations Conference on Environment and Development*. Rio De Janeiro. 3-14 June 1992. Erişim Adresi: <https://www.un.org/esa/dsd/agenda21/Agenda%2021.pdf>
- United Nations. (2023). *What Is Climate Change?* Erişim Adresi: <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change>
- United Nations. (1997). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Erişim Adresi: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- World Meteorological Organization (WMO), *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2019*, WMO-No. 1248. Erişim Adresi: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10211#:~:text=The%20global%20mean%20temperature%20for,also%20the%20warmest%20on%20record.

Yazar Hakkında / About Author

Prof. Dr. Burcu YAVUZ TİFTİKÇİGİL | İstanbul Medipol Üniversitesi |
btiftikcigil[at]medipol.edu.tr | ORCID: 0000-0001-7422-6086

Prof. Dr. Burcu Yavuz Tiftikçigil İstanbul Medipol Üniversitesi İşletme ve Yönetim Bilimleri Fakültesi Ekonomi ve Finans Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Ayrıca Sürdürülebilir Kalkınma Uygulama ve Araştırma Merkezi'nin ve Kariyer Merkezi'nin müdürlüğü görevlerini sürdürmektedir. Lisans derecesini Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi İngilizce İktisat Bölümü'nden 2002 yılında almıştır. 2005 yılında Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Politikası Yüksek Lisans Program'ından mezun olmuştur. 2005 yılında Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Politikası Doktora Programı'na kabul edilmiş ve 2010 yılında mezun olmuştur. Ayrıca TİM Sanayide Sürdürülebilirlik Bilim Kurulu TTMD Küresel Isınma ve İklim Değişikliği Teknik Komitesi Üyesi'dir. Büyüme ve Kalkınma Ekonomisi, Yeşil Ekonomik Dönüşüm ve Sürdürülebilir Kalkınma alanlarında çalışmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma alanında birçok bölgesel ve uluslararası proje yönetmiş ve görev almıştır.

Prof. Dr. Burcu YAVUZ TİFTİKÇİGİL | İstanbul Medipol University |
btiftikcigil[at]medipol.edu.tr | ORCID: 0000-0001-7422-6086

Burcu Yavuz Tiftikçigil is an Professor of Economics at İstanbul Medipol University Department of Finance and Economics. Dr. Yavuz Tiftikçigil has also been serving as an director of Sustainable Development Center and Career Office. Prof. Dr. Yavuz Tiftikçigil graduated from Dokuz Eylül University Faculty of Management Department of Economics in 2002 and completed his MSc at the Kocaeli University in 2005, holds a PhD (Econ) from the Marmara University in 2010. In addition, Dr. Yavuz Tiftikçigil is a member Member of Sustainability in Industry Scientific Committee at TİM and Member of Global Warming and Climate Change Technical Committee at TTMD. Her research interests focus broadly on the macroeconomics of growth and development, green economic recovery, and sustainable development. She joined and managed many regional and international projects about sustainable development.

**NET SIFIR EMİSYON POLİTİKALARI
VE
YEŞİL MUTABAKATA UYUM**

**NET ZERO EMISSION POLICIES AND THE COMPLIANCE
WITH THE GREEN DEAL**

*Tuğba DİNÇBAŞ
Abdurrahim DURMUŞ*

NET SIFIR EMİSYON POLİTİKALARI VE YEŞİL MUTABAKATA UYUM

Tuğba DİNÇBAŞ

İklim Değişikliği Başkanlığı

Abdurrahim DURMUŞ

İklim Değişikliği Başkanlığı

Özet

Atmosferdeki sera gazı emisyonları konsantrasyonunun sanayi devrimi öncesi duruma göre artması, yer kürenin yaklaşık olarak 1,1 °C ısınmasına sebep olmuştur. İklim değişikliği olarak adlandırılan bu durum ile ortak mücadele edilmesi için 1992 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, 1997 yılında Kyoto Protokolü ve 2015 yılında Paris Anlaşması kabul edilmiştir. Paris Anlaşması, küresel sıcaklık artışının 2°C ile sınırlandırılmasını ve 1,5°C'yi aşmaması için çaba sarf edilmesini hedef olarak belirlemiş ve bu hedeflere erişilebilmesi için ülkelerin bu yüz yıl ortalarına kadar net sıfır emisyonu ulaşmaları gerektiği ifade edilmiştir. İklim değişikliği ile mücadelede küresel lider rolü üstlenmeyi misyon olarak edinen Avrupa Birliği, 2019 yılında Avrupa Yeşil Mutabakatını açıklamış ve 2050 yılında net sıfır emisyonu ulaşan ilk kıta olmayı amaçladığını beyan etmiştir. İçerdiği unsurlar itibarı ile küresel çapta etkisi olan Mutabakat'ın, ülkemizin dış ticaretine önemli yansımalarının olması beklenmektedir. Bu gelişmelere paralel olarak Türkiye, 2021 yılında 2053 net sıfır emisyon hedefini açıklamış ve Paris Anlaşmasına taraf olmuştur. Bu çalışmada; iklim değişikliği ve sera gazı emisyonlarındaki güncel duruma değinilerek net sıfır emisyon politikaları ele alınmış, Avrupa Yeşil Mutabakatının içerdiği politikalarının ülkemize olası etkileri değerlendirilmiş ve Türkiye'nin net sıfır emisyon hedefine ulaşması ve Avrupa Yeşil Mutabakatına uyum sağlaması için uygulamaya koyması gereken politikalar için öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler

İklim değişikliği, Sera gazı emisyonu, Net sıfır emisyon hedefi, AB yeşil mutabakatı

NET ZERO EMISSION POLICIES AND THE COMPLIANCE WITH THE GREEN DEAL

Tuğba DİNÇBAŞ

Directorate of Climate Change

Abdurrahim DURMUŞ

Directorate of Climate Change

Abstract

The increase in the concentration of greenhouse gas emissions in the atmosphere since the industrial revolution has caused the temperature of the earth to increase by 1,1°C. The United Nations Framework Convention on Climate Change in 1992, the Kyoto Protocol in 1997, and the Paris Agreement in 2015 were adopted in order to collectively combat this phenomenon which is called climate change. The Paris Agreement set the target to limit global warming to below 2°C and to pursue efforts to limit it to 1,5°C. It has been stated that countries should reach net zero emissions by the middle of this century in order to be realized these targets. Having regarded it a duty to be a global leader in the fight against climate change, the European Union announced the European Green Deal in 2019 and declared that it aims to be the first continent to reach net zero emissions by 2050. With its elements, the EU Green Deal has a global impact and it is expected to have an effect on Türkiye's foreign trade. In parallel with these developments, in 2021, Türkiye announced its 2053 net-zero emission target and became a party to the Paris Agreement. In this study; net zero emission policies were discussed while addressing the current situation in climate change and greenhouse gas emissions; the possible effects of the policies of the European Green Deal on Türkiye have been evaluated and, Policy recommendations have been developed for Türkiye in order to achieve its net zero emissions target and to comply with the European Green Deal.

Keywords

Climate change, Greenhouse gas emission, Net-Zero emission target, The EU green deal

1. Giriş

Sanayi devrimi ile birlikte, başta kömür olmak üzere fosil yakıtların kullanımının yaygınlaşması, sera gazı emisyonlarında günümüze kadar periyodik bir artış meydana getirmiştir. Bunun bir sonucu olarak artan atmosferdeki sera gazı birikimi küresel sıcaklığın 1850 yılından 2020 yılına kadar yaklaşık olarak 1,1 °C artmasına sebep olmuştur (IPCC, 2023). İnsan kaynaklı iklim değişikliği olarak da adlandırılan bu durum, aşırı hava olayları ile birlikte sel ve orman yangını gibi doğal afetlere, tarımsal üretimde verim kaybına, sıcaklığa bağlı ölümlere vb. neden olmaktadır.

İklim değişikliği, yıllık salınan sera gazı emisyon miktarından daha çok atmosferde kümülatif olarak biriken sera gazı miktarı ile bağlantılıdır. Bundan dolayı yıllık ve uzun vadeli küresel karbon bütçesi hesaplamaları yapılmaktadır. Sanayi devriminden itibaren periyodik olarak artan sera gazı emisyonları 2019 yılı itibari ile en yüksek seviyesine ulaşmıştır. CO₂'ın atmosferde kalma süresinin uzunluğu dikkate alındığında, Paris Anlaşması ile belirlenen 2°C ve 1,5 °C hedeflerinin başarılabilmesi için ülkelerin en kısa sürede net sıfır emisyonu ulaşmaları gerekmektedir. Bu çerçevede ülkeler, net sıfır emisyon hedeflerini açıklamakta ve ekonomilerinin karbonsuzlaştırılması için atacakları adımlara yönelik politikalarını ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, iklim değişikliği ile mücadele öncü olan Avrupa Birliği, 2019 yılında Avrupa Yeşil Mutabakatını açıklamış ve 2050 yılı için net sıfır emisyon hedefi ortaya koymuştur. Küresel iklim değişikliği ile mücadelenin bir paydaşı olan Türkiye'de 2021 yılında 2053 net sıfır emisyon hedefini açıklamıştır. Ancak bu hedeflerin başarılabilmesi için tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de ekonomik, sosyal ve kültürel yönden değişime ihtiyaç bulunduğu görülmektedir.

2. Küresel İklim Değişikliği ve Sera Gazı Emisyonları

Atmosfer, okyanus ve Dünya yüzeyindeki sıcaklık artışında insan rolü bilimsel olarak kabul edilmekte olup küresel yeryüzü sıcaklığının 2011-2020 yılları arasında 1850-1900 yılları arasına göre insan faaliyetleri nedeniyle 1,1 °C daha arttığı hesaplanmaktadır (IPCC, 2023). Bu artışın ana sebebi insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının atmosferdeki sera gazı konsantrasyonunu artırmasıdır. 2019 yılı itibari ile atmosferdeki CO₂ konsantrasyonu 410 ppm değerine, CH₄ konsantrasyonu 1866 ppb değerine, ve N₂O konsantrasyonu 332 ppb değerine ulaşmıştır. Sera gazı emisyonlarında keskin azaltımlar başarılmazsa, sıcaklık artışının bu yüzyıl içerisinde 2°C'yi aşması beklenmektedir. Bu değişimin sonucu olarak, aşırı sıcak hava dalgaları, ani ve aşırı yağışlar, kuralık ve tropik hortumlar gibi ekstrem iklim ve hava olaylarının bölgesel ve küresel ölçekte meydana gelmesinde artış yaşanmaktadır (IPCC, 2021).

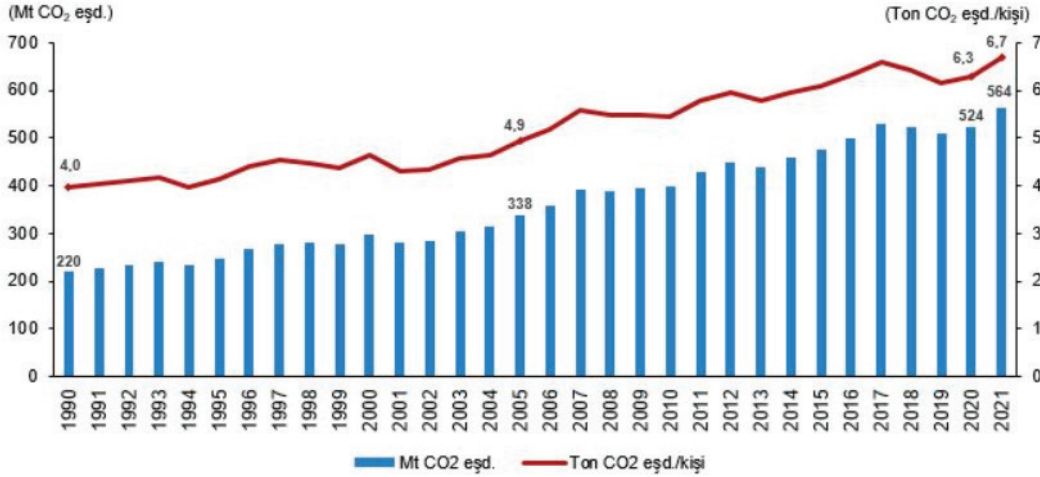
2010-2019 yılları arasında kümülatif sera gazı emisyonları artmaya devam ederek yaklaşık olarak 59 GtCO₂ eş seviyesine ulaşmıştır. Emisyonlardaki artışın ana faktörü fosil kaynaklı yakıtların yakılması sonucu ortaya çıkan CO₂ olmuştur. 2019 yılı yıllık emisyon oranları sektörel bazda bakıldığında, toplam emisyonların %34'nün enerji arzı sektöründen, %24'nün sanayi sektöründen, %22'sinin tarım ormancılık ve arazi kullanım değişikliği sektöründen,

%15'nin ulaştırma sektöründen ve %6'sının bina sektöründen kaynaklandığı görülmektedir. Küresel sıcaklık artışının belirli sınırlar içinde tutulabilmesi için atmosfere salınan sera gazı emisyonlarının küresel olarak sınırlandırılması gerekmektedir. Bu kapsamda salımına izin verilebilecek karbon dioksit miktarı karbon bütçesi olarak adlandırılmaktadır. Bu kapsamda, küresel sıcaklık artışının 1,5 °C ile sınırlandırılabilmesi için kalan karbon bütçesinin yaklaşık olarak 500 GtCO₂ eşdeğer olduğu tahmin edilmektedir (IPCC, 2022).

Atmosferdeki sera gazı birikiminin tarihsel olarak ele alınması gerekliliği, iklim değişikliğine yönelik yapılan uluslararası müzakerelerde tarihsel sorumluluk kavramının temelini oluşturmakta olup ülkelerin tarihsel sorumlulukları nispetince sürece katkı vermeleri gerektiği tezi ileri sürülmüştür. Bu yaklaşım zaman içerisinde Paris Anlaşması ile birlikte, Çin gibi yüksek emisyon üreten ülkelerin iklim değişikliği ile mücadele ve emisyon azaltımına katkı vermesi gerekliliğinden ötürü farklı bir çerçeveye bürünmüştür.

Sanayi devriminden itibaren tahmini olarak 1,5 trilyon ton CO₂ atmosfere salınmıştır. Bu kümülatif birikimin yaklaşık %25'inden ABD, %22'sinden AB-28 ülkeleri, %12,7'sinden Çin, %6'sından Rusya ve %3'ünden Hindistan sorumludur. Türkiye'nin küresel kümülatif sera gazları içindeki payının %0,6 civarında olduğu hesaplanmaktadır (Our World in Data, 2019).

Toplam ve kişi başı sera gazı emisyonu, 1990-2021



Şekil 1. Türkiye'nin Sera Gazı Emisyonları (TÜİK, 2023)

3. Uluslararası Anlaşmalar ve Net Sıfır Kavramı

İnsan kaynaklı faaliyetler sonucu artan atmosferdeki sera gazı konsantrasyonunu iklim sistemine zarar vermeyecek bir düzeyde tutmayı amaçlayan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS), 1992 yılında gerçekleştirilen Rio Dünya Zirvesinde imzaya açılmış ve 1994 yılında yürürlüğe girmiştir. Türkiye BMİDÇS'ye 2004 yılında taraf olarak iklim

değişikliği ile küresel mücadelede yerini almıştır (UNFCCC, t.y.). BMİDÇS, çatı bir sözleşme olup iklim değişikliği ile mücadeledeki hedeflerin başarılabilmesi için uygulama araçlarına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu ihtiyaca binaen 1997 yılında Sözleşmenin uygulama aracı olarak Kyoto Protokolü kabul edilmiş ve 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Protokol ile Sözleşme Ek-1 ülkeleri sera gazı emisyonlarını kararlaştırılan bireysel hedeflere uygun olarak sınırlama ve azaltma taahhüdünde bulunmuştur (UNFCCC, t.y.). Ülkemiz 2009 yılında Protokole taraf olmuş ancak herhangi bir sera gazı azaltım taahhüdü altına girmemiştir (İklim Değişikliği Başkanlığı, 2022a).

Küresel emisyonlarda ciddi paya sahip olan ABD'nin Protokole taraf olmaması ve başta Çin ve Hindistan gibi küresel emisyonların önemli bir kısmından sorumlu olan gelişmekte olan ülkelerin Protokol kapsamında azaltım taahhütlerinin bulunmaması, istenilen seviyede emisyon azaltımının başarılabilsinin önüne geçmiştir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerin artan emisyonlarının iklim değişikliği ile küresel mücadelede azımsanamayacak etkisi, küresel emisyon azaltım rejiminde değişikliği zorunlu kılmıştır. Bu yönde atılacak adımların belirlenmesi için BMİDÇS çatısı altında başlatılan müzakereler, 2015 yılında Paris'te düzenlenen BMİDÇS 21. Taraflar Konferansında sonuçlanmış ve iklim değişikliği ile mücadele bir dönüm noktası olarak kabul edilen Paris Anlaşması kabul edilmiştir.

Yeni Anlaşma metninde BMİDÇS'nin Ek sistemine atıf yapılmayarak gelişmiş ülke ve gelişmekte olan ülke terimleri kullanılmış ancak hangi ülkelerin bu kategorilerde yer aldığının sınıflandırılması yapılmamıştır. Aşağıdan-yukarı bir yaklaşımın sergilendiği Anlaşmada, sera gazı emisyon azaltımı dahil iklim değişikliği ile mücadeleye tüm tarafların katkı vermesi prensibi sergilenmiştir. Bu amaçla, tüm tarafların Ulusal Katkı Beyanı (NDC) olarak tanımlanan ve taraf ülkenin sera gazı emisyon projeksiyonları, sera gazı azaltım politikaları ve iklim değişikliğine uyum politikaları vb. bilgileri içeren belgeleri her beş yılda bir periyodik olarak BMİDÇS Sekreteryasına sunmaları ve sunulan her yeni beyanın bir öncekinden daha iddialı hedefler içermeleri gerektiği Anlaşma ile karar bağlanmıştır (UNFCCC, 2015).

Paris Anlaşması ile 197 ülke, küresel sıcaklık artışının 2 °C ile sınırlandırılması ve 1,5 °C'yi aşmaması için çaba sarf edilmesi konusunda anlaşmıştır. 1,5 °C hedefinin başarılabilmesi için kalan küresel karbon bütçesi 420-580 GtCO₂ arasındadır. Bu aralıkta kalınabilmesi için küresel emisyonların 2030 yılında kadar pik noktasına ulaşması ve 2050 civarında net sıfır emisyonu ulaşması gerekmektedir. Anlaşmanın 2. Maddesi'nde bu husus somutlaştırılarak bu yüzyıl ortasına kadar insan kaynaklı sera gazı emisyonları ile karbon yutak alanlarının miktarca eşitlenmesi gerektiği ifade edilmektedir (UNFCCC, 2015).

Paris Anlaşması net sıfır dönüşümünün “eşitlik ilkesi” çerçevesinde gerçekleştirilmesini vurgulamıştır. Gelişmekte olan ülkelerin emisyonlarının pik yapmasının daha uzun süre alabileceği ve net sıfır emisyon dönüşümünün eşitlik temelinde başarılabileceği kayıt altına alınmıştır. Bu amaçla, ülkelerin Uzun Dönemli Düşük Karbonlu Kalkınma Stratejilerini hazırlayıp BMİDÇS Sekreteryasına sunmaları talep edilmiştir (UNFCCC, 2015).

Son IPCC raporuna göre İklim değişikliği ile küresel mücadelede yapılanlar yetersiz kalmakta olup daha sürdürülebilir bir Dünya için hızlı, iddialı ve keskin adımlar atılması gerektiği kabul edilmiştir. Buna göre 2030 yılında %48, 2035 yılında %65, 2040 yılında %80 ve 2050 yılında %99 CO₂ azaltımı yapılmalıdır (IPCC, 2023).

Türkiye, 22 Nisan 2016 tarihinde, New York'ta düzenlenen Yüksek Düzeyli Anlaşma İmza Töreni'nde 175 ülke temsilcisiyle birlikte Paris Anlaşmasını imzalamıştır. "Anlaşma'nın Onaylanmasının Uygun Bulunduğuna Dair Kanun" 7 Ekim 2021 tarihli ve 31621 sayılı Resmî Gazetede yayımlanmış ve Anlaşmaya ilişkin Onay Belgesi 11 Ekim 2021 tarihinde BMİDÇS Sekreteryasına iletilmiş olup Türkiye 10 Kasım 2021 tarihinde resmi olarak Paris Anlaşmasına taraf olmuştur. Ayrıca Türkiye Anlaşmaya taraf olmasından kısa bir süre önce, 27 Eylül 2021 tarihinde 2053 Net Sıfır Hedefini açıklamış ve yeşil kalkınma devrimini başlattığını ilan etmiştir (İklim Değişikliği Başkanlığı, 2022b).

Küresel iklim değişikliği müzakerelerinin gelişimi değerlendirildiğinde, BMİDÇS ile ilk olarak iklim değişikliği ile mücadele için atmosferdeki sera gazı konsantrasyonunun azaltılması hedef olarak ortaya koyulmuş, Kyoto Protokolü ile de yüzde olarak emisyon azaltım hedefleri belirlenmiştir. Paris Anlaşması ile birlikte hedef konsept değişmiş ve net sıfır emisyonu ulaşma hedef yılı gibi zaman bazlı hedefler kavramsallaştırılmıştır.

Net sıfır, karbon-nötr ve iklim-nötr kavramları birbirlerinden teknik olarak farklı olsalar da, açıklanan ülke iklim taahhütlerinde bir dil birliğinin olmadığı görülmektedir. Karbon nötr, bir özneye ait antropojenik CO₂ emisyonlarının yine antropojenik CO₂ çıkarımları ile dengelendiği durumu ifade etmektedir. Bu özne, ülke, bölge, kurum ve emtia gibi bir varlık olabildiği gibi, hizmet veya etkinlik gibi bir faaliyet de olabilmektedir. Karbon nötr ve net sıfır karbon dioksit örtüşen kavramlar olmakla birlikte tanımlanan sınırlara göre anlamsal farklılıklar göstermektedirler. Küresel ölçekte uygulandığında karbon nötr ile net sıfır karbon dioksit aynı kavramları ifade etmektedir. Ölçek daha küçük ele alındığında ise; karbon nötr, bir kurumun kontrolü altında veya sorumluluk alanı içinde olan emisyon kaynaklarına ve yutak alanlara uygulanmakta, ancak net sıfır karbondioksit ise kurumun kontrolü altında veya sorumluluk alanı içinde olan veya olmayan tüm emisyon kaynaklarına ve yutak alanlara uygulanmaktadır (IPCC, 2022).

Net sıfır sera gazı emisyonu ise, bir birimin sorumluluk alanı içerisinde belirli bir zaman periyodunda salınan insan kaynaklı toplam sera gazı emisyonlarının, yutaklar tarafından tutulan sera gazı emisyonlarına denk olduğu durum ifade etmektedir. Sera gazı nötr ile net sıfır sera gazı birbirleri ile örtüşen kavramlar olmakla birlikte uygulama alanlarına göre anlamsal farklılıklar göstermektedir. Küresel ölçekte uygulandığında sera gazı nötr ile net sıfır sera gazı aynı kavramları ifade etmektedir. Ölçek daha küçük ele alındığında ise: net sıfır sera gazı, bir birimin kontrolü altında veya sorumluluk alanı içinde olan CO₂ dahil tüm diğer sera gazı emisyon kaynaklarına ve yutak alanlara uygulanmakta, ancak sera gazı nötr ise kurumun kontrolü altında veya sorumluluk alanı içinde olan veya olmayan tüm emisyon kaynaklarına ve

yutak alanlara uygulanmaktadır (IPCC, 2022). Teknik olarak tanımlar bu şekilde olsa bile, hem literatürde hem de açıklanan hedeflerde kavramların birbirleri yerine veya daha dar veya geniş anlamda kullanıldığı görülmektedir. Açıklanan bir takım net sıfır hedeflerinin net sıfır sera gazı mı yoksa net sıfır karbondioksit mi olduğu noktasında muğlaklıklar bulunmaktadır.

4. Net Sıfır Politikaları

Küresel sıcaklık artışı belirli bir yıldaki emisyon salım miktarı ile değil, atmosferde biriken kümülatif sera gazı miktarı ile ilgilidir. Bu sebeple net sıfır emisyon hedeflerine ne kadar erken erişilebilirse insanoğlu iklim değişikliğinin etkilerine o nispette daha az maruz kalacaktır. Erken emisyon azaltımının gerçekleştirilmesi için, uzun dönemli net sıfır emisyon hedefleri ile birlikte kısa dönemli emisyon azaltım hedeflerinin uyum içinde belirlenmesi gerekmektedir (Fankhauser, 2022).

Geleneksel emisyon azaltım politikaları enerji sektörünün dekarbonizasyonuna odaklanmaktadır (Energy Transition Commission, 2021). Yenilebilir enerji maliyetlerindeki düşüşler bu dönüşümü hızlandırmaktadır (International Energy Agency, 2021). Ancak emisyon azaltımının zor ve maliyetli olduğu ağır sanayi, tarım ve havacılık gibi sektörlerde politik, teknolojik ve finansal unsurlar daha belirleyici olmaktadır (International Energy Agency, 2020).

Prensip olarak net sıfır hedefi belirli bir seviye kalan emisyon miktarı ve buna karşılık gelecek miktarda karbon tutulumu ile başarılabilir. Ormanların doğal karbon yutağı olmasından hareketle bunların korunarak artırılmasına ilave olarak karbon tutma ve depolama teknolojilerinin devreye alınmasıyla karbon tutulum miktarı artırılabilir. Karbon yutma kapasitesi biyolojik ve jeolojik ayrıca ekonomik kısıtlardan dolayı belirli bir sınırdan kalabilir. Tutma kapasitesinin artırılmasına ilişkin küresel çözümlerden biri olan orman alanlarının egzotik ağaç türlerinin plantasyonu gibi yöntemlerle artırılarak karbon tutma kapasitesinin yükseltilmesi, mevcut ekosistemi bozacağına ilişkin endişeleri beraberinde getirmektedir. Ayrıca karbon tutma ve depolama teknolojilerinin birçoğu daha prototip aşamasında olup küresel ölçekte henüz yaygınlaşmamıştır (Fankhauser, 2022). Önemli bir yutak kapasitesine sahip olan bir ülke olarak, yutak alanlarını koruyarak geliştirmesi, Türkiye'nin net sıfır emisyonu ulaşabilmesi bakımından çok önemlidir.

Net sıfır emisyon hedefinin en önemli parametrelerinden bir tanesi de "hakkaniyet ilkesi"dir. Bu husus iki başlık altında ele alınabilir. Birinci husus emisyon azaltım maliyetinin kim tarafından karşılanacağı durumudur. Bu maliyetin ülkeler arasında, ülke içinde ve hatta nesiller arasında eşitlik ilkesine dayalı olarak paylaşılması gerekmektedir. Ayrıca, iklim değişikliğine karşı atılacak adımların, ulusların kalkınma hakkına hanel getirmemesi gerekmektedir. Hakkaniyet ilkesi çerçevesinde ele alınacak ikinci husus ise, iklim değişikliğinin zararlı etkilerine karşı maruz kalanların zararlarının nasıl karşılanacağı konusudur. Özellikle kırılgan grupların korunması amacıyla finansal, sosyal ve teknolojik destek sağlanması önemlidir.

Paris Anlaşması kapsamında taraf ülkeler iklim değişikliğine ilişkin hedef ve politikalarını yansıtan ulusal katkı beyanlarını (NDC) ve Uzun Dönemli Düşük Karbonlu Kalkınma Stratejilerini sunmaktadır.

Türkiye, Paris Anlaşması'na taraf olmasının ve 2053 net sıfır emisyon hedefinin açıklamasının ardından Ulusal Katkı Beyanının güncellenmesi, 2053 vizyonlu Uzun Dönemli İklim Değişikliği Stratejisinin hazırlanması ve Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planının ve İklim Değişikliği Uyum Stratejisi güncellenmesi çalışmalarına başlamıştır (İklim Değişikliği Başkanlığı, 2022b). Şarm El Şeyh'de düzenlenen BMİDÇS 27. Taraflar Konferansı'nda Türkiye güncellediği NDC ile 2015 yılında yüzde 21 olarak açıkladığı emisyon azaltım hedefini 2030 yılı için yüzde 41'e yükselttiğini duyurmuştur (İklim Değişikliği Başkanlığı, 2022c). Türkiye uzun dönemli iklim stratejisinin hazırlıkları ise devam etmektedir.

2020 yılı itibarıyla küresel emisyonların %91,4'ünden sorumlu olan 172 ülke ya yeni bir NDC sunmuş veya mevcut NDC'sini güncellemiştir. Sunulan bu NDC'lerin sadece 107 tanesi daha iddialı emisyon azaltım hedefi içermektedir (Climatewatch, 2023a). Küresel emisyonların %69,5'inden sorumlu olan 57 ülke Uzun Dönemli Düşük Karbonlu Kalkınma Stratejilerini BMİDÇS Sekreteryasına sunmuştur. Bu stratejilerden sadece 43 tanesi net sıfır emisyon hedefi içermekte ve bu 43 ülkenin sera emisyonu ise küresel emisyonların %57,9'una tekabül etmektedir (Climatewatch, 2023b).

Uzun Dönemli Düşük Karbonlu Kalkınma Stratejilerinin yanında birçok ülke, şehir ve şirket net sıfır emisyon hedefi açıklamış bulunmaktadır. Çin, ABD, AB, Rusya, Hindistan ve Japonya gibi yıllık emisyonların %50'den fazlasından sorumlu olan ülkeler (IPCC, 2014) başta olmak üzere toplamda 135 ülke, 121 bölge, 246 şehir ve 824 firma net sıfır emisyon hedefi açıklamıştır. Bu hedefler küresel olarak emisyonların %88'ini, satın alma gücü paritesi bakımında küresel gayri safi yurt içi hasılanın %92'sini ve nüfus açısından ise dünya nüfusunun %85'ini kapsamaktadır (Net Zero Tracker, 2022).

Ülkeler net sıfır emisyon hedeflerini açıklarken gaz kapsamını farklı olarak belirlemede veya çoğunlukla kapsamı açıklamamaktadır. Çin'in 2060 yılı olarak açıklamış olduğu net sıfır hedefinin kapsamı sadece CO₂ olurken Birleşik Krallık tarafından açıklanan 2050 net sıfır hedefi tüm sera gazlarını kapsamaktadır. Kapsamı geniş olan ülkeler daha azimli hedef koymuş durumundadır.

Net sıfır emisyon hedeflerinin gerçekleştirilmesi için sosyal, politik ve ekonomik anlamda değişim gerekmektedir. Üretim ve tüketim alışkanlıklarında köklü bir değişiklik olmadan net sıfırın başarılması mümkün gözükmemektedir. Öncelikli olarak küresel emisyonların yaklaşık %70'inden sorumlu olan enerji sektöründe dekarbonizasyonunun başarılması ve bunun için de kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtların güneş, rüzgar ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile ikame edilmesi gerekmektedir.

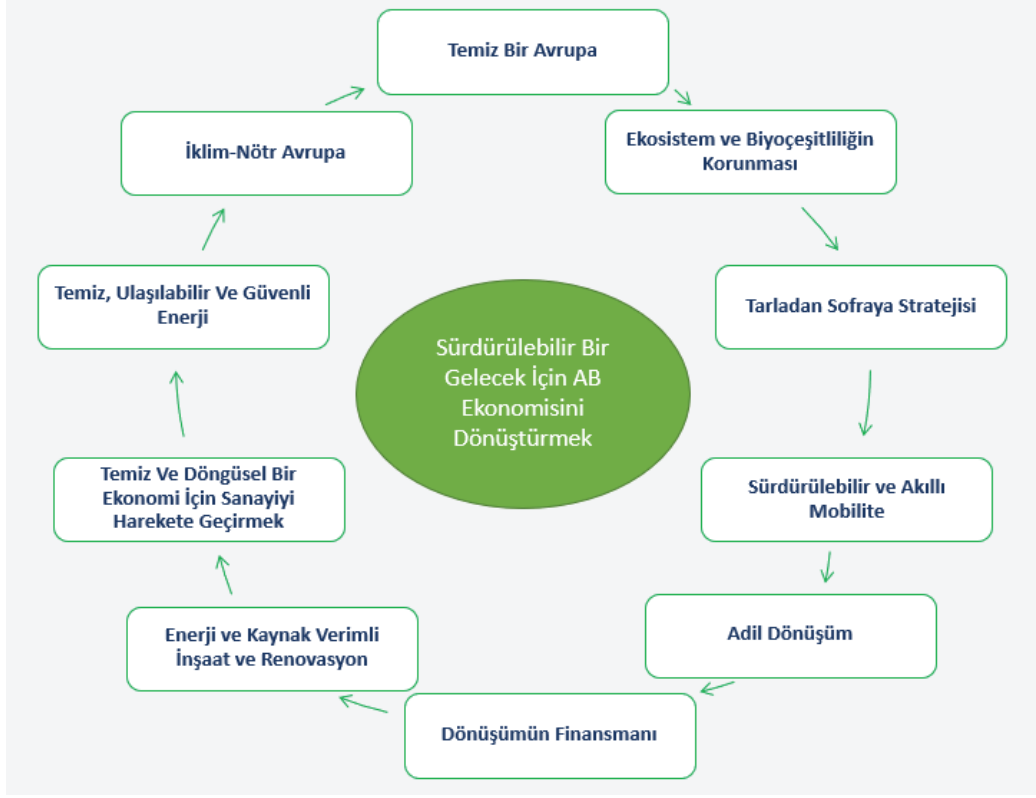
2050 yılında net sıfır emisyon hedefine ulaşılması için küresel olarak uygulanması gereken politikalar şu şekilde özetlenebilir:

- Öncelikli olarak 2050 yılında elektrik ve ısı üretimi kaynaklı CO₂ emisyonlarının sıfırlanması ve diğer sektörlerde ciddi emisyon azaltımlarının yapılması.
- Mevcut NDC'lerin ve Uzun Dönemli İklim Değişikliği Stratejilerinin 1.5 °C hedefi ile uyumlu olacak şekilde güncellenmesi.
- Enerji ve proses bazlı sanayi sektörü emisyonlarının 2030'a kadar %40 ve fosil yakıt kullanımı kaynaklı CH₄ emisyonlarının %75 azaltılması. (IEA, 2021).
- Yeniden ağaçlandırma gibi ekosistem bazlı çözümler veya karbon tutma ve depolama gibi mühendislik çözümleri yoluyla sera gazı emisyonlarının dengelenmesi.
- Uluslararası iş birlikleri dahil karbon fiyatlandırma mekanizmalarının devreye alınması (Carbon Pricing Leadership Coalition, 2022).
- Elektrikli ve hidrojen gibi alternatif yakıtlı araçların, toplu taşımının, bisiklet kullanımının ve yaya yürüyüşünün yaygınlaştırılması.
- Binaların enerji verimliliğinin artırılması ve binalarda enerji kullanımı kaynaklı emisyonların sıfırlanması.
- Gıda kaybı ve israfının azaltılması ve verimli tarım uygulamalarının geliştirilmesi.
- Demir-çelik ve çimento üretimlerinin karbonsuzlaştırılması.
- Ormansızlaşmanın engellenerek bozulmuş arazilerin restorasyonu (Kelly Levin, 2023)
- Karbon tutma ve depolama ile hidrojen gibi yenilikçi teknolojilerin yaygınlaştırılması.

5. Avrupa Yeşil Mutabakatı

Avrupa Birliği'nin "iklim değişikliğiyle mücadele ve ekonomik büyüme" perspektifiyle, 2050 yılına yönelik yeni stratejik vizyonunu ortaya koyan ve tüm sektörleri ilgilendiren düzenlemeler içeren "Avrupa Yeşil Mutabakatı" (AYM - European Green Deal), 11 Aralık 2019 tarihinde Avrupa Komisyonu tarafından açıklanmıştır. AYM, AB'yi, 2050 yılında sera gazı emisyonlarının net olarak sıfırlandığı, ekonomik büyüme ve kaynak kullanımının birbirinden ayrıştırılmasının başarılı olduğu, adil ve müreffeh bir topluma dönüştürmeyi amaçlayan bir üst politika belgesidir (European Commission, 2019). AYM, on politika unsuru üzerine inşa edilmiştir (Şekil 2).

Bu amacı gerçekleştirebilmek adına AB, AYM'ye bağlı alt mevzuat, strateji ve politika belgelerini belirli bir takvime bağlı olarak yayınlamakta ve yürürlüğe koymaktadır.



Şekil 2. AYM Politika Unsurları (European Commission, 2019)

AYM kapsamında yayımlanan önemli politika belgelerinden biri Döngüsel Ekonomi Eylem Planıdır. AB bu plan ile, sürdürülebilir bir ekonomik sisteme geçmeyi hedeflemektedir. Ana omurgası sürdürülebilir ürün politikası olan eylem planı kapsamında, elektronik ve bilişim teknolojileri; bataryalar ve araçlar; paketleme; plastikler; tekstil; yapı malzemeleri ve inşaat; gıda ve su kritik alanlar olarak yer almaktadır. Bu kapsamda, kritik ürünler için eko-tasarım kriterlerinin güncellenmesi veya oluşturulması; bataryalarda, araçlarda ve yapı malzemelerinde ikincil hammadde kullanımının zorunlu hale getirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, çevre kirliliğinin azaltılması adına ambalaj ve ambalaj atığı miktarının azaltılması ve mikro plastiklerin kullanımının kısıtlanması hedeflenmektedir (European Commission, 2020).

Avrupa Yeşil Mutabakatının ana unsuru AB'nin 2050 yılında net sıfır emisyonu ulaşması hedefidir (European Commission, 2019). AB Komisyonu Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında 14 Temmuz 2021 tarihinde "55'e Uyum" mevzuat paketini açıklamıştır. Paket ile daha önce %40 olan 2030 emisyon azaltım hedefi %55 olarak revize edilmiş ve iklim değişikliği ile küresel mücadelede diğer dünya ülkelerine liderlik yapılması prensip olarak benimsenmiştir. Teklif paketi, iklim hedeflerine uyum için tüm AB ekonomisinde kapsamlı bir dönüşümü öngörmektedir. Paket kapsamında öne çıkan hususlar şu şekildedir:

1. AB Emisyon Ticaret Sisteminin revizyonu
2. Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM)’nin yürürlüğe konması
3. Yeni Bir Sosyal İklim Fonu kurulması
4. Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık Regülasyonunun revizyonu
5. Çaba Paylaşma Regülasyonunun revizyonu
6. Yeni otomobiller ve kamyonetler için CO₂ performans standardı getirilmesi
7. Yenilebilir Enerji Direktifinin revizyonu
8. Enerji Vergilendirme Direktifinin revizyonu
9. Enerji Verimliliği Direktifini revizyonu (European Commission, 2021)

Avrupa Yeşil Mutabakatının en önemli ve küresel ticareti derinden etkilemesi beklenen politikası hiç şüphesi Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM)’dir. 2023 yılında pilot olarak, 2026 yılından itibaren ise tamamen yürürlüğe girmesi planlanan mekanizma ile AB, kendi pazarına girecek ürünlerdeki gömülü karbon emisyonlarını fiyatlandırılmayı planlanmaktadır (European Union, 2022). Politikanın ticarette haksız rekabete sebep olacağına ve Dünya Ticaret Örgütü kuralları ile uyumlu olmadığına yönelik itirazlar olsa da AB, Mekanizmayı uygulamakta kararlı görünmektedir.

Avrupa Birliği sera gazı emisyonlarını maliyet etkin bir şekilde azaltılması için 2005 yılında AB Emisyon Ticaret Sistemini kurmuştur. Elektrik ve ısı üretimi, enerji yoğun sanayi ve havacılık sektörlerinde faaliyet gösteren yaklaşık 10.000 tesisi kapsayan sistem çerçevesinde salınan sera gazı emisyonları ton başına ücretlendirilmektedir (European Commission, t.y.). Bu durum firmalara ek bir maliyet yüklemekte ve bu maliyet dolaylı olarak nihai tüketicilere yansımaktadır. Bunun bir sonucu olarak karbon sızması dediğimiz durum oluşmaktadır. Karbon sızıntısı, sıkı çevre politikasının uygulandığı bir ülkede bulunan firmaların daha gevşek çevre politikalarının uygulandığı ülkelere faaliyetlerini kaydırması veya sıkı çevre politikasının uygulandığı ülkenin pazarında daha gevşek çevre politikalarının uygulandığı ülkelere ithal edilen ürün miktarının artması şeklinde oluşmaktadır. SKDM, karbon sızıntısını engellemesi amacıyla tasarlanması ve AB ETS’nin tamamlayıcı bir aracı olarak görülmektedir.

Avrupa Komisyonu tarafından 14 Temmuz 2021 tarihinde önerilen SKDM mevzuat taslağı üzerinde AB kurumları arasında uzun müzakere süreci yürütülmüştür. İlk taslak üzerinde yapılan revizyonlar neticesinde SKDM mevzuatı hakkında 13 Aralık 2022 tarihinde anlaşma sağlanmıştır (European Commission, 2022). SKDM’nin genel tasarım unsurlarını şu şekilde olması planlanmaktadır.

- Mekanizmanın 1 Ekim 2023 tarihi itibarı ile pilot olarak uygulamaya girmesi hedeflenmektedir. 2025 yılı sonunda kadar sürecek olan bu geçiş döneminde, mevzuat kapsamındaki ürünleri ithal eden AB’de yerleşik ithalatçılar, bu ürünlerin üretimi esnasında salınan direk emisyonlar ile üretimde kullanılan elektrik tüketimi kaynaklı dolaylı emisyonları ürün bazında raporlayacaktır. Bu dönemde emisyonlar ücretlendirilmeyecektir.
- Mekanizmanın fiili olarak 1 Ocak 2026 tarihinde devreye girmesi planlanmaktadır. Bu dönemde, AB’de yerleşik ithalatçılar ithal ettikleri ürünlerdeki gömülü emisyonlar miktarınca SKDM sertifikası temin edip emisyon raporları ile birlikte sunacaklardır. Bir SKDM sertifikası 1 ton CO₂ eşdeğerine karşılık gelecek olup ücreti AB Emisyon Ticaret Sisteminde oluşan haftalık fiyat ortalamasına göre belirlenecektir.
- Mekanizmanın kapsamının çelik, alüminyum, çimento, gübre, elektrik sektörleri ile hidrojen olmasına karar verilmiştir. Ayrıca demir-çelik sektörü ürünlerinin ara mamul olarak kullanılarak elde edilen konteyner, vida, cıvata ve bağlantı elemanları gibi ürünler ile bu sektörlerde hammadde olarak kullanılan aglomere demir cevheri, ferro manganez, ferro nikel, ferro krom, kaolin ve kaolin bazlı killeri gibi bazı ürünlerde kapsama dahil edilmiştir. 2030 yılına kadar kapsamında AB ETS’deki tüm sektörleri kapsayacak şekilde genişletilmesi planlanmaktadır.
- Uygulamaya ilişkin ikincil mevzuatların 2026 yılına kadar tamamlanması planlanmaktadır.
- Ücret hesaplamasında AB ETS kapsamında verilen bedava tahsisatlar ile ürünün menşei olan ülkede ödenen karbon fiyatları dikkate alınacaktır. Bu iki durumda oluşan maliyetler belirli bir metodoloji ile hesaplanarak SKDM sertifikası ücretinden düşülecektir.
- Mekanizmanın devreye girmesi ile birlikte AB ETS kapsamında dağıtılan ücretsiz tahsisatlar 2034 yılında kadar aşamalı bir şekilde kaldırılacaktır (European Parliament, 2023).

Avrupa Birliği tarafından yayımlan Avrupa Yeşil Mutabakatına Türkiye’nin adaptasyonuna yönelik bir yol haritası niteliğindeki “Yeşil Mutabakat Eylem Planı” 16.07.2021 tarihli ve 31543 sayılı Cumhurbaşkanlığı Genelgesi ile yayımlanmıştır. Eylem planında, sınırda karbon düzenlemeleri, yeşil ve döngüsel bir ekonomi, yeşil finansman, temiz, ekonomik ve güvenli enerji arzı, sürdürülebilir tarım, sürdürülebilir akıllı ulaşım, iklim değişikliği ile mücadele, diplomasi ve Avrupa Yeşil Mutabakatı bilgilendirme ve bilinçlendirme faaliyetleri olmak üzere 9 ana başlık altında 32 hedef ve 81 eylem bulunmaktadır.

Eylem Planının uygulanması ile ülkemiz ekonomisi ve sanayisinin yeşil dönüşümünün hızlandırılarak sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması ve ulusal firmalarımızın küresel değer zincirlerin entegrasyonun başarılması hedeflenmektedir.

Avrupa Birliği, 196,4 milyar dolar ticaret hacmi ile ülkemizin en büyük ticari ortağı konumundadır. AB'ye olan ihracatımız ise 2022 yılında olarak gerçekleşmiş olup toplam ihracatımızdan %40,6 pay almıştır. AB'nin toplam ithalatında Türkiye'nin payı ise %3,3 civarındadır (Ticaret Bakanlığı, 2023). SKDM kapsamındaki sektörlerdeki toplam ihracatımızda AB'nin payı 2020 verilerinde göre; demir-çelik sektöründe %32, alüminyum sektöründe %53, çimento sektöründe %11, gübre sektöründe %23 ve elektrik sektöründe %84'tür (Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu, 2022). Bu bilgiler SKDM'nın yürürlüğe girmesinin ülkemiz başta mezkur sektörler olmak üzere tüm dış ticaretimiz üzerinde ciddi bir etkisinin olacağını ortaya koymaktadır.

6. Sonuç ve Değerlendirme

Gelişmekte olan ülkelerdeki ekonomik büyüme ile birlikte küresel sera gazı emisyonları son yıllarda hızlı bir şekilde artmıştır. Mevcut trendin devam etmesi halinde küresel sıcaklık artışı ile birlikte iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin geri döndürülemez boyutlara ulaşacağı öngörülmektedir. Bu durumun değiştirilmesi için Paris Anlaşması ile birlikte tüm ülkelere bu yüzyıl ortalarında sera gazı emisyonlarını sıfırlamaları çağrısında bulunulmuştur. Bu çerçevede ülkeler, net sıfır emisyon için hedef yılı açıklamaktadırlar ve Paris Anlaşması kapsamında Uzun Dönemli İklim Değişikliği Stratejilerini BMDİDÇS sekreteryasına sunmaktadırlar. Bu amaca yönelik açıklanan politik dokümanlardan biri Avrupa Yeşil Mutabakatı'dır.

Avrupa Komisyonu tarafından Aralık 2019'da açıklanan Avrupa Yeşil Mutabakatı, karbon emisyonlarını 2030'a kadar %55'e düşürerek ve 2050'ye kadar karbon nötr hale getirerek Avrupa Birliği'nin iklim nötr ekonomiye geçişini teşvik etmeyi amaçlayan bir yol haritasıdır. Bölgesel bir politika dokümanı olsa da içerdiği hususlar itibarı ile küresel çapta etkileri olan bir belgedir. Bu sebeple, Mutabakatın net sıfır emisyona geçişe olan etkileri hem AB düzeyinde hem de küresel düzeyde ele alınmalıdır.

Sera gazı emisyonlarının azaltılması başta olmak üzere bir dizi önlem getirerek AB ekonomisini sürdürülebilir kılmayı amaçlayan Mutabakat, çevresel problemleri ve iklim değişikliğini bir fırsata dönüştürerek AB'de kapsayıcı ve adil bir dönüşümü sağlamayı hedeflemektedir. Paris Anlaşmasının hedeflerinin gerçekleştirilmesini bir vizyon olarak belirleyen AB, 2050 yılı için belirlemiş olduğu net sıfır sera gazı emisyon hedefinin başarılmaması için bu Mutabakat ile tüm politikalarında değişim ve dönüşüm yapmayı planlamaktadır. AB, emisyon azaltım politikasının temeli olan Emisyon Ticaret Sistemini daha sıkılaştırarak net sıfıra maliyet etkin ulaşmayı ve sistemi Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması ile tamamlayarak küresel pazarlarda rekabetçiliğini de korumayı amaçlamaktadır. Döngüsel Ekonomi Eylem Planı'nda, ürünlerin tasarımından bertarafına kadar tüm üretim ve tüketim aşamalarının bütüncül bir yaklaşım ile ele alınarak karbon ayak izlerinin azaltılması temel amaç olarak belirlenmiştir. Avrupa Yeşil Mutabakatı ile AB, Paris Anlaşması kapsamında vermiş olduğu küresel taahhütlerinin, ekonomik rekabetçiliğini koruyarak ve maliyet etkin bir şekilde yerine getirebilmesinin yol haritasını ortaya koymuştur.

Küresel ticarete %16'lık (European Union, 2023) paya sahip olan AB, bu pozisyonunu kullanarak iklim değişikliği ile mücadelede lider rolü üstlenip küresel emisyonların azaltulmasını teşvik etmeyi misyon olarak belirlemiştir. AB, bu amaca yönelik olarak 1 Ekim 2023 tarihinden itibaren Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizmasını yürürlüğe koyacağını beyan etmiştir. Bu mekanizma ile, karbon fiyatı içselleştirilmemiş ürünlerin AB pazarına girmesinin önüne geçilecek ve yumuşak iklim politikaları uygulayan ülkelere karşı AB ekonomisinin rekabetçiliği korunmuş olacaktır. Diğer taraftan, Döngüsel Ekonomi Eylem Planı kapsamındaki Sürdürülebilir Ürün İnisiyatifi çerçevesinde AB, başta eko tasarım ve enerji verimliliği mevzuatları olmak üzere ürün mevzuatlarında köklü değişime gitmeyi planlamaktadır. Çevresel unsurların yanında sosyal unsurlar da dikkate alınarak kriterler oluşturulacak ve bu kriterlere göre üretilmeyen ürünlerin de AB pazarına girmesi zorlaştırılacaktır.

En büyük ticari ortağımız AB'de yaşanan bu gelişmelerin ülke ekonomimizi derinden etkilemesi beklenmektedir. SKDM'nin dolaylı olarak getireceği ek maliyetler, önlem alınmaması durumunda, AB'ye olan ihracatımıza olumsuz yansıyacaktır. Bu olumsuzlukların hafifletilmesi amacıyla, AB ETS'sinin metodolojisi ile uyumlu bir ulusal emisyon ticaret sistemi kurarak karbon fiyatlandırmasına yoluna başvurulması en iyi seçenek olarak durmaktadır. Bu girişimden elde edilecek gelirler ile düşük karbonlu ekonomiyi teşvik etmek için kaynak sağlanmış olacak ve ülke kaynaklarının AB'ye aktarılmasının önüne geçilmiş olacaktır.

Ayrıca Türkiye 2053 yılı için net sıfır emisyon hedefi açıklamıştır. Bu hedefin başarılabilmesi için ekonomimizde köklü değişikliklere ihtiyaç bulunmaktadır. Bu doğrultuda, elektrik üretim sektörünün mümkün mertebe dekarbonizasyonu, enerji verimliliğinin artırılması, sanayi ve ulaştırma sektörlerinin elektrifikasyonu, iyi tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması ve yutak alanlarımızın karbon tutma kapasitelerinin geliştirilmesi atılacak adımların başında gelmektedir. Ayrıca karbon tutma ve depolama ile hidrojen teknolojileri gibi yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi için desteklerin sağlanması ve bu teknolojilerin uygulanması için kapasite geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

7. Kaynaklar / References

- BDDK. (2022). *Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu*. 03, 11, 2023 tarihinde Avrupa Birliğine Yapılan İhracatta Karbon Vergisine Tabi Olacak Beş Sektöre Yönelik Etki Analizi: <https://www.bddk.org.tr/KurumHakkinda/EkGetir/18?ekId=113#:~:text=Yine%20Ticaret%20Bakanl%C4%B1%C4%9F%C4%B1%20verilerine%20g%C3%B6re,84'%C3%BC%20AB%20%C3%BClkelerine%20ger%C3%A7ekle%C5%9Ftirilmi%C5%9Ftir> adresinden alındı
- Carbon Pricing Leadership Coalition. (2022). *What You Need to Know About Net Zero*. 3, 10, 2023 tarihinde Report of the Task Force on Net Zero Goals & Carbon Pricing: <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2022/05/23/what-you-need-to-know-about-net-zero#:~:text=Technically%2C%20global%20net%20zero%20will,be%20released%20into%20the%20atmosphere.> adresinden alındı

- Climatewatch. (2023a). *Climatewatch*. 3, 8, 2023 tarihinde NDC Enhancement Tracker: <https://www.climatewatchdata.org/2020-ndc-tracker> adresinden alındı
- Climatewatch. (2023b). *Climatewatch*. 3 7, 2023 tarihinde Explore Long-Term Strategies (LTS): https://www.climatewatchdata.org/lts-explore?category=ghg_target adresinden alındı
- Energy Transition Commission. (2021). *Making Clean Electrification Possible: 30 Years to Electrify the Global Economy*. Energy Transition Commission.
- European Comission. (2021). Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. *Fit for 55: delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality*. Brussel: European Comission.
- European Comission. (t.y). *Climate Action*. 03 10, 2023 tarihinde EU Emissions Trading System (EU ETS): https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en#a-cap-and-trade-system adresinden alındı
- European Commission. (2019). The European Green Deal. Brussel, Belgium: European Commission. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX%3A52019DC0640> adresinden alındı
- European Commission. (2020). Circular Economy Action Plan. Brussel, Belgium.
- European Commission. (2022). *European Commission*. 3 10, 2023 tarihinde European Green Deal: Agreement reached on the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM): https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_7719 adresinden alındı
- European Parliament. (2023). *Provisional Agreement Resulting From Interinstitutional Negotiations*. Brussel: European Parliament.
- European Union. (2022). *Taxation and Customs Union*. 3 10, 2023 tarihinde Carbon Border Adjustment Mechanism: https://taxation-customs.ec.europa.eu/green-taxation-0/carbon-border-adjustment-mechanism_en adresinden alındı
- European Union. (2023). *European Commission*. 3 17, 2023 tarihinde Trade: https://policy.trade.ec.europa.eu/eu-trade-relationships-country-and-region/eu-position-world-trade_en adresinden alındı
- Fankhauser, S. S. (2022). The meaning of net zero and how to get it right. *Nature Climate Change*(12), s. 15–21. doi:<https://doi.org/10.1038/s41558-021-01245-w>
- Hannah Ritchie, M. R. (2020). *Our World in Data*. CO₂ and Greenhouse Gas Emissions: <https://ourworldindata.org/co2-emissions#citation> adresinden alındı
- IEA. (2021). *Net Zero by 2050: A Road Map for the Global Energy Sector*. 3 15, 2023 tarihinde https://www.iea.org/:https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf adresinden alındı
- İklim Değişikliği Başkanlığı. (2022a). *İklim Değişikliği Başkanlığı*. 3 7, 2023 tarihinde Kyoto Protokolü: <https://iklim.gov.tr/kyoto-protokolu-i-35> adresinden alındı
- İklim Değişikliği Başkanlığı. (2022b). *İklim Değişikliği Başkanlığı*. Türkiye'nin 2053 yılı net sıfır emisyon rotası hazırlanıyor: <https://iklim.gov.tr/turkiye-nin-2053-yili-net-sifir-emisyon-rotasi-hazirlaniyor-haber-22> adresinden alındı

- İklim Değişikliği Başkanlığı. (2022c). *İklim Değişikliği Başkanlığı*. Türkiye Ulusal Katkı Beyanı'nı COP27'de Açıkladı: <https://iklim.gov.tr/turkiye-ulusal-katki-beyani-ni-cop27-de-acikladi-haber-84#:~:text=%C3%87evre%2C%20%C5%9Eehircilik%20ve%20%C4%B0klim%20De%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fi,y%C3%BCzde%2041%20oran%C4%B1nda%20azalt%C4%B1ma%20y%C3%BCkseltti.adresinden alındı>
- International Energy Agency. (2020). *Global EV Outlook 2020*. International Energy Agency.
- International Energy Agency. (2021). *Renewables 2020: Analysis and Forecasts to 2025*. International Energy Agency.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change*. IPCC.
- IPCC. (2019). *IPCC Special Report on Global Warming of 1.5 °C*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. IPCC.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022 : Mitigation of Climate Change*. IPCC.
- IPCC. (2023). *AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023*. IPCC. 3 23, 2023 tarihinde https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf adresinden alındı
- Kelly Levin, T. F. (2023). *World Resources Institute*. 20, 3 2023 tarihinde What Does “Net-Zero Emissions” Mean? 8 Common Questions, Answered: <https://www.wri.org/insights/net-zero-ghg-emissions-questions-answered> adresinden alındı
- Net Zero Tracker. (2022). *Net Zero Tracker*. 3 8, 2023 tarihinde Analysis: <https://zerotracker.net/> adresinden alındı
- Our World in Data. (2019). *Our World in Data*. 3 6, 2023 tarihinde Who has contributed most to global CO2 emissions?: <https://ourworldindata.org/contributed-most-global-co2> adresinden alındı
- Ticaret Bakanlığı. (2023). *Ticaret Bakanlığı*. 03 2023, 11 tarihinde Yanı Başımızdaki Dev Pazar Avrupa Birliği: <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/avrupa-birligi/yani-basimizdaki-dev-pazar-avrupa-birligi> adresinden alındı
- TÜİK. (2023). *Turkish Greenhouse Gas Inventory Report 1990-2021*. Ankara: TÜİK.
- UNFCCC. (2015). Paris Agreement. UNFCCC.
- UNFCCC. (t.y.). *United Nations Climate Change*. 3 7, 2023 tarihinde What is the United Nations Framework Convention on Climate Change?: <https://unfccc.int/process-and-meetings/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change> adresinden alındı
- UNFCCC. (t.y.). *United Nations Climate Change*. 3 7, 2023 tarihinde What is the Kyoto Protocol?: https://unfccc.int/kyoto_protocol adresinden alındı
- United Nations Treaty Collection . (t.y.). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. United Nations Treaty Collection .

Yazarlar Hakkında / About Authors

Dr. Tuğba DİNÇBAŞ | Başkan Yardımcısı | Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İklim Değişikliği Başkanlığı | tugba.dincbas[at]iklim.gov.tr | ORCID: 0000-0002-0206-4521
2003 yılında ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun olan Dinçbaş, 2007 yılında Hacettepe Üniversitesi İşletme Bölümü Yönetim Organizasyon alanında “Aile İşletmelerinde Devir Süreci” konulu teziyle yüksek lisans derecesi, 2017 yılında ise Ankara Üniversitesi Sosyal Çevre Bilimleri Anabilim dalında “Türkiye’de İklim Değişikliği Bağlamında Temiz Teknoloji Edinimi” konulu teziyle doktora derecesi aldı. İş hayatına Uzman Yardımcısı olarak başlayan Dinçbaş, 2004-2011 yılları arasında Milli Prodüktivite Merkezi Araştırma Bölüm Başkanlığında, 2011-2019 yılları arasında Sanayi ve Teknoloji Bakanlığında ve 2019-2021 yılları arasında T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığında çevre sektöründe uzman ve koordinatör olarak görev yaptı. Ocak 2022 tarihinde İklim Değişikliği Başkanlığına Sera Gazı Azaltım Politikaları Daire Başkanı olarak atandı. 15 Haziran 2022 tarihinden itibaren İklim Değişikliği Başkanlığında Başkan Yardımcısı olarak görevlendirildi. Dinçbaş, azaltım, uyum, yerel politikalar, teknoloji ve yeşil dönüşüm politikalarından sorumlu Başkan Yardımcısı olarak görevine devam etmektedir. Dr. Dinçbaş’ın temel uzmanlık alanları; değişim yönetimi, iklim değişikliği, emisyon azaltımı, uyum, iklim değişikliği müzakereleri, çevre yönetimi ve politikaları, döngüsel ekonomi, temiz üretim, sürdürülebilirlik, stratejik planlama ve temiz teknolojilerdir. Dr. Dinçbaş’ın sayılan bu konularda kitapları ve bilimsel yayınlarının yanında proje geliştirme ve yönetim, eğitim ve danışmanlık deneyimi bulunmaktadır. Ayrıca 2011 yılından itibaren Türkiye adına Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi müzakereleri heyetinde görev almaktadır. Dinçbaş, İngilizce ve Almanca bilmektedir.

Dr. Tuğba DİNÇBAŞ | Deputy Director | Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, Directorate of Climate Change | tugba.dincbas[at]iklim.gov.tr | ORCID: 0000-0002-0206-4521

As an environmental engineer graduated from Middle East Technical University in 2003, Dr. Dinçbaş earned a Master’s Degree in the Department of Business Administration from Hacettepe University in 2007 and a PhD in the Environmental Social Sciences from Ankara University in 2017 with a clean technology adaptation concentration. Dr. Dinçbaş worked as an expert and coordinator in the environmental sector at the National Productivity Centre between 2004-2011, at the Ministry of Industry and Technology between 2011-2019, and at the Presidency of Strategy and Budget between 2019-2021. Currently she serves as the Deputy Director at the Directorate of Climate Change where she coordinates mitigation, adaptation, local policies, technology and green transition subjects. She belongs to the national delegation of Türkiye under the UN Framework Convention on Climate Change negotiations. Her primary focus has been in the area of climate change, mitigation, adaptation, environmental management and policies, circular economy, cleaner production, sustainability, strategical planning, change management and clean technologies. Dr. Dinçbaş has various publications and also project development/management/assessment, training and consulting experiences in these areas.

Abdurrahim DURMUŞ | Uzman | Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İklim Değişikliği Başkanlığı | [abdurrahim.durmus\[at\]iklim.gov.tr](mailto:abdurrahim.durmus[at]iklim.gov.tr) |

ORCID: 0000-0002-2184-4523

Abdurrahim DURMUŞ 1987 Çayeli doğumludur. İlköğretimini Çayeli Madenli İlköğretim Okulu'nda, orta öğrenimini Rize Fener YDA Lisesi'nde tamamlamıştır. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2011-2015 yılları arasında Karayolları Genel Müdürlüğü'nde Proje Mühendisi olarak görev yapmıştır. 2015 yılında Sanayi ve Teknoloji Bakanlığında, Sanayi ve Teknoloji Uzman Yardımcısı olarak görev başlamış, 2018 yılında Sanayi ve Teknoloji Uzmanı kadrosuna atanmıştır. Uzmanlık Tezi çalışmasını Emisyon Ticaret Sistemi ve Karbon Vergisi üzerine yapmıştır. Ayrıca, bu süre zarfında iklim değişikliği ile ilgili bir çok seminere ve çalıştaya katılım sağlamıştır. 2015 yılında Paris'te düzenlenen ve Paris Anlaşmasının kabul edildiği Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 21. Taraflar Konferansı'nda katılım sağlayan Türkiye Müzakere heyetinde yer almıştır. 2022 yılında Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın bağlı kuruluşu olan İklim Değişikliği Başkanlığı'nda uzman olarak göreve başlamış olup halen bu görevi ifa etmektedir.

Abdurrahim DURMUŞ | Expert | Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change Directorate of Climate Change | [abdurrahim.durmus\[at\]iklim.gov.tr](mailto:abdurrahim.durmus[at]iklim.gov.tr) |

ORCID: 0000-0002-2184-4523

Abdurrahim DURMUŞ was born in Çayeli in 1987. He completed his primary education at Çayeli Madenli Primary School and his secondary education at Rize Fener YDA High School. He graduated from Sakarya University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering in 2009. He worked for the General Directorate of Highways as a Project Engineer Between 2011 and 2015. He started to work for the Ministry of Industry and Technology as an Associate Industry and Technology Expert in 2015, and was appointed as an Industry and Technology Expert in 2018. He prepared and Expertise Thesis on Emission Trading System and Carbon Tax. He was one of the members of the delegation of Türkiye participating in the 21st Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change, which was held in Paris in 2015 and where the Paris Agreement was adopted. He also has participated in many conferences, seminars on climate change, and workshops and has taken part in many studies on climate change policies. In 2022, he started to work for the Directorate of Climate Change an expert and still work for it.

**YEŞİL MUTABAKATIN
DEĞER ZİNCİRİNE ETKİSİ**

THE IMPACT OF GREEN DEAL ON THE VALUE CHAIN

Nurşen NUMANOĞLU

YEŞİL MUTABAKATIN DEĞER ZİNCİRİNE ETKİSİ

Nurşen NUMANOĞLU
TÜSİAD Genel Sekreter Yardımcısı

Özet

Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM), Paris Anlaşması ile ortaya konan iklim değişikliği ile mücadele hedeflerinin sağlanmasında önemli bir inisiyatif olma niteliği taşımaktadır. İlgili AB düzenleyici çerçevesi AB'nin ticaret ilişkisi olan tüm ülkelerde değer zinciri boyunca yeşil dönüşümü ve uyumu gerektiren tedbirler içermektedir. Bu kapsamda, AYM süreci bir yandan sürdürülebilir kalkınma amaçlarının gerçekleştirilmesine hizmet ederken diğer yandan rekabete ve ticarete etki boyutu ile ayrı bir önem taşımaktadır. Bu makale, değer zincirine etki eden farklı bileşenleri ilgili müktesebat bağlamında ortaya koymaktadır. AYM'nin bütüncül yapısı, gerek ilgili tüm sektörlerde derinleşen gerek mali, teknolojik ve sosyal konularda desteklerle perçinlenen unsurları dikkate alınarak değerlendirilmektedir. AYM bünyesinde olan Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması bu kapsamda değer zinciri boyunca kritik bir rol taşımaktadır. Üretim ve tedarik zinciri süreçlerinde dönüşümü de beraberinde getirmektedir. Yeşil dönüşümde stratejik rol oynayan ham maddelerde bağımlılığın azaltılması ve kaynak çeşitliliğinin sağlanması da kritik bir odak alanı oluşturmaktadır. Ticaret kuralları çevresel tedbirler bağlantılı şekillenmeye başlarken şirketler açısından çevresel, sosyal ve yönetsel (ESG) kriterlere nasıl uyumlandığı, sürdürülebilirlik raporlaması gibi unsurlar önemli gelişme alanları olmaktadır. Bu durum sürdürülebilirlik finansmanı çabalarına da önemli ivme sağlamaktadır. Bir diğer alan da yeşil dönüşümün teknoloji boyutunu gerçekleştirecek Ar-Ge ve inovasyon süreçlerinde odaklanmadır.

Anahtar Kelimeler

Avrupa yeşil mutabakatı, Sınırdaki karbon düzenleme mekanizması, İklim değişikliği, Döngüsel ekonomi, Tedarik zinciri, Taksonomi

THE IMPACT OF GREEN DEAL ON THE VALUE CHAIN

Nurşen NUMANOĞLU
TÜSİAD Deputy Secretary General

Abstract

The European Green Deal (EU GD) is one of the noteworthy initiatives which is under implementation for achieving the goal of combating climate change in line with the Paris Agreement. The relevant EU regulatory framework includes measures that require green transformation and compliance along the value chain in the countries which have trade relationships with the EU. In this regard, EU GD process is important with its effect on competition and trade while serving also to achieve the goal of sustainable development. This article evaluates different components which have impacts on the value chain in the context of relevant Acquis Communautaire. The holistic structure of EU GD is elaborated by taking into account its components which deepened in all relevant sectors and reinforced by financial, technological and social measures. The Carbon Border Adjustment Mechanism which is under the EU GD, plays a critical role throughout the value chain. It also has a transformative effect on the production and supply chain processes. Reducing dependency on raw materials which is strategic for the green transformation and ensuring resource diversification are the other critical areas to focus. As trade rules being to take shape in line with environmental measures, how companies comply with environmental, social, and governance (ESG) principles and sustainability reporting are becoming important areas of development. This gives a significant impetus to sustainability financing efforts. Another area is the focus more on R&D and innovation processes which will realize the technology dimension of the green transformation.

Keywords

European green deal, Carbon border adjustment mechanism, Climate change, Circular economy, Supply chain, Taxonomy

1. Giriş

Avrupa Komisyonu Başkanı Ursula von der Leyen tarafından 2019 yılında açıklanan Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM), Avrupa Birliği'nin (AB) yeni büyüme stratejisi olması yanında, AB'nin küresel seviyede iklim değişikliği ile mücadele konusunda liderlik yapma hedefinin de uygulama çerçevesini oluşturmaktadır. 2020 yılından bu yana ilgili politika alanlarındaki AB müktesebatı, yeşil mutabakatın temel amacını oluşturan AB'nin 2050'de iklim-nötr kıta olma hedefi doğrultusunda gözden geçirilmektedir. Tüm bu yeni düzenlemeler hem AB iç pazarında hem de AB'nin ekonomik ve ticaret ilişkisi olan ülkelerde değer zincirinin tamamında bir dönüşüm sürecinin tetikçisi olmuştur. Bu süreç dijital teknolojileri ve dijitalleşme unsurlarını da yoğun bir şekilde içermesi itibarıyla esasen ikiz dönüşüm diye adlandırdığımız yeşil ve dijital dönüşümü içinde beraber barındırmaktadır.

2. Avrupa Yeşil Mutabakatının Dinamik bir Şekilde Gelişen Kapsamının Değer Zincirine Etkisi

2.1. Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Türkiye için Önemi

AYM, modern ve rekabetçi bir ekonomi düzenini hedeflerken sanayiden tarıma, ulaştırmadan enerjiye tüm ilgili sektörleri ele almakta; bu alanlarda AB'nin 2050 iklim hedefine ulaşmayı mümkün kılacak politika çerçevesine yönelik müktesebat adil dönüşüm, sürdürülebilir finansman, Ar-Ge gibi uygulama etkinliğini sağlayacak tedbirlerle eş zamanlı ve bütüncül bir yaklaşımı tesis edecek şekilde hayata geçirilmektedir. Bu düzenlemelerin etki alanları imzalanan Serbest Ticaret Anlaşmaları ve yatırım anlaşmaları, finansman ve fon mekanizmaları gibi farklı yapılar yoluyla AB'nin ekonomi paydaşlarına ve tedarik zincirindeki ülkelere genişlemektedir. Dünyanın en büyük tek pazarını oluşturan, 16,6 trilyon dolarlık büyüklük ile küresel GSYH içinde %16'lık payı tutan ve 80 ülkenin birinci ticaret ortağı olan AB, 440 milyonu aşan tüketicisi ile küresel ekonomi ve ticaret politikalarının gelişimi üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır (European Commission, 2023).

Gerek pandemi gerek Rusya-Ukrayna savaşının tecrübe ettirdiği tedarik zincirlerinin kırılganlığı beklenenin aksine, AYM'nin başta belirlenen iklim hedefiyle uygulamaya geçirilme kararlılığında bir azalmaya neden olmamış; bunun yerine yeşil ve dijital dönüşüm odaklı politikalarda ve kendine yeterlilik ile korumacılık eksenine yaklaşan perspektiflerde hızlanmaya ön ayak olmuştur.

Ticaretimizin yaklaşık yarısını gerçekleştirdiğimiz AB'nin AYM kapsamında ele aldığı ve değer zincirine etki eder nitelik taşıyan bazı düzenlemeleri değerlendirmek özel önem arz edecektir. AB'nin Paris Anlaşması'nın yüzyılın sonunda küresel sıcaklık artışını sanayi öncesi değerlere göre 1,5°C ile sınırlama hedefini de gözeterek ortaya koyduğu güçlü emisyon azaltım hedefleri AB sanayisinin küresel rekabet gücü açısından bazı endişeleri de beraberinde getirmiş ve karbon kaçağı riskleri AB sanayisi tarafından ciddi bir şekilde gündeme taşınmıştır.

2.2. Karbonsuzlaşma Hedefleri ve Sınırdaki Karbon Düzenlemesi Mekanizması

AB'nin üretim ve tüketim süreçlerinde karbonsuzlaşma hedefiyle başlattığı AYM'nin dinamosunu 55'e Uyum (Fit for 55) paketi oluşturmaktadır. Bu kapsamda ortaya konan 2030 yılı itibarıyla net sera gazı emisyonunu en az %55 azaltma hedefinin uygulama araçlarının başında AB Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) sistemi gelmektedir. AB ETS kapsamındaki sektörlerde 2030 yılında %62 oranında emisyon azaltımı üzerinden bir kurgulama yapılmıştır. AB ETS'ye deniz taşımacılığı da dahil edilmiş olup karayolu ve binalar için de ayrı bir ETS tesis edilecektir. Bu güçlü karbon fiyatlandırma politikasının, özellikle enerji yoğun üretim sektörlerinden daha esnek çevresel tedbirleri olan ülkelere kayma şeklinde tarifledebilecek, karbon kaçağı yaratma riskinin önüne geçilmesi amacıyla da Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) öngörülmüştür.

AYM süreci ve kapsamında öngörülen düzenlemeleri tedarik zinciri açısından irdelerken öncelikle SKDM Tüzüğünü (CBAM, 2022) ele almak uygun olacaktır. 1 Ekim 2023 tarihinde raporlama yükümlülüğü başlayacak olan AB SKDM Tüzüğü, AB ülkelerinde sera gazı emisyonları önemli ölçüde azaltılırken, ithal edilen ürünlerde gömülü sera gazı emisyonlarının artmaya devam etmesi ve bu durumun küresel sera gazı emisyon ayak izinin azaltılmasına yönelik çabalara da hizmet etmediği gerekçeleriyle yürürlüğe konmaktadır. Gerek bu durum gerek AB içinde yukarı çekilen iklim hedeflerine yönelik getirilen ilave tedbirlerden kaynaklı karbon kaçağı riskinin önlenmesi hedefleriyle AB ETS kapsamında uygulanan karbon fiyatlandırması ile ithal ürünlerin SKDM sertifikaları yoluyla karbon fiyatlandırmasının eşitlenmesinin sağlanması SKDM'nin uygulama temelini oluşturmaktadır. Karbon fiyatlandırmasının yeşil dönüşüm yatırımlarını, emisyon azaltımı amaçlı iyileştirmeleri hem AB hem de değer zincirindeki tüm ülkelerde ivmelendireceği hedefi de ön planda tutulmaktadır. AB ETS ile entegre sistemleri olan Avrupa Serbest Ticaret Birliği ve Avrupa Ekonomik Alanı ülkeleri SKDM'den muaf tutulmaktadır. Bu yapı, AB ile ticaret ilişkisinde olan ancak AB ETS eşdeğeri karbon ücretlendirmesi yapmayan ülkelere karbon fiyatlandırması uygulamasına geçilmesi gündemini ivmelendirmiştir. AB ETS sera gazı emisyonları için bir tavan belirlerken, SKDM ithalata herhangi bir limit koymamakta, bir diğer ifade ile ticaret akışını sınırlamamaktadır. Sistemin bu yapısı vasıtasıyla AB'ye ihracat yapan ülkelerin karbonsuzlaştırma süreçlerinin de ivmelendirilmesi hedeflenmektedir. SKDM'nin ilk üç yıllık geçiş döneminde sadece raporlama hükümleri uygulanacak olup uygulama 2026 yılından itibaren devreye girecektir. AB ETS'de SKDM kapsamında olan sektörlerdeki serbest tahsisatların rekabet ve Dünya Ticaret Örgütü kurallarına uyum amacıyla kademeli olarak devre dışı bırakılması ve 2034 yılı itibarıyla sıfırlanması öngörülmektedir.

SKDM, kapsamındaki sektörlerde Türkiye'nin AB tedarik zincirindeki payı ve AB'ye yapılan ihracatın küresel ihracat içindeki hacmi açılarından önem taşımaktadır. Uzun müzakereler sonrası Avrupa Konseyi ve Parlamentosu tarafından üzerinde uzlaşılan son metinde çimento, demir-çelik, alüminyum, gübre sektöründen ürünler ve bunlardan işlenmiş ürünler ile elektrik

enerjisi ve hidrojen kapsama alınmıştır. Geçiş döneminin bitiminden en az bir yıl önce Avrupa Komisyonu'nun hazırlayacağı rapora göre kapsamın kullanıcı sektörlerle genişletilmesi de söz konusu olabilecektir. 2030 yılında ise AB ETS kapsamındaki tüm sektörlerin kapsama dahil edilmesi öngörülmektedir. SKDM'ye tabi ürünler GTİP numaraları ile tanımlanmakta, bu ürünlerdeki karbondioksit, nitroz oksit ve perflorokarbonlar düzenlemeye konu olmaktadır. Bu sera gazlarının doğrulanmış olması gereği bir akreditasyon süreci ihtiyacını da beraberinde getirecektir. AB'ye ithal edilecek bu ürünlerde gömülü karbon içeriğine (doğrudan ve dolaylı emisyonlar) göre AB'de yerleşik yetkili ithalatçılar tarafından satın alınacak SKDM sertifikaları üzerinden ücretlendirme gerçekleştirilecek; ürün için ithal edildiği ülkede ödenmiş eşdeğer bir karbon ücreti varsa düşülecektir. Dolaylı emisyonlar çimento, gübre ve elektrik açısından uygulamanın başlangıcından itibaren kapsam içinde iken, diğer SKDM ürünlerinde karar Avrupa Komisyonu tarafından geçiş döneminin bitimine kadar hazırlanacak rapora göre verilecektir. Bu süreç 150 \$/ton ve daha azı ürünleri kapsam dışına çıkarmakla birlikte bu ürünler girdi olarak kullanıldığında esasen değer zincirindeki tüm materyaller ve tedarikçiler açısından karbon ayak izi sorumluluğu değerlendirmeye girecektir. Bu durum, Türkiye açısından yeşil dönüşüm yönünde aksiyonların kamu ve iş dünyasında ivedilikle ve kararlılıkla hayata geçirilmesi gereğini ortaya koymaktadır. Ticaret Bakanlığı tarafından bu amaçla hazırlanan Yeşil Mutabakat Eylem Planı önemli bir adım niteliği taşımaktadır. Bununla birlikte, Plan'ın AB'deki gelişmelere uyum amacıyla dinamik bir şekilde güncellenmesi de önemli olacaktır.

SKDM ürünlerinde AB'ye ihracatımız bu sektörlerde küresel ihracatımızın %41,5'i civarındadır. Bu sektörlerde AB'ye ihracatımızın payına ve doğrudan emisyon yoğunluğuna baktığımızda SKDM mali yükümlülükleri açısından en önemli sektörler demir-çelik, alüminyum ve çimento olarak ortaya çıkmaktadır. SKDM'nin Türkiye ekonomisi üzerinde potansiyel etkisini belirlemeye yönelik çeşitli çalışmalar yürütülmekle birlikte ilgili uygulama düzenlemelerinin AB tarafınca tamamlanmasıyla, AB ETS'de oluşan fiyatın değişimiyle ve rekabet edilen ekonomilerdeki karbon fiyatlandırma ve yeşil dönüşüme yönelik gelişmelerle daha net analiz edilebilecek bir etki olacaktır. Güney Kore, Japonya gibi AB pazarında güçlü yerleri olan ülkelerin SKDM sürecinin muhtemel etkilerini azaltmak için ulusal düzeyde karbon fiyatlandırması hazırlıklarını yoğunlaştırdıkları bilinmektedir. Her halükarda rekabetçi piyasa içinde AB ithalatçıları kendileri açısından en makul şartları mevcut olan pazarlara yöneleceklerdir. Bu arayışta ETS sistemi AB tarafınca tanınan ve muafiyet alan veya karbon fiyatlandırması eşdeğer ülkelerin önemli avantajı olacaktır. Karbon fiyatlandırması olan ancak AB ile yeknesak olmayan ülkelerden ihracatçılar için ilave önemli bir bürokratik sürecin işlemesi de beklenmelidir.

Ekonomi ve ticaret politikaları açısından AYM ile uyumlanma konusu özel önem arz etmekle birlikte konuya yaratacağı rekabet riskleri ve fırsatlarının yanı sıra çevresel hedefler açısından bakılması ve ülkemizde yeşil dönüşümün ivmelenmesi için bir fırsat alanı olarak önceliklendirilmesi önemlidir.

SKDM düzenlemesi üçüncü ülkelerle ikili, çok taraflı, uluslararası iş birliğinin geliştirilmesi amacıyla karbon fiyatlandırma araçları bulunan ülkelerden oluşan bir İklim Kulübünün kurulması girişimlerine de önyak olmaktadır. İklim Kulübü'nün bu yolla iddialı iklim politikalarının uygulamasına ve küresel bir karbon fiyatlandırma çerçevesinin oluşturulmasına; izleme, doğrulama ve raporlama süreçlerinin kalitesinin artırılarak iklim tedbirlerinin karşılaştırılabilirliğinin sağlanmasına katkı sağlaması da öngörülmektedir.

SKDM ile elde edilen gelirler AB bütçesine yeşil dönüşüm amaçlı çalışmalar için kullanılmak üzere aktarılırken, AB AYM'nin dış boyutunun bir parçası olarak özellikle en az gelişmiş ülkeler olmak üzere düşük ve orta gelirli ülkelerin üretimlerinde karbonsuzlaştırma süreçlerini desteklemeyi de öngörmektedir.

Tüm bu yönleri ile birlikte değerlendirildiğinde küresel ölçekte tedarik zincirine karbon fiyatlandırma unsuru ile doğrudan etki eden bir sürece doğru gidilmekte olduğu görülmektedir.

SKDM kapsamında oluşacak mali yükümlülüğün ülkemiz değer zincirindeki yeşil dönüşüm sürecine yönlendirilmesi için ETS sistemi üzerinden karbon fiyatlandırmasının Türkiye'de kurulması önemli bir adım olacaktır. Bu süreçte oluşacak gelirin üretim proseslerinin modernizasyonu, enerji verimliliğini önceliklendiren ürün ve üretim prosesleri, yenilenebilir enerji yatırımları gibi düşük karbonlu kalkınmanın ana bileşenlerinin ülkemizde güçlendirilmesini destekleyecek şekilde kullanılması ve AB'de olduğu üzere -modernizasyon ve inovasyon fonları gibi- yeşil dönüşümü tetiklemeye ve teknoloji gelişimine yönelik fonlar oluşturulması tedarik zincirinin güçlendirilmesi yanı sıra istihdam politikalarına, rekabet gücüne de önemli katkılar sağlayacaktır.

2.3. Enerji ve Sanayi Sektörlerine Yönelik Düzenlemeler

55'e uyum paketi SKDM ve ETS gibi güçlü tedbirler yanında enerji sektöründe ciddi bir dönüşüm iradesini de ortaya koymaktadır. Ukrayna-Rusya savaşının gerek AB gerek küresel enerji sistemi üzerinde yarattığı baskı "enerjide bağımsızlık" konusunu ekonomilerin en öncelikli alanlarına taşıırken, enerjinin temiz dönüşümü hedefine hizmet eden politika oluşturma ve yatırım planlamalarını da ivmelendirmiştir. Bu süreç enerji değer zincirinin bütününe gözetin; enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, depolama kapasitesinin artırılması, her seviyede tasarruf tedbirleri gibi çok boyutlu perspektifte konulara odaklanan bir çerçeve ile hız almıştır. AB enerji dönüşümüne yönelik politikaları AYM hedeflerini de destekleyecek şekilde daha da güçlendirmektedir. Bu sürecin en kritik unsurlarından biri güvenilir ve benzer düşüncede ülkeler diye tariflenen ülkelerle yapılan/planlanan enerji anlaşmaları ve derinleştirilmiş iş birliği çerçevesidir. *RePower EU* ile enerji verimliliği ve yenilenebilir enerjide güçlü hedefler ortaya konmuştur. Yeşil Mutabakatın önemli bir diğer bileşeni olan *Renovation Wave* binalarda yeşil dönüşümü enerji kaynakları, enerji verimliliği, döngüsellik gibi çok boyutlu bir perspektiften kurgulamaktadır.

Bu karbonsuzlaştırma süreci değer zincirine giderek artan ölçüde etkileri olacak endüstriyel, ekonomik ve jeopolitik yönlenmelere; sanayi, enerji, binalar, ulaştırma gibi sektörlerde dönüşümden solar, rüzgar, ısı pompaları, elektrolizörler, piller gibi farklı alanlarda teknolojilerin geliştirilmesine uzanan bir etkileşime neden olmaktadır.

Bu süreçte enerjide yenilenebilir ve verimlilik potansiyelini azami dikkate alan ve gelişen teknolojileri içselleştirecek bir eksen den kurgulanacak politika çerçevesinin kararlılıkla uygulanması düşük karbonlu enerji dönüşümü yanı sıra giderek etki alanı genişleyecek bu sektörde rekabetçilik açısından önemli bir fırsat avantajını da beraberinde getirecektir. AB'nin yeşil / temiz enerjiye yönelik bu planlamaları Türkiye'nin yeniden şekillenmekte olan enerji sisteminde etkili bir alan kazanabilmesi açılarından yakından değerlendirilmelidir.

Türkiye açısından değerlendirildiğinde enerji arz güvenliğinin sağlanmasında, cari açığın ve enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasında, küresel rekabetçiliğin giderek artan etkide belirleyicisi olmaya başlayan “sürdürülebilirlik” politikaları bağlamında yenilenebilir enerji potansiyelini hayata geçirecek tedbirler kritik önemdedir. Geçtiğimiz ay açıklanan Türkiye Ulusal Enerji Planı gerek güçlü yenilenebilir enerji projeksiyonu gerekse enerji yoğunluğu konusunda yukarı çektiği hedef açılarından kamu, iş dünyası ve teknoloji geliştirici tüm ilgili paydaşlar için önemli bir mesaj niteliğindedir. Yine geçtiğimiz ay açıklanan Türkiye Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası da küresel gündemde enerjinin temiz dönüşümü hedefinde giderek daha fazla odaklanılan bu konuda ülkemiz açısından bir perspektif ortaya koyması yönüyle önemli bir adımdır. Bu temel çerçeve dokümanların mevzuat ve finansman unsurları dahil uygulama yol haritalarının da ortaya konması öngörülebilirliğe ve dönüşüm sürecinin ivmelendirilmesine katkı sağlayacaktır.

Enerji Sektörü için 2050 Net Sıfır Yol Haritası (IEA, 2021) emisyon azaltımlarının yarısının bugün prototip veya tanıtım aşamasında olan teknolojiler sayesinde gerçekleşeceği tespitinde bulunmaktadır. Yine IEA tarafından yayımlanan “Enerji Teknolojileri Perspektifi 2023 raporu, Paris Anlaşması hedefleri çerçevesinde ülkelerin açıkladığı Ulusal Katı Beyanlarındaki taahhütlerin hayata geçirilmesiyle 2030 yılında 650 milyar dolara ulaşabilecek (bugünkü duruma kıyasla üç katı) ve sanayi ve istihdam gelişimine önemli katkı sağlayacak bir temiz enerji pazarına dikkat çekmektedir. Bu noktada, temiz enerji dönüşümü gerek teknoloji üretimindeki konum gerekse bu teknolojilerin ihtiyaç duyduğu hammaddelerin tedarik zincirindeki dışa bağımlılık itibarıyla kritik alanları oluşturuyor. Örneğin, Çin'in temiz enerji teknolojilerinde kaydettiği gelişme bu teknolojilerin ticarileşmesi açısından fayda sağlarken, bu teknolojilerin üretilmesinde küresel ölçekteki baskın rolü birçok ülke için tedarik zinciri halkasında önemli bir risk alanını oluşturuyor. Temiz enerji dönüşümünde rüzgar, piller, elektrolizörler, güneş panelleri ve ısı pompalarında ilk üç üretici pazarın %70'ini tutmaktadır. Benzer bir durum bu dönüşümün ihtiyaç gösterdiği kritik minerallerin çıkarıldığı ülkeler açısından da söz konusudur. İlk üç tedarikçi ülke pazarın %90'ını karşılamaktadır. Bu tedarik zinciri yapısının kırılganlığı ülkeleri stratejik planlamalar yapma konusunda daha da hızlı bir sürece zorlamaktadır. Piller açısından kritik olan kobalt, lityum ve nikel; rüzgar tribünlerinin girdi maddesi çelik ve bakır taleplerindeki muhtemel artışın yeşil dönüşüm maliyetinin artışına etkisi dikkate alınması gereken kritik bir unsur olarak ülkelerin gündeminde üst sıralarda yer tutmaktadır (IEA, 2023).

AB'nin hayata geçirmekte olduğu kritik hammaddeler düzenlemesi AYM'nin ve *RePower EU* planının hedeflerine ulaşma; aynı zamanda bu alanda küresel tedarik zincirindeki gelişmelere uyum açılarından da stratejik önem taşımaktadır. Esasen iklim politikalarının merkezini oluşturan temiz enerji dönüşümüne hizmet edecek tedarik zincirlerinin çeşitliliğinin ve direncin artırılmasının analizinde AB'deki AYM gibi ABD'nin Enflasyon Azaltma Yasası (*Inflation Reduction Act*), Çin'in hedeflerini gözden geçirmekte olduğu 5 yıllık kalkınma planı, Japonya'nın Yeşil Dönüşüm Programı (*Green Transformation Programme*), Hindistan'ın Üretim Bağlantılı Teşvik Mekanizması (*the Production Linked Incentive Scheme*) gibi planlamalarını da dikkatle takip etmek yerinde olacaktır. İngiltere, Kanada ve birçok ülke yatırım planlamalarını temiz teknolojiler üzerine odaklamaktadır. Ayrıca AB ve ABD'nin COP26 marjında ele aldıkları çevresel tedbirlerin alınmadığı yollarla üretilen çelik ve alüminyumun iki tarafça da alınmaması prensibini güden uzlaşma gibi süreçlerde kaydedilecek gelişmeler değer zincirindeki dönüşümde küresel etkileri olacak niteliktedir.

AYM'nin iklim nötr kıta olma hedefine ulaşmada en önemli etki alanı sanayidir. Gerek güçlü iklim politikaları gerek devlet yardımlarına ilişkin katı kurallar gerek rekabet içinde olunan ekonomilerdeki düzenlemeler nedeniyle AB'nin sanayisizleşme riski ile karşı karşıya olduğu hususu önemli bir gündem konusudur. Öte yandan, enerji krizinin sanayi üretiminde yarattığı daralma, yeşil ve dijital dönüşümün ihtiyaç gösterdiği kritik hammaddelerde dışa bağımlılık konuları AB sanayisinin rekabet gücünü de koruyarak yeşil dönüşümüne fırsat verecek bir politika çerçevesini gündeme taşımıştır. Net Sıfır Çağı için Yeşil Mutabakat Sanayi Planı (European Commission, 2023) buradan hareketle teknolojik gelişmeyi ve net-sıfır ürünlerin üretimini hedeflerken odağına enerjiyi almaktadır. Plan bütüncül bir bakış açısını mali destek mekanizmaları, yetkinlikler ve kritik hammaddeler konularını da kapsamında ele alarak sağlamaktadır. Bu politika çerçevesi gelecekte ekonomilerin gücünün temiz teknolojilere dayalı olacağı temelinden hareket etmekte; temiz teknolojilerin tedarik zincirinin çeşitlenmesine ve güçlendirilmesine katkı sağlayacağına ve diğer ülkelerle iş birliğinin bu süreçte önemine dikkat çekmektedir. Plan "Avrupa'nın temiz enerji teknolojileri üretim ekosisteminin geliştirilmesi" odağını ortaya koymasıyla dönüşümün merkezine enerji tüketiminin azaltılmasının yerleştirileceğini göstermektedir. AB ekonomisinin karbonsuzlaştırılması sürecinin hızlandırılması ve iklim nötr hedefinin sağlanması için düşük karbonlu enerji kaynaklarının sisteme iddialı bir şekilde entegrasyonunun sağlanması öngörülmektedir. Net-sıfır teknoloji üretiminin ve net-sıfır sanayinin güçlendirilmesi için düzenleyici çerçevenin basitleştirilmesi ve hızlandırılması yanı sıra temiz teknoloji yatırımlarının ve finansmanının güçlendirilmesi tamamlayıcı bir şekilde kurgulanmaktadır.

Değer zincirine doğrudan etki edecek Yeşil Mutabakat Sanayi Planının uygulama ayrıntıları 14 Mart 2023 tarihinde açıklanmıştır. Muhtemel krizlere karşı piyasadaki bozulmaları önlemek için daha az dışa bağımlılık ve daha fazla öngörülebilirlik sağlanmasına yönelik paketin iki önemli düzenlemesi Net Sıfır Sanayi Yasası (COM(2023) 161, 2023) ve Kritik Hammaddeler Tüzüğü (COM(2023) 160, 2023)'dür.

Net Sıfır Sanayi Yasası, 2030 yılına kadar stratejik net-sıfır teknolojileri diye tanımlanan ve Birliğin 2030 iklim ve enerji hedeflerine ulaşmak için yıl boyunca gerekli teknolojilerin %40'ının Birlik içinde üretilme kapasitesinin geliştirilmesine yönelik tedbirlerin çerçevesini çizmektedir. Bu teknolojiler; solar fotovoltaik ve termal teknolojiler, karada rüzgar ve açık denizde yenilenebilir teknolojiler, pil/depolama teknolojileri, ısı pompaları ve jeotermal enerji teknolojileri, elektrolizörler ve yakıt hücreleri, sürdürülebilir biyogaz/biyometan teknolojileri, karbon tutma ve depolama teknolojileri ile şebeke teknolojileri olarak belirlenmiştir.

Yasa kapsamındaki en önemli unsurlardan biri Birliğin tek bir ülkeden ithalata bağımlı olduğu net-sıfır teknolojilerinde Birliğin enerji sisteminin teknolojik ve endüstriyel dayanıklılığını artıracak veya net-sıfır sanayi tedarik zincirine pozitif etki edecek projeler “stratejik” projeler olarak öncelikli statüde desteklenmesidir. Plan, AB’de üretim kapasitesinin en az teknoloji hazırlık seviyesi 8 olan teknolojiler üzerinden kurgulamakta olup, bu projeler için izin sürecinin kısaltılması yönünde iddialı bir yaklaşım ortaya koymaktadır.

Yeşil mutabakatın değer zincirine etkisi yetkin insan kaynağına olan ihtiyaçla da doğrudan ilişkili olacaktır. Net-Sıfır Avrupa Platformu tarafından uygulaması yürütülecek yasa kapsamında teknoloji geliştirme yetkinliği için, tohum yatırım dahil, Avrupa Net Sıfır Sanayi Akademileri’nin kurulması da desteklenecektir. Tüm bu yönleri ile yasa kapsamlı bir dönüşüm ve yeni bir rekabet boyutunu beraberinde getirecektir.

Net-Sıfır Sanayi Planının bir diğer parçası olarak yürürlüğe konacak Kritik Hammaddeler Tüzüğü ile yeşil ve dijital dönüşümün ihtiyaç duyduğu kritik hammaddelerde tedarik zincirinin güçlendirilmesi ve dışa bağımlılığın azaltılması hedeflenmektedir. Tüzük kapsamında stratejik ve kritik hammaddeler olarak iki ayrı sınıflandırma yer almaktadır. 2030 yılı itibarıyla stratejik hammadde yıllık tüketiminin en az %10’unun AB’de çıkarılması; en az %40’nın AB’de işlenmesi; en az %15’inin geri dönüştürülmesi; her bir stratejik hammadde için herhangi bir işleme sürecinde yıllık tüketimin %65’ten daha fazlasının tek bir üçüncü ülkeden olmaması şeklinde belirlenen hedeflerin stratejik projeler yoluyla gerçekleştirilmesi öngörülmektedir. Bu iddialı hedefler bağlamında stratejik hammaddelerin çıkarımı, işlenmesi, rafinasyonu, geri kazanımı için hem AB’de hem de AB dışında güvenilir ve benzer düşüncedeki ülkelerle stratejik paydaşlıklar yoluyla kaynak çeşitliliği ve arz güvenliğinin sağlanması öngörülmektedir. Kritik hammaddeler bağlamında ise Birliğin tedarik riskini azaltma kapasitesinin güçlendirilmesi; ileri seviyede çevresel koruma sağlarken döngüsellik ve sürdürülebilirliğin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. AB kritik hammaddeler listesinde yer alan Bor’da %98, Antimon’da ise %62 oran ile (COM(2020)474, 2020) Türkiye AB’nin önemli bir tedarikçisi konumundadır.

Aşırı dışa bağımlılığın azaltılması ve arz güvenliği için küresel ölçekte çeşitliliği artıracak dış politika araçlarının geliştirilmesi düzenlemenin önemli bir uygulama alanını oluşturacaktır. Ticaret ve yatırım anlaşmaları yoluyla şeffaf, öngörülebilir ve hukuki bir çerçeve içinde tedarik kanallarının çeşitlendirilmesi; sürdürülebilir yatırım kolaylaştırma anlaşmaları ile üretim kapasitesinin geliştirilmesi; stratejik hammadde ortaklıkları yoluyla siyasi çerçeve ve somut iş

birliği platformları oluşturulması ve AB'nin Global Gateway inisiyatifinin bu kapsamda da önemli bir araç olması öngörülmektedir. AB'nin kendi sınırları içinde bu maddeleri tedarik edebilmesi için çıkarma ve geri dönüşüm yollarının artırılması; risk yönetimi, izleme ve yönetim açısından düzenleyici tedbirlerin iyileştirilmesi; AB içinde ve dışında stratejik projeler için finansman yapısının güçlendirilmesi şeklinde özetlenebilecek geniş bir çerçeve düzenlenmekte olup bu süreçlerin yönetimi için bir Avrupa Kritik Hammaddeler Kurulu oluşturulacaktır. Bu düzenlemenin en önemli unsurları arasında hammaddelerin temini ve çıkarımında çevresel korumanın en üst seviyede sağlanması; döngüsellığı azami destekleyecek düzenleyici çerçevenin gözden geçirilmesi ve bu maddeleri ikame edecek yeni hammaddelerin geliştirilmesi için Ar-Ge, teknoloji ve inovasyon kapasitesinin güçlendirilmesi yer almaktadır.

Bu süreci desteklemek amacıyla, *InvestEU*, İnovasyon Fonu ve Avrupa Egemenlik Fonu gibi finansman mekanizmalarının süreçleri de devreye alınacaktır. Devlet yardımı kurallarının da yenilenebilir enerji ve karbonsuzlaştırma endüstrisi yatırımlarını desteklemek üzere geçici mahiyette gevşetilmesi de öngörülmektedir.

Net-Sıfır Sanayi yasası ve kritik hammaddeler düzenlemesine yönelik süreçlere ve kapsamlarına baktığımızda Ar-Ge, yenilikçilik ve teknoloji alanında kaydedilecek gelişmelerin önümüzdeki dönemde hem dayanıklı ve güvenilir değer zinciri hem de rekabet gücü açısından daha belirleyici rollerde olacağını söylemek yanlış olmayacaktır.

2.3. Döngüsel Ekonomi

AYM'nin değer zinciri üzerine en doğrudan etkisi olacak bir diğer düzenleme ise Döngüsel Ekonomi Eylem Planı altında hayata geçirilmektedir. “Ürün Yaşam Döngüsü” prensibi güdülen bu Eylem Planı döngüsellığın en fazla tesis edilebileceği kritik değer zincirlerinde (Piller ve Akümülatörler, Ambalaj ve Plastik, Elektrikli ve Elektronik Eşyalar, Tekstil, İnşaat ile Gıda, su ve besin maddeleri) başlatılmaktadır. Bu düzenleme alışlageldik atık yönetimi anlayışından tamamen ayrışmakta, sürdürülebilirlik ruhunun tasarım aşamasından başlayarak yaşam döngüsü içine yerleşmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda, ürünlerin dayanıklılığı, yeniden kullanılabilirliği, onarılabilirliği, kaynak ve enerji verimliliği gibi döngüsellik prensiplerinin en üst seviyeye çıkarılması temel belirleyici unsurlar olmaktadır. Planın geri dönüştürülmüş içeriğin kullanımını artırılmasına yönelik hedefleri, tedarik zincirinde geri yönlü bir sürecin de etkili bir şekilde tesis edilmesine yönelik gereksinimi kritik bir noktaya taşımaktadır. Yeniden üretim ve geri dönüşüm, malzemelerin geri kazanılma oranını artırma, zararlı madde içeriğini ve çevresel etkileri azaltma gibi unsurlar da döngüsellik yaklaşımının parçalarıdır. Tüm bu bileşenler tasarım aşamasından itibaren dikkate alınması gereken ve uygulanması üretim ve tüketim değer zincirine doğrudan etki eden bir yapıyı ortaya koymaktadır. Sürdürülebilir Ürün İnisiyatifi olarak tanımlanan bu süreç tedarik zincirindeki şirketler dahil olmak üzere karbon ve çevresel ayak izinin ve insan hakları ile ilgili bilgilerin dijital ortamda izlenebilirliğinin sağlandığı bir yapıyı oluşturmayı da gerekli kılmaktadır. Böylelikle, yeşil ve dijital dönüşümün birbirini beslediği, ikiz dönüşüm olarak adlandırılan yaklaşımın önemli bir uygulama örneği Döngüsel

Ekonomi Eylem Planı kapsamında işletilecek süreçlerde olacaktır. Dijital Ürün Pasaportu ile kaliteli, uyumlu, karşılaştırılabilir verinin sağlanması hedeflenmektedir. Bu kapsam değer zinciri boyunca veri oluşturma yanında veri güvenliği ve verinin korunması düzenlemeleri-Genel Veri Koruma Tüzüğü (*GDPR - General Data Protection Regulation*) ile de ilişkili olup AB tedarik zincirindeki ülkemiz açısından GDPR mevzuat uyumunun hızla sağlanmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

Bu sürecin en önemli itici güçlerinden birinin, diğer sürdürülebilirlik normlarında da etkili olduğu üzere, zorunlu kamu alımlarının bu alanda yapacağı öncülük olduğu değerlendirilmektedir.

Uygulama düzenlemesi olarak Sürdürülebilir Ürünler için Eko-Tasarım Tüzüğü (ESPR)'nün AB iç pazarı için uygulamaya sokulması öngörülmekle birlikte, AB'ye yapılacak ihracat ve sürdürülebilir ürün normlarını içeren dijital ürün pasaportunda yer alan veriler değer zincirindeki tüm malları ve süreçleri de içereceğinden geniş bir etki alanına sahip olacaktır. ESPR, kaynak tüketimi ve döngüsellik potansiyeli en yüksek olan sektörlerde başlamasının yanı sıra tüketicilerin daha iyi ürün performansına, daha bilinçli sürdürülebilir ürün tercihinde bulunmasına; tedarik zincirindeki aktörler için maliyet kalemlerinde azaltıma ve rekabet gücünde artışa; tüm ekosistem açısından ise sürdürülebilirlik artışı ve hammadde bağımlılığın azalması ve tedarik zincirinde dayanıklılığa hizmet edecektir (COM(2022) 142, 2022).

ESPR'nin en önemli etki alanlarından birini de sürdürülebilir finansmana erişimde önemli bir değerlendirme çerçevesi sunan taksonomi ile entegre edilme süreci oluşturacaktır. Enerji bağlantılı ürünlerle sınırlı olmayan daha geniş bir ürün yelpazesi ile eko-tasarım yaklaşımı yaygınlaştırılmaktadır. Ürün-spesifik ilave gerekliliklere izin verilmemekte; ikincil ham maddeler ve döngüsel ürünler için bir pazar oluşturma hedefi de güdölmektedir. Dijital Ürün Pasaportu ve etiketleme ile ürünün değer zinciri boyunca önemli bir veriye erişim artırılmaktadır. Dijital Ürün Pasaportu gizli ticari bilgilerin korunmasını sağlarken aynı zamanda döngüsellüğün ihtiyaç duyduğu güvenilir, uyumlu, karşılaştırılabilir ve işlenebilir veriyi sağlamaktadır.

2.4. Sürdürülebilir Finansman ve Sürdürülebilirlik Raporlaması

Yeşil ve dijital dönüşüm sürecinin değerlendirilmesi önem taşıyan bir diğer unsur ise sürdürülebilir finansman ile ilgili ekosistemin güçlü bir şekilde mevcudiyeti olacaktır. Sürdürülebilirlik finansmanı konusunun yeşil boyamanın önüne geçilmesi için net tariflenmiş kurallar içinde tanımlanması önemlidir. Bu noktada AB tarafından 2020 yılında yürürlüğe konan AB Taksonomisi (EU 2020/852, 2020) düzenlemesinden bahsetmek yerinde olacaktır. Çevresel hedeflere katkı yapan ekonomik aktivitelerin bilim-temelli kriterler kullanılarak ortak bir sınıflandırmaya tabi tutulması şeklinde ifade edilebilecek AB Taksonomisi kurumsal sürdürülebilirlik düzenlemelerine uygulama alanı yaratmakta; sürdürülebilirlik finansmanının güçlendirilmesi, yeşil boyamanın önlenmesi ve yatırımların gerçek anlamda yeşil dönüşüm sağlayacak alanlara yönlendirilmesini hedefleyen bir ekosistem oluşturmaktadır. Bir diğer ifade ile hem sürdürülebilir yatırımları tanımlamakta hem de sürdürülebilir finansmana erişimi kolaylaştıracak bir işlev görmektedir.

Taksonomi, iklim değişikliğini azaltma; iklim değişikliğine uyum, su ve deniz kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve korunması; döngüsel ekonomiye geçiş; kirliliğin önlenmesi ve kontrolü ve biyoçeşitliliğin ve ekosistemlerin korunması ve restorasyonu şeklinde belirlenen çevresel hedefleri odağına almaktadır. Bir faaliyetin sürdürülebilirlik hedefine katkı sağladığı değerlendirilmesinin yapılabilmesi için ise altı çevresel hedeften en az birine katkıda bulunması; temel insan haklarına ve çalışma standartlarına saygı gösterirken diğer hedeflerin hiçbirine de önemli bir zarar vermemesi gerekmektedir.

Yeşil mutabakatın değer zincirine etki edecek en önemli bileşenlerinden birini de 2023 yılı içinde yürürlüğe girmesi beklenen Kurumsal Sürdürülebilirlik Durum Tespiti ve Uyum Direktifi (COM(2022)71, 2022) oluşturacaktır. AB Değer Zincirleri Yasası olarak da tanımlanan bu düzenleme ile şirketlere tedarik zincirleri dahil insan hakları ve çevre alanlarında “*due diligence*” yükümlülükleri getirilmesi öngörülmektedir. Bu yönüyle sadece AB’deki şirketleri değil, AB şirketlerinin tedarikçileri veya AB’ye ihracat yapan şirketleri de doğrudan etkileyecektir. AB ve AB dışında yaklaşık 15000’i aşkın şirketi kapsamına alması söz konusudur. *Due-diligence* düzenlemesi esasen şirketlerde giderek yaygınlaşan çevresel-sosyal-yönetmel (ESG) kriterlerin uygulanması süreçlerini daha da üst bir seviyeye çıkarmaktadır. Bu düzenleme kapsamı doğrultusunda pil direktifi, eko tasarım direktifi, ormansızlaştırmanın önlenmesi düzenlemesi, insan kaçakçılığı ile mücadele düzenlemesi gibi oldukça geniş bir alandaki düzenlemeleri tamamlayıcı şekilde kurgulanmaktadır.

Bu alanda halihazırda yürürlüğe giren bir düzenleme ise Kurumsal Sürdürülebilirlik Raporlama Direktifi (Directive (EU) 20022/2464, 2022)’dir. Bu düzenleme şirketlerin raporlaması gereken sosyal ve çevresel bilgilere yönelik çerçeveyi ve kuralları güçlendirmektedir. KOBİ’ler dahil yaklaşık ellibin şirket sürdürülebilirlik raporlaması yapmakla yükümlü kılınmıştır. Bu düzenlemenin uygulanması ile yatırımcılara ve tüm paydaşlara iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik konularında yatırım risklerini değerlendirebilecekleri bilgiye şeffaf bir şekilde erişim imkanı sağlanacaktır.

3. Değerlendirme

AYM, AB’nin karbon nötr olma hedefinin uygulama aracı olarak ortaya konmuş olmakla birlikte ekonomi ve ticaret politikalarına yönelik uygulama tedbirleri rekabet riskleri yanında çeşitli fırsatları da beraberinde getirmektedir. AYM düzenlemelerine uyum yönünde ülkemizde yürütülecek çalışmalar yeşil dönüşümün ivmelenmesi için önemli bir çerçeve ortaya koyarken aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma prensipleri üzerinden şekillenen ve ticaret hacmimizde önemli bir yer tutan AB pazarında rekabet gücümüzün korunması açısından da kritiktir. AYM’nin ülkemize de değer zinciri boyunca etki eden alanları değerlendirildiğinde karbon yoğun sanayi sektörleri ve birincil enerji kaynakları bağlamındaki yeşil dönüşümü ivmelendirecek politikalar özel önem taşıyacaktır. AYM kapsamında yürürlüğe giren veya halihazırda hazırlık süreci devam eden bu düzenlemeler değerlendirilirken dikkate alınması faydalı olacak husus düzenlemelerin bütüncül bir yapıda, ilgili sektörel politikalar arasında

uyumu tesis edecek şekilde, salt hukuki ve idari çerçeveyi değil eş zamanlı ihtiyaç duyulacak mali kaynaklara, fon ve uygulama mekanizmalarına ilişkin süreçleri de hayata geçirecek çerçevede kurgulanmış olmalarıdır. AB'nin hayata geçirmekte olduğu bu süreç değer zincirindeki şirketleri ve aralarında Türkiye'nin de bulunduğu geniş bir küresel ekonomi kesimini doğrudan etkilemektedir. Ticari ilişkilerin gelişiminde ve rekabetçilik ekseninde önemli yansımaları olacak AYM'nin ortaya koyduğu bu düzenlemelere uyum amaçlı yeşil dönüşüm sürecinin kararlılıkla işletilmesinin; bu sürecin gerektirdiği yatırım ve teknolojik dönüşüm ihtiyacı doğrultusunda güçlü fon mekanizmaları ve mali desteklerin eş zamanlı hayata geçirilmesinin önemi büyüktür. Bu sürecin en kritik unsurlarından birini ise bu yeşil dönüşüm sürecini gerçekleştirecek insan kaynağına yapılacak yatırım oluşturacaktır. Yeşil dönüşüm sürecinin en önemli itici güçlerinden birini ise kamunun çizeceği güçlü politika çerçevesi oluşturacaktır. Bu bütüncül sistemin gözetilmesi uygulama etkinliğini ve sürdürülebilirliği sağlayacaktır.

4. Kaynaklar / References

- CBAM. (2022). Regulation of the European Parliament and of the Council establishing a Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)-Compromise text
- COM/2020/474. (2020). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Critical Raw Materials Resilience: Charting a path towards greater security and sustainability.
- COM(2022) 71 final. (2022) Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on Corporate Sustainability Due Diligence.
- COM(2022) 142 final. (2022) Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing a framework for setting ecodesign requirements for sustainable products.
- COM(2023) 160. (2023) Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials.
- COM(2023) 161. (2023) Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on establishing a framework of measures for strengthening Europe's net-zero technology products manufacturing ecosystem (Net Zero Industry Act)
- Directive (EU) 2022/2464. (2022) Directive of the European Parliament and of the Council of as regards corporate sustainability reporting.
- EU 2020/852. (2020). Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2020 on the establishment of a framework to facilitate sustainable investment
- European Commission. (2023). EU Position in World Trade, https://policy.trade.ec.europa.eu/eu-trade-relationships-country-and-region/eu-position-world-trade_en (27.02.2023)
- European Commission. (2023). A Green Deal Industrial Plan for the Net-Zero Age.
- IEA. (2021). Net Zero by 2050-A Roadmap for the Global Energy Sector. International Energy Agency.
- IEA. (2023). Energy Technology Perspectives 2023. International Energy Agency.

Yazar Hakkında / About Author

**Dr. Nurşen NUMANOĞLU | TÜSİAD Genel Sekreter Yardımcısı |
numanoglu[at]tusiad.org | ORCID: 0009-0005-6218-8699**

Nurşen Numanoglu TÜSİAD’da çevre ve iklim değişikliği, sektörel politikalar ve dijital dönüşüm konularından sorumlu Genel Sekreter Yardımcısı olarak görev yapmaktadır. TÜSİAD öncesi sırasıyla Çevre Bakanlığı, Hazine Müsteşarlığı, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı ve AB Bakanlığında çevre ve iklim değişikliği politikaları ile sektörel ve bölgesel politikalar alanlarında uzman ve yönetici olarak görev yapmıştır. Kamu kariyerini AB Nezdinde Türkiye Daimi Temsilci Yardımcılığı görevi ile sonlandırmıştır. Nurşen Numanoglu 1988 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 1991 yılında aynı üniversitenin Çevre Mühendisliği Programında yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 2002 yılında Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Çevre Anabilim dalında doktorasını tamamlamıştır. Nurşen Numanoglu, uzmanlık alanlarına ilişkin çeşitli akademik eğitim ve sertifika programlarında eğitimci olarak yer almaktadır.

**Dr. Nurşen NUMANOĞLU | TÜSİAD Deputy Secretary General |
numanoglu[at]tusiad.org | ORCID: 0009-0005-6218-8699**

Nurşen Numanoglu is the Deputy Secretary General in charge of environment and climate change, sectoral policies and digital transformation at Turkish Industry and Business Association (TÜSİAD). Prior to TÜSİAD, she made a career on environmental, sectoral and regional policies in the Ministry of Environment, the Undersecretariat of Treasury, the Ministry of Industry and Trade and the Ministry of European Union respectively. She ended her public career as Deputy Permanent Representative of Türkiye to the EU. Nurşen Numanoglu graduated from Middle East Technical University, Environmental Engineering Department in 1988. In 1991, she received her master’s degree from the Environmental Engineering Program of the same university. In 2002, she completed her Ph.D. in Social Sciences Environment Programme at Ankara University. Nurşen Numanoglu takes part as lecturer in various academic training and certificate programs related to her areas of expertise.

**İKLİM KRİZİ
VE
YEŞİL MUTABAKAT ÇERÇEVESİNDE
BİYOBOZUNUR ATIKLARIN
YÖNETİMİ**

**MANAGEMENT OF BIODEGRADABLE WASTES IN THE
FRAMEWORK OF CLIMATE CRISIS AND GREEN DEAL**

*Hatice YEŞİL
A. Evren TUĞTAŞ
Barış ÇALLI*

İKLİM KRİZİ VE YEŞİL MUTABAKAT ÇERÇEVESİNDE BİYOBOZUNUR ATIKLARIN YÖNETİMİ

Hatice YEŞİL
Marmara Üniversitesi

A. Evren TUĞTAŞ
Marmara Üniversitesi

Barış ÇALLI
Marmara Üniversitesi

Özet

İklim krizine karşı kolektif bir mücadele olarak tasarlanan Yeşil Mutabakat, tüm sektörlerde sera gazı emisyonlarının azaltılmasını hedeflemektedir. Küresel sera gazı emisyonlarının %5'inin yalnızca atık sektöründen kaynaklandığı düşünüldüğünde, atık oluşumunun engellenmesi veya atık oluşumu engellenemiyorsa bile özellikle biyobozunur atıkların düzenli depolama yerine farklı bertaraf yöntemleri kullanarak kaynak olarak değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, biyobozunur atıkların konvansiyonel (düzenli depolama, kompostlaştırma, biyometanizasyon) ve yenilikçi (karboksilik asit, biyopolimer, mikrobiyal protein üretimi) bertaraf yöntemleri değerlendirilmiş ve bu yöntemlerin sera gazı emisyonları üzerindeki etkisi karşılaştırılmıştır. Sera gazı emisyonunun yanı sıra, enerji ihtiyacı, nihai ürün portföyü ve gerekli işlem süresi gibi farklı parametreler dikkate alınarak bertaraf yöntemlerinin sürdürülebilirliği tartışılmıştır. Biyobozunur atıkların depolama sahaları yerine net sera gazı emisyonu sıfır veya negatif olan kompostlaştırma, biyometanizasyon veya yenilikçi biyo-prosesler ile kaynak olarak değerlendirilmesinin, biyobozunur atık kaynaklı metan emisyonlarında %95'e varan oranda azalma sağlayacağı belirlenmiştir. Düzenli depolamaya alternatif bu yöntemleri kullanarak biyobozunur atıklardan endüstriyel ham madde, gıda ve hayvan yemi katkısı, toprak şartlandırıcı ve organik gübre geri kazanımı da mümkündür.

Anahtar Kelimeler

Biyogaz üretimi, Düzenli depolama, Kompostlaştırma, Madde geri kazanımı, Metan, Sera gazları

MANAGEMENT OF BIODEGRADABLE WASTES IN THE FRAMEWORK OF CLIMATE CRISIS AND GREEN DEAL

Hatice YEŞİL

Marmara University

A. Evren TUĞTAŞ

Marmara University

Bariş ÇALLI

Marmara University

Abstract

The Green Deal aims to reduce greenhouse gas emissions in all sectors as a collective effort against the climate crisis. Considering that 5% of global greenhouse gas emissions originate solely from the waste sector, it is necessary to minimize waste generation. If waste generation cannot be avoided, especially biodegradable wastes should be treated as valuable resources and evaluated using different processes instead of being landfilled. This study extensively discusses the disposal of biodegradable wastes using conventional methods (landfilling, composting, biomethanization) as well as innovative processes (carboxylic acid, biopolymer, microbial protein production). The effects of these processes on greenhouse gas emissions were compared. Furthermore, the sustainability of these disposal methods was analyzed based on different parameters such as energy requirement, final products, and required process time. The study concludes that compared to landfilling, evaluation of biodegradable wastes as a resource and its management through composting, biomethanization, or innovative bioprocesses with zero or negative greenhouse gas emissions can lead to a significant reduction of up to 95% in methane emissions. Additionally, these alternative processes offer the possibility of recovering industrial raw materials, food and animal feed additives, soil conditioners, and organic fertilizers from biodegradable waste, thus eliminating the need for landfilling.

Keywords

Biogas production, Composting, greenhouse gases, Landfilling, Material recovery, Methane

1. Giriş

Güneş, dünyanın iklim sistemini yönlendiren birincil enerji kaynağıdır ve dünyaya gelen güneş ışınlarının bir kısmı yeryüzüne çarptıktan sonra uzaya geri yansır. Atmosferde bulunan karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), azot oksit (N_2O), tetraflorometan, sülfür hekzaflorür, kloroflorokarbon gibi gazlar yansıyan bu kızılötesi ışınları tutarak yeryüzüne geri döndürür ve böylece dünya üzerinde sıcaklığın yaşanabilir olması sağlanır. Bu olaya sera etkisi, buna neden gazlara da sera gazları denir. Sonuç olarak atmosferde belli miktarda sera gazı bulunması dünyayı yaşanır kılar (Kweku vd., 2018). Ancak, son yüzyılda atmosferdeki sera gazlarının miktarı, insan faaliyetleri sonucunda kontrolsüz şekilde ve hızla artmış ve dolayısıyla daha fazla oranda güneş ışını sera gazlarıyla tutularak yeryüzünün ısınmasına neden olmuştur. Dünyada giderek artan sıra dışı iklim olaylarının sebebi küresel ısınma olarak adlandırılan bu değişimdir (Rajak, 2021).

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'ne (IPCC, 2001) göre (1) küresel ısınma ve iklim sistemindeki diğer değişiklikler gözlemlerle göz önüne serilmektedir, (2) son 50 yılda gözlemlenen küresel ısınmanın çoğunun insan faaliyetlerinden kaynaklandığına dair yeni ve daha güçlü kanıtlar ortaya çıkmıştır (IPCC, 2001). Dolayısı ile küresel ısınmaya sebep olan sera gazlarının emisyonunun azaltılması için ciddi değişikliklere ihtiyaç vardır.

Küresel ısınmanın başlıca nedenlerinden biri atmosferdeki CO_2 miktarının artmasıdır. Nüfus artışına paralel olarak gerçekleşen aşırı fosil yakıt tüketimi ve karbon yutak alanlarının zarar görüp giderek azalması insan kaynaklı CO_2 emisyonunu artırmakta ve böylece atmosferdeki CO_2 konsantrasyonu giderek yükselmektedir (Liiv vd., 2020).

Atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonu 2022 yılı sonu itibarıyla 420 ppm'e ulaşmış olup önlem alınmazsa 2100 yılında 800 ppm'i aşacağı tahmin edilmektedir (Valone, 2021). 20. yüzyılda yeryüzü sıcaklığı ortalama 0,5 °C artmışken, iklim bilimciler 21. yüzyılda sıcaklığın en iyimser tahminle 2 °C artacağını öngörmektedir (Meinshausen vd., 2022). Küresel ısınma sadece karada değil su kütlelerinde de ısınmaya neden olmakta ve böylece sulak ekosistemleri olumsuz etkilemektedir (Niedrist, 2023). Dünyamız, küresel ısınmaya bağlı olarak kutup ve dağ buzulların erimesi, şiddetli ve beklenmedik hava olaylarının daha sık yaşanması, su kaynakları ve sulak alanların azalması ve birçok canlı türünün yok olması gibi tehlikelerle karşı karşıyadır.

Küresel ısınma etkisi karbondioksitten 25 kat (100 yıllık ortalama) fazla olan diğer bir sera gazı da metandır (Abbasi, Tauseef & Abbasi, 2012). Ancak, atmosferdeki ömrü karbondioksite göre çok daha kısa olduğu için mevcut küresel ısınmanın sadece dörtte birinden sorumludur (Ocko vd., 2021). Son 200 yılda antropojenik kaynaklı metan emisyonları, troposferik metan seviyesinin %150 artmasına sebep olmuştur. Güncel veriler değerlendirilerek 2030 yılında antropojenik kaynaklı metan emisyonlarının %31'inin hayvancılık, %26'sının petrol ve gaz tedarik zinciri ve %14'ünün katı atık depolama alanları kaynaklı olacağı öngörülmektedir (Ocko vd., 2021).

Günümüzde insanlar, dünyadaki ekosistemin sağladığı doğal kaynakların her yıl 1,7 katını tüketmekte ve doğal üretim kapasitesi ile tüketim arasındaki fark giderek açılmaktadır (Mega, 2019). Ekosistemin kapasitesinin üzerinde gerçekleşen tüketim, daha fazla fosil yakıt ve yeraltı kaynağı kullanımına ve önemli karbon yutak alanları olan okyanuslar ve ormanların ciddi şekilde tahrip edilmesine yol açmaktadır. Bu bağlamda, dünyanın bize sağladığı doğal kaynaklar ile tüketimimiz arasında bir denge oluşturabilmek için kaynakları kullanımdan sonra döngüsel ekonomi yaklaşımıyla yeniden değerlendirmemiz elzemdir (Godoy-Faúndez vd., 2021).

Küresel ısınmanın etkisini azaltmak için öncelikli olarak sera gazı emisyonlarını ve dolayısıyla atmosferdeki sera gazı miktarındaki hızlı artışı durdurmak gerekir. Ancak bu şekilde iklim krizi ile etkin bir şekilde mücadele edilebilir. Bunun için fosil yakıt tüketimi azaltılarak yenilenebilir enerji tercih edilmeli, endüstri, tarım ve hayvancılık kaynaklı karbon emisyonları kontrol altına alınmalı, atıklar madde geri kazanımı prensibi ile yeniden kullanılmalı ve karbon yutak alanları korunmalı ve arttırılmalıdır.

Önemli bir sera gazı kaynağı olan atık sektörünün 2016 yılında 1,6 milyar ton karbondioksit eşdeğeri (CO₂ eşdeğeri) sera gazı emisyonuna sebep olduğu tahmin edilmektedir. Bu değer, küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %5'idir (Kaza vd., 2018). Eğer atık yönetiminde kayda değer bir iyileştirme yapılmazsa emisyonlar 2050 yılında yaklaşık 2,6 milyar ton CO₂ eşdeğerine ulaşacaktır (Wang & Stanisavljevic, 2019). Kentsel organik atıkların, ciddi metan emisyonuna neden olan katı atık depolama sahalarında bertarafı yerine, kaynağında ayrı toplanıp kompostlaştırılması veya biyometanizasyon işlemine tabi tutulması, organik atıklardan kaynaklı metan emisyonlarını %95'e varan oranda azaltacaktır.

Bütüncül bir yaklaşım izlenmediği takdirde atıkların doğru şekilde yönetilmesi mümkün değildir (Christensen, 2011). Örneğin, sera gazlarının sebep olduğu iklim değişikliği, içme suyu kaynaklarının giderek azalması, atmosfere salınan baca gazlarının neden olduğu hava kirliliği, uygun şekilde bertaraf edilmeyen tehlikeli atıkların çevreyi ve insan sağlığını tehdit etmesi, atık su deşarjı yapılan göl, akarsu ve denizlerde ekosistemin zarar görmesi ve biyobozunur (organik) atıklarının geri kazanılmadan depolama sahalarına gönderilmesi gibi birbiriyle direkt bağlantılı görülmeyen ama aslında bir bütünün parçası olan konular ancak bütüncül bir atık yönetimi ile çözülebilir (Cobo, Dominguez-Ramos & Irabien, 2018).

Sürdürülebilir atık yönetiminin en temel ilkesi atığı oluşmadan önlemek, eğer önlenemiyorsa miktarını kaynaқта azaltmaktır (U.S. EPA, 2017). Atık önleme ve azaltma süreçlerinde tüketici alışkanlıklarının önemi büyüktür. Örneğin ihtiyaç duyulan kadar gıda ürünü alınması ve uygun koşullarda saklanması, çöpe giden gıda atığı miktarını ciddi oranda azaltacaktır. Kültürümüzde bulunduğu halde son yıllarda unutulmaya yüz tutan 'israf etmeme' alışkanlığı aslında atık önleme ve azaltma kavramlarının toplumumuzda karşılık bulmuş halidir (Özkan vd., 2022).

Atık oluşumu engellenemiyor veya azaltılamıyorsa yapılması gereken atıklardan madde ve/veya enerji geri kazanımıdır. Burada öncelik madde geri kazanımı olmalı ve atıklar hammadde olarak tekrar üretime dâhil etmelidir. Eğer madde geri kazanımı mümkün değilse yanabilen atıklar yakılarak, biyobozunur atıklar da çürütülüp biyogaza ve komposta dönüştürülerek enerji ve madde geri kazanımı yoluna gidilmelidir (Vlachokostas vd., 2021).

2. Biyobozunur (Organik) Atıklar

Kentsel atıklar, içerik olarak organik ve inorganik olmak üzere iki farklı gruba ayrılır. Organik atıklar, gıda atıkları, kâğıt, karton, park ve bahçe atıkları ve plastikler; inorganik atıklar ise cam, metal, kül vb. atıklardan oluşur. Plastik atıklar organik olmasına rağmen biyobozunur değildir. İnorganik atıklar ise zaten biyobozunur özellik taşımazlar (Tchobanoglous, Theisen & Vigil, 1993). Biyobozunur atıklar kentsel, tarımsal ve endüstriyel kaynaklı olabilir. Yaygın olarak bulunan biyobozunur organik atıklar: besi hayvanı (küçük ve büyükbaş) dışkıları; organik mutfak atıkları (evsel ve endüstriyel); hal, pazaryeri, manav ve market atıkları; park ve bahçe (çim, yaprak, budama vb.) atıkları; mezbaha atıkları; atık bitkisel yağlar ve restoran, lokanta vb. yerlere ait yağ tutucu atıkları; biyolojik arıtma çamurları; konsantre evsel atıksular (siyah su olarak adlandırılan tuvalet suları); süt ve süt ürünleri, gıda, kâğıt, maya, şeker, fermentasyon, sebze-meyve işleme vb. endüstrilerine ait atık(su)lardır (Gómez Palacios vd., 2002).

Biyobozunur atıklar, çeşitli mikroorganizmalar tarafından aerobik şartlar altında karbondioksit ve suya, anaerobik şartlar altında metan, karbondioksit ve inorganik bileşiklere dönüştürülen bitkisel ve hayvansal kaynaklı, farklı oranda su içeren organik maddelerdir (Tchobanoglous vd., 1993). Biyobozunur atıklar, protein, lipit(yağ), karbonhidrat (örneğin, selüloz), nükleik asit (DNA, RNA), lignin ve külden (inorganikler) oluşur. Ayrıca, makro besi elementi olarak azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) ve birçok mikro besi elementi içerir (Inoko, 1984). Su içeriğine bağlı olarak atık su veya atık olarak nitelendirilir.

Biyobozunur organik atıkların yönetimi ve bertarafı için yaygın olarak kullanılan biyolojik prosesler çöp gazı geri kazanımı ile düzenli depolama, kompostlaştırma ve biyometanizasyondur. Ayrıca son yıllarda, anaerobik fermentasyon ve biyorafinasyon yaklaşımıyla karboksilik asit, biyopolimer, mikrobiyal protein vb. üretimi gibi yenilikçi biyo-işlemler sınırlı da olsa uygulanmaya başlamıştır. Biyobozunur atıkları düzenli depolama ile bertaraf etmek yerine biyometanizasyon, kompostlaştırma veya yenilikçi biyo-işlemler ile değerli ürünlere dönüştürerek değerlendirmek hem ekonomik hem de sürdürülebilirlik açısından kaçınılmaz olmuştur (Kraemer & Gamble, 2014). İklim değişikliğine dair etkilerin ciddi şekilde hissedilmeye başlandığı günümüzde, özellikle gıda kaynaklı biyobozunur atık oluşumunu azaltmak, azaltılamayan tüm biyobozunur atıkları ise döngüsel ekonomi yaklaşımıyla sera gazı emisyonuna neden olmadan geri kazanıp değerlendirmek öncelikli konular olmalıdır.

3. Kompostlaştırma

Kompostlaştırma, organik atıkların aerobik (oksijenli) koşullarda biyolojik olarak ayrıştırılması işlemidir. İşlem sırasında, hayvan ve bitki artıkları ve hayvan dışıklarının doğada aerobik şartlar altında biyobozunumu taklit edilmekte, karıştırma ve havalandırmayla süreç hızlandırılmaktadır. Açığa çıkan ürüne kompost adı verilir (Diaz vd., 2011).

Kompostlaştırma sırasında ciddi miktarda enerji oluşur. Açığa çıkan enerjinin yaklaşık %50'si kompostlaştırma işleminden sorumlu mikroorganizmalar tarafından hücre sentezinde kullanılır. Arta kalan enerji, ısı olarak açığa çıkar. Kompost yığnında, özellikle aktif dönemde görülen yüksek sıcaklık değerlerinin nedeni açığa çıkan ısı enerjisidir. Kompostlaştırma işleminin ilk günlerinde yığnın sıcaklığı hava sıcaklığı mertebesinde olup kolay biyobozunan organik maddelerin parçalanması sonucunda önemli miktarda ısı enerjisi açığa çıkar. Kompost yığını içindeki sıcaklık, eğer yeterli miktarda nem ve hava sağlanırsa takip eden birkaç gün içinde hızla yükselir ve buna paralel olarak organik maddelerin ayrışma hızı artar. Bu durumda, yığnın içindeki sıcaklık ilerleyen günlerde 50-60 °C'ye kadar yükselir ve kontrol edilmezse 70 °C'yi aşabilir. İşlem sırasında sıcaklığın yükselmesi, reaksiyon hızını artırmakla kalmaz, kompostlaştırılan atıkta bulunan patojen mikroorganizmaların giderimine de katkı sağlar (Trautmann & Krasny, 1998). Olgunlaşma aşamasında, yavaş bozunan lignoselülozik atıklar parçalanarak humik maddelere dönüşür. Atıklara bağlı olarak bu aşama 4-8 hafta sürebilir (Tchobanoglous vd., 1993).

Kompostlaştırma, bakteriler, aktinomisetler ve funguslar gibi farklı mikroorganizmaların sıralı olarak görev aldığı bir biyo-prosestir. Mikroorganizmalara ilave olarak solucan vb. makro organizmalar da kompostlaştırma işleminde görev alır (Insam, Riddech & Klammer, 2013). Bahsi geçen organizmalar çoğunlukla ham atık kaynaklı olup yeterli miktarda uygun mikroorganizma içermeyen bazı endüstriyel biyobozunur atıkların kompostlaştırılmasında aşı mikroorganizma kullanılır. Aşı kültürü olarak ticari ürünler kullanılabileceği gibi, aşı yerine kararlı hale gelmiş bir kompost, kompostlaştırılacak ham atık ile karıştırılıp kullanılabilir.

Kompostlaştırma işlemi sırasında bitkilere zararlı fitotoksik maddeler üretilebilir ancak bu maddeler kompostlaştırma işlemi sırasında giderek azalır. İşlem sona erdiğinde, fitotoksik maddeler neredeyse tamamen ortadan kaybolur. Böylece, biyolojik olarak kararlı ve bitki gelişimi için oldukça faydalı bir ürün olan kompost elde edilmiş olur. Kompostlaştırma işleminin, fitotoksik maddeler iyice azalıp yok oluncaya kadar sürdürülmesi önemlidir (Barral & Paradelo, 2011). Diğer taraftan, kompostlaştırmanın çok uzun sürmesi, nihai ürünün organik madde içeriğinin beklenenden düşük olmasına ve bu nedenle toprak şartlandırma özelliklerinin azalmasına sebep olur.

Protein içeriği yüksek (hayvan dışkısı vb.) atıkların kompostlaştırılması esnasında yığın içinde yeterli gözenek yapısı sağlanamazsa, yüksek nem içeriğinden dolayı anaerobik (havasız) şartlar oluşabilir ve sonuç olarak indirgenmiş uçucu bileşikler açığa çıkabilir. Anaerobik fermentasyon sonucu oluşan kükürt ve azot içerikli bu bileşikler, koku problemine sebep olurlar (Mengqi vd., 2021). Bu sorunu ortadan kaldırmak için yığını yeterli şekilde havalandırmak gerekir. Ancak, işlem ne kadar iyi kontrol edilse ve yığın yeterli miktarda havalandırılırsa yine de bir miktar koku oluşur. Koku sorununu tamamen ortadan kaldırmak için kompostlaştırılma işlemi kapalı bir ortamda gerçekleştirilmeli ve dışarı atılan ortam havası koku giderimi için bir biyofiltreden geçirilmelidir (Boswell, 2004).

Kompostun Faydaları

Uygun şartlar altında üretilen kompost, toprak şartlandırıcı olarak kullanıldığında toprağın yapısal özelliklerini iyileştirir, topaklaşmasını sağlar. Kompostun en önemli faydası, toprağın su tutma kapasitesini artırmasıdır. Toprağa uygulanan kompost, suyun yüzey akışına geçmeden toprağa infiltre olmasını sağlayarak buharlaşmayı da azaltır. Bunlara ilave olarak, yavaş çözünen bitki besi maddelerini içerdiğinden, toprağın inorganik gübre ihtiyacını düşürür. Ayrıca, toprağın katyon değişim kapasitesini artırarak besi maddelerinin kök civarından hızla yeraldına süzülmesini engeller. İnorganik azot gübrelerinin toprakta sebep olduğu asitleşmeyi tamponlar. Barındırdığı faydalı mikroorganizmalarla topraktaki besi maddesi döngüsünü ve enzim aktivitesini destekler ve bitki hastalıklarına neden olan organizmaları baskılar (Chen & Wu, 2005).

4. Biyometanizasyon (Anaerobik Çürütme)

Biyometanizasyon veya anaerobik çürütme işleminde biyobozunur atıklar, anaerobik mikroorganizmalar tarafından, oksijensiz ortamda, birbirine bağlı birkaç aşamada biyogaza (metan ve karbondioksit) dönüştürülür. İşlem temel olarak 3 adımda gerçekleşir. İlk adımda büyük biyopolimerler hidroliz ile mono- ve dimerlere; ardından fermentasyon ile uçucu yağ asitlerine (UYA'lar) dönüşür. En son adımda, metan (CH_4) ve karbondioksitten (CO_2) oluşan biyogaz üretilir (Khanal, 2011).

Biyogaz, biyobozunur ham atığın içeriğine bağlı olarak %55-65 CH_4 ve %35-45 CO_2 'den meydana gelir. CH_4 ve CO_2 'ye ilave olarak biyogazda az miktarda H_2S , NH_3 ve H_2 de bulunur. Karbonhidrat içeriği yüksek atıklardan eşit molar oranda CH_4 ve CO_2 üretilirken, lipid içeren atıklardan üretilen biyogazın CH_4 yüzdesi daha yüksek olur (Deublein & Steinhäuser, 2011).

Biyobozunur atıkların anaerobik çürütülmesi sonucunda biyogazın yanı sıra, kullanılan teknolojiye bağlı olarak %4-25 katı madde içeren bir fermente ürün de açığa çıkar. Yüksek su içeriği nedeniyle fermente ürünü bertaraf etmek veya tarımda kullanmak için öncelikle susuzlaştırmak gerekir (Drosg vd., 2015).

Biyobozunur katı atıklar düzenli depolandığında her ne kadar biyogaza benzer bir içeriğe sahip çöp gazı elde edilse de, zamanla kararlı hale gelecek organik maddeler nihai olarak depolama sahasında gömülü kalacağı için, düzenli depolama işlemiyle biyobozunur atıklardan organik madde geri kazanımı değil sadece enerji geri kazanımı mümkündür. Ayrıca, düzenli depolama ile çöp gazı üretimi ve enerji geri kazanımı, biyometanizasyon işlemine kıyasla oldukça düşük ve verimsizdir. Diğer taraftan, çöp gazının iyi toplanamaması ve nihai örtü tabakasından geçerek atmosfere kaçıışı gibi nedenlerle depolama sahaları önemli bir sera gazı emisyon kaynağı olarak nitelendirilmektedir. Nihayetinde, temel prensipleri birbirlerine benzese de uygulamada ve elde edilen ürünler dikkate alındığında katı atıkların düzenli depolanması ve biyometanizasyonu oldukça farklıdır. Döngüsel ekonomi yaklaşımı temel alınarak biyobozunur atıklardan öncelikli olarak madde ve daha sonra enerji geri kazanımı hedeflenmeli, bu nedenle biyometanizasyon işlemi düzenli depolamaya tercih edilmelidir.

4.1. Biyogazın Kullanımı

Biyometanizasyon işlemiyle üretilen biyogazın miktarı ve içerdiği metan oranı kullanılan ham atığın kompozisyonuna bağlı olarak değişir. Ham atığın kimyasal kompozisyonu biliniyorsa biyogaz miktarı teorik olarak hesaplanabilir. Bu genellikle pek mümkün olmaz. O zaman birim atık başına üretilecek biyogaz miktarı, literatürdeki benzer atıklar için verilen biyogaz verimi değerleri ile belirlenebilir. Literatürde, organik mutfak atıkları için 0,25-0,5 m³-biyogaz/kg-UKM (uçucu katı madde), büyükbaş hayvan dışkıları için 0,2-0,3 m³/kg-UKM, tavuk dışkıları için ise 0,35-0,6 m³/kg-UKM biyogaz verimi değerleri mevcuttur (Abdallah vd., 2018; Bayrakdar, Sürmeli & Çallı, 2017; Zhang vd., 2014). Biyogaz, genellikle %55-65 metan içerir. Bu nedenle, 19,500-23,000 kJ/m³ (5,5-6,5 kW-sa/m³) enerji değerine sahiptir. Üretilen biyogaz, yaygın olarak kojenerasyon ile ısı ve elektrik enerjisi eldesinde kullanılır. Alternatif olarak, saflaştırılıp biyometana dönüştürüldükten sonra biyogazı gaz motorlu araçlarda yakıt olarak kullanmak veya doğalgaz şebekesine beslemek de mümkündür (Deublein & Steinhauser, 2011).

4.2. Fermente Ürünün Yönetimi

Biyometanizasyon işlemi sonunda açığa çıkan fermente ürün tarımda kullanıldığında içerdiği organik karbon ve bitki besi maddeleri nedeniyle toprağın organik madde içeriğini artırır ve aynı zamanda kimyasal gübre tüketimini azaltır. Bu özellikleri dikkate alındığında fermente ürün tarımsal açıdan değerli bir kaynaktır. Aksine atık olarak nitelendirilip bertaraf edilirse biyometanizasyon tesislerinin işletme maliyetleri oldukça yükselir ve biyogaz yatırımları cazip olma özelliğini kaybeder. Bu bağlamda, oluşan fermente ürünün en uygun ve ekonomik şekilde yönetilip doğrudan tarım arazilerinde kullanılması veya ticari değere sahip gübre vb. bir ürüne dönüştürülmesi önem arz eder (Çallı, 2017).

Fermente ürünün, nitrata hassas bölgelerde doğrudan toprağa uygulanması sakıncalıdır. Bu gibi durumlarda fermente ürün yakında bulunan uygun bir bölgeye taşınmalıdır. Diğer bir seçenek, bitki besi maddelerinin fermente üründen ayrılması ve geri kazanılmasıdır. Böylece fermente ürünün kirlilik yükü azalacağından arıtım veya bertarafı kolaylaşacak, ayrıca azot, fosfor, potasyum vb. değerli bitki besi maddeleri geri kazanılmış olacaktır (Çallı, 2017). Fermente ürünündeki bitki besi maddelerini geri kazanmak için öncelikle, yaklaşık %6-8 katı madde içeren fermente ürün katı/sıvı ayırma işlemine tabi tutulur. Bunun için genellikle, sıvı fermente ürünün ne şekilde kullanılacağına bağlı olarak iki kademeli bir işlem tercih edilir ve ilk kademede burgulu pres, dekantör santrifüj veya belt filtre kullanılır (Drosg vd., 2015). Katı madde içeriğini iyice azaltmak amacıyla ikinci kademede mikro ve/veya ultra filtrasyon kullanılır. Katı/sıvı ayırma işlemi sonucu oluşan sıvı fermente ürün, bitki besi maddelerinin yoğunlaştırılması veya geri kazanımı için farklı işlemlere tabi tutulabilir. Geri kazanım amacıyla, doğrudan araziye uygulama (nitrata hassas olmayan bölgelerde, yağışsız dönemlerde); amonyak sıyırma (hava, buhar veya vakumla) ve strüvit kristalizasyon işlemleri kullanılabilir. Bitki besi maddelerini yoğunlaştırmak ve sıvı fermente ürün miktarını azaltmak için yüksek maliyetli nano-filtrasyon ve atık ısıyla buharlaştırma teknolojilerine ihtiyaç duyulur (Drosg vd., 2015).

5. Yenilikçi Uygulamalar

Son yıllarda, konvansiyonel biyogaz veya kompost eldesi yöntemleri dışında biyobozunur atıklardan katma değeri yüksek ürün eldesini hedefleyen yeni platformlar ortaya çıkmış ve hızla yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu platformların hedeflediği başlıca nihai ürünler, (1) çeşitli endüstrilerde ham madde, katkı maddesi veya ara madde kaynağı olarak değerlendirilebilen kısa/orta zincirli karboksilik asitler, (2) biyoplastik veya biyokompozit üretiminde kullanılabilen biyobozunur polimerler ve (3) gübre veya gıda/yem sektörüne katkı maddesi olanağı sunabilen proteinlerdir. Biyobozunur atıklardan konvansiyonel yöntemlere kıyasla ton girdi malzemesi başına 3-15 kat daha yüksek pazar potansiyeline sahip değerli ürün üretebilen yenilikçi biyorafineri konsepti, biyometanizasyon tesisleri için cazip bir tamamlayıcılık sunarken, aynı zamanda döngüsel ürün portföyünü genişleterek gıda maksatlı tarımsal ürüne dayalı biyorafineriler için de ekonomik bir alternatif oluşturmaktadır (Hegel & Andreeßen, 2023).

5.1. Karboksilik Asit Üretimi

Metan üretiminin baskılandığı anaerobik sistemlerde, biyobozunur atıkların karışık mikrobiyal kültür ile metabolize edilmesi sonucu üretilen karboksilik asitler, karbon atom sayısına göre kısa zincirli (C_1 - C_5) ve orta zincirli (C_6 - C_8) olarak sınıflandırılmaktadır. Biyobozunur atıkların anaerobik fermentasyonu ile asetik (C_2), propiyonik (C_3), laktik (C_3), bütirik (C_4) ve valerik (C_5) asitler gibi kısa zincirli karboksilik asitler üretilirken; fermentasyon işlemine entegre edilebilen biyo-bazlı zincir uzatma işlemi ile kısa zincirli karboksilik asitlerden, kaproik (C_6), heptanoik (C_7) ve oktanoik (C_8) asitler gibi orta zincirli karboksilik asitler elde edilebilmektedir (Reddy vd., 2022).

Karboksilik asit üretimi dâhil olmak üzere anaerobik koşulları esas alan proseslerin birçoğu literatürde hem saf kültür hem de karışık kültür ile incelenmiş olup; dayanıklılık, adaptasyon ve ekonomik uygulanabilirlik gibi bir prosesin sürdürülebilir olmasını sağlayan parametreler dikkate alındığında karışık kültürlerin saf kültürlerle kıyasla daha avantajlı konumda olduğu görülmektedir (Holtzaple vd., 2022). Karışık kültürler fermentasyon bakterilerinin yanı sıra metanojenik arkeler içerir, bu nedenle de konvansiyonel anaerobik çürütücülerde nihai ürün metan ve karbondioksittir. Ancak, organik yükün yüksek olduğu durumlarda reaktör içerisinde hızla biriken karboksilik asitler pH değerinin düşmesine sebep olmakta ve metan üretimini baskılamaktadır.

Karboksilik asit üretimini ve üretilen karboksilik asidin kompozisyonun belirleyen en önemli faktörler; (1) besin kaynağının kompozisyonu, (2) pH ve alkalinite, (3) sıcaklık, (4) bekleme süresi ve organik yük şeklindedir.

Besin Kompozisyonu: Fermentasyon prosesinin verimini etkileyecek en önemli faktörler arasında besin kaynağının kompozisyonu yer alır. Genel olarak, kompleks yapıdaki lignoselüloz, protein ve yağ gibi besinlerin fermentasyonu sırasında hidroliz işlemi hız sınırlayıcı basamaktır (Yin vd., 2016). Bu nedenle karboksilik asit üretmek için reaktöre beslenen besinin hidrolizini kolaylaştırmak amacıyla çeşitli ön arıtma işlemleri uygulanabilmektedir. Ayrıca proteinlerin hidrolizi ile ortaya çıkan yüksek miktarda amonyağın (NH_3) sebep olabileceği inhibisyon sebebiyle, besin kaynağının karbon:azot (C:N) oranı da fermentasyon verimini önemli ölçüde etkileyen parametreler arasında yer almaktadır. Optimum besin kompozisyonunu sağlamak için kullanılan en yaygın yöntem, farklı kompozisyonlardaki biyobozunur atıkların birlikte fermentasyonudur (Holtzaple vd., 2022). Ayrıca, orta zincirli karboksilik asit üretiminin hedeflendiği durumlarda reaktöre beslenen besin içerisindeki elektron alıcı ve vericilerin seviyeleri, başarılı bir zincir uzatma prosesi için oldukça kritiktir. Örneğin, süt/süt ürünleri endüstrisi (peynir altı suyu) veya alkol endüstrisi (şarap posası) atıklarının fermentasyonu sonucu yüksek verimde orta zincirli karboksilik asit üretimi gerçekleştirilebilmektedir (Wu vd., 2020; Xu vd., 2018). Elde edilen bu yüksek verimin sebebi ise bahsi geçen atıklar içerisindeki laktat ve etanolün zincir uzatma prosesi için verimli birer elektron verici olmasıdır.

pH ve Alkalinite: Karboksilik asit üretiminde pH'nın başlıca önemi, metanojenik aktiviteyi ve dolayısıyla metan üretimini sınırlandırmakta kullanılan bir parametre olmasıdır. Genellikle anaerobik bir reaktörde, hidroliz, fermentasyon ve asetojenesis basamaklarının verimli gerçekleşebilmesi için gereken optimum pH aralığı 5,5-7,0 şeklindedir, ancak atığın içeriğine göre optimum pH değerleri değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin, lignoselülozik atıklardan kısa zincirli karboksilik asit üretimi pH nötr civarındayken maksimize edilebilirken; gıda atıklarından maksimum karboksilik asit eldesi alkali pH değerlerinde gerçekleşmektedir (Cheah vd., 2019; Rughoonundun & Holtzaple, 2017). Kısa zincirli karboksilik asitlere benzer şekilde, orta zincirli karboksilik asitlerin üretimi için gerekli olan optimum pH aralığı da 5,0-7,5'tir (De Groof vd., 2019; Shi vd., 2022). Ancak bazı çalışmalarda nötr pH değerlerinde asidik pH değerlerine kıyasla daha yüksek miktarda orta zincirli karboksilik asit üretimi gerçekleştirildiği rapor edilmektedir (Steinbusch vd., 2011).

Sıcaklık: Karışık kültür kullanılan anaerobik fermentasyon reaktörleri, genellikle mezofilik (35-40 °C) ve termofilik (50-55 °C) şartlarda işletilmektedir (Holtzaple vd., 2022). Termofilik şartlar hidroliz aşamasında daha iyi bir performans sergilese de, birçok çalışmada karboksilik asit üretiminin mezofilik şartlarda daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Bu noktada yalnızca sıcaklık değerine bakmak yeterli olmayıp; pH ve sıcaklık değerleri birlikte dikkate alınmalıdır. Örneğin pH nötr iken hem mezofilik hem de termofilik sıcaklıklarda karışık kültür ile yüksek verimde kısa zincirli karboksilik asit üretilmektedir. Alkali pH değerlerinde ise termofilik şartlar karboksilik asit üretimini olumsuz etkilemekte ve dolayısıyla mezofilik sıcaklık değerleri ön plana çıkmaktadır (Holtzaple vd., 2022). Orta zincirli karboksilik asitlerin üretimini maksimize eden sıcaklığın da kısa zincirli karboksilik asitlere benzer bir şekilde mezofilik sıcaklık veya biraz üstü (30-45 °C) olduğu rapor edilmiştir (De Groof vd., 2019; Shi vd., 2022). Özellikle kaproik asit (C₆) üretimi için optimum sıcaklığın 45 °C olduğu ve 55 °C'nin üzerinde kaproik asit dahil hiçbir orta zincirli karboksilik asidin üretilmediği bilinmektedir (Shi vd., 2022).

Bekleme Süresi ve Organik Yük: Karboksilat platformu kapsamında işletilen anaerobik fermentasyon reaktörlerinin bekleme süresi ve organik yükü, beslenecek atığın kompozisyonu başta olmak üzere reaktörün diğer işletim parametreleri ile doğrudan ilişkilidir. Reaktöre beslenen atığın kolay parçalanabilir özellikte olması durumunda 3-8 günlük bekleme süresi kısa zincirli karboksilik asit üretimi için yeterlidir. Ancak lignoselüloz, protein ve yağ gibi kompleks atıkların beslendiği reaktörlerde, verimli bir hidroliz ve karboksilik asit üretimi için uzun bekleme süreleri gerekirken bu durum muhtemel bir metanojenik aktiviteyi de beraberinde getirmektedir. Bu gibi durumlarda metanojenik aktiviteyi baskılamak için inhibitör eklenmesi, yüksek organik yük, asidik veya alkali reaktör pH'ı gibi çözümlere başvurulmaktadır (Holtzaple vd., 2022). Beslenen atığın içerisinde uygun oranlarda elektron alıcı ve verici olması durumunda kısa zincirli karboksilik asitlerden orta zincirli karboksilik asit üretmek için ihtiyaç duyulan hidrolik bekleme süresi ise 1-4 gündür. Bekleme süresine göre üretilen orta zincirli karboksilik asit çeşidinin değiştiği de rapor edilmektedir (Shi vd., 2022). Öte yandan, organik yükün 3-12 g kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)/L.gün aralığında kademeli artırılması, kısa zincirli karboksilik asit üretimini desteklerken; 15 g KOİ/L.gün değerlerine çıktığında fermentasyon prosesinin baskılandığı rapor edilmektedir (Holtzaple vd., 2022). Benzer şekilde, orta zincirli karboksilik asit üretimi de organik yük artışından belli bir noktaya kadar pozitif olarak etkilenmektedir. Laktik asit ve etanol içeriği yüksek atıklarla beslenen bir fermentasyon reaktöründe organik yükün sırasıyla yaklaşık 30 g KOİ/L.gün ve 55 g KOİ/L.gün değerlerine çıkarılması ile orta zincirli karboksilik asit üretiminin arttığı gösterilmektedir (De Groof vd., 2019).

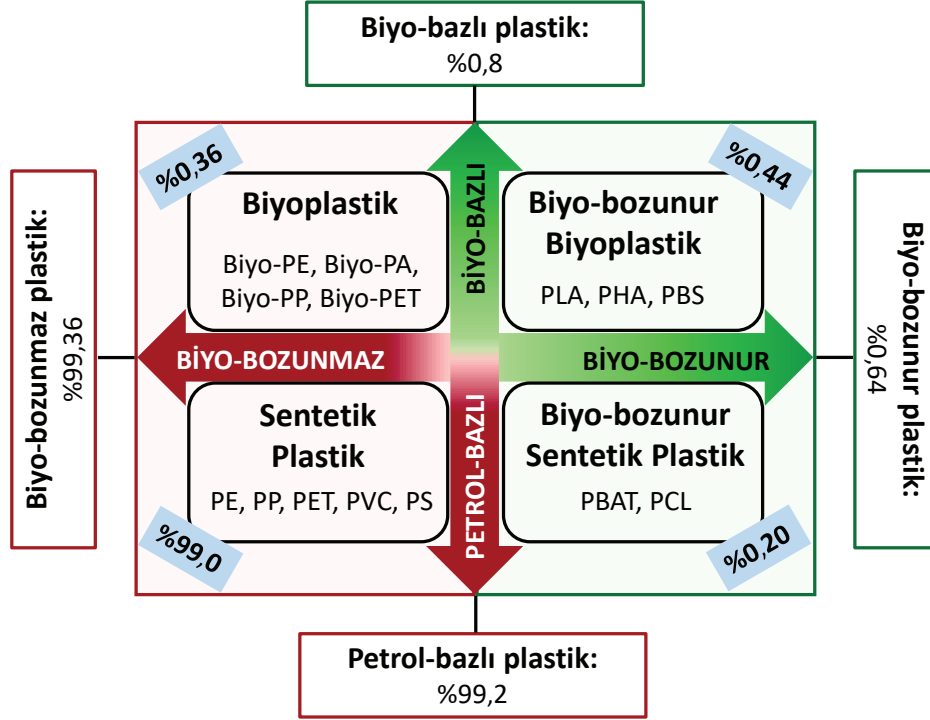
Karboksilat platformu kapsamında biyobozunur atıklardan karışık mikrobiyal kültür ile üretilen kısa veya orta zincirli karboksilik asitlerin fermentasyon sıvısından uzaklaştırılması, hem fermentasyon reaktörünün stabilitesi hem de üretilen ürünün geri kazanılarak ticarileştirilmesi açısından çok önemlidir (Aydın, Yeşil & Tuğtaş, 2018; Tuğtaş, 2014; Yeşil, Çallı & Tuğtaş, 2021; Yeşil vd., 2020). Fermentasyon sıvısında belli bir konsantrasyona ulaşan

karboksilik asitler, inhibisyona sebep olarak reaktör stabilitesini bozmakta ve fermentasyon işleminin sürdürülebilirliğini ortadan kaldırmaktadır (Yeşil vd., 2021). Ancak fermentasyon sıvısından karboksilik asitlerin geri kazanılması işlemi ile ortaya çıkan maliyet, toplam maliyetin neredeyse yarısı kadar olduğu için bu kısmın fermentasyon prosesine entegrasyonu uygulamada oldukça zorlayıcı olmaktadır (Chen vd., 2022). Karboksilik asitlerin fermentasyon sıvısından uzaklaştırılarak geri kazanılması için uygulanması gereken işlemler sırasıyla, (1) katı maddelerin giderimi için santrifüj vb. bir katı/sıvı ayrımı, (2) çözünmüş diğer organik maddelerden (amino asit ve glikoz gibi) karboksilik asitlerin ayrıştırılması için membran vb. ile ayırma, (3) karışık halde üretilen karboksilik asitlerin membran vb. yöntemler ile birbirinden ayrılması ve (4) karboksilik asit konsantrasyonunu artırmak amacıyla elde kalan sıvının susuzlaştırılmasıdır (Lopez-Garzon & Straathof, 2014). Literatürde yoğun olarak ikinci basamak olan karışık karboksilik asitlerin fermentasyon sıvısından ayrılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Karboksilik asitleri fermentasyon sıvısından ayırmak için en çok uygulanan yöntemler arasında ekstraksiyon, adsorpsiyon, membran kontaktör ve pervaporasyon gibi membran tabanlı uygulamalar yer almaktadır (Aydın vd., 2018; Chen vd., 2022; Yeşil vd., 2020). Ekstraksiyon ve adsorpsiyon işlemlerinde maliyeti yaratan en önemli faktör sarf madde tüketimi iken; membran uygulamalarının ekipman ve enerji ihtiyacı da ana maliyet kaynağıdır. Yapılan güncel çalışmalar, karboksilik asit geri kazanım yöntemlerinin maliyetlerini düşürmek üzerine yoğunlaşırken; geri kazanılan asitlerin ticarileştirilmesi veya farklı bir proseste ham madde olarak kullanılması üzerine ekonomik ve yaşam döngüsü analizleri yapan güncel çalışmalar da mevcuttur.

5.2. Biyobozunur Plastik/Polimer Üretimi

Son yüzyılın en çok tüketilen malzemelerinden biri olan plastik, üretim ve tüketim sırasında sunduğu avantajlardan dolayı modern toplum hayatının vazgeçilmezlerinden biri durumundadır. Ancak kullanılan plastiklerin yaklaşık %99,2'si petrol-bazlı olarak üretilirken, biyo-bazlı üretilen plastikler toplam üretimin yalnızca %0,8'idir (Şekil 1). Küresel ölçekte sentetik veya biyo-bazlı üretilen plastiklerin ise yalnızca %0,64'ünün biyobozunur özellikte olması (Şekil 1), ortaya çıkan plastik atıkların ciddi bir kısmının biyobozunmayan ve doğada uzun süre kalabilen özelliklere sahip olmasına sebep olmaktadır.

Mevcut fosil kaynaklarımızın tükenmekte olduğu ve doğamızın hızla kirlendiği günümüzde, sentetik plastik ürünlerin yerini alabilecek, hızla bertaraf edilebilecek, ekolojik ve yenilenebilir plastiklerin üretimine yoğun olarak ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, son zamanlarda pek çok ülke petrol-bazlı plastiklerden biyobozunur biyoplastiklere geçiş sürecini hızlandırabilecek çalışmaları teşvik etmekte ve biyobozunur biyoplastiklerin günlük hayatımıza entegrasyonu üzerine stratejiler geliştirmektedir.



Şekil 1. Üretim kaynağına ve biyobozunurluğa göre plastiklerin sınıflandırılması, örneklendirilmesi ve 2021 yılı için küresel ölçekte yüzdesel dağılımı (European Bioplastics, 2021; Singh vd., 2022)

Biyobozunur biyoplastikler/polimerler, yenilenebilir karbon kaynaklarını (biyobozunur atıkları) kullanan mikroorganizmalar tarafından sentezlenen, biyo-uyumlu oldukları için canlı mikroorganizmada herhangi bir toksik etki yaratmayan ve farklı canlılar tarafından da asimile edilebilen biyolojik bir malzemedir (Nanda vd., 2022). Günümüzde biyobozunur biyoplastiklerin üretim kapasitesi, 1,6 milyon ton/yıl (küresel plastik üretiminin %0,44'ü) iken; 2026 yılı itibarıyla 5,3 milyon ton/yıl değerine ulaşması öngörülmektedir (European Bioplastics, 2021). Mevcut durumda üretilen başlıca biyobozunur biyoplastikler, polibütilen adipat tereftalat (PBAT), polibütilen süksinat (PBS), polilaktik asit (PLA), polihidroksialkanoat (PHA), nişasta karışımları ve selüloz filmleridir (European Bioplastics, 2021). Bu biyoplastikler içerisinde, özellikle doğada %100 biyobozunur olan PHA'ların küresel üretiminin önümüzdeki beş yıl içerisinde 10 katına kadar çıkacağı ve pazar değerinin yıllık %14,2 artarak 2025 yılında 121 milyon USD'ye ulaşacağı öngörülmektedir (European Bioplastics, 2021; Nanda vd., 2022). Küresel ve ulusal plastik pazarının %40'ını oluşturan plastik ambalajlardaki kullanım potansiyeli ile ilgi uyandıran PHA'lar, biyomedikal sektöründe de implant, ilaç taşıyıcı, anti-kanser madde, hafıza güçlendirici ve anti-bakteriyel malzeme gibi pek çok potansiyel kullanım alanı sunmaktadır (European Bioplastics, 2021; Nanda vd., 2022; PAGEV, 2019; PlasticsEurope, 2021).

Genel olarak PHA'lar, çeşitli mikroorganizmalar tarafından, sınırlayıcı ortam koşullarından kaynaklanan metabolik stres sonucu, mikrobiyal hücre içerisinde sentezlenmektedir. Mikroorganizmanın büyümesi için elverişli olan ortam koşullarının dengesi bozulduğunda, örneğin zengin karbon kaynağı varlığında azot, fosfor veya oksijenden yoksun bir ortam yaratıldığında, PHA depolayan mikroorganizmalar, hücresel çoğalma yerine PHA sentezine yönelmektedir. Böylelikle, PHA'lar, hücrenin kuru ağırlığının %90'ına varacak kadar sentezlenebilmekte ve hücre içinde granüler enerji kaynağı olarak depolanmaktadır (Nanda vd., 2022). Doğrusal poliester sınıfına giren PHA'lar, monomerlerindeki karbon atomlarına bağlı olarak, kısa zincirli PHA'lar ($\text{PHA}_{\text{kısa}}$) (C_3 - C_5), orta zincirli PHA'lar (PHA_{orta}) (C_6 - C_{14}) ve uzun zincirli PHA'lar (PHA_{uzun}) ($>\text{C}_{14}$) şeklinde sınıflandırılmaktadır (Tamang & Nogueira, 2021). $\text{PHA}_{\text{kısa}}$ ve PHA_{uzun} , sırasıyla literatürde en çok ve en az çalışılan biyobozunur plastikler/polimerler olarak karşımıza çıkarken; PHA_{orta} , $\text{PHA}_{\text{kısa}}$ 'ların sağlayamadığı mekanik ve fiziksel özellikleri sağlayabilmesinden dolayı son zamanlarda araştırmacılar tarafından yoğun ilgi görmeye başlamıştır (Tamang & Nogueira, 2021). En çok bilinen orta zincirli PHA'lar, poli(3-hidroksi hekzanoat) (PHH), poli(3-hidroksi oktanoat) (PHO) ve poli(3-hidroksi dekanat) (PHD)'tir (Silva vd., 2022). $\text{PHA}_{\text{kısa}}$ ile karşılaştırıldığında daha esnek, daha dayanıklı ve daha az kırılğan özellikler sergileyen PHA_{orta} , endüstriyel açıdan da cazip olmaya başlamıştır (Silva vd., 2022; Vuong vd., 2021). Ancak biyobozunur plastik/polimer üretiminin büyük ölçekli tesislerde gerçekleşmesinin önündeki başlıca engel, yüksek üretim maliyetleridir.

PHA'ların üretim maliyetini belirleyen en önemli unsurlar; (1) üretim için kullanılan karbon (besin) kaynağı, (2) üretimi yapan mikrobiyal kültür çeşidi ve (3) üretilen PHA'nın saflaştırılması şeklindedir (Chandrika Sabapathy vd., 2020). Özellikle PHA'ların üretiminde saf kültür kullanılmasının ve bu saf kültürden maksimum verimi alabilmek için steril karbon kaynakları tüketilmesinin, üretim maliyetini oldukça artırdığı rapor edilmiştir. Yapılan araştırmalar, PHA üretilirken kullanılan karbon kaynağından kaynaklanan maliyetin, toplam PHA üretim maliyetinin yaklaşık %30-50'si olduğunu göstermektedir (Silva vd., 2021). Bu nedenle, steril koşul gereksinimi olmaksızın karışık kültür kullanılarak gerçekleştirilen PHA sentezi, pek çok atığın ucuz ve yenilenebilir karbon kaynağı olarak kullanımına olanak sağladığı için hem çevresel hem de ekonomik açıdan tercih edilebilir olmaktadır (Silva vd., 2022). Literatürde PHA sentezinde kullanılabilecek biyobozunur karbon kaynakları, (a) organik içeriği yüksek kentsel katı atıklar, (b) yağ içeriği yüksek organik atıklar (kızartma yağları, hayvansal atık yağlar vb.), (c) süt ürünleri endüstrisinin atıkları (peynir altı atık suları vb.), (d) kâğıt, biyo-dizel ve şeker kamışı endüstrilerinin atıkları ve (e) kullanılmış kahve telvesi olarak örneklendirilebilir (Guleria vd., 2022; Jiang vd., 2016; Reddy vd., 2022).

PHA sentezinde kullanılmak üzere tercih edilen karbon kaynağının üretim maliyetine olduğu kadar, sentezlenen PHA'nın yapısına da etkisi vardır. Mikrobiyal PHA'lar üç farklı metabolik yol ile sentezlenebilmektedir. Bu metabolik yolları birbirinden ayıran en temel farklılık ise

sentezleme esnasında kullanılan karbon kaynağının çeşidi ve sentez sonrası ortaya çıkan PHA çeşididir. Özellikle, karboksilik asitten elde edilen polimer veriminin (0,6-0,8 g/g), glikozdan elde edilen verime (0,3-0,4 g/g) kıyasla daha yüksek olması, karboksilik asit (asetik, propiyonik, bütirik, laktik, kaproik vb.) içeren fermentasyon atıklarının, biyobozunur polimer üretimi için en uygun atık olduğunu kanıtlar niteliktedir (Rodriguez-Perez vd., 2018). Bu durum, yukarıda bahsi geçen biyobozunur kompleks atıklardan plastik/polimer üretimi öncesinde fermentasyon işlemi ile kısa veya orta zincirli karboksilik üretimin gerekliliğini göstermektedir.

5.3. Protein Üretimi

Biyobozunur atıkların ürün eldesi amacıyla değerlendirilebileceği bir başka platform da protein üretimidir. Literatürde biyoprotein, mikrobiyal protein veya biyokütle olarak da adlandırılmakta olan tek hücre proteini (THP), çeşitli bakteriler, algler, mantarlar ve mayalar tarafından üretilen proteinlerin kurutulmasıyla elde edilmektedir. Günümüzde tarımsal ürünlerden elde edilen proteinlerin geniş arazilere ve fazla miktarda suya ihtiyaç duyması, mikrobiyal protein üretiminin özellikle son yıllarda popüler olmasına sebep olmuştur. Ayrıca, bu proteinler mevsimsel geçişlerden ve iklim değişikliklerinden bağımsız olarak yıl boyunca üretilenlikle beraber, sera gazı emisyonuna sebep olmadıkları için de dikkatleri üzerine çekmektedir. Üretilen proteinler, insan ve hayvanların beslenmesinde protein içeriği zengin bir besin takviyesi veya bileşeni olarak kullanılabilir (Vermeulen, Campbell & Ingram, 2012).

Artan nüfusun beraberinde getirdiği protein ihtiyacındaki artışı THP üretimi ile karşılamamanın en uygun seçenek olduğuna yönlendiren temel motivasyon, THP üretiminde tercih edilen bakteri, alg, mantar ve mayaların protein içeriklerinin birçok besin kaynağından daha yüksek olmasıdır. Özellikle hızlı çoğalabilen ve protein içeriği yüksek olan seçenekler, balık gübresi veya soya küspesi gibi pahalı protein kaynaklarının yerini hızla alabilecek niteliktedir (Sharif vd., 2021). Örneğin, mayalar yalnızca bir gün içerisinde 250 ton protein üretme kapasitesine sahiptir (Aggelopoulos vd., 2014). THP'ler, protein içeriklerinin yanı sıra içerdikleri karbonhidrat, nükleik asit, yağ, mineral ve vitaminler sayesinde de mevcut ticari protein kaynaklarından daha fazla olanak sunmaktadırlar.

Protein üretimi kullanılan karbon kaynağına göre değişmekle birlikte, temel olarak tam karışım ve sürekli beslenerek işletilen fermentasyon sistemlerinde gerçekleştirilmektedir. Karbon kaynağı olarak kullanılan besin, protein üretecek olan mikroorganizmalara beslenir ve karbon kaynağını tüketen mikroorganizmalar, fermentasyon koşulları altında çoğalır (Sharif vd., 2021). Protein üretim sürecinin tamamlanmasının ardından, üretilen biyokütle sırasıyla çöktürme, filtrasyon/santrifüj, yıkama, kurutma ve protein ekstraksiyonu işlemlerine tabi tutulmaktadır.

6. Biyobozunur Atık Yönetiminin Sera Gazı Emisyonuna Etkisi

Katı atık depolama sahaları, işlenen yaş atık başına 734 kg CO₂-eşdeğeri/ton metan gazı emisyonu ile küresel metan gazı emisyonlarının yaklaşık %12'sinden sorumlu tutulmaktadır (Yasmin vd., 2022). Biyobozunur atıkları düzenli depolama sahalarında bertaraf etmek yerine, kompostlaştırma ve biyometanizasyon işlemleri ile madde ve/veya enerji geri kazanarak değerlendirmek hem sera gazı emisyonlarının azaltılması hem de atıkların döngüsel ekonomi yaklaşımıyla yönetimi açısından son derece önemlidir.

Düzenli depolama, kompostlaştırma ve biyometanizasyon işlemleri sırasında, “biyojenik” ve “biyojenik olmayan” olmak üzere iki farklı tür CO₂ üretilir. Biyojenik CO₂ biyobozunur süreci sırasında üretilirken, biyojenik olmayan CO₂ fosil yakıt kaynaklı enerji tüketimi sonucu oluşur.

Doğrudan (tarımsal artıklar, gıda atıkları, yeşil atıklar vb.) veya dolaylı (arıtma çamuru, gübre, endüstriyel biyobozunur atıklar) biyokütle kaynaklı atıkların biyobozunur sırasında açığa çıkan CO₂, o atıkların yapısındaki organik maddeler tarafından daha önce fotosentezde kullanılmak üzere atmosferden yakalandığı için biyojenik sayılır ve küresel iklim değişikliği potansiyeli sıfır olarak kabul edilir (He, Han & Huang, 2020). Benzer bir durum biyogaz ve biyometan için de geçerlidir. Biyobozunur atıklardan elde edilen biyogazın enerji geri kazanımı maksadıyla yakılması sonucu oluşan CO₂, atmosfere geri döner ve ardından bitkiler tarafından tekrar kullanılır. Bu kısa CO₂ döngüsü bu şekilde devam eder. Özet olarak, biyogazın yakılması atmosferdeki CO₂ miktarını artırmaz, kısa bir döngü dahilinde dolaşmasını sağlar (EBA, 2020).

Kompostlaştırma sırasında CO₂'ye ilave olarak, sera gazı etkisi daha yüksek olan CH₄ ve N₂O gibi sera gazlarının da oluştuğu bilinmektedir (Cayuela vd., 2012). Açığa çıkan bu gazların miktarı, büyük ölçüde atığın türü, bileşimi ve işletme koşullarına bağlıdır ve genellikle kompost yığınlarının karıştırılması sırasında açığa çıkar (Beck-Friis vd., 2000). Kentsel organik atıkların kompostlaştırılması 1 ton atık başına 0,12-9 kg-CH₄ ve 0-0,43 kg-N₂O emisyonuna neden olur (Sanchez vd., 2015). Başka bir çalışmada, 1 ton gıda atığı kompostlaştırıldığında 0.049 ton-CO₂ eşdeğeri, düzenli depolamayla 0,12 ton-CO₂ eşdeğeri emisyon gerçekleşeceği rapor edilmiştir (Barton, Bird & Atwater, 1999).

Atıkların tesise taşınması, parçalanması, elenmesi, mekanik olarak karıştırılması, havalandırılması vb. temel işlemler sırasında kullanılan elektrik ve fosil yakıtlar ise biyojenik olmayan CO₂ salımına neden olur (Sanchez vd., 2015). Bu durum, düzenli depolama, kompostlaştırma ve biyometanizasyon gibi teknolojilerin tümü için geçerlidir. Diğer taraftan, eğer biyolojik işlemler sonucu üretilen kompost veya fermente ürün tarım arazilerinde kullanılırsa, ham atık kaynaklı organik maddenin önemli bir kısmı toprağa geri kazandırılmış olacak ve böylece kompostlaştırma ve biyometanizasyon işlemlerinin toplam sera gazı emisyonu önemli ölçüde azalacaktır.

Ancak, zamanla kararlı hale gelen biyobozunur atıklar nihai olarak depolama sahasında gömülü kalacağı için, düzenli depolama işlemiyle toprağa uygulanabilecek bir ürün elde edilemez. Bu nedenle, düzenli depolama işleminde kompostlaştırma ve biyometanizasyonda olduğu gibi sera gazı emisyonlarını azaltıcı bir etkiden bahsedilemez.

Genel olarak kompost yığınlarının karıştırılması sırasında artan sera gazı emisyonlarını azaltmak için, kompostlaştırmanın ilk aşamasında karıştırma işlemi önerilmemektedir. İlk aşamada organik madde fazla, yığın içi oksijen konsantrasyonu az ve CH_4 , N_2O gibi sera gazlarının konsantrasyonu fazladır. Dolayısı ile ilk aşamada gerçekleştirilen karıştırma işlemi her ne kadar kompostlaştırma hızını artıracak olsa da sera gazı emisyonlarının yüksek olmasına sebep olur. Dolayısıyla, yığın karıştırma işleminin oksijen konsantrasyonlarının daha yüksek olduğu ve metanın oksitleneceği ikinci aşamada yapılması önerilmektedir (Sanchez vd., 2015). Aynı zamanda sera gazı emisyonlarını azaltmak için kompostun içine toz biyokömür veya kil karıştırmak gibi uygulamalar da mevcuttur (Chen vd., 2018; Yin vd., 2021).

Biyometanizasyon, iklim krizi ile mücadele kapsamında belirlenen karbon nötr hedefine ulaşma yolunda önemli bir teknolojidir ve küresel sera gazı emisyonlarını %10-13 oranında azaltacak bir potansiyele sahiptir. Biyobozunur atıklardan biyometanizasyon ile enerji ve madde geri kazanımı, biyogazın fosil yakıtlara alternatif temiz yakıt olarak kullanılması, tarımda işlenmemiş hayvansal gübre kullanımı kaynaklı metan gazı emisyonlarının önlenmesi, üretimi ciddi sera gazı emisyonuna neden olan kimyasal gübrenin muadili organomineral gübre üretimine imkân sağlaması ve organik maddenin yeniden toprağa kazandırılması gibi birçok farklı yolla sera gazı emisyonları azaltır (EBA, 2020).

Arıtma çamurlarının bertarafı için kullanılan yöntemler arasında en az sera gazı emisyonuna neden olan işlem biyometanizasyon işlemidir (Barber, 2009). Üretilen biyogaz, fosil yakıtlara alternatif olarak fosil yakıt kaynaklı CO_2 emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunur (Malet vd., 2023). Aynı zamanda, biyometanizasyon tesislerinde açığa çıkan ve karbon açısından zengin fermente ürünün toprağa uygulanması karbonun toprakta depolanmasını sağlamaktadır. Fermente ürünün gübre olarak kullanılması ise kimyasal gübre üretimi, dağıtımı ve arazi uygulaması sırasında oluşacak sera gazı emisyonlarına engel olur (Malet vd., 2023). Yaklaşık 1 ton kimyasal gübre yerine 1 ton fermente ürün kullanıldığında, 1 ton akaryakıt, 108 ton su ve 5-9 ton sera gazı emisyon tasarrufu sağlandığı rapor edilmiştir (Farghali vd., 2022).

Birçok biyogaz tesisinin ele alındığı bir çalışmada, toplam sera gazı emisyonlarının %56,3'ünün kullanılan tarımsal hammadde kaynaklı olduğu tespit edilmiş ve bu emisyonların çoğunlukla tarımsal hammaddelerin yetiştirilmesi esnasında gerçekleşen N_2O emisyonları olduğu rapor edilmiştir (Siddiqui vd., 2020). Ancak yine de incelenen biyogaz tesislerinden kaynaklanan ortalama sera gazı emisyonu, doğal gaz yakıtlı elektrik santrallerinden kaynaklanan 572 g- CO_2 eşdeğeri/kWsa emisyon değerinden %46 daha düşüktür (Siddiqui vd., 2020). Tüm organik atıkların anaerobik olarak çürütüldüğü bir senaryo kurgulandığında dünyanın toplam sera gazı emisyonlarının 3,29-4,38 milyar ton- CO_2 eşdeğeri azalacağı hesaplanmıştır (Farghali vd., 2022). Ayrıca biyogazın zenginleştirilmesiyle elde edilen biyometanın araç yakıtı olarak kullanımı dizel yakıt kullanımına göre sera gazı emisyonlarını yaklaşık %80 azaltmaktadır (Farghali vd., 2022).

Yapılan yaşam döngüsü analizleri sonuçları, döngüsel ekonomi yaklaşımını benimseyen ve biyobozunur atıkları kaynak olarak değerlendiren yenilikçi teknolojilerin (karboksilik asit, biyopolimer veya mikrobiyal protein üretimi), sera gazı emisyonu açısından hem petrol bazlı üretim teknolojilerine hem de konvansiyonel (kompostlaştırma ve biyometanizasyon gibi) enerji/ürün eldesi yöntemlerine kıyasla daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Örneğin, karbonhidrat içeriği yüksek atıkların biyometanizasyonu sırasında -258 kg CO₂/ton kuru madde (eksi değer azaltımı göstermektedir) eş değerinde emisyon ortaya çıkarken; aynı atığın anaerobik fermentasyonu ile asetik asit üretildiğinde -696 kg CO₂/ton kuru madde eş değerinde emisyon ortaya çıkmaktadır. Benzer bir şekilde, protein içeriği yüksek atıkların biyometanizasyonu -16 kg CO₂/ton kuru madde eş değerinde emisyonla sebep olurken; aynı atıktan asetik asit eldesi -384 kg CO₂/ton kuru madde eş değerinde emisyonla sebep olmaktadır. Bahsi geçen atıklardan elde edilen asetik asidin yaşam döngüsü çevresel etki değeri, karbonhidrat içeriği zengin atık için 350 kg CO₂/ton asit eş değerinde iken, protein içeriği zengin atık için 150 kg CO₂/ton asit eş değeri civarındadır. Farklı kompozisyondaki atıkların asetik aside dönüşümü için elde edilen bu değerler, petrol bazlı asetik asit sentezinin sebep olduğu 1100 kg CO₂/ton asit eş değerindeki karbon ayak izinden oldukça düşüktür (Gálvez-Martos vd., 2021).

Peynir altı atık suyundan biyometan (konvansiyonel) ve biyopolimer (yenilikçi) üretimlerinin sera gazı emisyonları üzerinden karşılaştırıldığı başka bir çalışmada, atıktan biyopolimer üretiminin daha avantajlı bir konuma geçebilmesi için biyopolimerin üretimi sırasında ve sonrasında modifikasyonlar yapılması gerektiği rapor edilmiştir (Asunis vd., 2021). Peynir altı atık suyunun biyometanizasyon yöntemi ile değerlendirildiği ilk senaryoda -35,7 kg CO₂/ton atık eş değeri emisyon gerçekleşmiştir. Aynı atığın anaerobik fermentasyon ve aerobik biyopolimer üretim yöntemi ile değerlendirildiği ikinci senaryoda ise ortaya çıkan emisyon +44,8 kg CO₂/ton atık eş değerindedir. Biyopolimer üretiminin biyometanizasyona kıyasla cazip olabilmesi için (1) polimer depolayacak mikrobiyal kültürün zenginleştirilmesi sırasında organik yükün 7 kat artırılması sonucu kullanılan suyun 7 kat azaltıldığı, (2) hücre içerisinde depolanan biyopolimer miktarının 2,3 kat daha fazla olduğu, (3) depolanan polimerin ekstraksiyonu için NaCl, NaOH ve C₂H₆O gibi kimyasallar yerine dimetil karbonatın kullanıldığı ve (4) kalan biyokütlenin anaerobik çürütücüye karbon kaynağı olarak beslendiği üçüncü bir senaryo kurulmuş olup; ortaya çıkan sera gazı emisyonunun -50,3 kg CO₂/ton atık eş değerinde olduğu tespit edilmiştir (Asunis vd., 2021).

Mikrobiyal protein üretimini gerçekleştiren mikroorganizmalar arasında alglerin bulunması, CO₂ kullanarak protein üretimini mümkün kılarken, bazı bakterilerin de üretilen metan gazını mikrobiyal proteine dönüştürdüğü bilinmektedir (Ritala vd., 2017). Kentsel organik atıklardan metan veya mikrobiyal protein üretiminin iklim değişikliğine etkisini yaşam döngüsü analizi yaparak inceleyen başka bir çalışma, her iki yöntemin de iklim değişikliği kategorisinde negatif net kütle dengesine sahip olduğunu ve sera gazı emisyonuna sebep olmadığını göstermiştir. Özellikle, biyobozunur kentsel atıklardan mikrobiyal protein üretimi sırasında ortaya çıkan sera gazı emisyonunun -67 ile -155 kg CO₂/ton atık eş değeri arasında olduğu rapor edilmektedir (Khoshnevisan vd., 2020).

Biyobozunur atıkların yönetimi ve bertarafı için kullanılan düzenli depolama, kompostlaştırma, biyometanizasyon işlemleri ile yenilikçi teknolojilerin (karboksilik asit, biyopolimer ve mikrobiyal protein üretimi vb.) enerji üretimi ve tüketimi, nihai ürünleri, amaçları, sera gazı emisyonlarına katkısı ve birbirlerine karşı üstünlük ve dezavantajları Tablo 1’de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 1. Biyobozunur Atıkların Yönetimi ve Bertarafı İçin Kullanılan Biyo-işlemlerin Karşılaştırması

	Düzenli depolama ^a	Kompostlaştırma	Biyometanizasyon	Yenilikçi biyo-prosesler
Enerji tüketimi/üretimi	Net enerji üretimi	Net enerji tüketimi	Net enerji üretimi	Net enerji tüketimi
Nihai ürünler	Sızıntı suyu, çöp gazı (CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S)	Kompost, CO ₂ , H ₂ O	Fermente ürün, biyogaz (CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S)	Karboksilik asit, biyopolimerler, mikrobiyal protein vb.
İşlem süresi	30-50 yıl	20-30 gün	30-40 gün	3-10 gün
Öncelikli amaç	Atık bertarafı	Kompost üretimi	Enerji üretimi	Değerli biyo-ürün eldesi
İkincil amaç	Çöp gazından enerji eldesi	Hacim azaltma	Fermente ürün eldesi	Madde geri kazanımı
Sera gazı emisyonu	Yüksek	Net negatif	Net negatif	Düşük - Net negatif
Dezavantaj	Nihai örtü ve çöp gazı toplama sisteminden CH ₄ kaçağı, koku problemi, sızıntı suyu arıtma ihtiyacı, sızıntı suyunun yeraltı sularına karışma riski	Enerji ihtiyacı, koku problemi, CH ₄ ve N ₂ O emisyonu	Fermente ürünün su-suzlaştırma ve bertaraf ihtiyacı, verimsiz kojenerasyon sonucu CH ₄ emisyonu, fermente üründe çözünmüş CH ₄ varlığı	Ön işlem/fermantasyon ihtiyacı, ürün ayırma/saflaştırma maliyeti, sıvı fermente ürün bertaraf/arıtma ihtiyacı

^a Çöp gazından enerji geri kazanımı ile

7. Sonuçlar ve Öneriler

Ülkemizde ve benzer özelliklere sahip gelişmekte olan ülkelerde her gün kişi başına 1-1,5 kg kentsel atık oluşmakta olup bu atıkların yaklaşık %50’si biyobozunur içeriklidir. Buna göre; her 100 milyon kişi günde 50-75 bin ton, yılda 18-27 milyon ton sadece kentsel atık kaynaklı biyobozunur atık oluşturmaktadır. Bu atıkların önemli bir kısmı gıda atıkları olup basit önlemlerle miktarı azaltılabilir. Gıda atığı miktarı azaltılarak sadece gıda israfı önlenmiş olmaz aynı zamanda gıda ürünlerinin üretiminde kullanılan, su, enerji, gübre ve sera gazı emisyonları da azaltılmış olur.

Bununla birlikte, coğrafi konumu ve iklim özellikleri tarıma uygun olan ve bol miktarda tarımsal ürün yetiştirilip tüketilen bölgelerde, tarımsal, endüstriyel ve evsel kaynaklı biyobozunur atık üretimi kaçınılmazdır. Başta tarım artıkları ve sebze ve meyvelerin tüketilmeyen kısımları olmak üzere tüm biyobozunur atıkları biyometanizasyon veya kompost tesislerinde değerlendirmemiz veya yenilikçi biyoprosesler ile karboksilik asit, biyopolimer ve mikrobiyal protein gibi katma değere sahip ürünlere dönüştürmemiz sürdürülebilir kalkınma ve iklim krizi ile mücadele açısından büyük önem arz eder.

İklim krizinin etkilerinin günden güne daha ağır hissedilmeye başlandığı bugünlerde, biyobozunur atık üretimini mümkün mertebe azaltmak, azaltamadığımız kısmını da düzenli depolama ile bertaraf etmek yerine net sera gazı emisyonu sıfır hatta negatif olan biyo-işlemler yardımıyla endüstriyel ham madde, gıda ve hayvan yemi üretimi gerçekleştirmek ve/veya organik madde açısından giderek fakirleşen ve su tutma kapasitesi azalan tarım arazilerine toprak şartlandırıcı ve organik gübre olarak geri kazandırmak öncelik olmalıdır.

8. Kaynaklar / References

- Abbasi, T., Tauseef, S. M., & Abbasi, S. A. (2012). Anaerobic digestion for global warming control and energy generation-An overview. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 16, 3228-3242. doi: 10.1016/j.rser.2012.02.046
- Abdallah, M., Shanableh, A., Adghim, M., Ghenai, C., & Saad, S. (2018). *Biogas production from different types of cow manure*. Paper presented at the 2018 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET) (6 Şubat - 5 Nisan 2018), Dubai, United Arab Emirates.
- Aggelopoulos, T., Katsieris, K., Bekatorou, A., Pandey, A., Banat, I. M., & Koutinas, A. A. (2014). Solid state fermentation of food waste mixtures for single cell protein, aroma volatiles and fat production. *Food Chemistry*, 145, 710–716. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.07.105
- Asunis, F., De Gioannis, G., Francini, G., Lombardi, L., Muntoni, A., Poletti, A., Pomi, R., Rossi, A., & Spiga, D. (2021). Environmental life cycle assessment of polyhydroxyalkanoates production from cheese whey. *Waste Management*, 132, 31-43. doi: 10.1016/j.wasman.2021.07.010
- Aydin, S., Yesil, H., & Tugtas, A. E. (2018). Recovery of mixed volatile fatty acids from anaerobically fermented organic wastes by vapor permeation membrane contactors. *Bioresource Technology*, 250, 548-555. doi: 10.1016/j.biortech.2017.11.061
- Barber, W. P. F. (2009). Influence of anaerobic digestion on the carbon footprint of various sewage sludge treatment options. *Water and Environment Journal* 23, 170-179. doi: 10.1111/j.1747-6593.2008.00133.x
- Barral, M. T., & Paradelo, R. (2011). A review on the use of phytotoxicity as a compost quality indicator. *Dynamic Soil, Dynamic Plant*, 5, 36-44.
- Barton, P. K., Bird, D. N., & Atwater, J. W. (1999, 19–23 September 1999). *Composting: An action that reduces greenhouse gas emissions?* Paper presented at the International Composting Symposium, Halifax, Canada,.

- Bayraktar, A., Sürmeli, R. Ö., & Çallı, B. (2017). Dry anaerobic digestion of chicken manure coupled with membrane separation of ammonia. *Bioresource Technology*, 244, 816-823. doi: 10.1016/j.biortech.2017.08.047
- Beck-Friis, B., Pell, M., Sonesson, U., Jönsson, H., & Kirchmann, H. (2000). Formation and emission of N₂O and CH₄ from compost heaps of organic household waste. *Environmental Monitoring and Assessment*, 62, 317-331. doi: 10.1023/A:1006245227491
- Boswell, J. (2004). Compost-based biofilters control air pollution. *Biocycle*, 45, 42-46.
- Cayuela, M. L., Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Sinicco, T., & Mondini, C. (2012). Biochemical changes and GHG emissions during composting of lignocellulosic residues with different N-rich by-products. *Chemosphere*, 88, 196–203. doi: 10.1016/j.chemosphere.2012.03.001
- Chandrika Sabapathy, P., Devaraj, S., Meixner, K., Anburajan, P., Kathirvel, P., Ravikumar, Y., Zabeed, H. M., & Qi, X. (2020). Recent developments in Polyhydroxyalkanoates (PHAs) production – A review. *Bioresource Technology*, 306. doi: 10.1016/j.biortech.2020.123132
- Cheah, Y.-K., Vidal-Antich, C., Dosta, J., & Mata-Alvarez, J. (2019). Volatile fatty acid production from mesophilic acidogenic fermentation of organic fraction of municipal solid waste and food waste under acidic and alkaline pH. *Environmental Science and Pollution Research* 26, 35509–35522. doi: 10.1007/s11356-019-05394-6
- Chen, C., Zhang, X., Liu, C., Wu, Y., Zheng, G., & Chen, Y. (2022). Advances in Downstream Process and Application of Biological Carboxylic Acids Derived from Organic Wastes. *Bioresource Technology*, 346. doi: 10.1016/j.biortech.2021.126609
- Chen, J. H., & Wu, J. T. (2005). Benefits and drawbacks of composting. Taiwan: Food and Fertilizer Technology Center.
- Chen, H. Y., Awasthi, M. K., Liu, T., Zhao, J. C., Ren, X. N., Wang, M. J., Duan, Y. M., Awasthi, S. K., & Zhang, Z. Q. (2018). Influence of clay as additive on greenhouse gases emission and maturity evaluation during chicken manure composting. *Bioresource Technology*, 266, 82-88. doi: 10.1016/j.biortech.2018.06.073
- Christensen, T. H. (2011). *Solid Waste Technology & Management*. United Kingdom: John Wiley & Sons.
- Cobo, S., Dominguez-Ramos, A., & Irabien, A. (2018). From linear to circular integrated waste management systems: A review of methodological approaches. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 279-295. doi: 10.1016/j.resconrec.2017.08.003
- Çallı, B. (2017). Ülkemiz ve Dünyadaki Katı ve Sıvı Fermente Ürünün Değerlendirilmesi Projesi Raporu: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- De Groof, V., Coma, M., Arnot, T., Leak, D. J., & Lanham, A. B. (2019). Medium Chain Carboxylic Acids from Complex Organic Feedstocks by Mixed Culture Fermentation. *Molecules*, 24. doi: 10.3390/molecules24030398
- Deublein, D., & Steinhauser, A. (2011). *Biogas from waste and renewable resources: an introduction*: John Wiley & Sons.

- Diaz, L. F., De Bertoldi, M., Bidlingmaier, W., & Stentiford, E. (2011). *Compost Science and Technology* (Vol. 8). Boston, Massachusetts: Elsevier Science.
- Drosg, B., Fuchs, W., Al Seadi, T., Madsen, M., & Linke, B. (2015). Nutrient Recovery by Biogas Digestate Processing. In D. Baxter (Ed.): IEA Bioenergy.
- EBA. (2020). The Contribution of the Biogas and Biomethane Industries to Medium-Term Greenhouse Gas Reduction Targets and Climate-Neutrality by 2050. Retrieved 30 Mart 2023, from <https://www.europeanbiogas.eu/the-contribution-of-the-biogas-and-biomethane-industries-to-medium-term-greenhouse-gas-reduction-targets-and-climate-neutrality-by-2050/>
- European Bioplastics. (2021). Bioplastics: facts and figures. Retrieved 17 Mart 2023, from https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_Facts_and_figures.pdf
- Farghali, M., Osman, A. I., Umetsu, K., & Rooney, D. W. (2022). Integration of biogas systems into a carbon zero and hydrogen economy: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 20, 2853-2927. doi: 10.1007/s10311-022-01468-z
- Gálvez-Martos, J., Greses, S., Magdalena, J., Iribarren, D., Tomás-Pejó, E., & González-Fernández, C. (2021). Life cycle assessment of volatile fatty acids production from protein- and carbohydrate-rich organic wastes. *Bioresource Technology*, 321. doi: 10.1016/j.biortech.2020.124528
- Godoy-Faúndez, A., Rivera, D., Aitken, D., Herrera, M., & El Youssfi, L. (2021). Circular Economy in a Water-Energy-Food Security Nexus Associate to an SDGs Framework: Understanding Complexities. In L. Liu & S. Ramakrishna (Eds.), *An Introduction to Circular Economy* (pp. 219-239). Singapore: Springer.
- Gómez Palacios, J. M., Ruiz de Apodaca, A., Rebollo, C., & Azcárate, J. (2002). European policy on biodegradable waste: a management perspective. *Water Science and Technology*, 46, 311-318. doi: 10.2166/wst.2002.0362
- Guleria, S., Singh, H., Sharma, V., Bhardwaj, N., Arya, S. K., Puri, S., & Khatri, M. (2022). Polyhydroxyalkanoates production from domestic waste feedstock: A sustainable approach towards bio-economy. *Journal of Cleaner Production*, 340. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.130661
- He, X., Han, L., & Huang, G. (2020). Analysis of regulative variables on greenhouse gas emissions and spatial pore gas concentrations with modeling during large-scale trough composting. *Journal of Cleaner Production*, 277. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124066
- Hegel, E., & Andreeßen, C. (2023). CAFIPLA – D1.5: Final report on the market assessment of CAP/FRP based bioproducts and CAFIPLA as technology in the bioeconomy expansion (Grant agreement ID: 887115). Horizon 2020 Project (2020-2023).
- Holtzapple, M. T., Wu, H., Weimer, P. J., Dalke, R., Granda, C. B., Mai, J., & Urgun-Demirtas, M. (2022). Microbial communities for valorizing biomass using the carboxylate platform to produce volatile fatty acids: a review. *Bioresource Technology*, 344, Part B. doi: 10.1016/j.biortech.2021.126253
- Inoko, A. (1984). Compost as a source of plant nutrients *Organic Matter and Rice* (Vol. 4, pp. 137-146). Manila, Philippines: International Rice Research Institute (IRRI).
- Insam, H., Riddech, N., & Klammer, S. (2013). *Microbiology of composting*: Springer Science & Business Media.

- IPCC. (2001). Climate Change 2001: The Scientific basis. Contribution of working group I to the Third Assessment Report on the Intergovernmental Panel on Climate Change. In J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, & C. A. Johnson (Eds.). Cambridge, UK ve New York, USA.
- Jiang, G., Hill, D., Kowalczyk, M., Johnston, B., Adamus, G., Irorere, V., & Radecka, I. (2016). Carbon Sources for Polyhydroxyalkanoates and an Integrated Biorefinery. *International Journal of Molecular Sciences*, 17. doi: 10.3390/ijms17071157
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050*. Washington: World Bank Publications.
- Khanal, S. K. (2011). *Anaerobic biotechnology for bioenergy production: principles and applications*: Wiley-Blackwell.
- Khoshnevisan, B., Tabatabaei, M., Tsapekos, P., Rafiee, S., Aghbashlo, M., Lindeneg, S., & Angelidaki, I. (2020). Environmental life cycle assessment of different biorefinery platforms valorizing municipal solid waste to bioenergy, microbial protein, lactic and succinic acid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117. doi: 10.1016/j.rser.2019.109493
- Kraemer, T., & Gamble, S. (2014). Integrating anaerobic digestion with composting. *Biocycle*, 55.
- Kweku, D. W., Bismark, O., Maxwell, A., Desmond, K. A., Danso, K. B., Oti-Mensah, E. A., Quachie, A. T., & Adormaa, B. B. (2018). Greenhouse effect: greenhouse gases and their impact on global warming. *Journal of Scientific Research and Reports*, 17, 1-9. doi: 10.9734/JSRR/2017/39630
- Liiv, J., Zekker, I., Tamm, K., & Rikmann, E. (2020). Greenhouse gases emissions and climate change-beyond mainstream. *MOJ Bioorganic & Organic Chemistry*, 4, 11-16. doi: 10.15406/mojboc.2020.04.00104
- Lopez-Garzon, C. S., & Straathof, A. J. (2014). Recovery of carboxylic acids produced by fermentation. *Biotechnology Advances*, 32, 873–904. doi: 10.1016/j.biotechadv.2014.04.002
- Malet, N., Pellerin, S., Girault, R., & Nesme, T. (2023). Does anaerobic digestion really help to reduce greenhouse gas emissions? A nuanced case study based on 30 cogeneration plants in France. *Journal of Cleaner Production*, 384. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.135578
- Mega, V. P. (2019). Threatened Urban and Ocean Biodiversity: The Imperative of Resilience *Eco-Responsible Cities and the Global Ocean: Geostrategic Shifts and the Sustainability Trilemma* (pp. 43-84). Cham: Springer.
- Meinshausen, M., Lewis, J., McGlade, C., Gütschow, J., Nicholls, Z., Burdon, R., Cozzi, L., & Hackmann, B. (2022). Realization of Paris Agreement pledges may limit warming just below 2 °C. *Nature*, 604, 304-309. doi: 10.1038/s41586-022-04553-z
- Mengqi, Z., Shi, A., Ajmal, M., Ye, L., & Awais, M. (2021). Comprehensive review on agricultural waste utilization and high-temperature fermentation and composting. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-24. doi: 10.1007/s13399-021-01438-5
- Nanda, S., Patra, B. R., Patel, R., Bakos, J., & Dalai, A. K. (2022). Innovations in applications and prospects of bioplastics and biopolymers: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 20, 379–395. doi: 10.1007/s10311-021-01334-4

- Niedrist, G. H. (2023). Substantial warming of Central European mountain rivers under climate change. *Regional Environmental Change*, 23. doi: 10.1007/s10113-023-02037-y
- Ocko, I. B., Sun, T. Y., Shindell, D., Oppenheimer, M., Hristov, A. N., Pacala, S. W., Mauzerall, D. L., Xu, Y. Y., & Hamburg, S. P. (2021). Acting rapidly to deploy readily available methane mitigation measures by sector can immediately slow global warming. *Environmental Research Letters*, 16. doi: 10.1088/1748-9326/abf9c8
- Özkan, G., Gültekin-Subaşı, B., Kamiloğlu-Beştepe, S., & Çapanoğlu-Güven, E. (2022). Sürdürülebilir Gıda ve Tarımsal Atık Yönetimi. *Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik*, 23, 145-160.
- PAGEV. (2019). Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu 2019. Retrieved 17 Mart 2023, from <https://pagev.org/plastik-sektor-raporu-2019>
- PlasticsEurope. (2021). Plastics - the Facts 2021: An analysis of European plastics production, demand and waste data. Retrieved 17 Mart 2023, from <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2021/>
- Rajak, J. (2021). A preliminary review on impact of climate change and our environment with reference to global warming. *International Journal of Environmental Sciences*, 10, 11-14.
- Reddy, V. U. N., Ramanaiah, S. V., Reddy, M. V., & Chang, Y. C. (2022). Review of the Developments of Bacterial Medium-Chain-Length Polyhydroxyalkanoates (mcl-PHAs). *Bioengineering (Basel)* 9. doi: 10.3390/bioengineering9050225
- Ritala, A., Häkkinen, S. T., Toivari, M., & Wiebe, M. G. (2017). Single Cell Protein—State-of-the-Art, Industrial Landscape and Patents 2001–2016. *Frontiers in Microbiology*, 8. doi: 10.3389/fmicb.2017.02009
- Rodriguez-Perez, S., Serrano, A., Pantión, A. A., & Alonso-Fariñas, B. (2018). Challenges of scaling-up PHA production from waste streams. A review. *Journal of Environmental Management*, 205, 215-230. doi: 10.1016/j.jenvman.2017.09.083
- Rughoonundun, H., & Holtzapple, M. T. (2017). Converting wastewater sludge and limetreated sugarcane bagasse to mixed carboxylic acids – a potential pathway to ethanol biofuel production. *Biomass and Bioenergy*, 105, 73–82. doi: 10.1016/j.biombioe.2017.06.007
- Sanchez, A., Artola, A., Font, X., Gea, T., Barrena, R., Gabriel, D., Sanchez-Monedero, M. A., Roig, A., Cayuela, M. L., & Mondini, C. (2015). Greenhouse gas emissions from organic waste composting. *Environmental Chemistry Letters*, 13, 223-238. doi: 10.1007/s10311-015-0507-5
- Sharif, M., Zafar, M. H., Aqib, A. I., Saeed, M., Farag, M. R., & Alagawany, M. (2021). Single cell protein: Sources, mechanism of production, nutritional value and its uses in aquaculture nutrition. *Aquaculture*, 531. doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.735885
- Shi, X., Wu, L., Wei, W., & Ni, B. J. (2022). Insights into the microbiomes for medium-chain carboxylic acids production from biowastes through chain elongation. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52, 3787-3812. doi: 10.1080/10643389.2021.1957342
- Siddiqui, S., Zerhusen, B., Zehetmeier, M., & Effenberger, M. (2020). Distribution of specific greenhouse gas emissions from combined heat-and-power production in agricultural biogas plants. *Biomass and Bioenergy*, 133. doi: 10.1016/j.biombioe.2019.105443

- Silva, F., Matos, M., Pereira, B., Ralo, C., Pequito, D., Marques, N., Carvalho, G., & Reis, M. A. M. (2022). An integrated process for mixed culture production of 3-hydroxyhexanoate-rich polyhydroxyalkanoates from fruit waste. *Chemical Engineering Journal*, 427. doi: 10.1016/j.cej.2021.131908
- Silva, J. B., Pereira, J. R., Marreiros, B. C., Reis, M. A. M., & Freitas, F. (2021). Microbial production of medium-chain length polyhydroxyalkanoates. *Process Biochemistry*, 102, 393–407. doi: 10.1016/j.procbio.2021.01.020
- Singh, N., Ogunseitan, O. A., Wong, M. H., & Tang, Y. (2022). Sustainable materials alternative to petrochemical plastics pollution: A review analysis. *Sustainable Horizons*, 2. doi: 10.1016/j.horiz.2022.100016
- Steinbusch, K. J. J., Hamelers, H. V. M., Plugge, C. M., & Buisman, C. J. N. (2011). Biological formation of caproate and caprylate from acetate: fuel and chemical production from low grade biomass. *Energy & Environmental Science*, 4, 216–224. doi: 10.1039/C0EE00282H
- Tamang, P., & Nogueira, R. (2021). Valorisation of waste cooking oil using mixed culture into short- and medium-chain length polyhydroxyalkanoates: Effect of concentration, temperature and ammonium. *Journal of Biotechnology*, 342, 92–101. doi: 10.1016/j.jbiotec.2021.10.006
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. A. (1993). *Integrated solid waste management: engineering principles and management issues*: Mc-Graw Hill.
- Trautmann, N. M., & Krasny, M. E. (1998). *Composting in the classroom: Scientific inquiry for high school students*: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Tugtas, A. E. (2014). Recovery of volatile fatty acids via membrane contactor using flat membranes: Experimental and theoretical analysis. *Waste Management*, 34, 1171–1178. doi: 10.1016/j.wasman.2014.01.020
- U.S. EPA. (2017). Sustainable Materials Management: Non-Hazardous Materials and Waste Management Hierarchy. Retrieved 17 Mart 2023, from <https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-non-hazardous-materials-and-waste-management-hierarchy>
- Valone, T. F. (2021). Linear Global Temperature Correlation to Carbon Dioxide Level, Sea Level, and Innovative Solutions to a Projected 6°C Warming by 2100. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 9, 84. doi: 10.4236/gep.2021.93007
- Vermeulen, S. J., Campbell, B. M., & Ingram, J. S. I. (2012). Climate change and food systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 37, 195–222. doi: 10.1146/annurev-environ-020411-130608
- Vlachokostas, C., Achillas, C., Diamantis, V., Michailidou, A. V., Baginetas, K., & Aidonis, D. (2021). Supporting decision making to achieve circularity via a biodegradable waste-to-bioenergy and compost facility. *Journal of Environmental Management*, 285. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112215
- Vuong, P., Lim, D. J., Murphy, D. V., Wise, M. J., Whiteley, A. S., & Kaur, P. (2021). Developing Bioprospecting Strategies for Bioplastics Through the Large-Scale Mining of Microbial Genomes. *Frontiers in Microbiology*, 12. doi: 10.3389/fmicb.2021.697309
- Wang, X., & Stanisavljevic, N. (2019). Can waste management be hailed as a climate change mitigation leader? *Waste Management & Research*, 37, 1181–1182. doi: 10.1177/0734242X19888

- Wu, Q., Feng, X., Guo, W., Bao, X., & Ren, N. (2020). Long-term medium chain carboxylic acids production from liquor-making wastewater: parameters optimization and toxicity mitigation. *Chemical Engineering Journal*, 388. doi: 10.1016/j.cej.2020.124218
- Xu, J., Hao, J., Guzman, J. J. L., Spirito, C. M., Harroff, L. A., & Angenent, L. T. (2018). Temperature-phased conversion of acid whey waste into medium-chain carboxylic acids via lactic acid: no external e-donor. *Joule*, 2, 280–295. doi: 10.1016/j.joule.2017.11.008
- Yasmin, N., Jamuda, M., Panda, A. K., Samal, K., & Nayak, J. K. (2022). Emission of greenhouse gases (GHGs) during composting and vermicomposting: Measurement, mitigation, and perspectives. *Energy Nexus*, 7. doi: 10.1016/j.nexus.2022.100092
- Yesil, H., Calli, B., & Tugtas, A. E. (2021). A hybrid dry-fermentation and membrane contactor system: Enhanced volatile fatty acid (VFA) production and recovery from organic solid wastes. *Water Research*, 192. doi: 10.1016/j.watres.2021.116831
- Yesil, H., Taner, H., Nigiz, F. U., Hilmioglu, N., & Tugtas, A. E. (2020). Pervaporative Separation of Mixed Volatile Fatty Acids: A Study Towards Integrated VFA Production and Separation. *Waste and Biomass Valorization*, 11, 1737-1753. doi: 10.1007/s12649-018-0504-6
- Yin, J., Yu, X., Wang, K., & Shen, D. (2016). Acidogenic fermentation of the main substrates of food waste to produce volatile fatty acids. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41, 21713–21720. doi: 10.1016/j.ijhydene.2016.07.094
- Yin, Y., Yang, C., Li, M., Zheng, Y., Ge, C., Gu, J., Li, H., Duan, M., Wang, X., & Chen, R. (2021). Research progress and prospects for using biochar to mitigate greenhouse gas emissions during composting: A review. *Science of the Total Environment*, 798. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149294
- Zhang, C., Su, H., Baeyens, J., & Tan, T. (2014). Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 383-392. doi: 10.1016/j.rser.2014.05.038

Yazarlar Hakkında / About Authors

Dr. Hatice YEŞİL | Marmara Üniversitesi |

hatice.yesil[at]marmara.edu.tr | ORCID: 0000-0002-9603-8825

Hatice Yeşil, Marmara Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Lisans (2011), yüksek lisans (2013) ve doktora (2021) derecelerini Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden almıştır. 2023-2024 yılları arasında TÜBİTAK tarafından desteklenen 2219 - Yurtdışı Doktora Sonrası Araştırma Burs Programı Kapsamı'nda Tübingen Üniversitesi (Almanya) Environmental Biotechnology Group laboratuvarlarında doktora sonrası araştırmacı olarak çalışacaktır. Güncel araştırma konuları, sürdürülebilir atık yönetimi, biyo-bazlı teknolojiler ile kaynak geri kazanımı, atıklardan madde geri kazanımı için entegre biyoteknoloji&membran uygulamaları ve atıklardan elde edilen malzemeler ile biyo-bazlı biyoplastik üretimi şeklindedir.

Dr. Hatice YEŞİL | Marmara University |

hatice.yesil[at]marmara.edu.tr | ORCID: 0000-0002-9603-8825

Hatice Yeşil works as a research assistant in Environmental Engineering Department of Marmara University. She received her Bachelor's degree (2011), MS degree (2013), and PhD degree (2021) from the Environmental Engineering Department of Marmara University. Between 2023 and 2024, she will work as a post-doc researcher at the Environmental Biotechnology Laboratory of Tübingen University (Germany) within the scope of 2219 - International Postdoctoral Research Fellowship Program for Turkish Citizens supported by TUBITAK. Her current research interests are sustainable waste management, resource recovery through bio-based technologies, integrated biotechnology&membrane applications for material recovery from waste streams, and bio-based bioplastic production using waste-derived materials.

Prof. Dr. A. Evren TUĞTAŞ | Marmara Üniversitesi |

evren.tugtas[at]marmara.edu.tr | ORCID: 0000-0002-9146-7778

A. Evren Tuğtaş, 2001 yılında Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden lisans derecesini almıştır. Yüksek lisans ve doktora derecelerini, sırasıyla 2005 ve 2007 yıllarında Georgia Institute of Technology, Çevre Mühendisliği'den almıştır. Türkiye'de iki yıl boyunca bir araştırma enstitüsü ve üniversitede çalıştıktan sonra 2009-2010 yılları arasında Queensland Üniversitesi Advanced Water Management Centre'da görev yapmıştır. Şu anda Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesidir. Güncel araştırma alanları arasında anaerobik çürütme, kaynak geri kazanımı, metal giderimi ve membran geri kazanım prosesleri yer almaktadır.

Prof. Dr. A. Evren TUĞTAŞ | Marmara University |

evren.tugtas[at]marmara.edu.tr | ORCID: 0000-0002-9146-7778

A. Evren Tugtas has received her Bachelor's degree in Environmental Engineering from Marmara University in 2001. She earned her MS and PhD degrees in Environmental Engineering from Georgia Institute of Technology in 2005 and 2007, respectively. After working in a research institute and a university for two years in Türkiye, she worked at the Advanced Water Management Centre at the University of Queensland between 2009 and 2010. She is currently a faculty member of Environmental Engineering at Marmara University, İstanbul, Türkiye. Her current research interests include anaerobic digestion, resource recovery, metal removal, and membrane recovery processes.

Prof. Dr. Barış ÇALLI | Marmara Üniversitesi |
baris.calli[at]marmara.edu.tr | ORCID: 0000-0002-7234-0771

Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde profesördür. Doktora derecesini 2003 yılında Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Teknolojisi'nden almıştır. 2006 yılında Marie Curie Avrupa İçi Dolaşım Bursu'nu kazanmış ve Belçika VITO'da atık biyokütleden fermentatif hidrojen üretimi üzerine bir araştırma projesine katılmıştır. 2008 yılından bu yana Marmara Üniversitesi'nde tam zamanlı profesör olarak çalışmakta ve çevre mühendisliği biyoprosesleri, anaerobik çürütme ve biyogaz teknolojisi, kaynak geri kazanımı ve katı atık yönetimi konularında birçok araştırma projesinde yer almaktadır.

Prof. Dr. Barış ÇALLI | Marmara University |
baris.calli[at]marmara.edu.tr | ORCID: 0000-0002-7234-0771

Professor of Environmental Engineering Department of Marmara University in Istanbul, Türkiye. Received his Ph.D. degree in 2003 in Environmental Technology from Bogaziçi University in Istanbul. In 2006, awarded a Marie Curie Intra European Fellowship and participated in a research project in VITO, Belgium on fermentative hydrogen production from waste biomass. Since 2008, working as a full-time professor at Marmara University and has been involved in many research projects on environmental engineering bioprocesses, anaerobic digestion and biogas technology, resource recovery, and solid waste management.

**ARITMA ÇAMURLARINDA
MİKROKİRLETİCİLER
VE
TARIMSAL KULLANIMI**

**MICROPOLLUTANTS IN SEWERAGE SLUDGE AND THEIR
AGRICULTURAL USE**

Mehmet Emin AYDIN
Senar AYDIN

ARITMA ÇAMURLARINDA MİKROKİRLETİCİLER VE TARIMSAL KULLANIMI

Mehmet Emin AYDIN
Necmettin Erbakan Üniversitesi

Senar AYDIN
Necmettin Erbakan Üniversitesi

Özet

Arıtma çamuru atıksu arıtımının bir yan ürünü olarak ortaya çıkmakta olup, artan su tüketimi ve oluşan atıksu debisine bağlı olarak miktarı gün geçtikçe artmaktadır. Ülkemizde arıtma çamurlarının toprakta kullanımı ile ilgili yönetmelik kapsamında stabilize arıtma çamurunda ağır metaller ve bazı organik bileşikler için sınır değerler belirlenmiştir. Ancak yönetmelik kapsamında değerlendirilmeyen farmasötikler gibi daha birçok mikrokirletici de çamurda yüksek konsantrasyonlarda bulunabilmektedir. Konvansiyonel atıksu ve çamur arıtma prosesleri mikrokirleticilerin giderimi için yetersiz olup, stabilize arıtma çamurunun toprağa uygulanması ile kirleticiler çevresel ortamlara taşınmaktadır. Çalışma kapsamında Konya kentsel atıksu arıtma tesisinde anaerobik olarak stabilize edilen arıtma çamurunun ağır metal, poliaromatik hidrokarbon (PAH), poliklorlu bifenil (PCB), farmasötik kirletici içeriği belirlenmiş ve ayrıca stabilize çamurun ekotoksikolojik etkisi değerlendirilmiştir. Stabilize çamurda ağır metal ve PCB değerlerinin yönetmelikte verilen limit değerlerin altında olduğu, PAH bileşiklerinin ise özellikle evsel ısınma dönemlerinde yönetmelik limitlerini aştığı tespit edilmiştir. Ekotoksikolojik değerlendirmelerde ise stabilize çamurun akut toksik özelliğe sahip olduğu gözlenmiştir. Stabilize çamurun toprağa uygulanması sonucu bazı antibiyotik bileşikleri için yüksek kısa kronik risk tespit edilmiştir. Bu nedenle özellikle geri kazanılmış sular ve arıtma çamurlarındaki kirleticileri azaltmak için kanalizasyon sistemi etkin bir şekilde izlenmeli ve denetlenmelidir. Çamur içerisindeki mikrokirleticilerin çevreye ulaşmasını önlemek için bu kirleticiler stabilize çamurda izlenmeli ve arıtma prosesleri iyileştirilmelidir.

Anahtar Kelimeler

Atıksu, Arıtma çamuru, Mikrokirleticiler, Ağır metaller, PAH'lar, PCB'ler, Tarımsal kullanım

MICROPOLLUTANTS IN SEWERAGE SLUDGE AND THEIR AGRICULTURAL USE

Mehmet Emin AYDIN
Necmettin Erbakan University

Senar AYDIN
Necmettin Erbakan University

Abstract

Sewage sludge is a by-product of wastewater treatment, and its amount is increasing day by day depending on the increasing water consumption and the amount of wastewater generated. In our country, within the scope of the regulation on the use of sewage sludge in soil, limit values for heavy metals and some organic compounds in stabilized sewage sludge have been determined. However, many other micropollutants such as pharmaceuticals that are not considered within the scope of the regulation are also present in high concentrations in sludge. Conventional wastewater and sludge treatment processes are insufficient for the removal of micropollutants, and the agricultural use of stabilized sludge causes the transport of pollutants to environments. Within the scope of the study, heavy metals, PAHs, PCBs, pharmaceutical pollutants content of anaerobically stabilized sludge in Konya urban wastewater treatment plant were determined and also the ecotoxicological effect of stabilized sludge was evaluated. It has been determined that heavy metal and PCB values in stabilized sludge are below the limit values given in the regulation, and PAH compounds exceed the regulation limits especially during domestic heating periods. In ecotoxicological evaluations, it was observed that stabilized sludge has acute toxic properties. As a result of the application of stabilized sludge to soil, a high short chronic risk has been determined for some antibiotic compounds. Therefore, the sewage system should be effectively monitored and controlled to reduce pollutants, especially in recycled water and treatment sludge. It is necessary to monitor of sewage sludge and improve treatment processes to prevent micropollutants from sludge reaching to the environment.

Keywords

Wastewater, Sewage sludge, Micropollutants, Heavy metals, PAH's, PCB's, Agricultural use

1. Giriş

Endüstriyel, tarımsal ve insan aktivitelerinin gelişmesiyle birlikte, su kirliliği tüm dünyada insanların karşı karşıya olduğu ortak bir sorun haline gelmiştir. Sanayileşmenin hızlı gelişimi, tarımsal faaliyetlerde pestisit ve gübre kullanımının artması, farmasötikler, kozmetikler, biyomedikal ürünleri, kişisel bakım ürünleri, boyalar gibi toksik organik kimyasalların aşırı kullanımı nedeniyle bu kirleticiler, biyolojik birikim, antibiyotik direnci ve çeşitli ekotoksikolojik etkiler yoluyla insan sağlığı ve ekosistemler için büyük risk oluşturmaktadır (Li vd., 2021). Özellikle, kimyasal, biyolojik ve fotolitik bozunmaya karşı dirençli kalıcı organik kirleticilerin kullanımındaki artış su yaşamının kalitesini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu kirleticiler yüksek biyobirikim kapasitesine sahip olup, hava, toprak ve su yoluyla uzun mesafelere taşınabilen toksik bileşiklerdir. Yüksek lipofilik özelliğe sahip olan bu bileşikler canlı organizmaların yağ dokusunda biyobirikim yapabilmektedir. Bu nedenle besin zincirinde artma eğilimi göstererek akut ve kronik etkilere neden olabilirler. Başta immünolojik sistemin zayıflığı, üreme, endokrin ve hormonal bozulma, kanser, diyabet ve obezite olmak üzere insan sağlığı üzerinde birçok olumsuz etkiye sebep olabilirler (Titchou vd., 2021). Su kirliliğinin ana kaynağı çoğunlukla arıtılmamış veya kısmen arıtılmış evsel ve endüstriyel atıksulardır. Atıksularda bulunan kirleticilerin pek çoğu çevrede kalıcıdır ve konvansiyonel atıksu arıtma proseslerine karşı dirençlidirler (Ye vd., 2021). Bu nedenle, içme sularında insan ve hayvan sağlığını tehdit eden birçok kirlenici tespit edilmiştir (Walcarius & Mercier, 2010).

Son zamanlarda, atıksulardaki kirleticileri gidermek için fiziko-kimyasal arıtma (membran biyoreaktörler, koagülasyon-flokülasyon-çöktürme), kimyasal arıtma (kimyasal indirgeme, ileri oksidasyon prosesleri, fotokatalitik bozunma), biyoremediasyon (aktif çamur prosesi, biyolojik oksidasyon) veya hibrit prosesler gibi sistemler kullanılmaktadır (Li vd., 2021). Biyolojik arıtım yöntemi ucuz ve çevre dostu bir yöntem olarak atıksuların arıtımı için yaygın olarak uygulanmasına rağmen, mikroorganizmaların kirleticileri parçalaması için uzun kalma süresi gerektirir. Biyokütle zehirlenmesinden kaynaklanan toksik kirleticilerin arıtımı için uygun değildir ve bazı kirleticiler için düşük uzaklaştırma verimliliğine sahiptir (Luan vd., 2017). Fiziko-kimyasal arıtma prosesleri kolay kullanım, yüksek arıtma verimliliği ve düşük maliyet avantajlarına sahip olmakla birlikte organik kirleticiler için düşük bozunma kabiliyetine sahiptir. Kimyasal arıtma, organik kirleticileri daha az toksik ve/veya daha fazla biyolojik olarak parçalanabilir ürünlere dönüştürebilir, ancak genellikle ikincil kirliliğe neden olma riski vardır (Xie vd., 2018).

Atıksu arıtma tesislerine ulaşan kimyasal kirleticilerin akıbeti kirleticinin doğasına ve arıtma süreçlerine bağlıdır. Organik kimyasallar buharlaşabilir, biyotik ve/veya abiyotik prosesler ile parçalanabilir, çamura adsorbe olabilir veya atıksular ile deşarj edilebilir. Arıtma çamurları, atıksulardan sonra kirleticilerin çevreye yayılmasında en önemli kaynaktır. Arıtma çamurunun en yaygın bertaraf yöntemi tarımsal uygulamadır. Bu yöntem çamur bertarafı için en ekonomik yol ve aynı zamanda bitki besinlerini ve organik maddeleri toprağa geri dönüştürme fırsatı sunmaktadır. Günümüzde Avrupa'da üretilen arıtma çamurunun yaklaşık %40'ı tarımda gübre

olarak kullanılmaktadır. Genel olarak Avrupa Birliği yeniden kullanılan çamurun kalitesinin halk sağlığı ve çevre koruma gereklilikleriyle uyumlu olması koşuluyla, uzun vadeli bir çözüm sunduğundan, çamurun yeniden kullanımının teşvik edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Ancak son yıllarda arıtma çamurunda ağır metallerin, organik kirleticilerin ve patojenik bakterilerin tespitiyle birlikte endişe artmıştır. Tarımda arıtma çamurunun uygulanması toprakta ağır metallerin birikmesine yol açmasa da büyük miktarlarda organik kirleticiler bir risk oluşturabilir (Zuloaga vd., 2012; Wild, Berrow & Jones, 1991).

2. Arıtma Çamuru ve Bertaraf Yöntemleri

Arıtma çamuru endüstriyel veya evsel atıksuların arıtma tesislerinde arıtımı sırasında yan ürün olarak üretilen artık, yarı katı malzeme olarak tanımlanabilir. Arıtma tesisinde atıksu arıtım sürecinde farklı özelliklerde çamurlar oluşmaktadır. Tipik olarak oluşan arıtma çamurları ham çamur, ön çökeltim çamuru, son çökeltim çamuru, karışık çamur, yoğunlaştırılmış çamur, stabilize edilmiş çamur, susuzlaştırılmış çamur ve kurutulmuş çamurdur (Bresters vd., 1997). Tablo 1’de çeşitli arıtma proseslerinde ortaya çıkan günlük kişi başı çamur miktarı ve %organik madde değerleri verilmiştir (Metcalf ve Eddy, 2013). Ham çamurlar su içeriği fazla kötü kokulu çamurlardır. Ön çökeltim çamurları kendi ağırlığı ile çökelebilen organik ve inorganik karışımdan oluşur. Son çökeltim çamurları biyolojik arıtmadan sonra son çökeltim tankından atılan çamurlardır. Karışık çamurlar, ön ve son çökeltim çamurlarının karıştırılmasıyla oluşur. Susuzlaştırma ve yoğunlaştırma işlemlerinden sonra konsantre çamurlar oluşur. Stabilize çamurlar, anaerobik veya aerobik çürütme işlemlerinden sonra oluşur. Susuzlaştırma işleminden sonra kurutulmuş çamurlar üretilir.

Tablo 1. Çeşitli Arıtma Proseslerinde Oluşan Çamur Miktarları

Kişi/gün	g AKM	%organik
Ön çökeltim çamuru	40-50	70
Aktif çamur	25-30	75
Oksidasyon hendeği	40-60	60
Damlatmalı filtre	13-20	60-65
Fosfat çamuru	10-20	10
Stabilize çamur	55	50

Günümüzde tüm dünyada üretilen arıtma çamuru miktarının artması sebebiyle stabilize artıma çamurlarının uygun şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Arıtma çamurlarının arıtılması için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerin temel amacı arıtma çamurunun hacminin azaltılmasıyla birlikte içeriğindeki toksik bileşiklerin uzaklaştırılması ve hijyenik özelliğin kazandırılmasıdır.

Konvansiyonel çamur arıtım prosesi ön ve son çökeltim çamurlarının yoğunlaştırılması, stabilize edilmesi ve susuzlaştırılması proseslerinden oluşmaktadır. Yoğunlaştırma işleminin amacı çamur yoğunluğunun artırılarak hacmin azaltılmasıdır. Ön çökeltim çamurunun yerçekimi ile yoğunlaştırılması ile yaklaşık %4-6 oranında kuru madde elde edilebilir. Flotasyon ile yoğunlaştırma genellikle aktif çamur için kullanılır. Stabilizasyon, çamurun bertaraf edilmesi ve tekrar kullanılabilir hale getirilmesi için uygulanan süreçtir. Çamur stabilizasyonu çürütme, kireç stabilizasyonu ve ısı/termal arıtma ile sağlanabilir. Anaerobik çürütme işlemi, biyokimyasal olarak stabilize edilmiş arıtma çamuru elde edilmesi ve yüksek kalorili biyogaz üretimi sağlandığından tercih edilen bir yöntemdir. Bu işlem kokuları azaltır, patojenleri ortadan kaldırır, toksinleri giderir ve çamur su içeriğini azaltır. Susuzlaştırma çamur konsantrasyonunu artırmaktır. Susuzlaştırma çamur kurutma yatakları, filtre ve bant presler ve santrifüjler ile gerçekleştirilebilir. Mekanik susuzlaştırma çamurun katı madde miktarını ağırlıkça %20-45'e kadar çıkarır. Susuzlaştırma sürecini kolaylaştırmak için çamur fiziksel ve kimyasal teknikler ile şartlandırılabilir. Kimyasal işlemlerde organik polimerler veya inorganik bileşikler kullanılırken, fiziksel yöntemler ısı işlem veya donma-çözülme işlemleri olabilir (Lundin vd., 2004).

Çiftçiler arıtılmamış olsa bile çamuru ve atıksuyu toprak için değerli bir besin kaynağı olarak görmektedirler. Sınırlı gübre ve su kaynaklarının bulunması sebebiyle düşük gelirli ülkelerde arıtılmamış atıksuların ve arıtma çamurlarının tarımsal faaliyetlerde gayri resmi olarak kullanımı söz konusudur. Yüksek gelirli ülkelerde ise arıtılmış atıksu ve çamur kontrollü şekilde kullanılmaktadır. Avrupa'da, arıtma çamurunun düzenli depolanması yasaklanmıştır ve bu birçok Avrupa Birliği üyesi ülkede uygulanmaktadır. Böylece, değerli ürünler elde etmek için arıtma çamurunun işlenmesi daha popüler hale gelmektedir. Tarımda biyokatıların yasal kullanımı, gelişmiş ülkelerde sıkı bir mevzuatla düzenlenmiştir. Bununla birlikte, birçok gelişmiş ülkede, potansiyel toksisite nedeniyle biyokatıların tarımsal kullanımına yönelik artan bir önyargı söz konusudur. Avrupa Birliği ülkelerinde arıtma çamurunun %37'si tarımda, %12'si ise ormancılıkta veya arazi ıslahında kullanılarak, %11'i yakılarak, %40'ı ise düzenli depolanarak bertaraf edilmektedir (Fytli ve Zabaniotou, 2008).

Stabilize arıtma çamurunun tarımsal alanlarda kullanılabilirliği içeriğindeki organik madde, azot, fosfor, potasyum gibi faydalı elementler ve ayrıca içeriğindeki kirleticilere bağlıdır (Smol vd., 2015). Çamurun potasyum içeriği %0.23 ile %0.68 kuru madde arasında değişmektedir. Arıtma çamurunun gübre değerleri organik gübre ile karşılaştırıldığında, azot ve fosfor içeriği bakımından benzer özellikler göstermektedir. Stabilize arıtma çamurlarının toprağa uygulanması sonucunda toprağın fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerinin geliştiği, bitki gelişiminin iyileştiği ve çinko, bor gibi elementler açısından toprağın zenginleştiği görülmüştür. Stabilize çamur uygulamaları toprağın organik madde içeriğinin dolayısıyla toprak su tutma kapasitesinin artmasını sağlar. Bununla birlikte, evsel atıksu çamuru, çamur arıtımında giderilmemiş, tarımsal açıdan istenmeyen organik ve inorganik kirletici maddeler içerebilir. Arıtma çamurunun potansiyel toksisitesine ksenobiyotikler, antibiyotikler ve ağır metaller

neden olabilir. Çamur içeriğindeki bu kirleticiler ekosistem ve insan sağlığı için büyük bir risk oluşturabilir. Bu nedenle, arıtma çamurunun tarımsal topraklarda gübre olarak yeniden kullanımı ekosistem ve insan sağlığı açısından sonuçlarıyla birlikte değerlendirilmelidir (Rorat vd., 2017; Bodarczuk vd., 2016; Placek, Grobelak & Kacprzak, 2016).

3. Ülkemizde Atıksu Arıtımı ve Çamur Bertarafı

Ülkemizde 1068 atıksu arıtma tesisi vardır, bunların 60'ı fiziksel arıtma, 593'ü biyolojik arıtma, 223'ü ileri arıtma, 192'si ise doğal arıtma yapmaktadır. Tablo 2'de ülkemizde çamur bertaraf yöntemleri verilmiştir. Arıtma çamuru bertaraf yöntemlerine bakıldığında tarımsal veya ekolojik iyileştirme amacıyla araziye verilen çamur miktarının 3506 ton kuru madde ile toplam bertaraf edilen çamurun %1,1'ini oluşturmaktadır (TÜİK, 2021).

Tablo 2. Ülkemizde Çamur Bertaraf Yöntemleri (TÜİK, 2021)

Arıtma çamuru	Ton kuru madde	%
Lisanslı tesislere gönderilen	115 229	36,7
Düzenli depolama sahalarına gönderilen	75 571	24,0
Belediye çöplüğüne gönderilen	38 971	12,4
Yakma tesislerine gönderilen	20 553	6,5
Araziye atılan	14 400	4,6
Tarımsal veya ekolojik iyileştirme amacıyla araziye verilen	3 506	1,1
Geçici depolama	28 905	9,2
Diğer	17 131	5,5
Toplam	314 325	100

TÜİK verilerine göre belediye atıksu arıtma çamuru miktarı 2020 yılında 314.325 ton kuru maddedir. Atıksu arıtma tesislerinde günlük kişi başı 35 g katı madde olduğu kabul edilirse, 2025 yılında oluşacak toplam çamur miktarının 847.326 ton kuru madde, 2040 yılında ise 911.069 ton kuru madde olacağı tahmin edilmektedir. Ülkemizde arıtma çamurlarının toprakta kullanımı “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” ile düzenlenmiştir (2010). Yönetmeliğe göre ülkemizde ham çamurun toprakta kullanılması yasaktır. Stabilize arıtma çamurunun kullanımı ile ilgili ise bazı sınırlamalar ve yasaklar belirlenmiş olup bunlara uyulması zorunludur. Stabilize arıtma çamurunun toprakta kullanılabilmesi ağır metaller, organik bileşikler ve dioksinler için çamurda verilen sınır değerlere ve mikrobiyolojik analiz değerlerine uygun olmalıdır. Stabilize arıtma çamurunun uygulanacağı toprakta ağır metal içeriği yönetmelikte verilen değerleri aşmamalıdır. Toprağa uygulanacak

çamur miktarı yer üstü/yer altı suları ve toprak kalitesinin bozulmaması ve bitkilerin besin maddesi gereksinimleri dikkate alınarak tespit edilir. Stabilize çamurun, pH değeri 6'dan küçük toprağa, meyve ağaçları hariç toprağa temas eden ve çiğ olarak yenilen meyve ve sebze yetiştiriciliğinde, sulak alanlara, taşkın alanlarına ve taşkın tehlikesi olan alanlara, don ve karla kaplı alanlara, sature toprağa, doğal ormanlara, organik madde içeriği %5'den fazla olan topraklara uygulanması yasaktır. Hayvan otlatma ya da hayvan yemlerinin hasadı yapılacak alanlarda stabilize çamurun kullanılması durumunda coğrafi ve iklim durumları dikkate alınarak kullanımdan en az dört hafta sonra hayvan otlatılabilir ya da hayvan yemlerinin hasadı yapılabilir. İçme ve kullanma suyu temin edilen kıta içi yüzeysel su kaynaklarının havzalarında, içme ve kullanma suyu temin edilen yer altı sularının besleme havzalarında ve mutlak, kısa, orta mesafeli koruma alanlarında ve diğer yüzey sularına 300 metreden yakın olan alanlara stabilize arıtma çamurunun uygulanması yasaktır. Yüzey akış tehlikesi olan alanlarda toprak muhafaza tedbirleri alınmadan stabilize çamurun uygulanması yasaktır. Toprakta on yıllık ortalama esas alınarak her yıl uygulanması halinde, toprağa verilebilecek maksimum ağır metal miktarı yönetmelikte verilen limit değerleri aşamaz. Organik madde içeriği %40'dan az olan stabilize arıtma çamurları toprağa uygulanamaz.

Tablo 3'de stabilize arıtma çamuru uygulanacak toprakta ağır metal sınır değerleri verilmiştir. Toprak pH'sının 6 ile 7 arasında olma ve 7'den büyük olma durumları için kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel, çinko ve cıva metalleri için limit değerler verilmiştir. Tablo 4'de ise stabilize arıtma çamurunda müsaade edilen maksimum ağır metal değerleri görülmektedir.

Tablo 3. Toprakta Ağır Metal Sınır Değerleri*

Ağır metal (toplam)	6 ≤ pH < 7 (mg/kg fırın kuru toprak)	pH ≥ 7 (mg/kg fırın kuru toprak)
Kurşun	70	100
Kadmiyum	1,0	1,5
Krom	60	100
Bakır	50	100
Nikel	50	70
Çinko	150	200
Cıva	0,5	1,0

*Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (2010)

Çamurun tarımsal kullanımı çoğunlukla metal içeriğiyle ilgili olmak üzere sınırlandırılmış, ancak toprak, su ve hava kaynaklarının korunmasını dikkate alarak organik kirleticiler ile ilgili çamur direktiflerine bazı bileşikler ilave edilmiştir. Tablo 5’de toprağa uygulanacak arıtma çamurunda AOX (Adsorblanabilen organik halojenler), LAS (Lineeralkilbenzin sülfonat), DEHP (Diftalat(2-ethylhexyl)), NPE (Nonil fenol ile 1 ve 2 etoksi grubu olan nonil fenol etoksilatların toplamını içerir), PAH (Polisiklik aromatik hidrokarbon veya poliaromatik hidrokarbonların toplamı), PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 sayılı poliklorlu bifenil bileşiklerinin toplamı) ve PCDD/F Poliklorlu dibenzodioksin/dibenzofuranlar için verilen sınır değerler verilmiştir. Mikrobiyolojik açıdan arıtma çamuruna uygulanan stabilizasyon yöntemi sonucunda *E. coli*’nin en az 2 Log10 (%99) indirgenmesi sağlanmalıdır.

Tablo 4. Stabilize Arıtma Çamurunda Müsaade Edilen Maksimum Ağır Metal Değerleri*

Ağır metal (toplam)	Sınır değer (mg/kg kuru madde)
Kurşun	750
Kadmiyum	10
Krom	1000
Bakır	1000
Nikel	300
Çinko	2500
Cıva	10

*Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (2010)

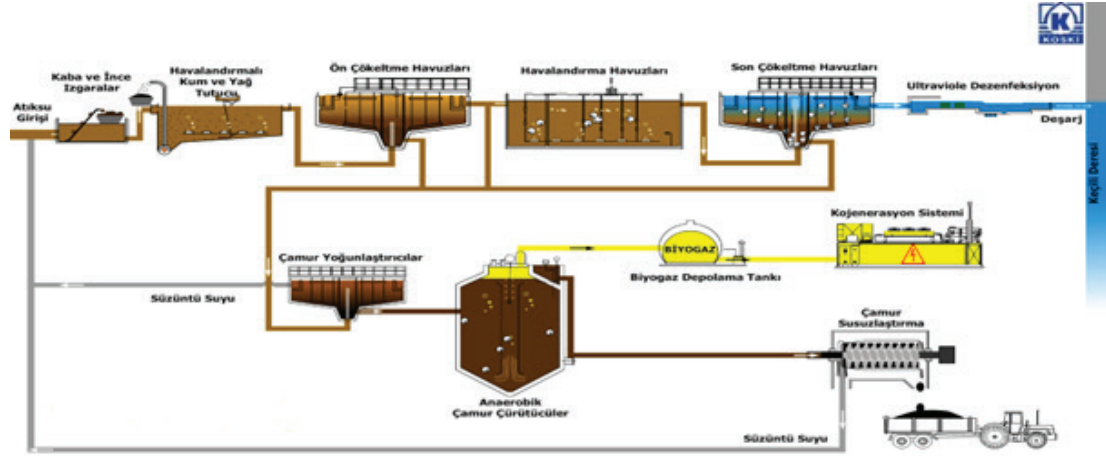
Tablo 5. Stabilize Arıtma Çamurunda Organik Bileşikler Ve Dioksinler İçin Sınır Değerleri*

Organik bileşikler	Sınır değer (mg/kg kuru madde)
AOX (Adsorblanabilen organik halojenler)	500
LAS (Lineeralkilbenzin sülfonat)	2 600
DEHP (Diftalat(2-ethylhexyl))	100
NPE (Nonil fenol ile 1 ve 2 etoksi grubu olan nonil fenol etoksilatların toplamını içerir)	50
PAH (Polisiklik aromatik hidrokarbon veya poliaromatik hidrokarbonların toplamı)	6
PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 sayılı poliklorlu bifenil bileşiklerinin toplamı)	0,8
Dioksinler	ng Toksik Eşdeğer/kg kuru madde
PCDD/F Poliklorlu dibenzodioksin/dibenzofuranlar	100

*Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (2010)

4. Konya Atıksu Arıtma Tesisi

Konya atıksu arıtma tesisinin toplam kapasitesi 1.600.000 nüfus eşdeğeridir. Ortalama atıksu debisi yaklaşık 200.000 m³/gün'dür. Arıtma tesisi yaklaşık 1,3 milyon kişiye hizmet vermektedir. Birleşik kanalizasyon sistemi ile toplanan evsel atıksu, endüstriyel atıksu (toplam atıksu debisinin yaklaşık %8'i) ve hastane atıksuları (toplam atıksu debisinin yaklaşık %3,5'i) atıksu arıtma tesisine iletilmektedir. Atıksu arıtma tesisi için atık su ve çamur arıtma akış şeması Şekil 1'de verilmiştir (KOSKİ, 2023).



Şekil 1. Konya kentsel atıksu arıtma tesisi atıksu ve çamur akış şeması (KOSKİ, 2023).

Atıksu arıtma tesisi birincil arıtma, biyolojik arıtma ve dezenfeksiyon proseslerinden oluşmaktadır. Ön çökeltme ve son çökeltme tanklarından alınan çamur birleştirilerek çamur yoğunlaştırıcılara verilmektedir. Daha sonra 35 °C'de 20 gün boyunca mezofilik fermentasyon ile anaerobik olarak stabilize edilen çamur santrifüj ile susuzlaştırılmaktadır. Günlük arıtılmış çamur üretimi yaklaşık 140 ton/gün olup, toplam katı içeriği yaklaşık %25'tir. Konya'da üretilen evsel arıtma çamurları arıtdıktan sonra tarımsal alanlarında kullanılmak için çiftçilere verilmektedir (Aydın vd., 2022).

Konya Büyükşehir Belediyesi verilerine göre ulusal mevzuata uygun şekilde arıtma çamurunun toprakta kullanıma dair yasal izinler çerçevesinde, Konya Atıksu Arıtma Tesislerinde yıllık yaklaşık 35 bin ton organik gübre açık alanda kurutulduktan sonra tarımsal ekonomiye kazandırılmaktadır. Özellikle mısır, buğday, arpa ve yonca gibi ürünlerde organik gübre olarak kullanılan stabilize çamurun verimi artırdığı ifade edilmektedir. Stabilize arıtma çamurunu organik gübre olarak on yıldır kullanan çiftçilerin tarımsal üretimde suni gübrelerle oranla daha faydalı olduğu, yonca, silajlık mısır, şeker pancarı üretiminde suni gübrelerle oranla %50 daha fazla verim aldıkları belirtilmektedir. Şekil 2'de tesisten alınan arıtma çamurunun araziye uygulanması ile ilgili görseller verilmiştir (KOSKİ, 2023).



Şekil 2. Konya stabilize arıtma çamuru ve tarımsal alanlara uygulanması (KOSKİ, 2023)

5. Konya Stabilize Arıtma Çamurunda Ağır Metaller, PAH'lar, PCB'ler, Farmasötikler ve Ekotoksikolojik Değerlendirme

Konya atıksu arıtma tesisinden alınan stabilize arıtma çamurunda ağır metal, PAH, PCB'lerin konsantrasyon değerleri belirlenmiş ayrıca çamurun ekotoksikolojik etkisi *Vibrio fischeri* ve *Lepidium sativum* test organizmaları ile değerlendirilmiştir. PAH'lar fosil yakıtların eksik yanması, endüstriyel işlemler veya motorlu taşıtların kullanımı gibi farklı emisyon kaynaklarından yayılan her yerde bulunan çevre kirleticilerdir. İnsanlar için toksik olup toprak organizmaları

ve bitkiler üzerinde bozucu etkileri vardır. PCB'ler kalıcılıkları ve toksik özelliklerinden dolayı tehlikeli maddelerdir. PCB'ler birçok ülkede yasaklanmış olmasına rağmen, hala dünyanın her yerinde bulunmakta ve birçok ekotoksikolojik probleme neden olmaya devam etmektedirler. Bu kirleticiler, nörotoksisite, dermatolojik ve akciğer hastalıkları gibi farklı insan sağlığı sorunlarına neden olurlar. Bu nedenle arıtma çamurlarındaki bu kirleticilerin belirlenmesi ve izlenmesi çevre sağlığı açısından önemlidir. Tablo 6'da stabilize arıtma çamurunda tespit edilen ağır metal konsantrasyon değerleri görülmektedir. Tesisten alına çamurların pH değerleri 7,58 ile 8,27 aralığında değişmektedir. Ülkemizde uygulanan ulusal mevzuat ve Avrupa Birliği yönetmeliğine göre tarım arazilerinde kullanılan arıtma çamurlarında kadmiyum, krom, bakır, nikel, kurşun ve çinko için verilen limit değerler aşılmamıştır. Konya atıksuyunun yaklaşık %6'sı endüstriyel atıksu olması sebebiyle çamurda ağır metallerin bulunduğu düşünülmektedir (Ozcan, Tor & Aydın, 2013).

Tablo 6. *Konya Stabilize Arıtma Çamurunda Ölçülen Ağır Metaller (Ozcan vd., 2013)*

Ağır metal	Stabilize arıtma çamuru (mg/kg kuru madde) min-max (ort)	Sınır değerler (mg/kg kuru madde)*
Kurşun	6,10-19,72 (10,59)	750
Kadmiyum	<dl-3,28 (2,38)	10
Krom	76,08-242,35 (130,96)	1000
Bakır	87,17-169,90 (115,14)	1000
Nikel	7,97-61,99 (28,32)	300
Çinko	192,20-604,27 (350,51)	2500
Cıva	-	10

<dl: dedeksiyon limitinin altında - : analiz edilmedi

* Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (2010)

Tablo 7'de stabilize arıtma çamurunda tespit edilen 18 PAH bileşiğinin konsantrasyon değerleri verilmiştir.

Tablo 7. Konya Stabilize Arıtma Çamurunda PAHs (Ozcan vd., 2013)

PAHs	Stabilize arıtma çamuru (µg/kg kuru madde) min-max	Stabilize arıtma çamuru (µg/kg kuru madde) ortalama	Stabilize arıtma çamurunda müsaade edilen maksimum PAH konsantrasyonu
Naphthalene	599,20-1372,62	992,93	Türkiye yönetmeliğine göre: PAH (Polisiklik aromatik hidrokarbon veya poliaromatik hidrokarbonların toplamı) 6 mg/kg kuru madde*
Acenaphthylene	9,71-105,78	54,37	
Acenaphthene	24,59-317,35	124,71	
Fluorene	6,77-387,20	182,70	
Phenanthrene	57,55-2176,15	989,64	
Anthracene	45,70-2036,57	498,70	
Carbazole	7,95-89,51	34,72	Avrupa Birliği yönetmeliğine göre: toplam PAHs (acenaphthene, phenanthrene, fluorene, fluoranthene, pyrene, benzo(-b+j+k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, benzo(g,h,i)perylene, indeno(1,2,3-c,d)pyrene)) 6 mg/kg kuru madde**
Fluoranthene	105,20-2444,79	970,70	
Pyrene	200,68-2077,35	827,15	
Benzo[a]anthracene	9,24-883,68	270,40	
Chrysene	1,62-1458,07	407,97	
Benzo[b]fluoranthene	<dl-835,51	172,62	
Benzo[k]fluoranthene	<dl-353,99	50,45	
Benzo[a]pyrene	13,54-174,38	78,73	
Indeno[1,2,3-c,d]pyrene	<dl-59,14	20,95	
Dibenzo[a,h]anthracene	<dl-11,02	2,61	
Benzo[g,h,i]perylene	<dl-1828,77	544,44	
Benzo[j]fluoranthene	3,39-852,45	210,80	
ΣPAHs		6334,60	

<dl: dedeksiyon limitinin altında

* Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (2010), ** EU (2000)

Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmeliğe göre polisiklik aromatik hidrokarbon veya poliaromatik hidrokarbonların toplamının 6 mg/kg kuru madde değerini aşmaması gerekmektedir. Tablo 7’de verilen toplam ortalama PAH konsantrasyonunun 6,3 mg/kg kuru madde değeri ile bunun üzerinde olduğu görülmektedir. Avrupa Birliği çamur yönetmeliğine göre ise acenaphthene, phenanthrene, fluorene, flouranthene, pyrene, benzo(b+j+k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, benzo(ghi)perylene, indeno(123-cd)pyrene bileşiklerinin toplamının 6 mg/kg kuru madde değerini aşmaması gereklidir (EU, 2000). Bu bileşiklerin toplamı ise 4,3 mg/kg kuru madde olup sınır değer altındadır. Arıtma çamurunda yüksek ve düşük molekül ağırlıklı PAH bileşiklerinin tespit edildiği, çamurdaki PAH kaynağının petrojenik ve pirojenik kaynaklı olduğu belirlenmiştir (Ozcan vd., 2013).

Ülkemizde PCB’ler 1993 yılından itibaren sadece kapalı sistemde kullanımları kısıtlanmış ve 1996 yılında Tehlikeli Kimyasallar Yönetmeliği ile kullanımları yasaklanmıştır. Aynı yönetmelik kapsamında 50 ppm’den daha düşük konsantrasyonda PCB içeren yağ ve solvent atıkları geri kazanılabilir. PCB bileşikleri kullanımı yasaklanmış olmasına rağmen kalıcı ve lipofilik özellikleri sebebiyle hala çevre ortamlarında tespit edilebilmektedirler (Aydın vd., 2004). Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (2010) kapsamında toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurunda müsaade edilen maksimum toplam PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180) konsantrasyonu 0,8 mg/kg kuru maddedir. Tablo 8’de stabilize arıtma çamurunda tespit edilen PCB’ler görülmektedir. Tespit edilen toplam PCB konsantrasyonunun sınır değeri aşmadığı görülmektedir (Ozcan vd., 2013).

Tablo 8. Konya Stabilize Arıtma Çamurunda PCB’ler (Ozcan vd., 2013)

PCB’ler	Stabilize arıtma çamuru (µg/kg kuru madde) min-max	Stabilize arıtma çamuru (µg/kg kuru madde) ortalama	Toprakta kullanılacak stabilize arıtma çamurunda müsaade edilen maksimum konsantrasyon
PCB 28	4,16-171,97	47,70	Türkiye ve Avrupa Birliği yönetmeliklerine göre:
PCB 52	1,79-25,21	10,63	
PCB 101	<dl-10,84	3,32	Σ PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180) 0,8 mg/kg kuru madde*
PCB 118	7,2-514,31	106,85	
PCB 153	0,34-16,26	4,28	
PCB 138	0,44-31,42	4,64	
PCB 180	0,17-12,95	6,99	
Σ PCBs		187,41	

<dl: dedeksiyon limitinin altında

* Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik (2010)

Tablo 9’da stabilize arıtma çamurunda toplam PAH, toplam PCB ve toplam ağır metal konsantrasyonları görülmektedir. Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında toplam PAH konsantrasyonunun yönetmelikte verilen 6 mg/kg kuru madde sınır değerini aştığı görülmektedir. Bunun sebebi mevsimsel değişim sebebiyle evsel ısınma kaynaklı PAH oluşumunun atmosferde artması ve atmosferdeki PAH bileşiklerinin yağışlar ile birleşik kanalizasyon sistemi sebebiyle atıksuya karışarak arıtma çamurunda birikmesi olarak ifade edilebilir. Özellikle kışın çamurda oluşan PAH konsantrasyonunun çamur kullanımı açısından dikkate alınması önemlidir. Çamurda tespit edilen PCB konsantrasyonlarının sebebi atmosferik taşınımlar, yasal olmayan kullanımlar ve endüstriyel atıksu deşarjları ile açıklanabilir. Toplam ağır metal konsantrasyonunun mevsimsel olarak fazla değişkenlik göstermediği, çamurdaki ağır metallerin kaynağının ise endüstriyel atıksu deşarjlarının olduğu söylenebilir (Ozcan vd., 2013).

Tablo 9. Stabilize Arıtma Çamurunda Aylık Toplam PAH’lar, PCB’ler, Ağır Metal Değişimi (Ozcan vd., 2013)

Aylar	Toplam PAH’lar (µg/kg kuru madde)	Toplam PCB’ler (µg/kg kuru madde)	Taoplam ağır metal (mg/kg kuru madde)
Aralık	6184,39	77,61	618,16
Mayıs	1827,97	64,74	972,50
Haziran	2761,58	71,57	581,12
Temmuz	1809,44	242,73	603,97
Ağustos	5148,11	561,38	580,27
Eylül	11228,61	208,90	527,16
Ekim	9223,18	51,26	549,60
Kasım	12749,06	221,07	656,26

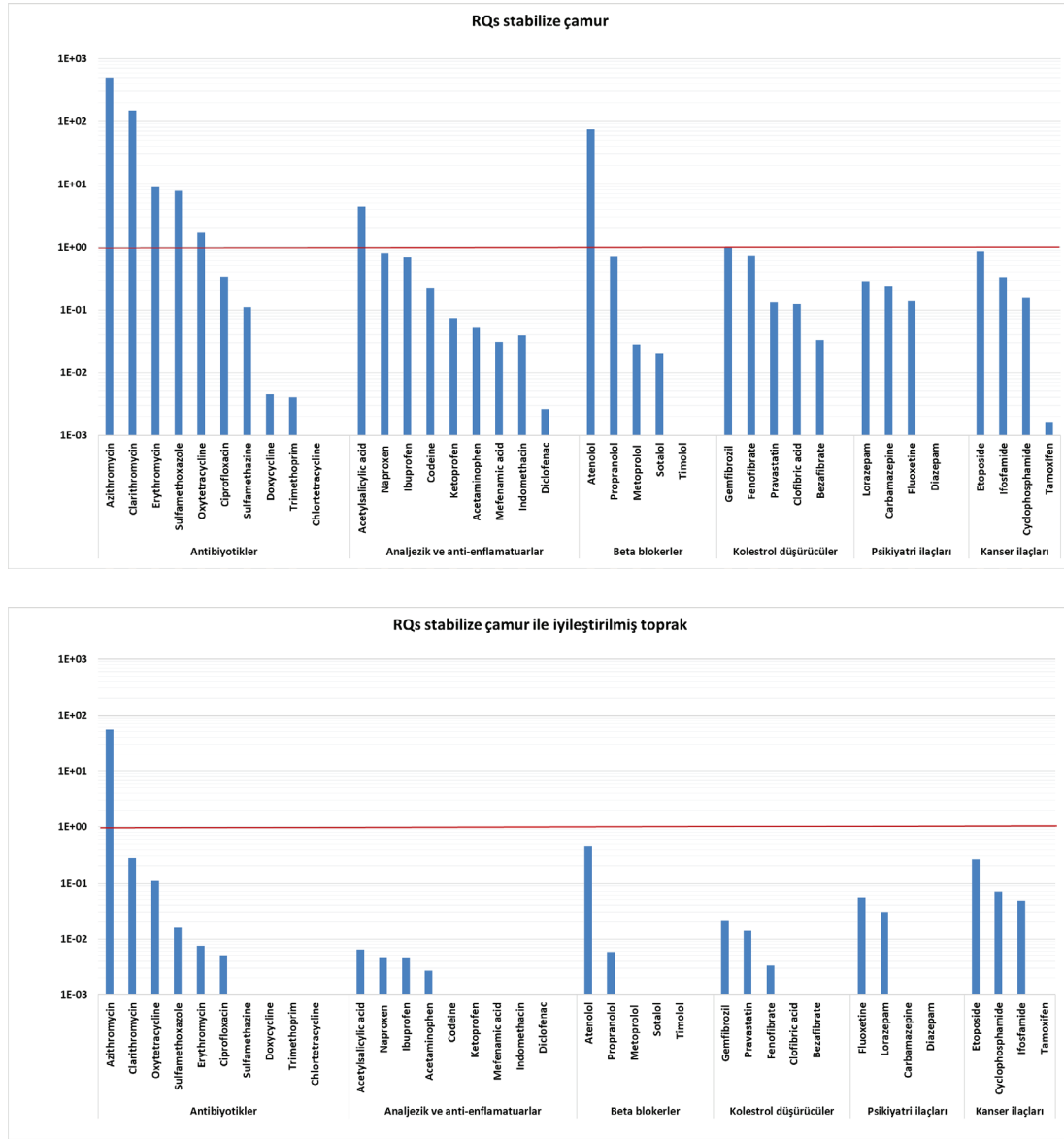
Stabilize arıtma çamurundan hazırlanan eluatların toksisitesi bitki ve canlı test organizmaları ile değerlendirilmiştir. Eluatlar için bulunan EC_{50} değerleri Toksik Birim (TU) değerlerine (TU=0 toksik değil, TU=0,4–1,0 hafif akut toksik, TU=>1,0– 10 akut toksik, TU=>10–100 yüksek akut toksik, TU=>100 çok yüksek akut toksik) dönüştürülmüş ve elde edilen sonuçlar Tablo 10’da sunulmuştur (Persoone vd., 2003). *Vibrio fischeri* toksisite testi için Aralık, Mayıs ve Haziran aylarında alınan numunelerin TU değerlerinin 1 ila 10 arasında olduğu, *Lepidium sativum* toksisite testinin ise Aralık ayı hariç tüm aylar için TU değerlerinin 1 ila 10 arasında olduğu yani stabilize çamur eluatının akut toksik özellikte olduğu tespit edilmiştir. Toksikolojik değerlendirme sonucu ağır metaller, PAH’lar, PCB’ler için verilen yönetmelik limit değerlerin aşılması toprağa çamur uygulamaları için yeterli olmadığını, çamurun içerisindeki daha birçok kirleticinin de toksik etkiye sebep olabileceğini göstermektedir (Ozcan vd., 2013).

Tablo 10. Stabilize Arıtma Çamurunun Toksikolojik Değerlendirilmesi (Ozcan vd., 2013)

Aylar	<i>Vibrio fischeri</i>		<i>Lepidium sativum</i>	
	EC ₅₀	TU	EC ₅₀	TU
Aralık	67,60	1,48	nr	0
Mayıs	31,17	3,20	63,20	1,58
Haziran	-	-	71,57	1,40
Temmuz	-	-	75,06	1,33
Ağustos	31,16	2,69	70,50	1,42
Eylül	nr	0	70,09	1,42
Ekim	nr	0	80,99	1,23
Kasım	nr	0	87,85	1,14

nr: EC₅₀ değerine ulaşamadı, -: analiz edilmedi

Farmasötikler hastane ve evlerde hastalıkların tanı ve tedavisinde kullanıldıktan sonra vücuttan ana formda veya metabolitleri olarak atılmaktadır. Konvansiyonel arıtma prosesleri ile farmasötiklerin etkili bir şekilde giderilemediği yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir. Atıksudaki antibiyotiklerin yaklaşık %70'i arıtma çamurunda kalmaktadır. Farmasötik kalıntıların atıksu ve arıtma çamuru vasıtasıyla çevresel ortamlara taşınmaktadır. Stabilize arıtma çamurunun azot, fosfor gibi nutrientler ve besin maddeleri içermesi sebebiyle tarımsal amaçlı kullanımı yaygın olarak tercih edilen bertaraf yöntemidir (Sun vd., 2019). Ülkemizde çamur kullanımını düzenleyen yasal mevzuatta farmasötikler ile ilgili izleme yapılmamaktadır. Özellikle Covid-19 pandemisiyle birlikte günümüzde kullanılan farmasötik miktarı artmış durumdadır. Bu nedenle anaerobik olarak arıtılmış stabilize çamurda 7 terapi sınıfından antibiyotik, analjezik, anti-enflamatuar, beta-bloker, kolesterol düşürücü, kanser ve psikiyatri ilaçlarını içeren 38 farmasötik maddenin konsantrasyonları tespit edilmiş ve tarımsal uygulamalar sonucunda oluşabilecek ekotoksikolojik riskler değerlendirilmiştir. Konya atıksu arıtma tesisinin günlük atıksu debisi yaklaşık 200.000 m³/gün olup, 140 ton/gün stabilize çamur üretilmektedir. Tüm farmasötik bileşiklerin toplam konsantrasyonları 280 ila 4898 µg/kg kuru madde arasında değişmektedir. Baskın terapi sınıfı analjezikler ve anti-enflamatuarlar (%49) olarak tespit edilmiş olup bunu antibiyotikler (%31) takip etmiştir. Clarithromycin ve azithromycin 1496 µg/kg kuru madde konsantrasyonu ile en yüksek konsantrasyonda tespit edilen bileşikler olmuştur (Aydın vd., 2022).



Şekil 3. Stabilize çamurda ve stabilize arıtma çamuru ile iyileştirilmiş toprakta farmasötik bileşikleri için RQ (risk oranı) değerleri ($RQ_s < 0.1$ düşük risk, $0.1 < RQ_s < 1$ orta risk, $RQ_s > 1$ yüksek risk) (Aydın vd., 2022)

Arıtılmış çamurdaki toplam günlük farmasötik yükü kış mevsiminde 1002 kg/gün değerlerine ulaşırken, çevreye verilen yıllık farmasötik kütle yükünün yaklaşık 71,6 kg olduğu tahmin edilmektedir. Arıtılmış çamurun tarım arazilerinde gübre olarak kullanılması karasal ortamın sürekli olarak farmasötikler ile kirlenmesine neden olmaktadır. Şekil 3’de stabilize çamurda ve stabilize arıtma çamuru ile iyileştirilmiş toprakta farmasötik bileşikleri için RQ (risk oranı)

değerleri verilmiştir. Stabilize çamurdaki beş antibiyotik (azithromycin, clarithromycin, erythromycin, sulfamethoxazole, doxycycline), bir analjezik (acetylsalicylic acid) ve bir beta bloker (atenolol) bileşiği çevre için akut ve kısa süreli kronik yüksek riskler oluşturmaktadır. Çürütülmüş çamurla ıslah edilmiş topraklarda en yüksek kısa süreli kronik risk azithromycin için belirlenmiştir (RQ: 54,9). Farmasötiklerin potansiyel çevresel etkilerini azaltmak için çürütülmüş çamur toprağa uygulanmadan önce farmasötik içeriği açısından izlenmesi önemlidir (Aydın vd., 2022).

6. Sonuç ve Öneriler

Atıksu arıtımının bir yan ürünü olan çamur miktarı her geçen gün kullanılan su ve oluşan atıksu miktarına bağlı olarak artmaktadır. Farklı bertaraf yöntemleri olmakla birlikte en yaygın olarak stabilize arıtma çamurunun tarımsal alanlarda kullanımı tercih edilmektedir. Stabilize çamurların, topraklara uygulanması atığın bertarafı yanında toprağın iyileşmesini, gübre ihtiyacının azalmasını ve tarımsal verimliliğin artmasını sağlamaktadır. Toprak bozulması yaklaşık olarak atmosfere her yıl 4 milyar ton daha fazla CO₂ salınmasına sebep olmaktadır. Anaerobik çamur arıtma yöntemiyle atıksu arıtma tesisleri, enerji nötr veya enerji üreten tesisler haline getirilebilir. Enerjiyi dönüştüren ve kullanan ünitelerin daha etkin hale getirilmesi için çalışılmalıdır. Konvansiyonel atıksu ve çamur arıtma prosesleri ile atıksuda bulunan PAH'lar, PCB'ler, farmasötikler ve diğer birçok organik kirleticiler giderilememektedir. Bu nedenle, söz konusu bileşiklerin çevreye ulaşmasını önlemek için izlenmesi ve arıtma proseslerinin iyileştirilmesi gereklidir. Geri kazanılmış sular ve arıtma çamurlarındaki kirleticileri azaltmak için kanalizasyon sistemi etkin bir şekilde izlenmeli ve denetlenmeli, ileri arıtma yöntemleri uygulanmalıdır.

7. Kaynaklar / References

- Aydın, S., Ulvi, A., Bedük, F. & Aydın, M.E. (2022). Pharmaceutical residues in digested sewage sludge: Occurrence, seasonal variation and risk assessment for soil. *Science of the Total Environment*. 817, 152864.
- Aydın, M.E., Sari, S. Özcan, S., Wichmann, H. & Bahadır, M. (2004). Polychlorinated Biphenyls in Wastewater of Konya-Türkiye. *Fresenius Environmental Bulletin*. 13, 1090.
- Bondarczuk, K., Markowicz, A. & Piotrowska-Seget, Z. (2016). The urgent need for risk assessment on the antibiotic resistance spread via sewage sludge land application. *Environmental Pollution*. 87, 49-55.
- Bresters, A.R., Coulomb, I., Deak, B., Matter, B., Saabye, A., Spinosa, L. & Utvik, A.O. (1997). Sludge Treatment and Disposal. Management Approaches and Experiences. IBWA, pp. 13-42.
- EU, 2000. Working Document on Sludge. Third Draft. European Union, Brussels, Belgium 27 April 2000.
- Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik, Sayı: 27661, Tarih: 3 Ağustos 2010.
- Fytili, D. & Zabaniotou, A. (2008). Environmental and economic assessment of sewage sludge handling options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 12, 116-140.
- KOSKİ. 2023. www.koski.gov.tr (24 Mart 2023)

- Li, Q., Chen, Z., Wang, H., YAng, H., Wen, T., Wang, S., Hu, B. & Wang, X. (2021). Removal of organic compounds by nanoscale zero-valent iron and its composites. *Science of the Total Environment*. 792, 148546.
- Luan, M., Jing, G., Piao, Y., Liu, D. & Jin, L. (2017). Treatment of refractory organic pollutants in industrial wastewater by wet air oxidation. *Arabian Journal of Chemistry*. 10, 769-776.
- Lundin., M., Olofsson, M., Pettersson, G.J. & Zetterlund., H. (2004). Environmental and economic assessment of sewage sludge handling options. *Resources, Conservation and Recycling*. 41, 255-278.
- Metcalf ve Eddy Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Tsuchihashi, R., & Stensel, H. D. (2013). Wastewater engineering: Treatment and resource recovery (5th ed.). McGraw-Hill Professional.
- Ozcan, S., Tor, A. & Aydın, M.E. (2013). Investigation on the Levels of Heavy Metals, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and Polychlorinated Biphenyls in Sewage Sludge Samples and Ecotoxicological Testing. *Clean Soil, Air, Water*. 41, 411-418.
- Persoone, G., Marsalek, B., Blinova, I., Törökne, A., Zarina, D., Manusadzianas, L., Nalecz-Jawecki, G., Tofan, L., Stepanova, N., Tothova, L. & Kolar, B. (2003). A practical and user-friendly toxicity classification system with microbiotests for natural waters and wastewaters. *Environmental Toxicology*. 18, 395.
- Placek, A., Grobelak, A. & Kacprzak, M. (2016). Improving the phytoremediation of heavy metals contaminated soil by use of sewage sludge. *International Journal of Phytoremediation*. 18, 605-618.
- Rorat, A., Wloka, D., Grobelak, A., Grosser, A., Sosnecka, A., Milczarek, M., Jelonek, P., Vandembulcke, F. & Kacprzak, M. (2017). Vermiremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in sewage sludge composting process. *Journal of Environmental Management*. 187, 347-353.
- Smol, M., Kulczycka, J., henclik, A., Gorazda, K. & Wzorek, Z. (2015). The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy. *Journal of Cleaner Production*. 95, 45-54.
- Sun, C., Li, W., Chen, Z., Qin, W. & Wen, X. (2019). Responses of antibiotics, antibiotic resistance genes, and mobile genetic elements in sewage sludge to thermal hydrolysis pre-treatment and various anaerobic digestion conditions. *Environmental International*. 133, 105156.
- Titchou, F.E., Zazou, H., Afanga, H., Gaayda, J.E., Akbour, R.A., Nidheesh, P.V. & Hamdani, M. (2021). Removal of organic pollutants from wastewater by advanced oxidation processes and its combination with membrane processes. *Chemicals Engineering and Processing – Process Intensification*. 169, 108631.
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). Haber Bülteni, Yayın tarihi: 16.12.2021, Sayı: 37197.
- Walcarius, A. & Mercier, L. (2010). Mesoporous organosilica adsorbents: nanoengineered materials for removal of organic and inorganic pollutants. *Journal of Materials Chemistry*. 20, 4478-4511.
- Wild, S.R., Berrow, M.L. & Jones, K.C. (1991). The persistence of polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) in sewage sludge amended agricultural soils. *Environmental Pollution*. 72, 141-157.
- Xie, Y., Ren, L., Zhu, X., Gou, X. & Chen, S. (2018). Physical and chemical treatments for removal of perchlorate from water—A review. *Process Safety and Environmental Protection*. 116, 180-198.
- Ye, S., Chen, Y., Yao, X. & Zhang, J. (2021). Simultaneous removal of organic pollutants and heavy metals in wastewater by photoelectrocatalysis: A review. *Chemosphere*. 273, 128503.
- Zuloaga, O., Navarro, P., Bizkarguenaga, E., Iparraguirre, A., Vallejo, A., Olivares, M. & Prieto, A. (2012). Overview of extraction, clean-up and detection techniques for the determination of organic pollutants in sewage sludge: A review. *Analytica Chimica Acta*. 736, 7-29.

Yazarlar Hakkında / About Authors

Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN | Necmettin Erbakan Üniversitesi | TÜBA Asli Üyesi | meaydin[at]erbakan.edu.tr | ORCID: 0000-0001-6665-198X

Mehmet Emin Aydın, Konya Selçuk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliğinden 1985 yılında mezun oldu. 1993 yılında İngiltere, Loughborough Teknoloji Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde suların arıtımı alanında doktorasını tamamladı. Selçuk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümüne 1997 yılında Doçent 2003 yılında Profesör olarak atandı. 2012 yılında Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümüne Profesör olarak atandı. Halen 2018 yılından beri aynı üniversitenin İnşaat Mühendisliği Bölümünde Profesör olarak çalışmaktadır. Araştırma alanı Su Temini, atıksuların uzaklaştırılması, su kirliliği, su arıtma, PAH, PCB, pestisitler, kalıcı organik kirleticiler, ekotoksikoloji alanlarını kapsamaktadır. Prof. Dr. Aydın'ın Uluslararası hakemli dergilerde ve sempozyum kitaplarında 235 makalesi, Ulusal sempozyumlarda 82 bildirisi, 14 kitap bölümü ve 6 kitap editörlüğü veya ortak editörlüğü vardır.

Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN | Necmettin Erbakan University | TÜBA Full Member | meaydin[at]erbakan.edu.tr | ORCID: 0000-0001-6665-198X

Mehmet Emin Aydın has studied of Civil engineering at Selçuk University in Konya, Türkiye (1980-1985) and received his PhD in 1993 in the field of drinking water treatment at Civil Engineering Department of Loughborough University of Technology in England. He is appointed as Assoc. Prof. Dr. in Environmental Engineering of Selçuk University in 1997. Since 2003, he is full Professor in Environmental Engineering initially at Selçuk University and then since 2012 in Necmettin Erbakan University in Konya, Türkiye. He is working as full Professor in Civil Engineering of Necmettin Erbakan University since 2018. His teaching and research cover water supply, wastewater disposal, water pollution, water and wastewater treatment, ecotoxicology, PAHs, PCBs, pesticides, pharmaceuticals and illicit drugs in environment. Prof. Dr. Aydın published 235 papers in international peer-reviewed journals and proceedings volumes; 82 presentations in National symposiums; 14 international book chapters, 6 book editorships and co-editorships.

Prof. Dr. Senar AYDIN | Necmettin Erbakan Üniversitesi | TÜBA Genç Akademi Üyesi | sozcan[at]erbakan.edu.tr | ORCID: 0000-0002-0960-480X

Senar Aydın Konya Selçuk Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünden 1999 yılında mezun olmuş, 2007 yılında aynı bölümde Çevrede PAH, PCB, Pestisitler gibi Mikrokirleticilerin analizi konusunda doktorasını tamamlamıştır. 2000 yılından itibaren Araştırma Görevlisi olarak çalışmakta olduğu aynı bölümde 2010 yılında Yardımcı Doçent olarak atanmıştır. Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümüne 2012 yılında Doçent olarak, 2017 yılında Profesör olarak atanmıştır. Ders verdiği ve araştırma yaptığı alanlar temel işlemler, temel işlemler laboratuvar uygulamaları, su kirliliği, su arıtma, çevrede PAH, PCB, pestisitler, farmasötikler, uyuşturucuların analizi ve ekotoksikoloji alanlarını kapsamaktadır. 2011-2021 yılları arasında Çevre Mühendisliği Bölüm başkanlığı görevini yürütmüştür. 2013 yılında TÜBA üstün başarılı genç bilim insanı (GEPIP) ödülü almıştır. Senar Aydın uluslararası hakemli dergilerde ve sempozyum kitaplarında 125 makale, ulusal sempozyumlarda 52 bildiri ve 12 uluslararası kitap bölümü yayınlamıştır.

Prof. Dr. Senar AYDIN | Necmettin Erbakan University | TÜBA Young Academy Member | sozcan[at]erbakan.edu.tr | ORCID: 0000-0002-0960-480X

Senar Aydın has studied in Environmental engineering department at Selçuk University in Konya (1995-1999) and received her Doctorate in 2007 in the field of Analyses of micro pollutants such as pesticides, PAHs and PCBs in Environment at Environmental Engineering Department of Selçuk University. Senar Aydın was appointed as Assistant Prof. Dr. in Environmental Engineering Department of Selçuk University in 2010 and then as Associate Prof. Dr. in 2012. Since 2017 she is full Professor in Environmental Engineering Department of Necmettin Erbakan University in Konya, Türkiye. Her teaching and research cover unit processes, laboratory application of unit processes, water pollution, water and wastewater treatment, ecotoxicology, PAHs, PCBs, pesticides, pharmaceuticals and illicit drugs in environment. She was head of department between 2011 - 2021. She was awarded as excellency in science among young scientist by Turkish academy of sciences (TÜBA) in 2013. Senar Aydın published 125 papers in international peer-reviewed journals and proceedings volumes; 52 presentations in National symposiums; 12 international book chapters.

**MİKROPLASTİK ATIKLARIN
NEDEN OLDUĞU MAKRO PROBLEMLER:
SÜRDÜRÜLEBİLİR
YÖNETİM YAKLAŞIMI**

**MACRO PROBLEMS CAUSED BY MICROPLASTIC WASTE:
A SUSTAINABLE MANAGEMENT APPROACH**

*Güleda ENGİN
Hanife SARI ERKAN*

MİKROPLASTİK ATIKLARIN NEDEN OLDUĞU MAKRO PROBLEMLER: SÜRDÜRÜLEBİLİR YÖNETİM YAKLAŞIMI

Güleda ENGİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Hanife SARI ERKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Özet

Mikroplastikler, çevrede hemen her yerde rastlanan, boyutları 5 mm'den küçük plastik parçacıklardır. Deniz ve karasal ekosistemlerin yanı sıra insan sağlığı için de önemli bir sorun haline gelen bir problemdir. Mikroplastikler nihai alıcı ortama çeşitli kaynaklardan ulaşabilmektedir, ancak katkıda bulunan en önemli hususlardan biri atılmış büyük plastik ürünlerin parçalanmasıdır. Veriler dünyadaki plastik üretiminin günümüzde 367 milyon tona ulaştığı göstermektedir. Karada üretilen plastik atıkların önemli bir kısmı kaçınılmaz olarak su kaynaklarına ulaşmaktadır. Mikroplastik atıkların ciddi bir sorun haline gelmesi, çevreye ve topluma zarar vermesi, sürdürülebilir yönetim yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmasına yol açmıştır. Mikroplastik atıklara yönelik sürdürülebilir bir yönetim yaklaşımı kapsamında öncelikle problemin temel kaynaklarının belirlenmesi, atık plastik oluşumunun azaltılması ve etkili atık yönetimi stratejileri geliştirilmesi gerekmektedir. Plastik atık oluşumunu azaltmanın önemli bir yolu geri dönüşüm ve biyolojik olarak parçalanabilen alternatiflerin kullanılmasıdır. İlave olarak tek kullanımlık plastiklere olan bağımlılığın azaltılması teşvik edilmeli, hatta bir adım daha öteye giderek bu tip plastik ürünlere mevzuatta gerekli düzenlemelerin yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler

Mikroplastik kirliliği, Sürdürülebilir yönetim, Çevre kirliliği

MACRO PROBLEMS CAUSED BY MICROPLASTIC WASTE: A SUSTAINABLE MANAGEMENT APPROACH

Güleda ENGİN

Yıldız Technical University

Hanife SARI ERKAN

Yıldız Technical University

Abstract

Microplastics are plastic particles smaller than 5 mm in size that are now ubiquitous in the environment. It is a problem that is becoming a major concern for marine and terrestrial ecosystems as well as for human health. Microplastics can reach the final receiving environment from a variety of sources, but one of the major contributors is the breakdown of discarded large plastic products. Data shows that global plastic production has now reached 367 million tons. A significant proportion of plastic waste generated on land inevitably reaches water bodies. The fact that microplastic waste has become a serious problem, harming the environment and society, has led to the need for sustainable management approaches. A sustainable management approach to microplastic waste requires first identifying the root sources of the problem, reducing the generation of plastic waste and developing effective waste management strategies. An important way to reduce plastic waste generation is through recycling and the use of biodegradable alternatives. In addition, reducing the dependence on single-use plastics should be encouraged, and even going one step further, necessary regulations should be made in the legislation for such plastic products.

Keywords

Microplastics pollution, Sustainable management, Environmental pollution

1. Giriş

Plastiklerin hem sosyal hayatımızda hem de endüstriyel ortamlarda artan kullanımı, “mikroplastik” olarak adlandırılan yeni bir kirletici türünün ortaya çıkmasına neden olmuştur. Mikroplastikler, belirli amaçlar için kasıtlı olarak üretilebilen veya daha büyük plastik malzemelerin aşınması veya bozunmasından kaynaklanan ve boyutu 5 mm’nin altındaki küçük plastik parçacıklardır. Mikroplastiklerin toprağa ve sucul ortamlara, çoğunlukla nehir ve dereler ile atıksu arıtma tesisi arıtılmış atıksuları yoluyla girdiği bilinmekle birlikte, katı atık depolama alanlarından atmosfere dağılabilmekte ve atmosferik yağış yoluyla göllere, denizlere ve okyanuslara taşınabilmektedir. Antropojenik faaliyetlerden kaynaklanan mikroplastiklerin nehir ve akarsular ile nihai alıcı ortam olan denizlere taşınması sebebiyle mikroplastik parçacıklar nehir ağızlarında, limanlarda, marinalarda ve deniz kıyılarında birikme eğilimi göstermektedir (Moore, 2008; Rocha-Santos & Duarte, 2015; Teuten vd., 2007). Plastiklerin çoğunun yoğunluğu sudan daha hafif olmasına rağmen, mikroplastik kirliliği su kolonunda, kıyı sedimentlerinde ve deniz dibi sedimentlerinde de tespit edilmiştir (Anderson vd., 2018).

1970’lerde plankton örneklerinde mikroplastiklerin keşfedilmesi (Carpenter vd., 1972; Carpenter & Smith Jr, 1972) mikroplastikler üzerine araştırmaların başlangıcını oluşturmuştur. Günümüzde, deniz ortamındaki mikroplastik kirliliği pek çok araştırmaya konu olmaktadır (Browne vd., 2013; Depledge vd., 2013; Fendall & Sewell, 2009; Galloway & Thompson, 2011). Bununla birlikte, mikroplastiklerin boyut, şekil ve yoğunluk açısından heterojenliği nedeniyle, güvenilir numune toplama, mikroplastik izolasyonu, tespiti ve polimer tür belirlenmesi işlemleri, nicel değerlendirmeyi güçleştirmektedir (GESAMP, 2019). Etkili testler ve analizler için standartlaştırılmış prosedürlerin henüz oluşturulmamış olması da farklı sonuçların elde edilebilmesini ve dolayısıyla karşılaştırma yapmayı zorlaştırmaktadır. Araştırmacılar, halen hem su numunelerinde hem de dip sedimentlerinde ve kıyı bölgelerinde mikroplastik numunesi alma ve mikroplastik tespiti için izolasyon teknikleri geliştirmeye çalışmaktadır (Gerdt, 2019). Şu anda deniz ortamındaki mikroplastikleri analiz etmek için kullanılan laboratuvar prosedürü ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) tarafından geliştirilmiştir (Masura vd., 2015), ancak son yıllarda farklı prosedürler de yayınlanmıştır (GESAMP, 2019).

1950’li yıllardan sonra artan plastik üretimine bağlı olarak plastik atıklardan ve döküntülerden kaynaklanan mikroplastik kirliliği, görsel olarak tespit edilememesine rağmen, özellikle okyanus ve denizlerde oldukça yaygın bir şekilde araştırılmaktadır (Andrady, 2011). Petrol bazlı plastikler deniz kirliliğinin tahmini olarak %60 ila 80’ine katkıda bulunduğu ve özellikle deniz ekosisteminde bulunan yüksek yoğunluklu plastik döküntülerin ekosistem üzerinde çeşitli etkileri olduğu bildirilmektedir (Nava & Leoni, 2021). Deniz ve okyanuslarda batmayan cam şişeler, hafif tüpler, metal kutular ve terk edilmiş balıkçılık malzemeleri bulunmasına rağmen, mevcut plastiklerin %80’ini antropojenik kökenli plastikler oluşturmaktadır (Andrady, 2011; Lassen vd., 2015).

Deniz ortamındaki mikroplastiklerle ilgili araştırmalar 1970'lerde başlamış olsa da son 20 yılda bu konudaki çalışma sayısında ciddi bir artış olmuştur. 2017 yılında deniz ortamındaki mikroplastiklerle ilgili sadece 100 çalışma bulunurken (Gago vd., 2018), 2023 yılında denizlerdeki mikroplastiklerin araştırıldığı makale sayısı 974'e yükselmiş, mikroplastiklerle ilgili makale toplam sayısı ise 7800 rakamını geçmiştir (ScienceDirect, Mart 2023).

1970'lerden bu yana mikroplastiklerin miktar, ağırlık, tür ve boyut açısından mekânsal dağılımını araştırmak için çok sayıda çalışma yapılmıştır (McDermid & McMullen, 2004; Yamashita & Tanimura, 2007). Sonraki çalışmalar mikroplastiklerin bulunduğu farklı bölgeleri araştırmış, çeşitli örnekleme ve ayırma tekniklerini karşılaştırmış ve mikroplastiklerin makroplastiklere veya zooplanktona göre oranını belirlemeye çalışmıştır (Moore vd., 2001; Ng & Obbard, 2006; Costa vd., 2010). Son yıllarda ise çalışmalar mikroplastiklerin dağılımındaki zamansal ve mekânsal değişiklikleri ve yayılma ve bozunma oranları ile mikroplastiklerin tanısını araştırmaya yönelmiştir (Sari Erkan vd., 2021).

2. Plastik Tarihçesi ve Küresel Plastik Üretimi

Fosil yakıtlardan elde edilen sentetik bir malzeme olan plastik, modern toplumda her yerde bulunur hale gelmiştir. İlk sentetik plastik olan selüloitin 1856 yılında Alexander Parkes tarafından geliştirildiği plastiğin tarihçesi 19. yüzyılın ortalarına kadar uzanmaktadır (Hollestelle & Hölsgens, 2017). Bununla birlikte, yeni plastik türlerinin icadı ve gelişmiş üretim teknikleri nedeniyle plastiklerin yaygın olarak kullanılması 20. yüzyıla kadar gerçekleşmemiştir (Crawford & Quinn, 2017). İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra çok yönlülüğü, dayanıklılığı ve düşük maliyeti nedeniyle plastiğe olan talep hızla artmış (Crawford & Quinn, 2017; Geyer, Jambeck & Law, 2017), 1950'de yıllık küresel plastik üretimi, ancak 1,5 milyon tona ulaşmıştır (PlasticsEurope, 2019). 1973 yılında yaşanan petrol krizi ve 2007 mali krizi sırasında üretimdeki düşüşe rağmen, 2009 yılına kadar küresel plastik malzeme üretimi önemli ölçüde artarak yıllık 250 milyon tona yükselmiştir. Tarihsel olarak, küresel plastik malzeme üretiminin her yıl yaklaşık %9 arttığı bildirilmektedir (Hirai vd., 2011). 2014 yılına kadar küresel üretim oranı yılda 311 milyon tona ulaşmıştır (World Economic Forum, 2016). Günümüzde ise bu değer 367 milyon ton değerini aşmıştır (PlasticsEurope, 2019). Bu ciddi üretim miktarlarının neticesinde oluşan plastik atıkların çevresel etkisi, okyanuslarda, toprakta ve hatta havada bulunan plastik kirliliğinin kanıtlarıyla birlikte son yıllarda büyük bir endişe kaynağı haline gelmiştir (Napper & Thompson, 2020). Halihazırda, plastik tüketimini azaltmak ve plastiğe daha sürdürülebilir alternatifler geliştirmek için çaba sarf edilmektedir (Okan, Aydın & Barsbay, 2018). 2022 yılı sonu itibarıyla 8 milyara ulaşmış olan Dünya nüfusunun 2100 yılına kadar 11 milyara yaklaşacağı tahmin edilmektedir. Bu da, mevcut trendin devam etmesi durumunda 2050 yılına kadar yaklaşık 33 milyar ton fazladan plastik üretileceği ve yıllık küresel üretimin de 850-1124 milyon ton arasında olacağını göstermektedir (Geyer vd., 2017).

Karada üretilen plastik atıkların önemli bir kısmı kaçınılmaz olarak su kaynaklarına ulaşmakta ve araştırmalar, atılan tüm plastiklerin %15 ila 40'ının okyanusa ulaştığını göstermektedir. Bu yüksek rakamın sebeplerinden biri, gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerin düşük maliyet sebebiyle vahşi depolama yöntemini tercih etmeleridir (Muenmee, Chiemchaisri & Chiemchaisri, 2015). Birleşmiş Milletler Deniz Kirliliğinin Bilimsel Yönleri Ortak Uzmanlar Grubu'na (GESAMP) göre, deniz ortamında bulunan atıkların %80'i karadaki kaynaklardan gelirken, diğer %20'si okyanusta gerçekleşen faaliyetlerin bir sonucudur (GESAMP, 2016).

Her yıl üretilen kümülatif plastiğin yaklaşık %33'ü tek kullanımlık olarak ya da başka bir ifadeyle yeniden kullanılamayacak şekilde tasarlanmaktadır ve üretimden sonraki 6 aylık bir süre içinde atık ürün haline gelmektedir. Plastik atıkların bertarafında kullanılan yollardan biri de yakmaktır. Ancak, plastik malzemelerin yakılması, insan sağlığına ciddi zararlar verebilen ve aynı zamanda çevreye oldukça zararlı olabilen furanlar ve dioksinler gibi oldukça toksik kimyasallar salmaktadır. Ayrıca, birçok ülke plastik atıkların geri dönüştürülmesini gerektiren mevzuatı uygulamamakta ve bunun yerine daha ucuz ve kolay olan katı atık depo sahasında bertarafı gerçekleştirmektedir (Crawford & Quinn, 2016; Kara, Sarı Erkan & Engin, 2022).

Küresel plastik geri dönüşüm oranları ise ülkelere ve bölgelere göre büyük farklılıklar göstermektedir. OECD verilerine göre, küresel plastik geri dönüşüm oranının %9 civarında olduğu tahmin edilmektedir (OECD, 2022). Bununla birlikte, %60'ın üzerinde bir orana sahip olan Almanya gibi bazı gelişmiş ülkeler olmasına rağmen, Amerika Birleşik Devletleri gibi ekonomisi oldukça güçlü olmasına rağmen %9 civarında bir geri dönüşüm oranına sahip olan ülkeler de mevcuttur. Buna ek olarak, birçok ülke plastik atıkların uygun şekilde bertaraf edilmesiyle mücadele etmekte ve bu da önemli çevre ve sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Plastik geri dönüşüm oranlarını artırmak ve plastik atıkları azaltmak için geri dönüşüm altyapısını iyileştirmek, politikalar ve düzenlemeler geliştirmek ve uygulamaya sokmak, tüketici bilincini ve davranış değişikliğini teşvik etmek de dahil olmak üzere çeşitli çabalar hükümetler tarafından sarf edilmektedir.

3. Plastik Atıkların Bozunması

Plastik atıklar, çevrede kalıcı olmaları ve ekosistemler üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle önemli bir çevre sorunudur. Plastik atıklar su ortamına girdiğinde, plastiğin fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak bozulma derecesi ve süresi ile birlikte çeşitli faktörler malzeme üzerinde yıkıcı etkilere sahip olmaya başlamaktadır. Plastiklerin bozunması için biyotik ve abiyotik olmak üzere iki ana yol vardır (Crawford & Quinn, 2016).

Biyotik bozunma, plastikteki karbonu bir enerji kaynağı olarak kullanan mikroorganizmalar gibi biyolojik organizmalar tarafından plastiklerin parçalanmasını içermektedir. Biyolojik olarak parçalanabilen plastiklerin bozunması iki aşamada gerçekleşen biyolojik süreçlere dayanır: (i) parçalanma (degradasyon) ve (ii) biyolojik bozunma (biyodegradasyon). Parçalanma sırasında oksijen, nem, ısı, ultraviyole ışık veya mikrobiyal enzimler gibi faktörler uzun polimer

zincirlerinin karbon-karbon bağlarını kırarak plastiğin parçalanmasına neden olur. Polimer yeterince parçalandığında, daha kısa karbonlu polimer zincirleri mikrobiyal hücre duvarlarından geçebilir ve mikroorganizmalar tarafından biyokütle, su, karbondioksit veya metan gazlarına dönüştürülebilir, bu da biyolojik bozunmanın meydana geldiğini göstermektedir (Bahl vd., 2021). Ancak malzemenin uygun bir biyolojik bozunur plastik olarak kabul edilebilmesi için bu iki aşamalı parçalanma/bozunma sürecinin kabul edilebilir bir hızda gerçekleşmesi ve çevre üzerinde olumsuz bir etki yaratmaması gerekmektedir. Plastiklerin özellikleri doğrudan biyolojik bozunabilirliklerini etkilemektedir. Örneğin yüzey alanı, hidrofilik ve hidrofobik özellikler gibi polimer yüzey özellikleri ile polimerin kimyasal yapısı ve moleküler ağırlığı biyolojik bozunma süreçlerinde önemli rol oynamaktadır (Tokiwa vd., 2009).

Plastiklerin abiyotik bozunması ise plastik malzemelerin mekanik kuvvet, sıcaklık, ışık, gaz ve su gibi çevresel faktörlerden kaynaklanan aşınmasını ifade etmektedir. Plastik malzemelerin geliştirildiği ilk yıllarda, plastiklerin bozunması büyük bir sorun olarak görülmekteydi (Filiciotto & Rothenberg, 2021). Bununla birlikte, çağımızda, plastiklerin deniz de dahil olmak üzere tüm ortamlardaki kalıcılığı, üretim sürecinde polimerlerin stabilite ve dayanıklılıklarını artırmak için katkı maddelerinin kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Plastiklerin abiyotik olarak bozunması, termal veya foto-oksidatif bozunma ile gerçekleşmektedir (Crawford & Quinn, 2016). Termal bozunma, plastik malzemelerin sıcaklıktaki değişikliklerle parçalanması anlamına gelirken, foto-oksidatif bozunma, plastiklerin yoğun ultraviyole ışığa maruz kalması neticesinde kimyasal bağların kırılması ile gerçekleşmektedir (Fotopoulou & Karapanagioti, 2017).

4. Mikroplastiklerin Kaynakları

Mikroplastikler, okyanuslar, tatlı su ve hatta hava gibi çeşitli çevresel kompartmanlarda tespit edilmektedir. Mikroplastiklerin kaynakları arasında daha büyük plastik döküntülerin parçalanması, kişisel bakım ürünlerindeki mikro kürecikler, yıkama sırasında tekstil ürünlerinden dökülen lifler ve araba lastiklerinin ve yol işaretlerinin aşınması yer almaktadır (Nava & Leoni, 2021). Ayrıca, atıksu arıtma tesislerinden çıkan çıkış sularında ve tarım alanlarından yüzeysel akışa geçen sularda da mikroplastikler tespit edilmiştir (Nizetto vd., 2016; Leslie, vd., 2017; Kay vd., 2018).

4.1. Birincil mikroplastikler

Plastik endüstrisi, kozmetikler, kişisel bakım ürünleri, temizlik maddeleri ve kumlama gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmak üzere kasıtlı olarak birincil mikroplastikler olarak sınıflandırılan küçük küresel mikro boncuklar üretmektedir. Kişisel bakım ürünlerinde mikro boncukların kullanımı, birincil mikroplastiklerin çevreye salınmasına önemli bir katkıda bulunan unsur olarak tanımlanmaktadır (Leslie vd., 2011; Lee vd., 2013; Reisser vd., 2013). Mikro boncuklar, aşındırıcı özelliklerini artırmak için yüz ovma, diş macunu ve vücut yıkama gibi ürünlere eklenmektedir. Bu ürünler kanalizasyon vasıtasıyla su ortamına ulaşmakta ve burada suda yaşayan organizmalar tarafından yutulmaktadır.

Geleneksel plastik parçacıklar 3 mm mertebesinde polimer flokları şeklinde üretilmektedir, ancak günümüzde eklemeli üretim gibi daha yenilikçi teknolojiler mikronize polimer parçacıkları 50 µm mertebesinde üretebilmektedir (Mitrano & Wohlleben, 2020). Normal şartlar altında üretim sırasında veya sonrasında bu kasıtlı olarak üretilmiş pelet ve polimer dispersiyonlarının çevreye salınması beklenmemektedir. Ancak, bu belirtilen plastik endüstrisi yan ürünlerinin çeşitli kazalar ve nakliye kayıpları neticesinde çevreye yayıldıkları bilinmektedir (Mitrano & Wohlleben, 2020). Yapılan bir araştırmaya göre, Birleşik Krallık'ta her yıl 53 milyara kadar peletin çevreye yayılabildiğini, bunun da 35 tanker dolusu peletin çevreye dökülmesine eşdeğer olduğunu göstermektedir (Cole & Sherrington, 2016).

Benzer şekilde, polyester, naylon ve akrilik gibi sentetik ipliklerden elde edilen mikrofiberler, yıkama veya kullanım sırasında çevreye yayılmaktadır. Bu mikrofiberler atıksu arıtma süreçlerinde filtrelenemeyecek kadar küçük boyutlarda olduğundan nihai alıcı ortam olan nehirlere, denizlere ve okyanuslara salınmalarına neden olmaktadır. Bazı araştırmalar, tek bir çamaşır yükü ile çevreye 19.000'e kadar mikrofiber salındığını ortaya koymaktadır (Eerkes-Medrano, Thompson & Aldridge, 2015).

4.2. İkincil mikroplastikler

Büyük plastiklerin daha küçük plastik parçacıklara parçalanarak oluşan küçük plastik parçaları ikincil mikroplastikler olarak adlandırılmaktadır. Bu parçalanma, plastik türü, çevresel şartlar ve maruz kalma süresi dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenen karmaşık bir süreçtir (Stolte vd., 2015). Plastiklerin parçalanma süreci, yukarıda ayrıntılı bir şekilde verildiği üzere, fotodegradasyon, mekanik bozunma ve biyolojik bozunma gibi çeşitli mekanizmalarla gerçekleşmektedir. Fotodegradasyon en sık tespit edilen mekanizmadır ve plastiklerin güneşten gelen ultraviyole radyasyona maruziyeti ve dolayısıyla, plastik polimer zincirlerindeki kimyasal bağların parçalanmasıyla ortaya çıkmaktadır (Cole vd., 2011).

Plastiklerin mikroplastiklere parçalanması, onlarca yıl hatta yüzyıllar sürebilen yavaş bir süreçtir. Bu süre zarfında mikroplastikler uzun mesafeler kat edebilir, okyanus akıntıları ile taşınabilir ve uzak yerlere ulaşabilir. Mikroplastikler çevreye girdikten sonra, çeşitli organizmalar tarafından yutulabilecekleri deniz ve kara ekosistemleri için tehdit oluşturmaktadır. Son çalışmalar mikroplastiklerin toprakta da birikebileceğini ve potansiyel olarak karasal organizmaları ve tarımsal ürünleri etkileyebileceğini göstermiştir.

Plastik ürünlerin ayrışması, plastik kirliliği krizine önemli bir katkıda bulunmaktadır ve poşetler, şişeler ve kaplar gibi tek kullanımlık plastikler başlıca sorumlu ürünler olarak gösterilmektedir. Tek kullanımlık plastiklerin kullanımı küresel bir sorun olarak tanımlanmıştır ve bunların kullanımını azaltmak ve daha sürdürülebilir alternatifleri teşvik etmek için çaba sarf edilmektedir. Bununla birlikte, şu anda su ortamında tespit edilen mikroplastiklerin mekânsal dağılım yolları ve akıbeti hakkında ciddi bir bilgi boşluğu bulunmaktadır (An vd., 2020).

5. Mikroplastik Kirliliğinin Sonuçları ve Oluşturduğu Çevre Problemleri

Plastik atıkların oluşturduğu en önemli problemlerden biri, deniz ekosistemleri üzerindeki etkisidir. Uygun şekilde atılmayan ya da bertaraf edilmeyen plastik atıklar, deniz yaşamına ciddi zararlar verebileceği su yollarına ve okyanuslara ulaşmaktadır. Deniz organizmaları, okyanusa giren büyük miktarda plastik atık nedeniyle özellikle savunmasızdır (Cózar vd., 2014). Mikroplastikler, planktondan yüksek canlılara kadar besin zincirinin tüm seviyelerinde bulunmuştur. Özellikle suda yaşayan organizmalara önemli zararlar verdiği bilinmektedir. Plastik atıkların organizmalar üzerindeki etkilerinin temel olarak dolanma ve yutulmadan kaynaklandığı tespit edilmiş olsa da (Fossi vd., 2012; Besseling vd., 2013; Gall & Thompson, 2015), sucul ortamda yaşayan canlılar tarafından yutulan parçalanmış plastik parçacıklarının canlı bünyesinde oluşturduğu etkilerin çok daha kalıcı ve yıkıcı etkileri olduğu konusunda da çalışmalar yürütülmektedir. Mikroplastiklerin yutulması sindirim sisteminde fiziksel hasara neden olarak yetersiz beslenme, açlık ve ölüme yol açmaktadır (Alimba & Faggio, 2019; Senko vd., 2020). Bu alandaki araştırmalar henüz başlangıç aşamasında olsa da, çalışmalar plastik ve mikroplastiklere maruz kalmanın endokrin sisteminde bozulmalara, bağışıklık sisteminde baskılanmaya ve üreme bozukluklarına sebep olabileceği ortaya konmuştur (Godswill & Godspel, 2019). Mikroplastikler ayrıca, organizmaların dokularında birikerek uzun vadeli sağlık etkilerine yol açabilen kalıcı organik kirleticiler gibi toksik kimyasalların taşınması için vektör görevi görmektedir (Anbumani & Kakkar 2018; Haegerbaeumer vd., 2019; Kögel vd., 2020; Rodrigues vd., 2019; Okoye vd., 2022). Dahası, plastik kirliliğinin tüm ekosistemler üzerinde besin döngüsünü, besin ağlarını ve biyoçeşitliliği etkileyen geniş kapsamlı etkileri olduğu bildirilmektedir (Galloway & Thompson, 2011). Plastik ve mikroplastik kirliliğinin potansiyel ekolojik ve insan sağlığı riskleri nispeten yeni araştırma alanıdır ve bazı hususlardaki belirsizlikler üzerinde çalışılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Mikroplastik partiküllerin kompleks yapıları, ekotoksikolojik sonuçlarının anlaşılmasını da güçleştirmektedir (Rochman vd., 2019). Konu ile ilgili çeşitli uluslararası otoriteler, mikroplastiklerin çevre ve biyota sağlığı üzerindeki potansiyel riskleri hakkında değerlendirmeler yapmıştır. Ancak bu değerlendirmeler, mikroplastiklerin fizikokimyasal heterojenliği ve farklı türler ve çevresel kompartmanlar arasındaki çok değişken oranlarda bulunmaları sebebiyle birçok belirsizlik ve bilgi boşluğunu beraberinde getirmektedir.

Ekotoksikolojik etkilerinin yanında, mikroplastiklerin çevrede birikmesi beraberinde çeşitli ekonomik sonuçlar da doğurmaktadır. Özellikle kıyı turizmi, balıkçılık ve deniz kaynaklarına dayanan diğer endüstriler, mikroplastik kirliliğinin ekosistem üzerindeki etkisi nedeniyle risk altındadır (Mofijur vd., 2021). Buna ek olarak, mikroplastiklerin sudan ve topraktan uzaklaştırması hem teknik açıdan hem de maliyet olarak yerel yönetimler ve diğer ilgili kurumlara ciddi bir yük getirmektedir (Usman vd., 2022). Mikroplastik kirliliğinin çeşitli sosyal etkileri de bulunmaktadır. Toplumların mikroplastiklere maruz kalması, özellikle geçimlerini deniz kaynaklarından sağlayanların sağlıklarını ve refahlarını etkileyebilmektedir.

6. Mikroplastik Kirliliğinin Azaltılmasına Yönelik Tedbirler

Kişisel bakım ve temizlik ürünlerinde kullanılan küçük plastik parçacıklar olan mikro boncuklar, gezegenin ekosistemleri üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle giderek artan bir çevresel endişe kaynağı haline gelmiştir. Buna karşılık, çeşitli ülkeler sorunu ele almak için farklı önlemler uygulamaya koymuştur. Ruanda'da 2008'den beri uygulanan plastik poşet yasağı ve Almanya'da 1990'lardan beri plastik malzemelerin %90'ının geri dönüştürülmesi gibi plastik atıkların azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Avrupa Birliği de tek kullanımlık plastik malzemelerin kullanımını yasaklamaya başlamış ve plastiklere yönelik geri dönüşüm hedeflerini artırmıştır. 2015 yılında Amerika Birleşik Devletleri, Obama yönetimi sırasında tüketici ürünlerinde birincil mikroplastiklerin kullanımı yasaklanmıştır (Schlachter, 2019). Mikro boncukların yasaklanması, su kütlelerindeki mikroplastik seviyelerinde bir azalmaya yol açarak plastik kirliliği krizinin hafifletilmesinde düzenleme ve politika müdahalelerinin önemini vurgulamıştır. Birleşik Krallık 2018 yılında kişisel bakım ürünleri ve kozmetiklerde mikro boncukların üretimini ve satışını yasaklamıştır (<https://www.gov.uk>). Bu arada, Avrupa'da 2019 yılında kozmetik, boya ve deterjan gibi ürünler de dahil olmak üzere mikroplastiklerin %90'ının aşamalı olarak kullanımdan kaldırılması için bir yasa taslağı hazırlamıştır. Fransa ve İsveç de dahil olmak üzere birçok Avrupa ülkesi bundan önce kendi yasaklarını uygulamaya koymuştur. Avustralya 2015 yılında kozmetik, temizlik ve kişisel bakım ürünlerinde mikroboncukların gönüllü olarak kullanımdan kaldırılacağını duyurmuştur, ancak şu anda mikroboncuk içeren ürünlerin yasaklanmasına yönelik bir mevzuat bulunmamaktadır. İlave olarak, 2018 yılında Yeni Zelanda, mikro boncuklu durulama kozmetik ürünlerinin ithalatına ve üretimine yönelik bir yasağı uygulamaya koymuştur (<https://environment.govt.nz>).

Türkiye'de mikroplastik oluşumuna neden olan makro boyutlu plastik ambalajların kontrol altına alınmasına yönelik düzenlemeler 2004 yılından bu yana yürürlüktedir. Ambalaj atıklarının oluşumunun azaltılması, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım yoluyla bertaraf edilmesi ve ambalaj atıklarının toplanması, taşınması ve ayrıştırılmasına ilişkin standartların oluşturulmasını amaçlayan plastik ambalajlar da dahil olmak üzere ambalaj atıklarının kontrolüne ilişkin ilk ulusal yönetmelik 2004 yılında yayımlanmıştır. Yönetmelik birkaç kez revize edilmiş olup, 2021 yılında yayımlanan en son versiyonunda ambalaj ve ambalaj atıklarının döngüsel ekonomi ve kaynak verimliliği ilkelerine dayalı belirli bir yönetim sistemi dahilinde yönetileceği belirtilmiştir. Yönetmelik ayrıca, belirli ambalajlı ürünlerin yeniden kullanımını sağlamak amacıyla depozito yönetim sisteminin uygulanmasını da içermektedir. Depozito Sistem Yöneticisi olarak görev yapan Türkiye Çevre Ajansı sistem ile alakalı değerlendirme ve düzenlemelerden sorumlu kurumdur. Depozito Yönetim Sistemi Uygulamalarına İlişkin Usul ve Esaslar güncellenmiş ve Türkiye Çevre Ajansı web sitesinde yayımlanmıştır (<https://www.tuca.gov.tr>). Kapsama giren ambalajlı ürünlerin piyasaya sürülmesi için pilot ölçekli uygulamalara başlanmıştır. Pilot uygulamaların ilk adresi Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Ana Hizmet Binası ile Ankara İli Kızılcahamam İlçesi olarak belirlenmiştir. Pilot uygulamaların 2023 yılı içerisinde yaygınlaştırılması planlanmaktadır. Ulusal ölçekli hazırlık ve test çalışmalarının 2023 yılında tamamlanmasının ardından, içecek ambalajları için fiili depozito uygulamaları 1/1/2024 tarihinde başlatılacaktır.

Sonuç olarak, tüketici ürünlerinde birincil mikroplastiklerin kullanımı çevre üzerinde önemli etkilere sahiptir ve mikro boncuklar ve mikrofiberler mikroplastik kirliliğine en büyük katkıda bulunanlar arasında yer almaktadır. Birincil mikroplastiklerin üretimi ve kullanımı, çevreye salınmalarını ve ardından deniz yaşamı ve ekosistemler üzerindeki olumsuz etkilerini önlemek için düzenlenmelidir. Mikro boncuk içeren sentetik tekstil ve kişisel bakım ürünlerine sürdürülebilir alternatiflerin kullanılmasının, birincil mikroplastiklerin çevreye salınımını azaltmaya yönelik bir adım olduğu düşünülmektedir.

7. Sonuç ve Öneriler

Bazı ülkeler, plastik atıkları azaltmak ve mikroplastik kirliliğini önlemek için çeşitli yasal önlemler uygulamaya koymuştur. Bu önlemler arasında pipet, poşet ve mutfak eşyaları gibi tek kullanımlık plastiklerin yasaklanması yanı sıra tüketicileri alternatif ürünler kullanmaya teşvik etmek için plastik ürünlere uygulanan vergi ve harçlar da yer almaktadır. Buna ek olarak, birçok ülke, üreticilerin ürünlerinin bertarafı ve geri dönüşümü için sorumluluk almalarını gerektiren genişletilmiş üretici sorumluluğu programlarını uygulamaya koymuştur (Kosior & Crescenzi, 2020). Mikroplastik kirliliğini önlemek için bazı ülkeler kişisel bakım ürünlerinde mikro kürecik kullanımını yasaklamış, bazıları ise tekstil ve diğer ürünlerden çevreye mikroplastik salınımına ilişkin düzenlemeler getirmiştir (Bhattacharya, 2016). Ancak, plastik kirliliği sorununu etkili bir şekilde ele almak ve çevre ile insan sağlığına daha fazla zarar gelmesini önlemek için daha kapsamlı ve koordineli küresel çabalara ihtiyaç vardır.

Türkiye son yıllarda mikroplastik kirliliğini önlemek için tek kullanımlık poşetlerin ücretlendirilmesi ve plastik atık yönetimine yönelik düzenlemelerin hayata geçirilmesi gibi bazı adımlar atmıştır. Potansiyel çözümlerden biri, özellikle gıda ambalajları ve alışveriş poşetleri gibi tek kullanımlık ürünlerde geleneksel plastiklere biyolojik olarak parçalanabilir veya kompostlaştırılabilir alternatiflerin kullanımını teşvik etmektir. Ayrıca, mikroplastiklerin zararlı etkileri ve atıkların uygun şekilde bertaraf edilmesinin önemi konusunda kamuoyu bilincinin artırılması ve daha sorumlu tüketim alışkanlıklarının teşvik edilmesi gerekmektedir. İlave olarak, endüstriyel atıksu deşarjı konusunda daha sıkı düzenlemelerin uygulanması ve arıtımda yeni teknolojilerin kullanılmasının da mikroplastiklerin nihai alıcı ortama karışmasını önlemeye yardımcı olacağı düşünülmektedir. Genel olarak, Türkiye’de mikroplastik kirliliğiyle etkin bir şekilde mücadele etmek için eğitim, düzenleme ve inovasyonu birleştiren çok yönlü bir yaklaşım gereklidir.

8. Kaynaklar / References

- Alimba, C. G., & Faggio, C. (2019). Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 68, 61-74
- An, L., Liu, Q., Deng, Y., Wu, W., Gao, Y., & Ling, W. (2020). *Sources of Microplastic in the Environment*. In: He, D., Luo, Y. (eds) *Microplastics in Terrestrial Environments. The Handbook of Environmental Chemistry*, vol 95. Springer, Cham.
- Anbumani, S., & Kakkar, P. (2018). Ecotoxicological effects of microplastics on biota: a review. *Environmental Science Pollution Research*, 25(15), 14373–14396. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1999-x>

- Anderson, Z.T., Cundy, A.B., Croudace, I.W., Warwick, P.E., Celis-Hernandez, O., & Stead, J.L. (2018). A rapid method for assessing the accumulation of microplastics in the sea surface microlayer (SML) of estuarine systems. *Scientific Reports*, 8(1), 1-11.
- Andrady, A.L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596-1605.
- Bahl, S., Dolma, J., Singh, J.J., & Sehgal, S. (2021). Biodegradation of plastics: A state of the art review. *Materials Today: Proceedings*, 39(1), 31-34.
- Besseling, E., Wegner, A., Fockema, E.M., Van Den Heuvel-Greve, M.J., & Koelmans, A.A. (2013). Effects of microplastic on fitness and PCB bioaccumulation by the lugworm *Arenicola marina* (L.). *Environmental Science and Technology*, 47(1), 593-600. <https://doi.org/10.1021/es302763x>
- Bhattacharya, P. (2016). A review on the impacts of microplastic beads used in cosmetics. *Acta Biomedica Scientia*, 3(1), 47-52.
- Browne, M.A., Rochman, C.M., Browne, M., Halpern, B., Hentschel, B., Hoh, E., & Thompson, R. (2013). Policy: Classify plastic waste as hazardous. *Nature*, 494(7436), 169-171.
- Carpenter, E.J., & Smith Jr, K. (1972). Plastics on the Sargasso Sea surface. *Science*, 175(4027), 1240-1241.
- Carpenter, E.J., Anderson, S.J., Harvey, G.R., Miklas, H.P., & Peck, B.B. (1972). Polystyrene spherules in coastal waters. *Science*, 178(4062), 749-750.
- Cole, G., & Sherrington, C. (2016). *Study to quantify pellet emissions in the UK- Eunomia*: Bristol, UK.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T.S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2588-2597.
- Costa, M.F., Ivar do Sul, J.A., Silva-Cavalcanti, J.S., Araújo, M.C.B., Spengler, Â., & Tourinho, P.S. (2010). On the importance of size of plastic fragments and pellets on the strandline: a snapshot of a Brazilian beach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 168(1), 299-304.
- Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J.I., Irigoien, X., Úbeda, B., Hernández-León, S., Palma, Á.T., Navarro, S., García-de-Lomas, J., & Ruiz, A. (2014). Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(28), 10239-10244.
- Crawford, C.B., & Quinn, B. (2016). *Microplastic pollutants*. Elsevier Limited.
- Depledge, M., Galgani, F., Panti, C., Caliani, I., Casini, S., & Fossi, M. (2013). Plastic litter in the sea. *Marine Environmental Research*, 92, 279-281.
- Eerkes-Medrano, D., Thompson R.C., & Aldridge, D.C. (2015). Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritization of research needs. *Water Research*, 75, 63-82.
- Fendall, L.S., & Sewell, M.A. (2009). Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers. *Marine Pollution Bulletin*, 58(8), 1225-1228.
- Filiciotto, L., & Rothenberg, G. (2021). Biodegradable Plastics: Standards, Policies, and Impacts. *ChemSusChem*, 14, 56-72.
- Fossi, M.C., Panti, C., Guerranti, C., Coppola, D., Giannetti, M., Marsili, L., & Minutoli, R. (2012). Are balen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean finwhale (*Balaenopteraphysalus*). *Marine Pollution Bulletin*, 64(11), 2374-2379. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.08.013>
- Fotopoulou, K.N., & Karapanagioti, H.K. (2017). *Degradation of Various Plastics in the Environment*. In: Takada, H., Karapanagioti, H. (eds) *Hazardous Chemicals Associated with Plastics in the Marine Environment. The Handbook of Environmental Chemistry*, vol 78. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/698_2017_11

- Gago, J., Carretero, O., Filgueiras, A.V., & Viñas, L. (2018). Synthetic microfibers in the marine environment: A review on their occurrence in seawater and sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 365-376.
- Gall, S.C., & Thompson, R.C. (2015). The impact of debris on marine life. *Marine Pollution Bulletin*, 92(1-2), 170-179.
- Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulations of microplastic on shorelines worldwide, sources and sinks. *Environmental Science and Technology*, 45, 91759179.
- Gerdts, G. (2019). Defining the BASElines and standards for MicroplasticsANalyses in European waters: Final report Project BASEMAN.
- GESAMP (2019) www.gesamp.org (Erişim tarihi: Nisan 2023)
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. doi: 10.1126/sciadv.1700782
- Godswill A. C., & Godspel, A. C. (2019). Physiological Effects of Plastic Wastes on the Endocrine System (Bisphenol A, Phthalates, Bisphenol S, PBDEs, TBBPA). *International Journal of Bioinformatics and Computational Biology*, 4(2), 11-29.
- Haegerbaeumer, A., Mueller, M-T., Fueser, H., & Traunspurger, W. (2019). Impacts of micro- and nano-sized plastic particles on benthic invertebrates: a literature review and gap analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00017>
- Hirai, H., Takada, H., Ogata, Y., Yamashita, R., Mizukawa, K., Saha, M., Kwan, C., Moore, C., Gray, H., & Laursen, D. (2011). Organic micropollutants in marine plastics debris from the open ocean and remote and urban beaches. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1683-1692.
- <https://environment.govt.nz/acts-and-regulations/regulations/microbeads-regulations> (Erişim tarihi: Nisan, 2023)
- <https://www.gov.uk/government/news/world-leading-microbeads-ban-comes-into-force> (Erişim tarihi: Nisan, 2023)
- <https://www.tuca.gov.tr/sayfa/turkiye-cevre-ajansi-baskanliginin-sistemdeki-rolu> (Erişim tarihi: Nisan, 2023)
- Kara, N., Sarı Erkan, H., & Engin, G. (2022). Characterization and Removal of Microplastics in Landfill Leachate Treatment Plants in Istanbul, Türkiye. *Analytical Letters*. <https://doi.org/10.1080/00032719.2022.2137808>
- Kay, P., Hiscoe, R., Moberley, I., Bajic L., & McKenna, N. (2018). Wastewater treatment plants as a source of microplastics in river catchments. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 20264–20267.
- Kosior, E., & Crescenzi, I. (2020). *Solutions to the plastic waste problem on land and in the oceans, in Plastic Waste and Recycling: Environmental Impact, Societal Issues, Prevention, and Solutions*, 415-446, Academic Press.
- Kögel, T., Bjoroy, O., Toto, B., Bienfait, A.M., & Sanden, M. (2020). Micro- and nanoplastic toxicity on aquatic life: determining factors. *Science of the Total Environment*, 709, 136050. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136050>
- Lassen, C., Hansen, S.F., Magnusson, K., Norén, F., Hartmann, N.I.B., Jensen, P.R., Nielsen, T.G., & Brinch, A. (2015). *Microplastics-Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark*. Ministry of Environment and Food of Denmark, Environmental Protection Agency, Environmental Project No. 1793, 2015.
- Lee, J., Hong, S., Song, Y.K., Hong, S.H., Jang, Y.C., Jang, M., Heo, N.W., Han, G.M., Lee, M.J., & Kang, D. (2013). Relationships among the abundances of plastic debris in different size classes on beaches in South Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 77(1-2), 349-354.

- Leslie, H., Van der Meulen, M., Kleissen, F., & Vethaak, A. (2011). Microplastic litter in the Dutch marine environment. *IVM Institute for Environmental Studies*, 97.
- Leslie, H.A., Brandsma, S.H., van Velzen, M.J.M., & Vethaak, A.D. (2017). Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environment International*, 101, 133-142.
- Lintsen, H.W., Hollestelle, M.J., & Höllgens, H.N.M. (2017). *The plastics revolution: how the Netherlands became a global player in plastics*. Technology, Innovation & Society, Eindhoven, Foundation for the History of Technology.
- Masura, J., Baker, J., Foster, G., & Arthur, C. (2015). *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments*. NOAA Marine Debris Division Silver Spring, MD.
- McDermid, K.J., & McMullen, T.L. (2004). Quantitative analysis of small-plastic debris on beaches in the Hawaiian archipelago. *Marine Pollution Bulletin*, 48(7-8), 790-794.
- Mitrano D. M., & Wohlleben, W. (2020). Microplastic regulation should be more precise to incentivize both innovation and environmental safety. *Nature Communications*, 11, 5324.
- Mofijur, M., Ahmed, S.F., Ashrafur Rahman, S.M., Siddiki, S.K. Saiful Islam, A.B.M., Shahabuddin, M., Hwai Chyuan Ong, H.C., Mahlia, T.M.I., Djavanroodi, F., & Show, P.L. (2021). Source, distribution and emerging threat of micro- and nanoplastics to marine organism and human health: Socio-economic impact and management strategies, *Environmental Research*, 195, 110857.
- Moore, C.J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research*, 108(2), 131-139.
- Moore, C.J., Moore, S.L., Leecaster, M.K., & Weisberg, S.B. (2001). A comparison of plastic and plankton in the North Pacific central gyre. *Marine Pollution Bulletin*, 42(12), 1297-1300.
- Muenmee, S., Chiemchaisri, W., & Chiemchaisri, C. (2015). Microbial consortium involving biological methane oxidation in relation to the biodegradation of waste plastics in a solid waste disposal open dump site. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 102, 172-181.
- Napper, I.E., & Thompson R.C. (2020). *Plastic Debris in the Marine Environment: History and Future Challenges*. *Global Challenges*, 4(6), 1900081. <https://doi.org/10.1002/gch2.201900081>
- Nava, V., & Leoni, B. (2021). A critical review of interactions between microplastics, microalgae and aquatic ecosystem function. *Water Research*, 188, 116476.
- Ng, K., & Obbard, J.P. (2006). Prevalence of microplastics in Singapore's coastal marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 52(7), 761-767.
- Nizzetto, L., Bussi, G., Futter, M.N., Butterfield, D., & Whitehead, P.G. (2016). A theoretical assessment of microplastic transport in river catchments and their retention by soils and river sediments. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 18, 1050-1059.
- OECD (2022). <https://www.oecd.org/environment/plastic-pollution-is-growing-relentlessly-as-waste-management-and-recycling-fall-short.htm>
- Okan, M., Aydin, H.M., & Barsbay, M. (2018). Current approaches to waste polymer utilization and minimization: a review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 94(1), 8-21. <https://doi.org/10.1002/jctb.5778>
- Okoye, C.O., Addey, C.I., Oderinde, O., Okoro, J.O., Uwamungu, J.Y., Ikechukwu, C.K., Okekek, E.S., Ejeromedoghene, O., & Odii, E.C. (2022). Toxic Chemicals and Persistent Organic Pollutants Associated with Micro-and Nanoplastics Pollution. *Chemical Engineering Journal Advances*, 11, 100310.

- Plastics Europe, 2019. Plastics - the facts 2019. Available at: https://www.plasticseurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL_web_version_Plastics_the_facts2019_14102019.pdf
- Reisser, J., Shaw, J., Wilcox, C., Hardesty, B.D., Proietti, M., Thums, M., & Pattiaratchi, C. (2013). Marine plastic pollution in waters around Australia: characteristics, concentrations, and pathways. *PLoS one*, 8(11), e80466.
- Rocha-Santos, T., & Duarte, A.C. (2015). A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 65, 47-53.
- Rochman, C.M., Brookson, C., Bikker, J., Djuric, N., Earn, A., Bucci, K., Athey, S., Huntington, A., McIlwraith, H., Munno, K., Frond, H.D., Kolomijeca, A., Erdle, L., Grbic, J., Bayoumi, M., Borrelle, S.B., Wu, T., Santoro, S., Werbowski, L.M. et al. (2019). Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38(4), 703-711. <https://doi.org/10.1002/etc.4371>
- Rodrigues, J.P., Duarte, A.C., Santos-Echeandía, J., & Rocha-Santos, T. (2019). Significance of interactions between microplastics and POPs in the marine environment: A critica overview. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 111, 252-260.
- Sari Erkan, H., Bakaraki Turan, N., Albay, M., & Engin, G. (2021). Microplastic pollution in seabed sediments at different sites on the shores of Istanbul-Türkiye: Preliminary results. *Journal of Cleaner Production*, 328, 129539.
- Schlachter, C. T. (2019). Regulation *Trends on Plastic Bag Bans and Preemptions*. Working Paper, http://www.christinaphd.com/wp-content/uploads/2019/12/SchlachterC_PlasticBag_Reg_2019_Dec.pdf.
- Senko, J. F., Nelms, S. E., Reavis, J. L., Witherington, B., Godley, B.J., & Wallace, B. P. (2020). Understanding individual and population-level effects of plastic pollution on marine megafauna. *Endangered Species Research*, 43, 234-252.
- Stolte, A., Forster, S., Gerdt, G., & Schubert, H. (2015). Microplastic concentrations in beach sediments along the German Baltic coast. *Marine Pollution Bulletin*, 99, 216-229.
- Teuten, E.L., Rowland, S.J., Galloway, T.S., & Thompson, R.C. (2007). Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants. *Environmental Science & Technology*, 41(22), 7759-7764.
- Tokiwa, Y., Calabia, B. P., Ugwu, C. U., & Aiba, S. (2009). Biodegradability of Plastics. *International Journal of Molecular Science*, 10(9), 3722-3742.
- Usman, S., AbdullRazis, A.F., Shaari, K., Azmai, M.N.A., Saad, M.Z., Mat Isa, N., & Nazarudin, M.F. (2022). The Burden of Microplastics Pollution and Contending Policies and Regulations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 6773. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116773>
- World Economic Forum (2016). *The New Plastic Economy, Rethinking the future of plastics*. 1-36. https://www.greenpeace.org/static/planet4-philippines-stateless-release/2019/05/b1e5a437-b1e5a437-wef_the_new_plastics_economy.pdf
- Yamashita, R., & Tanimura, A. (2007). Floating plastic in the Kuroshio current area, western North Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 4(54), 485-488.

Yazarlar Hakkında / About Authors

Prof. Dr. Güleda ENGİN | Yıldız Teknik Üniversitesi | [gengin\[at\]yildiz.edu.tr](mailto:gengin[at]yildiz.edu.tr) | ORCID: 0000-0002-3841-8440

Güleda Engin, lisans öğrenimini 1992 senesinde Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde tamamlamıştır. Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans tez aşamasında iken Millî Eğitim Bakanlığı bursu ile İngiltere'ye gitmiştir. Hertfordshire Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans tezini 1997'de tamamladıktan sonra Imperial College, Kimya ve Proses Mühendisliği Bölümü'nde doktora tezini 2000 yılında tamamlayarak doktor unvanını almıştır. 2001 yılı Mart ayında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü kadrosuna katılan Güleda Engin, Kasım 2005'te doçent, Haziran 2012'de profesörlük unvanına hak kazanmıştır. Hâlen Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Bölüm Başkanlığı görevini yürütmektedir. İlgi alanları arasında aerobik/anaerobik atıksu arıtımı, membran biyoreaktörler, mikrokirletici giderimi ve mikroplastik kirliliği bulunmaktadır.

Prof. Dr. Güleda ENGİN | Yıldız Technical University | [gengin\[at\]yildiz.edu.tr](mailto:gengin[at]yildiz.edu.tr) | ORCID: 0000-0002-3841-8440

Güleda Engin completed her undergraduate studies at Dokuz Eylül University, Department of Environmental Engineering in 1992. While working on her master's thesis at Boğaziçi University, Institute of Environmental Sciences, she went to the UK with a scholarship from the Ministry of National Education. After completing her MPhil thesis at the University of Hertfordshire, Department of Civil Engineering in 1997, she completed her doctoral studies at Imperial College, Department of Chemical and Process Engineering in 2000. In March 2001, Güleda Engin joined the academic staff of Gebze Institute of Technology and was promoted to associate professor in November 2005 and to full professor in June 2012. She is currently the Head of the Department of Environmental Engineering at Yıldız Technical University. Her research interests include aerobic/anaerobic wastewater treatment, membrane bioreactors, micropollutant removal and microplastic pollution.

Doç. Dr. Hanife SARI ERKAN | Yıldız Teknik Üniversitesi | [hsari\[at\]yildiz.edu.tr](mailto:hsari[at]yildiz.edu.tr) | ORCID: 0000-0003-1701-6482

Hanife Sarı Erkan, lisans derecesini 2008 yılında Selçuk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden almıştır. Yüksek lisansını 2012 yılında İstanbul Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) Çevre Mühendisliği Bölümü'nde, doktorasını ise 2017 yılında YTÜ'de aynı bölümde tamamladı. Nisan 2020'de Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde doçent oldu. Doç. Dr. Sarı Erkan birçok makale yayınlamış ve çeşitli ulusal ve uluslararası konferanslara katılmıştır. Araştırma alanları arasında aerobik atıksu arıtımı, membran biyoreaktörler, elektrokimyasal endüstriyel atıksu arıtma teknolojileri ve atıksu ve okyanuslardaki mikroplastikler yer almaktadır. SCI-indeksli dergilerde 45'ten fazla makalesi yayınlanmıştır. Doç Dr. Sarı Erkan, Mart 2020 - Haziran 2022 tarihleri arasında TÜBİTAK tarafından desteklenen Marmara Denizi ve İstanbul Boğazı'ndaki mikroplastik kirliliği üzerine bir proje yürütmüştür.

Doç. Dr. Hanife SARI ERKAN | YıldızTechnicalUniversity | [hsari\[at\]yildiz.edu.tr](mailto:hsari[at]yildiz.edu.tr) | ORCID: 0000-0003-1701-6482

Hanife Sari Erkan got her BSc degree in 2008 from the Department of Environmental Engineering at Selcuk University, Türkiye. She completed her MSc degree in the Department of Environmental Engineering at the Yildiz Technical University (YTU), Istanbul in 2012 and her PhD in the same department at YTU in 2017. She became an associate professor in April 2020 in the Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering at Yildiz Technical University. Assoc. Prof. Dr. Sari Erkan has published many papers and participated in several national and international conferences. Her research areas include aerobic wastewater treatment, membrane bioreactors, electrochemical industrial wastewater treatment technologies and microplastics in wastewater and oceans. She published more than 45 articles in SCI-indexed Journal. Assoc. Prof. Dr. Sari Erkan was conducted a project on microplastic pollution in the Marmara Sea and Istanbul Bosphorus which funded by TUBITAK between March 2020 and June 2022.

SIFIR ATIK SERÜVENİ

ZERO WASTE JOURNEY

Okan BAHİRİOĞLU

SIFIR ATIK SERÜVENİ

Okan BAHRIOĞLU

*Sıfır Atık Uygulamaları Daire Başkanı
T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı*

Özet

Dünya genelinde var olan tüketim çılgınlığına dur demek insanlık olarak hepimizin asli görevidir. Tam da bu noktada 2017 yılında başlattığımız sıfır atık hareketi ile bir çok çevre sorununun çözümü noktasında harekete geçilmiş oldu. Sıfır atık hareketi ile sürdürülebilir bir kaynak ve atık yönetimini benimsenerek, israftan kaçınmak, atığın önlenmesi, azaltılması, yeniden kullanılması ve geri dönüştürülmesi hedeflenmiş oldu. Elde edilen kazanımlarla hem çevre korunmuş hem de ekonomimize ciddi katkılar sağlanmış oldu. Göstermiş olduğumuz bu çaba diğer dünya ülkelerinde de karşılık buldu ve Birleşmiş Milletler 77’nci Genel Kurulunda sıfır atık ile ilgili kararlar alındı. 30 Mart’ın Uluslararası Sıfır Atık Günü ilan edilmesi ile artık tüm dünyaya yayılan sıfır atık hareketi, insanlığın çevrenin korunmasında atmış olduğu en önemli adımlardan biri olmuştur.

Anahtar Kelimeler

Sıfır atık, Geri dönüşüm, Yeniden kullanım, Atık yönetimi, Sürdürülebilirlik, 30 Mart

ZERO WASTE JOURNEY

Okan BAHİRİOĞLU

Head of Zero Waste Implementation Department

Republic of Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change

Abstract

It is our primary duty as humanity to put a stop to the consumption frenzy around the world. At this point, with the zero waste movement we launched in 2017, we have taken action to solve many environmental problems. By adopting a sustainable resource and waste management with the zero waste movement, it was aimed to avoid waste, prevent, reduce, reuse and recycle waste. With the gains achieved, both the environment was protected and serious contributions were made to our economy. This effort we have shown has been reciprocated in other countries of the world and decisions on zero waste were taken at the 77th General Assembly of the United Nations. With March 30 being declared International Zero Waste Day, the zero waste movement, which has now spread all over the world, has been one of the most important steps taken by humanity in protecting the environment.

Keywords

Zero waste, Recycling, Reuse, Waste management, Sustainability, March 30

1. Giriş

Tüm dünyada endişe verici boyutlara ulaşan çevre kirliliği, insanlığın şu anda yaşamakta olduğu en önemli sorunlardan biridir. Dünya genelinde var olan tüketim çılgınlığı doğal kaynaklarımızı tüketiyor ve ekosistemimize ciddi zararlar veriyor. Hâlihazırdaki bu üretim ve tüketim çılgınlığı durdurulamazsa gelecek nesillerimize yaşanabilir bir çevre bırakma fikri hayal olacaktır.

Dünya Bankası verilerine göre dünyada 2020 yılında yaklaşık 2,24 milyar ton belediye atığı oluşmuştur. Dünya çapında, kişi başına günde üretilen atık, 0,74 kilogram olup bu değer 0,11 ila 4,54 kilogram arasında değişmektedir. Mevcut eğilimler devam ederse, 2050 yılına kadar yılda 3,88 milyar ton atık oluşması beklenmektedir.

Ülkemizde 1995 yılında oluşan belediye atığı miktarı 17 milyon ton dolaylarında iken 2020 yılında 32,3 milyon tona ulaşmıştır. 2023 yılında ise bu miktarın 38 milyon tonun üzerine çıkacağı öngörülmektedir. Atık oluşumunu önlemek, atıklarımızı kontrol altına almak, atıkları geri dönüşüm sürecine sokmak, gelecek nesillere tertemiz bir dünya bırakmak için Ülkemizde uzun yıllardır başarılı çalışmalar yürütülmektedir.

Dünya sağlık örgütünün verilerine göre Dünya’da yıllık üretimin 3’te 1’i israf edilmektedir. Pek çok ülke bu konuda çeşitli çözüm arayışları içerisinde.

Tam da bu noktada kaynaklarımızı korumak, gelecek nesillerin bir emaneti gibi görüp emanete sahip çıkmak için “Al, Kullan, At” felsefesi ile hareket eden doğrusal ekonomiden, üretim ve tüketim süreçlerinde kaynakların korunduğu bir model olan döngüsel ekonomiye geçiş yapmak için sıfır atık yaşam modelini benimsenmesi gerekmektedir.

2. Proje Nasıl Başladı?

Türkiye olarak yürütmüş olduğumuz çalışmaların sürdürülebilirliğini sağlamak, kaynakları verimli kullanmak, gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmak amacıyla ülkemizin vizyon projesi Sıfır Atık Projesini 2017 yılında başlatılmıştır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlık Binası, Cumhurbaşkanlığı Külliyesi ve Türkiye Büyük Millet Meclisi binasında pilot olarak hayata geçirilen proje dalga dalga yayılmıştır. Sıfır atık hareketi ile Ülkemizin diğer ülkelere, önderlik etmek, şehirlere ilham vermek için bir rol modeli oluşturması ve kentlerimizde sıfır atığın uygulanması, kamuoyunun bilinçlendirilmesi, farkındalık ve sosyal birlikteliğin oluşturulması ve iyi uygulamaların tanıtılması misyonu doğrultusunda faaliyet göstermeyi amaçlanmıştır.

Türkiye Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planımıza göre ülkemizde toplanan atıkların yaklaşık %50’sini organik, %25’ini ise plastik, cam, kağıt ve metal atıklar oluşturmaktadır. Görüldüğü üzere atıklarımızın çok büyük bir kısmı değerlendirilebilir, yani geri kazanılarak hammadde olabilecek, yeni ürünlere dönüştürülebilecek nitelikte atıklardır.

Sıfır atık hareketinin 5. yılını geride kalmıştır. Bu süreçte 81 ilimiz için il sıfır atık yönetim planları oluşturulmuş, sektörlere yönelik 11 adet uygulama kılavuzu hazırlanmıştır. Sistem kurulan bina sayısı 168 bine, eğitim alan kişi sayısı 19,4 milyona ulaştı, 2017 yılında %13 olan geri kazanım oranı ise %30,13'e yükselmiştir. 2023 yılında bu oranın %35'e ve 2035 yılında ise %60 seviyelerine çıkarılması hedeflenmiştir.

Hali hazırda 25,4 milyon ton kağıt-karton, 6,6 milyon ton plastik, 2,6 milyon ton cam, 0,7 milyon ton metal ve 10,2 milyon ton organik ve diğer geri dönüştürülebilir atıklar olmak üzere toplamda yaklaşık 45,5 milyon ton geri kazanılabilir atık ekonomiye kazandırılmıştır.

Toplanan atıklardan, 96 milyar TL ekonomik kazanç sağlanmış, 703 milyon kWh enerji tasarrufu, 711 milyon m³ su tasarrufu sağlanmıştır. İlave olarak, 82 milyon m³ depolama alanından tasarruf sağlanmış, 4,9 milyon ton sera gazı salımı önlenmiş, 432 milyon ağaç kurtarılmıştır.

Ülkemizde %50 oranında oluşan biyobozunur atıkların oluşumunun azaltılması ve en iyi şekilde yönetimi sağlandığı takdirde atık sorunu büyük ölçüde tamamlanmış olacaktır. Bu kapsamda yapılan düzenlemelerle biyobozunur atıkların ayrı biriktirilmesine yönelik alt yapı çalışmaları yapılmaktadır, iyi uygulamalar kapsamında pazar yerleri ve hallerde atık durumundaki sebze ve meyveler ayrılarak kullanılabilir durumda olanlar ihtiyaç sahiplerine ulaştırılmaktadır, kullanılamayacak durumda olanlar ise kompost işlemine tabi tutulmaktadır. Bununla birlikte Sıfır atık bahçeleri, sıfır atık kafeleri, sıfır atık marketleri ve sıfır atık kulüpleriyle sıfır atığı yaygınlaştırılmaktadır.

Tüm dünyada plastik kirliliğinin tehdit oluşturduğu günümüzde 8 milyar nüfuslu dünyamızda kişi başına günde bir pet şişede su tüketildiği düşünüldüğünde, yılda 30 milyon ton plastik atık oluştuğu görülmektedir. Bu atığın oluşumunun engellenmesi durumunda yaklaşık 1 milyar ton sera gazı salımını da önlenmiş olacaktır.

Ülkemizde de Plastik Poşetlerin Ücretlendirilmesi Uygulaması 1 Ocak 2019 tarihinden itibaren yürütülmektedir. Söz konusu uygulama ile 2019-2022 yıllarında plastik poşet kullanımında yaklaşık %62,5'luk azalma gerçekleştirilmiş ve bu azalma oranıyla plastik poşet kaynaklı 760.000 ton plastik atığın oluşumu ile yaklaşık 31.500 ton sera gazı salınımı da engellemiştir. Ayrıca, halkın konuya ilişkin bilgi ve farkındalık seviyesi oluşmuş, ciddi anlamda davranış değişikliği gerçekleşmiş ve toplumda çok kullanımlık taşıma ekipmanı (bez çanta, file vb.) kullanımı yaygınlaştırılmıştır.

3. Sonuç

Sıfır atık, aynı zamanda tüm kaynakların sürdürülebilir şekilde kullanılması için sistemlerin yeniden tasarlanması ve alışkanlıkların değiştirilmesi ile ilgilidir. Bu, atığın tasarlandığı, ürünlerin uzun süre dayanacak şekilde üretildiği ve doğal sistemlere saygı duyulduğu ve korunduğu döngüsel bir ekonomiye doğru ilerlemekle ilgilidir. Ülkemizin yeşil kalkınma alanındaki vizyonuna katkı sağlamada ve 2053 iklim nötr hedefine ulaşmasında döngüsel ekonomiye geçişin sağlanması oldukça önemli ve önceliklidir.

Sıfır atık, Birleşmiş Milletlerin Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarından 9, 11, 12, 13 ve 14. Hedeflerinin ilerlemesine de katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda da BM Genel kurulunda “Sürdürülebilir Kalkınma için 2030 Gündemi’ni İlerletmek için Sıfır Atık Girişimlerinin Teşvik Edilmesi” başlıklı karar oybirliğiyle kabul edilmiştir. 105 ülkenin ortak sunucu olduğu karar, sıfır atık girişimleri yoluyla sürdürülebilir kalkınma çabalarını ele almaktadır. Ayrıca kararda, en iyi uygulamaların ve başarı öykülerinin yaygınlaştırılması yoluyla yerel ve ulusal sıfır atık girişimlerinin teşvik edilmesi, üye ülkeler, BM sisteminin kuruluşları ve diğer uluslararası ve bölgesel kuruluşlar her düzeyde sıfır atık girişimlerini uygulamaya teşvik edilmiş ve 30 Mart günü “Uluslararası Sıfır Atık Günü” ilan edilmiştir.

30 Mart’ın uluslararası Sıfır atık günü ilan edilmesiyle tüm dünyanın katılım ve katkı sağlaması küresel bir akımın başlangıcı olması da hayati bir öneme sahiptir. Bu da sıfır atığın benimsendiğini ve başarısını bir kat daha arttırdığının kanıtıdır.

Dünyamızın karşı karşıya kaldığı risk ve tehditlerin her biri ile mücadele etmenin en temel insani görevlerimizden biri olduğunun bilincindeyiz. Çevreyi korumak, farkındalık oluşturmak aynı zamanda bir zihniyet değişimini de gerektirmektedir.

4. Kaynaklar / References

<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35998> (21.07.2023)

<https://www.tarimorman.gov.tr/Haber/4141/Dunya-Genelinde-Uretilen-Gidanin-Ucte-Biri-Israf-Ediliyor>(21.07.2023)

<https://ambalaj.org.tr/tr/ambalaj-ve-cevre-daha-az-enerji-daha-az-malzeme-daha-cok-ambalaj> (21.07.2023)

Yazar Hakkında / About Author

Okan BAHİRİOĞLU | Sıfır Atık Uygulamaları Daire Başkanı |

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı | okan.bahrioglu[at]csb.gov.tr

Okan BAHİRİOĞLU, 2008 yılında Atatürk Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2010 yılında Çevre ve Orman Bakanlığı Kars İl Müdürlüğünde meslek hayatına başladı. 2 yıl çalıştıktan sonra 2012-2017 yılları arasında Şanlıurfa İl Müdürlüğünde görev yaptı. Ardından 2017 yılında Bakanlık Merkez teşkilatında farklı birimlerde görev yaptıktan sonra 2019 yılından itibaren belediye atıkları, özel atıkların yönetimi şubelerinde mühendis olarak görev yaptı. 2022 yılında Sıfır Atık Envanter ve Eğitim Şube Müdürlüğü görevinin ardından Sıfır Atık Uygulamaları Daire Başkanı olarak atanmış ve halen bu görevi yürütmektedir.

Okan BAHİRİOĞLU | Head of Zero Waste Implementation Department |

Republic of Türkiye Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change |

okan.bahrioglu[at]csb.gov.tr

Okan BAHİRİOĞLU graduated from Atatürk University, Department of Environmental Engineering in 2008. In 2010, he started his career in Kars Provincial Directorate of the Ministry of Environment and Forestry. After working for 2 years, he worked in Şanlıurfa Provincial Directorate between 2012-2017. After working in different department in the Central Organization of the Ministry in 2017, he worked as an engineer in the municipal waste and special waste management branches since 2019. In 2022, after working as Zero Waste Inventory and Training Branch Manager, he was appointed as the Head of Zero Waste Implementation Department and he is still carrying out this duty.

**SIFIR ATIK YÖNETİMİ
VE
DÖNGÜSEL EKONOMİ**

ZERO WASTE MANAGEMENT AND CIRCULAR ECONOMY

Aybike MISİR
Osman Atilla ARIKAN

SIFIR ATIK YÖNETİMİ VE DÖNGÜSEL EKONOMİ

Aybike MISIR

İstanbul Teknik Üniversitesi

Osman Atilla ARIKAN

İstanbul Teknik Üniversitesi

Özet

İklim değişikliğiyle mücadele ve kaynakların hızla tükenmesi dünyada sıfır atık yönetimi ve döngüsel ekonominin öncelikli gündem olmasına neden olmuştur. Bu çalışmanın amacı döngüsel ekonomi ve sıfır atık yönetimi konularında dünyadaki ve ülkemizdeki yaklaşımların ortaya konmasıdır. Avrupa Birliği, üye ülkelerinin döngüsel ekonomiye geçişlerini ve sürdürülebilir atık yönetimi modelleri geliştirmelerini sağlamak için mevzuat altyapısını geliştirmekte, ayrıca eylem planları hazırlamakta ve uygulamaktadır. Ülkemizde de dünyadaki gelişmeler yakından takip edilmekte, mevzuat altyapısı bu doğrultuda geliştirilmektedir. Ayrıca mevcut mevzuat ve eylem planlarıyla iklim değişikliği ile mücadele edilmesi ve döngüsel ekonomiye geçilmesi için gerekli uygulamalar konusunda aksiyon alınmaktadır. Çalışmada dünyadaki Sıfır Atık Yönetimi ve Döngüsel Ekonomiye yönelik genel çerçeve ve ülkelerin benimsediği prensipler, ülkemizin bu doğrultudaki uygulamaları, son yıllarda yaşanan mevzuat gelişmeleri ve alınan aksiyonlar değerlendirilmiştir. Almanya, İtalya, İngiltere ve ABD gibi ülkelerdeki uygulamalarla, ülkemizdeki Sıfır Atık Projesi, Sıfır Atık Mavi Projesi, Zorunlu Depozito Yönetim Sistemi ve Yeşil Mutabakat Eylem Planı ile bazı sektörlerdeki döngüsel ekonomiye geçiş kapsamında örnek uygulamalar verilmiştir. Sıfır atık yönetimi ve döngüsel ekonomi birbiriyle doğrudan ilişkili konular olup, atık ve kaynak yönetiminde döngüsel ekonomi yaklaşımı benimsendiğinde kaynak tüketimi ve birincil hammadde kullanımının azalması sağlanacaktır. Ayrıca iklim değişikliği ile mücadele ve BM Kalkınma Programı'nın Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarının önemli bir kısmına katkı sağlanacaktır.

Anahtar Kelimeler

Sıfır atık yönetimi, Döngüsel ekonomi, Sürdürülebilirlik, İklim değişikliği, Geri dönüşüm, Depozito yönetim sistemi

ZERO WASTE MANAGEMENT AND CIRCULAR ECONOMY

Aybike MISİR

Istanbul Technical University

Osman Atilla ARIKAN

Istanbul Technical University

Abstract

Climate change and the consumption of resources have caused to be focused on zero waste management and circular economy. The aim of this study is to reveal the approaches to circular economy and zero waste management in the world and in our country. The European Union develops the legislative infrastructure, also prepares and implements action plans to enable its member countries to transition to circular economy and develop sustainable waste management models. In our country, the developments in the world are closely followed, and the legislative infrastructure is developed in this direction. In addition, actions are taken on the necessary practices to fight against climate change and transition to a circular economy with the current legislation and action plans. In the study, the general framework for Zero Waste Management and Circular Economy in the world and the principles adopted by the countries, the practices of our country in this direction, the legislative developments in recent years and the actions taken are evaluated. Practices in countries such as Germany, Italy, England and the USA, as well as the Zero Waste Project, Zero Waste Blue Project, Mandatory Deposit Management System and Green Deal Action Plan in our country, and in some sectors within the scope of transition to circular economy are given. Zero waste management and circular economy are directly related issues, and when a circular economy approach is adopted in waste and resource management, resource consumption and primary raw material usage will be reduced. In addition, a significant part of the Sustainable Development Goals of the UN Development Program and the fight against climate change will be contributed.

Keywords

Zero waste management, Circular economy, Sustainability, Climate change, Recycling, Deposit management system

1. Giriş

Gelişen ve değişen dünyada, günlük yaşantının devamının sağlanması için teknolojik ve diğer imkânların artmasıyla hayat kolaylaşırken nüfus artışı, tüketim alışkanlıklarının değişmesi, atık üretiminin artması ile çevre sağlığının, ekolojik dengenin ve doğal kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması giderek zorlaşmaktadır. Ekonomiye yıllık bazda aktarılan kaynak miktarı 100 milyar tondan fazla olup bu kaynakların %60'ından fazlası atık olmakta ve bu da sera gazı emisyonunu arttırmaktadır (Hedefler İçin İş Dünyası Platformu, DCube Döngüsel Ekonomi Kooperatifi, 2020). Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de doğru şekilde yönetilmediğinde atıklar önemli problemlere yol açabilmektedir. Geçmişte atık yönetimine ilişkin uygulamalar yalnızca istenmeyenin ortadan kalkması için bertaraf etme odaklıyken, günümüzde atık yönetiminin bundan çok daha fazlası olduğunun farkına varılmıştır. Öncelikle atığın önlenmesine, önlenemeyen kısmının yeniden kullanımı, geri kazanımı veya geri dönüşümünün sağlanmasına odaklanılmaya başlanmıştır. Böylece etkin bir atık yönetimi modeliyle çevre kirliliğinin önüne geçilmesinin yanı sıra, kaynak tasarrufu ve ekonomik fayda sağlanmaktadır. Atık yönetimini kaynak yönetimi olarak benimseyen döngüsel ekonomi konsepti, atık yönetiminde doğru uygulamalar açısından yol gösterici olmaktadır. Bu bağlamda 2017 yılında başlatılan Sıfır Atık Projesi ile ülkemizde de Sıfır Atık Yönetimi ilkeleri benimsenmiş olup, döngüsel ekonomiye geçişte atıkların en öncelikli başlıklardan biri olduğu bilinciyle her geçen gün yeni gelişmeler yaşanmaktadır.

2. Sıfır Atık Yönetimi ve Döngüsel Ekonomi

2.1. Sıfır Atık Yönetimi

Ülkemizde 2019 yılında yayımlanan Sıfır Atık Yönetmeliği'nde sıfır atık “Üretim, tüketim ve hizmet süreçlerinde atık oluşumunun önlenmesi/azaltılması, yeniden kullanıma öncelik verilmesi, oluşan atıkların ise kaynağında ayrı biriktirilerek toplanması ve geri dönüşüm ve/veya geri kazanımının sağlanarak bertarafa gönderilecek atık miktarının azaltılması suretiyle çevre ve insan sağlığının ve tüm kaynakların korunmasını hedefleyen yaklaşımı”, sıfır atık yönetim sistemi ise “*Atık oluşumunun önlenmesinden başlayarak, atıkların azaltılması, kaynağında ayrı biriktirilmesi, geçici depolanması, ayrı toplanması, taşınması ve işlenmesi süreçlerinin hepsini içine alan, fayda ve maliyet unsurları göz önünde bulundurularak oluşturulan yönetim sistemi*” olarak tanımlanmıştır (Mevzuat1, 2019). Sıfır Atık Yönetiminin ilk prensibi atığın oluşmadan önlenmesi olup, önlenemeyen kısmının mümkün olduğunca değerlendirilmesi esastır. Avrupa Birliği (AB) atığın önlenmesi, geri dönüşümün yaygınlaşması, bertarafa giden atık miktarının önemli ölçüde azaltılması konularında gerekli mevzuat altyapısını oluşturarak üye ülkelerin başarılı bir şekilde Sıfır Atık Yönetimine geçmelerini desteklemektedir. Bu kapsamda üye ülkeler de kendi stratejilerini ve aksiyon planlarını oluşturmaktadır.

2023 yılında yayınlanan bir raporda, Almanya'da atık azaltımına yönelik aşağıda yer alan başlıklara öncelik verildiği belirtilmiştir:

- Sürdürülebilir tüketim modellerinin desteklenmesi ve teşvik edilmesi,
- Dayanıklı, yeniden kullanılabilir ve üretimlerinde kaynakların verimli kullanıldığı ürünlerin tercih edilmesi,
- Kritik hammadde içeren ürünlerin atık haline gelmesinin önlenmesi,
- Ambalaj ve inşaat malzemelerinin yanı sıra elektrikli elektronik ekipman, tekstil ve mobilyaların da yeniden kullanımının teşvik edilmesi,
- Üretim proseslerinde en iyi uygulama teknolojilerinin kullanılmasıyla atık oluşumunun azaltılması,
- Gıda atığının azaltılması, gıda bağışlarına öncelik verilmesi,
- Ürünlerdeki tehlikeli madde içeriğinin azaltılması,
- Doğal ve deniz ortamlarında bulunan atıkların önlenmesi,
- Atık önleme hakkında farkındalığın artırılması (European Environment Agency, 2023).

İtalya 2023 yılı için şehirler ve diğer bölgelerde atık yönetimi konusunu öncelik haline getirmiştir. Ülkede, ekolojik sürdürülebilirlik için yerel toplulukların desteklenmesi konusuna da ayrıca önem verilmektedir. Birçok belediyede çalışmalar yürütülmekte olup, bazılarında kirleten-öder prensibinin uygulanması ile ayrı toplama oranları %71 seviyelerine çıkmıştır (Zero Waste Europe, 2022).

Sıfır Atık Yönetimi yalnızca AB’de değil tüm dünyada odak noktası haline gelmiştir. İngiltere yüksek kaliteli geri dönüşüme teşvik verilmesi, biyo-atıkların ayrı toplanması, deniz çöpleri için düzenlemeler yapılması, genişletilmiş üretici sorumluluğu ilkelerinin uygulanması ve atıkların çevreye atılmasının önlenmesi konularını gündemine almıştır. Ayrıca 25 yıllık Çevre Planı Hedefi’nde Hedef 5, Hedef 6 ve Hedef 7 olarak aşağıdaki başlıklar ele alınmıştır (HM Government, 2023):

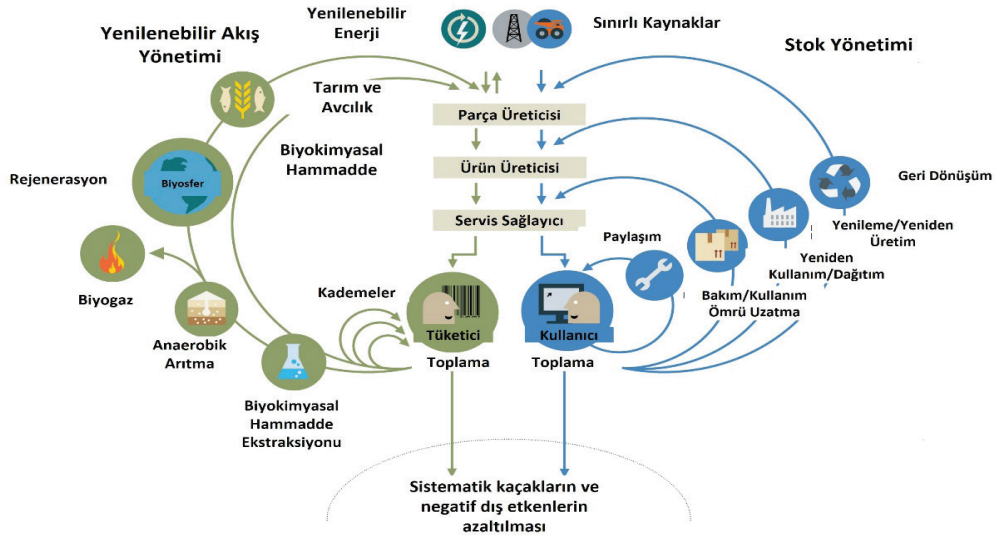
- Kaynakların maksimize, atıkların minimize edilmesi,
- Sürdürülebilir kaynak kullanımı,
- İklim değişikliği etkilerinin hafifletilmesi ve iklim değişikliğine uyum sağlanması.

Amerika Birleşik Devletleri’nde (ABD) Sıfır Atık Yönetimi kapsamında belirlenen stratejiler aşağıda sıralanmıştır:

- Geri dönüştürülmüş malzeme pazarının iyileştirilmesi,
- Ayrı toplama oranının artırılması ve yönetim altyapısının iyileştirilmesi,
- Geri dönüştürülebilir malzemelerin kirlenmesinin azaltılması,
- Döngüsellliği destekleyen politika ve programların artırılması (EPA, 2021).

2.2. Döngüsel Ekonomi

Döngüsel ekonomi yaklaşımında, kaynak tüketimi ve birincil hammadde kullanımının azalması esas olup, ürünün üretimi sırasında su ve enerji kullanımında tasarruf sağlanması, üretimde geri dönüştürülmüş malzeme kullanım oranının artması önem arz etmektedir. Ayrıca ürünün üretiminden tüketimine kadar tüm süreçlerde atık miktarının mümkün olduğunca azaltılması için gerekli aksiyonların alınması gerekmektedir. Bu sebeple sıfır atık yönetimi de döngüsel ekonomi konseptine uyum ve geçiş açısından benimsenmesi gereken bir atık yönetim yaklaşımıdır. Döngüsel ekonomi süreçlerine dair şema Şekil 1 ile verilmiştir (URL-1, 2023).



Şekil 1. Döngüsel Ekonomi Şeması (URL-1, 2023).

Döngüsel ekonomi her geçen gün daha da ön plana çıkmaktayken günümüz şartları, tüketim alışkanları ve birçok sebepten döngüsellğe geçiş kolay olamamaktadır. 2023 yılı itibariyle küresel ekonominin %7,2 oranında döngüsel olduğu belirtilmektedir. Hammadde çıkarımının artmasının döngüsellği azalttığı vurgulanmakta, küresel ekonominin döngüsellik oranının 2018'de %9,1'den %8,6'ya gerilemişken 2023'te daha da azaldığı görülmektedir (URL-2, 2023).

Yenilenebilir malzemelerin ekonomiye kattığı potansiyel pay, yenilenebilir girdiler olarak ölçülmektedir. Bunlar, ekolojik döngü potansiyeli, karbon nötr biyokütle ve yenilenemez biyokütle, karbon nötr olmayan biyokütle olarak ayrılmakla birlikte tüm malzeme girdilerinin yaklaşık %25'ini temsil eder. Yenilenebilir girdi olarak biyokütle kullanımı son 50 yılda 2,7 kat artmıştır ve bugün toplam malzeme tüketiminin yaklaşık %27'sini veya yılda 25 milyar tonu

temsil etmektedir. Biyokütle, gıda ve yem mahsullerinden doğal liflere ve kereste ürünlerine kadar hasat edilen her şeyi içerir. Biyokütle büyük ölçüde yenilenebilir olarak kabul edilirken, bir kısmı karbon döngüsündeki dengesizlik nedeniyle yenilenemez olarak kabul edilir. Üretim döngüsüne bir diğer girdi de metalik ve metalik olmayan minerallerden oluşan yenilenebilir olmayan girdilerdir ve toplam girdinin %15'ini oluşturmaktadırlar. Metal cevherleri 50 yılda 3,5 kattan fazla artarak 9,4 milyar tona ulaşmıştır ve hala toplam çıkarımın %10'unu temsil etmektedir. Bu nispeten keskin artış, çevre ve imalat sektörlerinin genişlemesinden kaynaklanmaktadır. Temiz enerjiye geçiş özellikle metaller için gerekli olup ancak yoğun malzeme gerektiren bir süreçtir. Metallerin yanı sıra metalik olmayan minerallerin madenciligi, su, hava ve toprak kirliliğine ve tehlikeli atık oluşumuna ek olarak biyolojik çeşitlilik kaybına da yol açmıştır. Metalik olmayan minerallerin çıkarımı ise geçen yıla nazaran 5 kat artarak 42,8 milyar tona ulaşmıştır. Bunun başlıca nedeni dünyanın birçok yerinde artan nüfus için gelişen inşaat sektörü, altyapı sağlama ve yiyecek-içecek ihtiyacıdır. Küresel olmayan girdi olan fosil yakıtlar toplam girdilerin %14,6'sını oluşturmaktadır. Enerji tüketimi için kullanılan fosil yakıtlar, çevresel açıdan oldukça etkilidir ve yakıldıklarında atmosferde dağılmış emisyonlara neden olduklarından döngüsel değildirler. Fosil yakıt tüketimi son 50 yılda yaklaşık 2,6 kat artmıştır. Yılda yaklaşık 15,5 milyar ton fosil yakıt tüketilmektedir. Bunun nedeni muhtemelen fosil yakıtların mineraller gibi ağır malzemelere kıyasla daha hafif olmalarıdır. Küresel ekonomiye toplam malzeme girişinin %38'lik muazzam bir bölümünü temsil eden stok oluşumu, yukarıda açıklandığı gibi döngüsel, yenilenemez ve yenilenebilir malzemelerden oluşur; en önemlisi, beton gibi inşaat malzemeleri biçimindeki metalik olmayan minerallerdir (Circle Economy, 2023). Mevcutta küresel girdilerin oranı düşük dursa da döngüsel ekonomiye geçişin ön plana alındığı ve günden güne önem kazandığı günümüz dünyasında herkesin üzerine düşeni yapmasıyla ve yapılan çalışmaların sonuçlarının alınmasıyla küresel ölçekte döngüsellüğün giderek artması sağlanabilecektir. Döngüsel ekonominin 4,5 trilyon dolarlık bir küresel büyüme fırsatı sunabileceği vurgulanmaktadır (Hedefler İçin İş Dünyası Platformu, DCube Döngüsel Ekonomi Kooperatifi, 2020).

Dünya genelinde döngüsel ekonomiye geçiş noktasında başarılı olunması için döngüsel vergi sistemine geçilmesine yönelik görüşler de mevcuttur. Bu kapsamda 2022 yılında Döngüsel Vergi Raporu yayınlanmıştır. Rapora göre Döngüsel Vergi sisteminin uygulanışı aşağıda özetlenmiştir (Eunomia, EEB-European Environmental Bureau, 2022):

Vergi Oranı

- Döngüsel alternatiflerine kıyasla diğer ürünlerin daha pahalı olması,
- Döngüsel verginin, döngüsel çözümler ve yatırımlar için kullanılması,
- Zamanla vergi oranının artması.

Paydaşların Desteklenmesi ve İletişim

- Döngüsel verginin gerekçesi ve faydalarının anlatılması,
- Uygulama tarihinden önce bilgilendirme yapılması,
- Alternatif tüketim modellerinin ortaya çıkmasının güçlendirilmesi.

Uyum, İzleme ve Uygulama

- Uygun izlemenin sağlanması ve finansman sağlama da dâhil olmak üzere uygulamanın desteklenmesi,
- Destekleyici altyapının sağlanması,
- Vergiden kaçınılmasının engellenmesi için cezaların yeterince yüksek olmasının sağlanması.

Gelirlerin Kullanılması

- Devletin genel bütçesinin kullanılması,
- Döngüsellüğün geliştirilmesi için Ar&Ge ve yapım yatırımlarının yapılması,
- Olumsuz etkilerin azaltılması (Eunomia, EEB-European Environmental Bureau, 2022).

Döngüsel vergilendirmenin, kaynakların tüketimini ve genel kullanımını azaltabileceği ve olumlu çevresel etkilere (daha düşük karbon ve malzeme ayak izi) yol açarak doğrusal savurgan ekonomilerimizi verimli döngüsel ekonomilere dönüştürmeye yardımcı olabileceği belirtilmektedir. Döngüsel vergiler, ürün yaşam döngüsünün farklı aşamalarını etkileyecek ve ürün yaşam döngüsü boyunca farklı etkilere katkıda bulunacaktır (Eunomia, EEB-European Environmental Bureau, 2022).

2.3. Döngüsel Ekonomi Prensipleri Doğrultusunda Atık Yönetimi

Döngüsel ekonomiye geçişte atık yönetimi modellerinin de buna uyarlanması ve döngüsel ekonomi ilkelerine uyumlu yaklaşımlar geliştirilmesi gerekmektedir. AB buna dair bazı öneriler getirilmektedir. Bu önerilerin AB haricinde olan diğer ülkelere de örnek teşkil edeceği düşünülmektedir. Öncelikle atık yönetimi mevzuatının gözden geçirilip hedeflerin ve kuralların döngüsel ekonomi ilkelerine uygun şekilde ortaya konulması gerekmektedir. Düzenli depolama sahalarında bertaraf edilecek atık miktarının mevzuat ile sınırlanması tek başına yeterli olmamakta; atığın oluşmasının önlenmesi ve yeniden kullanımı ön plana alınmadığı sürece beklenen çevresel hedeflere ulaşılamamaktadır. Bu durum, atığın düzenli depolama sahasına gönderilmemesi için yakma alternatifinin seçilmesi ve bunun da iklim gündemiyle çelişki içinde olması sonucuna neden olabilmektedir. Plastikğin yakıt olarak kullanılması yaygınlaştığı sürece tek kullanımlık plastiklerin kullanımının azaltılmasına yönelik çabaların da sıkıntıya girebileceği

belirtilmektedir. Malzeme ve ürünlerle ilgili mevcut mevzuatın yeterli gelmediği durumlarda yeni mevzuat önerileri oluşturulması gerekmektedir. Bu durumda ürün ve ambalajların daha uzun süre dayanması ve kullanım ömrü sonunda atık haline gelmemesi için gerekli koşullar oluşturulmalıdır. Tek kullanımlık ambalajların kullanımının önlenmesine yönelik düzenlemeler tek başına yeterli olmamakta, atıksız yeni sistemler, ürünler ve ambalajlar tasarlanması gerekmektedir. Bu nedenle, ikincil hammadde piyasalarının ve malzeme bankalarının arzdan üretime döngülerindeki paylarını artırmaları için koşulları tanımlayan malzeme temelli bir yaklaşıma ihtiyacı vardır. Öte yandan, AB'nin, ekolojik tasarımın yanı sıra, yeni iş modelleri geliştiren ve etkin, atıksız döngüsel modeller için yasal ve ekonomik koşulları yaratan tutarlı bir ürün politikasına sahip olması gerektiği vurgulanmaktadır. Bu sebeple mevzuat altyapısı oluşturulurken iklim hedefleri ve döngüsel ekonomi ilkeleri göz önünde bulundurularak tüm yönleriyle değerlendirme yapılması önem arz etmektedir (Zero Waste Europe, 2020).

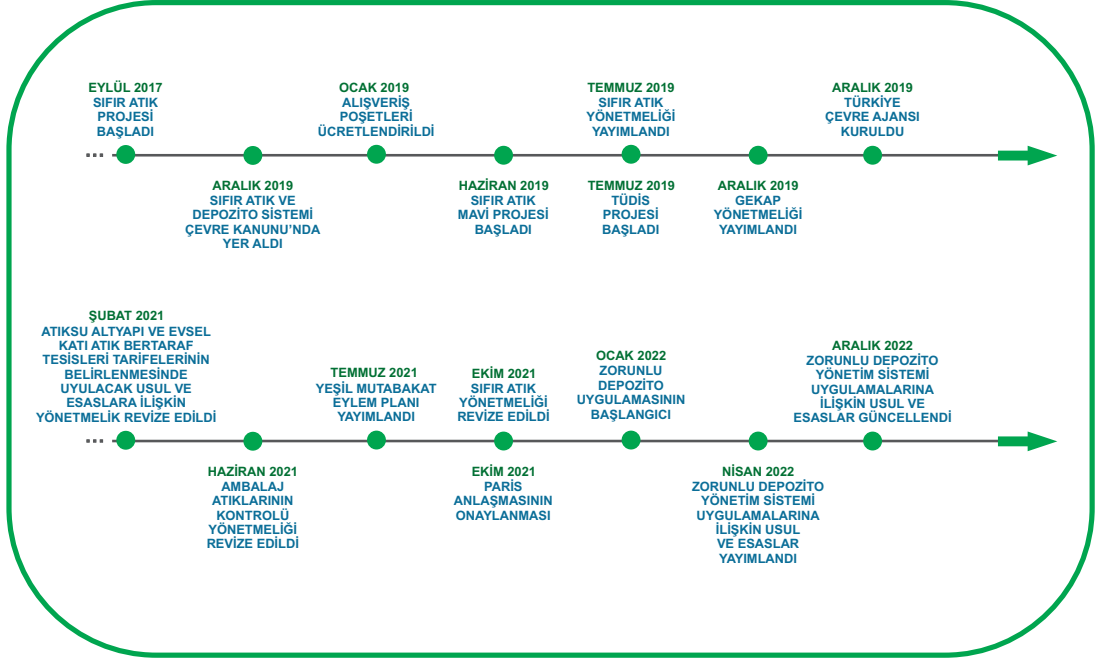
Çevrenin korunması ve iklim nötr hedefleri ile uyumlu bir döngüsel ekonomi, yalnızca belirli bir sektöre odaklanılarak elde edilememektedir. Kaynak çıkarmadan atık yönetimine kadar üretim zincirindeki her adıma uyumlaştırılmış bir şekilde odaklanması gerekir. Yani politikalar yalnızca belirli bir adımı hedeflememeli, tamamını hesaba katmalıdır. Atık önleme hedeflerinin genel olarak ve sektör bazlı ortaya konması ve gıda israfının azaltılmasına da odaklanması gerekmektedir (Zero Waste Europe, 2020).

Atıkların yerel olarak ele alınması, atık ihracatının azaltılması ve hatta (plastik atıklar için) durdurulması için güçlü bir odaklanma gerekmektedir ve yurtdışında %100 izlenemeyen herhangi bir geri dönüşüm durdurulmalıdır. 2030 yılına kadar tüm ambalajların yeniden kullanılabilir, kompostlanabilir veya geri dönüştürülebilir olmasını sağlama hedefi doğrultusunda AB'de geri kazanım veya bertaraf işlemi için gönderilen atıkların periyodik denetimlerinin zorunlu tutulması tartışılmaktadır. Bu atık denetiminin, geri dönüştürülebilir/geri dönüştürülmesi veya kompost haline getirilmesi gereken atığın gerçekten yakılıp yakılmadığının veya çöpe atılıp atılmadığının belirlenmesine yardımcı olacağı belirtilmektedir. Böyle bir durumda, bu israfın piyasaya ulaşmasını engelleyecek politika önlemlerinin de alınması gerektiği ayrıca vurgulanmaktadır (Zero Waste Europe, 2020).

3. Türkiye’de Sıfır Atık Uygulamaları ve Döngüsel Ekonomi Çalışmaları

3.1. Türkiye’de Sıfır Atık Yönetimi Gelişimi ve Diğer Çalışmalar

Ülkemizde 2017 yılında başlatılan Sıfır Atık Projesi, sıfır atık uygulamalarının görünür hale gelmesi ve yaygınlaştırılması konusunda çok önemli bir adım olmuştur. Bu projeye hem sıfır atık yönetimi hem döngüsel ekonomi konusunda ülkemizde kısa sürede önemli gelişmeler yaşanmıştır. Bu gelişmelere ilişkin süreci gösteren şema Şekil 2 ile verilmiştir.



Şekil 2. Türkiye’de Sıfır Atık Yönetimi ve Döngüsel Ekonomi Hakkında Gelişmeler

Ülkemizde Sıfır Atık Yönetimi uygulamaları sayesinde 5 yılda yaşanan gelişmeler ve çalışmaların sonucundaki kazanımlar aşağıda sıralanmıştır:

- Sıfır atık yönetimine daha etkin katılımın sağlanması amacıyla 2022 yılından itibaren yerel yönetimlere sıfır atık müdürlüklerinin kurulması zorunluluğu getirilmiştir.
- 5 yılda 164.000 Bina ve Yerleşke Sıfır Atık Sistemi’ne dâhil olmuştur.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından uygulayıcılara yönelik 11 uygulama kılavuzu hazırlanmıştır.
- Proje başlangıcından bu yana yaklaşık 19 milyon kişiye “Sıfır Atık” eğitimi verilmiştir.
- Kamu kurumlarına atıkların kaynağında ayrıştırılması amacıyla atık kumbaraları yerleştirilmiştir.
- 62,2 Milyar TL ekonomik kazanç elde edilmiştir.
- 2 milyon hanenin bir yıllık su kullanımına eş değer 572 milyon metreküp su tasarrufu, 195.000 ailenin bir yıllık enerji kullanımına eşdeğer 530 milyon kWh elde edilmiştir.
- Plastik poşet kullanımı %62,5 azaltılmıştır. 31.500 ton plastik poşet kullanımı kaynaklı sera gazı salımı önlenmiştir.
- Yıllık bazda 850.000 aracın trafikten çekilmesine karşılık gelen 3,9 milyon ton sera gazı salımı engellenmiştir.

- 1,95 milyon dekarlık orman alanına eş değer 347 milyon ağacın kesilmesi önlenmiştir.
- 98 milyon araç deposuna eş değer 87 milyon varil petrol ile 650 milyon ton hammaddeden tasarruf sağlanmıştır (URL-3, 2023), (URL-4, 2023).

Denizlerin ve su kaynaklarının korunması, deniz çöplerinin azaltılması, deniz canlılarının korunması amacıyla başlatılan Sıfır Atık Mavi Projesi kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar aşağıda verilmiştir;

- Denizleri ve su kaynaklarını atıklardan arındırmak için çalışmalar başlatılmıştır.
- Türkiye’de denize kıyısı bulunan 28 ilde etkin deniz çöpü yönetimi eylem planları hazırlanmıştır.
- Liman, marina ve plaj işletmelerinde “Sıfır Atık Mavi” Yönetim Sistemi uygulanmaya başlanmıştır.
- Gemilerden kaynaklı atıkların denize bırakılmaması amacıyla faaliyet gösteren atık kabul tesisi 325’e çıkarılmıştır.
- 2022 yılı itibarıyla yaklaşık 180.000 ton deniz çöpü toplanarak bertaraf edilmiştir.
- Türkiye 2022 yılında 531 mavi bayraklı plaj, 24 marina, 5 yat, 15 turizm teknesi ile dünyada üçüncü sırada yerini almıştır (URL-4, 2023).

Sıfır Atık Projesi ile birçok uluslararası ödül alınmış olup aşağıda sıralanmıştır:

- “Sıfır Atık Açlık Temalı” Ödülü (FAO)
- “Küresel Amaçlar Eylem” Ödülü (UNDP)
- “Atık Alanında Akıllı Şehirler Küresel Şampiyonu” Ödülü (BM HABİTAT)
- “Sıfır Atık Projesi Akdeniz Parlamenter Asamblesi Mükemmellik” Ödülü (Akdeniz-PA)
- “İklim ve Kalkınma Liderlik” Ödülü (Dünya Bankası) (URL-4, 2023).

Ülkemizdeki sıfır atık çalışmaları uluslararası boyuta taşınmış, öncelikle ‘Küresel Sıfır Atık İyi Niyet Beyanı’ hazırlanmış olup, bir çok ülke bu dokümanı imzalamıştır. Sonrasında ise yine ülkemizin girişimleriyle Birleşmiş Milletler (BM) Genel Kurulu tarafından 30 Mart’ın “Uluslararası Sıfır Atık Günü” olarak ilan edilmesine karar verilmiştir.

Sürdürülebilir bir çevre için atılan adımlar sonucunda elde edilen faydalar yalnızca çevre sağlığına katkı sunmayıp aynı zamanda ekonomik ve sosyal açıdan da önemli katma değerler sağlamaktadır. Sıfır Atık Yönetimi’nin tüm fonksiyonlarıyla başarılı bir şekilde uygulanması için döngüsel ekonomi ilkelerinin de doğru şekilde anlaşılıp gerekli aksiyonların alınması gerekmektedir. Bu kapsamda ülkemizde 2021 yılında yayınlanan Yeşil Mutabakat Eylem Planı’nda ülkemize özgü Döngüsel Ekonomi Eylem Planı hazırlanacağından bahsedilmektedir.

Bunun yanı sıra planda iklim değişikliği, karbon düzenlemesi, sürdürülebilir tarım, akıllı ulaşım ve yeşil finansman konularına da değinilmiştir. Yeşil Mutabakat Eylem Planı kapsamında gerçekleştirilen çalışmalara dair 2022 yılında Yeşil Mutabakat Çalışma Grubu Yıllık Faaliyet Raporu yayınlanmıştır. Raporda, iklim değişikliği ile mücadele kapsamında İklim Kanunu taslağı hazırlandığı ve bu taslakla birlikte iklim değişikliği ile mücadelede için gerekli planlama ve uygulama araçlarının yasal dayanağının oluşturulduğu vurgulanmıştır. AB Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizmasına (SKDM) yönelik yapılması gerekenlerin belirlenmesi amacıyla Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (EBRD) desteği ile “SKDM’nin Türkiye Ekonomisine Potansiyel Etkilerinin Değerlendirmesi” projesi yapılmıştır. Sürdürülebilir tarıma yönelik olarak pestisit ve anti-mikrobiyallerin kullanımının azaltılması hedefine istinaden taze meyve ve sebze için 24.000 üretim alanında kontroller devreye alınmıştır. Riskli olarak görünen ürün grupları için kalıntı izleme programları oluşturulmuştur. Akıllı ulaşım başlığı altında yapılan önemli çalışmalardan biri Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığının IPA Fonu ile gerçekleştirilecek olan “Türkiye’nin Net Sıfır Emisyon Hedefi: Ulaşım Yol Haritası” projesi olup 2023 sonunda projeye başlanması hedeflenmiştir. Yeşil finansman konusunda ülkemizde bu zamana kadar önemli çalışmalar gerçekleştirilmiş olup, yapılan son çalışmalardan bazıları Sermaye Piyasası Kurulu tarafından 2022 yılının başlarında uluslararası standartlara uygun olarak “Yeşil Borçlanma Aracı, Sürdürülebilir Borçlanma Aracı, Yeşil Kira Sertifikası, Sürdürülebilir Kira Sertifikası Rehberi” nin yayımlanması, yine aynı yıl T.C Cumhurbaşkanlığı Finans Ofisi tarafından Yeşil Sukuk Çalışma Raporu’nun yayımlanmasıdır. (Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı, 2022). 2021 yılı Ekim ayında Paris Anlaşmasının onaylanmasıyla ülkemizde iklim değişikliğine yönelik stratejilerde kararlı olduğu ve hızlıca gereken aksiyonlarını alınacağı görülmüştür. Paris Anlaşması’nın önemli bir yönü de iklim değişikliği ile mücadele konusunda iklim değişikliğine dayanıklı kalkınma doğrultusunda finans akışlarının oluşturulmasına yönelik hedefler içermesidir (United Nations, 2015).

Ülkemizde döngüsel ekonomiye geçiş konusunda atılan önemli adımlardan biri Zorunlu Depozito Yönetim Sistemi’ne geçiş karar verilmesidir. Bu doğrultuda gerekli mevzuat altyapısı oluşturulmuş olup, sistemin denetlenebilir, iyileştirilebilir ve sürdürülebilir bir şekilde uygulanması için Türkiye Çevre Ajansı kurulmuştur. Türkiye Çevre Ajansı’nın depozito yönetim sistemine ilişkin sorumlulukları haricinde çevrenin iyileştirilmesi, kamuoyunda çevreye dair duyarlılık oluşturulması, geri kazanılabilir ürünlerin ülke ekonomisine kazandırılması, sıfır atık yönetim sisteminin uygulanmasına katkı sağlanması gibi alanlarda da sorumlulukları bulunmaktadır (Mevzuat2, 2020).

Depozito Yönetim Sistemi’ne geçiş çalışmaları 2022 Ocak ayı itibarıyla başlatılmış olup sistemin altyapısının kurulmasına ilişkin süreçler devam etmektedir. Sistemin tüm ülkede zorunlu hale getirilmesinden önce sahada uygulama örneklerinin görülmesi, vatandaşın sisteme dair bilgilendirilmesi ve farkındalığının artırılması için pilot ölçekte uygulamaların yapılması planlanmış olup, halihazırda Ankara’nın Kızılcahamam İlçesi’nde pilot uygulama yapılmaktadır. Bu uygulamaların giderek yaygınlaştırılması hedeflenmektedir (URL-5, 2023).

Zorunlu Depozito Yönetim Sistemine ilişkin düzenlemeler ise Türkiye Çevre Ajansı tarafından yayımlanan Zorunlu Depozito Yönetim Sistemi Uygulamalarına İlişkin Usul ve Esaslar'da yer almaktadır. Sistem kapsamına 0,10-3,01 L arasındaki hacim grubunda olan içecek ambalajları alınmıştır. Kapsama alınan ambalaj türleri cam (1. Sınıf), PET (2. Sınıf), alüminyum (3. Sınıf), HDPE (4. Sınıf), kompozit (5. Sınıf) ve diğer (6. Sınıf) olarak gruplanmıştır. Kapsam dahilinde olan içecek türleri ise 4 sınıfa ayrılmış olup aşağıda verilmiştir (Mevzuat3, 2022):

1.Sınıf: Alkolsüz içecekler (kola, aromalı ve/veya meyveli içecekler, aromalı ve/veya meyveli doğal mineralli içecekler, aromalı su, tonik, diğer meşrubatlar vb.), içme ve kaynak suları, doğal mineralli sular, aromatize edilmişler dahil alkollü ve alkolsüz biralar, malt içecekleri, enerji içecekleri, sporcu içecekleri.

2.Sınıf: Meyve oranı %50 ve altında olan meyve suları/nektarları.

3.Sınıf: Meyve oranı %50'nin üstünde olan meyve suları /nektarları, süt ve içilebilir özellikteki süt ürünleri.

4.Sınıf: Şaraplar, distile ve damıtma yoluyla elde edilen alkollü içecekler, diğer/tanımlanmamış içecekler, diğer/tanımlanmamış sıvı gıdalar (Mevzuat3, 2022).

Söz konusu ambalaj ve ürün sınıfları için sisteme geçiş tarihi belirli bir takvime göre gerçekleşecek olup ilk etapta cam, PET ve alüminyum ambalajlarda piyasaya sürülen 1. sınıf ürünlerle başlanması planlanmıştır (Mevzuat3, 2022).

Depozito yönetim sistemi sayesinde içecek ambalajlarının kapalı döngü bir sistemde toplanması ve değerlendirilmesi sağlanarak “şişeden şişeye geri dönüşüm” ün önünün açılması sağlanacaktır. Böylece bu sistemin uygulanması yalnızca ambalajların yönetimi için değil döngüsel ekonomiye geçiş çalışmaları için de önemli bir adım niteliğinde olacaktır.

3.2. Türkiye’de Döngüsel Ekonomi’ye Bakış

Ülkemizde sektör bazında döngüsel ekonomi durumu 2022 yılında “Türkiye’de Beş Sektörde Döngüsellik Potansiyeli Ön Araştırma Raporu” nda plastik, tekstil, otomotiv, ev aletleri ve inşaat hizmetleri sektörleri kapsamında analiz edilmiştir. Sektör bazlı döngüsel stratejiler aşağıda verilmiştir (KPMG, skdTürkiye, AFD, 2022):

Plastik Sektörü için Döngüsel Stratejiler

- Problemlili, gerekli olmayan ve tek kullanımlık plastiklerin ortadan kaldırılması,
- Girdi miktarının azaltılması için hafif plastiklerin kullanılması,
- Geri dönüştürülmüş plastik içeriğinin en üst düzeye çıkarılması,
- Birincil yerine ikincil hammaddenin tercih edilmesi,
- Biyoplastik üretiminde taze ürünler yerine gıda atıklarının tercih edilmesi.

Tekstil Sektörü için Döngüsel Stratejiler

- Yeniden satış veya kiralama yoluyla kullanımın artması için yeni iş modellerinin geliştirilmesi,
- Yeniden kullanım ve onarım ile faydalı ömrün uzatılması,
- Sentetik boyalar yerine organik boyaların tercih edilmesi,
- Giysilerin güvenli, yenilenebilir veya geri dönüştürülmüş malzemeden yapılması,
- Tekstillerin toplanması, ayrılması; yeniden kullanımı veya geri dönüşümünün sağlanması,
- Hammadde, enerji, su tasarrufu ve atık su yönetimi açısından fayda sağlayacak temiz üretim teknikleri ve teknolojilerinin geliştirilmesi.

Otomotiv Sektörü için Döngüsel Stratejiler

- Araç parçalarının imalatı için plastikler dâhil olmak üzere geri dönüştürülmüş malzemeler kullanılması,
- Araba ve akü üretimi sırasında yenilenebilir kaynaklardan elektrik kullanılması,
- Elektrikli ve hibrit arabaları şarj etmek için yenilenebilir enerji kaynağı kullanılması,
- Araçlarda minimum geri dönüştürülmüş içerik gereksinimlerinin daha yüksek belirlenmesi.

Ev Aletleri Sektörü için Döngüsel Stratejiler

- Üretim için plastikler dâhil geri dönüştürülmüş malzemeler kullanılması,
- Üretim sırasında 3D baskı teknolojisinin uygulanması,
- Dayanıklı biyoplastikler geliştirilmesi,
- Gıda atıklarından biyoplastik üretimi.

İnşaat Hizmetleri Sektörü için Döngüsel Stratejiler

- Yenilenebilir, toksik olmayan, yüksek oranda geri dönüştürülmüş içeriğe sahip ve/veya yerel kaynaklı malzemeler kullanarak yapı söküm malzemelerinin yeniden kullanımı,
- Geri dönüştürülmüş malzemelerin tercih edilmesi ve bunların farklı sektörlerden tedarik edilmesi,
- Biyomimetik yoluyla daha yeşil binalar tasarlanması,
- İşlenmemiş malzemelerin veya herhangi bir malzemenin kullanılmasıyla ilgili maliyetleri ve emisyonları azaltmak için sahanın tasfiyesi sırasında geri kazanılan agregaların ve nakliye gerektiren diğer malzemelerin inşaat malzemelerine karıştırılması,

- Atık malzeme kullanımının bir sonucu olarak daha düşük emisyonla ilişkili olan yeşil beton oranının optimize edilmesi,
- Yerel ekonomilerin güçlendirilmesi ve nakliye maliyetlerinin azaltılması için üretim sahasının yakınından temin edilebilecek malzemelerin kullanılması,
- Hassasiyet yoluyla girdilerin azaltılması, nakliyeyle ilişkili daha düşük emisyonlar ve daha döngüsel malzemeler kullanılması için 3D baskının kullanılması (KPMG, skdTürkiye, AFD, 2022).

Bazı sektörlerde döngüsel ekonomi ilkelerine yönelik uygulamalar başlatılmıştır. Elektrikli ve elektronik ürünlerin üretimini gerçekleştiren bir firmada aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır (Hedefler İçin İş Dünyası Platformu, DCube Döngüsel Ekonomi Kooperatifi, 2020);

- Çamaşır makinesi ve kurutucu kazanında geri dönüştürülmüş PET şişe kullanılması,
- Çamaşır makinesi deterjan kutusu ve pompa filtresinde geri dönüştürülmüş PP kullanılması,
- Buzdolabı üretiminde petrol temelli ürünler yerine biyo-malzemeler kullanılarak üretilen biyo-parçalara yer verilmesi,
- Ev tipi buzdolabı için biyo-bazlı sert poliüretan köpük yalıtım malzemesi geliştirilmesi,
- Fırın üretiminde balık ağları kullanılarak elde edilen geri dönüştürülmüş poliamid bileşikler kullanılması.

Cam malzeme üreten bir firma çıkardığı yeni koleksiyon ile %100 geri dönüştürülmüş cam kullanmış, bu sayede karbon ayak izini azaltmıştır. Bu uygulama ayrıca endüstriyel atık miktarını azaltmakta ve birincil hammadde ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır (Hedefler İçin İş Dünyası Platformu, DCube Döngüsel Ekonomi Kooperatifi, 2020).

Ufuk 2020 Ufuk 2020 Çevre ve Hammaddeler programı çerçevesinde desteklenen FISSAC Projesi kapsamında sanayi atıklarının çimento, seramik vb. yapı malzemelerinin üretiminde kullanılması hedeflenmiştir. Bu sayede atık üretiminde %15 azalma, atık değerlendirme verimliliğinde %12 artış ve enerji verimliliğinde %20 artış olması beklenmektedir (Hedefler İçin İş Dünyası Platformu, DCube Döngüsel Ekonomi Kooperatifi, 2020).

4. Sonuç

Sıfır atık yönetiminin en doğru şekilde kurgulanabilmesi için döngüsel ekonominin gerekliliklerinin de çok iyi anlaşılıp uygulanması gerekmektedir. Bunlar birbirinden ayrılmaz konulardır. Döngüsel ekonomi prensibinde temel amaç bir ürünün üretiminden tüketimine ve sonrasında atık oluşumuna kadar geçen sürecin mümkün olduğunca kapalı döngü olarak kalması, mümkünse atığın yine aynı ürünün üretimine hammadde olarak girebilmesinin sağlanmasıdır. Bunun yolu da atığın kaynağında temiz olarak toplanmasından geçmektedir. Atıklar diğer atıklara karışmadan temiz bir şekilde toplandığında ekonomik değerini kaybetmeyerek kaynak olarak üretim sürecine tekrar dâhil edilebilmektedir.

Tüm sektörlerin sıfır atık ve döngüsel ekonomi ilkelerini benimseyip bu doğrultuda kendi iş süreçlerine uygun şekilde adım atmaları, mümkün olduğunca kapalı döngü bir sistemde kalmaları gerekmektedir.

Atık ve kaynak yönetiminde döngüsel ekonomi yaklaşımı benimsendiğinde BM Kalkınma Programı (UNDP)'nın Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarından İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme (Amaç 8); Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı (Amaç 9); Sorumlu Üretim ve Tüketim (Amaç 12); İklim Eylemi (Amaç 13); Sudaki Yaşam (Amaç 14); Karasal Yaşam (Amaç 15) amaçlarına uygun adımlar da atılmış olacaktır (URL-6, 2023).

Ülkemizde de sıfır atık uygulamalarının yaygınlaştırılması, sektör bazında gerekli adımların atılması ve ulusal ölçekte Zorunlu Depozito Yönetim Sistemi'ne geçilmesiyle gerek iklim değişikliği ile mücadele gerekse döngüsel ekonomiye geçiş konularındaki çalışmalar gün geçtikçe hız kazanacaktır. Bu çalışmaların sonuçları da ülkemize çevresel, sosyal ve ekonomik faydalar olarak geri dönecek gelecek nesillere daha yaşanabilir ve sürdürülebilir bir dünya bırakılması sağlanacaktır.

5. Kaynaklar / References

- Circle Economy. (2023). *The Circularity Gap Report*.
- EPA. (2021). *National Recycling Strategy-Part One of a Series on Building a Circular Economy for All*.
- Eunomia, EEB-European Environmental Bureau. (2022). *Circular Taxation Final Report*.
- European Environment Agency. (2023). *Waste Prevention Country Profile-Germany*.
- Hedefler İçin İş Dünyası Platformu, DCube Döngüsel Ekonomi Kooperatifi. (2020). *İşletmeler için Döngüsel Ekonomi Rehberi*.
- HM Government. (2023). *Environmental Improvement Plan 2023*. Department for Environment, Food and Rural Affairs.
- KPMG, skdTürkiye, AFD. (2022). *Türkiye’de Beş Sektörde Döngüsellik Potansiyeli Ön Araştırma Raporu*.
- Mevzuat1. (2019, 07 12). *Sıfır Atık Yönetmeliği*.
- Mevzuat2. (2020, 12 24). *Türkiye Çevre Ajansının Kurulması İle Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun*.
- Mevzuat3. (2022). *Zorunlu Depozito Yönetim Sistemi Uygulamalarına İlişkin Usul ve Esaslar*. Türkiye Çevre Ajansı.
- Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2021). *Yeşil Mutabakat Eylem Planı*.
- Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı. (2022). *Yeşil Mutabakat Çalışma Grubu Yıllık Faaliyet Raporu*.
- United Nations. (2015). Paris Agreement.
- URL-1. (2023, Nisan). [ellenmacarthurfoundation.org: https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram](https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram) adresinden alındı

URL-2. (2023, Nisan). circularity-gap.world: <https://www.circularity-gap.world/2023> adresinden alındı

URL-3. (2023, Nisan). Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: <https://csb.gov.tr/sifir-atik-yonetim-sistemine-5-yilda-150-bin-bina-ve-yerleske-gecti-bakanlik-faaliyetleri-36228> adresinden alındı

URL-4. (2023, Nisan). Sıfır Atık: <https://www.linkedin.com/in/s%C4%B1f%C4%B1rat%C4%B1k/> adresinden alındı

URL-5. (2023, Nisan). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı: <https://csb.gov.tr/depozito-uygulama-sistemi-2024te-zorunlu-hale-getirilecek-bakanlik-faaliyetleri-37383#:~:text=%C3%87evre%2C%20%C5%9Eehircilik%20ve%20%C4%B0klim%20De%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fi%20Bakan%C4%B1%20Murat%20Kurum%2C%20tek%20kullan%C4%B1ml%C4%B1k>, adresinden alındı

URL-6. (2023, Nisan). 07 16, 2021 tarihinde UNDP: <https://turkiye.un.org/tr/sdgs> adresinden alındı

Zero Waste Europe. (2020). *Zero Waste Europe response to the new Circular Economy Action Plan Consultation.*

Zero Waste Europe. (2022). *The State of Zero Waste Municipalities Report.*

Yazarlar Hakkında / About Authors

Aybike MISIR | İstanbul Teknik Üniversitesi |
misir20[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-2342-512X

Aybike MISIR, 2015 yılında Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünden lisans derecesini almıştır. Mezuniyetinden bu yana kentsel katı atıkların yönetimi, sıfır atık yönetimi, içecek ambalajları için depozito yönetim sistemi konularında çalışmaktadır. Şu anda ülkemizde zorunlu depozito yönetim sisteminin kurulması ve uygulanması üzerine Türkiye Çevre Ajansı'nda çalışmakta olup aynı zamanda İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi Programı'nda yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

Aybike MISIR | Istanbul Technical University |
misir20[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-2342-512X

Aybike MISIR received her bachelor's degree from Marmara University Environmental Engineering Department in 2015. Since her graduation, she has been working on municipal solid waste management, zero waste management, deposit management system for beverage packaging. Currently, she is working at the Turkish Environment Agency on the establishment and implementation of the mandatory deposit management system in our country, and at the same time, she continues her graduate program in the Environmental Sciences, Engineering and Management Program of Istanbul Technical University.

Prof. Dr. Osman Atilla ARIKAN | İstanbul Teknik Üniversitesi |
arikan[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-0716-1865

Osman Atilla Arıkan, İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 1994 yılında lisans (Bölüm birincisi olarak), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'ndan 1994'te yüksek lisans ve 2004'te doktora derecelerini almıştır. 2004-2006 yılları arasında George Mason Üniversitesi, Kimya&Biyokimya Bölümü ile ABD Tarım Bakanlığı'nda doktora sonrası çalışmalar yapmıştır. 2013-2015 yılları arasında ise Maryland Üniversitesi, Çevre Bilimleri & Teknolojisi Bölümü ile ABD Tarım Bakanlığı'nda Misafir Araştırmacı olarak çalışmıştır. Başlıca çalışma alanları sıfır atık yönetimi, kompostlaştırma, havasız arıtma, hayvan atıklarından antibiyotik giderimi, depo gazı yönetimi, sızıntı suyu arıtımı ve arıtma çamurlarının yönetimi olup, bu alanlarda ulusal ve uluslararası akademik ve mühendislik çalışmaları bulunmaktadır. Halen İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.

Prof. Dr. Osman Atilla ARIKAN | Istanbul Technical University |
arikan[at]itu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-0716-1865

Osman Atilla Arıkan received his bachelor's degree from ITU Environmental Engineering Department in 1994 (top student in the department), his master's degree in 1994 and PhD in 2004 from ITU Science Institute, Environmental Engineering Program. Between 2004-2006, he did post-doc studies at George Mason University, Department of Chemistry & Biochemistry and the US Department of Agriculture. Between 2013 and 2015, he did sabbatical at the University of Maryland, Department of Environmental Sciences & Technology and the US Department of Agriculture. His main areas of work are zero waste management, composting, anaerobic digestion, antibiotic removal from animal wastes, landfill gas management, leachate treatment and sludge management. There are national and international academic and engineering studies in these areas. He is working as a faculty member at ITU Environmental Engineering Department.

**YEREL YÖNETİMLERDE
GERİ KAZANIM İYİ UYGULAMA
ÖRNEKLERİ**

**GOOD PRACTICE EXAMPLES OF RECYLING IN LOCAL
GOVERNMENTS**

Gülen GÜLLÜ

YEREL YÖNETİMLERDE GERİ KAZANIM İYİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Gülen GÜLLÜ

Hacettepe Üniversitesi

Özet

Atık konusu, toplanması, taşınması ve depolanmasına yönelik gereksinimlerin düzgün şekilde yerine getirilmediği durumlarda neden olduğu halk sağlığı sorunları ve küresel ölçekte iklim değişikliğine neden olmasından ötürü, kentleri yöneten yerel yönetimlerin yüksek maliyet gerektiren başlıca sorumluluklarından biridir. Bu atıkların oluşmasının önlenmesi veya azaltılması, atığın oluşması durumunda ise değerlendirmek üzere ayrı toplanması, yeniden kullanımı ve/veya geri kazanımının sağlanmasına yönelik yerel yönetimlerin iyi uygulama örnekleri bu konuda sınırlı deneyimi bulunan yerel yönetimlere yol gösterici olmaktadır. Atıkların ayrı toplanmasına yönelik yasal zorunlu uygulamaların yanı sıra yerel yönetimlerce uygulanan ödül veya ceza yaklaşımı, bilinçlendirme ve eğitim faaliyetleri ile birlikte her geçen yıl atıkların geri kazanılma oranlarını artırarak atık sorununu yönetilebilir bir platforma taşımaktadır. Bu bildiride farklı uygulamaları olan İtalya-Milan, Almanya-Tübingen ve Münih ile ülkemizden Ankara-Kızılcahamam'da yürütülen iyi uygulama örnekleri verilerek daha iyi bir gelecek için umut aşılacak hem de bu umudun etkili politikalar ve girişimlerle nasıl yönlendirilebileceğine dair hem somut ayrıntılar hem de veriler sağlaması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler

Sıfır atık, Atık azaltımı, Geri dönüşüm, Yeniden kullanım, Yerel yönetimler

GOOD PRACTICE EXAMPLES OF RECYLING IN LOCAL GOVERNMENTS

Gülen GÜLLÜ
Hacettepe University

Abstract

Waste is one of the major responsibilities of local governments, as it causes public health problems and global climate change when the requirements for waste collection, transportation and storage are not properly met. Good practice examples of local governments to prevent or minimize the generation of these wastes, and collect and recycle them separately at the source in case of occurrence, guide local governments with limited experience in this regard. In addition to the legal mandatory practices for the separate collection of waste, the reward or punishment approach implemented by local governments, together with awareness-raising and training activities, increases the rate of waste recovery every year and carries the waste problem to a management platform. In this paper, various applications have been presented as good practice examples from Italy-Milan, Germany-Tübingen and Munich, as well as from our country, specifically Ankara-Kızılcahamam. The aim is to instill hope for a better future and to provide concrete details and data on how this hope can be guided through effective policies and initiatives.

Keywords

Zero waste, Waste minimization, Recycle, Reuse, Local governments

1. Giriş

Tüm dünya genelinde artan nüfus, tüketim ihtiyaçları doğurarak, çeşitli ekonomik faaliyetlere neden olmakta, doğal kaynakların tükenmesine yol açarak atık üretimini de artırmaktadır. Günümüzde giderek artan kentleşme oranları, tüm bu aktivitelerin dar bir alanda yüksek nüfus yoğunluğuna sahip yeterli servis hizmetlerinin temin edilemediği kentlerde atık sorununun büyümesine neden olmaktadır. Artan atık sorununun hem yerel hem küresel ölçekte hava, kara ve su gibi yaşamsal faaliyetlerimizi sürdürdüğümüz her alanda sağlık sorunları başta olmak kaydıyla kalıcı hasara neden olmalarının önlenmesi ve atıkların ekonomiye kazandırılmasını sağlayarak sürdürülebilirliğin sağlanması için atıkların doğru şekilde yönetilebilmesi gerekmektedir.

Pek çok gelişmiş ülke, özellikle çevre konusunun uluslararası gündeme geldiği 1960'lerden bu yana atık yönetimi konusunda büyük adımlar atarak, uluslararası toplumun öğrenebileceği pek çok iyi uygulama örneğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, ilk uygulamalar, atık bertarafı üzerineyken, şu anda bakış açısı yeniden tasarım ile atığın oluşumunun önlenmesi, kullanılan malzemelerin azaltılması, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım için değerlerinin korunması, tehlikeli maddelerin hem miktarlarının hem de kullanımlarının azaltılması yoluyla sorunu kaynağında ele almaya odaklanmaktadır. Amaç, temel düşünceyi “atık bertarafı”ndan “atık yönetimi”ne ve “atık”tan “kaynaklar”a taşımaktır - dolayısıyla “atık ve kaynak yönetimi” ve “kaynak yönetimi” terimleri “döngüsel ekonomi” terminolojisi ile güncellenmiştir (UNEP, 2015). Düşük ve orta gelirli ülkeler, atık toplama hizmetlerine erişimi sağlama, açıkta yakma, denize veya dereye dökme ve düzensiz depolama koşullarını ortadan kaldırma konusunda hala büyük zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu zorluğun üstesinden gelinmesi, en düşük gelirli ülkelerdeki şehirlerin giderek artan nüfusları ve artan atık sorunlarının çözümü için gerekli olan siyasi ve politik önceliği gerektiği şekilde alamayacağı endişesiyle daha da güçleşmektedir. Düşük ve orta gelirli ülkeler, israfın önlenmesini teşvik etmek ve ekonomiler geliştikçe kişi başına atıktaki amansız artışı durdurmak için günümüzde kısaca “sıfır atık” felsefesi şeklinde tanımlanan yenilikçi ve etkili politikalar ve uygulamalar tasarlamalı ve uygulamalıdır.

Sıfır atık, kısa vadede sera gazı emisyonlarını azaltırken dayanıklılık ve demokrasi inşa edebilen etkili ve kullanıma hazır bir stratejidir. Atık sektörü, yerel yönetimlerin iklim değişikliğine neden olan gazların azaltılmasına yönelik çözüm önerilerinin geliştirmesinde hızlı adım atılacak bir noktadır. Sıfır atık yaklaşımının uygulanması, atık sektörünün çok ötesine geçen etkileri tetikleyerek imalat sektörü, enerji, tarım ve daha fazlasında emisyonları azaltır. Birçok bölgede belediyeler, kaynağında ayrılan organik atıkları geri kazanmaya yönelik programlar uygulayarak, CO₂'den 25 kat daha güçlü olan atık sektöründen kaynaklanan metan emisyonlarını azaltma fırsatına sahiptir.

Dünya Bankası'nın verilerine göre küresel çapta yılda 2,01 milyar ton kentsel atık üretilmektedir. Bu oranın 2050'ye dek %69 artarak yaklaşık 3,4 milyar tona ulaşacağı tahmin edilmektedir. En çok kentsel atık üreten bölgelerin başında, sanılanın aksine Doğu Asya ve Pasifik gelmekte, kentsel atık üretiminde Çin ve Amerika ise başı çekmektedir. Nüfus artışı ve kentleşme başta olmak üzere atık artışına yol açan birçok etken bulunurken dünya nüfusunun %16'sını oluşturan yüksek gelirli ülkeler küresel atıkların yaklaşık %34'ünü üretmeye devam etmektedir. Dünyanın en kalabalık ülkesi olan Çin ise küresel kentsel atık üretiminin %15'ini oluşturarak ilk sırada yer almaktadır. Çin'in ardından %12 ile küresel nüfusun %5'ini oluşturan Amerika gelmektedir.

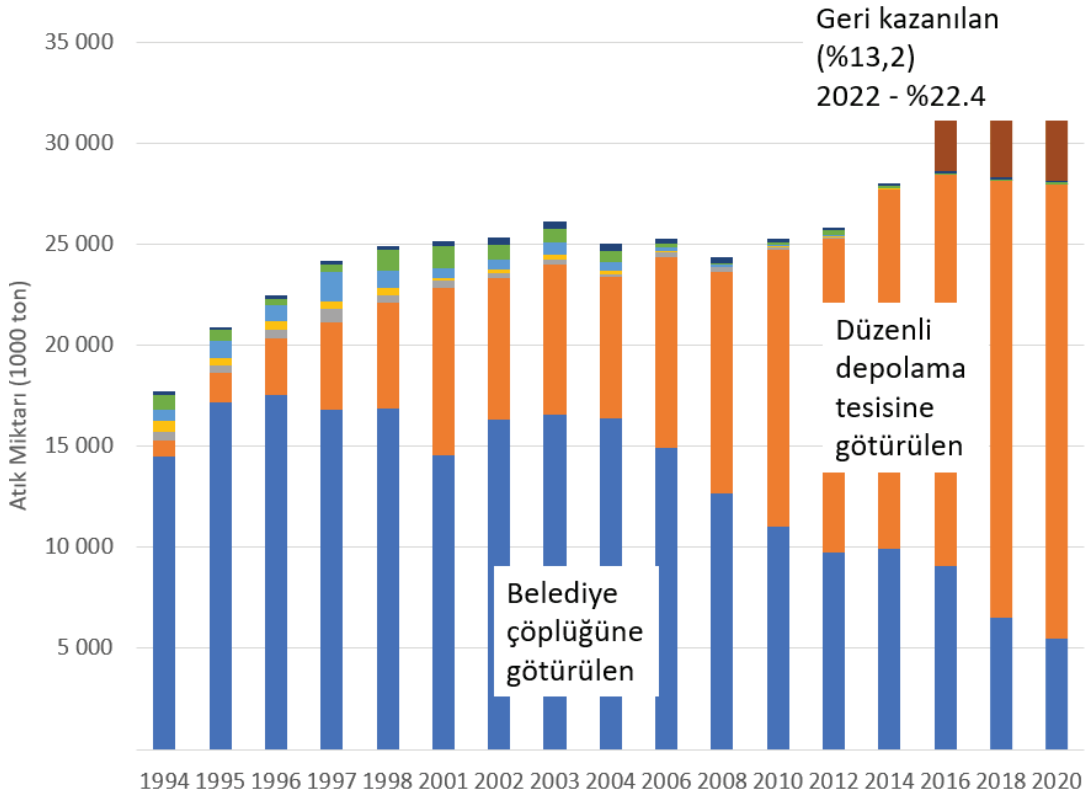
Sensoneo'nun 38 ülkede gerçekleştirdiği Küresel Atık Endeksi sonuçları ise 2019'dan 2022'ye kadarki süreçte ülkelerin atık üretimindeki sıralamasını ortaya koymaktadır. Rapora göre ülkemiz 2022'de 2019'a göre iki basamak daha gerileyerek son sırada bulunmaktadır. Hemen ardından ise Letonya, Şili ve Meksika gelmektedir. Atık geri kazanımının en yüksek olduğu, dolayısıyla atık üretiminin en az olduğu ülkelerde ise Güney Kore, Danimarka ve Almanya öne çıkmaktadır (GWI, 2022).

2872 sayılı Çevre Kanunu'nun 8. Maddesi ile her türlü atık ve artığı, çevreye zarar verecek şekilde, ilgili yönetmeliklerde belirlenen standartlara ve yöntemlere aykırı olarak doğrudan ve dolaylı biçimde alıcı ortama vermek, depolamak, taşımak, uzaklaştırmak ve benzeri faaliyetlerde bulunmak yasaklanmıştır. Çevre Kanunu'nun 11. Maddesiyle büyükşehir belediyeleri ve belediyeler evsel katı atık bertaraf tesislerini kurmak, kurdurmak, işletmek veya işletmekle yükümlü kılınmıştır.

Atık sorunu, herkesi ilgilendiren sorunun çözümü ise nüfusun yoğun olarak bulunduğu şehirlerde yerel yönetimlerin ve belediyelerin sorumluluğunda olan bir konudur. 5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanununun 7. maddesiyle büyükşehir katı atık yönetim plânını yapmak veya yaptırmak görevi büyükşehir belediyelerine verilmiştir. 5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanununun 7. Maddesi ile 5393 sayılı Belediye Kanunu'nun 14 ve 15. Maddeleri gereğince büyükşehir katı atık yönetim plânına uygun olarak katı atıkların kaynaktan toplanması ve aktarma istasyonuna kadar taşınması ilçe belediyelerinin; atıkların yeniden değerlendirilmesi, depolanması ve bertaraf edilmesine ilişkin hizmetlerin yerine getirilmesi büyükşehir belediyelerinin sorumluluk alanındadır.

Ülkemizde tüm sektörlerden üretilen toplam atık miktarı 2020 yılında 104,8 milyon ton olmuştur (TUIK, 2021). Bu miktarın yaklaşık üçte biri hane halkı tarafından oluşturulan belediye atığıdır. Atık yönetimi için yapılan harcamalar oldukça maliyetlidir. TUIK tarafından belirlenen rakamlara göre çevre koruma harcamalarının %58,5'i atık yönetimi hizmetleri için yapılmaktadır (TUIK, 2021). Belediye bütçesinin %30-50'si ise atık yönetimi için harcanmaktadır.

Belediye atıklarının toplamının 1994-2020 yılları arasındaki değişimi Şekil 1’de verilmektedir. 2020 yılında, atık hizmeti verilen belediyelerde toplanan 32,3 milyon ton atığın %69,4’ü düzenli depolama tesislerine, %17’si belediye çöplüklerine ve %13,2’si geri kazanım tesislerine gönderilirken, %0,4’ü ise açıkta yakılarak, gömülerek, dereye veya araziye dökülerek bertaraf edilmiştir. 2022 yılı verilerine göre Belediyelerde toplanan kişi başı günlük ortalama atık miktarı 1,13 kg olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Türkiye’nin 1994-2020 yılları toplam belediye atık miktarı ve bertaraf yöntemleri (1000 ton/yıl) (TÜİK, 2021)

Yeşil Mutabakat, Avrupa Birliği’nin AB 2050’ye kadar net sera gazı emisyonlarının sıfırlanması, ekonomik büyümenin kaynak kullanımına bağlılığının sona ermesi ve kimsenin, hiçbir bölgenin geride bırakılmaması temel hedeflerini içeren yeni bir büyüme stratejisi olarak tanımlanmaktadır. Bu büyüme stratejisinde ana politikalar; temiz enerji, sürdürülebilir sanayi, inşaat ve renovasyon, tarladan sofraya, kirliliğin ortadan kaldırılması, sürdürülebilir hareketlilik ve biyoçeşitlilik olarak kurgulanmış durumdadır.

Yeni Eylem Planı, ürünlerin tüm yaşam döngüsü boyunca, örneğin tasarımlarını hedefleyen, döngüsel ekonomi süreçlerini teşvik eden, sürdürülebilir tüketimi teşvik eden ve kullanılan kaynakların AB ekonomisinde mümkün olduğunca uzun süre tutulmasını sağlamayı amaçlayan girişimleri duyuruyor. Yeni Döngüsel Ekonomi Eylemi aşağıdakilere yönelik önlemler sunmaktadır:

- AB’de sürdürülebilir ürünlerin kullanımının sağlanması
- Tüketicilerin ve kamunun güçlendirilmesi
- Elektronik ve Bilgi İletişim Teknolojileri; piller, elektrikli araçlar, ambalaj, plastikler, tekstil, inşaat ve binalar, gıda, su ve besinler gibi döngüsellik potansiyeli yüksek olan kaynakların yoğun kullanıldığı sektörlerle odaklanma
- Atık azaltılmasının sağlanması
- İnsanlar, bölgeler ve şehirler için döngüsellik çalışmalarının yapılması
- Döngüsel ekonomi için küresel çabalara öncülük etme

Bu maddeler, AB düzeyinde, eylemin gerçek katma değer sağladığı alanları hedefleyen yasal ve yasal olmayan önlemleri de beraberinde getirmektedir.

Ülkemizde yılda 32,3 milyon evsel nitelikli katı atık oluşmaktadır. Bu atığın %55’i organik atık, %8’i kağıt-karton, %6’sı plastik, %4’ü cam ve %2’si metal içermektedir (UAYEP, 2023).

Ülkemizde de farkındalığın artırılması amacıyla çeşitli projeler ve sorunun çözümünü amaçlayan yasal değişiklikler gerçekleştiriliyor. Sıfır Atık Projesi bu projelerin içinde en bilinenidir.

2. Sıfır Atık Projesi

Sıfır atık, israfın önlenmesini, kaynakların daha verimli kullanılmasını, atık oluşum sebeplerinin gözden geçirilerek atık oluşumunun engellenmesi veya minimize edilmesi, atığın oluşması durumunda ise kaynağında ayrı toplanması ve geri kazanımının sağlanmasını kapsayan atık yönetim felsefesi olarak tanımlanan bir hedeftir. Bu hedefe ulaşmak için, Türkiye’de, Cumhurbaşkanı Recep Tayyip Erdoğan’ın eşi Emine Erdoğan’ın himayelerinde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca 2017’de “Sıfır Atık Projesi” hayata geçirilmiştir. Proje, sürdürülebilir kalkınma ilkeleri çerçevesinde atıkları kontrol altına alma, gelecek nesillere temiz ve gelişmiş bir Türkiye ile yaşanabilir dünya bırakma amacını taşımaktadır. Projeye geri kazanım oranının yüzde 35’e çıkarılması ve düzenli depolama oranının yüzde 65’e indirilmesi hedeflenmektedir.

Sıfır Atık Projesi kapsamında, Sıfır Atık Yönetim Sistemi’nin kurulmasına ilişkin genel ilkelerin ve uygulama esaslarının belirlenmesini sağlayarak, projenin ülke genelinde benimsenmesi, uygulanması ve yaygınlaştırılması için hazırlanan Sıfır Atık Yönetmeliği 2019’da yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelikte, Sıfır Atık Yönetim Sisteminin kurulumu, uygulanması, sistemin

takibi için yapılması gerekenler, sıfır atık belgesinin şartları ve belge kriterlerine ilişkin düzenlemeler yer almaktadır. Buna göre 2017 yılı Haziran ayından bu yana Sıfır Atık Yönetim Sistemine geçen bina ve yerleşke sayısı 164 bin olmuştur. Proje başlangıcından bu yana 20,4 milyon ton kağıt-karton, 5,4 milyon ton plastik, 2,3 milyon ton cam, 0,5 milyon ton metal ve 5,2 milyon ton organik ve diğer geri dönüştürülebilir atıklar olmak üzere toplamda yaklaşık 33,8 milyon ton geri kazanılabilir atık, bakanlıkça lisanslı işletmelerce işlenerek, ekonomiye kazandırılarak, toplanan atıklardan, 62,2 milyar lira ekonomik kazanç sağlanmıştır. Ayrıca 530 milyon kilovatsaat enerji tasarrufu, 572 milyon metreküp su tasarrufu ve 69 milyon metreküp depolama alanından tasarruf sağlanmış, 3,9 milyon ton sera gazı salımı önlenmiş, 347 milyon ağaç kurtarılmış, 87 milyon varil petrol, 650 milyon ton ham maddeden tasarruf edilmiştir.

Eylül 2022’de BM 77. Genel Kurulu görüşmeleri sırasında New York’ta BM Genel Sekreteri Antonio Guterres ile bir araya gelen Cumhurbaşkanı Recep Tayyip Erdoğan’ın eşi Emine Erdoğan, ikili iklim kriziyle mücadele kapsamında “Küresel Sıfır Atık İyi Niyet Beyanı”nı imzalamıştır. Ardından 15 Aralık 2022’de yapılan BM Genel Kurulunda, Türkiye tarafından Birleşmiş Milletler 77. Genel Kuruluna sunulan “Sürdürülebilir kalkınma amaçlarına ulaşmak için sıfır atık uygulamalarının teşvik edilmesi” konulu “sıfır atık” kararı kabul edilerek, 30 Mart’ı Uluslararası Sıfır Atık Günü ilan etmiştir.

İyi Uygulama Örnekleri

Avrupa Birliği 2010’lu yıllardan bu yana Döngüsel Ekonomi yolunda ilerlemektedir. 2015 yılında ilk AB Döngüsel Ekonomi Eylem Planı sunulduğunda, büyük Atık Paketi olarak adlandırılan kapsamlı bir revizyona yönelik cesur bir adım atılmıştır. 2018 yılında AB hükümetleri ve kurumları, geri dönüşümü artırmaya ve atıkları azaltmaya yönelik, pek çok kişi tarafından, dünyanın en iddialı yasaları ve hedefleri olarak tanımlanan aşağıda sıralanan bir dizi anlaşmayı uygulamaya başlamıştır:

- Yeniden kullanım ve geri dönüşüm için farklı malzemeleri ayırmayı ve toplamayı daha kolay ama zorunlu hale getirilmesi
- Gıda israfının azaltılması
- Ambalajların yeniden kullanımı ve geri dönüşümünü arttırmak için mali teşvik sunulması
- Yeniden kullanım ve geri dönüşüm için toplanan atıkların yakılmasını ve gömülmesinin yasaklanması
- Atık ürünlerin geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması için daha yüksek hedefler konulması
- Üreticilerin ambalaj atıklarının toplanması ve geri dönüştürülmesi için daha fazla para ayırmasının sağlanması
- Geri dönüşüm oranlarını değerlendirmek için daha doğru bir yöntem belirlenmesi

Döngüsel Ekonomi için kaynağında ayrı toplama bir önkoşuldur. Temmuz 2020’den itibaren yeni AB yasaları geri dönüşüm için hükümetlerin evsel atıkları kaynağında ayrı olarak toplama yöntemlerini iyileştirmelerini mecbur tutmuştur. Belediyelerin var olan plastik, cam, kağıt, metal, atık yağın ayrı toplanmasını öngören kanuna ek olarak tekstil, tehlikeli maddeler, organik maddeler gibi atıkları da ayrı olarak toplaması beklenmektedir.

2020’de AB yeni Döngüsel Ekonomi Eylem Planı 2.0’ı ilan etmiştir. Komisyonun stratejisi özellikle çevresel ayak izi yüksek, tekstil, elektronik, pil, inşaat, ambalaj ve hatta daha arka planda olan, mobilya ve otomotiv sektörlerinde ürünlerin tasarlanma ve üretim yöntemlerini değiştirip tehlikelilik özelliğini azaltmayı ve atığı bitirmeyi amaçlamaktadır.

AB aynı şekilde gıda israfını düşürme hedefi de koymak, aşırı paketlemeyi ve plastik kullanımını da bitirmek istemektedir. Bu hedefler Komisyon ve Üye Devletler tarafından uygulamaya alınırsa, Avrupa’yı daha dirençli ve daha az atığı olan bir ekonomiye dönüştürebilecek bir adım atılmış olacaktır. Komisyon, bir yandan sürdürülebilir ürünleri tüketicinin olağan seçimi yapmak için standart haline getirmek, bir yandan da çevreye zarar veren ürünlerin üretimine son vermek amacıyla, Sürdürülebilir Ürün Girişimi sözü vermiştir. Bunun anlamı, piyasaya sürülen bütün ürünlerin toksik maddelerden arınmış, çevre ve insan sağlığı için risksiz olması, ürün pasaportuna ve bilgilendirme şemasına sahip olup, sürdürülebilirlik performansının belirtilmesi anlamına gelmektedir. Komisyon ayrıca, 2030’a kadar tüm ambalajların geri dönüştürülebilir ve yeniden kullanılabilir olması için yasal prosedürleri başlatmıştır. Gündemdeki bir diğer adım pipet, çatal, bıçak da dahil olmak üzere birçok malzemenin yasaklanmasına yol açan, Tek Kullanımlık Plastik Direktifinin ulusal kılavuzlarının yayınlanmasıdır. Bu bildiriye, farklı uygulamaları ile Belediye atık geri kazanım oranlarında önemli ölçüde iyileşmeler sunan Milan-İtalya, Tübingen-Münih-Almanya örnekleri verilmiştir. Ülkemizde sıfır atık konusunda pilot ilçe olan Kızılcabamam’ın uygulamaları verilmektedir.

2.1. Milan-İtalya

2011’de Milano şehri, biyolojik atıkları ayrı ayrı toplamak ve geri dönüştürmek için iddialı bir plan uygulamaya başlatmıştır. 1,4 milyon nüfuslu ve son derece yoğun nüfuslu bir bölgede, oldukça zor olan biyoatık toplama planı uygulanmaya başlanmıştır. 10 yıl sonra Milan, kişi başına toplanan 95 kilogram biyoatık ve %62 atık toplama oranıyla şu anda önde gelen örneklerden biri haline gelmiştir.

Milan’ın başarı örneği, tüm AB Üye Devletlerinin biyo-atıkları ayrı toplaması için son tarih olan 1 Ocak 2024’den önce biyoatıkların etkin bir şekilde toplanması ve yönetilmesi için yol gösterici olabilecektir.

Avrupa Birliği genelinde biyobozunur atıkların sadece %16'sı toplanarak, geri dönüştürülmesi sağlanmaktadır. Geri kalan kısım ise yakılmakta veya düzenli depolamaya gönderilmektedir. Milan'da 2011 yılında yeni, bir biyobozunur atık toplama planı tasarlanmış ve uygulamaya konulmuştur. 2011 yılında kişi başı 28 kg biyobozunur atık toplanırken, toplama lojistiğini içeren, etkili bir iletişim kampanyası ve evlere, işletmelere dağıtılan kutular, torbalarla yeni bir biyobozunur atık toplama sistemi uygulamaya konularak 2021 yılında toplanan atık miktarı 95 kg'a artırılmıştır. Başlıca atık üreticilerine yönelik uygulanan yöntem aşağıda tanımlanmıştır:

1. *Restoran, kafe ve barlar*

Bilgilendirme ve eğitim sonrası her gece, kapı kapı dolaşarak biyobozunur atıkların %25'inin oluştuğu restoran, kafe ve barlardan, dağıtılan 120 lt'lik kumbaralar ile yiyecek atıkları toplanmıştır.

2. *Evler*

Milan'da evler biyobozunur atıkların en büyük üreticisidir. Tüm şehirde bu atıkların toplanması için yapılan uygulamalar: posterler, broşürler dağıtmak, kaldırım kenarlarına biyobozunur toplama kumbaraları yerleştirmek, apartmanlara 120, 35 veya 10 lt'lik kutular veya kompost olabilen poşetler dağıtılarak kapıdan kapıya atıkların haftada iki defa sabah erken saatlerinde toplanmasıdır.

3. *Market ve pazarlar*

Bilgilendirme ve eğitim sonrası her gece, kapı kapı dolaşarak dağıtılan 120 lt'lik kumbaralardan yiyecek atıkları toplandı, tüm ilde yer alan her pazar bitiminde organik atıkların ayrı toplanması sağlanmıştır.

Toplanan atıklar, Montello'da bulunan Anaerobik Çürütme Tesisine taşınmakta, bu tesiste parçalanıp, ayrıştırılmaktadır. Montello tesisi, yılda 200 bin ton biyobozunur atığı arıtarak 16 milyon m3 biyometan ve 40 bin ton kompost üretmeye yönelik tasarlanmıştır.

Başarıya ulaşmak için, etkili bir iletişim ve bilinçlendirme kampanyası yürütülmüştür:

- Web sitesi
- Akıllı telefon uygulaması
- Okullarda Milan'ın yiyecek atıkları ayrı toplama stratejisinin işlenmesi
- 7/24 müşteri iletişim ağı kurgulanması

Buna ek olarak, teşvik etmek için mali cezalar da getirilmiştir. Örneğin, temizlikçiler tefiş ederken çöp kutularında, gıda atığı dışında atık tespiti halinde evlere veya işyerlerine para cezası kesilmiştir.

2.2. Tübingen- Almanya

Tübingen Almanya'nın güney batısında yer alan, 90 bin nüfuslu, çoğunlukla üniversite öğrencilerinin yaşadığı bir şehirdir. 2018 yılında, şehrin atıklarının büyük bir kısmının tek kullanımlık plastik ürünlerden oluştuğunun belirlenmesi üzerine, şehir içinde yeniden kullanımı teşvik etmeye yönelik daha geniş bir stratejinin yalnızca bir parçasını oluşturan, tek kullanımlık plastik ürünlere şehir çapında bir vergi getirerek radikal bir adım atılmıştır. Uygulanan vergi, tek kullanımlık çatal bıçak takımına, 20 sent, yiyecek ve içecek kapları için tek kullanımlık ambalajlara, 50 senttir.

Aralık 2018'de Belediye meclisinin onayından sonra yerel işletmelere ve vatandaşlara yönelik getirilen yeni vergi için bilgilendirme kampanyası başlatılmıştır. Şehir, işletmelerin yeniden kullanılabilir alternatiflere geçişini desteklemek için bu eylemi, işletmelere bulaşık makineleri için sübvansiyonlar sağlayarak ve yeniden kullanılabilir ambalajlar için halihazırda ekipman ve altyapıya sahip ReCUP, ReBowl, Vytal, reCIRCLE vb. şirketlerle doğrudan bağlantı kurarak desteklemiştir. ReCUP and ReBowl, Vytal, reCIRCLE vb.. Tekrar kullanılabilir yüksek kalite plastik yiyecek-içecek ambalajlarının restoranlarda depozito ile kullanımının sağlanmasına yönelik Avrupa'da yaygın şekilde uygulanan depozitolu plastik yiyecek-içecek ambalajı tedarik zincirleridir. Bu firmalar Tübingen'e davet edilmiş ve yerel işletmelerin müdürleriyle doğrudan görüşebilmeleri sağlanmıştır.

Mevcut sistemde, verginin yürürlüğe girmesinden bu yana müşterilerden geri aldıkları yeniden kullanılabilir kapları temizlemek yerel işletmelerin sorumluluğundadır. Şehir, başlangıçta tüm yeniden kullanılabilir ambalajlar için merkezi bir temizleme sistemi düşünmüştür, ancak daha sonra, dış mali destek olmaksızın ortak temizlik ve lojistik altyapısı oluşturmak açısından bunun sıfırdan başlamanın çok pahalı ve zaman alıcı olacağına karar vererek, işletmelerin temizliği yapabilmeleri için bulaşık makinası altyapısı için destek vererek sistemi başlatma kararı aldılar.

Uygulamanın ilk yılında, etkilenen yerel işletmelerin dörtte birinden fazlası (yaklaşık 400'den 108'i) destek için başvurmuş ve şehirden bir tür sübvansiyon almıştır. Genel olarak, işletmelerin geri bildirimlerinden durum olumludur. Recup/Rebowl ve reCIRCLE havuz sistemlerini kullananlar için artık normal iş devam etmektedir. Bazı işletmeler yalnızca yeniden kullanılabilir ürünler sunarken bazıları hem tek kullanımlık hem tekrar kullanılabilir ambalaj seçeneklerini sunmaktadırlar. Şaşırtıcı olmayan bir şekilde, hem yeniden kullanım hem de tek kullanımlık teklifler yerine yeniden kullanım alternatifleri sunan işletmeler daha iyi sonuç verdiği gözlenmektedir. Belediyenin sübvansiyon programı AB'nin Tek Kullanımlık Plastik Direktifini iç hukuka aktarması ile 2023 yılında sona erecektir. Bu yeni yasa, Alman işletmelerine, 80 m2'nin üzerinde bir alana sahip olmaları ve 5'ten fazla kişi çalıştırmaları durumunda yeniden kullanılabilir ambalajlar sunmalarını zorunlu kılacaktır. Bu yasaya göre, bir işletme bu kriterin altındaysa, en azından müşterilerin yiyecek ve/veya içeceklerini doldurmak için kendi yeniden kullanılabilir kaplarını getirmelerine izin vermelidir.

Uygulama çok kısa bir süre için yürütülmüş olsa da, uygulama ile atıkların miktarında %15 oranına azalma sağlanmıştır. Verginin yasallığı şu anda Alman hukuk sisteminde incelenmekteyken, Tübingen'in hikayesi, şehirlerin sokaklarındaki tek kullanımlık ürün seliyle mücadele etmek için nasıl cesur ve önemli adımlar atabileceğini vurgulamasından ötürü örnek olarak incelenmiştir.

2.3. Münih-Almanya

Almanya'nın 1,5 milyon nüfusa sahip bir şehir olan Münih, Avrupa'nın geri kazanım liderlerinden biridir. Münih Şehri 2020'de sıfır atık ve döngüsel ekonomiye geçişine rehberlik edecek bir strateji geliştirme taahhüdünü açıklamıştır. Şehirde açılan yeniden kullanım merkezi Halle 2, yalnızca aksi takdirde atık haline gelecek olan ikinci el ürünleri onarmakla kalmıyor, aynı zamanda döngüsel ekonomiyi teşvik etmek için yerel sakinleri ve paydaşları bir araya getirmek için topluluk içinde aktif bir rol oynuyor. 2017'de Halle 2, Eurocities İşbirliği Ödülü'nü kazandı ve bugün her yıl yaklaşık 1.000 ton atığı önleyerek Münih şehrinin sürdürülebilirlik gündeminin merkezi bir parçasını oluşturuyor.

Münih şehri, 2020 yılı hedefi olan %50 geri dönüşüm hedefini 2018 yılında toplanan atıkların %54'ünü mevzuata göre geri dönüştürerek sağlamaktadır. Bu hedefe ulaşmada, cadde kenarlarına yerleştirilmiş 960 adet kağıt-karton, metal, plastik, cam, atık tekstil, organik atık kumbaraları ile şehrin değişik yerlerinde bulunan 12 adet geri dönüşüm merkezlerinin rolü olmuştur.

2000 yılında Münih Atık Yönetimi Şirketi israfın önlenmesine yönelik olarak atığın yeniden kullanılmasını sağlamaya yönelik olarak ilk ikinci el mağazasını açmıştır. 2000'li yıllar boyunca Atık Yönetim Şirketi, her geri dönüşüm merkezine, özellikle onarıldıktan sonra hala değeri ve kullanımı olan onarılabilen öğeler için özel toplama noktaları kurmaya başladı. Bu parçalar daha sonra yerel uzmanlar tarafından onarıldı ve ardından o sırada eski bir araba garajında bulunan "Halle" adlı ikinci el mağazasında satıldı. 2016 yılında aynı konseptte 2. Mağaza açıldı. Halle 2 adı altında açılan ikinci mağaza yeniden kullanım fikirleri geliştirilmesi için çalıştaylar, eğitim ve bilinçlendirme çalışmalarının yapıldığı, tamir nasıl yapılır, sökük dikilmesi vb. konularda gönüllülerden eğitimlerin verildiği, israfın önlenmesi, geri kazanım konusunda eğitimler, konferanslar, müzik performansları, sergiler düzenlenmesi gibi eğitim ve bilinçlendirme faaliyetlerinin yürütüldüğü merkezlere dönüşmüştür. Aynı zamanda ikinci el olarak değerlendirilebilecek ürünleri uygun fiyata Münih sakinlerine ulaştırmaktadır.

Halle 2'nin iş modeli aşağıdaki hedeflere dayanmaktadır:

- Üretilen toplam atık hacmini azaltmak için Münih sakinlerinden toplanan atık malzemelerin hacmini artırmak.
- Münih sakinlerinin değerli ve iyi durumda olan ikinci el ürünlere erişim kolaylığının artırılması.
- Bozulan eşyaların tamir edilmesi için yeni ve daha fazla imkan yaratmak, değerini korumak ve dolayısıyla ekonomi içinde kalmasını sağlamak.
- Hem Halle 2'nin büyümesine hem de yerel işletmelerin iş fırsatlarını genişletmesine yardımcı olmak için yeni borç verme ve ticaret fırsatları oluşturmak.

Şekil 2'de görülen Halle 2'de özellikle elektrikli ve elektronik atıkların tamiri, bisiklet tamiri, tekstil geri dönüşümü ve yeme/içme organizasyonlarında işsiz gençlerin çalışmasını sağlayarak istihdam yaratılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır.



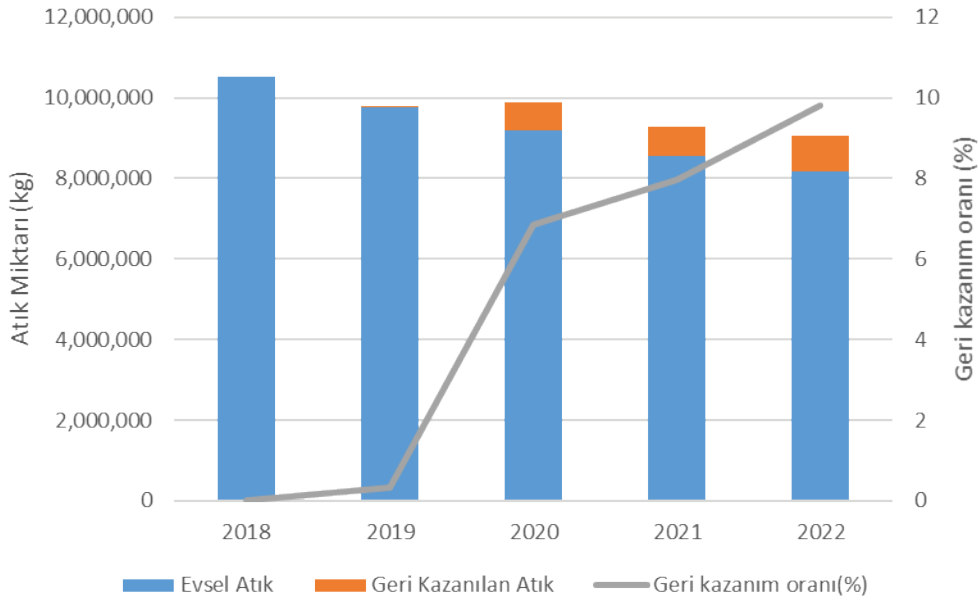
Şekil 2. Münih’de açılan yeniden kullanım merkezi Halle2

2.4. Kızılcahamam -Ankara

Kızılcahamam ilçesi Ankara'ya 80 km. uzaklıkta, Ankara- İstanbul karayolu üzerinde yer alan, başkentin akciğeri özelliğine sahip, çam ormanları, şifalı suları, güzel tabiatı ve turistik tesisleriyle tanınan bir ilçedir. Kuzeyinde Gerede ve Çerkeş, güneyinde Kazan ve Ayaş, doğusunda Çubuk, batısında ise Çamlıdere ve Güdül ilçeleri ile komşudur. Kaplıcalarındaki jeotermal suyun birçok hastalığa iyi geldiği bilinmektedir. Biri ilçe merkezinde, diğeri de Seyhamamı'nda olmak üzere iki önemli termal merkezi bulunmaktadır. Ayrıca ilçeyi çevreleyen ve 1959 yılında açılan Soğuksu Milli Parkı da biyolojik çeşitliliğe sahip, yaban hayatı açısından zengin bir bölgedir. İlçenin 2021 yılı nüfusu 25968'dir, ancak yaz aylarında turistik özelliklerinden ötürü nüfus önemli miktarda artış göstermektedir. İlçede 7500 yatak kapasiteli turizm tesislerinde konaklayanların yanısıra önemli miktarda turist ilçeyi günübirlik olarak ziyaret etmektedir.

Merkezde yer alan 4 büyük ilçenin, Akçay, Yenice, Karşıyaka ve İsmetpaşa ilçelerinin toplam nüfusu ilçe nüfusunun %59'u dur. 2019 yılı Kasım ayından bu yana ülkenin ilk atık uygulamasının başlatıldığı örnek ilçe olarak söz konusu dört büyük ilçede geri dönüşebilen atık toplama sistemi yerleştirilmeye başlanmıştır. 2019 tarihinden bu yana ilçedeki evsel atık ve geri kazanılabilir atık kapsamında toplanan atık miktarları incelenerek ilçedeki geri dönüşebilen atık toplama verimi değerlendirilmiştir. Atık Yönetimi uygulaması ile ilçede toplanabilen geri dönüşebilen atıkların toplam atık içindeki oranlarının artış eğiliminde olduğu gözlenmektedir (Şekil 2). Belediye tarafından, uygulamanın başladığı 2020 yılında geri dönüşebilen atıkların %7 si toplanabilmişken, 2021 yılında %8'e, 2022 yılında ise bu oran %10'a ulaşmıştır. Evsel atık içindeki tüm geri kazanabilen atıkların sıfır atık yönetimi uygulamaları ile toplanması halinde bu oranın yapılan evsel atık kompozisyon çalışmasına göre ise %18'e ulaşması mümkündür.

İlçede uygulamanın henüz başlatılmadığı 2018 yılı atık miktarına göre 2022 yılı sonunda toplam atık miktarında %28'lik bir azalma gözlenmektedir. Kızılcahamam Belediyesi sınırları içinde yer alan ambalaj atıkları, sokağa yerleştirilen toplam 400 mavi geri kazanılabilir ambalaj atığı konteynerları, haftanın belirli günlerinde ilçenin farklı noktalarında geri kazanılabilir atık toplanması yapan mobil atık getirme merkezi, ilçe merkezinde kurulan Sıfır Atık Bahçesi ve Temmuz 2022'de ülkemizde ilk defa uygulaması bu ilçede başlatılan Depozito İade sistemi ile toplanmaktadır.



Şekil 3. Kızılcahamam ilçesi yıllık toplam atık, geri kazanılan atık miktarı ve geri kazanım oranı(%) (Güllü, 2023)

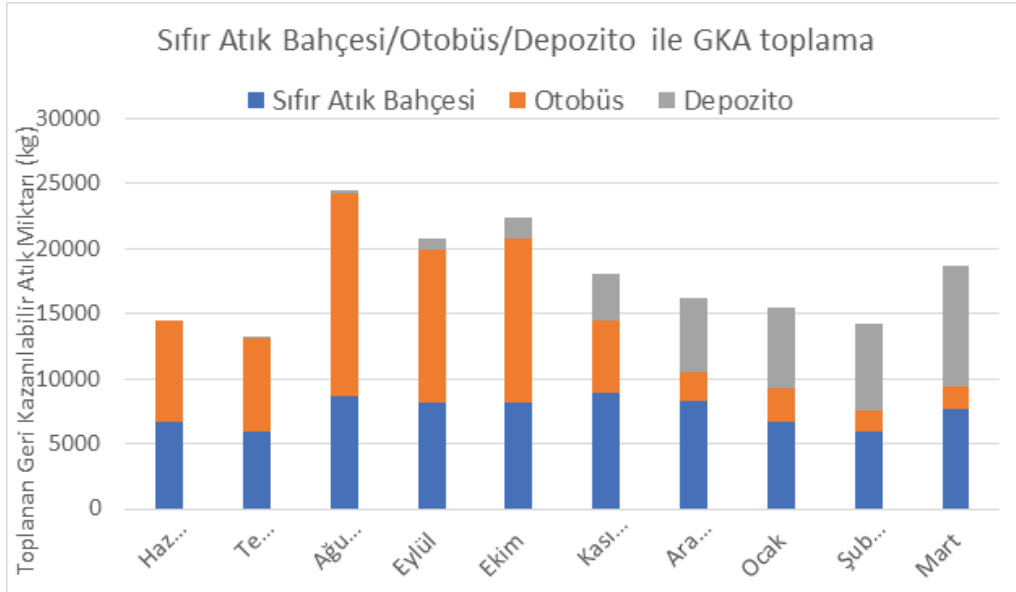
İlçenin merkezinde geri dönüşümü teşvik etmek üzere Sıfır Atık Bahçesi adı altında geri kazanılabilir atıkların ağırlığına göre puan kazanılan, toplanan puanların yerel esnaftan alışveriş yapılmasını sağlayan bir ödül sistemi kurgulanmıştır.

Atıklarını değerlendirmek için Sıfır Atık Bahçesi'ni ziyaret eden vatandaşlar, kağıt, plastik, cam, metal, elektronik, tekstil, bitkisel atık yağ, pil ve aküleri buradaki depolara getirip, hassas terazi üzerinde atık türüne göre tartıp SAT kartlarına puanlarını yüklüyorlar. Kızılcahamam'da uygulamanın başladığı 5 Haziran 2022 tarihinden bu yana şimdiye kadar yaklaşık iki bin kişi SAT kart uygulamasına kaydolurken, atıklarını değerlendiren vatandaşlara ise şu ana kadar 200 bin puan yüklenmiştir.

Geri dönüşüme teşvik olan bahçe içerisinde ayrıca Geri Dönüşüm Atölyesi'nde geri dönüştürülebilir atıklardan öğretmen ve öğrenciler tasarım ve ürün yapabilirken, Sıfır Atık Oyun Alanı'nda ahşaptan üretilen oyunlar ile hem çocukların hem de yetişkinlerin vakit geçireceği alan bulunuyor.

İlçenin merkezden uzak bölgelerinde benzeri atık karşılığı puan yüklenmesine yönelik haftanın belli günlerinde belirlenen güzergah üzerinde otobüs ile atık toplama hizmeti de etkin bir şekilde verilmektedir.

İlçe genelinde uygulanan yeniliklerden biri de Depozito Yönetim Sistemidir. Türkiye’de yıllık yaklaşık 50 milyar tek kullanımlık içecek ambalajı piyasaya sürülmektedir. Bunların çevre sorunu olmaktan çıkması ve dönüştürülerek ekonomiye kazandırılması için hazırlanan Depozito Yönetim Sistemi’nin işleyişi Türkiye Çevre Ajansı tarafından belirlenmektedir. Bu sistemde, Bakanlıkça belirlenen belirli bir depozito bedeli alınacak, bu bedel ürünlerin kullanılması sonrasında iade edilecek ve depozito bedeli geri ödenecektir. Vatandaş ürünün fiyatı dışında ödenen bedeli geri alabilmek için sistemin belirlediği market veya diğer toplama noktalarına yönlendirilecek, depozito bedelini geri alabilmek için atığı iade edecektir. İade bedeli alışveriş puanı olacak ve bu puanlar ya karta ya da telefon uygulamasına yüklenerek, vatandaşların alışverişlerinde kullanabilmeleri sağlanacaktır. Türkiye genelinde bu yıl itibarıyla kademeli olarak işlemeye başlayacak sistemin, 2024’ün sonuna kadar tüm il ve ilçelerde yaygınlaştırılması hedeflenmektedir. Sıfır Atık Projesi’nde pilot bölge seçilen Kızılcahamam, depozito yönetim sistemi için de pilot ilçe olmuştur. İlçe geneline Temmuz 2022’den itibaren yerleştirilen 7 adet Depozito İade makinası ile o tarihten bu yana yaklaşık 350 bin içecek ambalajı toplanmıştır. Toplanan geri kazanılabilir atıkların önemli bir kısmı Depozito Yönetim Sisteminden elde edilmektedir. İlçe genelinde uygulanan farklı geri kazanılabilir atık toplama sistemlerinde toplanan atıkların aylık toplamaları Şekil 3 de gösterilmektedir. Görüldüğü gibi hem Sıfır Atık bahçesi hem Depozito İade sistemi ödül üzerinden atıkların toplanmasında oldukça faydalı uygulamalar olarak ortaya çıkmaktadır. Tüm atık toplama sistemi üzerinden değerlendirme yapılması durumunda, geri kazanılabilir atıkların %70’inin sokaklardaki mavi kumbaralarda biriken atıklardan, %15’inin depozito sisteminden kalan %15’in ise Sıfır Atık Bahçesi, otobüse teslim edilen atıkları içerdiği söylenebilir.



Şekil 4. Kızılcahamam İlçesi Uygulanan Geri Kazanılabilir Atık Toplama Sistemlerinde toplanan atık miktarlarının katkıları

3. Değerlendirme ve Öneriler

Bu bildiri, yerel yönetimlere atıkların oluşmasının engellenmesi veya minimize edilmesi, atığın oluşması durumunda ise kaynağında ayrı toplanması ve geri kazanımının sağlanmasına yönelik iyi uygulama örneklerini göstermek için hazırlanmıştır. Seçilen örnekler, toplam atıklar içinde yüksek oranda bulunan mutfak atıklarının kapıdan toplanarak komposta dönüştürülmesiyle atık geri dönüşüm oranını önemli ölçüde artıran İtalya-Milan örneği; tek kullanımlık plastik ürünlerin yasaklanarak yerine depozitolu daha uzun ömürlü alternatif plastik kullanımının uygulandığı Almanya-Tübingen; atığın tamir edilerek yeniden değerlendirildiği ikinci el atık toplama-tamiristasyonlarının kurulduğu Münih ile ülkemizde ilk uygulamasının gerçekleştirildiği depozito iade sisteminin yer aldığı, atık getirme karşılığı para puan yüklemesinin yapıldığı pilot ilçe olan Ankara-Kızılcahamam'da yürütülen iyi uygulama örnekleridir. Bu uygulama örneklerinin etkili politikalar ve girişimlerle atık azaltımının nasıl sağlanabildiğine yönelik yol gösterici olması hedeflenmiştir.

4. Kaynaklar / References

Güllü, G., Ankara İli Kızılcahamam İlçesinde Depozito Yönetim Sistemine Geçiş Sürecine Uygun Çevre Strateji Ve Politikalarının Belirlenmesi Ve Geliştirilmesi Projesi Nihai Rapor, Çevre Ajansı, 2023.

GWİ, Global Waste Index, 2022

TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, Atık İstatistikleri, 2020

UAYEP, Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı, 2023

UNEP, Global Waste Management Outlook, 2015

Yazar Hakkında / About Author

**Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ | Hacettepe Üniversitesi |
ggullu[at]hacettepe.edu.tr | ORCID: 0000-0001-7866-3275**

Dr. Güllü, çevre yönetimi, çevresel izleme ve modelleme araştırma, öğretim ve danışmanlık alanlarında 30 yılı aşkın deneyime sahip Hacettepe Üniversitesi'nde profesördür. Dr. Güllü, atık yönetimi, hava kalitesi yönetimi, çevresel izleme teknikleri, sera gazı muhasebesi ve yönetimi, hava kalitesi izleme verilerinin istatistiksel ve grafiksel analizi ve izleme sonuçlarının yerel ve bölgesel kaynaklar ve etkiler açısından değerlendirilmesi konularında uzmandır. Türkiye'nin elektronik atık yönetimi, çevresel etki değerlendirme ve çevre yönetimi hizmetleri yönetmeliklerini AB düzenlemelerine uygun olarak hazırlamış ve çok değişkenli istatistiksel analiz teknikleri ve atmosferik taşınım ve dağılım modellemesi ile uzun vadeli izleme sonuçlarını kullanarak Türkiye ve Doğu Akdeniz bölgesindeki hava kirliliğinin yerel ve bölgesel etkilerini araştırmıştır. Pasif örnekleyicilerin kullanımı ve meteorolojik ve aerometeorolojik izleme çalışmaları dahil olmak üzere çok sayıda izleme programı tasarlamıştır. Araştırmaları, Doğu Akdeniz bölgesinde bulunan yüksek ozon seviyelerinin tarım ve ormancılık üzerindeki etkisi, VOC'lerin iç ve dış mekan izlemesi ve VOC kaynağı karakterizasyonu ve uzun mesafeli toz taşınması ve bunların karakterizasyonu üzerine çalışmaları içermektedir.

**Prof. Dr. Gülen GÜLLÜ | Hacettepe University |
ggullu[at]hacettepe.edu.tr | ORCID: 0000-0001-7866-3275**

Dr. Güllü is a professor at Hacettepe University with over 30 years of experience in the fields of environmental management, environmental monitoring, and modeling research, as well as teaching and consulting. Dr. Güllü is an expert in waste management, air quality management, environmental monitoring techniques, greenhouse gas accounting and management, statistical and graphical analysis of air quality monitoring data, and evaluation of monitoring results in terms of local and regional sources and impacts. She has prepared Türkiye's electronic waste management, environmental impact assessment, and environmental management services regulations in compliance with EU regulations. Dr. Güllü has conducted research on the local and regional impacts of air pollution in Türkiye and the Eastern Mediterranean region using multivariate statistical analysis techniques and atmospheric transport and dispersion modeling, utilizing long-term monitoring results. She has designed numerous monitoring programs, including the use of passive samplers and meteorological and aerometeorological monitoring studies. Her research includes studying the effects of high ozone levels in the Eastern Mediterranean region on agriculture and forestry, indoor and outdoor monitoring of VOCs (Volatile Organic Compounds), VOC source characterization, and long-distance dust transport and characterization.

**ATIKSULARIN GERİ KAZANIMI
VE
ATIKSULARDAN ENERJİ ELDESİ**

**WASTEWATER REUSE AND ENERGY RECOVERY FROM
WASTEWATER**

Eyüp DEBİK

ATIKSULARIN GERİ KAZANIMI VE ATIKSULARDAN ENERJİ ELDESİ

Eyüp DEBİK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Özet

Ülkemizde su kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla 2030 yılı için %15 olarak öngörülen geri kazanım hedefi, mevcut biyolojik evsel atıksu arıtma tesislerine kum filtresi ve dezenfeksiyon üniteleri eklenerek hızlı bir şekilde daha yüksek mertebelere ulaştırılmalıdır. Yapılan çalışmalar, bu ünitelerin ilavesiyle arıtılan atıksuların tarımda veya yeşil alanların sulanmasında kullanımının emniyetli ve verimli olduğunu göstermiştir. Ancak; ülkemizde evsel atıksuların %50'sinin tarımda kullanılması, sulamadaki kullanım oranını %73'den ancak %71'e düşürmektedir. Bu sebeple, tarımda modern sulama tekniklerinin yaygınlaştırılması önemli bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada, evsel atıksuların geri kazanımının yanında tekstil, zeytinyağı üretimi ve tavuk kesimhanesi atıksularının geri kazanımı için membran teknolojilerinin kullanıldığı çalışmalardan elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Örnek olarak verilen bu çalışmalarda \$0,66/m³ işletme maliyeti belirlenmiştir. Bu maliyet, işletmeler için şebekeden su temin etme maliyetinden düşüktür. Ancak, ülkemizde yeraltı suları çok düşük ücretlerle veya ücretsiz olarak kullanılması sebebiyle atıksu geri kazanımı öncelik olarak görülmemektedir. Bu sorunun çözümü için yeraltı suyu kullanımının uygun şekilde tarifelenmesi ve endüstrinin geri kazanım alternatifini değerlendirmesi sağlanmalıdır. Bu makalede; organik içeriği yüksek endüstriyel atıksuların arıtımında anaerobik yöntemin tercih edilmesinin önemli enerji katma değeri sağladığı ortaya konmuştur. Bu bağlamda, organik içeriği yüksek atıkların arıtılması için alternatifler değerlendirilirken anaerobik arıtma teknolojisine öncelik verilmesi gerektiği düşünülmekte olup teknolojinin yaygınlaştırılması için teşviklerin sağlanması uygun olacaktır.

Anahtar Kelimeler

Atıksuların geri kazanımı, Tarımsal sulama, Anaerobik arıtma, Enerji eldesi

WASTEWATER REUSE AND ENERGY RECOVERY FROM WASTEWATER

Eyüp DEBİK

Yıldız Technical University

Abstract

In order to ensure the sustainability of water resources in our country, the recovery target of 15% for 2030 should be reached to higher levels rapidly by adding sand filters and disinfection units to the existing biological domestic wastewater treatment plants. Studies have shown that the use of wastewater treated with the addition of these units in agriculture or irrigation of green areas is safe and efficient. However, the use of 50% of domestic wastewater for irrigation in Türkiye reduces the water usage rate for this purpose from 73% to only 71%. For this reason, dissemination of modern irrigation techniques in agriculture emerges as an important necessity. In this study, the results obtained from the studies in which membrane technologies are used for textile, olive oil production and poultry slaughterhouse wastewater recovery as well as the domestic wastewater recovery are shared. In these studies, which are given as examples, an operating cost of \$0.66/m³ was determined. This cost is lower than the cost of supplying water from the network for the industrial sectors. However, wastewater recovery is not seen as a priority in our country since groundwater is used with very low fees or free of charge. In order to solve this problem, it should be ensured that the use of groundwater is properly tariffed, and the industry should be forced for the recovery alternatives. In this article, it has been revealed that the preference of anaerobic method in the treatment of industrial wastewater with high organic content provides significant energy added value. In this context, it is thought that anaerobic treatment technology should be given priority when evaluating alternatives for the treatment of wastes with high organic content, and it would be appropriate to provide incentives for the dissemination of technology.

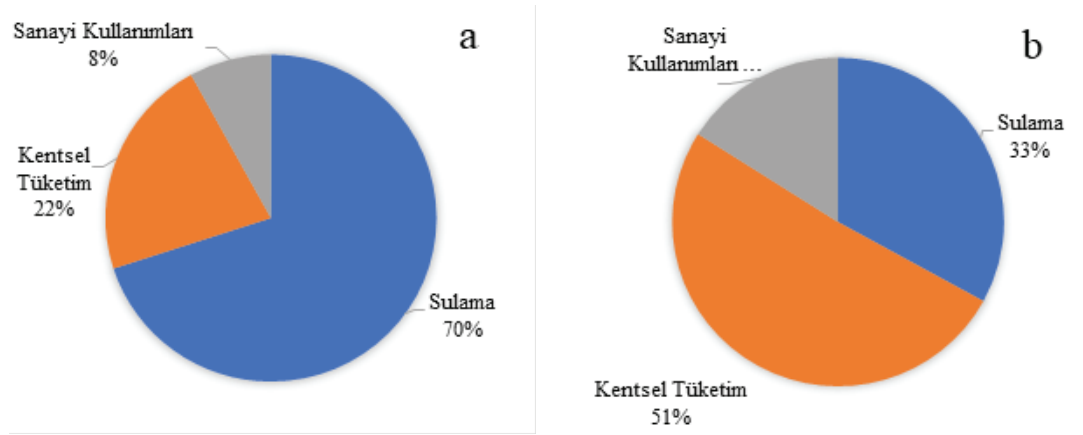
Keywords

Wastewater recovery, Agricultural irrigation, Anaerobic treatment, Energy recovery

1. Giriş

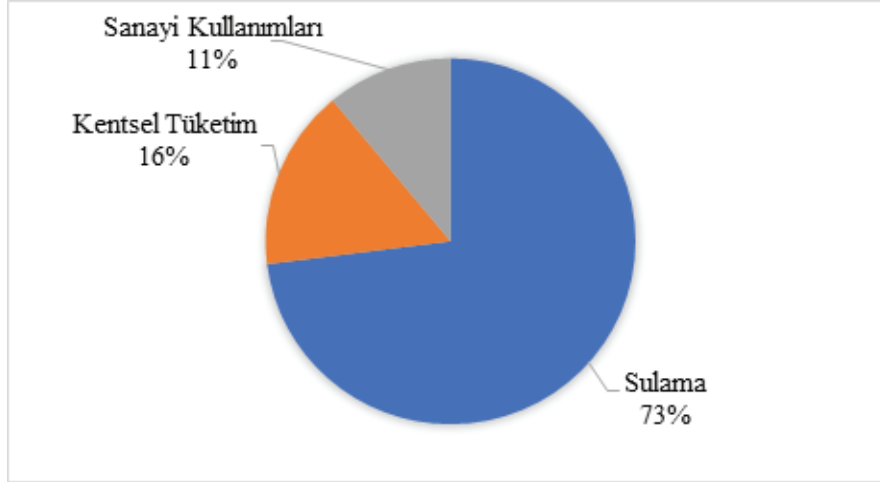
Dünyamızın 2/3'si suyla kaplı olmasına rağmen bu su kütlelerinin %97,5'i tuzlu su olup %2,5'lük kısmı tatlı su kaynaklarını oluşturmaktadır. Ancak, bu tatlı su kaynaklarının büyük bir kısmı buzullar şeklindedir. Diğer su kütlelerinin büyük bir kısmı yeraltı suyu olup kolay ulaşılabilir yüzeysel su ve yeraltı sularının yüzdesi oldukça düşüktür. Bu miktar tatlı su kaynaklarının yaklaşık %1'inden bile daha düşüktür (Ayyam vd., 2019). Bu sebeple, temiz su kaynaklarının gıda güvenliğinin sağlanması, gelecek nesillere emniyetli olarak aktarılması için verimli bir şekilde kullanılması ve kullanıldıktan sonra geri kazanımı büyük önem arz etmektedir.

Tatlı su kaynakları kullanım amacına göre genel olarak 3 şekilde kullanılmaktadır. Bunlar, evsel kullanımlar olarak tanımlanabilecek *kentsel tüketim*, endüstride imalat için *sanayi kullanımları* ve tarımsal faaliyetler için *sulama* şeklinde ifade edilebilir. Bu kullanımların oranları ülkeden ülkeye, yöreden yöreye ve hatta kişiden kişiye değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin; dünyada bu kullanım oranlarına baktığımızda genel olarak sulama %70, kentsel tüketim %22, sanayi kullanımları %8 olarak kendini göstermektedir (Şekil 1a). Diğer taraftan; sulama sistemlerini ve kullanımlarını modernize etmiş olan ülkelere bakıldığında bu kullanım oranları sulama için %33, kentsel tüketim için %51 ve sanayi kullanımları için %16 olarak kendini göstermektedir (Şekil 1b). Bu kullanım oranları 2020 yılı verileri esas alınarak ülkemiz açısından değerlendirildiğinde sulamanın %73, kentsel tüketimin %16 ve sanayi kullanımlarının ise %11 olarak gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 2). Bu durum ülkemizde tarımsal sulama için harcanan su miktarının oldukça yüksek olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 1. (a) Dünyada ve (b) Avrupa ülkelerinde amaçlarına göre su kullanım oranları (ÇSB, 2020)

Akdeniz iklim kuşağında da yer alan ülkemiz toplam su potansiyeli açısından maalesef iyi bir durumda değildir. Yıllık 112 milyar m³ su potansiyeline sahip olan ülkemizde bu potansiyelin %39'u Şekil 2'de verilen oranlarda sulama, kentsel ve sanayi amaçlı kullanılmaktadır. Su bütçesine bu oranlar açısından bakıldığında toplam yıllık kullanılan su miktarı yaklaşık 44 milyar m³ olup bu miktarın 32 milyar m³'ü sulama, 7 milyar m³'ü kentsel kullanım ve 5 milyar m³'ü sanayi için kullanılmaktadır (ÇŞB, 2020).



Şekil 2. Türkiye'de amaçlarına göre su kullanım oranları (ÇŞB, 2020)

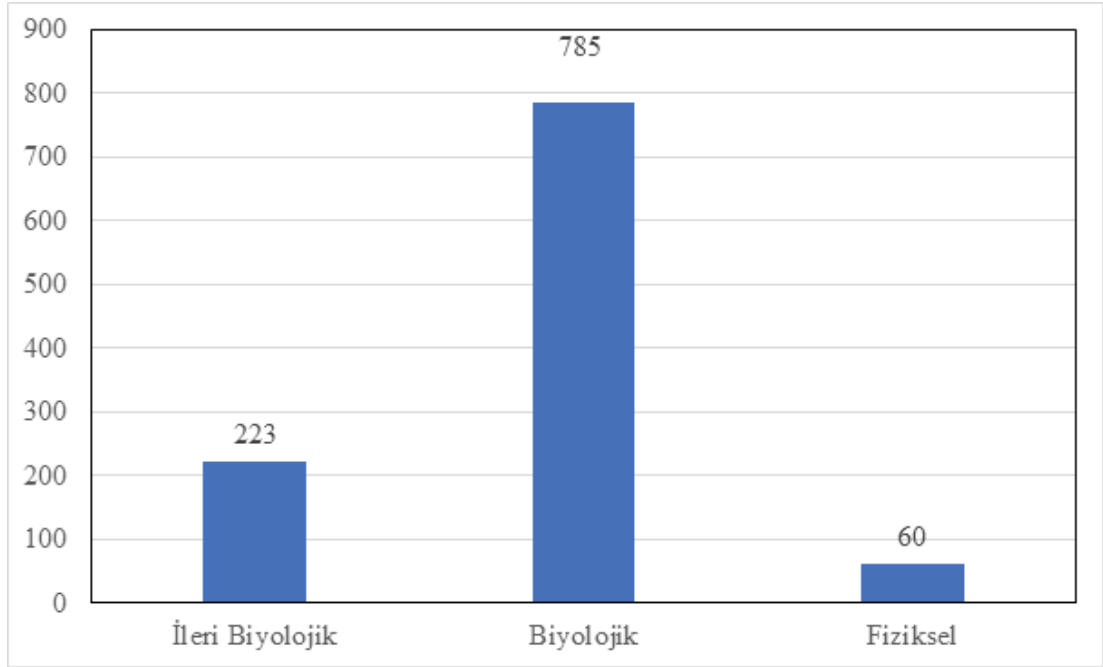
Ülkemiz mevcut su potansiyeli ile Tablo 1'deki kriterlere göre değerlendirildiğinde günümüzdeki nüfusa göre su zengini bir ülke değildir. Hâlihazırdaki nüfus esas alındığında kişi başı yıllık yaklaşık 1.300 m³ su miktarı ile *su stresi altındaki* bir ülke konumundadır. 2040 yılında nüfusumuzun yaklaşık 100 milyonu bulacağı düşünüldüğünde bu miktarın yıllık 1.100 m³ civarına düşeceği tahmin edilmektedir (SBB, 2018). Maalesef, bu sonuç, o yıllarda su fakiri bir ülke konumuna daha da yaklaşmış olacağımızı işaret etmektedir. Bu açılarından bakıldığında hem su kullanım politikalarının değiştirilmesi hem de kullanılan suların geri kazanılması için yeni politikaların geliştirilmesi gerektiğini ifade etmek mümkündür.

Tablo 1. Su Varlığının Sınıflandırılması (SBB, 2018)

Su varlığı	Sınıflandırma
Yılda kişi başına düşen su miktarı 8.000-10.000 m ³ 'ten fazla ise	Su Zengini
Yılda kişi başına düşen su miktarı 2.000 m ³ 'ten az ise	Su Azlığı
Yılda kişi başına düşen su miktarı 1.000 m ³ 'ten de az ise	Su Fakiri

2. Ülkemizde Atıksuların Arıtımı

Evsel atıksuların arıtımında fiziksel, biyolojik ve ileri biyolojik arıtma yöntemleri kullanılabilir. Ülkemizde evsel atıksuların arıtımında yaygın olarak biyolojik atıksu arıtma prosesleri kullanılmaktadır. 2020 yılı verilerine göre ülkemizde toplam 1.068 adet atıksu arıtma tesisi bulunmakta olup bu tesislerin 60 tanesi fiziksel arıtma, 785 tanesi biyolojik ve 223 tanesi ileri biyolojik arıtma prosesi olarak işletilmektedir (Şekil 3). Bu arıtma tesisleri toplam ülke nüfusunun %79'una hizmet etmekte olup bir kısım atıksu arıtma tesisinde de geri kazanım alternatifi bulunmaktadır (TÜİK, 2023). Halihazırda atıksu geri kazanım oranı %4,12 olarak verilmekte ve bu oranın 2023 yılı için %5 ve 2030 yılı için ise %15 olarak hedeflendiği belirtilmektedir (ÇŞB, 2022).



Şekil 3. Türkiye’de kurulu bulunan atıksu arıtma tesislerinin dağılımı (ÇŞB, 2020)

Önemli endüstriyel faaliyetleri yürüten bir konumunda olan ülkemizde bazı sektörlerde ihracat potansiyeli de oldukça yüksektir. Endüstriyel faaliyetlerdeki bu başarının yanında maalesef atıksuların arıtımı ve geri kazanımında istenilen düzeye henüz ulaşamamıştır. Endüstriyel kullanımlar sebebiyle oluşan yıllık 2,4 milyar m³ atıksu değişik alıcı ortamlara verilmekte olup bu atıksuların yaklaşık %81’i soğutma suyu olarak deşarj edilmektedir. Soğutma suyu haricindeki suların ancak %54,4’lük bir kısmı arıtılarak deşarj edilmekte diğer kısmı ise halen herhangi bir arıtmaya tabi tutulmamaktadır. Alıcı ortamlara verilen atıksuyun %81,3’ü denizlere, %6,8’i akarsulara, %9,4’ü kanalizasyonlara ve %2,2’si diğer alıcı ortamlara verilmektedir (ÇŞB, 2020).

Diğer taraftan, ülkemizde toplamda 236 OSB faaliyet yürütmekte ve bu OSB'lerden 104'ünde atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. 58 OSB atıksularını belediye kanalına deşarj ederken bu OSB'lerden 22 tanesinin atıksu arıtma tesisi proje ve inşaat çalışmaları devam etmektedir. Maalesef halen 74 OSB'de herhangi bir arıtma tesisi bulunmamaktadır (ÇŞB, 2020).

3. Atıksuların Geri Kazanımının Önemi

Gerek dünyadaki kolay kullanılabilir temiz su miktarının kısıtlı olması gerekse daha önce ifade edilen ülkemizdeki su potansiyelinin kritik seviyede olması sebebiyle öncelikle su kullanımının tasarruflu bir şekilde yapılması daha sonra da oluşan atıksuların geri kazanımı büyük önem arz etmektedir.

Atıksuların geri kazanılmasının birçok faydası bulunmaktadır. Bu faydaların bazıları kısaca aşağıda açıklanmıştır.

- Atıksuların geri kazanımıyla temiz su kaynaklarının korunması sağlanmış olacak ve böylece gerek ülkemizde gerekse dünyada yaşayan nüfusun gelecekteki yaşam güvenliği sağlanmış olacaktır.
- Su, hem insanların temel gıda maddesi olması bakımından hem de insanların gıda ihtiyaçlarını karşıladıkları tarım, hayvancılık, endüstriyel üretim vb. işlemler için de vazgeçilmez bir unsur olması sebebiyle gıda güvenliğinin sağlanması için önemli bir kaynaktır. Geri kazanım bu kaynağın korunmasını ve uzun süreli kullanımını sağlayacaktır.
- Geri kazanım ile alıcı su ortamlarına deşarj edilen atık su miktarlarının önemli miktarda azalması sağlanmış olacak ve böylece temiz su kütlelerinin korunması sağlanmış olacaktır.
- Atıksuların geri kazanımı, temiz su kütlelerinin korunmasının yanında deşarj yapılan diğer ekosistemlerinin de korunmasını sağlayarak böylece çevresel kirliliğin azaltılmasına katkı sağlayacaktır.
- Geri kazanım ile toplumda atıksuların kaynak değerinin anlaşılması ve sürdürülebilir bir kaynağın temin edilmesi mümkün olacaktır.
- Arıtılmış atıksular azot ve fosfor gibi nütrientler açısından zengin bir içeriğe sahip olduğundan tarımsal sulamada kullanılması halinde ziraat için kullanılan gübre miktarlarının azaltılmasına katkı sağlayacaktır.
- Arıtılmış atıksular temiz su kaynaklarının korunmasına sebep olması ve sürdürülebilir bir kaynak olması sebebiyle kuraklığın etkilerinin azaltılmasına önemli katkılar sağlayacaktır.
- Arıtılmış atıksuların kullanılması ile temiz su kaynaklarının daha verimli temin edilmesi sebebiyle tatlı su maliyetlerinin azalması mümkün olacaktır.

Bir kısmı yukarıda ifade edilen geri kazanımın avantajlarının değerlendirilmesi için daha önce de ifade edildiği gibi ülkemizde bazı hedefler konulmuştur. Önümüzdeki yıllarda ulaşılması amacıyla konulmuş bu hedeflerin hatta daha yükseklerinin sağlanması için gerekli çalışmaların daha etkin bir şekilde yürütülmesi uygun olacaktır. Diğer taraftan, daha kolay uygulanabilir geri kazanım alternatiflerinin değerlendirilmesi bu hedeflere ulaşılmasını daha da kolaylaştıracaktır.

4. Atıksuların Geri Kazanımında Kullanılan Yöntemler

Son yıllarda kabul gören atık hiyerarşisinde (Şekil 4) olduğu gibi atıksuların arıtımı ve geri kazanımında da başlangıç aşaması kaynağında kontrol olmalıdır. Kaynağında kontrolde de yapılması zorunlu en önemli husus *azaltmak* yani doğal kaynakların olabildiğince az kullanılmasıdır. Bunun için temelde *israf etmemek* daha sonrasında ise en az su ve kimyasal kullanan teknolojilerin kullanılması esas olmalıdır. Bu adım başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğinde hem atıksu miktarı az olacak hem de oluşan atıksuyun kirlenme özelliği az olacaktır. Bu şekilde yapılacak bir su kullanım politikasından sonra oluşan atıksuların mümkünse direkt geri kullanımı değilse arıtılarak amaca uygun bir şekilde kullanımı sağlanmalıdır.

Gerek evsel gerek endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılan genel arıtma yöntemleri bilindiği üzere fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerdir. Daha önce de ifade edildiği gibi ülkemizde evsel atıksuların arıtılmasında çoğunlukla biyolojik arıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak, az sayıda da olsa fiziksel arıtma kullanılan bazı tesisler halen bulunmakta olup bu tesislerin de biyolojik arıtmaya dönüştürülmesi için çalışmaların yapıldığı bilinmektedir. Diğer taraftan, endüstriyel atıksuların arıtımında atıksuyun karakterine bağlı olarak her üç proses veya bu proseslerin kombinasyonu kullanılmaktadır. Klasik yöntemler kullanılarak arıtılan atıksuların her amaca uygun kalite kriterlerini sağlaması mümkün olmamaktadır. Arıtılmış atıksuların içeriğinde makro ve mikro kirlenmeler, inorganik kirlenmeler, çözünmüş katılar ve ağır metallerin bulunması muhtemeldir.



Şekil 4. Son yıllarda kabul gören atık hiyerarşisi

Geri kazanım amacıyla herhangi bir atıksuyun arıtılması için kullanılacak yöntem, ham atıksuyun karakterine, arıtılmış atıksuyun kullanım amacına, kullanılacak tesis ve işletmeye göre değişkenlik göstermektedir. Bu sebeple, geri kazanım çalışmalarında öncelikle arıtılacak suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gereklidir. Karakteri belirlenen atıksuyun hangi amaç için nerede ve ne kadar kullanılacağını belirlenerek bu amaç ve hedefler için arıtma sürecinde hangi tekniklerin kullanılması gerektiği net bir şekilde ortaya konmalıdır.

Evsel atıksuların karakteri yerleşim yerine göre farklılık göstermekle beraber yaklaşık olarak literatürde bilinen belirli özelliklere sahiptir. Bu sebeple evsel atıksuların arıtılmasında kullanılan teknikler, bütün dünyada kabul görmüş olan genellikle fiziksel ve biyolojik arıtma kademelerini içermektedir. Bu yöntemlerle arıtılmış atık suların geri kazanım amacına bağlı olarak ilave bazı ünitelerle kolayca geri kazanımı mümkün olmaktadır.

Diğer taraftan, endüstriyel atıksuların özellikleri, sektör tipine, üretim prosesinin yapısına ve hatta üretim saatlerine bağlı olarak çok büyük değişkenlik göstermektedir. Atıksu özellikleri öyle farklılık gösterebilir ki bu değişim, aynı sektördeki iki işletmenin üretim prosesindeki farklılık sebebiyle ve/veya bir fabrikadaki üretim sürecindeki değişiklikler sebebiyle meydana gelebilir. Bunun yanında, sektöre bağlı olarak proseste kullanılacak suyun özellikleri de önemli farklılıklar göstermektedir. Bu sebeple, özellikle endüstriyel atıksuların arıtılması ve geri kazanımında sektörün tipine, prosesin özelliklerine ve ihtiyaç duyulan proses suyunun özelliklerine bağlı olarak kullanılması gereken arıtma yöntemleri de değişiklik göstermektedir.

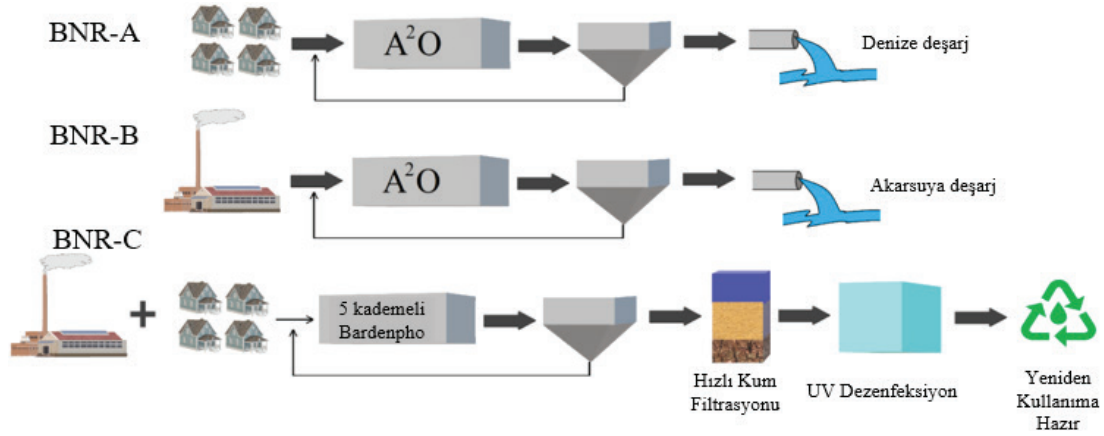
Tablo 2’de genel olarak atıksuların geri kazanımında kullanılacak metotlar ve bu metotların etkili olduğu kirleticiler verilmiştir. Atıksuyun karakterine, geri kazanım amacına ve proses ihtiyacına bağlı olarak Tablo 2’de verilen arıtma yöntemleri tek başına veya birleşik bir şekilde kullanılabilir. Arıtma yöntemleri seçilirken en ekonomik yöntemin kullanılarak atıksuyun geri kazanımı düşünülmelidir. Bunun için geri kazanılan atıksuyun yüksek miktarda ve düşük kalitede kabulünün mümkün olduğu alternatiflerin göz önüne alınması uygun olacaktır. Örneğin, geri kazanılan atıksuların yer yıkama, soğutma suyu, kazan suyu gibi yüksek kalitede su ihtiyacı olmayan alanlar için değerlendirilmesi geri kazanımın oldukça ekonomik olmasını sağlayacaktır. Benzer şekilde özellikle organize sanayi bölgelerinde bir işletmeden çıkan atıksu klasik bir arıtma sisteminden sonra başka bir işletme tarafından kullanılabilir ise öncelikle bu alternatifin değerlendirilmesi daha yüksek teknoloji ile arıtma yapılmasını ortadan kaldıracak ve geri kazanımı daha tercih edilebilir hale getirecektir.

Ülkemizde evsel atıksuların arıtımında kullanılan teknikler dikkate alındığında biyolojik olarak arıtılan atıksuların bir takım son işlemlerden geçirilerek güvenli bir şekilde tarımsal sulamada kullanılması mümkün görünmektedir. Arıtılan bu atıksular, tarımsal sulamaya ilaveten peyzaj sulamada, endüstriyel alanlarda, yeraltı suyunun beslenmesinde ve kentsel ihtiyaçlarda kullanılabilir. Özellikle kanalizasyon sistemlerine endüstriyel deşarjın yapılmadığı şehirlerde biyolojik olarak arıtılmış evsel atıksular, “Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği”ndeki Tablo E7.1’deki “Sulamada Geri Kullanılacak Arıtılmış Atıksuların Sınıflandırılması” kriterlerini sağlayacak özelliğe sahip olmaktadır. Bu sebeple, evsel atıksuların geri kazanımında sulama alternatifi öncelikle değerlendirilmelidir (ÇOB, 2010).

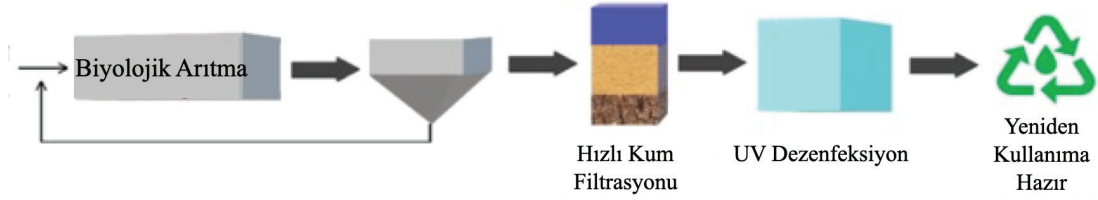
Tablo 2. Atıksu Geri Kazanımında Kullanılan Teknikler (ÇOB, 2010)

ARITMA YÖNTEMLERİ	AKM	Kolloidler	Partiküler Organikler	Çözünmüş Organikler	Azot	Fosfor	Eser Maddeler	TÇM	Bakteri	Protozoa	Virüs
Mikrofiltrasyon	X	X	X						X	X	
Ultrafiltrasyon	X	X	X						X	X	X
Nanofiltrasyon			X	X			X	X	X	X	X
Ters Osmoz				X	X	X	X	X	X	X	X
Flotasyon	X	X	X							X	X
Elektrodializ		X						X			
Karbon Adsorpsiyonu				X			X				
İyon Değiştirme					X		X	X			
İleri Oksidasyon			X	X			X		X	X	X
Dezenfeksiyon				X					X	X	X

Evsel atıksuların geri kazanılabilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla Yıldız Teknik Üniversitesi ile Kocaeli Büyükşehir Belediyesi İzmit Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen uluslararası bir projede, şehirde kurulu bulunan 3 biyolojik nütrient giderim tesisinde 2021-2022 yılında saha çalışmaları yapılmıştır. Şekil 5'te görüldüğü gibi tesislerden 2 tanesi A2O olarak ifade edilen ve biyolojik nütrient gideriminde yaygın olarak kullanılan bir proses olup diğer proses ise 5 kademeli Bardenpho prosesidir. A2O proseslerinden farklı olarak 5 kademeli Bardenpho prosesine hızlı kum filtresi ve UV dezenfeksiyonu da ilave edilerek arıtılan atıksuların bir kısmının geri kazanılması sağlanmaktadır. Çalışmanın yürütüldüğü arıtma tesislerinin atıksu toplama alanları dikkate alınarak tesisler, sadece evsel, sadece endüstriyel ve hem evsel hem endüstriyel atık suların arıtıldığı prosesler olarak kategorize edilmiştir. Bütün tesislerin giriş ve çıkış ünitelerinde KOİ, BOİ, AKM, TP, TN ve ağır metallerin (Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, As, Cd, Pb ve Hg) ölçümleri bir yıl boyunca takip edilmiştir. Endüstriyel atıksular “Kocaeli Büyükşehir Belediyesi İzmit Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü Atıksuların Kanalizasyona Deşarj Yönetmeliği”ne uygun olarak kanalizasyona deşarj edildiğinden her 3 arıtma tesisinden alınan çıkış numunelerinde sulama suyu olarak ifade edilen kriterlerin sağlandığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma sonuçlarına göre, biyolojik arıtımı yapılan şehir atıksularının proses sonuna ilave edilecek bir filtrasyon ve dezenfeksiyon sonucunda kolaylıkla tarımsal sulamada değerlendirilebileceği ortaya konmuştur. Böyle bir atıksu arıtma tesisinin genel akım şeması Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Kocaeli ilinde araştırma yapılan tesislerin genel akım şeması (Ulucan-Altuntas vd., 2023)

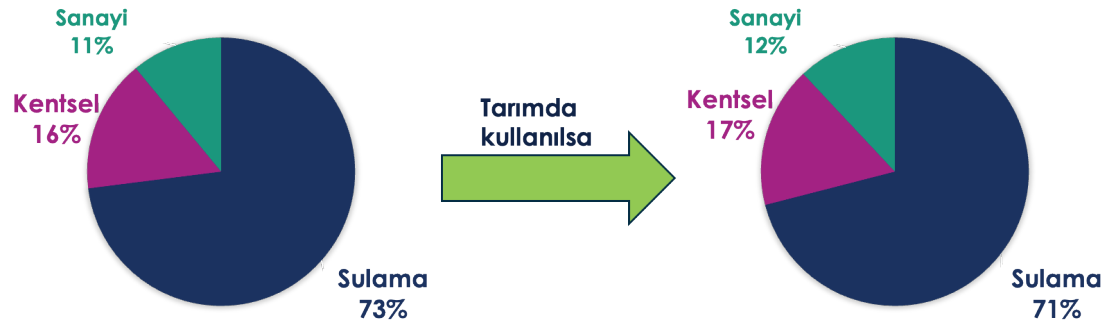


Şekil 6. Evsel atıksuların geri kazanımı için kullanılabilecek sistemin genel akım şeması

Ülkemizde yaklaşık 5 milyar m³/yıl atıksuyun kanalizasyonla toplandığı ifade edilmektedir. Şekil 6'da akım şeması verilen genel proses kullanılarak toplanan evsel atıksuların %50'sinin geri kazanımının sağlandığı düşünüldüğünde 2,5 milyar m³/yıl atıksuyun tarımda, rekreasyon alanlarında, soğutma suyu olarak ve diğer endüstriyel amaçlar için sanayide kullanılması mümkün olacaktır. İlk bölümde de ifade edildiği gibi dünya genelinde en yüksek kullanım olan tarımda sulama alternatifi tercih edildiğinde ülkemizde temiz su kaynaklarından temin edilen yaklaşık 32 milyar m³/yıl'lık sulama suyu miktarı 29,5 milyar m³/yıl'a düşecektir. Bu miktar esas alınarak yıllık su kullanım oranları tekrar hesaplandığında Şekil 7'de gösterildiği gibi ülkemizdeki tarımda sulama yüzdesi ancak %71'e düşmekte kentsel kullanım oranı %17 ve sanayi kullanım oranı ise %12 olarak gerçekleşmektedir. Evsel atıksuların tamamının tarımsal sulamada geri kazanılması halinde bu oranlar bir miktar daha değişmekle birlikte tarımsal sulamanın oranı mevcut teknikleri kullanarak %69'un altına düşmemektedir. DSİ Genel Müdürlüğü'nün 2018 yılı verilerine göre, ülkemizde tarımsal alanların sulanmasında %21 yağmurlama teknolojisi, %17 damla sulama teknolojisi ve %62 diğer sulama teknolojileri kullanılmaktadır (ÇŞB, 2020). Tarımda kullanılan mevcut sulama teknikleri ile atıksuların

geri kazanımı doğal su kaynaklarının kullanımını bir miktar azaltsa da halen oldukça yüksek miktarda doğal su kaynaklarının kullanılmasını gerektirmektedir. Bu sebeple, ülkemizde acilen tarımda sulama tekniklerinin iyileştirilmesi ve basınçlı sulama yöntemlerine geçilmesi bir zorunluluk olarak önümüze çıkmaktadır. Ancak bu şekilde yapıldığı takdirde geri kazanımın da etkisiyle doğal su kaynaklarının üzerindeki baskı önemli miktarda azaltılabilecektir.

Evsel atıksuların geri kazanımında tarımsal sulamanın etkili bir yöntem olarak değerlendirilebildiği gibi endüstriyel atıksuların da soğutma suyu olarak geri kazanımı iyi bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Ülkemizde imalat sebebiyle oluşan atıksuların yaklaşık %81'nin soğutma suyu olması bu alternatifin mutlaka değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Arıtılmış endüstriyel atıksuların soğutma suyu olarak kullanımının yanında üretim proseslerinde, kül sulamada, baca gazı yıkamada ve buhar kazanlarında kullanımı da mümkündür. Bu alternatifleri değerlendirirken mutlaka iyi bir fizibilite yapılarak en uygun yöntemin seçilmesi gereklidir.



Şekil 7. Evsel atıksuların geri kazanımı için kullanılacak sistemin genel akım şeması

Endüstriyel atıksuların geri kazanımına örnek olması açısından ülkemizdeki önemli sektörlerden pamuklu tekstil üretimi, zeytinyağı fabrikası ve tavuk kesimhanesinden meydana gelen endüstriyel atıksuların arıtılması çalışmaları hakkında özet bilgi verilecektir.

Pamuklu tekstil üretimi yapan bir işletmeden alınan tekstil atıksuyunun özellikleri Tablo 3'te verilmektedir. Çalışmada, ham atıksu, aerobik ön arıtmadan ve anaerobik ön arıtmadan geçen atıksuların membran filtrasyonu ile geri kazanımı araştırılmıştır. Araştırmada, NF (NP10) ve UF (UC10) membranları kullanılmış ve membran filtrasyondan sonra elde edilen kirlilik parametrelerinin değişimi Tablo 4'te verilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, özellikle aerobik ön arıtmadan geçirilmiş ve membran filtrasyona tabi tutulmuş atıksuların işletmede tekrar kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Tablo 3. Pamuklu Tekstil Atıksuyu ve Ön Arıtmadan Geçmiş Atıksu Özellikleri (Debik vd., 2010)

Atıksu	KOİ, mg/L	Renk, Pt-Co
Ham atıksu	2.300 ± 400	775 ± 175
Aerobik ön arıtma	650	822
Anaerobik ön arıtma	630 ± 10	300 ± 100

Tablo 4. Pamuklu Tekstil Atıksuyunun Membran Filtrasyonu Çıkışındaki Özellikleri (Debik vd., 2010)

Atıksu	KOİ, mg/L	Renk, Pt-Co
Ham atıksu	250 – 320	87 – 131
Aerobik ön arıtma	15 – 35	25 – 31
Anaerobik ön arıtma	95 – 113	60 – 62

3 fazlı zeytinyağı üretimi yapan bir tesisten alınan zeytin karasuyunun arıtımı için santrifüj işlemi ve ardından UF + NF ve UF + RO membranları ile geri kazanım çalışmaları yapılmıştır. Ham zeytin karasuyunun özellikleri Tablo 5'te verilmiştir. Santrifüj + UF + NF alternatifi ile elde edilen arıtılmış suların kanalizasyona deşarj limitlerini dahi sağlamadığı ancak santrifüj + UF + RO alternatifiyle arıtılan atıksuların ise kanalizasyona deşarj limitlerini sağladığı ortaya konmuştur.

Tablo 5. 3 Fazlı Zeytinyağı Üretim Tesisi Atıksuyunun Özellikleri (Coskun vd., 2010)

Parametre	Değer
pH	4,6 ± 0,2
KOİ, g/L	40,3 ± 1,0
TKM, g/L	6,8 ± 0,7
İletkenlik, mS/cm	5,3 ± 0,2

Tavuk kesimhanesi atıksularının arıtılması çalışmalarında kullanılan ham atıksuyun özellikleri Tablo 6'da verilmiştir. Bu çalışmada da santrifüj ve UF ön işleminden sonra NF ve RO membranları kullanılmış olup NF membranı ile yapılan arıtma çalışmasında deşarj limitleri sağlanırken RO membranı ile yapılan çalışmalarda işletmenin belirli noktalarında kullanılabilecek nitelikte arıtılmış su elde edilmiştir. Tavuk kesimhanesi atıksularının geri kazanımı için meydana gelen işletme maliyeti \$0,66 /m³ olarak tespit edilmiştir.

Tavuk kesimhanesi atıksularının arıtımında meydana gelen işletme maliyeti dikkate alındığında özellikle şebekeden su temin eden işletmeler için bu birim maliyet oldukça düşük kalmaktadır. Şehre göre farklılık arz etmekle beraber endüstrilere ortalama 30 TL/m³'den şebeke suyu servis edildiği düşünülürse günümüz şartlarında $0,66 \times 19 \approx 12,5$ TL/m³ birim atıksu geri kazanım maliyeti oldukça ekonomik görünmektedir. Ancak, ülkemizde birçok endüstrinin kuyu suyu kullanıyor olması birim su maliyetinin çok düşük olmasına sebep olmakta ve atıksuların geri kazanımı bir öncelik olarak düşünülmemekte ve/veya algılanmamaktadır. Bu sebeple kuyu suyu kullanan sektörlerin mutlaka tespit edilerek kuyu sularının da belirli bir minimum tarife ile endüstriye kullanılması bir zorunluluk olarak görülmektedir. Kuyu suyu tarifelerinin şehir şebeke suyu maliyetinin biraz altında ancak geri kazanım maliyetinin üzerinde olması halinde endüstriler, atıksularını geri kazanma alternatiflerini değerlendireceklerdir.

Tablo 6. *Tavuk Kesimhanesi Atıksuyunun Özellikleri (Coskun vd., 2016)*

Parametre	Değer
KOİ, g/L	7,97 ± 0,14
TKM, g/L	2,76 ± 0,70
UAKM, g/L	2,41 ± 0,60
İletkenlik, mS/cm	2,75 ± 0,10
pH	6,6 ± 0,1

5. Atıksulardan Enerji Eldesi

Günümüzde atıklardan enerji eldesi için kullanılan en yaygın teknoloji anaerobik arıtma olarak bilinmektedir. Bu teknoloji kullanılarak endüstriyel atıksuların arıtımında, hayvansal atıkların stabilizasyonunda, tarımsal atıklar ve evsel organik atıklar gibi atıkların biyogazlaştırılması sürecinde metan elde edilebilmektedir. Ülkemizde anaerobik arıtma yaygın olarak çamurların çürütülmesi sürecinde kullanılmakta olup henüz biyokütleden enerji üretiminde maalesef yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bunun yanında özellikle organik içeriği yüksek endüstriyel atıksuların arıtımında da anaerobik arıtma ülkemizde yeterli ilgiyi görmemektedir.

Organik içeriği yüksek endüstriyel atıksuların anaerobik atılmasında önemli iki fayda ortaya çıkacaktır. İlki, organik içeriği yüksek bir atıksuyun aerobik olarak arıtılması sürecinde gerekli enerji ihtiyacı ortadan kaldırılmış olacaktır. Bilindiği gibi aerobik arıtmada en büyük enerji maliyetine, biyolojik arıtmanın gerçekleştiği aerobik tankın hava ihtiyacı sebep olmaktadır. Anaerobik arıtmada ise oksijen ihtiyacı bulunmamaktadır. Bu sebeple, organik içeriği yüksek endüstriyel atıksuların anaerobik arıtılması hava ihtiyacını ortadan kaldıracığından atıksuyun arıtımında önemli bir enerji tasarrufu sağlanmış olacaktır. İkinci fayda, anaerobik arıtma sonucunda *biyogaz* oluşumunun gerçekleşmesidir. *Biyogaz*, içeriğindeki metan muhtevası sebebiyle oldukça önemli bir enerji potansiyeline sahip olup işletmeye önemli bir ekonomik katkı sağlamaktadır. Bu iki önemli faydanın yanında endüstriyel atıksuların anaerobik arıtılması sonucunda meydana gelen arıtma çamuru aerobik arıtmaya göre yaklaşık beş kat daha az olduğundan çamur bertarafının da daha kolay ve ekonomik yapılması söz konusu olmaktadır.

Konunun daha iyi anlaşılması amacıyla fermentasyon sonucu oluşan ve peynir endüstrisinden kaynaklanan iki atıksuyun anaerobik olarak arıtılması için yapılan çalışmaların sonuçları burada kısaca paylaşılacaktır.

Fermentasyon sonucu oluşan atıksu özellikleri Tablo 7’de verilmiştir. Tablo 7’den görüleceği üzere atıksuyun KOİ’si yaklaşık 150 g/L, katı madde muhtevası %7 gibi oldukça yüksek ve aerobik olarak arıtılması ekonomik olmayan bir karakterdedir. 50 m³/gün debiye sahip bu atıksuyun anaerobik olarak arıtılması halinde yaklaşık 2.300 m³ CH₄/gün oluşacağı çalışmada ortaya konmuştur (pilot çalışmalardan elde edilen 0,34 L CH₄/gKOİ değeri esas alınarak hesaplama yapılmıştır) (Coskun vd., 2012). CH₄’ün birim bedelinin doğalgaz fiyatına eşdeğer olduğu varsayımı ve doğalgazın birim maliyetinin yaklaşık \$0,50/m³ olduğu kabulü (İGDAŞ, 2023) ile yaklaşık \$1.150/gün metan sebebiyle işletmeye ekonomik girdi olacaktır. Pilot çalışmanın yapıldığı dönemde anaerobik arıtma tesisinin yaklaşık \$1.000.000 maliyet oluşturacağı alınan tekliflerle ortaya konulmuştur. Amortisman ve işletme maliyetleri gibi maliyet unsurları düşünülmeden anaerobik arıtma tesisinin ilk yatırım maliyetinin yaklaşık 3 yılda CH₄’ın ekonomik katkısı ile karşılanacağı hesaplanabilmektedir.

Tablo 7. Fermentasyon Prosesi Atıksuyunun Özellikleri (Coskun vd., 2012)

Parametre	Birim	Değer
pH	-	5,5 ± 0,5
KOİ	g/L	150,0 ± 10,0
KM	%	7,0 ± 1,0
Protein	%	2,6 ± 0,5
Yağ-Gres	%	2,5 ± 0,5

Peynir endüstrisi atıksularının anaerobik olarak arıtılması için yapılan ön çalışmadan elde edilen ham atıksuyun özellikleri Tablo 8’de verilmiştir. Tablo 8’deki atıksu özellikleri, bu atıksuyun da aerobik olarak arıtılmasının uygun olmadığı bunun yanında anaerobik olarak arıtılmasının mutlaka bir alternatif olarak değerlendirilmesinin uygun olacağını göstermektedir. Anaerobik arıtma tesisinin 1.600 m³/gün atıksu debisi için tasarlanması planlanmış ve tasarımda 0,30 L CH₄/gKOİ değeri esas alınarak elde edilecek biyogaz miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucunda yaklaşık 2.850 m³ CH₄/gün oluşacağı ortaya konmuştur. Atıksuyun arıtımı için kurulacak tesisin yaklaşık maliyetinin €1.400.000 olacağı alınan tekliflerle belirlenmiştir. Bir önceki örnekte CH₄ ve doğalgaz için yapılan kabuller esas alındığında arıtma tesisinin ilk yatırım maliyetinin yaklaşık 3,5 yılda CH₄’ın ekonomik girdisi ile karşılanacağı ortaya konmuştur (Çevmed, 2022).

Tablo 8. Peynir Endüstrisi Atıksuyunun Özellikleri (Çevmed, 2022)

Parametre	Birim	Değer
pH	-	5,2
KOİ	mg/L	7.000
BOİ ₅	mg/L	3.200
AKM	mg/L	1260
Yağ-Gres	mg/L	250

Yukarıda verilen bilgilere ve iki örneğe istinaden, özellikle organik içeriği yüksek endüstriyel atıksuların arıtımı için anaerobik arıtmanın mutlaka bir alternatif olarak değerlendirilmesi gerektiği açıktır. Bu şekilde hem aerobik arıtma için kullanılacak havalandırma sebebiyle harcanacak enerji maliyetleri bertaraf edilmiş olacak hem de anaerobik arıtmada elde edilen metanın enerji değerinden faydalanılarak işletmenin daha ekonomik şekilde atıklarını bertaraf etmesi sağlanmış olacaktır.

6. Sonuçlar ve Öneriler

Ülkemizde her geçen gün atıksuların geri kazanım oranı artmakla birlikte henüz hedeflenen noktaya ulaşamamış olup gelişmiş ülkelerdeki geri kazanım oranının oldukça altında kalmıştır. Buna rağmen, ülkemizdeki özellikle evsel atıksu arıtma tesislerinin sayısı ve kapasiteleri dikkate alındığında atıksu arıtımında iyi bir konumda olduğumuz ifade edilebilir. Buradan hareketle, öncelikle evsel atıksuların geri kazanımına ağırlık verilmelidir. Ülkemizde kurulu olan biyolojik arıtma tesislerine filtrasyon ve dezenfeksiyon gibi kolayca ilave edilebilen geri kazanım birimlerinin hızlı bir şekilde eklenmesiyle evsel atıksuların geri kazanım oranının artırılması tavsiye edilmektedir. Geri kazanılan bu atıksuların kolay ve emniyetli bir şekilde tarımda, kentsel yeşil alanlarda ve endüstrilerde kullanılması mümkün olacaktır. Diğer taraftan, maalesef ülkemizde su kullanıcıları geri kazanılmış atıksuların kullanımını tercih etmemektedirler. Ülkemizde yeraltı suyu kullanımı oldukça yüksek seviyede olup yeraltı suyu kullanan kişi veya işletmelerin suyu oldukça ucuz bir maliyetle elde etmeleri geri kazanılmış atıksuları kullanmalarını engellemektedir. Bunun yanında, psikolojik olarak da geri kazanılmış atıksuların kullanımı pek tercih edilmemektedir. Bu sebeple, geri kazanılmış atıksuların kullanımı ve elde edilecek faydalar hakkında kullanıcıların bilgilendirilmesi, geri kazanılmış atıksu kullanım oranının artmasını sağlayacaktır. Ancak, geri kazanım oranının çok yüksek mertebelerde olması halinde dahi, tarımsal sulamada modern teknikleri kullanmadan doğal kaynakların tükenişini önlemek mümkün görünmemektedir. Bu sebeple, tarımsal sulamada modern tekniklerin kullanımının yaygınlaştırılması için bilinçlendirme ve destek programlarının artırılması tavsiye edilmektedir.

Yüksek organik kirliliğe sahip endüstriyel atıksulardan enerji eldesinin sağlanması ve bu atıksuların geri kazanımı amacıyla anaerobik arıtma alternatifinin ülkemizde yaygınlaştırılması için çeşitli politikaların geliştirilmesi gereklidir. Bu tarz atıksular için aerobik arıtmanın kullanılması halinde oluşacak maliyetin anaerobik arıtma ile ortadan kalkacağı ve elde edilecek CH₄'ın enerji değerinden istifade edilerek ekonomik girdi sağlanacağı sektöre iyi bir şekilde anlatılmalıdır. Arıtma tesisi tasarımcılarının da organik içeriği yüksek endüstriyel atıksular için anaerobik arıtma alternatifini değerlendirmelerinin sağlanması için yetkili idareler tarafından politikalar oluşturulmalıdır.

7. Kaynaklar / References

- Ayyam, V., Palanivel, S. & Chandrakasan, S. (2019). Water Resources and the Changing Needs. In: *Coastal Ecosystems of the Tropics - Adaptive Management*. Springer, Singapore.
- Coskun, T., Debik, E. & Demir N.M. (2010). Treatment of olive mill wastewaters by nanofiltration and reverse osmosis membranes. *Desalination* 259 (1–3), 65–70.
- Coskun, T., Debik, E., Kabuk, H.A., Demir, N.M., Basturk, I., Yildirim, B., Temizel, D. & Kucuk, S. (2016). Treatment of poultry slaughterhouse wastewater using a membrane process, water reuse, and economic analysis. *Desalination and Water Treatment*, 57 (11), 4944–4951.
- Coskun, T., Kabuk, H.A., Varınca, K.B., Debik, E., Durak, I. & Kavurt, C. (2012). Antibiotic fermentation broth treatment by a pilot upflow anaerobic sludge bed reactor and kinetic modeling. *Bioresource Technology*, 121, 31–35.
- Çevmed (Çevre Sağlık Eğitim ve Danışmanlık Ltd. Şti.) (2022). “Peynir endüstrisi atıksuyu arıtımı ve geri kazanımının araştırılması” teknopark projesi. YTÜ Teknopark, Esenler, İstanbul.
- ÇOB (Çevre ve Orman Bakanlığı) (2010). Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/03/20100320-7.htm> (Erişim Tarihi: 14.04.2023).
- ÇŞB (2020). 6. Türkiye Çevre Durum Raporu. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. <https://ced.csb.gov.tr/turkiye-cevre-durum-raporu-i-82673> (Erişim Tarihi: 12.04.2023).
- ÇŞB (2022). <https://www.csb.gov.tr/aritilmis-atıksularin-yeniden-kullanim-oraninda-yuzde-4-olan-yil-sonu-hedefi-asildi-bakanlik-faaliyetleri-34168> (Erişim Tarihi: 14.04.2023).
- Debik, E., Kaykioglu, G., Coban, A. & Koyuncu, I. (2010). Reuse of anaerobically and aerobically pre-treated textile wastewater by UF and NF membranes. *Desalination*, 256 (1-3), 174–180.
- İGDAŞ (2023). <https://www.igdas.istanbul/serbest-tuketici-satis/> (Erişim Tarihi: 14.04.2023).
- SBB (Strateji ve Bütçe Başkanlığı) (2018). On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023) Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/04/SuKaynaklariYonetimi_ve_GuvenligiOzelIhtisasKomisyonuRaporu.pdf (Erişim Tarihi: 13.04.2023).
- TÜİK (2020). Türkiye İstatistik Kurumu Çevre ve Enerji İstatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=cevre-ve-enerji-103&dil=1> (Erişim Tarihi: 14.04.2023).
- Ulucan-Altuntas, K., Manav-Demir, N., Ilhan, F., Gelgor, H.B., Huddersman, K., Tiwary, A. & Debik, E. (2023). Emerging pollutants removal in full-scale biological treatment plants: A case study. *Journal of Water Process Engineering*, 51, 103336.

Yazar Hakkında / About Author

**Prof. Dr. Eyüp DEBİK | Yıldız Teknik Üniversitesi |
debik[at]yildiz.edu.tr | ORCID: 0000-0003-1864-4253**

Dr. Eyüp Debik, İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 1992 yılında mezun olmuştur. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Programı'nda sırasıyla 1995 ve 1999 yıllarında Yüksek Lisans ve Doktora çalışmalarını tamamlamıştır. ABD'de Iowa State Üniversitesi'nde (2002 – 2004) anaerobik arıtma prosesleri ve mantar kullanılarak atıksu arıtımı alanında araştırma faaliyetlerinde bulunmuştur. 2015 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Profesör unvanını alan Dr. Debik, o tarihten bu yana aynı bölümde çalışmalarını sürdürmektedir. Dr. Debik, eğitim ve araştırmalarını genellikle atık suların biyolojik ve kimyasal arıtımı, anaerobik ve aerobik çürütme prosesleri, kapasitif membran deiyonizasyon prosesleri ve Çevre Mühendisliği alanında nanopartikül uygulamaları gibi alanlarda sürdürmektedir. Akademik çalışmalarına ilaveten, Yıldız Teknik Üniversitesi Teknik Meslek Yüksekokulu Müdürlüğü (2014 – 2020), Teknoloji Transfer Ofisi Yöneticiliği (2014 – 2021) ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi Genel Sekreter Danışmanlığı gibi çeşitli yöneticilik faaliyetlerini de gerçekleştirmiştir.

**Prof. Dr. Eyüp DEBİK | Yıldız Teknik University |
debik[at]yildiz.edu.tr | ORCID: 0000-0003-1864-4253**

Eyup Debik graduated from Department of Environmental Engineering at Istanbul Technical University in 1992. He received his master's and doctorate degrees at Yıldız Technical University, Institute of Science and Technology, Environmental Engineering Program in 1995 and 1999, respectively. He had research activities at Iowa State University in the USA (2002 – 2004) in the field of anaerobic treatment processes and wastewater treatment using fungus. He received the title of Professor in 2015 at Yildiz Technical University in Environmental Engineering and has been working in the same department ever since. His teaching and research cover the application and designing the biological and chemical treatment technologies of wastewaters, anaerobic and aerobic digestion processes, capacitive membrane deionization processes and nanoparticle applications in degradation of persistent organic pollutants. He had several management experiences including the Director of Technical Vocational School of Higher Education (2014 – 2020), Manager of Technology Transfer Office (2014 – 2021) at Yildiz Technical University, and Advisor of General Secretary in Istanbul Metropolitan Municipality.

**DÖNGÜSEL EKONOMİ
VE
SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA:
MEVCUT DURUM VE YAPILMASI GEREKENLER**

**CIRCULAR ECONOMY AND THE SUSTAINABLE
DEVELOPMENT: A REVIEW OF THE CURRENT SITUATION
AND SUGGESTIONS ON WHAT MUST BE DONE**

Mustafa ACAR

DÖNGÜSEL EKONOMİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA: MEVCUT DURUM VE YAPILMASI GEREKENLER

Mustafa ACAR

Necmettin Erbakan Üniversitesi

Özet

Bugün insanoğlunun karşı karşıya olduğu en önemli sorunların başında küresel ısınma, iklim değişikliği ve buna bağlı olarak yaşanan çevre kirliliği sorunları, çevresel felaketler ve yeryüzünde birçok canlı türünün yok olma tehlikesiyle karşı karşıya olması gelmektedir. Kutuplardaki buzullar erimekte, yeryüzünde yağışların dağılımı dengesiz bir hal almakta, bazı bölgeler aşırı yağışlar ve sellerle boğuşurken bazı yerler kuraklık ve çölleşme tehlikesi altında bulunmaktadır. Hava kirliliği, su kirliliği, toprak kirliliği, kısaca çevre kirliliği alarm verici boyutlarda olup, sınırlı doğal kaynaklar giderek tükenmektedir. Dünyadaki bu kötü gidişe son verme ve daha yaşanabilir bir dünyayı mümkün kılma arayışları bağlamında öne çıkan kavramlar sürdürülebilir kalkınma, yeşil ekonomi ve yeşil büyüme, yenilenebilir enerji ve döngüsel ekonomidir. Bu çalışmada döngüsel ekonomi ve onunla akraba kavramlar ele alınmakta ve döngüsel ekonomi arayışları konusunda mevcut durum değerlendirilmekte, sürdürülebilir kalkınma ve döngüsel ekonominin başarılması için neler yapılması gerektiği konusunda öneriler sıralanmaktadır.

Anahtar Kelimeler

Döngüsel ekonomi, Sürdürülebilir kalkınma, Yeşil ekonomi, Atık yönetimi, Geri dönüşüm

CIRCULAR ECONOMY AND THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT: A REVIEW OF THE CURRENT SITUATION AND SUGGESTIONS ON WHAT MUST BE DONE

Mustafa ACAR

Necmettin Erbakan University

Abstract

Among the most urgent problems faced by humanity today are global warming, climate change and the consequent pollution and environmental disasters and the resulting endangered species. Glaciers in the northern and southern poles are melting, rainfall are becoming increasingly unbalanced, exposing certain regions suffer from excessive precipitation and flood disasters, while some others suffer from drought and desertification. Air pollution, water pollution, soil pollution, i.e. environmental pollution are felt at an alarming level, and limited natural resources are depleted rapidly. Some of the prominent concepts produced by the efforts to stop the rot and make a more viable environment possible are sustainable development, green economy, green growth, renewable energy, and circular economy. This study investigates circular economy and related concepts, evaluating the current situation in this process and offers certain suggestions to achieve sustainable development and circular economy.

Keywords

Circular economy, Sustainable development, Green economy, Waste management, Recycling

1. Giriş

Küresel ısınma ve iklim değişikliği ile bunun yarattığı çevre felaketleri günümüzde bütün dünyanın gündemindeki en önemli sorunlardan biri haline gelmiştir. Büyük ölçüde fosil yakıtların kullanımıyla ortaya çıkan sera gazı salınımları başta olmak üzere, çeşitli sebeplerle yeryüzü giderek ısınmakta, kutup bölgelerindeki buzullar erimekte, dünya üzerinde yağışların dengesi bozulmaktadır. Bunun sonucu olarak bazı bölgeler aşırı yağışlar ve buna bağlı su baskınları ve sellerle boğuşurken, tersine bazı bölgeler aşırı kuraklık ve çölleşme tehlikesi ile karşı karşıya bulunmaktadır.

Öte yandan dünya nüfusunun artması, ihtiyaçların çeşitlenmesi ve tüketim kültürünün ve israfın yaygınlaşmasının yanı sıra, kanaat, tasarruf, sadelik, azla yetinme, ihtiyacından fazlasını muhtaçlarla paylaşma gibi dini-kültürel-ahlâki değerlerin zamanla aşınması da dünya üzerindeki kaynakların aşırı tüketimi, hor kullanımı ve çevre kirlenmesine yol açan sebepler arasında sayılabilir.

Dünya üzerindeki eşitsizlik ve yoksulluk kadar çevre tahribatının sorumlusunun kim ya da ne olduğu siyasi, ideolojik, entellektüel, toplumsal ve akademik zeminlerde hararetli tartışma konusudur. Özellikle Marksist, sosyalist radikal devletçi, milliyetçi veya muhafazakâr, siyasi yelpazenin farklı kanatlarından kollektivist ve anti-kapitalist eğilimli çevreler bütün bu sorunların baş sorumlusunun küresel kapitalizm ve başıboş bırakılmış piyasa sistemi olduğunu ileri sürerken, daha serbest piyasacı, bireyci, küreselleşmeci ve rekabetçi kapitalizm yanlısı insanlar sorunun kaynağını kapitalizmden ziyade müdahaleci, merkezi planlamacı, kaynakların etkin kullanımı gibi bir kaygısı olmayan, israf ve yolsuzlukla iç-içe geçmiş devletçi-kumandacı politikalarda aramak gerektiği görüşündedirler.¹

Bu tartışmada kimin haklı, kimin haksız olduğu başlı başına ayrı bir çalışmanın konusudur. Ancak kimin haklı, kimin haksız olduğu tartışmasından tamamen bağımsız olarak, hepimizin bildiği, inkâr edilemez, aşikâr bir gerçek şudur ki, dünyada doğal kaynaklar hızla tüketilmektedir, çevre kirlenmektedir, yerküre ısınmaktadır, iklim değişmektedir, bazı canlı türleri yok olma tehlikesiyle karşı karşıyadır. Buna bağlı olarak da, insanlığın el ele vererek daha çevre dostu, doğayı kirlenmeyen, kaynakları aşırı tüketmeyen, gelecek kuşaklara daha yaşanabilir bir dünya bırakmaya dönük yeni yaklaşımlar, politikalar, üretim ve tüketim biçimleri geliştirmesi bir zorunluluktur. Nitekim Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında taraf ülkeler 2050 yılına kadar net karbondioksit emisyonunu sıfırlamayı hedeflemektedir. Avrupa Birliği Yeşil Mutabakat Anlaşmasıyla 2050 yılına kadar ilk “karbon-nötr kıta” olma amacını ilan etmiştir. Net sıfır emisyon hedeflerinin ise enerji, ulaşım, endüstri, atık yönetimi ve ilgili diğer sektörlerde önemli dönüşümler gerektirdiği bilinmektedir.

¹ Çevre kirliliği, yoksulluk, eşitsizlik, savaşlar, vb. gibi çoğunlukla kapitalizm aleyhine ileri sürülen iddialar ve bunların olgusal-tarihsel gerçeklerle ne kadar uyduğu konusunda dikkate değer bir tartışma için, bkz. Zitelmann (2023).

İşte tam da bu konudaki arayışların bir ürünü olarak *döngüsel ekonomi*, *yeşil ekonomi*, *yeşil büyüme*, *sürdürülebilir kalkınma*, *küresel ısınma ve iklim değişikliğiyle mücadele*, *ekolojik ayak izi* ve *yenilenebilir enerji* gibi kavramlar giderek öne çıkmaktadır. Bütün dünyada küresel ısınmanın yavaşlatılması, iklim değişikliğiyle mücadele, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelme, karbon-nötr üretim yöntemleri keşfetme, kaynakları daha tasarruflu ve etkin kullanma, bunun sonucu olarak da daha çevre dostu, doğa ile barışık bir yaşam tarzına yönelme arayışları söz konusu olmaktadır. Ülkeler zaman zaman habitat ve iklim değişikliği zirvelerinde bir araya gelmektedir. Son yıllarda bu konuda daha gözle görülür arayışlar ortaya çıkmış durumdadır.

Bu çerçevede bu çalışmada döngüsel ekonomi, sürdürülebilir kalkınma ve bununla ilişkili kavramlar ele alınmakta, döngüsel ekonomi arayışları konusunda mevcut durum değerlendirilmektedir. İzleyen bölümde döngüsel ekonomi ve akraba kavramlar irdelenmekte, üçüncü bölümde döngüsel ekonomi konusunda mevcut literatür kısaca değerlendirilmektedir. Dördüncü bölümde dünyada döngüsel ekonomi konusundaki arayışlar, özellikle katı atık yönetimine vurgu yapılarak ele alınmaktadır. Sonuç bölümünde ise genel bir değerlendirmenin ardından sürdürülebilir kalkınma ve döngüsel ekonominin başarılabilmesi için bazı öneriler sıralanmaktadır.

2. Döngüsel Ekonomi ve İlişkili Kavramlar

2.1. Döngüsel ekonomi

Son yıllarda çevre sorunlarının giderek ağırlaşması ve doğal kaynakların tüketiminin sürdürülemez bir hal alması üzerine başlayan çözüm arayışlarının ortaya çıkardığı kavramların başında *döngüsel ekonomi* kavramı gelmektedir. “Döngüsel ekonomi”nin mevcut “doğrusal ekonomi”ye referansla daha kolay anlaşılması mümkündür. Bu bağlamda döngüsel ekonomi, günümüzde egemen olan mevcut doğrusal ekonomi modeline temel bir alternatifi temsil etmektedir. “Döngüsel ekonomi modeli, bütünsel bir süreci olan, ürün ve hammaddelerin yeniden kullanımını mümkün kılabilcek, atığın geri kazanıldığı, enerji ve tüm kaynakların verimli kullanıldığı, neredeyse hiç atık üretmeyecek şekilde temiz üretimin yapıldığı bir model ve sürdürülebilirlik açısından önemli bir araç” olarak tanımlanmaktadır (Veral, 2021, s.8).

Altını önemle çizmek gerekir ki, döngüsel ekonomi, doğrusal ekonomiye kıyasla daha çevre dostu, daha az kaynak tüketen, kullanılan kaynakların önemli bir kısmını geri kazanmayı hedefleyen bir ekonomi anlayışıdır. Bu çerçevede döngüsel ekonominin iktisadi büyümenin kaynak kullanımına bağımlı olmaktan kurtarılmasına yardım etmesi, bir yandan doğal kaynakları korurken bir yandan da sürdürülebilir büyümeye destek olması beklenmektedir. Döngüsel ekonomi hayata geçirilebildiği oranda tüketim ayak izini azaltmak mümkün olacak, döngüsel malzeme kullanım oranı artacaktır.

Döngüsel ekonomiden beklenen faydaların şu şekilde sıralanması mümkündür:

- Kirliliğin azaltılarak daha sağlıklı bir gezene kavuşma imkânı,
- Su ve toprak gibi doğal kaynakların kullanımı üzerindeki baskının azaltılması,
- Karbon emisyonlarının “iklim-nötr,” yani iklim değişikliğine yol açmayacak şekilde azaltılması,
- Yeni iş imkânlarının yaratılarak yerel düzeyde nitelikli işlerin ortaya çıkarılması,
- Güçlükleri aşma yeteneği olan, esnek ve dirençli değer zincirlerine kavuşulması (European Commission, 2023).

2.2. Sürdürülebilir kalkınma

Yine son yıllarda çevre sorunlarıyla mücadele ve daha yaşanabilir bir çevreye kavuşma konusunda başlayan arayışların ortaya çıkardığı en önemli kavramlardan biri de sürdürülebilir kalkınmadır. Sürdürülebilir kalkınma esas itibarıyla doğal kaynakların tüketimini azaltma, daha tasarruflu ve etkin kaynak kullanımı yoluyla uzun dönemde sürdürülebilir bir beşeri gelişme ve kalkınmanın sağlanmasını ifade etmektedir. Gelecek kuşakların kendi ihtiyaçları için kullanacağı imkânları daraltmadan şimdiki kuşakların ihtiyaçlarını karşılamayı hedefleyen sürdürülebilir kalkınma iki anahtar hususu bünyesinde barındırmaktadır. Bunlardan biri ‘ihtiyaçlar’ olup, özellikle de en fazla önceliğin verilmesi gereken, dünyanın yoksullarının hayati ihtiyaçlarını ima ederken; diğer husus, teknoloji ve toplumsal örgütlenmenin çevrenin şimdiki ve gelecek kuşakların ihtiyaçlarını karşılama kapasitesi üzerinde dayattığı kısıtlamalardır (United Nations, 1987).

2.3. Geri dönüşüm, atık yönetimi ve sıfır atık

Döngüsel ekonomi bağlamında sık sık adı geçen kavramlar arasında geri dönüşüm, atık yönetimi ve sıfır atık kavramları da yer almaktadır. *Geri dönüşüm*, gerek evlerde ve gerekse iş yerlerinde kullanılan geri dönüştürülebilir, yeniden kazanılabilir atıkların çöpe atılmayıp, biriktirilip geri gönderilmesi, bu suretle bunları yeniden üretmek için yeni kaynaklar tüketmek zorunda kalınmamasını ifade etmektedir. Bu anlamda geri dönüşüm atık yönetiminin bir parçası olup, en üst seviyede bu süreç “sıfır atık” olarak adlandırılmaktadır. *Atık yönetimi*, en başta atık önleme, ardından yeniden kullanım, daha sonra da geri dönüşüm, iyileştirme ve imha adımlarını içeren kapsamlı bir süreçtir. Daha önceki dönemlerde atık yönetimi denildiğinde, büyük ölçüde “çöplerin toplanması ve imhası” akla gelmekteyken, daha yakın zamanlarda atıkların aslında doğal kaynakların korunması için önemli olduğunun anlaşılmasıyla bu durum değişmiştir. Bunun yanı sıra, küresel ölçekte toplumlarda çevre konusunda gözlenen hassasiyet de atıkların daha farklı bir şekilde değerlendirilme sürecini hızlandırmıştır. *Atık önleme*, üretim süreçlerinde daha az hammadde ve ara mamul kullanılmasını ifade etmektedir. *Atık iyileştirme* ise, hammadde ve enerjinin ekonomik döngüye tekrar sokulması anlamına gelmektedir (Özsoy, 2018, s.137).

2.4. Yenilenebilir enerji

Döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir kalkınma bağlamında yine en sık atıf yapılan kavramların başında “yenilenebilir enerji” gelmektedir. Adı üzerinde yenilenebilir enerji, doğal süreçlerin kendi doğal akışı içinde kendini yenileyebilen, yeniden üretilebilen enerjidir. Yenilenebilir enerjinin “sürekli devam eden doğal süreçlerdeki enerji akışından elde edilen enerji” olarak tanımlanması da mümkündür. Başka bir ifadeyle yenilenebilir enerji, “enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha hızlı bir şekilde kendini yenileyebilmesi” olarak tanımlanabilir. Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, biokütle enerjisi, hidrojen enerjisi ve dalga, gel-git enerjisi olarak sıralanabilir (İnan vd., 2018).

Her ne kadar mutlak anlamda “yenilenebilir” olmasa da, başlangıç yatırımlarından sonra daha düşük maliyetlerle üretilebilmesi ve aşırı kaynak tüketmemesi gibi nedenlerle nükleer enerjinin de döngüsel ekonominin gerçekleştirilmesi, kaynak israfını önleme ve sürdürülebilir kalkınma çabalarına önemli katkısının olacağını söylemek mümkündür.

2.5. Yeşil ekonomi ve yeşil büyüme

Yine döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir kalkınma tartışmalarında sıklıkla gönderme yapılan kavramlar arasında *yeşil ekonomi* ve *yeşil büyüme* kavramları gelmektedir. “Yeşil ekonomi” çevresel riskleri ve ekolojik kıt kaynakların tüketimini önemli oranda azaltırken beşeri refahı iyileştirip toplumsal hakkaniyeti sağlayan ekonomi olarak tanımlanabilir. En basit ifadesiyle yeşil ekonomi, karbon salınımı düşük, kaynak kullanımı açısından etkin, toplumsal açıdan kucaklayıcı olan ekonomi olarak kabul edilebilir (UNEP, 2023).

2.6. Küresel ısınma

Son yıllarda bütün dünyada en sıcak gündem maddelerinden biri olan küresel ısınma, kısaca yerkürenin ısınması ve gezegen ölçeğinde ortalama sıcaklıkların yükselmesi olayıdır. Yirminci yüzyıl boyunca, özellikle de son çeyrek yüzyılda dünyanın geçmiş dönemlere kıyasla giderek daha belirgin biçimde ısındığı genel bir gözlem, yadsınamaz bir gerçektir.

Yapılan ölçümler ve geçmişe dönük araştırmalar, dünya gezegeni üzerinde ortalama sıcaklığın giderek artma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Nitekim dünyanın ortalama sıcaklığı son yüz yıllık dönemde, 1906-2005 yılları arasında yaklaşık 0,74°C artmış, üstelik bu sıcaklık artışı giderek hızlanmıştır. Küresel ısınmaya bağlı olarak yeryüzünde iklim de giderek değişmektedir. Deniz seviyelerinin yükselmesi, buzulların giderek erimesi, okyanusların sıcaklığındaki artış gibi pek çok gözlemsel olgu da dünyanın ortalama sıcaklığının artmakta olduğuna işaret etmektedir. Bu bağlamda altını önemle çizmek gerekir ki, 1880-2011 yılları arasında kalan yüz otuz yıllık dönemin en sıcak yılının 11’i (%85’i) yirminci yüzyıl başında, 2001-2011 arasında yaşanmıştır (Ocak, 2015).

2.7. İklim değişikliği

İklim değişikliği, “iklimin ortalama durumunda ya da onun değişkenliğinde onlarca ya da daha uzun yıllar boyunca süren istatistiksel olarak anlamlı değişimler” olarak tanımlanabilir. İklim değişikliği, doğal iç süreçler ve dış zorlama etmenleri ile atmosferin bileşimindeki ya da arazi kullanımındaki sürekli *antropojen* (insan kaynaklı) değişiklikler nedeniyle oluşabilir (Türkeş, 2008, s.27). İklim değişikliğinin birçok nedeni olmakla birlikte, bunlardan en önemlisi küresel ısınma olarak gözükmektedir.

Küresel ısınmaya bağlı olarak ortaya çıkan iklim değişikliği sorunu yeryüzündeki canlıların yaşamını pek çok bakımdan tehdit etmektedir. Buzulların erimesi, yağışların dengesizleşmesi, ormansızlaşma, çölleşme ve çevre kirliliği sonucunda canlılar birçok bölgede doğal yaşam koşullarından mahrum kalmakta, varlıklarını devam ettiremez hale gelmektedir.

2.8. Ekolojik ayak izi

Küresel ısınma ve buna bağlı olarak ortaya çıkan iklim değişikliği, sürdürülebilir kalkınma ve döngüsel ekonomi tartışmaları bağlamında, çevre sorunlarının çözümü ve daha yaşanabilir bir dünyaya kavuşma çabalarının ürettiği kavramlardan biri de “ekolojik ayak izi” kavramıdır. Bu çerçevede ekolojik ayak izi, “1990’lı yılların başında Mathis Wackernagel ve William Rees tarafından geliştirilmiş bir ekolojik muhasebe ölçütüdür. Bu ölçüt, mevcut teknoloji ve kaynak yönetimiyle, tüketilen kaynakların üretimi ve bu sırada yaratılan atığın bertarafı için gereken biyolojik olarak verimli toprak ve su alanını “küresel hektar” (kha) cinsinden ifade etmektedir” (Tosunoğlu, 2014, s.138).

Başka bir deyişle ekolojik ayak izi, küresel ısınma, iklim değişikliği ve çevre sorunlarının ortasında giderek elimizden kayıp gitmekte olan dünyada insanların iktisadi faaliyetleri sırasında çevreye ne kadar zarar verdiği, doğal kaynakların ne kadarını tükettiği, bunların tekrar yerine konabilmesi için ne kadarlık bir ekolojik alana ihtiyaç duyulduğunu gösteren, insanları üretim ve tüketim faaliyetleri sırasında sorumlu davranmaya davet eden, farkındalık yaratan bir kavramdır. Sürdürülebilir kalkınmanın başarılabilmesi için döngüsel ekonomi mekanizmasının iyi işlemesi, bunun için de gerek bireysel ve gerekse toplumsal düzeyde ekolojik ayak izimizin küçültülmesi gerekmektedir.

3. Döngüsel Ekonomi Konusunda Mevcut Literatür

Döngüsel ekonomi konusunda artan farkındalık ve duyarlılığa paralel olarak bu konuda yapılan etkinliklerin, bilimsel araştırmaların ve akademik dergilerde yayımlanan bilimsel makalelerin sayısı da giderek artmaktadır.

Bu çerçevede yapılan faaliyetler ve çalışmalardan bazı örnekler şu şekilde sıralanabilir: Döngüsel ekonomiyi dünyanın her köşesine taşıma misyonuyla hareket eden Döngüsel Ekonomi Kulübü (2019) 140 ülkeden 280 kuruluşu bünyesinde barındıran bir küresel ağ oluşturmuş durumdadır. Kulübün web sayfasında belirtildiğine göre, İtalya’da bir banka (Intesa Sanpolo) daha döngüsel bir ekonomi yaratmak amacıyla sürdürülebilir bir bono ihraç etmiş; dünyanın en büyük varlık yönetimi şirketi BlackRock döngüsel ekonomi odaklı yeni bir fon kurmuş; dünyanın çeşitli şehirlerinde yıl boyunca çok sayıda döngüsel ekonomi konulu çalıştaylar, seminerler, konferanslar ve benzeri etkinlikler düzenlemiştir.

Bilimsel araştırmalar bağlamında da ümit verici gelişmelerden söz etmek mümkündür. Bu alanda yapılan araştırma ve yayımlanan makale sayısı giderek artmaktadır. Yakın geçmişte bu alanda yapılan çalışmalara birkaç örnek vermek gerekirse, Bassi ve Dias (2019) AB ülkelerinde KOBİ’lerde döngüsel ekonomi uygulamalarının kullanımını araştırmışlardır. Binswanger (2009) Döngüsel akım perspektifinden kapitalist ekonomilerde bir büyüme zarureti olup olmadığını incelemiştir. BMU (2018) Almanya’da atık yönetimi üzerine odaklanmıştır. Busu ve Trica (2019) döngüsel ekonomi göstergelerinin sürdürülebilirliği ve bunun AB’nin ekonomik büyümesi üzerindeki etkisini araştırmıştır. George ve Yunmin (2015) iktisadi büyümenin döngüsel bir modelini geliştirmeye çalışmıştır. Geng vd., (2012) Çin’de ulusal bir döngüsel ekonomi göstergesi konusunda bir değerlendirme ve kritik analiz yapmıştır. Geissdoerfer vd., (2017) döngüsel ekonominin yeni bir sürdürülebilirlik paradigması olup olmadığını tartışmıştır. Ayrıca Cota (2015) döngüsel ekonomiye geçiş bağlamında bölgesel performansları incelemiş, değerlendirme çerçevesinin yapılandırılması üzerinde durmuştur.

Türkçe literatürde döngüsel ekonomi konusundaki bilimsel çalışmalara göz atıldığında, bu konuda yapılan çalışmaların sayısının henüz fazla olmamakla beraber, giderek artmakta olduğu söylenebilir. Türkiye Bilimler Akademisi’nin yayımladığı *Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilir Hayat* başlıklı kayda değer derleme eser (Bulut ve Korkut, 2022) bu konuda yapılmış 17 çalışmayı bir araya getirmiştir. Yeşil ekonomi konusunda da Türkçe literatürdeki en kayda değer ve güncel çalışma olan Duran (2022) editörlüğünde yayımlanmış *Yeşil Ekonomi* adlı eser konuyu çeşitli açılardan irdeleyen 10 önemli çalışmayı içermektedir.

Kamu ve özel sektörden birçok kuruluşun da katkılarıyla Hedefler İçin İş Dünyası Platformu ile DCube Döngüsel Ekonomi Kooperatifi tarafından hazırlanmış olan *Döngüsel Ekonomi Rehberi* (2020) döngüsel ekonominin ne olduğu, döngüsel ekonomi uygulama modelleri, AB döngüsel ekonomi kategorizasyon sistemi, başarılı bir döngüsel ekonomi konsepti için öneriler ve Türkiye’den iyi uygulama örnekleri konusunda oldukça işe yarar bir rehber niteliğindedir.

Yine Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı *Verimlilik Dergisi* 2023 yılında Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik konulu bir özel sayı çıkarmıştır. Dergide döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir kalkınmanın çeşitli açılardan ele alındığı toplam 14 kayda değer makale yayımlanmıştır.

Büyükkökük ve Afşar (2023) döngüsel ekonomi ve verimlilik konusunda bir literatür taraması yapmışlar, Web of Science veri tabanında 2021 sonuna kadar yayımlanmış SSCI endeksli makaleleri taramışlardır. Döngüsel ekonomi ve verimlilik anahtar kelimeleri ile yapılan arama sonucunda toplam 114 makale bulunmuştur. Bu çalışmada, yazarların konuyu çalışma sıklığı ve atıf sayısı dikkate alındığında, döngüsel ekonomi ve verimlilik ikilisinin sosyal bilimlerde üzerinde yoğunlaşmış bir araştırma alanı olmadığı bulgusuna ulaşılmıştır. Yapılan çalışmalarda daha çok döngüsel ekonomi uygulamaları, döngüsel iş modellerinin ekonomik faydaları, kaynak verimliliği ve enerji verimliliği konularının ele alındığı; buna karşılık döngüsel ekonomi uygulamalarında dikkat edilmesi gereken hususlar ve oluşabilecek engeller, eko-yenilikler, tedarik zincirleri, endüstri 4.0 ve dijitalleşme gibi konuların ise sınırlı düzeyde araştırıldığı görülmüştür.

Demirel ve Danışman (2019) AB KOBİ'lerinden toplanan kanıtlar ışığında döngüsel ekonomide eko-inovasyon ve firma büyümesini incelemişlerdir. Yine Fındık (2023) AB üyesi ülkelerdeki döngüsel ekonomi uygulamalarının firma performansına etkisini görgül (empirik) bir analiz çerçevesinde ele almıştır. Atay Polat ve Ergün (2023) yine empirik bir çalışma kapsamında Türkiye’de çevresel düzenlemeler ve ekonomik büyümenin hava kirliliği üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çankaya ve Özbakır Umut (2023) işletmelerde döngüsel ekonominin uygulanabilmesi için gerekli özelliklerin belirlenmesine çalışmışlardır. Yücel ve Terzioğlu (2023) dinamik mekânsal etkileşim bağlamında sürdürülebilir kalkınma ve eko-inovasyon konusunu araştırmıştır. Türk (2023) verimliliği artırma fırsatı olarak döngüsel ekonomi konusunu incelemiştir. Sayın ve Utkulu (2023) ise Türkiye’nin döngüsel ekonomi konusundaki performansını AB ülkeleri ile karşılaştırmalı olarak ele almıştır. Açıcı vd., (2023) döngüsel ekonomi ve yeşil büyüme çerçevesinde sürdürülebilir kalkınma göstergelerinin ekonomik büyüme üzerine etkisini seçilmiş AB ülkeleri özelinde incelemiştir. Ayrıca Aysan ve Büyükdeniz (2022) döngüsel ekonominin sermaye piyasaları yoluyla finansmanını öngören “yeşil tahviller”i konu alan kayda değer bir çalışma yapmıştır. Özetle denebilir ki, döngüsel ekonomi konusunda Türkçe literatür de giderek zenginleşmektedir.

4. Doğrusal Ekonomiden Döngüsel Ekonomiye: Sürdürülebilir Kalkınmanın Neresindeyiz?

Bu bölümde doğrusal ekonomiden döngüsel ekonomiye geçiş konusunda dünyadaki başlıca gelişmelere göz atılmakta, mevcut durum hakkında bilgi verilmekte, bu çerçevede sürdürülebilir kalkınmanın neresinde olduğumuz üzerinde durulmaktadır.

Yukarıda değinildiği gibi, kaynakların tasarruflu kullanımı, geri dönüşüm ve kullanılan malzemelerin yeniden ekonomiye kazandırılması bağlamında “doğrusal” ve “döngüsel” olmak üzere iki farklı ekonomi modelinden söz etmek mümkündür. Doğrusal model yüzyıllardır kullanılmakta olan model olup en basit şekliyle “kullan-at” modeli olarak tarif edilebilir. Mevcut ekonomik yapılar daha çok ürün üretip tüketmeye ve bunları hızlıca elden çıkarmaya odaklı doğrusal modele dayalıdır. Buna göre doğadan hammadde alınmakta, üretim sürecinde

mamul maddeye dönüştürülmekte; nihai mallar tüketiciler tarafından tüketildikten sonra geriye kalan ambalaj vs. katı atıklar fırlatılıp atılmakta, çöplüklerde toplanmakta ve çürümeye terk edilmektedir. Buna karşılık, çevresel felaketler ve çevre kirliliğinin gezegenimizi tehdit etmeye başlamasından sonra, bu felaketlerin önüne geçme arayışlarının sonucu olarak son yıllarda gelişmeye başlayan döngüsel ekonomi modelinde esas olan kullanıp atmak değil, kullandıktan sonra kalan atıkları yeniden kazanmak, böylece kaynak tasarrufu sağlamak, sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunmaktır. Zira hızlı nüfus artışı, kaynakların tükenmesi ve artan kirlilik ile beraber düşünüldüğünde, mevcut doğrusal model geleceğimize yönelik ciddi tehditleri bünyesinde barındırmaktadır (Döngüsel Ekonomi Kulübü, 2023).

Bu çerçevede, AB Komisyonu’nun da isabetle vurguladığı üzere, mevcut doğrusal ‘al-yap-kullan-at’ modelinden uzaklaşıp yeniden üretilebilir, dolayısıyla sürdürülebilir ve döngüsel bir modele geçiş, “kaynak tüketimini gezegenin kaldırabileceği sınırlarda tutabilmek için hayati önem taşımaktadır. Döngüsel bir ekonomide ürünlerin, malzemelerin ve kaynakların değeri ekonomide mümkün olduğu kadar uzun süre muhafaza edilmekte, atık üretimi de asgariye indirilmektedir. Mevcut doğrusal ekonomi modeli sürekli olarak kıt doğal kaynaklar talebini artırmaktadır. Daha döngüsel bir tarzda kullanıp tüketmekle, beşeri ekonomik faaliyetlerin biyo-çeşitlilik dâhil çevre üzerindeki [olumsuz] etkileri ciddi ölçüde azaltılabilir” (EU Commission, 2023).

Küresel ısınma ve buna bağlı olarak iklim değişikliği ile çevre kirliliği sorunlarının gözle görülür bir hal almasıyla birlikte dünya çapında doğal hayatın korunması, çevre kirliliğinin önüne geçilmesi ve sürdürülebilir bir kalkınmanın sağlanması amacıyla bir dizi adım atılmıştır. Bunlar arasında özellikle 1992 tarihli Rio Yeryüzü Zirvesi, Kyoto Protokolü ve Paris İklim Zirvesi anılabilir.

Rio (Brezilya) Yeryüzü Zirvesi’nde sürdürülebilir kalkınma tüm insanlığın 21. Yüzyıldaki ortak hedefi olarak benimsenmiştir. Bu doğrultuda 21. Yüzyılda çevre ve kalkınma sorunlarıyla başa çıkılmasına yönelik ilkeler ve eylem alanlarını ortaya koyan “Gündem 21” adlı –Zirvenin temel çıktısı niteliğindeki- Eylem Planı BM üyesi ülkeler tarafından kabul edilmiştir.² 1997’de imzalanıp 2007’de yürürlüğe girebilmiş olan ve “atmosferdeki sera gazı yoğunluğunun, iklim üzerinde tehlikeli etki yapmayacak seviyelerde dengede kalmasını sağlamak” amacı taşıyan, bugüne kadar 160 ülkenin imzaladığı Kyoto Protokolü küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadeleyi sağlamaya yönelik uluslararası çerçevedir.³ Taraf ülkelerin atmosfere saldıgı karbon miktarını 1990 yılındaki seviyelere düşürmesini öngören Protokol çerçevesinde ülkeler karbondioksit ve sera etkisi yaratan diğer gazların salınımını azaltmaya, bunu yapamadıkları takdirde de karbon ticareti yoluyla haklarını artırmaya söz vermişlerdir. Daha yakın bir tarihte bu konuda atılan başka bir ciddi adım da 2015 tarihinde yapılan Paris İklim Değişikliği Zirvesi sonunda imzalanmış olan Paris Anlaşmasıdır. Söz konusu anlaşma, 5 Ekim 2016 itibarıyla,

² <http://20yil.habitatderneği.org/rio-yeryuzu-zirvesi.html/> (07.03.2023)

³ https://tr.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protokol%C3%BC (07.03.2023)

küresel sera emisyonlarının %55'ini oluşturan en az 55 ülkenin anlaşmayı imzalaması koşulunun sağlanması sonucunda, 4 Kasım 2016 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Anlaşma insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının neden olduğu küresel sıcaklık artışını uzun vadede -sanayileşme öncesi döneme kıyasla- 2 santigrat derecenin altıyla sınırlamayı hedeflemekte; bu konuda 1,5 santigrat dereceyi yakalamanın önemine dikkat çekmektedir. Ayrıca, Paris Anlaşmasıyla ülkelerin iklim değişikliğiyle mücadelede “ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ve göreceli kabiliyetler” ilkesi çerçevesinde katkıda bulunmaları hususu teyit edilmiştir.⁴

Bugün ülkelerin çevrenin korunması, küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadele ve sürdürülebilir kalkınma konusundaki faaliyetleri büyük ölçüde söz konusu belgeler ışığında yapılmaktadır. Döngüsel ekonomi de yine aynı arayışlar ışığında, daha yaşanabilir bir dünyayı mümkün kılma amacıyla, bu sürece katkıda bulunmak üzere gündeme gelmiştir. Her ülke kendi imkânları çerçevesinde ve kendi farkındalığı oranında döngüsel ekonomiye geçmeye ve sürdürülebilir kalkınma sürecine katkı yapmaya çalışmaktadır. Döngüsel ekonominin temel ilkeleri şu şekilde sıralanabilir:

- R1: Reddetmek (Refuse): Ürünün işlevinden vazgeçerek veya aynı işlevi farklı bir (örneğin dijital) bir ürünle sunarak, ürünü gereksiz hale getirmek.
- R2: Yeniden düşünmek (Rethink): (Yeniden kullanım, paylaşım, çok işlevli ürünler sunma yoluyla) ürünün kullanımını daha yoğun hale getirmek.
- R3: Azaltmak (Reduce): Daha az doğal kaynak ve malzeme tüketerek ürün imalatı veya kullanımında verimliliği artırmak.
- R4: Yeniden kullanmak (Re-use): Hâlâ iyi durumdaki (atık olmayan) ürünü tasarlandığı amaç için yeniden kullanmak.
- R5: Tamir etmek (Repair): Arızalı ürünün orijinal işlevi ile kullanılabilmesi için tamir ve bakımını yapmak.
- R6: Yenilemek (Refurbish): Eski bir ürünü restore edip güncel hale getirmek.
- R7: (Yeniden üretmek (Remanufacture): Atıl ya da ıskartaya çıkmış bir ürünün parçalarını aynı işleve sahip yeni bir üründe kullanmak.
- R8: (Başka bir amaca uygun hale getirmek (Repurpose): Artık ya da atıl bir ürünü veya parçalarını farklı işlevlere sahip yeni bir üründe kullanmak. (Döngüsel Ekonomi Rehberi, 2020)

Döngüsel ekonominin ve sürdürülebilir kalkınmanın ayrılmaz bir parçası da hiç kuşkusuz katı atık yönetimidir. Katı atıkların ne kadar başarılı bir atık yönetimi sonucunda yeniden ekonomiye kazandırılabilirse o kadar kaynak tasarrufu yapılacak, çevre de daha az kirletilecektir. Birleşmiş Milletler teşkilatının tespitlerine göre, küresel ölçekte yıllık yerel yönetim katı atık ve hurda

⁴ <https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa> (07.03.2023)

malzeme yığınları -eldeki en iyi tahminlere göre- 2015 yılı itibariyle yılda 2 milyar tondur. Bugün bu miktarın daha da artmış olması muhtemeldir. Yerel yönetim atıkları dâhil kentsel katı atıklar, ticari ve endüstriyel atıklar ile inşaat yapım ve yıkım atıkları ise toplamda yıllık 7 ila 10 milyar ton olarak tahmin edilmektedir (UNEP, 2015, s.52). Bu atıkların uygun yollardan imha edilmemesi çevre kirliliğine yol açarken, döngüsel ekonomi çerçevesinde bunların geri dönüşüm yoluyla yeniden ekonomiye kazandırılması hem çevre kirliliğini önleyecek, hem de kaynak tasarrufu sağlayacaktır.

Katı atıklar uygun yöntemlerle yok edilmedikleri, daha iyisi geri kazanılmadıkları takdirde doğada çok uzun süre kalabilmekte, çevreyi kirletmektedir. Nitekim cam atıklar 4 bin yılda, metal atıklar 10 ila 100 yılda yok olmakta, plastik atıklar da uzun yıllar bozulmadan kalmaktadır. 1 pil atığı 4 m² toprağı kirletmektedir. 1 litre atık yağ 1 milyon litre su kirletmektedir. Bunların geri kazanımıyla hem doğal kaynaklar daha az tüketilmekte, hem de çevre korunmaktadır. Örneğin, 1 ton kâğıt atığın geri dönüşümüyle 17 ağaç kurtarılmakta, 177 kg sera gazı, 4100 kWh enerji, 800 kg hammadde tasarrufu, 2,5 m³ depolama alanı kazanılmaktadır. Benzer şekilde, 1 ton plastik atığın geri kazanımı 41 kg sera gazı, 5774 kWh enerji, 16,3 varil petrol hammadde tasarrufu sağlanmakta, 2,3 m³ depolama alanı kazanılmaktadır. 1 ton metal atık 95 kg sera gazı, 642 kWh enerji, 3 m³ depolama alanı kazandırmaktadır.⁵

Konunun artık ihmal edilemeyecek, görmezden gelinemeyecek boyutlar kazanması üzerine son yıllarda katı atık yönetiminin iyileştirilmesi, cam, metal ve plastik eşya ile kâğıt formundaki katı atıkların geri dönüşüm yoluyla ekonomiye kazandırılması çabaları hızlanmıştır. Bu konuda hemen tüm dünyada gözle görülür çabaların varlığından söz etmek mümkündür.

Bu çerçevede çevre kirliliğinin önlenmesi ve katı atıkların yeniden ekonomiye kazandırılması konusunda Avrupa'da başı çeken ülke Almanya olup, Avrupa Birliği'nin atık yönetimine ilişkin mevzuatının geliştirilmesinde öncü bir role sahiptir. Alman Federal İstatistik Ofisi tarafından sağlanan bilgiler, gerek AB gerekse uluslararası düzeyde Almanya'nın atık yönetiminin iyileştirilmesine yönelik çabalarına vurgu yapmaktadır. Bu bağlamda Almanya'da üretici sorumluluğu prensibi ilk defa 1991 yılında yürürlüğe giren Ambalajlama Yönetmeliği ile hayata geçmiş, böylelikle ürün tüketildikten sonra paketlenme malzemelerinin geri toplanması zorunlu kılınmıştır. Bu yöndeki çabaların olumlu sonuçları da zamanla görülmeye başlanmıştır. Nitekim 1990'lı yıllardan günümüze evsel atıkların geri dönüşüm oranında kayda değer artışlar söz konusu olmuştur. Örneğin 1990 yılında 39 milyon ton evsel atığın %13'ü geri dönüşüm için ayrılmakta iken, 2004 yılında 43 milyon ton atığın %58'i, 2010 yılına gelindiğinde ise 43,5 milyon ton atığın %63'ü geri dönüştürülmek üzere haneler tarafından ayrıştırılmıştır (Özsoy, 2018, s.137).

⁵ <https://sifiratik.konya.bel.tr/>

2019 yılı itibariyle Avrupa Komisyonu'nun sağladığı verilere göre, 2015 yılında kabul edilen Döngüsel Eylem Planı kapsamında AB, 2016 yılında büyük mineral atıklar hariç tüm atıkların %55'inde geri dönüşümü gerçekleştirmiştir. Aynı şekilde inşaat ve yıkım atıklarında geri kazanılma oranı %89 iken, ambalaj atıklarında bu rakam %67'dir. Plastik ambalaj oranları %42'inin üzerindeyken, belediye atıkları %46, değerli malzemelerin atıklarında (bilgisayar, televizyon, buzdolabı vb.) ise %41'lik bir geri kazanılma oranı yakalanmıştır. Bu geri kazanılma oranları 2016 yılında AB'de kullanılan malzemelerin %12'sine tekabül etmektedir. Dolayısıyla birincil hammadde kullanımından tasarruf sağlamıştır (Akt. Yılmaz, 2021, s.98).

Kyoto Protokolü'nü uzun süre imzalamamakta direnen, nihayet imzaladıktan sonra da uygulamaya geçirme konusunda ayak direyen bir ülke olarak yeşil ekonomi ve döngüsel ekonomiye katkı bakımından ABD'nin sicili ne yazık ki pek parlak değildir. Dünyada aşırı ve sağlıksız beslenmeye bağlı obezite sorununun en görünür, kişi başına tüketimin son derece yüksek olduğu ülkelerden biri olan ABD'de plastik ve yiyecek dâhil kişi başına üretilen katı atık miktarı küresel ortalamanın üç katıdır. Ne yazık ki ABD çöplerin geri dönüştürülmesinde de kötü bir sicile sahiptir. Bu ülkede tüketim sonucu ortaya çıkan çöplerin sadece yüzde 35'i yeniden kullanıma kazandırılmaktadır. Buna karşılık bu konuda daha temiz bir sicile sahip AB ülkelerinden Almanya ise yüzde 68'le en fazla çöp geri dönüştüren ülke konumundadır (BBC, 2023). Döngüsel ekonomiyi son 10 yıl içinde gündemine almış olan AB'de bu konuda Kuzey Avrupa ülkeleri daha hızlı yol kat etmiştir. Türkiye de bu durumun farkındadır ve buna göre pozisyon almaya çalışmaktadır. AB pazarının dönüşmesi doğal olarak Türkiye'yi de etkileyeceği için döngüsel ekonomi konusu ülkemiz için büyük önem taşımaktadır (Döngüsel Ekonomi Rehberi, 2020).

Bu bağlamda Türkiye'nin çevre kirliliğiyle mücadele, israfın önlenmesi ve kaynakların etkin kullanımı konusunda son yıllarda kayda değer çabalar sarf ettiği söylenebilir. Döngüsel ekonomi konusunda Arçelik ve Paşabahçe gibi özel firmaların yanı sıra, Bursa Eskişehir Bilecik Kalkınma Ajansı gibi kamusal kuruluşlarca da geliştirilip desteklenen, aralarında FISSAC, Fazla Gıda, Wastespresso, Rhodolive, Ottan, Mumo'nun da bulunduğu çok sayıda projenin varlığı dikkati çekmektedir.⁶ TÜİK sürdürülebilir kalkınma göstergeleri verilerine göre; 2000'li yıllarda ülkemizde hammadde tüketimi 500 milyon ton iken bu değer 2010'lu yıllarda giderek hızlı bir yükselişle 900 milyon tonu aşmış ve yaklaşık iki katına çıkmıştır. Enerji tüketimi de benzer şekilde hane halkı için 2054'ten (Bintep - tep: ton eşdeğer petrol) 3900'lere çıkmış, enerjide dışa olan bağımlılık 2000'li yıllarda %66'larda iken 2010'lu yıllar itibari ile %74'lere ulaşmıştır (TSE, 2018).

⁶ Bu projeler konusunda daha ayrıntılı bilgi için bkz. Döngüsel Ekonomi Rehberi (2000).

Katı atık yönetiminin iyileştirilmesi ve atıkların azaltılması yönündeki çabaların en gözle görülür olduğu kentlerden biri Konya'dır. Konya Büyükşehir Belediyesi'nin bir yandan Sıfır Atık Platformu ve Bilgi Sistemi, Sıfır Atık Yönetim Sistemi Planı, Çevre ve Sıfır Atık Festivali, İklim Şurası, Çevre Eğitimi Projesi Değerlendirme ve Planlama Çalıştayı gibi -bu konuda farkındalık yaratmayı ve proje geliştirmeyi amaçlayan- platformlar ve etkinlikler yardımıyla, bir yandan da kendi imkânlarını devreye sokarak katı atıkların geri dönüşüm yoluyla yeniden ekonomiye kazandırılması konusunda takdire değer gayretleri söz konusudur.⁷

Altını çizmek gerekir ki, bir ülkenin sürdürülebilir kalkınma ve döngüsel ekonomi konusundaki performansının artırılabilmesi başarılı katı atık yönetimine bağlıdır. Bunun için de istisnasız bütün belediyelerin kendi sorumluluk alanlarında toplanan katı atıkların geri kazanımını sağlamaya yönelik tesislerinin olması zorunludur. Tablo 1 TÜİK verilerine göre 2020 yılı itibarıyla Türkiye'de atık bertaraf ve geri kazanım tesislerini göstermektedir.

Tablo 1. Atık Bertaraf ve Geri Kazanım Göstergeleri (2018, 2020) (TÜİK 2023)

	2018		2020	
	Tesis sayısı	İşlem gören atık miktarı (Ton)	Tesis sayısı	İşlem gören atık miktarı (Ton)
Atık bertaraf ve geri kazanım tesisleri	2 223	104 452 603	2 752	127 401 232
Atık bertaraf tesisleri	166	56 372 769	184	78 333 403
Düzenli depolama tesisi	159	55 878 883	174	77 762 423
Yakma tesisi	7	493 885	10	570 980
Atık geri kazanım tesisleri	2 057	48 079 834	2 568	49 067 829
Kompost tesisi	8	138 054	9	127 046
Beraber yakma (ko-insinerasyon) tesisi	40	1 069 360	50	1 298 579
Diğer geri kazanım tesisleri ⁽¹⁾	2 009	46 872 420	2 509	47 642 204

Tablodaki rakamlar yuvarlamadan dolayı toplamı vermeyebilir.

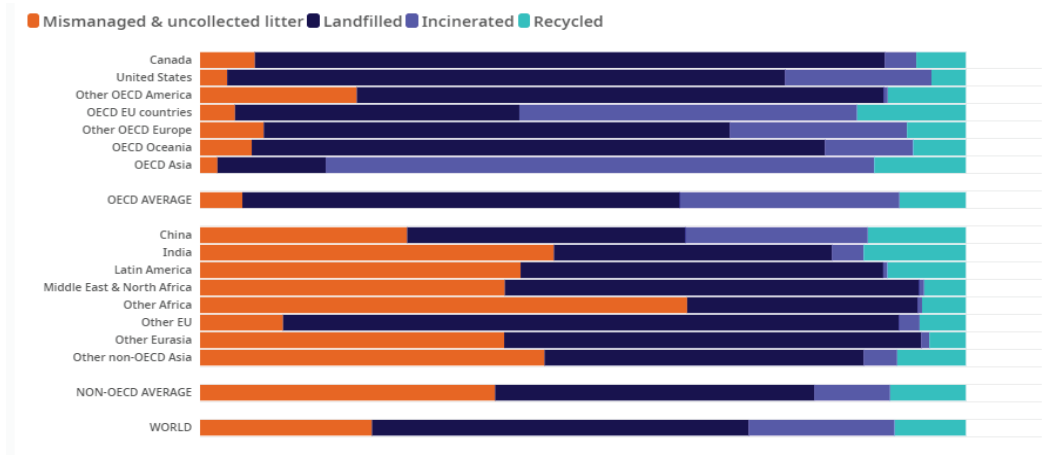
(1) Metal, plastik, kağıt, mineral vb. atıkların geri kazanımını yapan tesisleri içermektedir.

Tablo 1'den de görüldüğü üzere, 2020 yılı itibarıyla Türkiye'de 2752 atık bertaraf ve geri kazanım tesisi bulunmaktadır. Bunların 184'ü atık bertaraf tesisi, 2568'i ise atık geri kazanım tesisi konumundadır.

Dünya genelinde atıkların döngüsel ekonomi konseptine uygun şekilde toplanıp geri kazanımı konusunda da daha yolun başında olduğumuz söylenebilir. Gerek gelişmiş, gerekse gelişmekte olan ve azgelişmiş bütün ülkelerin bu konuya daha ciddi olarak yatırım yapması bir

⁷ Bu konuda daha fazla bilgi <https://sifiratik.konya.bel.tr/h/-ccedil-ep-degerlendirme-ve-planlama--ccedil-alistayi-7m> adresinde bulunabilir. (14.03.2023)

zorunluluktur. Nitekim OECD verilerine göre küresel düzeyde plastik atıkların sadece yüzde 9'u geri dönüşüm yoluyla yeniden kazanılırken, bu atıkların %22'si kötü yönetilmektedir; yani bunların geri kazanımları söz konusu olmadığı gibi, uygun yollarla toplanmadıkları ve uygun yöntemlerle bertaraf edilmediklerinden çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Şekil 1'de seçilmiş ülkelerde plastik atıkların geri dönüşüm ve kötü yönetilme oranları verilmektedir.



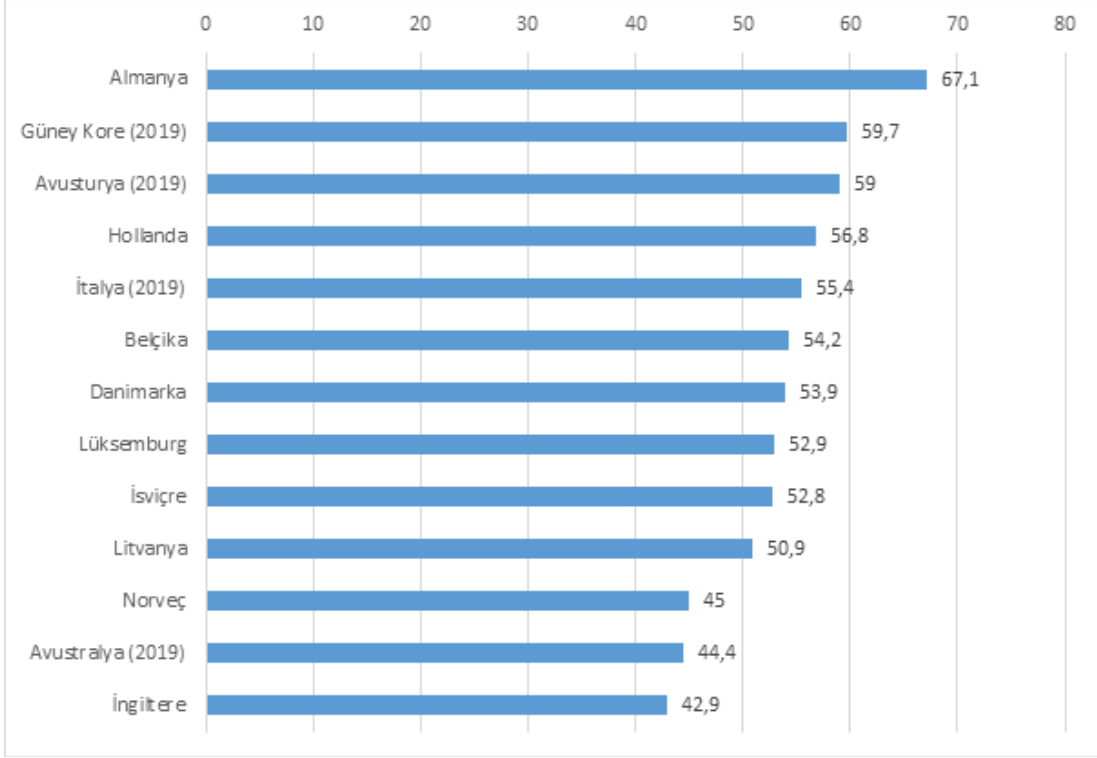
Şekil 1. Seçilmiş Ülkelerde Plastik Atık Yönetimi (2019)

Ülkeler (yukardan aşağıya): Kanada, ABD, OECD üyesi öteki Amerika ülkeleri, AB üyesi OECD ülkeleri, OECD üyesi öteki Avrupa ülkeleri, Okyanusya, Asya, OECD ortalaması, Çin, Hindistan, Latin Amerika, Orta Doğu ve Kuzey Afrika, öteki Afrika ülkeleri, öteki AB ülkeleri, öteki Avrasya ülkeleri, OECD üyesi olmayan öteki Asya ülkeleri, OECD üyesi olmayan ülkeler ortalaması, dünya ortalaması. Kaynak: OECD (2023)

Şekil 1'den de görüldüğü üzere, dünya çapında ortalama olarak plastik atıkların sadece yüzde 9'u geri dönüştürülürken, genel olarak yüzde 22'si israf edilmektedir. Bu konuda karnesi en iyi durumda olan ülkeler, %13 civarında bir geri dönüşüm oranıyla Hindistan, Çin ve AB üyesi OECD ülkeleridir (Şekil 1'de turkuaz renkli alanlar). Plastik atıkların genel olarak en büyük kısmının katı atık depolama alanlarında (çöplüklerde) toplandığı (koyu lacivert renkli alanlar), OECD üyesi Asya ve AB ülkelerinde hatırı sayılır oranda bu atıkların yakılarak yok edildiği (mavi renkli alanlar), ama plastik atıkların bütün dünyada genel olarak kötü yönetildiği anlaşılmaktadır (kahverengi alanlar). Katı atık depolama alanında biriktirme konusunda Kanada, ABD ve OECD üyesi Amerika ve Okyanusya ülkeleri başı çekerken, kötü yönetim konusunda önde gelen ülkeler Afrika ülkeleridir.

Yine katı atık yönetimi konusunda dikkat edilmesi gereken bir diğer istatistik de yerel yönetim katı atık yönetim ve geri dönüşüm oranlarıdır. Şekil 2 seçilmiş ülkelerde yerel yönetim düzeyinde katı atık geri kazanım oranlarını göstermektedir.

Şekil 2’den de görüleceği üzere, 2020 yılı itibarıyla yerel yönetimler düzeyinde katı atıkların başarılı yönetimi konusunda dünyada %67,1 ile Almanya başı çekmektedir. Bu ülkeyi %59,7 ile G. Kore, %59 ile Avusturya ve %56,8 ile Hollanda izlemektedir. Listede en son sırada yer alan İngiltere’de katı atık geri kazanım oranı %42,9’dur.



Şekil 2. Seçilmiş Ülkelerde Katı Atık Geri Kazanım Oranları (% , 2020) (Statista, 2023)

Bu rakamlar esasen dünyanın geri kalanında katı atık yönetiminin daha da geriden gelmekte olduğuna, başka bir deyişle bu konuda yapılması gereken daha çok şey olduğuna işaret etmektedir. Sürdürülebilir kalkınmanın tatmin edici düzeylerde başarılabilmesi için döngüsel ekonomi ve bu kapsamda katı atık yönetimi konusunda sadece 10-15 ülkenin %40 ve üzerinde geri dönüşüm oranı tutturması yeterli değildir. Bu konuda gelişmiş veya gelişmekte olan bütün ülkelerin durumlarını iyileştirmesi, geri dönüşüm ve geri kazanım konusunda küresel çapta asgari %50 oranının yakalanması gerekmektedir.

Türkiye’de endüstriyel ortak yaşam, alternatif yakıtlar ve ikincil hammadde kullanımı gibi döngüsel iş modellerini büyütme için dikkate değer bir potansiyel vardır (Güngör, 2019). Nüfus hacmi ve sınai büyüme göz önüne alındığında, çevre kirliliğinin önlenmesi ve atıkların minimum seviyeye indirilmesi Türkiye için kalkınma süreci bağlamında başlıca zorluklardır. Öte yandan, Türkiye’de döngüsel ekonomi ile ilgili çalışmaların sayısı giderek artmakta, döngüsel ekonomi

kavramı hızla önem kazanmakta ve bu konuda yapılan faaliyetler günden güne artmaktadır (Döngüsel Ekonomi Rehberi, 2020). Nitekim bu çalışmaya motivasyon kaynağı olan, Konya Büyükşehir Belediyesi ev sahipliğinde 17-18 Mart 2023 tarihlerinde Konya’da düzenlenen “TÜBA-Temiz Üretim, Yeşil Mutabakat ve Sürdürülebilir Atık Yönetimi Çalıştayı” da bunun en canlı örneklerinden biridir.

5. Sonuç

Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin felaketli sonuçları her geçen gün bütün dünyada daha somut olarak gözlemlenmektedir. Ormansızlaşma, çölleşme, yeryüzü ölçeğinde yağışların dengesizleşmesi, bazı bölgelerde aşırı yağışlar ve sel felaketleri görülmesine karşılık bazı bölgelerde kuraklık her geçen gün kendisini daha somut olarak belli etmektedir. Sorumsuz üretim, sorumsuz tüketim, kaynak israfı, ahlâki değerlerin aşınması, günü kurtarmaya ve sadece kendini düşünmeye odaklı yaklaşımlar, doğayı insanoğlunun potansiyel düşmanı ya da rakibi olarak görmek, sanayileşme süreci, fabrika bacalarından çıkan dumanlar, fosil yakıtların ölçsüz kullanımı, vb. bütün bunların bu süreçte belirli bir rolü olduğu söylenebilir. Ortaya çıkan tablodan sadece küresel kapitalizmi suçlamak aşırı indirgemeci bir yaklaşımdır; zira çevre felaketleri ve kaynak israfı konusunda sosyalist-komünist rejimlerin karnesi kapitalizmden çok daha berbat görünmektedir.

Doğayı rahatımızı bozan ve bize boyun eğmesi için terbiye etmemiz, istediğimiz kalıba sokmamız gereken bir *rakip* ve bir *tehdit* olarak değil, gelecek kuşaklara sağ ve salim teslim etmemiz gereken bir *emanet* olarak görme bilincini tesis etmemiz artık bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu bağlamda tasarruf, yatırım, üretim ve tüketim alışkanlıklarımızı topyekûn gözden geçirmemiz ve çevre kirliliğine son veren, doğa ile barışık, kaynak israfı yapmayan yaşam tarzları geliştirmemiz gereken bir zamanda yaşıyoruz.

Nitekim, önceki bölümlerde de vurgulandığı üzere, giderek artan çevre kirliliği ve iklim krizi nedeniyle dünya çapında hemen bütün ülkeler çeşitli çözümler aramaya başlamıştır. Üretim sisteminde oluşan her atığın tekrar değerlendirildiği, bu sayede hammadde maliyetinin minimize edildiği, kaynak verimliliğinin ise en üst düzeyde tutulduğu, sürdürülebilir bir üretim modeli olan döngüsel ekonomi bu çözümlerin başında gelmektedir (Döngüsel Ekonomi Rehberi, 2020). Bu bağlamda son yıllarda gerek küresel ısınma ve iklim değişikliğine bağlı çevre sorunları ve gerekse katı atık yönetiminin etkinleştirilmesi, daha çevre dostu üretim ve tüketim yöntemleriyle doğal kaynakların tasarruflu kullanımı ve çevrenin korunması konusunda tüm dünyada belirli bir farkındalığın oluştuğu gözlemlenmektedir. Özellikle 1990’ların başından itibaren küresel ölçekte iklim değişikliği ve çevre konusunda çeşitli zirveler düzenlenmiş, anlaşma ve protokoller imzalanmıştır. Ülkeler gerek merkezi hükümetler ve gerekse yerel yönetimler düzeyinde katı atık yönetimi geliştirme ve bunları daha da iyileştirme arayışındadırlar. Bütün bu çabalarla son tahlilde umulan şey, sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilmesidir.

Ancak bugün geline nokta itibarıyla henüz yolun başında olduğumuz söylenebilir. Başka bir deyişle, katı atık yönetimi, çevre koruma ve yeşil ekonomi bağlamında dünyada bugün bulunduğumuz nokta itibarıyla henüz sürdürülebilir kalkınmanın epey uzağında olduğumuz

açıktır. Daha temiz bir çevre, daha yaşanabilir bir dünya ve sürdürülebilir kalkınmayı başarmak için kaynakların tasarruflu kullanımı, geri dönüşüm, katı atık yönetimi, yeşil ekonomi ve döngüsel ekonomi konusunda daha çok çaba harcamamız, ulusal ve uluslararası düzeyde daha sıkı işbirliği yapmamız gerekmektedir. Bir yandan bu konularda farkındalık yaratma gayretlerini sürdürürken, bir yandan da Kyoto Protokolü ve Paris İklim Anlaşması çerçevesinde bütün ülkelerin yükümlülüklerini eksiksiz yerine getirme konusunda daha duyarlı davranması büyük önem taşımaktadır.

Unutulmamalıdır ki, dünya hepimizindir, atmosferdeki havanın temizliği hepimiz için hayati önem taşımaktadır. Doğa bize emanettir, gerek yeraltı ve gerekse yerüstü kaynakları sınırlıdır. Bugün yaşadığımız dünya hem atalarımızın bize bir mirası, hem de torunlarımızın emanetidir. Atalarımızdan aldığımız dünyayı en azından daha da kötüleştirmeden, mümkünse biraz daha iyileştirerek torunlarımıza devretmek zorundayız. Bunun için kapitalist-komünist demeden, doğulu-batılı demeden, Müslim-gayrimüslim demeden bütün insanlık ailesi olarak hep beraber el-ele, beraberce çalışmak, işbirliği yapmak, çevre kirliliğiyle, küresel ısınma ve iklim değişikliğiyle, ormansızlaşmayla, çölleşmeyle mücadele etmek zorundayız. Bu doğrultuda kaynak israfına her alanda son vermemiz, tasarrufa önem vermemiz, ihtiyaçtan fazla tüketmememiz, daha azıyla yetinmemiz, paylaşmayı öğrenmemiz, sadece bugüne odaklı düşünmememiz, kısaca daha sade, daha gösterişsiz, daha doğaya saygılı bir yaşam tarzı benimsememiz gerekmektedir. Doğayı bizim için hızla yaşanabilir bir yer olmaktan çıkaran ve birçok canlı türünü yok olma tehlikesiyle karşı karşıya bırakan sorunlarla mücadele bağlamında bize yol gösterecek anahtar kavramlar döngüsel ekonomi, yeşil ekonomi, yeşil büyüme, doğa ve çevre dostu üretim ve tüketim yöntemleri, karbon ayak izi, yenilenebilir enerji ve sürdürülebilir kalkınmadır.

Bütün bu söylenenler ışığında döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir kalkınmanın bir hayal olmaktan çıkması ve gerçeğe dönüştürülebilmesi için yapılması gerekenlere ilişkin öneriler şu şekilde sıralanabilir:

Döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir kalkınmanın başarılması için öneriler:

- Küresel düzeyde iklim değişikliği ve çevre sorunlarıyla mücadele ve sürdürülebilir kalkınma konusunda daha sıkı bir işbirliği ve dayanışmaya gidilmesi,
- Ulusal düzeyde kitle iletişim araçları, medya ve sosyal medyayı da kullanarak bu konularda farkındalık yaratmaya dönük etkinliklerin yoğunlaştırılması,
- Yerel yönetimlerin döngüsel ekonomi konusunda daha duyarlı olmalarının sağlanması, atık yönetimi ve geri dönüşüm kapasitelerinin artırılması,
- Çevre koruma, geri dönüşüm ve katı atık yönetimi konusundaki yasal düzenlemelerin gözden geçirilip yenilenmesi, güncellenmesi, iyileştirilmesi,
- Çevre dostu yöntemler benimsemiş olan, bu konuda çevreye güzel örnek teşkil eden kişi ve kuruluşların ödüllendirilmesi, örnek uygulamaların topluma tanıtılması,

- İş dünyası ve yerel yönetimlerin bu konularda proje geliştirme ve uygulamaya teşvik edilmesi,
- Sürdürülebilir kalkınma, çevre, yeşil ekonomi ve döngüsel ekonomi konusunda seminer, konferans, panel, sempozyum vb. bilimsel toplantıların düzenlenmesi, bu tür faaliyetleri düzenleyen kuruluşların desteklenmesi,
- Çevre kirlenmesi, doğal kaynakların tükenmesi, iklim değişikliğinin kaçınılmaz sonuçları bu konularda bireysel ve toplumsal yükümlülüklerimizin eğitim müfredatına dâhil edilerek, ilkokuldan itibaren bu konuda daha bilinçli nesillerin yetiştirilmesi,
- Üniversiteler bünyesinde çevre koruma, küresel ısınma ve iklim değişikliği, sürdürülebilir kalkınma, yeşil ekonomi ve döngüsel ekonomi üzerinde yoğunlaşacak kürsü ve araştırma merkezlerinin kurulması,
- İsraf ve savurganlığın önlenmesi, tasarruf odaklı, kaynakların etkin kullanımını önemseyen ve doğayı bize emanet olarak gören bir anlayışın, doğa dostu bir bakış açısının, yeni bir epistemoloji ve zihniyetin egemen olması için devlet ile sivil toplumun işbirliği içinde çalışması.

6. Kaynaklar / References

- Açcı, Y., Akarsu, G. ve Cafri, R. (2023). “Döngüsel Ekonomi ve Yeşil Büyüme Çerçevesinde Sürdürülebilir Kalkınma Göstergelerinin Ekonomik Büyüme Üzerine Etkisi: Seçilmiş AB Ülkelerinden Ampirik Kanıtlar,” *Verimlilik Dergisi*, Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik Özel Sayısı, 53-67.
- Atay Polat, M. ve Ergün, S. (2023). “Türkiye’de Çevresel Düzenlemeler ve Ekonomik Büyümenin Hava Kirliliği Üzerindeki Etkileri: Ampirik Bir Uygulama,” *Verimlilik Dergisi*, Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik Özel Sayısı, 113-126.
- Aysan, A.F. & Büyükdeniz, T. (2022). Döngüsel Ekonominin Sermaye Piyasaları Yoluyla Finansmanı: Yeşil Tahviller. M. Bulut ve C. Korkut (Eds). *Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilir Hayat* (s. 23-44). Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları. DOI: 10.53478/TUBA.978-605-2249-97-0.ch02
- Bassi, F. ve Dias, J.G. (2019). “The Use Of Circular Economy Practices in SMEs across the EU”, *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 523-33.
- Binswanger, M. (2009). “Is There a Growth Imperative in Capitalist Economies? A Circular Flow Perspective,” *Journal of Post Keynesian Economics*, 31, 707-727.
- BBC (2023). Türkçe Haberler. Erişim: 07.03.2023) <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-48851661#:~:text=Endekse%20g%C3%B6re%2C%20d%C3%BCnya%20genelinde%20her,%C3%A7%C3%B6p%20oran%C4%B1%20ise%20y%C3%BCzde%2027.>
- BMU (2018). “Waste Management in Germany 2018,” https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/abfallwirtschaft_2018_en_bf.pdf (Erişim: 10.03.2023).
- Bulut, M. ve Korkut, C. (2022). *Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilir Hayat*, Ankara: Türkiye Bilimler Akademisi.
- Busu, M. ve Trica, C.L. (2019). “Sustainability of Circular Economy Indicators and Their Impact on Economic Growth of The European Union,” *Sustainability*, 11(19), 5481.

- Büyükkökçü, A. ve Afşar, Y. (2023). “Döngüsel Ekonomi ve Verimlilik: Sosyal Bilimler Kapsamında Bir Literatür İncelemesi”, *Verimlilik Dergisi*, Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik Özel Sayısı, ss. 127-150. Doi: 10.51551/verimlilik.1114231
- Cotae, C.E. (2015). “Regional Performances in the Context of a Transition towards the Circular Economy: Structuring the Assessment Framework,” *Ecoforum Journal*, 4, 1-5.
- Cui, T. ve Zhang, Y. (2022). “Research on the Impact of Circular Economy on Total Factor Carbon Productivity in China,” *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 78780-78794.
- Çankaya, S.Y. ve Özbakır Umut, M. (2023). “İşletmelerde Döngüsel Ekonominin Uygulanabilmesi İçin Gerekli Özelliklerin Delfi Yöntemi ile Belirlenmesi,” *Verimlilik Dergisi*, Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik Özel Sayısı, 1-22.
- Del Giudice, M., Chierici, R., Mazzucchelli, A. ve Fiano, F. (2020). “Supply Chain Management in the Era of Circular Economy: The Moderating Effect of Big Data,” *The International Journal of Logistics Management*, 32(2), 337-356.
- Demirel, P. ve Danışman, G.O. (2019). “Eco-Innovation and Firm Growth in the Circular Economy: Evidence from European Small and Medium-Sized Enterprises,” *Business Strategy and the Environment*, 28(8), 1608-1618.
- Döngüsel Ekonomi Kulübü (2023). Circular Economy Club. About – Circular Economy Club (CEC) (Erişim: 13.03.2023)
- Döngüsel Ekonomi Kulübü (2019). Circular Economy 2019 Year-in-Review | Circular Economy Club (CEC) (Erişim: 13.03.2023)
- Döngüsel Ekonomi Rehberi (2020). https://business4goals.org/PDF/Dongusel_Ekonomi_Rehberi.pdf (Erişim: 13.03.2023).
- Duran, M.S. ed. (2022). *Yeşil Ekonomi*, Bursa: Ekin Yayınevi.
- Fındık, D. (2023). “AB Ülkelerindeki Döngüsel Ekonomi Uygulamalarının Firma Performansına Etkisi Üzerine Ampirik Bir Çalışma,” *Verimlilik Dergisi*, Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik Özel Sayısı, 37-52.
- European Commission (2023), https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy_en (Erişim: 20.02.2023)
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N.M. ve Hultink, E.J. (2017). “The Circular Economy—A New Sustainability Paradigm?” *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768.
- Geng Y., Jia F., Joseph S. ve Bing X. (2012). “Towards a National Circular Economy Indicator System in China: An Evaluation and Critical Analysis,” *Journal of Cleaner Production*, 23, 216-24.
- George, D.A., Brian C.L. ve Yunmin, C. (2015). “A Circular Economy Model of Economic Growth,” *Environmental Modelling & Software*, 73, 60-63.
- Güngör, E. (2019). *To Cycle or not to Cycle: Towards a circular economy in Türkiye*. Netherlands Enterprise Agency.
- İnan, İ., Akbulut, İ. ve Aslan, E. (2018). “Enerji Sorununun Çözümünde Yenilenemez ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yeri ve Önemi.” *Türk Dünyası Araştırmaları*. 120(237)11-40.
- Ocak, M. E. (2015) Küresel Isınma Nedir? TUBİTAK, *Bilim Genç*. <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/kuresel-isinma-nedir> Erişim: 03.03.2023

- OECD (2023). "Plastic Pollution is Growing." Erişim: 07.03.2023 <https://www.oecd.org/newsroom/plastic-pollution-is-growing-relentlessly-as-waste-management-and-recycling-fall-short.htm>
- Özsoy, T. (2018). "Döngüsel Ekonomi: Almanya'daki Durumun Bir Özeti," *Global Journal of Economics and Business Studies*, Cilt: 7, Sayı: 14, 129-143.
- Sapmaz Veral, E. (2021). "Döngüsel Ekonomi: Engeller, Stratejiler ve İş Modelleri," *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi* 8(1), 7-18.
- Sayın, F. ve Utkulu, U. (2023). "Türkiye'nin Döngüsellik Performansı: Avrupa Birliği Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Bir Araştırma," *Verimlilik Dergisi*, Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik Özel Sayısı, 187-202.
- Statista (2023). Municipal Solid Waste Material Recovery Rates. Erişim: 07.03.2023 <https://www.oecd.org/newsroom/plastic-pollution-is-growing-relentlessly-as-waste-management-and-recycling-fall-short.htm>
- Tosunoğlu, B. T. (2014). "Sürdürülebilir Küresel Refah Göstergesi Olarak Ekolojik Ayak İzi." *HAK-İŞ Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, Cilt: 3, Yıl: 3, Sayı: 5.
- TSE (2018). *TSE Standard Ekonomik ve Teknik Dergi*, 662, Ocak 2018, ISSN:1300-8366.
- TÜİK (2023). Atık İstatistikleri. Erişim: 07.03.2023 <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Atik-Istatistikleri-2020-37198>
- Türk, B. (2023). "Verimlilik Fırsatı Olarak Döngüsel Ekonomi: Döngüsel Modele Geçişte Atalet Engeli," *Verimlilik Dergisi*, Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik Özel Sayısı, 215-232.
- Türkeş M. (2008). "Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler," *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1, 26-37.
- UNEP (2015). United Nations Environment Programme, *Global Waste Management Outlook*.
- UNEP (2023). United Nations Environment Programme. Access: 03.03.2023. Link: <https://www.unep.org/pt-br/node/23750#:~:text=The%20UN%20Environment%20Programme%20has,in%20carbon%2C%20resource%20efficient%20and>
- United Nations (1987). *Our Common Future*. Oslo: Report of the World Commission on Environment and Development.
- Yılmaz, V. (2022). "Avrupa Birliği Ülkelerinin Ekonomi Performansı." *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(1), 94-114.
- Yücel, M.A. ve Terzioğlu, M.K. (2023). "Sürdürülebilir Kalkınma ve Eko-İnovasyon: Dinamik Mekânsal Etkileşim," *Verimlilik Dergisi*, Döngüsel Ekonomi ve Sürdürülebilirlik Özel Sayısı, 171-186.
- Zitellmann, R. (2023). *Anti-Kapitalist Safsatalar: Kapitalizm Hakkında Doğru Bilinen Yanlışlar*. Çev. M. Acar. Ankara: Serbest Kitaplar.
- <https://sifratik.konya.bel.tr/h/-ccedil-ep-degerlendirme-ve-planlama--ccedil-alistayi-7m> (14.03.2023)
- <https://sifratik.konya.bel.tr/> (14.03.2023)

Yazar Hakkında / About the Author

**Prof. Dr. Mustafa ACAR | TÜBA Asli Üyesi | Necmettin Erbakan Üniversitesi |
acarmustafa[at]erbakan.edu.tr | ORCID: 0000-0002-7426-6747**

1965 yılında Karaman'da doğdu. 1986'da ODTÜ İktisat Bölümü'nden mezun oldu. TÜİK ve T. İş Bankası gibi kurumlarda çalıştı (1986-1993). Daha sonra bankacılık kariyerini yarıda bırakarak akademik kariyer yapmaya karar verdi. YÖK YLS bursu kazanarak yurtdışına gitti. ABD Purdue Üniversitesi'nden 1996'da Yüksek Lisans, 2000'de Doktora derecesi aldı. Kırıkkale Üniversitesi (2000-2011) ve Aksaray Üniversitesi'nde görev yaptı (2011-2015). Bu kurumlarda bölüm başkanı, dekan ve rektörlük gibi idari görevler üstlendi. 2015 yılından bu yana Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi'nde çalışmaktadır. 2012'den beri TÜBA asli üyesi olan Prof. Dr. Acar'ın akademik ilgi alanları arasında iktisadi gelişme, uluslararası iktisat, genel denge analizi, bölgesel iktisadi bütünleşmeler, tarımsal politikalar, ekonomik özgürlükler ve serbest piyasa ekonomisi yer almaktadır. Çok iyi derecede İngilizce bilen Prof. Acar'ın 18'i İngilizceden çeviri toplam 40 kitabı ve 67 kitap bölümünün yanı sıra, uluslararası hakemli dergilerde yayımlanmış çok sayıda makalesi bulunmaktadır.

**Prof. Dr. Mustafa ACAR | TÜBA Principle Member | Necmettin Erbakan University |
acarmustafa[at]erbakan.edu.tr | ORCID: 0000-0002-7426-6747**

Prof. Acar was born in Karaman in 1965. After graduating from Middle East Technical University, Department of Economics, he worked at TURKSTAT and T. İş Bank headquarters (1986-1993). Then he decided to pursue academic career. Being awarded with YOK YLS scholarship, he went abroad. He received masters (1996) and PhD degrees (2000) from Purdue University, Department of Economics, USA. He worked at Kırıkkale University (2000-2011) and Aksaray University (2011-2015) where he also assumed administrative responsibilities as department chair, dean, and the rector. He has been working at Necmettin Erbakan University since 2015. Being a full member of Turkish Academy of Sciences since 2012, his areas of interest include economic development, international economics, general equilibrium analysis, regional economic integrations, agricultural policies, economic freedoms and the free market economy. Having a perfect command of English, he has published extensively including 40 books (18 of which are translated from English), 67 chapters in edited books, and many articles published in international peer-reviewed scientific journals.

**HAVA KALİTESİ
VE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ PERSPEKTİFİNDEN
EMİSYON AZALTIMI**

**EMISSION REDUCTION FROM AIR QUALITY AND
CLIMATE CHANGE PERSPECTIVE**

Mete TAYANÇ

HAVA KALİTESİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ PERSPEKTİFİNDEN EMİSYON AZALTIMI

Mete TAYANÇ
Marmara Üniversitesi

Özet

Belirli kimyasalların atmosferde artan seviyeleri, soluduğumuz havanın kalitesini düşürmekte ve iklim değişikliğini tetiklemektedir. Küresel ortalama sıcaklıklarda artış, 1850-1900 ortalamasına göre kara yüzeylerinde 1,59 °C'ı, okyanus yüzeylerinde ise 0,88 °C'ı aşmıştır. Türkiye'de ise sıcaklıkların 1990'lı yılların ortalarına kadar net bir artış göstermediğini, esas artışın 2000'li yıllardan itibaren gerçekleştiğini söyleyebiliriz. Sıcaklık artışı ile birlikte Akdeniz kuşağında son yıllarda yağışlar azalmış ve ülkemizde son üç yıl, 2020-2022 dönemi, normallerinin altında yağışlar almıştır. İnsan sağlığını tehdit eden hava kirletici gazların ve yeryüzünün yaydığı uzun dalga boylu ışıınımı tutan sera gazlarının büyük bir kısmı ağırlıklı olarak elektrik ve ısı üretmek için fosil yakıtların yakılmasıyla üretilir. Hava kalitesi, emisyonlara ve meteorolojik koşullara bağlı olarak günden güne, saatten saate veya anlık olarak değişebilmektedir. Hava kalitesi sorunlarını azaltmak ve iklim değişikliğinin istenmeyen etkilerinden kaçınabilmek için emisyonların azaltılmasının gerekliliği mutlak bir gerçekliktir. Bunu başarmak için fosil yakıtlara olan bağımlılığımızı azaltmalı ve temiz, erişilebilir, uygun fiyatlı, sürdürülebilir ve güvenilir alternatif enerji kaynaklarına yönelmeliyiz. Emisyon azaltımı için alınabilecek tedbirleri ve geliştirilebilecek politika ve eylemleri genel olarak, enerji üretimi ve tasarrufu, ulaşım sistemleri, endüstri, atık ve atık su yönetimi, tarım ve ormancılık gibi başlıklarda sınıflandırabiliriz.

Anahtar Kelimeler

Hava kalitesi, İklim değişikliği, Emisyon kaynakları, Kirletici emisyon hızı, Nüfus, Emisyon azaltım önerileri

EMISSION REDUCTION FROM AIR QUALITY AND CLIMATE CHANGE PERSPECTIVE

Mete TAYANÇ
Marmara University

Abstract

Increasing levels of certain chemicals in the atmosphere reduce the quality of the air we breathe and trigger climate change. The increase in global average temperatures exceeded 1.59 °C on land surfaces and 0.88 °C on ocean surfaces compared to the 1850-1900 average. In Türkiye, on the other hand, the temperatures did not show a clear increase until the mid-1990s, and the main increase in temperatures took place since the 2000s. With the increase in temperature, precipitation has decreased in the Mediterranean belt during recent years and the last three years, the period of 2020-2022, was characterized as years having below-normal precipitation in Türkiye. Most of the air polluting gases that threaten human health and the greenhouse gases that trap the long wavelength terrestrial radiation are produced mainly by burning fossil fuels to produce electricity and heat. Air quality can change from day to day, hour to hour or instantaneously, depending on emissions and meteorological conditions. The necessity of reducing emissions is an absolute reality to reduce air quality problems and avoid the undesirable effects of climate change. To achieve this, we must reduce our dependence on fossil fuels and turn to alternative energy sources that are clean, accessible, affordable, sustainable and reliable. We can classify the measures that can be taken for emission reduction and the policies and actions that can be developed, in general, under the headings of energy production and conservation, transportation systems, industry, waste and wastewater management, agriculture and forestry.

Keywords

Air Quality, Climate Change, Emission Sources, Pollutant Emission Rate, Population, Recommendations for Emission Reduction

1. Giriş

İklim değişikliği ve hava kalitesi birbirleri ile doğrudan veya dolaylı olarak ilişkilidirler. Atmosferde bazı kimyasallar hem kirlletici hem de sera etkisi vasfına sahip olabildiği gibi, bazıları da atmosferde kolayca başka bir kimyasal yapıya dönüşerek rol değişimine uğrayabilmekte veya her iki rolü de üstlenebilmektedir. Hava kirlletici rolünden sera gazı formuna dönüşüm için karbon monoksitten karbon dioksit dönüşümü örnek olarak verebiliriz. İklim değişikliği ve hava kalitesi ilişkisi zaman zaman oldukça karmaşık olabilmektedir. Kaynaklar açısından bakıldığında, yanma ürünü ve doğal emisyonlar içerisinde partikül madde (PM), karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO_2), azot oksitler (NO_x), kükürt dioksit (SO_2), su buharı (H_2O), uçucu organik bileşikler (VOC) gibi kimyasalların mevcut olabileceğini ve bunların doğrudan veya dolaylı olarak hem hava kalitesini etkileyebildiklerini hem de iklim değişikliğine sebep olabildiklerini ifade edebiliriz.

Bireysel olarak incelediğimizde, küçük partiküllerin havada uzun sürede askıda kalabildiği ve hava kirliliği problemlerine sebep olduklarını biliyoruz. Özellikle 10 μm ve daha küçük olan partiküller (PM_{10}) ve 2.5 μm ve daha küçük olanlar ($\text{PM}_{2.5}$), ilerleyen bölümlerde göreceğimiz üzere, Dünya’da ve Türkiye’de önemli hava kalitesi problemlerine sebep olabilmektedirler. Bu partiküller aynı zamanda sera etkisinde önemli roller üstlenmektedirler; siyah karbon partikülleri ısıtıcı etki yaparlarken diğerleri gelen güneş radyasyonunu yansıtıcı ve saçıcı etkilerinden dolayı atmosferimizin soğumasına neden olabilmektedirler. Ayrıca, kükürt dioksit ve azot oksitler atmosferde amonyum sülfat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) ve amonyum nitrat NH_4NO_3 gibi sülfat ve nitrat içerikli partiküller oluşturabildiklerinden anti-sera etkisi dediğimiz soğutucu etkiye katkıda bulunurlar. Kükürt dioksit, amonyak ve nitrik oksit emisyonlarını içeren reaksiyonların ürünleri olarak oluşan bu partiküllere ikincil inorganik aerosoller (SIA) denir.

Diğer yandan atmosfere verilen karbon dioksit bir hava kirlleticisi olmamasına rağmen atmosferde sera etkisine sebep olan en önemli kimyasaldır. Karbon monoksit, toksik özelliklere sahip önemli bir hava kirlleticisi olmasının yanı sıra atmosferde hidroksil radikalleri ile okside edilerek küresel ısınmaya sebep olan karbon dioksit formuna hızlıca dönüşebilmektedir. Yanma ürünü olan su buharı bir sera gazıdır. Aynı zamanda, su buharı atmosferde kükürt dioksit ve azot oksitler ile birleşerek sülfürik asit H_2SO_4 ve nitrik asit HNO_3 gibi ciddi sağlık etkileri olabilen asit damlacıklarını oluşturabilirler. Bu damlacıklar solunan nemli havada askıda bulunduklarında solunum yolu rahatsızlıklarının en önemli nedenlerinden olmaktadır. Ayrıca yağışla beraber yüzeye indiklerinde küresel çevre problemlerinden olan asit yağışlarını oluşturabilmektedirler.

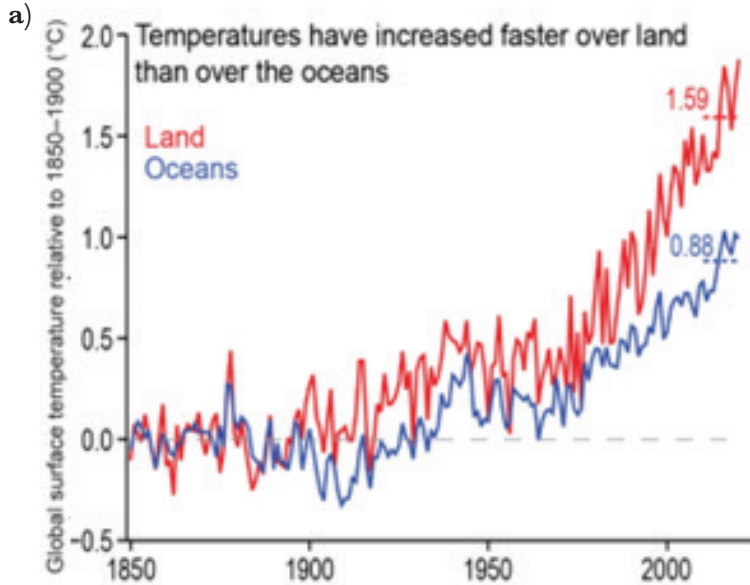
Uçucu organikler arasında doğrudan iklim değişikliğini veya hava kalitesi güdümleyen türler bulunabildiği gibi, atmosferde güneşin varlığında oluşan fotokimyasal kirlleticilerden bazılarının öncül kimyasalları olabilmektedirler. Örneğin, troposferde önemli bir kirlletici olan ozonun (O_3) belirli bir emisyon kaynağı yoktur, sadece atmosferde azot oksitler ve uçucu organik bileşiklerin varlığında oluşurlar. Fotokimyasal reaksiyonlar aldehitler, peroksiasilnitratlar (PAN), ikincil organik aerosoller (SOA) gibi ilave kirlleticiler oluşturabilir. Yine bu kimyasallardan bazıları atmosferi ısıtıcı veya soğutucu rollerde bulunup iklim değişikliğinde görevler üstlenebilir. Örneğin, ikincil organik aerosollerin atmosferi soğutucu etkileri iklim değişikliği ile ilgili çeşitli çalışmalarda vurgulanmıştır (Liao, Unger & Zanis, 2021).

2. İklim Değişikliği

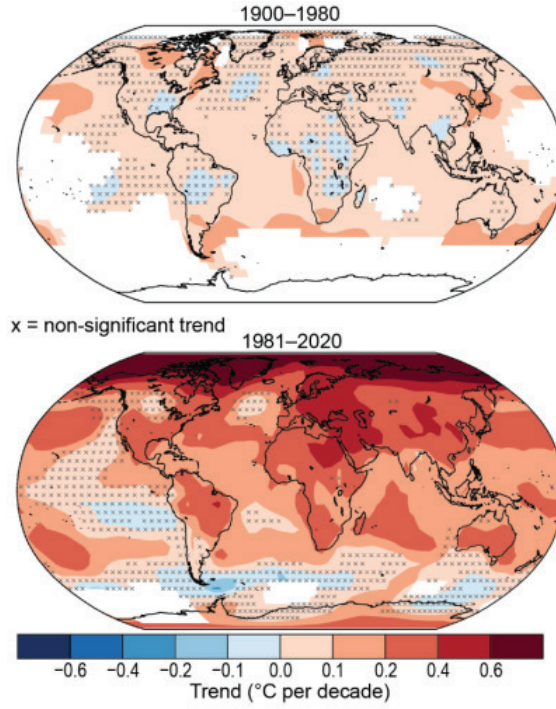
2.1. Sıcaklık

Küresel boyutta hava sıcaklıkları 1850'den bu yana belirgin bir şekilde artmıştır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin 6. Değerlendirme Raporunda bu sıcaklık artışının 1850-1900 ortalamasına göre kara yüzeylerinde $1,59\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ı, okyanus yüzeylerinde ise $0,88\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ı aştığı belirtilmektedir (IPCC, 2021). Şekil 1'de a) kısmında kara ve okyanus yüzeylerindeki küresel yıllık ortalama sıcaklık değişiminin sanayi öncesi döneme (1850–1900) göre gösterimi ve b) kısmında küresel yıllık ortalama sıcaklık değişiminin 1900-1980 ve 1981-2020 dönemleri için mekânsal gösterimi yer almaktadır. Sanayi devriminden bugüne küresel ortalama sıcaklık artışının $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a ulaştığını ve bu artışın özellikle 1970'li yıllardan itibaren gerçekleştiğini söyleyebiliriz.

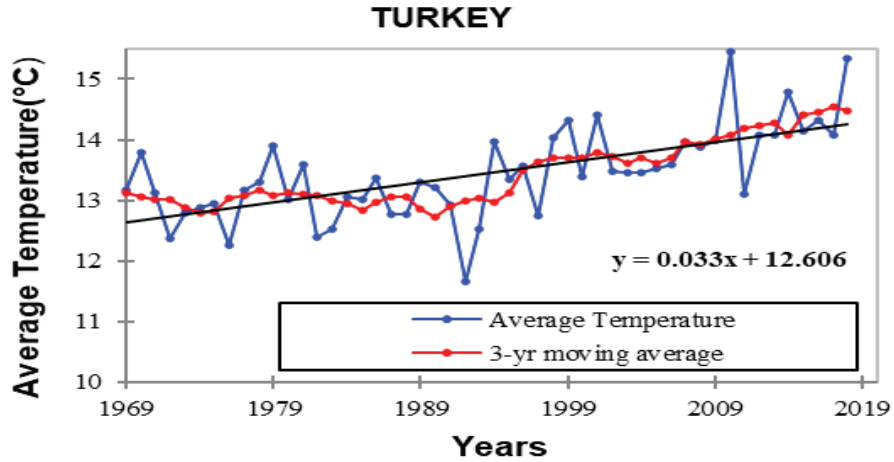
Tuğba Çelebioğlu'nun yüksek lisans tez çalışmasında gerçekleştirdiği 1969-2018 dönemi analizlerinde sıcaklıkların Türkiye'de $1,65\text{ }^{\circ}\text{C}/50\text{ yıl}$ arttığını görüyoruz (Şekil 2) (Çelebioğlu, 2021). Bu sıcaklık değişimi ortalama olarak yılda $0,033\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve 10 yılda $0,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ artma şeklinde gerçekleşmiştir. Sanayi devriminden bugüne gerçekleşen $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lık küresel sıcaklık artışını, Türkiye'de 50 yılda gerçekleşen $1,65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lık artış ile kıyasladığımızda durumun ülkemiz açısından daha vahim olduğunu belirtebiliriz. Tabii burada birçok istasyonumuzun şehir etkisine girmiş olduğunu ve bu sebeple şehir ısı adasının sıcaklıkları artırıcı etkisinden bahsetmemiz gerekir. Hem küresel iklim değişikliği hem de şehirlerdeki ısı adası sıcaklık artışına pozitif katkı yapmaktadır. Artan nüfus ile betonarme yapıların sayısında ve yoğunluğunda artış olması, hava kalitesinin düşmesi, ısı tutucu malzemelerin daha yaygın olarak kullanılması, ısının daha büyük miktarlarda açığa çıkması gibi hususlar sıcaklığı artırabilen etmenler olarak verilebilir.



b)



Şekil 1. a) Kara ve okyanus yüzeylerindeki küresel yıllık ortalama sıcaklık değişiminin sanayi öncesi döneme (1850-1900) göre gösterimi, **b)** küresel yıllık ortalama sıcaklık değişiminin 1900-1980 ve 1981-2020 dönemleri için mekansal gösterimi (IPCC, 2021).

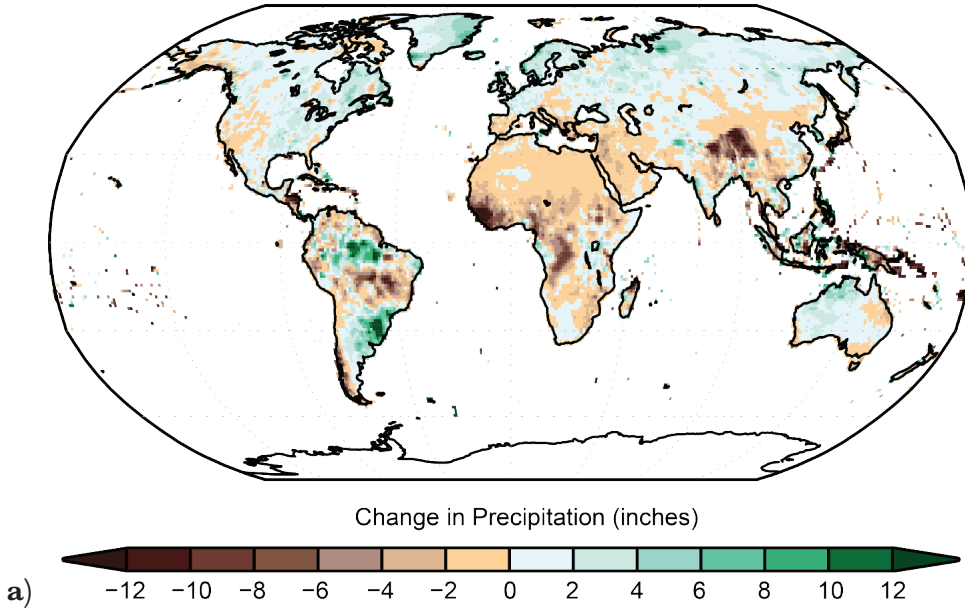


Şekil 2. 174 meteoroloji istasyonunun ortalama sıcaklık trendi; ülkemizde 1969-2018 döneminde sıcaklıklar ortalama olarak yılda 0.033 °C ve 10 yılda 0.33 °C artmıştır.

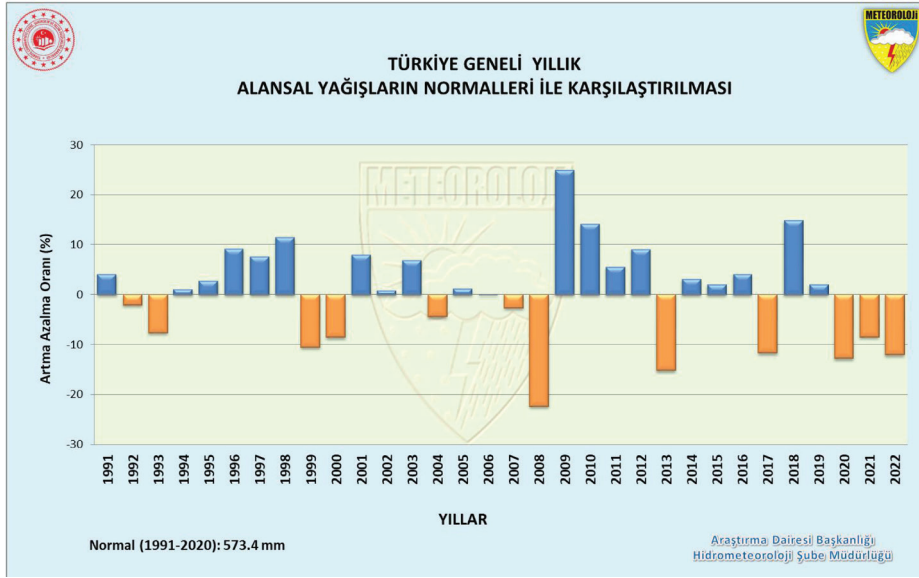
2.2. Yağış

İklim ve iklim değişikliği tanımında sıcaklıktan sonra dikkate alınması gerekli ikinci öneme haiz meteorolojik parametre yağıştır. Şekil 3a'da küresel boyutta 1986–2015 dönemi yıllık ortalama yağışların 1901–1960'a göre değişimi ve Şekil 3b'de Türkiye geneli yıllık yağışların normallerine göre yüzde olarak değişim oranları sunulmaktadır. Şekilde bazı bölgelerde yağışlar artarken, ülkemizin de bulunduğu Akdeniz kuşağında yağışların azaldığını ve bu duruma ilave olarak ülkemizde son 3 yılın (2020-2022) normalinden az yağışlı geçtiğini görmekteyiz. Önceki araştırmalar, ısınan Dünyada yağışlı alanların daha yağışlı ve kuru alanların daha kuru hale gelmesi şeklinde bir iklim değişikliği modeli önermiştir (ör. Greve vd., 2014). Hadley Hücresinin genişlemesi subtropiklerde daha fazla kuru koşullara sebebiyet verirken, alçak basınç sistemlerinin kutuplara doğru kayması yukarı enlemlerde yağışların artmasına yol açmaktadır. Bölgesel ortalama yağışta tespit edilen sinyal, subtropiklerde azalma ve yüksek enlemlerde artış ile Kuzey Yarımküre'de daha belirgindir. Dolayısıyla, 1950'lerden bu yana Arktik yağışlarında gözlemlenen yaklaşık %5'lik yıllık ortalama artış insan faaliyetleri ile ilişkilendirilmiştir (Wuebbles vd., 2017).

Annually-averaged Precipitation Trends



b)

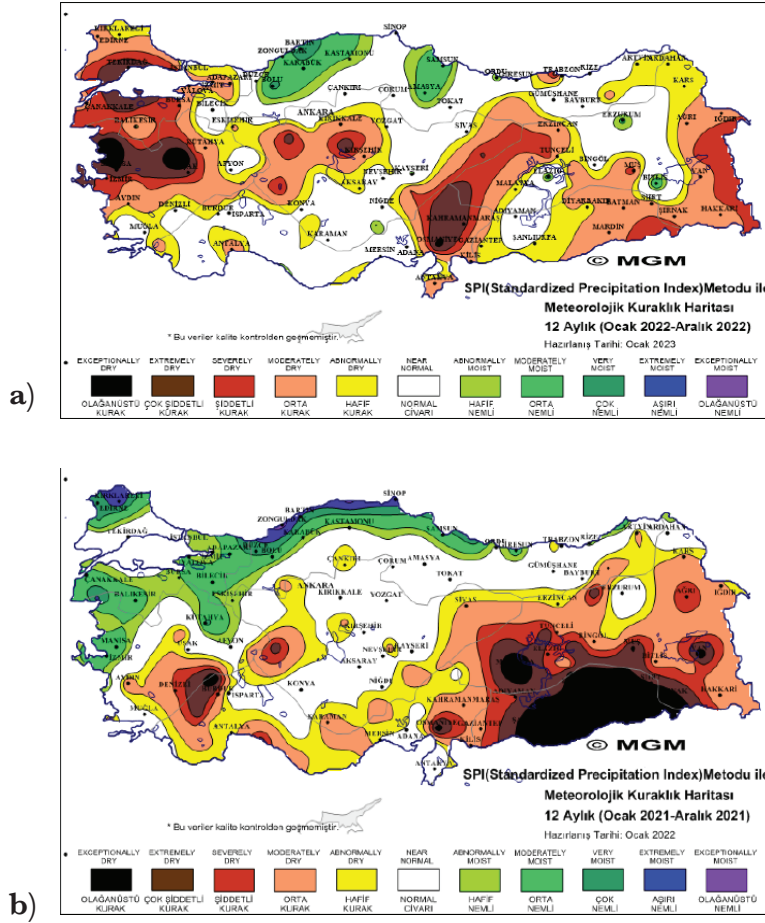


Şekil 3. a) 1901–1960’a göre 1986–2015 dönemi için yüzey yıllık ortalama yağış değişimi (inç olarak) (Wuebbles vd., 2017), **b)** Türkiye geneli yıllık yağışların normallerine göre yüzde olarak değişim oranları (MGM, 2023).

2.3. Ekstrem Hava Olayları ve Kuraklık

İklim değişikliğinin getirdiği beklenen etkilerden bir tanesi ekstrem hava olaylarıdır ve Türkiye’de de aşırı hava olaylarının sıklığında ve şiddetinde artış yaşanmaktadır. Kar fırtınaları, seller, hortumlar, toz fırtınaları, orman yangınları, yıldırımlar ve hortumlar gibi olaylara daha sık maruz kalınmaktadır. 2022 yılı, 1030 ekstrem olay sayısı ile en fazla ekstrem olay yaşanan yıl olmuştur (MGM, 2023). Ekstrem olay trendlerinde özellikle son yirmi yılda artış eğilimi vardır. 2022 yılı içerisinde oluşan ekstrem olayların büyük çoğunluğunu %33,6 ile şiddetli yağışların oluşturduğu kaydedilmiştir. Bu değeri %21,4 ile fırtına, %18,5 ile dolu, %11,7 ile kar takip etmiştir. Diğer ekstrem olaylar %4,1 yıldırım düşmesi, %2,7 heyelan, %2,5 don, %2,1 çığ, %1,9 hortum, %0,9 orman yangını, %0,3 sis, %0,2 kum fırtınası şeklinde gerçekleşmiştir.

Doğal afetlerden meteorolojik olanların arasında kuraklık en önemlilerindendir. Isınan dünyamızda kuraklıkların şiddeti ve frekansı artmaktadır. Şekil 4’te Standardized Precipitation Index (SPI) yöntemine göre 2022 ve 2021 yılları için Türkiye geneli meteorolojik kuraklık haritaları verilmektedir (MGM, 2022 ve 2021). Hem 2021’in hem de 2022’nin normallerin altında yağışlar aldığı bilinmektedir. 2022’de Ege, Marmara, İç ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin genelini kurak olduğunu, 2021’de ise kuraklığın güney bölgelerimizde etkili olduğunu ve özellikle Güneydoğu Anadolu bölgesinin olağanüstü kurak geçtiğini belirtebiliriz. Bu bölgede Fırat, Dicle gibi sınır aşan suların bulunması ve kuraklığın özellikle bu bölgede telaffuz edilmesi su kaynakları açısından ciddi bir probleme işaret etmektedir.



Şekil 4. a ve b sırasıyla 2022 ve 2021 yılları meteorolojik kuraklık haritaları (MGM, 2022 ve 2021).

3. Hava Kirliliği

Hava kirliliği, istenmeyen maddelerin zararlı etkiler üretebilecek seviyelerde ve sürelerde atmosferde bulunabilme durumudur. Bu istenmeyen maddelere hava kirleticileri denir ve etkileri insan sağlığı, bitki örtüsü, cansız varlıklar veya küresel çevre üzerinde gözlenir. Hava kirliliği, koku sorunları oluşturabildiği gibi kahverengi pus şeklinde, görüşün azalması gibi estetik etkilere de neden olabilir. Bu istenmeyen kimyasalların (kirleticilerin) atmosferde artan seviyeleri, soluduğumuz havanın kalitesini düşürür. Hava kalitesi, emisyonlara ve meteorolojik koşullara bağlı olarak günden güne, saatten saate veya anlık olarak değişebilir. Hava kirleticilerinin atmosferdeki seviyesi konsantrasyon olarak belirtilir ve bilinen bir konsantrasyona belirli bir süre boyunca maruz kalındığında, vücuda soluma yoluyla giren zararlı kimyasal miktarı doz olarak tanımlanır. Yani kısaca doz, konsantrasyonun, maruz kalınan süre (zaman) ile çarpımıdır.

Kirleticiler, insan kontrolü dışındaki volkanlar, ormanlar, çöller gibi birçok farklı doğal kaynaktan da atmosfere yayılmaktadır. Ancak kentsel alanlarda, özellikle İstanbul gibi metropol şehirlerde, bu kirleticilerin ana kaynağı insan faaliyetleridir. Bu faaliyetler yaşam standartlarımızla büyük ölçüde ilişkilidir, ancak bu faaliyetlerin ortadan kaldırılması yaşam standartlarında büyük düşüşlere neden olabileceğinden bu seçenek hava kalitesinin iyileştirilmesinde genelde değerlendirmeye alınmaz. Kentsel alanlardaki hava kirliliği emisyonunun azaltılması ve hava kalitesinin iyileştirilmesi, yaşam alışkanlıklarının değişmesi, alternatif faaliyetlerin devreye girmesi, sıkı kontrol tedbirlerinin alınması ve emisyon azaltım planlarının uygulanmasına bağlıdır.

3.1. Hava Kirliliğinin Sağlık Etkisi Boyutu

Canlı ve cansız varlıklar, bulundukları ortamdaki hava kirleticilerinden olumsuz olarak etkilenebilmektedirler. Bununla ilgili olarak, ülkeler, Dünya Sağlık Örgütü gibi kuruluşlar, ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Avrupa Konseyi (EC) gibi ajanslar/konseyler, konvansiyonel hava kirleticilerinin emisyon veya konsantrasyon limit değerleri için yasalar, düzenlemeler ve standartlar oluşturmuşlardır. ABD’de düzenlemeye tabi konvansiyonel kirleticiler arasında ozon (O_3), partikül madde (PM), karbon monoksit (CO), azot dioksit (NO_2), kükürt dioksit (SO_2) ve kurşun (Pb) bulunur (EPA, 2014). Bu kirleticilerin solunum ve kardiyak semptomlardan nörolojik ve renal hasara kadar değişen ciddi sağlık etkileri vardır. Chalupka (2005) ABD’de düzenlemeye tabi konvansiyonel hava kirleticilerinin kaynakları ve sağlık etkileri üzerine kapsamlı bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmanın özü Tablo 1’de verilmiştir. Çalışmada, CO, NO_2 , O_3 , Pb, PM_{10} ve $PM_{2.5}$, SO_2 kirleticilerinin solunum ve kalple ilgili semptomlarından sinirler ve böbrekle ilgili rahatsızlıklarına kadar sağlık üzerindeki ciddi etkileri vurgulanmıştır.

Hava kirliliğine bağlı küresel hastalık yükü, dünya çapında insan sağlığına büyük bir zarar vermektedir: hava kirliliğine maruz kalmanın her yıl milyonlarca ölüme ve sağlıklı yaşam kaybına neden olduğu tahmin edilmektedir. Hava kirliliğine atfedilebilen hastalık yükünün, sağlıksız beslenme ve tütün kullanımı gibi diğer önemli küresel sağlık riskleriyle aynı düzeyde olduğu tahmin edilmektedir ve hava kirliliği artık insan sağlığına yönelik en büyük çevresel tehdit olarak kabul edilmektedir (WHO, 2021).

Avrupa Birliği, havada bulunan bir dizi kirletici için sağlık bazlı standartlar ve hedefler belirleyen kapsamlı bir mevzuat geliştirmiştir (EU, 2021). AB’nin hava kalitesi direktifleri (2008/50/EC Avrupa için Ortam Hava Kalitesi ve Daha Temiz Hava Direktifi ve ortam havasındaki ağır metaller ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar hakkında 2004/107/EC Direktifi), bir ortamda belirli bir sürede aşılması gereken kirletici konsantrasyon eşiklerini belirler. Aşım olması durumunda, yetkililer hava kalitesi yönetim planları geliştirmeli ve uygulamalıdır. Bu planlar, hava kirleticilerinin konsantrasyonlarını sınır ve hedef değerlerin altındaki seviyelere indirmeyi amaçlamalıdır.

Tablo 1. ABD’de düzenlemeye tabi konvansiyonel hava kirleticileri, kaynakları ve sağlık etkileri (Chalupka, 2005).

Kirletici	Kaynaklar	Sağlık üzerine başlıca etkileri
Karbon Monoksit (CO)	Motorlu araçlar, diğer motorlar (ör. inşaat araçları, tekneler), endüstriyel işlemler, konutlarda odun yakımı, doğal kaynaklar (ör. orman yangınları).	Kalp ve damar hastalığının şiddetlenmesi. Görme bozukluğu, konsantrasyon güçlüğü, azalan el becerisi ve karmaşık görevleri yerine getirme zorluğu gibi merkezi sinir sistemiyle ilgili etkileri bulunur.
Nitrojen Dioksit (NO ₂): Birçok kent- sel alanın üzerinde görülen kırmızımsı kahverengi tabaka.	Motorlu taşıtlar, elektrik tesisleri. Yakıt kullanan sanayii, ticari ve konut gibi kaynaklar.	Solunum yollarını tahriş eder. KOAH, bronşit, kalp ve damar hastalıklarını şiddetlendirir.
Ozon (O ₃): “Yer seviyesi” veya “kötü” ozon olarak da adlandırılır.	Isı ve güneş ışığı varlığında nitrojen oksitler (NO _x) ve uçucu organik bileşikler (VOC) arasındaki reaksiyonla oluşur. Motorlu taşıt egzozu, endüstriyel emisyonlar, benzin buharları, kimyasal çözücüler başlıca NO _x ve VOC kaynaklarıdır.	Solunum yollarını tahriş eder, astımı şiddetlendirir, zatürre ve bronşite duyarlılığı artırır ve akciğer kapasitesini azaltır
Kurşun (Pb)	Metal işleme, atık yakma tesisleri, kurşun-asitli batarya üreticileri. Kurşunlu benzin yakıtının aşamalı olarak yanması sadece küçük bir kaynaktır.	Sinir sistemi, karaciğer ve böbrek sistemleri için zehirlidir. Hipertansiyon, kemik erimesi ve kalp damar hastalığına neden olabilir. Düşük kurşun seviyeleri, gelişen fetüsler ve küçük çocuklar için nörotoksiktir, bu da öğrenme güçlüğü ve zeka geriliğine neden olur.
Partikül Madde (PM ₁₀ veya PM _{2.5}): 10 veya 2.5 mikrometre ve daha küçük çapa sahip partiküller	Enerji santrallerinde, endüstriyel işlemlerde ve motorlu araçlarda yanan yakıt. Arabalar, kamyonlar, otobüsler, fabrikalar, inşaat faaliyetleri, işlenmiş tarlalar, asfaltsız yollar, taş kırma ve yanan odunlardan doğrudan yayılım.	Solunum yollarını tahriş eder, astım, kronik bronşit, düşük akciğer kapasitesi, genç ölümlerine neden olur.
Kükürt Dioksit (SO ₂)	Havaya verilen kükürtün %65’i elektrik tesislerinden gelmektedir. Diğer kaynaklar: petrol rafinerileri, çimento üretimi, metal işleme.	Astım, solunum ve kalp damar durumlarının şiddetlenmesine neden olur.

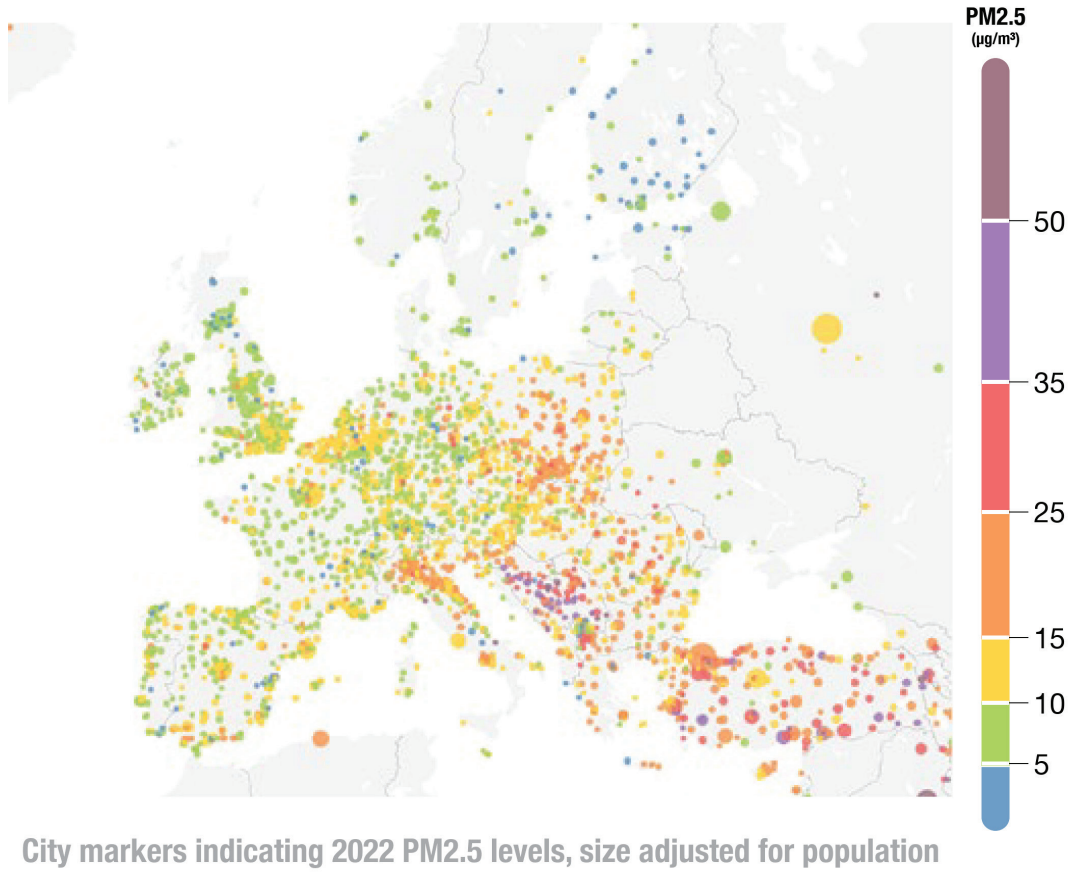
Dış ve iç ortam (özellikle evsel) hava kirliliğinin birleşik etkileri, genellikle inme, iskemik kalp hastalığı (İKH), kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), akciğer kanseri ve akut solunum yolu enfeksiyonlarından kaynaklanan artan ölümlerin bir sonucu olarak her yıl yaklaşık 7 milyon erken ölüme neden olmaktadır (WHO, 2020). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verileri, 10 kişiden 9'unun yüksek düzeyde kirlenmelerle ilgili kılavuzlarda yer alan sınır değerleri aşan düzeyde kirli hava soluduğunu ve bu durumdan en fazla, düşük ve orta gelirli ülkelerde yaşayanların etkilendiğini göstermektedir. İç ortam hava kirliliğinden erken ölümlerin yılda 3,2 milyonu aştığı Şekil 5'ten görülmektedir (WHO, 2019). Bu ölümlerin esas nedeni evlerde hala açık ateşlerde ve verimsiz sobalarda yemek pişirme ve ısınma amaçlı odun, mahsul atıkları, odun kömürü, kömür ve tezek gibi katı yakıtların ve kerosen gibi gaz yağı türevlerinin kullanılmasından kaynaklanmaktadır (IEA vd., 2022).



Şekil 5. Dünya Sağlık Örgütü iç ortam hava kirliliği bilgi grafiği (WHO, 2019).

3.2. Dünya ve Avrupa'da Hava Kalitesinin Durumu

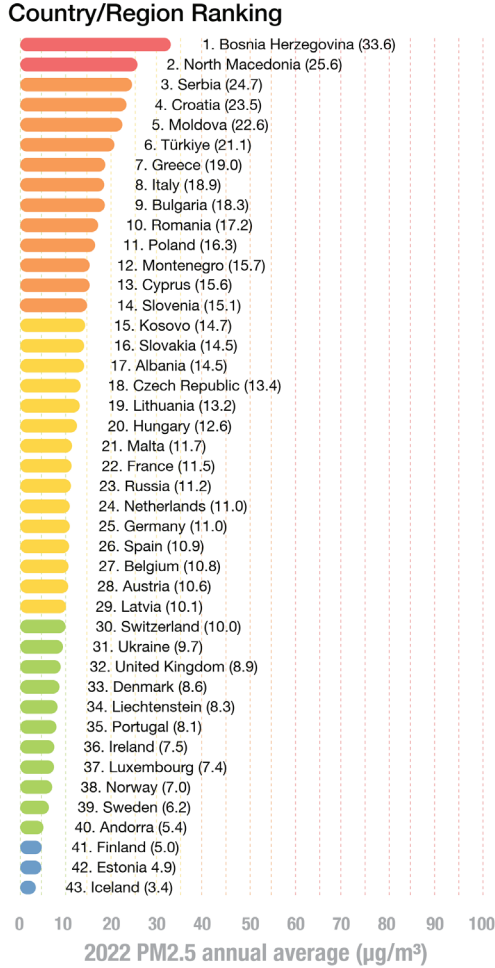
Bu yüzyılda emisyonlar ciddi oranda azalmasına rağmen artan $PM_{2.5}$ değerlerinin Avrupa'daki en ciddi çevresel sağlık riskini oluşturduğu hususu Avrupa Çevre Ajansı tarafından rapor edilmiştir (European Environmental Agency, 2020). Rüzgarlı ve soğuk kış aylarına sahip olan Avrupa'nın kuzey ve batı bölgelerinde ısınma için kömür ve biyokütle yakılması neticesinde güney ve doğu Avrupa'ya nazaran daha yüksek $PM_{2.5}$ seviyelerinin mevcut olduğu Şekil 6'dan açıkça görülmektedir.



Şekil 6. Avrupa şehirlerinin nüfus bazlı $PM_{2.5}$ seviyeleri (IQAir, 2022).

IQAir tarafından yayımlanmış 2022 Dünya Hava Kalitesi Raporunda (2022 World Air Quality Report) küresel bazlı çalışmada hava kalitesinin $PM_{2.5}$ açısından bölgesel ve şehir bazlı 2022 değerlendirmesi yapılmıştır (IQAir, 2022). Raporda, Avrupa bölgesi hava kalitesi açısından 43 ülke ve toplamda 1.713 şehir ile temsil edilmiştir (Şekil 6). Avrupa'daki ortalama $PM_{2.5}$ konsantrasyonları küresel sıralamada 126. ve Avrupa sıralamasında da 43. sırada olan İzlanda'da $3,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ten başlayıp, küresel sıralamada 19. ve Avrupa sıralamasında da 1. sırada olan Bosna Hersek'teki $33,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ seviyesine kadar yükselmektedir. Şekil 7'te ülkemizin $21,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile Avrupa sıralamasında 6. en kirli ülke olarak yer aldığı görülmektedir. Türkiye küresel sıralamada ise 45. sırada yer almaktadır.

a)



b)

Most Polluted Regional Cities

Rank	City	2022
1	Iğdır, Türkiye	53.0
2	Krasnoyarsk, Russia	51.7
3	Tuzla, Bosnia Herzegovina	49.4
4	Zenica, Bosnia Herzegovina	48.6
5	Ilidza, Bosnia Herzegovina	43.1
6	Novi Pazar, Serbia	41.7
7	Gaziantep, Türkiye	40.2
8	Uzice, Serbia	40.0
9	Bijelo Polje, Montenegro	39.6
10	Banja Luka, Bosnia Herzegovina	37.1
11	Düzce, Türkiye	36.8
12	Cacak, Serbia	35.7
13	Mersin, Türkiye	35.3
14	Pljevlja, Montenegro	34.5
15	Konya, Türkiye	34.5

Şekil 7. $PM_{2.5}$ seviyeleri açısından Avrupa a) ülke ve b) şehir sıralamaları (IQAir, 2022).

$PM_{2.5}$ konsantrasyon verileri hem 2021 hem de 2022 yılı için olmak üzere toplamda 41 Avrupa ülkesi için incelenmiştir. 2022'de ılıman bir kış geçirilmesi nedeniyle enerji tüketimine olan talebin ve neticesinde emisyonların azalmasıyla Avrupa'daki hava kalitesinde genel bir iyileşme gözlemlendiği belirtilmektedir. 2021 ile karşılaştırıldığında, 2022'de hava kalitesinin 23 ülkede iyileştiği, 3 ülkede aynı kaldığı ve 15 ülkede ise gerilediği belirtilmektedir. Bölge genelindeki 1713 şehirden sadece %4,6'sı Dünya Sağlık Örgütü tarafından önerilen $PM_{2.5}$ 'un yıllık hava kalitesi limit değeri olan $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'ü (WHO, 2021) sağlayabiliyor durumdadır. Finlandiya, toplam 20 şehirle limit değeri sağlayan en fazla şehre sahipken, onu 13 şehirle İngiltere ve sekiz şehirle İspanya izlemektedir. Maalesef, 2021'de olduğu gibi 2022'de de ülkemizden Iğdır kötü hava kalitesi açısından birinci sırada yer almaktadır. Sevindirici olan ise, Iğdır'da 2021'deki $PM_{2.5}$ konsantrasyon değeri $66,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ iken bu rakam 2022'de $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 'e düşmüştür.

Üzücü olan bir husus ise, 2021’de kötü hava kalitesine sahip Avrupa’daki ilk 15 şehir içerisinde 2 şehrimiz yer alırken bu rakam 2022’de 5’e çıkmıştır; 2021’de $66,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’le 1. sırada yer alan Iğdır ile birlikte Düzce $44,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’lük yıllık ortalama $\text{PM}_{2.5}$ seviyesi ile 5. sırada yer almıştı, buna karşın 2022’de $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’le 1. sırada yer alan Iğdır ile birlikte listede Gaziantep $40,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile 7. sırada, Düzce $36,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile 11. sırada, Mersin $35,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile 13. sırada ve Konya $34,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ile 15. sırada yer almıştır. Hava kirliliği en çok savunması zayıf olanları etkilemektedir. 2021’de beş yaşın altındaki 40.000 çocuğun ölümünün doğrudan $\text{PM}_{2.5}$ hava kirliliğiyle bağlantılı olduğu tahmin edilmektedir. Araştırmacılar, yüksek $\text{PM}_{2.5}$ konsantrasyonlarının varlığında COVID-19’a yakalandığında hastalığın daha ağır seyrettiğini ve ölüm dahil daha ciddi semptomların riskinin arttığını göstermişlerdir (Harvard, 2023).

a)

Recommended AQG levels

Pollutant	Averaging time	AQG level
$\text{PM}_{2.5}, \mu\text{g}/\text{m}^3$	Annual	5
	24-hour ^a	15
$\text{PM}_{10}, \mu\text{g}/\text{m}^3$	Annual	15
	24-hour ^a	45
$\text{O}_3, \mu\text{g}/\text{m}^3$	Peak season ^b	60
	8-hour ^a	100
$\text{NO}_2, \mu\text{g}/\text{m}^3$	Annual	10
	24-hour ^a	25
	1-hour	200
$\text{SO}_2, \mu\text{g}/\text{m}^3$	24-hour	40
	10-minute	500
$\text{CO}, \text{mg}/\text{m}^3$	24-hour ^a	4
	8-hour	10
	1-hour	35
	15-minute	100

^a 99th percentile (i.e. 3–4 exceedance days per year).

^b Average of daily maximum 8-hour mean O_3 concentration in the six consecutive months with the highest six-month running average O_3 concentration.

b)

AQG levels for selected (indoor) air

Pollutant	Averaging time	AQG level
$\text{PM}_{2.5}, \mu\text{g}/\text{m}^3$	Annual	5
	24-hour ^a	15
$\text{PM}_{10}, \mu\text{g}/\text{m}^3$	Annual	15
	24-hour ^a	45
$\text{CO}, \text{mg}/\text{m}^3$	24-hour ^a	4
	8-hour	10
	1-hour	35
	15-minute	100

^a 99th percentile (i.e. 3–4 exceedance days per year).

Şekil 8. Dünya Sağlık Örgütü hava kalitesi kılavuz (AQG) seviyeleri: a) dış ortam ve b) iç ortam (WHO, 2021 ve WHO, 2022).

Dünya Sağlık Örgütü, 2006'da yayımladığı son güncellemeden 15 yıl sonra, Eylül 2021'de küresel hava kalitesi yönergelerinde ciddi bir güncelleme yayımlamıştır. Milyonlarca ölümü önleme nihai hedefiyle yıllık $PM_{2.5}$ konsantrasyonu limit değeri $10 \mu g/m^3$ 'ten $5 \mu g/m^3$ 'e, günlük kılavuz değer de $25 \mu g/m^3$ 'ten $15 \mu g/m^3$ 'e düşürülmüştür (WHO, 2021 ve WHO, 2022). Şekil 8'de Dünya Sağlık Örgütünün hava kalitesi kılavuz (AQG) değerleri hem dış ortam hem de iç ortam için sunulmaktadır. $PM_{2.5}$ kılavuz değerlerindeki azaltıma ilaveten diğer konvansiyonel kirleticilerin limit değerlerinde de düşüşler olduğu görülebilir.

3.3. Türkiye'de İlk Hava Kalitesi Çalışmaları

Ülkemizdeki hava kirliliği günümüzün en önemli çevre sorunlarından biridir. 1983 yılında çıkarılan Çevre Kanunu, Türkiye'de hava kirliliği ile ilgili ilk yasal düzenlemedir. Bundan sonra 1986 yılında Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği çıkmıştır. Şu anda Türkiye'de ortam hava kalitesini ve kirleticiler emisyon hızlarını düzenleyen dört temel mevzuat bulunmaktadır: Isınmadan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (2005), Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (2008), Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (2009) ve Egzoz Gazı Emisyonu Kontrolü Yönetmeliği (2017). Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği doğrultusunda tüm Türkiye için hava kalitesi ön değerlendirme çalışmalarının tamamlanması, bölge ve alt bölgelerin belirlenmesi ve listelenmesi, ölçüm istasyonlarının kurulması, bölgesel ağ merkezlerinin oluşturulması, laboratuvar alt yapısının oluşturulması, güvenli ve kaliteli ölçüm verilerinin sürekliliğini sağlayarak raporlanacak düzeyde temininin sağlanması, yönetmelikteki kirleticiler emisyonlarına ilişkin emisyon envanterlerinin elde edilmesine yönelik çalışmaların yapılarak hava kalitesinin değerlendirilmesi ve yönetimine ilişkin altyapının oluşturulması ve Avrupa Birliği hava kalitesi limit değerlerine uyum sürecinin başlatılması gerekmektedir.

Çevre Kanunu (1983) ve 1986 yılında uygulanan ilk Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği ile düşük kaliteli kömür kullanımına kısıtlamalar getirilmişti. Ancak kısıtlamalar çok katı değildi ve izin verilen sınır değerleri bugünün değerlerinden çok daha yüksekti. Bu sıkı olmayan önlemler nedeniyle, İstanbul, Ankara ve diğer büyük şehirler, inanılmaz derecede yüksek düzeyde kirleticilere maruz kalmışlardır. 1970'lerde, enerji krizi ve petrol fiyatlarındaki ciddi artış, özellikle evsel ısınmada kömürün tercih edilmesine neden olmuştur. 1970'lerden başlayarak büyük şehirlerimiz, evsel ısınma ve endüstriyel faaliyetlerde kömür yakılması sonucunda çok yüksek seviyelerde partikül madde ve kükürt dioksit vakaları yaşamıştır. Ülkemizde çıkarılan ve yaygın olarak kullanılan linyit yüksek kükürt ve kül içeriğinden ve düşük ısı değere sahip olmasından dolayı yüksek miktarlarda kirleticiler emisyonlarına yol açmış ve hava kalitesinde ciddi bozulmaya neden olmuştur. Şekil 9'da 1978 yılında çekilmiş fotoğraflarda Ankara'da hava kirliliği yoğun bir duman şeklinde görülmektedir (TRT, 2021). Kirlilik haberlere de konu olmuştur (Şekil 10).



Şekil 9. 1978 yılında Ankara'da hava kirliliği.

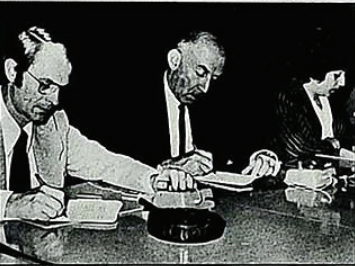


İşte Ankara'dan bir görünüş

Kirli havanın kapladığı Başkent'te yavaş yavaş zehirleniyorlar. Pis hava kara bir bulut gibi şehrin üzerini sarımsı, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumunun düzenlediği "Hava Kirlenmesi" konulu konferansa katılan yabancı uzmanlar Türkiye Başkentinin bu halini görünce "Vah,vah,yazık bu şehirde yaşıyorlara" dediler.Yukarıda Ankara'nın hali görülüyor... (Foto: GHA)

Ankara'ya davet edilen Amerikalı hava kirlenmesi uzmanı Dr.Howard E. Reigum hayretler içinde dedi ki.

BU ŞEHİRDE NASIL YAŞIYORSUNUZ?



ANKARA'DA HAVA KİRLENMESİ SORUNUNUN BİR KAÇ YIL İÇİNDE HALLEDİLMESİNİN MÜMKÜN OLMAYACAĞINI SÖYLEYEN UZMAN, ANKARALI LARA "KIRSAL HAYAT" YAŞAMALARINI TAVSİYE ETTİ.

ANKARA (GHA)- Hava kirlenmesi ve ulaşım sistemleri üzerine ihtisas yapmış olan dünyanın en ünlü bilim adamlarından Amerikalı Dr. Howard E. Reigum, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu uzmanlarının önüne sermiş oldukları raporları inceledikten sonra,gözlerini hayretle açmış ve "Sizler bu şehirde nasıl yaşıyorsunuz,hayret ettim" demiştir. Başkent hava kirlenmesi sorununun birkaç yıl içinde halledilmesinin mümkün olmayacağını ifade eden Dr.Reigum,İş hayatı dışında daha fazla zehirlenmemek için Ankaralıları "Kırsal Hayat" yaşamaları tavsiye etmekte bulunmuştur. Uzmanların yaptıkları araştırmalara göre Ankara'nın zehirlemez yegâne yeri Esenboğa Havalanı ve çevresidir.

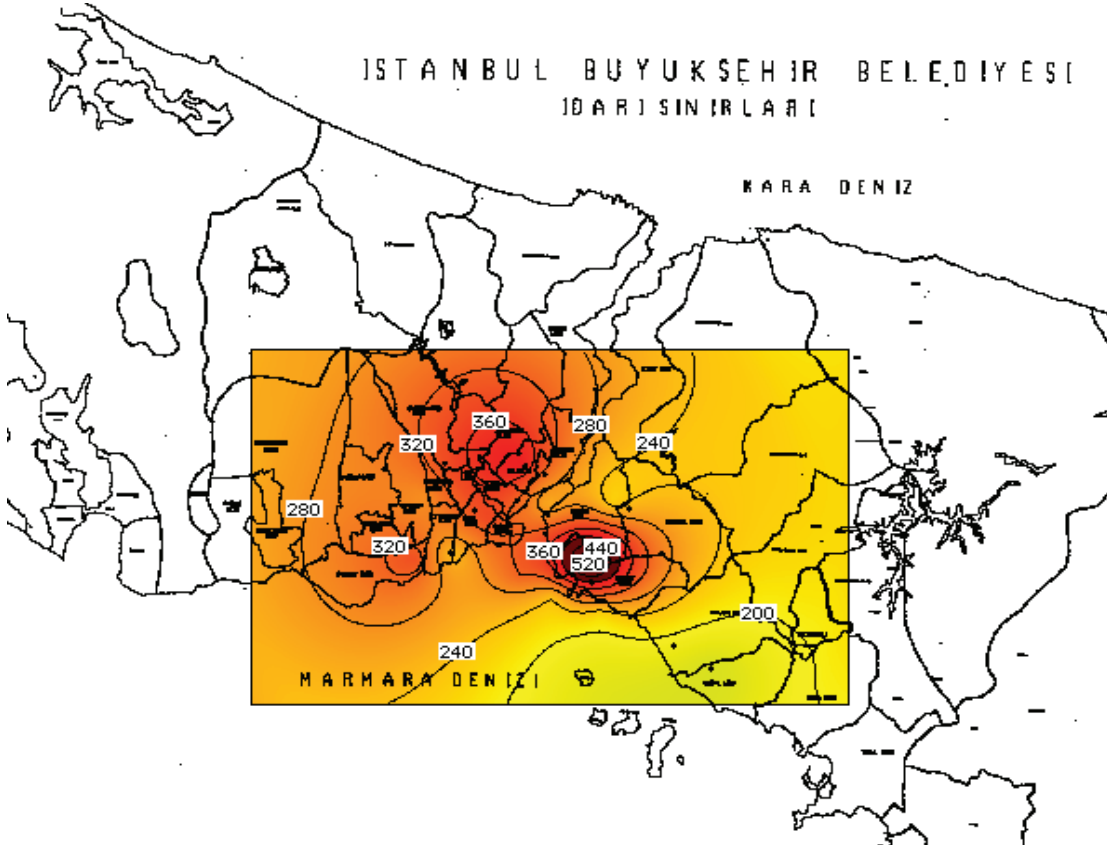
Kamuran ÖZBİR

Şekil 10. Ankara'da hava kirliliği ile ilgili haber, 7 Ekim 1972 Günaydın Gazetesi

1980'lerin ısıtma sezonlarında (kasım-mart) ve 1990'ların başlarında evsel ısıtma için düşük kaliteli katı yakıtların ve ağırlıklı olarak yüksek kül ve kükürt içeren linyit kömürü tüketimi nedeniyle İstanbul'da SO_2 ve PM seviyeleri çok yüksek seviyelere ulaşmıştır (Tayanç vd., 1996; Tayanç, 2000).

1993-1995 döneminde İstanbul'un ilk hava kirliliği haritalarının üretilmesi ve doğalgaz kullanımına öncelik verilecek bölgelerin belirlenmesi amacıyla Prof. Dr. Ferruh Ertürk önderliğinde bir İstanbul Büyükşehir Belediyesi araştırma projesi gerçekleştirilmiştir (Ertürk vd., 1995). Bu projede Hıfzısıhha Enstitüsünün İstanbul'da 15 noktada gerçekleştirdiği SO_2 ve PM ölçüm verileri kullanılmış ve İstanbul için ilk hava kirliliği haritaları üretilmiştir. Şekil 11'de bu projede üretilmiş Ocak 1994'e ait İstanbul'un güneyindeki aylık ortalama SO_2 dağılımı gösterilmektedir. Şekilden görüleceği üzere, İstanbul'un en kirli bölgelerinin aylık ortalama $300 \mu g/m^3$ 'ü aşan SO_2 değerleri ile Avrupa yakasında Fatih, Gaziosmanpaşa, Bayrampaşa, Mecidiyeköy ve Asya yakasında Göztepe olduğu belirtilebilir. Özellikle Göztepe civarlarında $520 \mu g/m^3$ 'ün üzerindeki değerler o zamanki Fikirtepe civarlarındaki gecekondu ve ısıtma sezonunda kullandıkları katı yakıtlarla doğrudan ilişkilendirilebilir. İstanbul Gaz ve Doğalgaz Dağıtım A.Ş. (İGDAŞ) tarafından 1990'lı yılların ortalarına doğru şehre doğal gaz verilmesiyle hava kalitesi önemli ölçüde iyileşmiştir. İstanbul'un üzerine bir kâbus gibi çöken hava kirlleticileri, doğalgazın yaygınlaşması, düşük kaliteli linyit kullanımının kısıtlanması ve İstanbul Büyükşehir Belediyesinin (İBB) aldığı etkili önlemlerle önemli ölçüde azaltılmıştır.

Büyük şehirlerde hava kirliliği ciddi bir çevre problemi olmaya başladıkça, sorunun kapsamını ve çözümlerini araştırmak için hava kalitesi ölçüm sistemleri kurma gerekliliği ortaya çıkmıştır. İstanbul'daki ilk hava kalitesi ölçümleri, 1985 yılında Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi tarafından yedi istasyonda SO_2 ve askıda partikül madde (TSP) için manuel olarak başlatılmıştır (Hıfzısıhha Enstitüsü, 2001).



Şekil 11. Ocak 1994'te İstanbul'da aylık ortalama SO_2 seviyeleri ($\mu g/m^3$) (Ertürk vd., 1995).

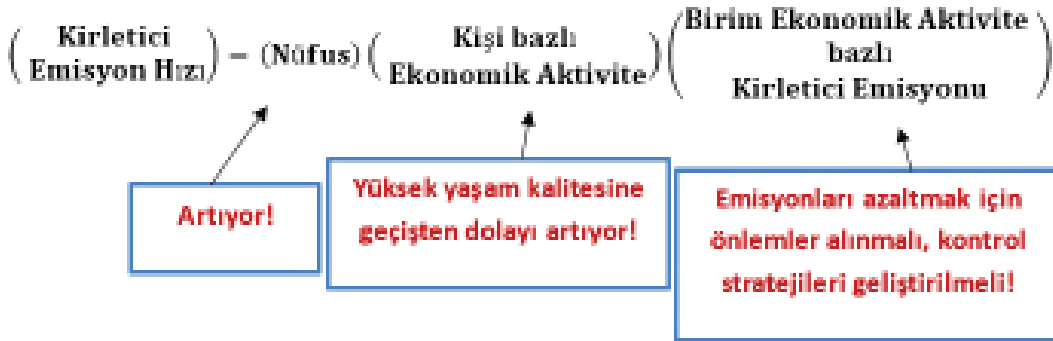
3.4. Ülkemizde Hava Kirliliği Ölçümü ve Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA)

Ülkemizde 1960'lı yıllar sonrası hava kirliliğine ilgi ve yaklaşımın arttığı gözlenmektedir. İlk olarak 1961 yılında Ankara'da Sağlık Bakanlığı'na bağlı Refik Saydam Hıfzıssıhha Merkezi (RSHM) tarafından kükürtdioksit ve partikül madde günlük ortalama konsantrasyon izlenmesi başlatılmıştır (UHKİA, 2023). Yarı otomatik cihazlar ile başlayan bu süreç 1984 yılından itibaren saatlik ortalamalar verebilen tam otomatik cihazlara dönüşmeye başlamıştır.

Ülkemizde temiz hava politikalarının oluşturulması ve hava kalitesinin iyileştirilmesi için hava kirliliğinin doğru bir şekilde ölçülmesi amacıyla, zamanındaki adı Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından 2005-2007 yılları arasında 81 ilde hava kalitesi ölçüm istasyonları kurulmuştur. Bu istasyonlara ek olarak, İstanbul ve İzmir Büyükşehir Belediyelerine, RSHM Başkanlığına ve Kocaeli Dilovası Organize Sanayi Bölgesine ait hava kalitesi ölçüm istasyonları sisteme entegre edilerek Türkiye genelinde Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (UHKİA) oluşturulmuştur. Ayrıca, Çevre ve Orman Bakanlığı ile Sağlık Bakanlığı arasında 2009 yılında imzalanan protokol kapsamında Ankara'da bulunan hava kalitesi ölçüm istasyonları ve mobil hava kirliliği ölçüm aracı Çevre ve Orman Bakanlığına devredilmiştir. 2015 yılında Samsun ve Erzurum Temiz

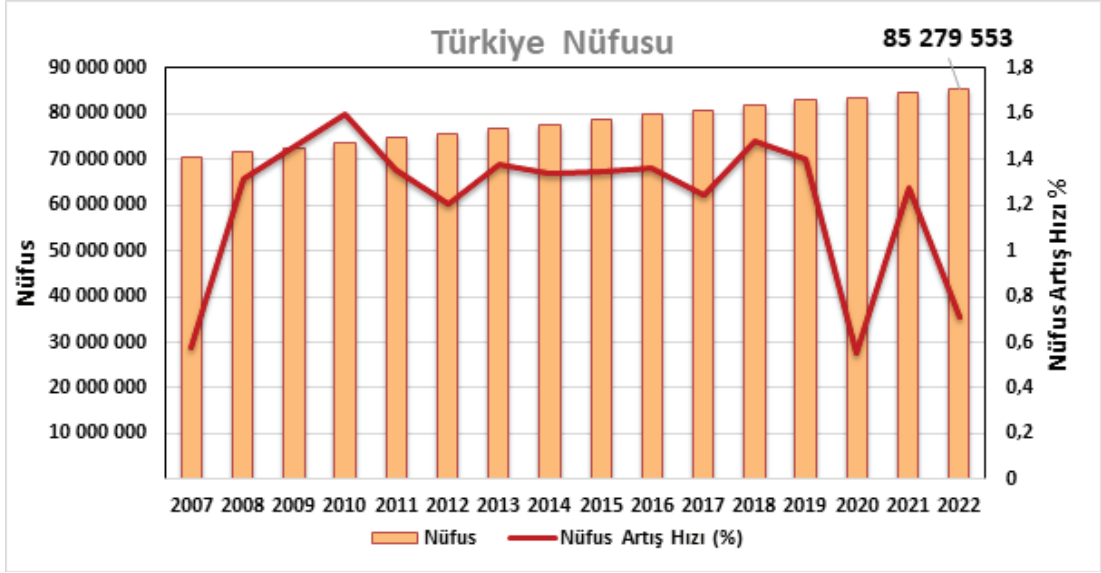
Kirletici emisyonları, kabaca, Şekil 13’de gösterilen denklemle ifade edilebilir; belirli bir kimyasalın emisyon hızı doğrudan nüfusa, kişi bazlı ekonomik aktiviteye ve birim ekonomik faaliyet başına düşen kirletici emisyonuna bağlıdır.

Türkiye’de ikamet eden nüfus, 31 Aralık 2022 tarihi itibarıyla bir önceki yıla göre 599 bin 280 kişi artarak 85 milyon 279 bin 553 kişiye ulaşmıştır (Şekil 14) (TUIK, 2023a). Bu demografik özellikler, ulaşım, sınai faaliyetler, gıda talebi gibi şehrin diğer yönleriyle de yakından ilişkilidir. Bu konulardaki artışlar; hava kalitesi, içme suyu miktarı ve kalitesi, katı atık, atıksu, iklim değişikliği gibi çevresel konularda baskı oluşturmaktadır. Kirletici emisyonunda 2. önemli faktör olan kişi bazlı ekonomik aktivite üretim bazlı Gayrisafi Yurt İçi Hasıla (GSYH) ile ifade edilebilir. Üretim yöntemine göre dört dönem toplamıyla elde edilen yıllık GSYH, zincirlenmiş hacim endeksi olarak (2009=100), 2022 yılında bir önceki yıla göre %5,6 artmıştır (TUIK, 2023b). Bu artış bir önceki yıl %11 olarak gerçekleşmiştir. Dolayısıyla ülkemizde kişi bazlı ekonomik aktivitenin de sürekli arttığını belirtmeliyiz.



Şekil 13. Hava kirliliği emisyon hızının bağlı olduğu faktörler.

Sıkı emisyon kontrol programları ile atmosferdeki çoğu kirleticinin emisyonları veya öncül kimyasallarının salımları azaltılarak hava kalitesi istikrarlı bir şekilde iyileştirilebilir. Bununla birlikte, her zamankinden daha etkili atık gaz ve partikül kontrol ekipmanlarının kurulması, ölçülen hava kirletici konsantrasyonlarının ortalamalarını düşürebilecek ve nüfusumuz ve kişi başına düşen ekonomik faaliyet düzeyimiz artmasına rağmen hava kalitesi ortalamalarında iyileşme sağlanabilecektir.



Şekil 14. 2007-2022 dönemi Türkiye nüfusu ve nüfus artış hızı.

4. Sonuç ve Öneriler

İnsan sağlığını tehdit eden hava kirletici gazların ve yeryüzünün yaydığı uzun dalga boylu ışınmı tutan sera gazlarının büyük bir kısmı elektrik ve ısı üretmek için fosil yakıtların yakılmasıyla üretilir. Hava kalitesi sorunlarını azaltmak ve iklim değişikliğinin kötü etkilerinden kaçınmak için emisyonların azaltılmasının gerekliliği mutlak bir gerçekliktir. Bunu başarmak için fosil yakıtlara olan bağımlılığımızı azaltmalı ve temiz, erişilebilir, uygun fiyatlı, sürdürülebilir ve güvenilir alternatif enerji kaynaklarına yönelmeliyiz. Emisyon azaltımı için alınabilecek tedbirleri şu başlıklarda sıralayabiliriz:

Ulaşım sistemleri ile ilgili politikalar ve eylemler

- Toplu taşımacılığın teşvik edilmesi ve yaygınlaştırılması,
- Yürüme, bisiklet kullanımı gibi fiziksel hareketlilik uygulamalarının gerçekleştirilmesi,
- Daha düşük emisyonlu araçlara ve yakıtlara geçiş,
- İthal araçlar için yaş sınırları ve yaşa dayalı vergilendirme,
- Hibrit ve elektrikli araç kullanımını sübvans etmek.

Endüstri ile ilgili politikalar ve eylemler

- Endüstriler için enerji verimliliği standartlarının zorunlu kılınması, yenilenebilir enerjinin teşvik edilmesi,
- Yeni teknoloji daha temiz yakma sistemlerinin, yakıtların ve endüstriyel süreçlerin teşvik edilmesi,

- Kirleticilerin atmosfere verilmeden yakalanabilmesi için kontrol teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması,
- Düşük solventli boyalar kullanarak ve solvent geri kazanımı yoluyla endüstriyel solvent emisyonlarının azaltılması.

Enerji üretimi ve tasarrufu ile ilgili politikalar ve eylemler

- Büyük ölçekli enerji üretiminde fosil yakıtlar yerine güneş veya rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelinmesi,
- Enerji tasarrufunun ve atık ısının enerji üretiminde tekrar kullanımının desteklenmesi,
- Münferit enerji üretiminin (örneğin, bina çatılarında güneş enerjisi üretimi) teşvik edilmesi,
- Binalarda ısı yalıtım sistemlerinin teşvik edilmesi.

Atık ve atıksu yönetimi ile ilgili politikalar ve eylemler

- Açıkta atık yakmayı durdurmak,
- Atık depo sahası gaz üretimi, toplanması ve kullanımının yaygınlaştırılması,
- Biyogaz geri kazanımı ile iki aşamalı atıksu arıtımının yaygınlaştırılması,
- Atık azaltma, atık ayırma, geri dönüşüm ve yeniden kullanımını desteklemek.

Tarım ve ormancılık ile ilgili politikalar ve eylemler

- Tarım alanlarının yakılmasını (anız yakma) ve atıkların açıkta yakılarak imha edilmesini yasaklamak.
- Atık işleme ve atık sahalarından çıkan metan gazının tutulması da dahil olmak üzere, tarımsal atık ve hayvan gübresi yönetiminin iyileştirilmesi.

5. Kaynaklar / References

- Çelebioğlu, T. (2021). Türkiye’de iklim değişikliğinin incelenmesi ve Doğu ile Güneydoğu Anadolu bölgelerindeki akarsu akımlarının analizi. Marmara Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Chalupka, S. (2005). Environmental health: An opportunity for health promotion and disease prevention, AAOHN Journal, 53(1), 13-30.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency), (2014). Air Quality Index (AQI): A Guide to Air Quality and Your Health, EPA-456/F-14-002, 11 pp.
- Ertürk F., Karaca M., Tayanç M., & Saral A. (1995). İstanbul’un Hava Kirliliği Haritasının Çıkarılması ve Doğalgaz Kullanımına Öncelik Verilecek Bölgelerin Belirlenmesi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Araştırma Projesi, 59 sayfa.
- EU Air Quality Standards, last modified on 03 Dec 2021, regulated under 2008/50/EC Directive on

- Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe and 2004/107/EC Directive on heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-concentrations/air-quality-standards> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- European Environmental Agency, (2020). Air pollution: How it affects our health. <https://www.eea.europa.eu/themes/air/health-impacts-of-air-pollution> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023)
- Greve, P., Orlowsky, B. Mueller, B. Sheffield, J. Reichstein, M. & Seneviratne, S. I. (2014). Global assessment of trends in wetting and drying over land. *Nature Geoscience*, 7, 716–721, doi:10.1038/ngeo2247.
- Harvard T.H. (2023). Coronavirus and air pollution. <https://www.hsph.harvard.edu/c-change/subtopics/coronavirus-and-pollution/> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- Havaizleme, (2023). <https://www.havaizleme.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- Hıfzısıhha Enstitüsü (Sağlık Bakanlığı - Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi Başkanlığı) (2001). Hava Kalitesi İzleme Metodolojileri ve Örneklem Kriterleri, Çevre Sağlığı Araştırma Müdürlüğü, ISBN 975-590-032-2, 179 sayfa.
- IEA, IRENA, UNSD, World Bank, WHO (2022). Tracking SDG 7: The Energy Progress Report. World Bank, Washington DC. © World Bank. License: Creative Commons Attribution—NonCommercial 3.0 IGO (CC BY-NC 3.0 IGO). Available from: <https://trackingsdg7.esmap.org/downloads> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- IPCC, (2021). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [MassonDelmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.
- IQAir (2021). 2021 World Air Quality Report - Region and City PM_{2.5} Ranking. Retrieved from <https://www.iqair.com/world-air-quality-report> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023)
- IQAir (2022). 2022 World Air Quality Report - Region and City PM_{2.5} Ranking. Retrieved from <https://www.iqair.com/world-air-quality-report> (Erişim Tarihi: 16 Mart 2023)
- Liao, H., Unger, N. & Zanis, P. (2021). Short-Lived Climate Forcers. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 817–922, doi:10.1017/9781009157896.008.
- MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) (2021). Türkiye 2021 İklim Raporu, <https://mgm.gov.tr/iklim/iklim-raporlari.aspx>
- MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) (2022). Türkiye 2022 İklim Raporu, <https://mgm.gov.tr/iklim/iklim-raporlari.aspx>

- MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) (2023). 2022 Yılı Yağış Değerlendirmesi <https://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/yagisdegerlendirme/2022yagisdegerlendirmesi.pdf>
- Tayanç M., Karaca M., Ertürk F., Ekinci B. M., & Pişkin C. (1996). 1994-1995 ile 1995-1996 Isınma Sezonlarında Hava Kirliliğinin Meteorolojik Açından İncelenmesi, İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Araştırma Projesi, 31 sayfa.
- Tayanç, M. (2000). An assessment of spatial and temporal variation of sulfur dioxide levels over İstanbul, Türkiye. *Environ. Pollut.*, 107, 61–69.
- Tayanç, M., Karaca, M. & Yenigün, O. (1997). Annual and Seasonal Air Temperature Trend Patterns of Climate Change and Urbanization Effects in Relation with Air Pollutants in Türkiye, *J. Geophys. Res.*, 102(D2), 1909-1919.
- TRT, TRT Haber 2021. 1978'de Ankara'da hava kirliliği. <https://www.trthaber.com/foto-galeri/1978de-ankarada-hava-kirliligi/33361/sayfa-1.html> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- TUİK (2023a). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, 2022. Yayımlanma Tarihi: 06 Şubat 2023 <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayal%C4%B1-N%C3%BCfus-Kay%C4%B1t-Sistemi-Sonu%C3%A7lar%C4%B1-2022-49685&dil=1> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023)
- TUİK (2023b). Dönemsel Gayrisafi Yurt İçi Hasıla, IV. Çeyrek: Ekim - Aralık, 2022. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Donemsel-Gayrisafi-Yurt-Ici-Hasila-IV.-Ceyrek:-Ekim---Aralik,-2022-49664#> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- UHKİA, Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (2023). <https://sim.csb.gov.tr/Intro/Uhkia> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- WHO (World Health Organization) (2019). Household air pollution. <https://www.who.int/multi-media/details/household-air-pollution-info> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- WHO (World Health Organization) (2020). Air pollution. (https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1, (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- WHO (World Health Organization) (2021). WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329> (Erişim Tarihi: 6 Mart 2023).
- WHO (World Health Organization) (2022). Compendium of WHO and other UN guidance on health and environment, 2022 update. (WHO/HEP/ECH/EHD/22.01). Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Wuebbles, D.J., Easterling, D.R., Hayhoe, K., Knutson, T., Kopp, R.E., Kossin, J.P., Kunkel, K.E., LeGrande, A.N., Mears, C., Sweet, W.V., Taylor, P.C., Vose, R.S. & Wehner, M.F. (2017). Our globally changing climate. In: Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I [Wuebbles, D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, pp. 35-72, doi: 10.7930/J08S4N35.

Yazar Hakkında / About Author

Prof. Dr. Mete TAYANÇ | Marmara Üniversitesi |
mtayanc[at]marmara.edu.tr | ORCID: 0000-0003-4319-3757

Lefkoşa, KKTC doğdu ve Türk Maarif Kolejinden 1984 yılında mezun oldu. İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümünde 1988 yılında lisans, Boğaziçi Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsünde 1991 yılında yüksek lisans ve 1995 yılında doktora yapmıştır. 1995'ten günümüze Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü kadrosunda görev yapmaktadır. 2004-2007 döneminde Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Bölüm Başkan Yardımcılığı görevinde bulunmuştur. 2007-2010 yılları arasında Uluslararası Kıbrıs Üniversitesinde Mühendislik Fakültesi Dekanlığı yapmıştır. Prof. Dr. Mete Tayanç'ın, 2007-2013 yılları arasında TÜBİTAK Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Grubu (ÇAYDAG) Yürütme Komitesi üyeliği, 2014-2016 döneminde Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından yürütülen SAN-TEZ programı üyeliği ve 2022'den bu yana da TÜBA Çevre, Biyoçeşitlilik ve İklim Değişikliği Çalışma Grubu üyeliği bulunmaktadır. Bugüne kadar, SCI indeksli uluslararası hakemli dergilerde, konferans/sempozyumlarda ve kitap bölümlerinde çok sayıda çalışması yayımlanmıştır. Esas olarak Marmara Üniversitesi BAPKO ve TÜBİTAK olmak üzere çeşitli projelerde yürütücü ve araştırmacı olarak çalışmıştır. Halen hava kirliliği, atmosferik modelleme, iklim değişikliği gibi çevre ve atmosfer bilimleri alanlarında çalışmalar sürdürmektedir.

Prof. Dr. Mete TAYANÇ | Marmara University |
mtayanc[at]marmara.edu.tr | ORCID: 0000-0003-4319-3757

He was born in Nicosia, TRNC and graduated from the Turkish Maarif College in 1984. He completed his undergraduate studies in Istanbul Technical University Meteorological Engineering Department in 1988, his master's degree in 1991 and doctorate in 1995 at Boğaziçi University Environmental Sciences Institute. He has been working in Marmara University Environmental Engineering Department since 1995. Between 2004-2007, he served as the Deputy Head of the Department of Environmental Engineering at Marmara University. Between 2007-2010, he worked as the Dean of the Faculty of Engineering at Cyprus International University. Prof. Dr. Mete Tayanç was a member of the Executive Committee of the TÜBİTAK Environment, Atmosphere, Earth and Marine Sciences Research Group (ÇAYDAG) between 2007-2013, a member of the SAN-TEZ program directed by the Ministry of Science, Industry and Technology between 2014-2016. He has been a member of TÜBA Environment, Biodiversity and Climate Change Working Group since 2022. To date, many of his works have been published in SCI indexed international peer-reviewed journals, conferences/symposiums and book chapters. He worked as an executive and researcher in various projects, supported mainly by Marmara University BAPKO and TÜBİTAK. He still working on the fields of environmental and atmospheric sciences like air pollution, atmospheric modeling and climate change.

**YEŞİL MUTABAKAT ÇERÇEVESİNDE
DESTEKLENEBİLİR PROJELER**

**POSSIBLE GRANTED PROJECT WITHIN EUROPEAN GREEN
DEAL**

Mustafa ERSÖZ

YEŞİL MUTABAKAT ÇERÇEVESİNDE DESTEKLENEBİLİR PROJELER

Mustafa ERSÖZ

Selçuk Üniversitesi

Özet

Yeşil Mutabakat, Avrupa Birliği'nin (AB) 2019 yılında ortaya koyduğu bir stratejidir ve AB'nin iklim değişikliği ve sürdürülebilirlikle ilgili temel hedeflerine ulaşmasını amaçlar. Bu hedefler, 2050 yılına kadar AB'nin karbon nötr olması, enerji verimliliğinin artırılması, temiz enerji kullanımının yaygınlaştırılması, çevre dostu ulaşım sistemlerinin teşvik edilmesi ve yeşil ekonominin geliştirilmesi gibi konuları içerir. Yeşil Mutabakat kapsamında, Avrupa Birliği Komisyonu tarafından sürdürülebilir projeleri desteklemek, yeşil teknolojileri ilerletmek, çevreyle uyumlu altyapılar geliştirmek ve fosil yakıt kullanımını kısmak için önemli miktarda finansal kaynak ayrılmıştır. Bu finansman tahsisi, daha sürdürülebilir ve iklim dayanıklı bir topluma geçişi kolaylaştırmak için kilit bir mekanizma olarak hizmet etmektedir. Yıllık olarak, Avrupa Birliği Komisyonu, iklim değişikliği ile mücadele ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine uyumlu çabalara destek olmak amacıyla proje çağrıları yapılmaktadır. Yeşil mutabakat projeleri, iklim değişikliği ile mücadele ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamada önemli bir rol oynayan ana unsur olarak ortaya çıkmaktadır. Yeniliğin teşvik edilmesi, çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesi ve sürdürülebilir uygulamaların hayata geçirilmesini sağlamak amacıyla yıllık proje çağrıları düzenlenmektedir. Bu yıllık proje çağrıları Yeşil Mutabakat strateji kapsamında belirlenen hedeflere ulaşmada önemli ölçüde katkı yamaktadır. Bu dinamik ve işbirlikçi yaklaşım, dönüşüme yönelik önemli girişimlerin uygulanmasına öncülük etmekte, Avrupa Birliği'ni daha yeşil ve sürdürülebilir bir geleceğe yönlendirmede kritik rol oynamakta ve böylece mevcut ve gelecek nesillerin refahına katkı sağlanması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler

Yeşil mutabakat, İklim değişikliği, Yeşil mutabakat projeleri, Sürdürülebilirlik

POSSIBLE GRANTED PROJECT WITHİN EUROPEAN GREEN DEAL

Mustafa ERSÖZ

Selçuk University

Abstract

The Green Deal is a strategy put forward by the European Union (EU) in 2019, aiming to achieve the EU's fundamental goals regarding climate change and sustainability. These goals include the EU becoming carbon neutral by 2050, increasing energy efficiency, promoting the use of clean energy, encouraging eco-friendly transportation systems, and developing a green economy. Within the scope of the Green Deal, substantial financial resources have been allocated by the EU Commission to support sustainable projects, advance green technologies, develop environmentally compatible infrastructures, and curtail the use of fossil fuels. This funding allocation serves as a pivotal mechanism to facilitate the transition towards a more sustainable and climate-resilient society. Annually, the EU Commission issues project calls to rally endeavors that align with climate change mitigation and the attainment of environmental sustainability objectives. The Green Deal projects have emerged as key drivers in the ongoing battle against climate change and the pursuit of environmental sustainability. By fostering innovation, promoting research and development of eco-friendly technologies, and enabling the implementation of sustainable practices, the projects sparked by these annual calls contribute substantively to the realization of the broader goals set forth within the Green Deal. This dynamic and collaborative approach has led to the deployment of transformative initiatives that are critical to steering the EU towards a greener and more sustainable future, ensuring the wellbeing of both current and future generations.

Keywords

Green deal, Climate changes, Green deal projects, Sustainability

1. Giriş

İklim değişimi devam etmekte ve bu yüzyılda ve gelecek yıllarda da değişim ile küresel ortalama sıcaklık artışında devam etmesi beklenmektedir. Son yıllarda küresel ortalama sıcaklık artışı önceki yıllara oranla daha hızlı bir şekilde artış olduğu ve yeryüzünde çoğu yerlerde zaman zaman iklim değişikliklerinin etkileri yaygın bir şekilde görülmektedir. Küresel iklim değişikliğine etki eden belirgin etkenler, fosil yakıt kullanımında artış, orman yangınları ve ormansızlaştırma, yoğun endüstri kaynaklı uygulamalar ile birlikte tarımda kullanılan kimyasal bazı ilaç ve gübre kullanımı vb. etkenler başta karbondioksit ve metan olmak üzere sera gazlarını artırmaktadır.

İklim değişikliğinin etkileri giderek artmakta ve halihazırda 1,2 °C'lik (2,2 °F) ısınma seviyesinde olduğu hissedilmektedir. Ayrıca bu sıcaklığa bağlı ek ısınma nedenleri ile kutuplarda buz tabakalarına etkisi ile Grönland buz tabakasının erimesi gibi devrilme noktalarını tetikleyebileceği sıklıkla belirtilmektedir. İklim değişikliği ve küresel ısınma yı azaltmak amacıyla [IPCC AR6 WG1 Technical Summary 2021, 22.07.2023] 2015 yılında ısınmayı “2 °C'nin oldukça altında” tutmak amacıyla Paris Anlaşması kabul edilmiştir. Bununla birlikte, Paris anlaşması kapsamında ülkeler tarafından verilen taahhütlerle, küresel ısınmanın artacağı ve yüzyılın sonuna kadar yaklaşık 2,7 °C'ye (4,9 °F) ulaşacağı tahmin edilmektedir. [United Nations Environment Programme 2021, 22.07.2023] Isınmanın daha düşük düzeyde 1.5 °C ile sınırlandırılması ve 2030 yılına kadar emisyonların yarıya indirilmesi ve 2050 yılına kadar net sıfır emisyona ulaşılması gerektiği dile getirilmektedir (URL-1).

2. Avrupa Yeşil Mutabakatı

İklim değişiminin etkilerini minimize etmek ve sürdürülebilir bir dünya için küresel çapta tüm ülkeler tarafından gerekli çalışmaların yapılması ve tüm paydaşlar tarafından önlem alınması ihtiyacı doğmuştur. Özellikle son yıllarda yaşanan COVID-19 pandemisinin etkisiyle de küresel düzeyde sosyal ve ekonomik etkileri daha da belirgin bir halde öne çıkmıştır. Bu etkiler nedeniyle sürdürülebilir bir gelecek ve kapsayıcı bir ekonomik altyapı sağlanması uluslararası toplumun en öncelikli konusu haline gelmiştir. Bu amaçla iklim krizinin etkilerini minimum düzeye indirmek amacıyla 2019 yılında Avrupa komisyonu tarafından yeşil mutabakat, diğer bir ifadeyle “Green Deal” anlaşması ortaya çıkmıştı. Yeşil mutabakat anlaşması kapsamında “AB'nin 2050'ye kadar net sera gazı emisyonlarının sıfırlanması ve ekonomik büyümenin kaynak kullanımına bağlılığının sona ermesi” stratejik hedefli belirenmiş ve bu stratejik hedeflerin hayata geçirilmesine odaklanılmıştır. Avrupa yeşil mutabakatı, AB'nin ihtiyaç duyduğu yeni bir büyüme stratejisi olup, AB'yi daha modern, kaynak verimliliğine dayalı ve rekabetçi bir ekonomiye dönüştürmeyi amaçlamaktadır. Programın ana hedefi, 2050 yılına kadar Avrupayı karbon-nötr bir kıta haline getirmesi hedefi bulunmakta ve iklim ve çevre sorunlarını sürdürülebilir bir AB ekonomisi için fırsatlara dönüştürmeyi ve bu geçişi adil ve kapsayıcı bir şekilde yapmayı hedeflemektedir. Bu amaçla, yeşil mutabakat programı, birçok politika ve önlemi içermektedir.

Avrupa Yeşil Mutabakatı, kaynakların etkin ve sürdürülebilir kullanımını artırmaya yönelik eylemlerden oluşan bir stratejik yol haritası olup, temiz ve dögüsel bir ekonomiye geçişı, iklim değişikliğini minimum düzeyde tutulması ve nötr hale getirilmesi, biyoçeşitlilik kaybını tersine çevirmeyi ve kirliliğin önlenmesi hedeflenmiştir. Yeşil mutabakat, bu amaçlara ulaşmak için gerekli yatırımları ve finansal araçları belirleyip, adil ve kapsayıcı bir geçiş sağlanarak “karbon-nötr” hedefini yasal bir çerçeveye yerleştiren bir anlaşmadır.

AB, karbon-nötr kıta hedefine ulaşmak için belirlemiş olduğu ölçütleri tüm alanlarda uygulamak için çalışmalar gerçekleştireceği ve önemli ölçütlerden birisi de, ticari ilişkilerde bulunduğu ülkelere de yayarak fosil yakıt temelli ekonomik modeli tümünden değiştirerek sürdürülebilir bir ekonomiye dönüşümü hedeflemektedir. Bu bağlamda, sınırda karbon vergisi gibi yeni tedbirler hali hazırda tartışılmaktadır. Avrupa yeşil mutabakatının belirlemiş olduğu unsurlar Şekil 1 de verilmiştir.

Avrupa yeşil mutabakatı kapsamı ve stratejisi ana başlıklar halinde,

- 2050 itibariyle Avrupa’nın iklim-nötr bir kıta haline getirmek, Dögüsel Ekonomiye geçilmesi;
- Sanayi (yeşil) stratejisi oluşturulması, (minimum, (yeşil) hammadde ile ürünlerin (yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir, sürdürülebilir bir ürün politikası)
- Tarladan Çatala Stratejisi (sürdürülebilir tarım, yeşil Ortak Tarım Politikası (CAP) uygulanması)
- Sürdürülebilir, akıllı ve çevreci ulaşım (ulaşımda elektrik, hidrojen kullanımı vb.)
- Binalarda minimum enerji tüketimi
- Ekosistemlerin ve biyoçeşitliliğin korunması,
- Temiz, güvenilir enerjiye geçilmesi, toksiksiz bir çevreye ulaşılması,

olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Avrupa yeşil mutabakatı unsurları (URL-3)

İklim değişimi ve çevresel problemler hem Avrupa hem de Dünya için büyük bir tehdit oluşturmakta olup tehditlerin üstesinden gelmek için Avrupa komisyonun tarafından Avrupa Yeşil mutabakatı yol haritası oluşturulmuştur. Bu amaçla, Yeşil Mutabakat, Avrupa Birliği'nin 2019'da benimsediği bir strateji olup, Avrupa'nın karbon nötr hale gelme hedefleri doğrultusunda iklim değişikliği ve çevresel sürdürülebilirlik sorunlarına çözüm sunmayı amaçlamaktadır. Bu strateji, birçok sektörde yapısal değişiklikler yaparak karbon emisyonlarını azaltmayı, yenilenebilir enerjiyi teşvik etmeyi, enerji verimliliğini artırmayı, sürdürülebilir ulaşım ve tarım uygulamalarını yaygınlaştırmayı hedeflemektedir.

Avrupa yeşil mutabakatına uyum amacıyla, TÜBİTAK (URL-3) ve ilgili bakanlıklar kapsamında çalışmalar gerçekleştirilmiş, Türkiye ekonomi ve sanayisinin yeşil dönüşümü; kapsayıcı ve sürdürülebilir bir büyümenin tesis edilmesinin yanı sıra, ülkemizin ihracat rekabetçiliğinin korunması ve güçlendirilmesi için çalışmalar yapılmış ve yapılmaktadır [T.C. Ticaret Bakanlığı, 2021, *Yeşil Mutabakat Eylem Planı*]. Bu alanda, ülkemizin küresel değer zincirlerine entegrasyonunun geliştirilmesi ve uluslararası yatırımlardan alacağı payın artırılması bakımından çalışmalar yürütülmektedir.

3. Ufuk Avrupa (Horizon Europe) Programı

Ufuk Avrupa (URL-3), Avrupa Birliği'nin 2021-2027 dönemi için belirlediği bir araştırma ve yenilik (Ar-Ge) programı olup, programa 2021-2027 yılları arasında 95,5 milyar avroluk bütçe ayrılmış bulunmaktadır.

Ufuk Avrupa Programının bütçesinin 35%'lik kısmı “Çözüm Gerektiren Güçlükler ve Ufuk Avrupa için Belirlenen Misyonlar” için ayrılmıştır. Yeşil Mutabakat stratejisiyle uyumlu olan bu program, iklim değişikliği ve çevresel sürdürülebilirlikle ilgili sorunlara çözümler sunmayı hedeflemektedir. Program, yenilenebilir enerji, enerji verimliliği, çevresel teknolojiler, sürdürülebilir ulaşım ve tarım gibi konulara odaklanarak yeşil mutabakat kapsamında desteklenen projelere finansman sağlamaktadır. Genel anlamda Avrupa yeşil mutabakatı stratejisini desteklemek amacıyla Ufuk Avrupa programı, yenilenebilir enerji kaynaklarından daha verimli ve ekonomik enerji üretmek için araştırmalar yapmayı hedefleyen projeleri destekleyebilir. Program aynı zamanda, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve sıfır-emisyonlu bir gelecek yaratmak için karbon emisyonlarını azaltan yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesine de destek sağlamaktadır. Ufuk Avrupa programı, sadece yeşil mutabakat kapsamında desteklenen projeleri finanse etmekle kalmayıp, aynı zamanda Avrupa genelinde araştırma ve yenilik alanında iş birliği ve ağ oluşturma fırsatları da sunmaktadır.

Yeşil Mutabakat çerçevesindeki araştırma projeleri konu başlıkları;

3. 1. “İklim Değişikliği, Çevre ve Biyoçeşitlilik: İklim Değişikliği, Karbon salımı ve Sera Gazı Emisyonlarının Düzenlenmesine” yönelik Ufuk Avrupa çalışma konuları

İklim değişikliğine etkiler: İklim değişikliğinin doğal sistemler, ekonomik sistemler ve insan sağlığı üzerindeki etkisinin belirlenmesine yönelik proje konularını içermektedir. Bu çalışmalar arasında iklim değişikliği modellemesi, biyosfer ve hidrosfer sistemlerindeki değişikliklerin belirlenmesi ve insan sağlığı üzerindeki etkilerin analizi gibi konuları içermektedir.

Yenilenebilir enerji teknolojiler: Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı daha verimli ve ekonomik bir enerji sistemi geliştirmeyi hedefleyen çalışmaları içermektedir. Bu çalışmalar arasında güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve jeotermal enerji sistemlerinin geliştirilmesi, enerji depolama teknolojilerinin araştırılması ve enerji verimliliğinin artırılması gibi konuları içermektedir.

Karbon salınının azaltılması: Sera gazı emisyonlarının azaltılması için stratejiler geliştirerek ve uygulayarak, karbon salınının azaltılmasına katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Bu çalışma konuları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, enerji verimliliğinin artırılması, karbon yakalama ve depolama teknolojilerinin geliştirilmesi ve diğer çevresel politikaların uygulanması konularını içermektedir.

Biyçeşitililiğin korunması: Bu proje, biyçeşitililiğin korunması ve sũrdũrũlebilir kullanımının teşvik edilmesi için araştırmalar yapmayı, koruma stratejileri geliştirmeyi ve biyçeşitililiğin ekonomiye entegre edilmesi hedeflenmektedir. Çalışma konuları biyçeşitililiğin değerlendirilmesi, habitatların korunması ve restore edilmesi, biyçeşitlilik ve ekonomik kalkınmanın entegrasyonu ve biyçeşitlilikle ilgili politikaların uygulanması konularını içermektedir.

İklim değişikliği uyum stratejileri: İklim değişikliğinin etkilerine uyum sağlamak için stratejiler geliştirilerek, iklim değişikliğine bağlı risklerin azaltılması amaçlanmaktadır. Çalışma konuları genel olarak, iklim değişikliğinin etkilerinin değerlendirilmesi, risk azaltma stratejilerinin geliştirilmesi, uyum tedbirlerinin uygulanması yer almaktadır. Bununla birlikte, kırsal alanlarda su kaynaklarının yönetimi, afet risklerinin azaltılması ve kentsel planlama gibi konularda yer almaktadır. Ayrıca, iklim koşullarına uyum sağlamak için toplumlar arasında farkındalığı artırılması gibi konularda yer almaktadır.

Sıfır atık yönetimi: Atık yönetiminin karbon salınımını azaltmak amaçıyla yeniden dũzenlenmesi, atıkların azaltılması, geri dnũřũmũ ve yeniden kullanımı yoluyla sıfır atık hedefine ulaşılması hedeflenmektedir. Çalışma konuları arasında atık miktarının azaltılması için çeşitli önlemlerin alınması, yenilikçi geri dnũřũm yöntemleri ve teknolojilerin geliştirilmesi ve atıkların yeniden kullanımı gibi stratejik hedefli konular yer almaktadır.

Su yönetimi: Su kaynakları için sũrdũrũlebilir yönetimi stratejilerin geliştirilmesi, su kaynaklarının bũtũncũl yönetimi ve verimli kullanımı hedeflenmektedir. Çalışma konuları arasında, su kaynaklarının belirlenmesi, su kaynaklarının korunması, su tũketiminin azaltılması ve su kalitesinin korunması gibi konular yer almaktadır.

Sũrdũrũlebilir tarım: Tarımın sũrdũrũlebilirlięinin artırılması, ileri teknolojilerin geliştirilmesi ve tarımsal ũretimde verimliliğin artırılması hedeflenmektedir. Çalışma konuları arasında organik tarım, ekolojik tarım ve sũrdũrũlebilir tarım teknikleri kullanılarak toprak kalitesi ve verimliliğin artırılması, bitki hastalıkları ve zararlılarına karşı biyolojik mũcadele yöntemleri geliştirilmesi ve çiftlik yönetiminde verimliliğin artırılması konuları yer almaktadır.

Sıfır karbon binaları: Sıfır karbon binaların tasarımı, inşası ve işletilmesi için stratejilerin geliştirilmesi, binaların enerji tũketiminin azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanarak karbon salınımının önlenmesi hedeflenmektedir. Çalışma konuları arasında, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, bina yalıtımı ve enerji verimliliği, su tasarrufu ve çevresel etki değerlendirilmesi konuları yer almaktadır.

3.2. “Temiz ve Döngüsel Ekonomi” başlığı altında desteklenebilir Ufuk Avrupa Çalışma konuları

Yenilikçi Geri Dönüşüm Teknolojileri: Atık üretiminin azaltılması ve geri dönüşüm oranının ve sıfır atık prensiplerinin sağlanarak yenilikçi geri dönüşüm teknolojilerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Yenilikçi teknolojiler, atıkların etkin ve verimli bir şekilde ayrıştırılması, geri dönüşüm sürecinin daha hızlı ve daha verimli hale getirilmesi ve daha temiz ve döngüsel ekonomi konuları yer almaktadır.

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Entegrasyonu: Yenilenebilir enerji kaynaklarının daha geniş bir şekilde kullanılmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, atıklardan biyogaz üretimi, rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi gibi konular içermekte ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, daha temiz ve daha sürdürülebilir bir enerji üretimi vb. konular yer almaktadır.

Sıfır Atık Stratejilerinin Geliştirilmesi: Üretimde sıfır atık stratejilerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Atıkların kaynağından azaltılması, geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılabilirliği amacına yönelik stratejilerin geliştirilmesi ve uygulanması gibi konular yer almaktadır.

Döngüsel Üretim Süreçleri: Döngüsel üretim süreçlerinin geliştirilmesi ve atık üretiminin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla ürünlerin üretimde yeniden kullanımı veya geri dönüştürülmesi yoluyla, kaynakların daha verimli bir şekilde kullanılması planlanmakta, daha sürdürülebilir üretim süreçlerinin geliştirilmesi ve daha temiz ve döngüsel bir ekonomiye geçiş konuları yer almaktadır.

3.3. “Yeşil ve Sürdürülebilir Tarım: Tarladan Sofraya Sürdürülebilir Tarım” başlığı altında desteklenebilir Ufuk Avrupa Çalışma konuları

Ufuk Avrupa programı, tarım sektöründe sürdürülebilir tarımı hedeflemektedir. Bu bağlamda, tarımın çevresel etkilerini azaltmak, doğal kaynakları korumak, toprak verimliliğini artırmak, gıda güvenliği ve kalitesini sağlamak ve çiftçilerin gelirini artırmak gibi hedefleri kapsamaktadır. “*Tarladan Sofraya Sürdürülebilir Tarım*” başlığı altında desteklenebilecek projeler;

Sürdürülebilir Tarım Uygulamaları: Organik tarım, entegre tarım, doğal tarım ve tarımsal ormancılık gibi sürdürülebilir tarım uygulamalarına odaklanılmış ve tarımsal üretimde kullanılan kimyasal gübre, ilaç ve su kullanımını azaltması hedeflenmektedir.

Yenilikçi Tarım Teknolojileri: Yapay zekâ, nesnelerin interneti, sensör teknolojileri ve robotik gibi yenilikçi teknolojilerin tarım sektöründe kullanımı hedeflenmektedir. Bu teknolojilerin kullanımı ile tarımsal üretim süreçlerini daha verimli hale getirecek ve çevresel etkileri azaltacak konular yer almaktadır.

Gıda Atıklarının Azaltılması: Gıda atıklarının azaltılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesine odaklanmış, gıda üretimi, tüketimi ve dağıtımındaki kayıpların azaltılmasına katkı sağlayacak proje konuları yer almaktadır.

Tarımın Sosyal Etkileri: Tarım sektörünün sosyal etkileri ve çiftçilerin gelirlerinin artırılması, kırsal toplumun desteklenmesi ve tarım işgücü piyasasının iyileştirilmesi gibi sosyal hedeflere yönelik proje konuları yer almaktadır.

3.4. “Temiz, Erişilebilir ve Güvenli Enerji Arzı” başlığı altında muhtemel desteklenebilir Ufuk Avrupa Çalışma konuları

Ufuk Avrupa programı, temiz, erişilebilir ve güvenli enerji arzı sağlamaya yönelik projeleri çeşitli projeleri desteklemektedir. Bu amaçla desteklenebilecek projeler, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı enerji üretimini artırmak, enerji verimliliğini iyileştirmek, enerji güvenliğini sağlamak, enerji maliyetlerini düşürmek ve iklim değişikliğiyle mücadele etmek gibi hedefleri kapsamaktadır. “Temiz, Erişilebilir ve Güvenli Enerji Arzı” başlığı altında desteklenebilecek proje konuları;

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Yatırım: Güneş, rüzgar, hidrolik, jeotermal ve biyoenerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapılması amaçlanmaktadır. Bu bağlamda, fosil yakıt kullanımını azaltarak karbon emisyonlarının azaltılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi gibi konular yer almaktadır.

Enerji Verimliliği: Binaların, sanayi tesislerinin ve ulaşım araçlarının enerji verimliliğinin artırılması hedeflenmekte, böylece enerji tüketiminin azaltılarak enerji tasarrufunun sağlanması konuları yer almaktadır.

Enerji Depolama Teknolojileri: Enerjinin depolanması ve dağıtımının daha etkili hale getirilmesi için yenilikçi teknolojiler geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının dalgalı doğasına uyum sağlayarak enerji arzının daha güvenli ve erişilebilir hale gelmesine katkı sağlayacak konular yer almaktadır.

Enerji Sistemlerinin Yönetimi: Enerji arzının yönetimine ve enerji sistemlerinin daha etkili ve sürdürülebilir bir enerji yönetimi amaçlanmaktadır. Enerji güvenliğini artırabilecek ve aynı zamanda enerji sistemlerinin gelecekteki ihtiyaçlara daha iyi uyum sağlanması ve enerji sektörünün sürdürülebilirliğine katkıda bulunarak hem çevresel hem de ekonomik faydalar sağlanacak konular yer almaktadır.

3.5. “Sürdürülebilir Akıllı Ulaşım” başlığı altında muhtemel muhtemel desteklenebilir Ufuk Avrupa Çalışma konuları

Ufuk Avrupa programı kapsamında sürdürülebilir akıllı ulaşım sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması amaçlanmaktadır. Bu sistemler, ulaşım sektöründeki karbon emisyonlarının azaltılması, enerji tüketiminin optimize edilerek ulaşım araçları arasındaki etkileşimin iyileştirilmesi ve ulaşım hizmetlerinin daha erişilebilir hale getirilmesi hedeflenmektedir. Bu bağlamda, “Sürdürülebilir Akıllı Ulaşım” başlığı altında desteklenebilecek projeler;

Elektrikli Araçların Yaygınlaştırılması: Elektrikli araçların yaygınlaştırılması ve ulaşım sektöründeki karbon emisyonlarının azaltılması amaçlanmaktadır. Elektrikli araç şarj istasyonlarının yaygınlaştırılması, elektrikli araçların maliyetlerinin düşürülmesi ve elektrikli araç teknolojisinin iyileştirilmesi gibi konular yer almaktadır.

Akıllı Ulaşım Yönetimi: Ulaşım sistemlerinin akıllı bir şekilde yönetilmesi için yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanılması ile ulaşımın daha verimli hale getirilmesine odaklanılmıştır. Böylece, trafik akışının optimize edilmesi, seyahat sürelerinin kısaltılması ve ulaşım araçları arasındaki etkileşimin artırılması gibi konular yer almaktadır.

Yeni Nesil Ulaşım Araçlarının Geliştirilmesi: Sürdürülebilir ve enerji verimli yeni nesil ulaşım araçlarının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Böylece daha az enerji tüketen ve daha az karbon emisyonu üreten araçların kullanımının artırılarak ulaşım sektörünün sürdürülebilirliği sağlanacak konular yer almaktadır.

Dijital Ulaşım Hizmetleri: Dijital teknolojilerin kullanımının yaygınlaştırılması ve ulaşım hizmetlerinin daha erişilebilir hale getirilmesi gibi konular yer almaktadır.

Otonom Araçlar için Altyapı ve Teknoloji: Otonom (sürücüsüz) araçların kullanımına yönelik sensörler geliştirilmesi ve yapay zekâ teknolojilerin kullanımı amaçlanmıştır. Aynı zamanda otonom araçların kullanımını artırmak için gerekli altyapı ve teknolojik çözümlerin geliştirilmesi gibi konular da yer almaktadır.

Havacılıkta Elektrifikasyon: Havacılık sektörü, sera gazı emisyonlarının önemli bir kaynağı olarak yer almaktadır ve bu nedenle elektrikle çalışan uçakların geliştirilmesi hedeflenmektedir. Dolayısı ile elektrikle çalışan uçakların geliştirilmesi ve elektrikli hava taşımacılığının yaygınlaştırılması için altyapı ve teknolojik çözümlerin araştırılmasına yönelik proje konular yer almaktadır.

Çoklu-sistem Ulaşım: Birkaç farklı ulaşım sistemleri (otomobil, tren, bisiklet vb.) nin entegrasyonu yoluyla daha sürdürülebilir ve etkili bir ulaşım ağı geliştirilmesi hedeflenmekte ve çevreye dost bir ulaşım sistemi oluşturmanın yanı sıra, seyahat edenlerin daha verimli, uygun maliyetli ve esnek bir ulaşım seçeneği gibi konularda yer almaktadır.

Akıllı Şehirler ve Ulaşım Yönetimi: Akıllı şehirlerin geliştirilmesi ve ulaşım yönetiminin geliştirilmesi yoluyla, sürdürülebilir ve etkili bir ulaşım ağı sağlanması amaçlanmaktadır. Bu amaçla, sensör teknolojisi, yapay zeka ve diğer yenilikçi teknolojilerin kullanımının birlikte sağlanarak trafik sıkışıklığı, hava kirliliği ve gürültü gibi şehirlerin karşılaştığı ulaşım sorunlarının azaltılmasına yönelik konular yer almaktadır.

Sonuç itibarıyla; “Sürdürülebilir Akıllı Ulaşım” başlığı altında desteklenebilecek Ufuk Avrupa projeleri, çevre dostu, enerji tasarruflu ve ekonomik olarak sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu projeler, yenilikçi teknolojilerin kullanımının artırılması ile ulaşım sektöründe sürdürülebilirliğin sağlanması ve toplumun ulaşım ihtiyaçlarının karşılanarak Avrupa’nın ulaşım sisteminin geleceğinin şekillendirilmesi beklenmektedir.

4. Ufuk Avrupa 2023-2024 Programı

Ufuk Avrupa, İklim, Enerji ve Mobilite (Climate, Energy and Mobility) (Work Programme 2023-2024) kapsamında aşağıda alanlarda 2023 ve 2024 yılları için çağrılar (URL-5) açılmıştır. Bu çağrılar;

- İklim bilimleri ve iklim nötrlüğüne yönelik dönüşüm konuları (Destination – Climate sciences and responses for the transformation towards climate neutrality) proje çağrıları
- İklim geçişi için sektörler arası çözümler (Destination – Cross-sectoral solutions for the climate transition) proje çağrıları
- Ufuk Avrupa kapsamında, Sürdürülebilir, Güvenli ve rekabetçi Enerji arzına (Destination – Sustainable, secure and competitive energy supply) yönelik proje çağrıları
- Verimli, sürdürülebilir ve kapsayıcı enerji kullanımı (Destination – Efficient, sustainable and inclusive energy use) proje konuları
- Tüm ulaşım sistemleri için temiz ve rekabetçi çözümler (Destination – Clean and competitive solutions for all transport modes) proje konuları;
- Yolculuk için güvenli, dayanıklı ulaşım ve akıllı hareketlilik hizmetleri (Destination – Safe, Resilient Transport and Smart Mobility services for passengers and goods)

Başlıkları altında pek çok çağrı konusu yayımlanmıştır.

Ufuk Avrupa; Gıda, Biyoekonomi, Doğal Kaynaklar, Tarım ve Çevre (Food, Bioeconomy, *Natural Resources, Agriculture and Environment*) kapsamında aşağıda alanlarda **2023** ve **2024** yılları için çağrılar (URL-6) açılmıştır. Bu çağrılar;

- Biyoçeşitlilik ve ekosistem hizmetleri (Destination - Biodiversity and ecosystem services)
- Birincil üretimden tüketiciye kadar adil, sağlıklı ve çevre dostu gıda sistemleri (Destination - Fair, healthy and environment-friendly food systems from primary production to consumption)
- Döngüsel ekonomi ve biyoekonomi sektörleri (Destination - Circular economy and bioeconomy sectors)
- Temiz çevre ve sıfır kirlilik (Destination - Clean environment and zero pollution)
- İklim eylemi için kara, okyanus ve su (Destination - Land, ocean and water for climate action)

- Dayanıklı, kapsayıcı, sağlıklı ve yeşil kırsal, kıyı ve kentsel topluluklar (Destination - Resilient, inclusive, healthy and green rural, coastal and urban communities)
- Yeşil mutabakatı destekleyen yenilikçi yönetim, çevresel gözlemler ve dijital çözümler (Destination - Innovative governance, environmental observations and digital solutions in support of the Green Deal)

başlıkları altında pek çok çağrı konusu yayımlanmıştır.

5. Maria Skłodowska-Curie programı

Maria Skłodowska-Curie programı (URL-7), Avrupa Birliği tarafından finanse edilen bir araştırma ve eğitim programıdır. Bu program kapsamında birçok yeşil mutabakat projesi desteklenmektedir (URL-8). Yeşil mutabakat, çevre ve iklim değişikliği ile mücadeleye odaklanan bir stratejidir. Maria Skłodowska-Curie programı, araştırmacıların ve öğrencilerin Avrupa’da ve dünya genelindeki üniversitelerde, araştırma merkezlerinde ve şirketlerde çalışmalarını sağlamaktadır. Program, araştırmacılara ve öğrencilere, hem akademik hem de endüstriyel ortamlarda deneyim kazanma fırsatı sunmaktadır.

Maria Skłodowska-Curie programı kapsamında desteklenen yeşil mutabakat projeleri arasında, yenilenebilir enerji kaynakları, enerji verimliliği, atık yönetimi, su kaynaklarının korunması, çevre dostu ulaşım, sürdürülebilir tarım ve ormancılık gibi konular yer almaktadır

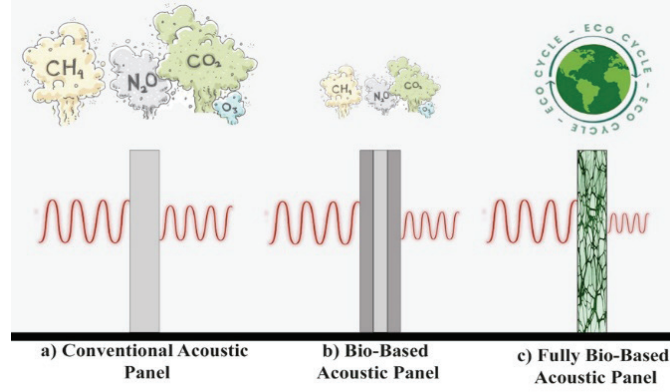
Örneğin, “Havacılık sektöründe yeşil enerji geçişi: Biyoyakıtın entegrasyonu ve yeni sürdürülebilir yakıt üretimi” gibi projeler, havacılık sektöründe biyoyakıt kullanımının artırılmasını ve sürdürülebilir yakıt üretimi için yeni teknolojilerin geliştirilmesini hedeflemektedir.

Diğer bir örnek ise “Sera gazı emisyonlarını azaltmak için akıllı ısıtma ve soğutma sistemleri” projesidir. Bu proje, binalarda kullanılan ısıtma ve soğutma sistemlerinin daha verimli hale getirilmesi ve sera gazı emisyonlarının azaltılması için yeni teknolojilerin geliştirilmesini amaçlamaktadır.

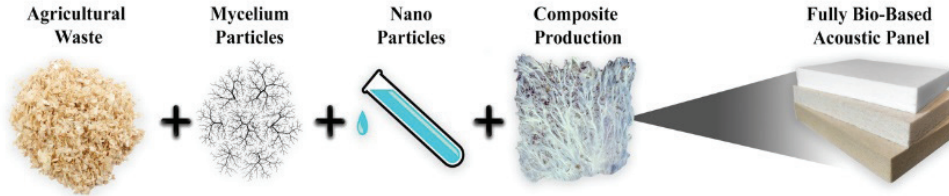
Maria Skłodowska-Curie programı, yeşil mutabakat konusunda önemli araştırmalar yapmaya devam etmektedir. Bu program kapsamında desteklenen projeler, çevre ve iklim değişikliği ile mücadele konusunda önemli katkılar sağlamaktadır.

Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında Marie Skłodowska-Curie programı tarafından desteklenen HORIZON-MSCA-2021-SE-01, Bio-Acouis 01086325 “Bio-based Solutions for Improved Acoustic Applications (Gelişmiş Akustik Uygulamalar için Biyo-tabanlı Çözümler)” projesi, Bürotime (Konya, Türkiye) koordinatörlüğünde yürütülmektedir (URL-9). Bio_Acouis projesinin amacı kapalı alanlarda, açık iş yerlerinde sosyal mesafeyi sağlamak amacıyla ses gürültüsünün azaltmak için biyo tabanlı akustik panellerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Projede odun, mısır veya buğdaya sapları gibi tarımsal atıklar biyo-tabanlı malzemeler olarak miselyum parçacıkları, nanoparçacıklar biyo bağlayıcılar olarak ve selüloz, lignin veya diğer biyokütle kaynaklarından elde edilen nanoelyaflar kullanılarak akustik uygulamalar için panellerin

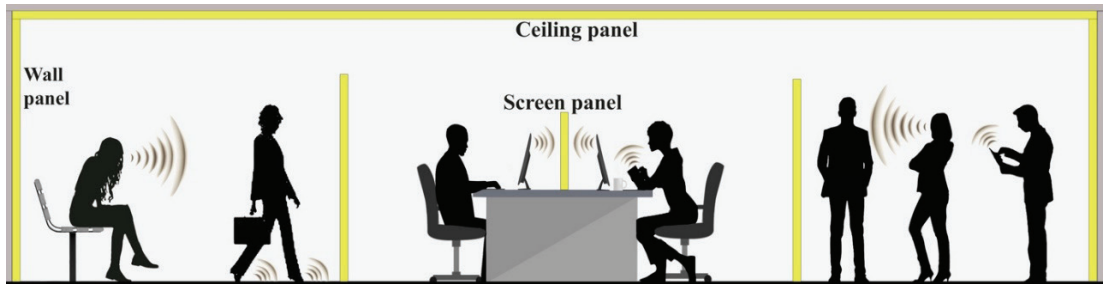
üretimine odaklanılmıştır. Projenin yenilikçi yönü, çok katmanlı farklı konfigürasyonlarda yani yüzeylerde ve ortada biyo-tabanlı malzemeler ve nanoelyaflar veya tam zıt konfigürasyonda düzenlenecek şekilde hava ile serme (airlaid) ve ısısal-bağlama (thermobonding) teknolojileri kullanılarak ekonomik ve maliyeti düşük, geri dönüştürülebilir malzemelerin akustik uygulamalar da kullanımıdır.



Şekil 2. Biyo-Akustik(akustik panel) konsepti; a) geleneksel; b) bio-tabanlı c) tamamen biyo-tabanlı



Şekil 3. Panel geliştirilmesi için proje konsepti



Şekil 4. Ses kaynakları ve akustik çözümler (uygulamaları)

Biyo-Akustik yaklaşımın temel avantajları: Biyo-tabanlı panel üretiminde, mekanik mukavemet, oldukça ince, hafiflikte, yüksek yüzey alanına sahip nano elfay teknolojisi, sürdürülebilir ve üretim, tamamen geri dönüşüm esaslı ve Avrupa yeşil mutabakatı stratejilerine katkı sağlayacak bir yaklaşım i hedeflenmiştir.

Teşekkür

Çalışmaya temel olan araştırmanın gerçekleştirilmesi ve çalışmanın hazırlanma sürecinin koordinasyonu ve metnin oluşturulmasında, Türkiye Bilimler Akademisi (TUBA), AB Horizon 2020 araştırma ve yenilik programı EngSurf-Twin (GA: 952289) projesi ve AB Horizon Programı, Bio-Acouis (GA: 10108632) projesine teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar / References

T.C. Ticaret Bakanlığı, (2021), Yeşil Mutabakat Eylem Planı

URL-1. (23.07.2023) https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

URL-2. (23.07.2023) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>

URL-3. (23.07.2023) <https://ufukavrupa.org.tr/tr>

URL-4. (23.07.2023) https://research-and-innovation.ec.europa.eu/index_en

URL-5. (25.08.2023) wp-8-climateenergy-and-mobility_horizon-2023-2024 program

URL-6. (25.08.2023) wp-9-food-bioeconomy-natural-resources-agriculture-and-environment_horizon-2023-2024_en.pdf program

URL-7. (23.07.2023) <https://marie-sklodowska-curie-actions.ec.europa.eu/>

URL-8. (23.07.2023) https://researchand-innovation.ec.europa.eu/news/all-research-and-innovation-news/results-horizon-2020-european-green-deal-call-following-kick-event-celebrate-73-projects-selected-2021-11-05_en

URL-9. (23.07.2023) <https://bio-acouis.eu/>

Yazar Hakkında / About Author

**Prof. Dr. Mustafa ERSÖZ | TÜBA Asli Üyesi | Selçuk Üniversitesi |
mersoz[at]selcuk.edu.tr | ORCID: 0000-0002-9409-9157**

Prof. Dr. Ersoz, Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi'nde Fiziksel Kimya profesörü olarak çalışmakta, lisans eğitimini Kimya Mühendisliği bölümü, Selçuk Üniversitesi, doktorasını 1994 yılında Glasgow, (İngiltere) üniversitesi, Kimya bölümünde tamamlamıştır. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 1998 yılında Temel bilimler alanında “Genç Bilim İnsanı Teşvik Ödülü” ne layık görülmüştür. Almanya Geestacht Araştırma Merkezinde membran teknolojisi üzerinde doktora sonrası bursu ve 2001-2002 yıllarında Leverhulme Trust ziyaretçi Professor bursu ile Hull Üniversitesinde davetli profesör olarak çalışmıştır. Daha önce çeşitli yönetim pozisyonlarında görev almış, İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nin (İLTEK) kurucusu ve yöneticisi olmuş, Konya Bilim Merkezi'nin kurulmasına öncülük etmiştir. 2012'den bu yana Türkiye Bilimler Akademisi'nin (TÜBA) asli üyesi, 2015-2021 yılları arasında Bilim ve Teknolojide Avrupa işbirliği (COST) Bilimsel Komitesi üyesi, 2017-2019 yılları arasında ise COST Bilimsel Komitesi Başkan Yardımcısı olarak görev yapmıştır. Prof. Ersoz, birçok uluslararası projede FP7 (FP7-LAMAND, ChitoClean, LignoFood, EU-Solairs) ve LAMAND'da Nanometroloji WP lideri, H2020 (EngSurf-Twin, NanoFeed ve Waste2Fresh) projelerinde yer almış ve EngSurf-Twin projesinin koordinatörlüğünü yürütmekte; Horizon Europe (REGENEU, Bio-Acouis) projeleri, COST projeleri (MP1106, CM1101, D43, D36, 637) yürütmüş ve CA22131 ve CA22154 projelerinde görev almıştır. Çalışma alanları, fizikokimya, membran teknolojisi, nanokimya, enerji, yüzey kimyası vb konularda çalışmalar yürütmekte, çalışmalarını etki faktörü yüksek dergilerde yayımlanmış 150 ve üzerinde makalesi bulunmaktadır.

**Prof. Dr. Mustafa ERSÖZ | TÜBA Full Member | Selçuk University |
mersoz[at]selcuk.edu.tr | ORCID: 0000-0002-9409-9157**

Prof Mustafa Ersoz is a professor of Physical Chemistry at Faculty of Science, Selcuk University, received BSc from Chemical Engineering, Selcuk University and received PhD from Department of Chemistry, Glasgow University in 1994. He received the “Junior Scientists award” in natural sciences from TÜBİTAK, The Scientific and Technical Research Council of Türkiye. He received his Ph.D. scholarship in UK, NATO-ASI post doctorate fellowship and Leverhulme Trust visiting scientist fellowship in UK. He held previous appointments as some administrative positions. He was founder and director of Advanced Technology Research and Application Center (İLTEK) and lead to establishment of Konya Science Center. He is now full member of Turkish Academy of Sciences (TUBA) since 2012 and Scientific Committee member of European Cooperation in Science and Technology (COST) between 2015-2021 and Vice Chair of COST Scientific Committee between 2017-2019. He involved many international projects, FP7 (FP7- LAMAND, ChitoClean, LignoFood, EU-Solaris) and leader of Nanometrology WP in LAMAND, H2020, (EngSurf-Twin, NanoFeed and Waste2Fresh) and coordinator of EngSurf-Twin projects; Horizon Europe (Regeneu and Bio-acouis) projects and COST projects; (MP1106, CM1101, D43, D36, 637 and now involved CA22131 and CA22154 projects. His research interests are physical chemistry, membrane technology, nanochemistry, energy and surface chemistry and published more than 150 papers and some of his papers has been published highly impacted journals.

**DEPREM ATIKLARININ YÖNETİMİ KAPSAMINDA
ÜLKEMİZDEN MEVCUT EN İYİ
ÇEVRESEL UYGULAMALAR**

**BEST ENVIRONMENTAL PRACTICES IN EARTHQUAKE
WASTE MANAGEMENT FROM TÜRKİYE**

*Mustafa ŞAHMARAN
Emircan ÖZÇELİKÇİ*

DEPREM ATIKLARININ YÖNETİMİ KAPSAMINDA ÜLKEMİZDEN MEVCUT EN İYİ ÇEVRESEL UYGULAMALAR

Mustafa ŞAHMARAN
Hacettepe Üniversitesi

Emircan ÖZÇELİKÇİ
Hacettepe Üniversitesi

Özet

Afetler, doğalarına ve büyüklüklerine bağlı olarak büyük hacimlerde enkaz ve atık oluşturmaktadır. Bu atıklar mevcut katı atık yönetim tesislerinin kapasitelerinin ve imkanlarının hacimce çok üzerinde olup, diğer acil durum müdahale ve iyileştirme faaliyetlerini olumsuz etkilemektedir. Kötü yönetildiği takdirde, atıkların hem çevre ve halk sağlığı üzerinde önemli etkileri olmakta hem de genel toparlanma sürecini oldukça etkilemektedir. Afet atıklarının en iyi şekilde yönetilmesi ve optimum şekilde geri dönüştürülerek inşaat sektöründe yeniden değer zincirine katılımının sağlanması, sosyal, çevresel ve ekonomik olarak oldukça büyük bir kazanç sağlama potansiyeline sahiptir. Bu bağlamda, bu makalede, deprem kaynaklı atıkların yönetimi, en güncel teknolojilerle ayrılması ve Hacettepe Üniversitesi'nde gerçekleştirilen mevcut en iyi çevresel uygulamalar ele alınmıştır. Çalışma sonuçlarının ve sahadaki gerçek zamanlı gösteriminin, uygulamaların etkisinin yıllarca sürmesine yardımcı olacağına ve CO₂ yakalama/depolama, yenilikçi atık geri dönüşümü, gelecekte yeniden kullanım için söküp-takılabilir sistemler ve 3 boyutlu eklemeli imalata uygun kompozitlerin geliştirilmesi konularında iş birliği yapmak/daha fazla bilgi edinmek isteyen herkes için uygun bir araç ve reklam görevi göreceğine inanılmaktadır. Bütüncül çözümler sayesinde, yüksek saflıkta geri dönüştürülmüş yapı malzemeleri/daha yüksek izlenebilirlik/pazar kabulü ve dolayısıyla daha yüksek seviyelerde döngüsellik, geri dönüştürülmüş deprem kaynaklı atıkların inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmasını sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler

Deprem atıkları, Yukarı dönüşüm, Atık karakterizasyonu, Söküp-takılabilir sistemler, CO₂ yakalama/depolama

BEST ENVIRONMENTAL PRACTICES IN EARTHQUAKE WASTE MANAGEMENT FROM TÜRKİYE

Mustafa ŞAHMARAN
Hacettepe University

Emircan ÖZÇELİKÇİ
Hacettepe University

Abstract

Disasters generate large volumes of debris and waste depending on their nature and magnitude. These wastes considerably exceed the capacities and capabilities of current solid waste management facilities and adversely affect other emergency response and recovery operations. Moreover, wastes can negatively influence the environment, public health, and the entire recovery process, if poorly managed. Proper management of these wastes and ensuring their re-participation in the value chain in the construction sector by optimum recycling/upcycling have the potential to provide a huge social, environmental and economic gain. To this end, the current paper presents the management of earthquake wastes, their separation with state-of-the-art technologies, and the latest environmental best practices conducted at Hacettepe University. It is believed that the study outcomes and real-time demonstration in the field will help the impact of the practices to last for years and will be used as a suitable tool and advertisement for anyone interested in collaborating/learning more about CO₂ capture/storage, innovative waste recycling, demountable systems for future reuse and the development of composites suitable for 3D additive manufacturing. Through holistic solutions, high-purity recycled building materials/higher traceability/market acceptance and therefore higher levels of circularity will enable the widespread use of recycled earthquake-related waste in the construction industry.

Keywords

Earthquake waste, Upcycling, Waste characterization, Demountable systems, CO₂ capture/storage

1. Giriş

İnşaat sektörü, Türkiye gayri safi yurtiçi hasılasının önemli bir bölümünden sorumlu en büyük sektörlerden biridir. Sektörün “yap-kullan-at” şeklinde ilerleyen doğrusal ekonomik modeli, çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan inanılmaz bir sorun teşkil etmektedir. Yapıların bakım/onarım/yıkım gibi aktiviteleri sonucunda ortaya çıkan inşaat ve yıkıntı atıklarının (İYA) toplam katı atığın yaklaşık %40’ını oluşturması ve herhangi bir geri dönüşüm işlemine tabi tutulmadan doğrudan atık sahalarına boşaltılması yine ekonomik ve çevresel olarak ciddi bir yük oluşturmaktadır (Jin, Yuan & Chen, 2019). Özellikle Türkiye’de son yıllarda yürürlüğe giren kentsel dönüşüm projeleri kapsamında yıkılması planlanan yaklaşık 6,5 milyon konutun, devasa miktarda İYA’nın ortaya çıkmasına neden olacağı beklenmektedir (Kotan, 2016). İYA akışının en iyi şekilde yönetilmesi, ayrılması, sınıflandırılması, izlenmesi, iyileştirilmesi ve nihayetinde geri dönüşümü sağlanarak döngüsel ekonomiye entegre edilmesi günümüz dünyasının en önemli hedeflerindendir. Avrupa Birliği Döngüsel Ekonomi Aksiyon Planı kapsamında inşaat ve yıkım sektörünün 5 hedef sektörden biri olması bu durumun önemini açıkça ortaya koymaktadır (EC COM, 2015).

Binalarda kentsel dönüşüm aktivitelerinin yanı sıra, İYA oluşumuna neden olan bir diğer önemli etmen de hiç kuşkusuz depremlerdir. Bilindiği üzere Türkiye, Kuzey Anadolu, Doğu Anadolu ve Batı Anadolu fay hattı olmak üzere toplamda 3 büyük fay hattının ve 500’den fazla aktif fayın bulunduğu bir coğrafyada olup, ciddi derecede deprem potansiyeline sahip bir ülkedir (Maden Teknik Arama, 2023). Bu kapsamda maalesef, Türkiye’de 6 Şubat 2023 tarihinde, merkez üssü Kahramanmaraş’ın Pazarcık ilçesi olan ve Richter ölçeğine göre 7,7 büyüklüğünde olan yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir. Deprem, yaklaşık 14 milyon kişinin yaşadığı Adıyaman, Hatay, Kahramanmaraş, Kilis, Osmaniye, Gaziantep, Malatya, Şanlıurfa, Diyarbakır, Elazığ ve Adana gibi komşu illeri de etkilemiştir. Bölgede 9 saat sonra meydana gelen 7,6 büyüklüğündeki ikinci büyük deprem daha da ağır hasara ve hasarlı binaların yıkılmasına neden olmuştur. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yürütülen hasar tespit çalışmaları kapsamında bu makalenin hazırlandığı tarihlerde elde edilen güncel verilere göre toplamda yaklaşık 250 bin binanın yıkılmış, yıkılacak veya ağır hasarlı olduğu belirlenmiştir. Devam etmekte olan hasar tespit çalışmaları ve orta hasar kararı verilen bazı yapıların yıkım kararı ile birlikte bu sayının daha da artacağı beklenmektedir. Deprem sonrası açığa çıkacak atıklarının miktarının yaklaşık olarak farklı tahmin senaryolarına göre 100 ila 210 milyon ton seviyeleri arasında olabileceği öngörülmektedir. Deprem sonrası açığa çıkacak olan atıkların içerisinde beton, tuğla, seramik, metal, ahşap, plastik, cam, toprak, rutin ev eşyaları, elektrikli ev eşyaları, mobilya, değerli metaller, otomobiller ve parçaları ve bir takım gıda atıkları bulunmaktadır (Şekil 1). Ayrıca miktarı nispeten az da olsa asbestli yapı malzemeleri ve evsel nitelikli tehlikeli atıklar (pil, boya, floresan lamba, yağlar vb.) da bulunabilmektedir. Yürüttüğümüz geçmiş çalışmalarda özellikle 2000’li yıllar ve sonrası inşa edilen yapılarda asbest gibi tehlikeli atıklara neredeyse hiç veya çok düşük oranlarda rastlandığı gözlemlenmiştir. Bu yapıların yıkımları sonucu açığa çıkacak deprem atıklarının, yıkımları gerçekleştirilip atık depolama sahalarına depolanmaları sonrası, atık depolama sahalarında uygun teknikler kullanılarak ayırma ve tekrar %100 mertebelerinde geri dönüştürülebilme potansiyelleri bulunmaktadır. Bu kapsamda yapılacak başarılı uygulamalar ülkemizin sahip olduğu kaynaklar açısından bir gereklilik ve ihtiyaçtır.



Şekil 1. Deprem sonrası açığa çıkan atıklar

Deprem atığı olarak adlandırılan atıkların içeriklerini dikkate aldığımızda, bilinen İYA'nın ayrılması yöntemlerinden farklı olarak sürecin aşama aşama ele alınması gerekmektedir. Deprem atıklarının klasik ayırma yöntemleri ve kırıcılar ile ayrılıp geri kazanımları mümkün değildir. Bu atıkların ayrılmasında aynı anda ağır-hafif tane ayırıcı, havalı ayırıcı, optik ayırıcı, manyetik ayırıcı, kızılötesi renk ayırıcı ve Eddy akımı ayırıcı gibi günümüzde yaygın olarak kullanılan birçok ayırma teknikleri ve elek ve kırma tesislerinin aynı anda kullanılarak bu ayırma işleminin tüm atık sahalarında devletimizin yetkilileri eşliğinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Farklı ayırma işlemlerinin planlı ve aynı anda uygulanması sonucunda deprem atıklarının %100'e yakın seviyelerde ayrılması ve ayrılan malzemelerin gerçek sahiplerine ulaştırılması ve tekrar ekonomiye kazandırılması mümkün olacaktır. Bu atıklar içerisinde kalorifik değerleri yüksek olanlarının atıktan üretilmiş yakıt tesislerinde işlenerek yakma tesislerine yakıt olarak hazırlanabilir. Özellikle deprem atıkları içerisinde klasik bina yıkıntı atıklarının ayrılması neticesinde kalan bina yıkıntı atıklarının %70'i beton moloz, sıva ve duvar malzemelerinden geri kalan miktarı ise cam, ahşap, çelik donatı, alçı ve plastikten oluşmaktadır.

Yukarıda bahsedilenler ışığında bu makalede, deprem atıklarının tipi ve miktarı, yönetimi, güncel teknolojilerle efektif ayırma yöntemleri ve nihayetinde Hacettepe Üniversitesi'nde İYA'ların geri dönüşümüne yönelik gerçekleştirilmiş en iyi çevresel uygulamalar sunulmuştur. Deprem atıklarının depolanması, toplum/ekonomi/çevre üzerinde büyük bir yükür. Başarılı geri dönüştürme senaryoları, deprem atıkları kaynaklı kirliliğin önleneceğinden, enerji/su verimliliği, atık üretiminde azalma ve daha iyi kaynak geri kazanımı dahil olmak üzere tüm yaşam döngüsü boyunca sağlık/güvenlik/çevre performansını iyileştirecektir. Yapı malzemelerinin üretimi için işlenmemiş hammaddelerin ocaktan çıkarılması/işlenmesi azaltılarak doğal kaynaklarımızın tükenmesine karşı etkili bir çözüm sağlanacaktır. Ayrıca, son zamanlarda ulusal/uluslararası çevre sorunlarının/politikalarının artan baskısı altında olan çimento/agrega/beton üreticilerine olumsuz etkilerini azaltmaları için sürdürülebilir ve alternatif yeni yapı malzemelerin hayatımıza girmesine olanak tanıyacaktır.

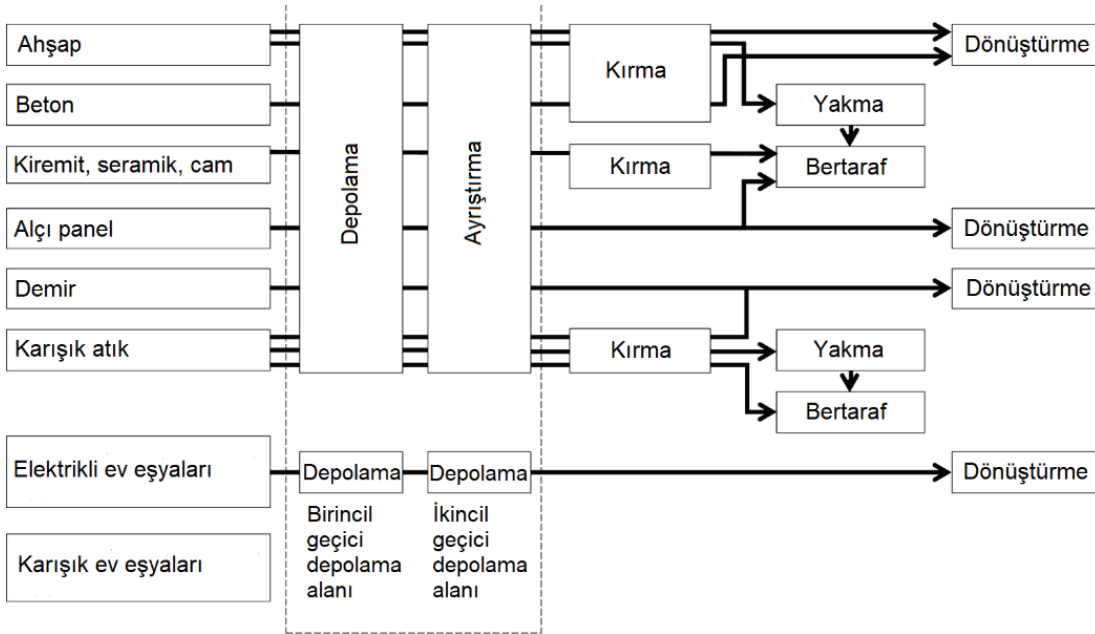
2. Deprem Atıkları Yönetimi

Büyük ölçekte gerçekleşen ve ciddi maddi ve manevi zararlar yol açan depremlerde afet sonrası yönetim genel olarak 3 aşamaya ayrılmaktadır:

- **Acil müdahale** (yaşamın korunmasını kolaylaştırmak için enkaz yönetimi, acil durum hizmetlerinin sağlanması, riskli binalar gibi acil halk sağlığı ve güvenliği tehlikelerinin ortadan kaldırılması vb.)
- **Kurtarma** (enkaz yönetimi).
- **Yeniden inşa etme** (deprem bölgesinin tekrar konutlandırılması)

Burada “Kurtarma” olarak ifade edilen aşama deprem kaynaklı atıkların yönetileceği durumu simgelemektedir. Tipik olarak deprem sonrası 5 yılı kapsayan bu süreç, kamu ve atık yöneticilerinin sahaya erişimini sınırlayabilen polis/adli tıp görevlisi soruşturmaları dahil olmak üzere atık yöneticilerinin kontrolü dışındaki bir dizi faktörden etkilenebilmektedir. Afet sonrası atıkların yönetimi atığın hacmi, atığın karışma derecesi, insan ve çevre sağlığı tehlikeleri, atığın bölgesel boyutu, topluluk öncelikleri, finansman mekanizmaları, zaman kısıtlamaları, geri dönüşüm piyasası ve mevcut ve afete özgü düzenlemeler gibi birçok faktöre bağlıdır. Deprem sonrası ortaya çıkan enkaz yönetimi çok uzun ve titizlikle dikkat edilmesi gereken bir süreç olup, dünyadaki örnekler ve literatür araştırmaları sonucunda bu süreçte önemli engellerle karşılaşıldığı görülmüştür. Deprem kaynaklı atığın yönetilmesi önündeki potansiyel engeller: i) malzemeleri toplama ve işleme kapsamında özel işleme ekipmanının bulunmaması, ii) malzemelerin fiziksel olarak ayrıştırılmasının güçlüğü, iii) geri dönüşümde ortaya çıkan malzeme türü ve miktarında dengesizlik, iv) bertaraf alanlarının bulunamaması, v) ortaya çıkan büyük miktarda deprem atığının marketteki olası yüksek arzı olarak sıralanabilir (Brown, Milke & Seville, 2011). Bu bağlamda deprem atığının yönetilmesinde ilk adım kuşkusuz deprem atığının tipi ve miktarının, deprem şiddeti, depremden etkilenen konut sayısı, önceki afet verileri ve bölgenin sosyo-ekonomik yapısına göre olabilecek en iyi seviyede belirlenmesi gerekmektedir. Böylelikle enkazı ortadan kaldırmada sahada ön ayırma, taşıma, depolama ve işleme gibi işlemlerin genel bir haritası ve dengeli bir iş planı ortaya koyulmuş olacaktır. Deprem kaynaklı atıklar genel hatlarıyla ağır tip deprem atıkları ve hafif tip deprem atıkları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ağır tip deprem atıklarının temel kaynağını, binanın kolon, kiriş, döşeme gibi taşıyıcı sistemleri oluşturmakta olup yıkım alanında mobil kırıcılar ile kırılarak ayırma tesisine gönderilmektedir. Tesiste ilk olarak değerli eşyalar tespit edilerek ayrılır ve geçici depolama alanlarına aktarılmaktadır. Ayırma tesislerinde daha ufak parçalara kırılan ağır tip deprem atıkların içerisinde bulunan metaller ayrılmakta ve ileriki işlemler için elenmektedir. Elenmiş malzeme içerisindeki değerli eşyalar özel sensör mekanizmalı optik makineler ile tespit edilerek deprem atıklarının otomatik bir şekilde ayrılması sağlanmaktadır. Kalan deprem atıkları, kırma-eleme ve yıkama tesislerine gönderilerek yapı sektöründe yeniden kullanımları/geri dönüşümleri için tekrar işleminden geçirilmektedir. Hafif tip deprem atıkları ise genel olarak karışık ev eşyaları, moloz, taş, tuğla, kum, sıva, demir, metal, kiremit gibi taneli yapılardan oluşmaktadır.

Bu tip karışık atıklar sahada kepçe yardımı ile kamyonu yüklenerek atık işleme tesislerine gönderilmektedir. Tesise gelen hafif tip deprem atıkları ön ayırmadan geçerek içerisindeki hacimli eşyalar ve tekrar kullanılabilir ürünler ayrılmaktadır. Kalan hafif tip deprem atıkları ise cins, renk ve ileri işlemlerdeki ihtiyaçlara göre otomatik olarak en ince detayına kadar ayrımı yapılmaktadır. Ayrılan atıkların içerisinde kullanılabilir olanlar geri dönüştürülerek tekrar ekonomiye kazandırılmaktadır. Şekil 2’de deprem kaynaklı atıkların genel hatlarıyla yönetim şeması sunulmuştur.



Şekil 2. Deprem atıkları yönetim şeması

Yapılan derleme çalışması sonucunda, herhangi bir şekilde tehlikeli atıklar ile kontamine olmamış ve Avrupa Atık Kodları (EWC) tarafından “17 no’lu atık kodu” içerisinde sınıflandırılan “Kirlenmiş Alanlardan Çıkarılan Hafriyat Dahil İnşaat ve Yıkım Atıkları”nın yeniden değerlendirilme potansiyelinin olduğu görülmektedir (Tablo 1) (NFDC, 2020). Bu konuda gerek yurtdışına gerekse yurtiçinde yapılmış olan literatür tarama sonuçlarına göre, farklı uygulamalar ve farklı ürünlerin üretilmesine yönelik 17 kodlu atıkların kullanım oranları ve kullanım kriterleri belirlenmiştir. Böylece atıkların yeniden değerlendirilmesiyle hem ekonomik kazanç elde edilecek hem de depolama maliyetlerinden tasarruf edilmiş olacaktır. Ayrıca en önemli bir başka avantaj ise doğal kaynakların korunarak gelecek nesillere aktarılmış olmasıdır.

Tablo 1. İnşaat ve Yıkım Atık Listesi (**A:** Konsantrasyonuna bakılmaksızın tehlikeli atık sınıfına giren atıklar, **M:** Eşik konsantrasyonlar üzerinde bir değere sahip olan tehlikeli atıklar, (*) ile işaretlenmiş atıklar tehlikeli atıklar)

Atık kodu	İnşaat Ve Yıkım Atıkları (Kirlenmiş Alanlardan Çıkartılan Hafriyat Dahil)	
17 01	Beton, Tuğla, Kiremit ve Seramik	
17 01 01	Beton	
17 01 02	Tuğlalar	
17 01 03	Kiremitler ve seramikler	
17 01 06*	Tehlikeli maddeler içeren beton, tuğla, kiremit ve seramik karışımları ya da ayrılmış grupları	M
17 01 07	17 01 06 dışındaki beton, tuğla kiremit ve seramik karışımları ya da ayrılmış grupları	
17 02	Ahşap, Cam ve Plastik	
17 02 01	Ahşap	
17 02 02	Cam	
17 02 03	Plastik	
17 02 04*	Tehlikeli maddeler içeren ya da tehlikeli maddelerle kontamine olmuş ahşap, cam ve plastik	M
17 03	Bitümlü Karışımlar, Kömür Katranı ve Katranlı Ürünler	
17 03 01*	Kömür katranı içeren bitümlü karışımlar	M
17 03 02	17 03 01 dışındaki bitümlü karışımlar	
17 03 03*	Kömür katranı ve katranlı ürünler	A
17 04	Metaller (Alaşımaları Dahil)	
17 04 01	Bakır, bronz, piring	
17 04 02	Alüminyum	
17 04 03	Kurşun	
17 04 04	Çinko	
17 04 05	Demir ve çelik	
17 04 06	Kalay	
17 04 07	Karışık metaller	
17 04 09*	Tehlikeli maddelerle kontamine olmuş metal atıkları	M
17 04 10*	Yağ, katran ve diğer tehlikeli maddeler içeren kablolar	M
17 04 11	17 04 10 dışındaki kablolar	

17 05	Toprak (Kirlenmiş Yerlerde Yapılan Hafriyat Dahil), Kayalar ve Dip Tarama Çamurları	
17 05 03*	Tehlikeli maddeler içeren toprak ve kayalar	M
17 05 04	17 05 03 dışındaki toprak ve kayalar	
17 05 05*	Tehlikeli maddeler içeren dip tarama çamuru	M
17 05 06	17 05 05 dışındaki dip tarama çamuru	
17 05 07*	Tehlikeli maddeler içeren demiryolu çakılı	M
17 05 08	17 05 07 dışındaki demiryolu çakılı	
17 06	Yalıtım Malzemeleri ve Asbest İçeren İnşaat Malzemeleri	
17 06 01*	Asbest içeren yalıtım malzemeleri	M
17 06 03*	Tehlikeli maddelerden oluşan ya da tehlikeli maddeler içeren diğer yalıtım malzemeleri	M
17 06 04	17 06 01 ve 17 06 03 dışındaki yalıtım malzemeleri	
17 06 05*	Asbest içeren inşaat malzemeleri	M
17 08	Alçı Bazlı İnşaat Malzemeleri	
17 08 01*	Tehlikeli maddeler ile kontamine olmuş alçı bazlı inşaat malzemeleri	M
17 08 02	17 08 01 dışındaki alçı bazlı inşaat malzemeleri	
17 09	Diğer İnşaat ve Yıkım Atıkları	
17 09 01*	Cıva içeren inşaat ve yıkım atıkları	M
17 09 02*	PCB içeren inşaat ve yıkım atıkları (örneğin PCB içeren dolgu macunları, PCB içeren reçine bazlı taban kaplama malzemeleri, PCB içeren kaplanmış sırlama birimleri, PCB içeren kapasitörler)	M
17 09 03*	Tehlikeli maddeler içeren diğer inşaat ve yıkım atıkları (karışık atıklar dahil)	M
17 09 04	17 09 01, 17 09 02 ve 17 09 03 dışındaki karışık inşaat ve yıkım atıkları	

Yukarıdaki tabloda genel hatlarıyla sunulan deprem kaynaklı atıklarının, atık hiyerarşisinin yapısına bağlı olarak, geri dönüşüm yöntemleri Tablo 2’de gösterildiği gibi yeniden kullanıma hazırlama, geri dönüşüm, diğer geri kazanım ve bertaraf olarak ayrılmaktadır (Eurostat, 2010; Zhang vd., 2022). Gharfalkar vd., (2015) de geri dönüşümün içeriğini, orijinal üretimle karşılaştırıldığında ikincil ürünün amacına/değerine bağlı olarak “yukarı dönüşüm (malzemenin işlevine göre daha yüksek kalitede bir şey yapmak için kullanımı)” ve “aşağı dönüşüm (malzemenin işlevine göre daha düşük kalitede bir şey yapmak için kullanımı)” kavramlarıyla genişletmiştir. Örneğin, atık betonun yol tabanı yapımı için işlenmesi aşağı dönüşümdür; öte yandan atık camın jeopolimer beton üretiminde cam suyu olarak veya yalıtımlı beton üretiminde silika aerojel olarak kullanılması ise muhtemelen yukarı dönüşüm olarak adlandırılabilir.

Tablo 2. *Atık Hiyerarşisine Dayalı Olarak Deprem Atığının Geri Dönüşüm/Bertaraf Senaryoları*

	Beton ve agrega	Metal	Ahşap	Cam	Plastik	Yalıtım
Yeniden Kullanma	prefab- rik beton ürünler ve elemanlarda yeniden kul- lanılabilir	(i) çelik kesitli elemanlar yeniden kulla- nılabilir; (ii) tüm portal çerçeve binalar yeniden kulla- nım için geri kazanılabilir	boyutlu keres- teler, suntalar, ahşap kapılar, pencereler ve döşeme tah- taları yeniden kullanılabilir	cam bölmeler ve paneller yeniden kulla- nılabilir	plastik bo- rular ve kaplamalar yeniden kulla- nılabilir	yapı eleman- larındaki yalıtım kat- manı yeniden kullanılabilir
Geri Dö- nüşüm	yeni beton üretiminde hammadde olarak işlenir	yeni demir ürünleri üret- mek için yeni- den eritilmesi	yeni ahşap ürünlerde hammadde olarak geri dö- nüştürülebilir	yeni camsı ürünler için hammadde olarak geri dönüştürüle- bilir	yeni plas- tik ürünler üretmek için hammadde olarak işlene- bilir	yeni yalıtım üretmek için geri dönüştü- rülebilir
Diğer Ka- zanım	yeni beton yapmak yerine diğer uygulamalar için aşağı dönüşüm	çelik için kaza- nım seçeneği bulunmamak- tadır	(i) enerji geri kazanımı; (ii) bahçe ve peyzaj düzen- lemelerinde organik mal- zeme olarak yontulması, (iii) kompost	(i) dolgu için kırılabilir; (ii) beton ve aerogel yapımı için ham- madde olarak öğütülebilir ve rafine edi- lebilir	enerji kaza- nımı	enerji kaza- nımı
Bertaraf	her zaman kaçınılmalı	asla düşünül- memeli	her zaman kaçınılmalı	her zaman kaçınılmalı	düşünülmeye- meli	her zaman kaçınılmalı

Deprem nedeniyle ortaya çıkan oldukça büyük miktarda ve karışık atıkların en iyi şekilde geri dönüştürülmesi, önceden de vurgulandığı üzere titizlikle ve detaylıca uygulanan ayırma işlemlerine bağlıdır. Bu kapsamda aşağıdaki bölümde günümüzün en güncel ve umut vadeden ayırma teknolojilerinden bahsedilmektedir.

3. Deprem Atığı Ayrıştırma Teknolojileri

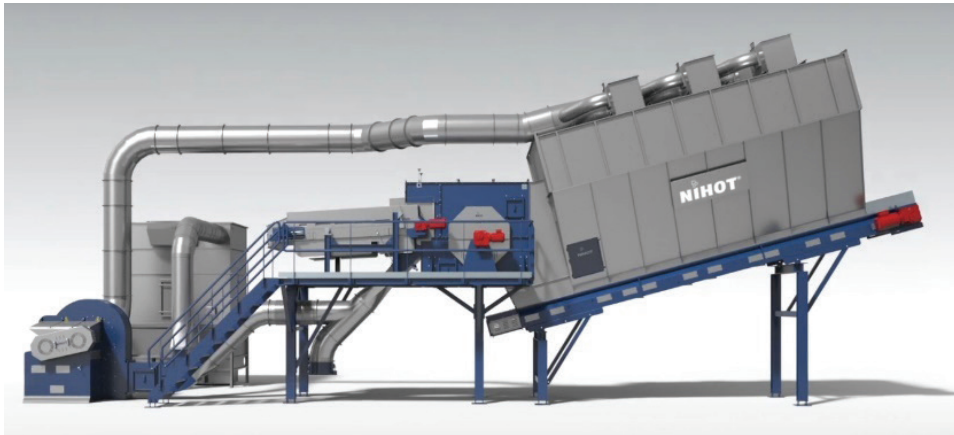
Bilindiği üzere deprem atıkları geleneksel İYA'dan farklı olarak ev eşyaları, değerli eşyalar, otomobil parçaları, gıda atıkları gibi malzemeler içermesiyle geniş çapta bir atık kümesi olarak tanımlanabilir. Ortaya çıkan geniş çapta ve karışık deprem atıklarının en güncel teknolojiyen faydalanılarak yüksek verimlilikle birbirlerinden ayrılması, bu atıkların döngüsel ekonomiye entegrasyonunda kaçınılmaz bir gerekliliktir. Böylelikle döngüsel ekonominin “9R” ilkesi olarak tanımlanan “kaçınma-tekrar düşünme-azaltma-tekrar kullanma-onarım-iyileştirme-yenileme-dönüştürme-kurtarma” (9R: Refuse-Rethink-Reduce-Reuse-Repair-Refurbish-Remanufacture-Recycle-Recover) gibi ilkelerin atık hiyerarşisinde dönüştürme-iyileştirme-enerji verimliliklerini maksimize etmek üzere ayrılmış her bir atık ile bağdaştırılması, malzeme döngüsellğinde optimum kazanımlar sağlayacaktır.

Deprem atığını ayırma, bu malzemelerin geri dönüşümü söz konusu olduğunda karşılaşılan başlıca zorluklardan biri olmaya devam etmektedir. Genel olarak operatörler bu malzemeleri manuel olarak sınıflandırmakta ve sadece metaller doğrudan yıkım sahasında veya taşıma bantlarında otomatik olarak ayrılmaktadır. Bu süreç zaman alıcı ve maliyetli olabilmektedir. Öte yandan, robot kolları, “havalı ayırıcı” (Ambrós vd., 2017; Sampaio vd., 2016) olarak bilinen hava akışlarıyla ayırma ve görüntüleme teknikleriyle konveyör bantları (Hoong vd., 2020) gibi otomatik teknikler, endüstriyel ölçekte uygulanmadan laboratuvar düzeyinde geliştirilmektedir. Bu son teknikler, Vis-NIR-SWIR (Görünür, Yakın-Kızılötesi ve Kısa-Dalga Kızılötesi Spektroskopisi) vb. spektroskopileri kullanarak malzemelerin nasıl ayırt edileceğine dair bilgi yaratmaya yönelik çalışmaların çabalarına odaklanan daha umut verici teknikler gibi görünmektedir. Bununla birlikte, yeni yapı malzemelerinin endüstriyel olarak hazırlanması için ayırma kalitesinin önemi nedeniyle bu tekniklerin optimize edilmesi gerekmektedir. Bugüne kadar sadece beton, harç vb. içeren “griler”, tuğla, kiremit vb. içeren “kırmızılar” ve plastik, alçı, ahşap vb. içeren “safsızlıklar” gibi büyük malzeme gruplarının nasıl ayrılacağı üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu nedenle, seramik teriminin kapsadığı çok çeşitli malzemeler göz ardı edilerek seramik fraksiyonu ayrıntılı olarak ayrılmamaktadır. Ayrıca, bu ayrılmış atığın mevcut uygulamaları çoğunlukla yol inşaatlarında dolgu amaçlı ve harç ve beton üretiminde agrega malzemeleri olarak kullanım amaçlıdır (Hoong vd., 2020). Seramik türleri (tuğlalar, porselenler, kaplar, vb.) gibi alt gruplar arasında ayırım yapabilecek bir sınıflandırma, bu malzemelerin her birinin yeni katma değerli ürünlerin hazırlanması için gerektirdiği farklı kimyasal ve termal işlemler nedeniyle hayati önem taşımaktadır. Bu bağlamda, deprem atıklarının aşağı yönlü geri dönüşüm, yakma ve/veya bertaraf gibi ekonomik ve sürdürülebilir olmayan yöntemlerin aksine katma değerli ürünlere dönüşerek inşaat endüstrisinde değer zincirine katılımını sağlamak adına umut vadeden ayırma yöntemleri aşağıda sunulmuştur.

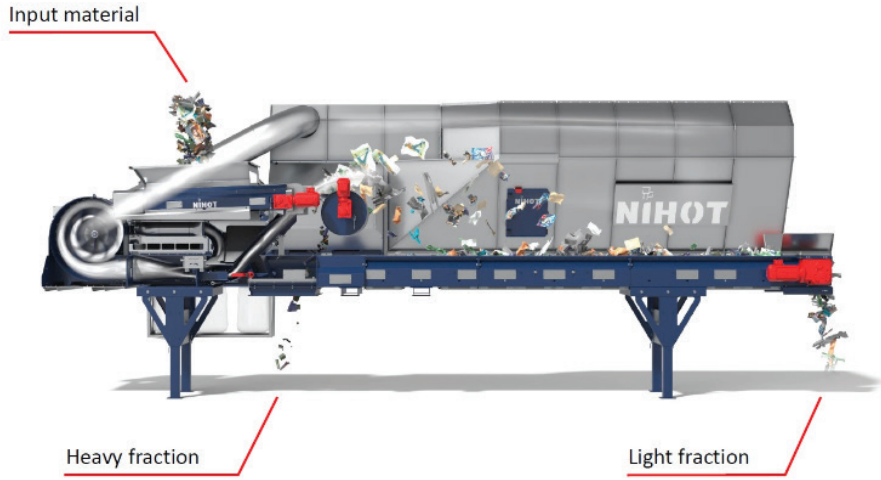
3.1. Windshifter'lar (Havalı Ayırıcı Sistemleri)

Havalı ayırıcılar kanıtlanmış bir işletme güvenliği olan geri kazanım teknolojisidir. Karışık halde küçük boyuttaki ağır ve hafif malzemeleri ayırmak için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ayırmada kullandığı kaynak adından da anlaşılacağı gibi hava gücü ile çalışmaktadır. Havalı ayırıcılar hava kullanılarak malzemelerin özgül ağırlığına ve şekline dayanarak malzemelerin ayrılmasını sağlarlar. Kontrollü hava, atık ayırma işlemlerinde mükemmel bir ortamdır. Mekanik ayırma sistemlerinden daha fazla esneklik sunmaktadırlar. Genellikle konveyör banda monte edilip gerektiğinde özel olarak tasarlanabilirler. Kapasitenin izin verdiği sürece iki adet havalı ayırıcılar birbirlerine bağlanabilir. Piyasada firmaların ürettiği çok farklı havalı ayırıcı çeşidi bulunmaktadır. Bunlar malzemeleri pozitif veya negatif hava basıncı yaparak ayırma yapabilmektedir. Atıkların birincil ayrılmasından ürün saflığının geliştirilmesine kadar çok geniş uygulama alanları vardır.

Havalı ayırıcıların standart genişlikleri genelde 800-1200-1600-2000-2500 mm olup birleştirilmiş havalı ayırıcıların 3 farklı fraksiyonu bir seferde ayırmayı mümkün kılmaktadır. Havalı ayırıcıların kapasiteleri gelen malzemenin tipine göre değişmekte, örneğin yıkıntı atıkları için kapasiteler ağır malzemeler için 10-250 ton/saat arasında olabileceği gibi, hafif malzemeler için örneğin RDF tesislerinde 10-40 ton/saat aralığında olur. Havalı ayırıcılar, sabit, yarı mobil ve mobil olmak üzere 3 şekilde üretilebilmektedirler. Şekil 3-5'te sabit, yarı mobil ve mobil havalı ayırıcılar resimleri gösterilmiştir.



Şekil 3. Sabit havalı ayırıcılar (Nihot Recycling Technology, 2023)



Şekil 4. Yarı mobil havahlı ayırıcılar (Nihot Recycling Technology, 2023)

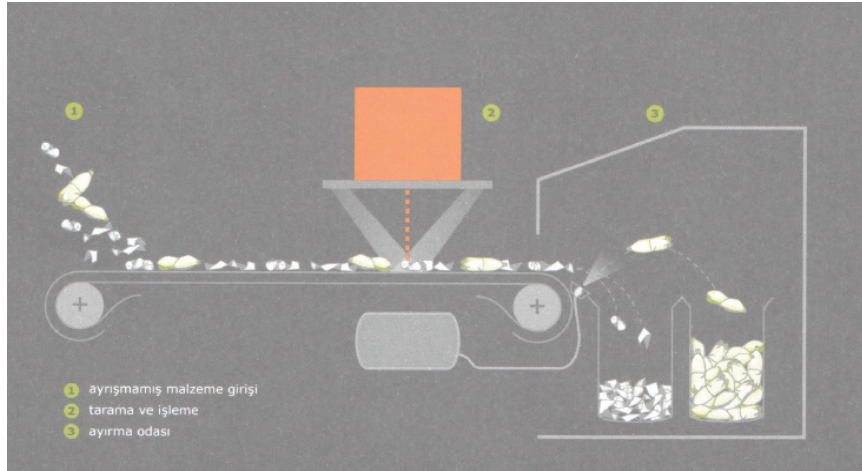


Şekil 5. Mobil havahlı ayırıcılar (Nihot Recycling Technology, 2023)

3.2. Optik Ayırma Sistemleri

Karışık inşaat ve yıkıntı atığı içeriği hem işlem tasarımı için hem de ekipmanlar için büyük zorluklar içerir. Klasik bileşenlerin işlenmesi, parçalayıcılar, elekler, havahlı ayırıcılar temel düzeyde bir ayırmayı başarabilir. Bu yüzden değerli inşaat yıkıntı atıklarının çoğu iyi ayrılmadığından yüksek bedellerle atık sahasına gömülürler (Titech, 2010). Sensöre dayalı optik ayırma teknolojisi ile çalışan makineler malzemenin tipine göre ayırım yapmakta olup mümkün olduğu kadar yüksek verimle çalışmaktadırlar ve aynı zamanda mümkün olduğu kadar düşük bertaraf bedeli ödenmesine imkan tanımaktadır. Şekil 6'da sensöre dayalı ayırma makinesi örnek görseli ve genel çalışma prensibi gösterilmiştir. Sensör teknolojisine dayalı ayırma sistemleri (Titech, 2010);

- Geri dönüştürülmüş ham malzeme üretebilirler,
- Ürünleri iyileştirebilirler,
- Kirliliği ortadan kaldırabilirler,
- Bertaraf bedellerini azaltabilirler,
- Uygun kalitede malzeme oluşturabilirler.



Şekil 6. Örnek optik ayırıcı makinesi (Northeast Recycling Council, 2023)

Optik ayırıcılar çeşitli sensör teknolojilerini kullanırlar. Bunlar (Titech, 2012) :

- NIR (yakın kızılötesi) sensörüyle aydınlatılan nesnelerin ışığın kızılötesi dalga boyu özelliklerini algılayarak, uygun olan renkleri tanımlar;
- VIS tekniğiyle (görsel spektrometre) ile ayırmak istenilen nesnelerin renklerini tam olarak tanımlayarak ayırır. Görülebilir ışık spektrumu içerisinde hem şeffaf hem de mat nesnelerin tüm renklerini algılar;
- Yüksek çözünürlüklü X ışını yayarak görüntü analizini temel alan atom yoğunluklarına göre ayırma işlemini gerçekleştirir.

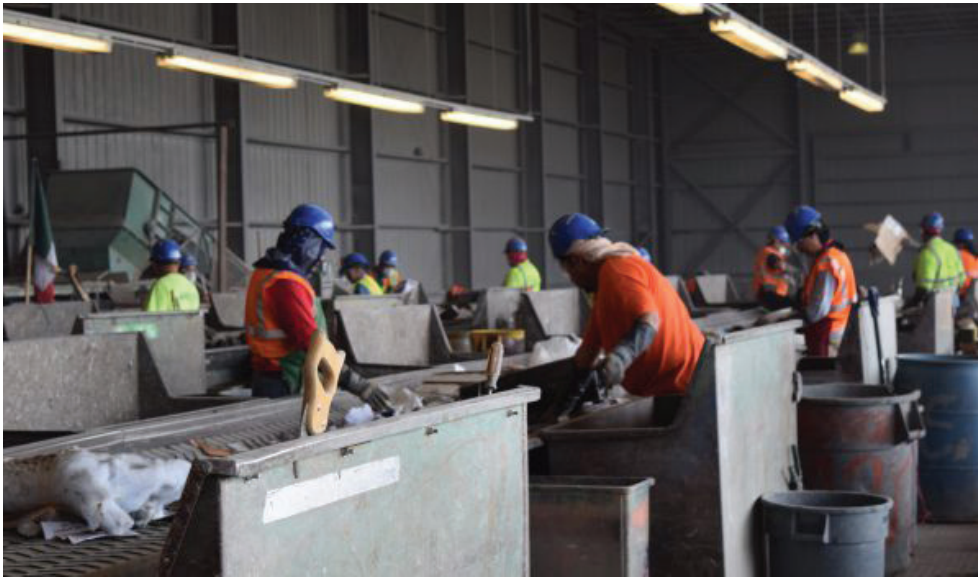
3.3. El ile Ayırma İstasyonları

El ile ayırma istasyonları işletmelerin sahada ve mobil olarak hızlı bir biçimde etkili olarak atıkların geri kazanımında kullanılmaktadır. El ile çalışma istasyonları genel olarak istasyon binası, istasyon binası içerisinden geçen konveyör bant ve konveyör bant kenarlarında manuel toplama için kurulan toplama kutularından oluşmaktadır. Temiz bir ürün elde etmek için el ile ayırma istasyonlarına havalı ayırma ünitesi ve manyetik ayırıcı da entegre edilebilir. Hava ile ayırma ünitesi ile hafif kirlilikleri malzemeden ayırırken, insanlar tarafından el vasıtasıyla diğer istenmeyen malzemeler manuel olarak ayklanır. Manyetik ayırıcı ile de gelen malzemedeki metaller ayrılmaktadır (Şekil 7 ve 8) (Kiverco Recycling Plant, 2023a).

El ile ayırma istasyonlarında istenmeyen malzemeler ayıklanarak ayırma verimliliği artırılabilir ve depolama alanlarına gönderilecek malzeme miktarını azaltılabilir. İstasyonlarda bulunan kapalı kabin, çalışanları dışarıdan gelebilecek tehlikelerden korurken, içeride bulunan toz emme sistemi ile odadaki çalışma ortamında toz oluşması engellenir. Soğuk havalarda yerden ısıtma, sıcak havalarda ise çalışma ortamında ek pencere ve klima bulunur (Kiverco Recycling Plant, 2023a).



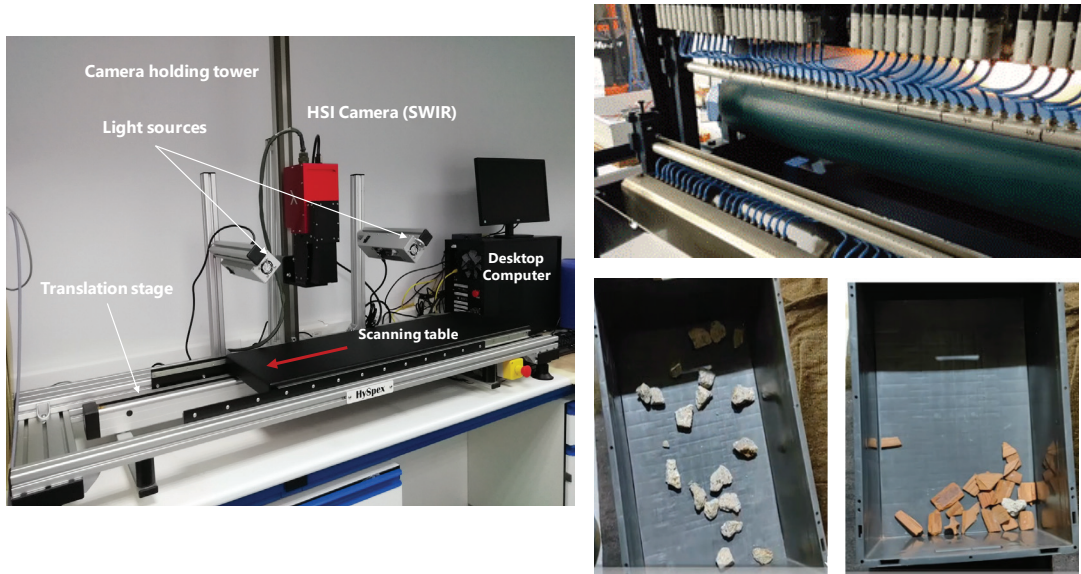
Şekil 7. El ile ayırma istasyonu yandan görünüşü (Kiverco Recycling Plant, 2023b)



Şekil 8. El ile ayırma istasyonu iç kısmı (California Material Recovery Facility, 2023)

3.4. Hiperspektral görüntülemeye dayalı otomatik mobil ayıklama hattı

Hacettepe Üniversitesi'nin de dahil olduğu Avrupa Birliği Ufuk 2020 kapsamında desteklenen ICEBERG akronimli projede, karışık İYA'nın (örn. taşlı fraksiyonlar, poliüretan ve poliizosiyanürat köpükler ve alçıtaşı) ayırma verimliliğini artırmak için hiperspektral görüntülemeye (HSI) dayalı otomatik bir mobil ayıklama hattı geliştirilmiştir (Şekil 9) (ICEBERG Project, 2020). Proje kapsamında UV-Vis-NIR spektroskopisi kullanılarak İYA'nın temsili desen setlerinin hazırlanması ve tanımlanması yapılmıştır. Karıştırılmamış malzemelerle elde edilen sonuçlar, bu malzemelerin karışımlarının bahsedilen teknik kullanılarak kolaylıkla ayrılabilirliğini göstermektedir. Ayrıca, seramik, çimentolu veya alçı bazlı malzemelerin ikili ve üçlü bileşimlerinden elde edilen sonuçlar, bu sonuçlardan hesaplanabilen kalibrasyon eğrilerine dayanarak, bu malzemeler aralarında karıştırılsa bile ayıklama olasılığını göstermektedir. İYA geri dönüşüm süreçlerine entegre edilecek sensörlere dayalı gelişmiş uygun maliyetli ayıklama teknolojilerinin geliştirilmesi, yeni yapı ürünlerinin üretimi için karışık atıktan yüksek saflıkta geri dönüştürülmüş malzemeler (beton ve seramik agregalar, alçı ve köpükler) elde etmek için kilit bir husustur. Bu bağlamda, kısa dalga kızılötesi (SWIR) aralığını kapsayan ve kemometri tabanlı algoritmalarla desteklenen HSI, atıkların etkili bir şekilde hat içi tanımlanması ve sınıflandırılması için uygun bir tekniktir. Dolayısıyla, ICEBERG'in hedeflediği gibi HSI'nin yenilikçi bir mobil ayırma hattında uygulanması, karışık atık içerisinde bulunan değerli kaynakların döngüsellliğini teşvik edecek ve yeni pazar fırsatları yaratılacaktır.

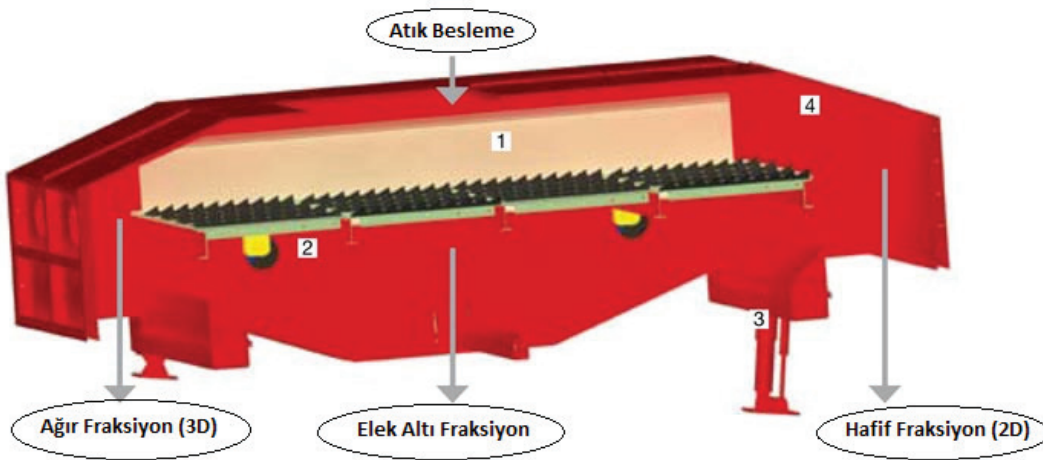


Şekil 9. Hiperspektral görüntüleme laboratuvar kurulumu ve HSI ile ayırma (ICEBERG Project, 2020)

3.5 Diğer ayırma sistemleri

Karışık deprem atıklarının ayrılmasında yukarıda sunulan teknolojilere ek olarak başka araçlar da bulunmaktadır. Bu araç ve teknolojiler aşağıda kısaca sunulmuştur:

- **Balistik ayırıcılar;** karışık atıkların birbirinden ayrılması üzerine kurulan sistemlerin en önemli ekipmanında biri de balistik ayırıcılardır. Yekpare bir eleğin dört tarafından yataklanması ile oluşturulan elek sistemi, beslenen atığın fiziksel ve balistik özelliklere göre ayrılmasını sağlar (Şekil 10 ve 11). Elektrik motorunun tetiklenmesi ile dairesel hareket eden elek, beslenen atık içerisindeki atıkların hafif ve ağır bir diğer tabir ile iki boyutlu ve üç boyutlu olarak ayrılmasını sağlar. İki boyutlu atıklar genel olarak kağıt, karton, naylon, tekstil vb. temas yüzey alanı geniş atıklarken, üç boyutlu atıklar ise plastik şişeler, cam, metaller, pet şişeler vb. yüzey temas alanı dar atıklardır. Beslenen karışık atıklar, 2D ve 3D olarak iki farklı fraksiyona ayrılırken, atık içerisinde bulunan küçük malzemeler elekten elenerek 3. Fraksiyon olarak prosesten uzaklaşır. Eleklerin değişebilir yapısı, elenecek malzeme boyutunda da değişkenlik gösterir. Eleklerin genişletilmesi ekonomik değeri yüksek olan ambalaj atıklarının da sistemden uzaklaşmasına sebep olacağı için en verimli eleme çapı proses üreticisi firma tarafından mühendislik hesapları yapılarak seçilmelidir. Balistik eleklerin çalışma verimi, tesisin diğer ekipman ve makinelerinin verimini ve ayırma performansını direkt olarak etkilemektedir. Bu nedenle proje aşamasında en uygun makinenin seçimi üretici firma tarafından sağlanmalıdır.



Şekil 10. Balistik ayırıcı (Innovative Machine Technology, 2023)



Şekil 11. Manisa Büyükşehir Belediyesi Uzunburun Katı Atık Bertaraf Tesisleri 2021

- **Manyetik ayırıcılar;** tesiste işlenen karışık atık içerisinde serbest olarak bulunan metaller, özel olarak dizayn edilmiş manyetik seperatörler ile ayrılır (Şekil 12). Manyetik seperatörler prosese ve projeye göre farklı ölçü ve tipte olabilir. Genel olarak kullanılan manyetik seperatörler otomatik temizlemeli doğal veya elektromagnetlerdir.



Şekil 12. Benli Geri Dönüşüm Otomatik Ayırma Tesisleri, Eskişehir 2013

- **Eddy akımı ayırıcılar;** mıknatısın çekemediği (Non-Ferrous) metallerin, (Temel olarak alüminyumun) ayrılmasında kullanılır (Şekil 13).



Şekil 13. BayPet Tam Otomatik Karışık Plastik Ayırma Tesisleri Türe-İzmir 2022

- **Optik ayırıcılar;** karışık atığın içerisinde bulunan pet plastik (PE, PP, PS, HDPE, PVC) ve ahşap gibi değerlendirilebilir atıkların ayrılmasında kullanılmaktadır (Şekil 14).



Şekil 14. Bilecik Belediyesi Tam Otomatik Katı Atık Ayırma Tesisi Bilecik 2017

4. Deprem Atıklarının Değerlendirilmesi Kapsamında Ülkemizden Mevcut En İyi Çevresel Uygulamalar

Başarılı bir şekilde yönetimi ve ayrılma işlemi yapılan deprem kaynaklı atıkların maksimum verimlilikle geri dönüştürülmesi ve tekrar değer zincirine entegre edilmesi en önemli amaç olmalıdır. Bu bağlamda Hacettepe Üniversitesi'nde bu atıkların değerlendirilmesi kapsamında son yıllarda birçok kapsamlı uygulamalı bilimsel çalışmalar yürütülmüş olup bu çalışmaların mevcut durumda teknoloji doğrulamaları gerçekleştirilmiş ve pilot ölçekte saha uygulamaları yerine getirilmiştir. Bu çalışmalar aşağıda ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.

4.1. İnşaat Yıkıntı Atıklarından Sökülüp-Takılabilen Ön Dökümlü Yapısal Elemanların Üretimi

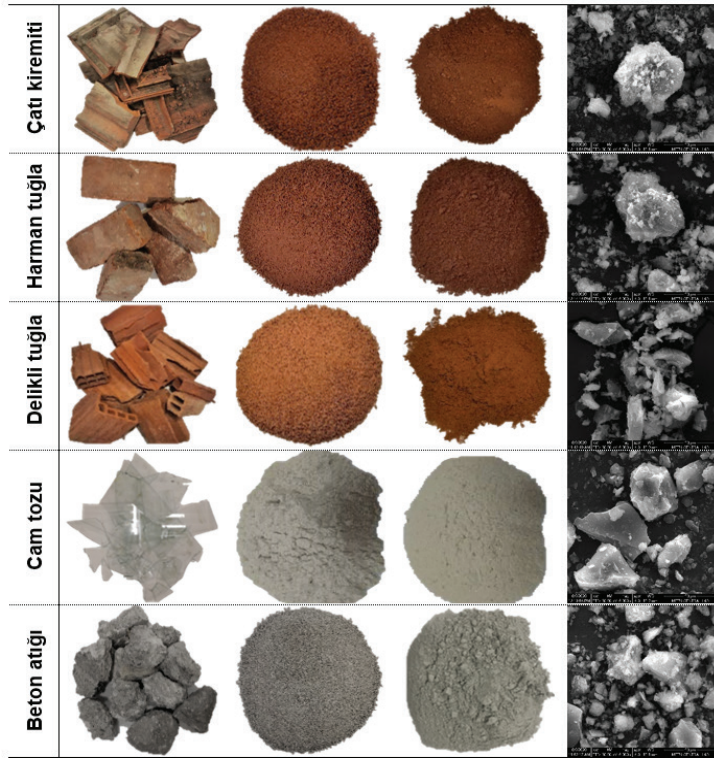
İnşaat faaliyetlerinin çevresel etkilerini önemli ölçüde azaltmak için kullanılacak yöntemlerden bir tanesi de yapıların yapısal bileşenlerinin hizmetlerinden sonra yeniden kullanılmasını sağlamaktır. Bu durum geniş çapta tartışılmış ve pek çok kişinin ilgisini çekmiş olsa da ana akım yapıların bu şekilde rekabetçi bir maliyetle inşa edilmesi mümkün olmadıkça, yapısal bileşenlerin yeniden kullanımının gerçekleşmeyeceği düşünülmektedir. Şu anda, bir binanın ömrünün sonunda, tüm çelik ve beton malzemeler hizmet vermeye devam etse de bina yıkılmakta ve büyük çelik elemanlar enerji yoğun eritme ile geri dönüştürülmektedir. Bunun yanında malzemenin geri kalanı daha çok atık sahalarında çöp olarak düşünülüp depolanmakta veya verimsiz bir şekilde geri dönüştürülmektedir. Bu tür atıkları büyük ölçüde azaltmak için, yapıların hizmetten sonra yeniden kullanılmak üzere tasarlanması ve inşa edilmesi norm haline gelmelidir. Betonarme yapı elemanlarının servis sonrası tekrar kullanılabilir hale getirilmesi, malzeme verimliliği stratejisinde bir öncelik olmalıdır. Yeniden kullanılabilir yapısal bileşenlerin başarısının anahtarı, yapı sistemini kullanım ömrü sonunda kolayca sökülebilir hale getirmektir. Sökülebilir yapısal sistemler, inşaat hızı, tasarım esnekliği, maliyet azaltma ve enerji ve malzeme tasarrufu gibi birçok sürdürülebilir faydalar sunmaktadır. Sökülebilir yapı elemanları, hızlı bir şekilde kurulabildiğinden/sökülebildiğinden veya genişletilebildiğinden daha az kesinti ve büyük tasarruf sağlamaktadır. Ancak, inşaat mühendisliği camiasının bu sistemi kabul etmesi için kapsamlı bir test programının yürütülmesi gerekmektedir. Ülkemizde milyonlarca kişiyi evsiz bırakan deprem gibi doğal afetler düşünüldüğünde, acilen düşük maliyetli üretilmiş bir barınma ihtiyacı bulunmaktadır. Yeşil prefabrike bina sistemleri geliştirilerek bu taleplerin hem evsizler hem de gecekondü sakınları için rahatlıkla karşılanabileceği düşünülmektedir. Bu bağlamda, Hacettepe Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği bünyesinde bu tür gereklilerin ortaya çıkardığı motivasyon ile sadece yıkıntı atıkları kullanılarak geliştirilen yeşil beton sistemlerin sökülüp-takılabilen Lego benzeri üretim tekniklerinde kullanılmasını esas alan birçok çalışma yürütmüştür. Yapılan çalışmalar neticesinde, İYA-esaslı malzemeler kullanılarak üretilmiş betonlar ile sökülüp-takılabilen yapısal elemanlar (kolon, kiriş, döşeme vb.) geliştirilebilmiştir. Bu sayede, İYA gibi düşük kaliteli ve çevresel yükü olan bir atığın, yüksek katma değerli bir şekilde yenilikçi bir üretim tekniğinde kullanımının önü açılmıştır. Bu kapsamda yaklaşık 300 m² alana sahip tek katlı bir yapının inşa süreci kampüsümüz içerisinde tamamlanmış olup mevcut durumda bu yapı idari bina olarak kullanılmaktadır (Şekil 15).



*Şekil 15. İYA-bazlı jeopolimer beton ile üretilmiş tamamen sökülebilen konut inşaatı (Newton 2020
Ülke ödülü – Hacettepe Üniversitesi)*

Bu çalışma kapsamında yapısal beton üretiminde her ne kadar rastgele yıkım sahalarından toplanan İYA-esaslı malzemeleri kullanılsa da İYA'nın kaynağı, üretim süreci, sınıfı ve kalitesi gibi özelliklerinin değişken olması, İYA-esaslı malzemeler ile üretilen ürünlerin nihai performanslarının bu değişkenlikten etkilenip etkilenmeyeceği endişesine yol açmaktadır. Bu bağlamda yine Hacettepe Üniversitesi tarafından yapılan kapsamlı bir çalışmada, tamamen rastgele 7 farklı atık sahasından, aralarında delikli tuğla, harman tuğlası, çatı kiremiti, beton ve cam atığı olmak üzere 35 farklı atık tipinin fiziksel, kimyasal, kristalinite ve puzolanik aktivite bakımından karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır (Şekil 16). ICEBERG akronimli proje kapsamında yapılan bu çalışmanın sonuçlarına göre, tuğla ve kiremit bazlı İYA'ların kimyasal kompozisyon ve puzolanik aktivite bakımından hem jeopolimer beton geliştirilmesinde hem de mukavemet değerinde herhangi bir kayıp olmadan konvansiyonel beton üretilmesinde Portland çimentosuna ikame olarak kullanılabileceği görülmüştür. Beton atıklarının ise tuğla ve kiremit bazlı İYA'lara ek olarak geri dönüşüm agregası olarak değerlendirilebileceği görülmüştür. Cam atıkları ise yalıtım malzemeleri geliştirilmesi kapsamında kullanılan silika aerogel malzemesi üretiminde başarı ile kullanılmıştır. Çalışma bulguları, İYA'nın her nereden toplanırsa toplansın, yüksek verimlilikle ayrıldığında ve kırma-öğütme işlemlerine tabi tutulduğunda benzer performansa sahip yapı malzemelerine dönüşebileceğini göstermiştir.





Şekil 16. İYA-bazlı malzemelerin toplanması ve karakterize edilmesi

4.2. Üç Boyutlu Eklemeli İmalat Yöntemiyle İnşaat Yıkıntı Atıklarının Konut Amaçlı Kullanılması

Son yıllarda gelişmesinde önemli bir ivme kazanılan yeni nesil çevreci yapı malzemelerinin yanında bu malzemelerin üretilmesinde ileri teknolojili imalat teknikleri de kullanılmaktadır. Bu tekniklerden olan dijital fabrikasyon amaçlı eklemeli imalat (Eİ) katman üzerine katman ekleme olarak tanımlanmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte, eklemeli beton yapı imalatı, mevcut beton endüstrisinin bazı zorluklarına çözüm olabilecek yaklaşımlardan bir tanesi olarak benimsenmiştir. Üç boyutlu (3B) Eİ ile yapıların inşası, geleneksel beton üretim yöntemlerine kıyasla çok daha fazla tasarım özgürlüğü tanıyan, daha ucuz, daha hızlı, daha ekonomik, işçilik hatalarını ortadan kaldıran, kalıp gerektirmeyen ve daha sürdürülebilir yöntemdir. İnşaat yıkıntı atıkları kullanılarak geliştirilen yeşil betonun 3B-Eİ yoluyla kullanılmasıyla, dijital fabrikasyon ile yapı malzemeleri alanındaki teknolojik gelişmeler bir araya getirilerek, deprem sonrası açığa çıkacak yıkıntı atıklarının çevre, ekonomi ve toplum üzerindeki göz ardı edilemeyecek olumsuz etkilerini azaltmak/önlemek için küresel olarak uygulanabilir yeni nesil çözümler geliştirilmiş olacağı düşünülmektedir. Ayrıca mevcut durumda ülkemiz yerli kaynakları kullanarak bu tür uygulamalar için büyük ölçekli beton yazıcıları geliştirilmekte olup bu kapsamdaki ilk yerli büyük ölçekli yazıcı Hacettepe Üniversitesi bünyesinde yürütülen bir proje kapsamında geliştirilip mevcut durumda başarılı bir şekilde büyük ölçekli uygulama faaliyetlerinde kullanılmaktadır (Şekil 17).

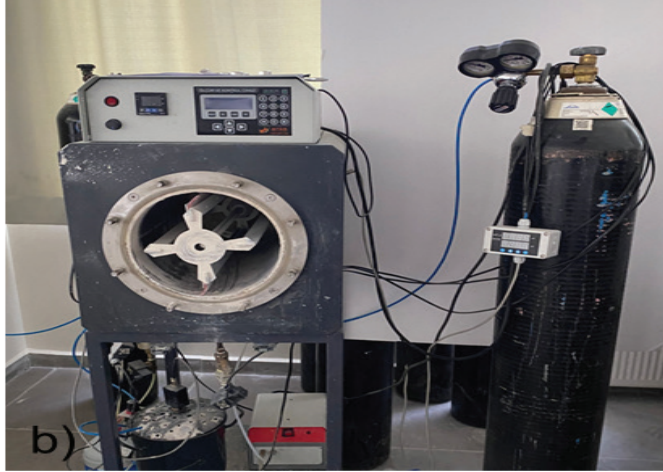


Şekil 17. İYA-bazlı jeopolimer beton ile üretilmiş 3B-Eİ ile gerçekleştirilen tasarımlar

4.3. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Endüstride Açığa Çıkan CO₂ Gazlarının Kalıcı Olarak Yakalaması Amaçlı Kullanımı

Yıkıntı atıklarından elde edilen ince tane boyutlu beton molozlarının geri dönüşümlerinde yüksek su ihtiyacı gibi bir takım teknik zorluklar bulunmaktadır. Ancak bu ince malzemelerin herhangi özel bir işleme gerek duymadan CO₂ gazlarını kalıcı olarak bünyelerinde yakalama

gibi çok önemli avantajları bulunmaktadır. Böylelikle düşük kaliteli atıklar bir taraftan sanayide açığa çıkacak CO₂ emisyonlarını azaltarak diğer taraftan yüksek su ihtiyacı gibi olumsuz özelliklerini de ortadan kaldırmaktadırlar. Hacettepe Üniversitesi bünyesinde gerçekleştirilen son çalışmalarda maliyet etkin bir şekilde doğrudan endüstri baca gazlarını kullanarak çok düşük kaliteli beton molozlarından elde edilmiş ince taneli atıkların ton başına ağırlıkça %10 mertebelerine kadar CO₂'yi kalıcı olarak yakalanabildiği gösterilmiştir (Şekil 18). Bu seviye daha kaliteli ve ayrılmış uygun yıkıntı atıklarında %20 mertebelerine ulaşacağı değerlendirilmektedir. Böylelikle çimento ve demir-çelik endüstrisi gibi yüksek CO₂ emisyonuna sahip olan endüstrilerde karbon ayak izlerinin azaltılması kapsamında çok ciddi katkılar elde edilmiş olacaktır. Bu kapsamdaki ilk prototip reaktörün üretimi başarılı bir şekilde hazırlanmış olup önümüzdeki kısa dönem içerisinde bu reaktörün doğrudan yüksek CO₂ emisyonuna sahip çimento ve demir-çelik fabrikalarına montajı ve pilot ölçekli reaktörün üretilmesi üzerine durulacaktır. Bu sayede yüksek CO₂ emisyonlarına sahip endüstrilerin çevreye verdikleri olumsuz etki azalacak olup bu kapsamda olası büyük yaptırımlar engellenmiş olacaktır.



Şekil 18. İYA-bazlı malzemeleri karbonatlaştırma reaktörü

5. Genel Değerlendirme

Dünya genelinde katı atıkların en önemli kısmını oluşturan ve çok ciddi oranlarda ekonomik ve çevresel yükü olan depremler sonucu oluşan inşaat ve yıkıntı atıklarının yüksek katma değerli bir şekilde geri dönüşümünü sağlayan çeşitli uygulanabilir yöntemler bulunmaktadır. Bu tür atıkların başarılı bir şekilde geri dönüşümün sağlanabilmesi, atıkların güvenli bir şekilde ayrılmasına bağlı olup mevcut durumda uygulamada olan farklı ayırma tekniklerinin aynı anda kullanılması ile bu atıkların %100 mertebelerine kadar güvenli bir şekilde ayrılması mümkün olmaktadır. Yıkıntı atıklarının dögüsel ekonomiye kazandırılmasıyla, temiz tarım alanlarının geri kazanımı, depolama ve yıkım kaynaklı toprak, su ve hava kirliliğın azaltılması, atıkların bertarafı ve katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesi sağlanmış olacaktır. Hacettepe Üniversitesi'nde yürütölmüş çalışmalar yıkıntı atıklarının potansiyelini ortaya çıkarmış ve

ilerleyen süreçlerde sağlanan iyileştirmeler ile birlikte bu tür atıkların inşaat sektörünün daha farklı kullanım alanlarında yaygın olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Bu atıkların inşaat sektöründe tekrar kullanılmasıyla birlikte, çimento ve beton üretimi kaynaklı çevresel yükü yüksek olan inşaat sektörü ciddi bir aşama kaydedecek ve yaşadığımız deprem sonucu artan yerleşim ve altyapı ihtiyaçlarına daha çevreci ve ekonomik çözümler üretmek adına önemli adımlar atılmış olacaktır.

6. Kaynaklar / References

- Ambros, W. M., Sampaio, C. H., Cazacliu, B. G., Miltzarek, G. L., & Miranda, L. R. (2017). Usage of air jiggling for multi-component separation of construction and demolition waste. *Waste management*, 60, 75-83.
- Brown, C., Milke, M., & Seville, E. (2011). Disaster waste management: A review article. *Waste management*, 31(6), 1085-1098.
- California Material Recovery Facility, 2023. <https://www.lrsrecycles.com/service/recycling-centers/california-material-recovery-facility/>
- EC COM, 2015. Closing the loop-an EU action plan for the circular economy.
- Eurostat, 2010. Guidance on classification of waste according to EWC-Stat categories. Retrieved from <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/342366/351806/Guidance-on-EWCStat-categories-2010.pdf>
- Gharfalkar, M., Court, R., Campbell, C., Ali, Z., & Hillier, G. (2015). Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC. *Waste management*, 39, 305-313.
- Hoong, J. D. L. H., Lux, J., Mahieux, P. Y., Turcry, P., & Ait-Mokhtar, A. (2020). Determination of the composition of recycled aggregates using a deep learning-based image analysis. *Automation in Construction*, 116, 103204.
- ICEBERG Project, 2020. <https://iceberg-project.eu/>
- Innovative Machine Technology, 2023. IMT Ballistik Separator. <https://www.imt-separator.at/trennfunktion/>
- Jin, R., Yuan, H., & Chen, Q. (2019). Science mapping approach to assisting the review of construction and demolition waste management research published between 2009 and 2018. *Resources, Conservation and Recycling*, 140, 175-188
- Kiverco Recycling Plant, 2023a. Mobile Picking Station/Sorting Bay-MPS 1200. <https://manualzz.com/doc/36577367/mobile-sorting---picking-station---mps-1200>
- Kiverco Recycling Plant, 2023b. Centre de tri mobile KIVERCO. <https://www.starloc-auvergne.fr/centre-de-tri-mobile/>
- Kotan S., (2016), Yıkım işlemleri ve Hafriyat Toprağı ile İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği taslağı, Yaşanabilir Çevreler ve Marka Şehirler, Hedef 2023, *Demolition Conference İstanbul*, Türkiye. <https://www.khl-group.com/events/demolitionconference-Türkiye/assets/>

sun-a-kotan.pdf.

Maden Teknik Arama, 2023. TÜRKİYE’NİN DEPREM POTANSİYELİ. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/deprem-potansiyeli>

NFDC, 2020. Demolition and refurbishment information data sheets [WWW document]

Nihot Recycling Technology, 2023. <https://nihot.nl/products>

Northeast Recycling Council, 2023. <https://nerc.org/advisory-members/member-spotlight/2016/06/tomra>

Sampaio, C. H., Cazacliu, B. G., Miltzarek, G. L., Huchet, F., Le Guen, L., Petter, C. O., ... & Oliveira, M. L. S. (2016). Stratification in air jigs of concrete/brick/gypsum particles. *Construction and Building Materials*, 109, 63-72.

Titech, 2010. Guideline Recycling of C&D Waste. https://direct.dksh.com.au/files/product_docs/English_Guide%20to%20C%20and%20D_2010-03_2010-03_GB.pdf

Titech, 2012. New flying beam technology. http://www.emtconsultancy.nl/files/attachments/Autosort_4.pdf

Zhang, C., Hu, M., Di Maio, F., Sprecher, B., Yang, X., & Tukker, A. (2022). An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe. *Science of the Total Environment*, 803, 149892.

Yazarlar Hakkında / About Authors

**Prof. Dr. Mustafa ŞAHMARAN | TÜBA Asosye Üyesi | Hacettepe Üniversitesi |
sahmaran[at]hacettepe.edu.tr | ORCID: 0000-0002-7549-096X**

Prof. Dr. Mustafa Şahmaran; Hacettepe Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi ve İleri Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nın yöneticisi olarak görev yapmaktadır. Araştırma alanları, yapılı çevrede döngüsel ekonomi, yüksek performanslı çimento bağlayıcılı kompozitlerin mikromekanik tasarımı ve dürabilitesi, endüstriyel ve doğal atıkların katma değeri yüksek yapı malzemelerine dönüştürülmesi ve inşaat sektöründe eklemeli imalat da dahil olmak üzere yeni nesil çok fonksiyonlu çimento bağlayıcılı kompozitlerdir. Dr. Şahmaran, kariyeri boyunca 130'dan fazla uluslararası hakemli dergi makalesi de dahil olmak üzere 200'den fazla teknik yayının yazarlığını veya ortak yazarlığını yapmıştır. Dr. Şahmaran, yeni araştırma laboratuvarlarının kurulması da dahil olmak üzere alanında birçok gelişmeye öncülük etmiştir. Dr. Şahmaran'ın danışmanlığında 14 doktora ve 36 yüksek lisans öğrencisi, lisansüstü eğitimlerini tamamlamıştır. Dr. Şahmaran, 2007 yılında Ontario Eyaleti Bursunu, 2012 yılında Türkiye Bilimler Akademisi Genç Bilim İnsanı Ödülünü ve 2014 yılında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Mühendislik Alanında Genç Bilim İnsanı Teşvik Ödülünü almıştır. Dr. Şahmaran, 2018 yılında Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) Wason Malzeme Araştırmaları Madalyası'nı almaya hak kazanmıştır. Dr. Şahmaran tarafından yürütülen "Düşük Maliyetli Konutlandırma İçin "Yeşil" Yapısal Elemanların Lego İnşaat Sistemi" başlıklı proje Newton 2020 Ülke Ödülü kazanını olmuştur. Dr. Şahmaran, Amerikan Beton Enstitüsü, Amerikan İnşaat Mühendisliği Derneği, Türk İnşaat Mühendisliği Derneği ve ABD Ulaştırma Araştırma Kurulu'nun çeşitli teknik komitelerinde üyedir. Ayrıca Dr. Şahmaran 2015 yılından itibaren Türkiye Bilimler Akademisi, Asosye Üyesi olarak görev almaktadır.

**Prof. Dr. Mustafa ŞAHMARAN | TÜBA Associate Member | Hacettepe University |
sahmaran[at]hacettepe.edu.tr | ORCID: 0000-0002-7549-096X**

Prof. Dr. Mustafa Şahmaran is currently a faculty member and the director of Advanced Building Materials Laboratory in the Civil Engineering Department at Hacettepe University His research interests are in circular economy in the built environment, micromechanical design and durability of high-performance cementitious composites, recycling industrial and natural waste products into useful construction materials and new generation multifunctional cementitious composites including additive manufacturing in concrete construction. Dr. Şahmaran has authored or co-authored over 200 technical publications in his career, including more than 130 refereed journal papers. He has led several developments, including establishing new research laboratories. During his academic career, 14 PhD and 36 MSc students have completed their degrees under the supervision/co-supervision of Dr. Şahmaran. He received the Province of Ontario Fellowship in 2007, Turkish Academy of Sciences Distinguished Young Scientist Award in 2012 and The Scientific and Technological Research Council of Türkiye's Young Scientist Incentive Award in Engineering in 2014. In 2018, Prof. Dr. Mustafa Şahmaran was selected to receive the American Concrete Institute (ACI) Wason Medal for Materials Research. The project titled "Lego Construction System of Green Structural Components for Low-cost Housing", conducted by Dr. Şahmaran is the winner of Newton Country Prize 2020. Dr. Şahmaran is a member of several technical committees of the American Concrete Institute, American Society of Civil Engineering, Turkish Society of Civil Engineering and US Transportation Research Board. Dr. Şahmaran has also been working as an Associate Member of the Turkish Academy of Sciences since 2015.

Araştırma Görevlisi Emircan ÖZÇELİKÇİ | Hacettepe Üniversitesi |
eozeelikci[at]hacettepe.edu.tr | ORCID: 0000-0002-6112-9735

Emircan Özçelikci, Hacettepe Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak doktora eğitimini sürdürmektedir. Yüksek lisans eğitimi sırasında, yapı çevre döngüsel ekonomiye yönelik bilgi ve becerilerde uzmanlaşmıştır. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), British Council ve Avrupa Birliği Horizon 2020 projeleri tarafından finanse edilen inşaat mühendisliği yapı malzemeleri alanında yenilikçi ve sürdürülebilir araştırma ve geliştirme projelerinde önemli roller üstlenmiştir. Başlıca araştırma alanı, jeopolimerizasyon/Portland çimentosu ikame sistemleri aracılığıyla çok çeşitli ömrünü tamamlamış yapı malzemelerini geri dönüştürerek çevre dostu çok fonksiyonlu yapı malzemeleri geliştirmektir. Emircan Özçelikci'nin birçok çalışması, yapı malzemeleri alanında saygın dergilerde yayınlanmaya değer görülmüştür. Sürdürülebilir yapı malzemelerinin geliştirilmesi ve bunların şantiyelerde pratik olarak uygulanmasına yönelik araştırma çalışmalarına devam etmektedir.

Research Assistant Emircan ÖZÇELİKÇİ | Hacettepe University |
eozeelikci[at]hacettepe.edu.tr | ORCID: 0000-0002-6112-9735

Emircan Özçelikci is a research assistant and PhD candidate at Hacettepe University. During his MSc., he mastered the skills and knowledge for the circular economy in a built environment. He took a significant part in research, experimental and reporting processes in innovative and sustainable research and development projects in the field of civil engineering, construction materials science funded by the Scientific and Technical Research Council of Türkiye (TUBITAK), the British Council and the European Union Horizon 2020 projects. His main research area is the development of eco-friendly alternative multi-functional construction materials by recycling a wide range of end-of-life building materials through geopolymerization/Portland cement substitution systems. His studies have been regarded as worthy to be published in reputable journals in the area of construction materials. He is continuing his research efforts toward the development of sustainable construction materials and their practical implementation on construction sites.

**2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMİNDE
TASARIM HATALARININ
DEPREM HASARINA ETKİSİ**

**THE EFFECT OF DESIGN FAULTS ON EARTHQUAKE
DAMAGE IN 2023 KAHRAMANMARAŞ EARTHUAKE**

Hasan Hüsnü KORKMAZ

2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMİNDE TASARIM HATALARININ DEPREM HASARINA ETKİSİ

Hasan Hüsnü KORKMAZ

Necmettin Erbakan Üniversitesi

Özet

2023 yılı Kahramanmaraş depremleri 50.000 den fazla insanın ölümüne sebep olurken, depremden 12 milyona yakın insan etkilenmiştir. Depremlerdeki bina hasarlarının toplam maliyeti 100 milyar dolardan fazladır. Deprem sonrasında yazar deprem bölgesinde yıkılan ve ağır hasar alan binalarda incelemelerde bulunmuş ve yıkıma neden olan hataları tespit etmiştir. Bölgede konut yapıları betonarme çerçeveli yapılar olup, sanayi yapıları betonarme prefabrik şeklindedir. Eski betonarme yapıların yanı sıra, 2000 yılından sonra yapılmış ve hazır beton kullanılmış pek çok yapıda yıkılmıştır. İnşaa halinde natamam binalarında yıkıldığı veya ağır hasar aldığı durumlarda söz konusudur. Ağır hasar alan binalarda hak sahipliği devlete geçmekte olup, konut sahiplerinin binadaki eşyalarını dahi alması mümkün olmamaktadır. Betonarme yapılarda çok ciddi taşıyıcı sistem hataları yapılmıştır. Betonarme malzeme yetersizliği, donatı detaylandırma kusurları ve taşıyıcı sistem hatalarının yanında bina geometrisi ile ilgili pek çok hata tespit edilmiştir. Bina parsel geometrisinden başlayarak, bina geometrisi, mimari tasarım aşamalarında sistematik hata yapılmıştır. Donatı (inşaat demiri) detaylarındaki hatalar, etriye eksikliği kolonlarda ve girişlerde ağır hasara ve yıkıma neden olmuştur. Kısa kolon hasarı, yumuşak kat oluşumu yaygındır. Betonarme binaların alt katlarının dükkan olması durumunda mafsallaşmalar zemin katta olmakta ve binanın aniden yıkılmasına yol açmaktadır. Hatay ilinde göçen binaların envanteri çıkarılmış olup, göçen yeni binaların %95'inin altında dükkan bulunmaktadır. Bu deprem göstermiştir ki, mimarlar ve inşaat mühendisleri yaptıkları tasarımın deprem davranışı konusunda yeteri kadar bilgili değildir.

Anahtar Kelimeler

Deprem, Betonarme, Hasar, Tasarım kusuru, Göçme mekanizması

THE EFFECT OF DESIGN FAULTS ON EARTHQUAKE DAMAGE IN 2023 KAHRAMANMARAŞ EARTHUAKE

Hasan Hüsnü KORKMAZ

Necmettin Erbakan University

Abstract

While the Kahramanmaraş earthquakes in 2023 caused the death of more than 50,000 people, nearly 12 million people were affected by the earthquake. The total cost of building damage in earthquakes is more than \$100 billion. After the earthquake, the author examined the collapsed and heavily damaged buildings in the earthquake area and identified the faults that caused the destruction. The residential buildings in the region are reinforced concrete framed structures, and the industrial buildings are in the form of reinforced concrete prefabricated. In addition to the old reinforced concrete structures, many structures built after 2000 and using ready-mixed concrete were demolished. It is in question in cases where unfinished buildings are destroyed or severely damaged under construction. Ownership of the heavily damaged buildings is transferred to the state, and it is not possible for the owners of the houses to even take their belongings in the building. Serious structural system errors have been made in reinforced concrete structures. In addition to the lack of reinforced concrete material, reinforcement detailing defects and structural system errors, many errors related to the building geometry have been detected. Starting from the building parcel geometry, systematic errors were made in the building geometry and architectural design stages. Errors in reinforcement (rebar) details, lack of stirrups caused heavy damage and destruction in columns and beams. Short colon damage, soft fold formation is common. If the lower floors of reinforced concrete buildings are shops, the articulations occur on the ground floor and cause the building to collapse suddenly. In the province of Hatay, an inventory of the collapsed buildings has been made, and there are shops below 95% of the new collapsed buildings. This earthquake showed that architects and civil engineers are not sufficiently knowledgeable about the earthquake behavior of their designs.

Keywords

Earthquake, Reinforced concrete, Damage, Design mistake, Failure mechanism

1. Giriş

Türkiye’de genel konut stoğu betonarme çok katlı yapılar şeklindedir. Betonarme yapılar 1990 yıllarından önce elle beton dökümü ile yapılırken, 2000li yıllardan sonra hazır beton yaygınlaşmıştır (Korkmaz, 2015).

Türkiye’de 1999 yılındaki Marmara depreminde yaklaşık 17500 kişi ölmüştür. Sonrasında 2011 Van, 2020 Elazığ ve 2020 İzmir depremlerinden sonra gözlenen manzara, 1999 Marmara depreminden sonra gözlenen durumla aynıdır. Betonarme binalarda toptan göçme, ağır hasar ve çok fazla can kaybı mevcuttur. Betonarme binalarda göçmeye sebep olan hatalar hep tekrarlanmakta ve depremlerde göçmeye neden olmaktadır (Doğan ve diğ., 2021, Arslan ve diğ, 2007).

Bina ve deprem dayanımı inşaat mühendisliğinin konusudur. Depreme dayanıklı yapı tasarım kuralları ve felsefesine göre oluşma periyodu uzun ve şiddetli depremlerde binanın hasara uğrayarak, ancak hiçbir şekilde yıkılmadan, kalması gerekmektedir. Orta şiddetli depremlerde onarılabilecek seviyede hasar ile, 50 yıl içinde, %10 ihtimalle olması, beklenen depremleri ise hasarsız atlatması beklenir.

Öncelikle deprem, tabanda bir ivme meydana getirir. Binada kütle (mass-m) döşemelerdedir. Deprem ivmesi ile kütlelerin çarpımı kadar bir yatay kuvvet bina döşemelerine etki eder. Döşeme yeterince rijit ise bu yükü kolonlara aktarır. Her kolon kendi rijitliği kadar yatay yükten pay alır. Bu dağılımın olabilmesi için döşemenin rijit diyafram olarak çalışması gerekir. Rijit diyaframın sağlıklı olabilmesi için kirişlerin sürekli olması, kolonların birbirine kirişlerle bağlı olması gerekmektedir. Hatay-Antakya’da sürekli çerçeve oluşumu hiçe sayılarak binalar tasarlanmış ve imal edilmiştir. Taşıyıcı sistem tasarımı, depremde binanın dayanımını belirleyen ana unsurdur.

Binanın deprem dayanımı konusu inşaat mühendisliği disiplini içindedir. Mimarlar ise, depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda gerekli bilgiyi üniversite eğitimleri sırasında almamaktadır. Ancak mimari tasarımda yer alan ve taşıyıcı elemanlar olarak kabul edilmeyen tuğla duvarlar binanın yatay rijitliğine katkı yapmakta ve davranışını olumlu ya da olumsuz olarak değiştirebilmektedir. Tuğla duvarlar nedeniyle gözlenen olumsuzluklara ilk verilecek örnekler, yumuşak kat oluşumu ve kısa kolon mekanizmasıdır. Tuğla duvarlar ayrıca binada burulma düzensizliği oluşumuna neden olabilir. Tuğla duvarlar çerçeve sitemlerde diyagonal basınç çubuğu olarak adlandırılan mekanizma ile bina rijitliğine katkı yapar. Yazarlar deprem sonrası yaptıkları saha incelemelerinde dolgu duvarlar nedeniyle depremi atlatabilen bina örneklerine şahit olmuştur.

Binanın dinamik özellikleri bina geometrisine bağlıdır. Bina geometrisi ise mimari tasarım aşamasında şekillenir. Planda çıkmalar olması, düşey süreksizlikler, burulma düzensizlikleri, döşeme süreksizlikleri mimari sebeplerle oluşan düzensizliklere örnek olarak verilebilir. Ayrıca kısa kolon ve yumuşak kat mekanizmaları da mimari tasarımdan kaynaklanan olumsuzluklardır.

Hatay-Antakya kent merkezinde eski yapıların yanında, yeni yapılan yapılarda da ağır hasar ve göçmeler söz konusudur. Betonarme taşıyıcı sistem konfigürasyon hataları, kiriş süreksizlikleri, yumuşak kat oluşumları, mimari konfigürasyon hataları, kısa kolon oluşumları, asma kat nedeniyle oluşan hasarlar, rijit bodrum kat olmaması gibi nedenlerle hasar oluşmuştur.

Bu çalışmada Kahraman Maraş, Hatay-Antakya bölgesinde, 2023 depremi sonrasında gözlenen hasar ve yıkımlara etki eden düzensizlikler, mimari etkenler ve taşıyıcı sistem seçiminde yapılan yanlışların etkisi detaylı olarak irdelenmiştir.

2. Betonarme Binalarda Gözlenen Hasarlar ve Nedenleri

Deprem bölgesinde 1999 öncesi yapılan yapıların taşıyıcı sistemlerinin genel görünümü Şekil 1 de verilmiştir. Betonarme perde duvarların yetersiz olması ya da olmaması dikkat çekicidir. Genellikle 6-9 kat bu binaların zemin katları dükkân olarak ticari amaçlı kullanılmaktadır. Bitişik nizam binalarda deprem derzi neredeyse hiç yoktur. Bitişik nizam olmayan binalardan birisinin yıkılması ile diğerinin üstüne düştüğü ve diğer komşu binalarında hasar görmesine neden oldukları gözlenmiştir.





Şekil 1. 1999 öncesi yapılmış binalarda taşıyıcı sistem durumu ve kiriş süreksizliği örneği

Betonarme binalarda rijit diyafram oluşabilmesi, deprem yüklerinin kolonlara sağlıklı bir şekilde dağılabilmesi için kiriş sisteminin sürekli olması gerekmektedir. Kolonların birbirine her iki dik doğrultuda kirişlerle bağlanması gerekmektedir. Kirişleri bina boyunca sürekli olarak devam etmesi önemlidir. Kirişlerin kirişlere saplandığı düğümlerden kaçınılmalıdır.

Antakya bölgesinde taşıyıcı sistem tasarımında sistematik hatalar yapılmıştır. Gözlenen ana problem, sürekli kirişler oluşturulamamış, kolonlar birbirine kirişlerle bağlanmamıştır. Bina cephesinde bulunan kolonlardan konsol kirişler yapılmış ve dış cephe kirişi bu konsol kirişlerin ucuna bağlanmıştır (Şekil 1). Kolonlar iç mekânda kirişlerle birbirine bağlanmamıştır. Şekil 1’de görüleceği gibi özellikle köşe kolonların diğer kolonlarla hiçbir bağlantısı yoktur. Tersinir tekrarlanır yükler altında bu kolonların çevresindeki döşeme çatlamaktadır. Diğer kolonlara bağlı olmayan kolonlar arası yatay yük aktarma mekanizması oluşamamaktadır. Dolayısıyla rijit diyafram oluşumu problemlidir. Şekil 2’de köşe kolonlarının durumu ve kiriş bağlantıları verilmiştir. Şekil 3’de ise cephede kolonlara direk olarak mesnetlenmeyen, çevre kirişinin binada oluşturduğu deformasyon ve deplasman durumu verilmiştir. Şekil 4’de ise, kolondan konsol olarak uzanan kirişlerde oluşan mafsallaşma verilmiştir.



Şekil 2. Sürekli kiriş tasarımı yapılmayan taşıyıcı sistemler



Şekil 3. Cephe konsola mesnetlenen kiriş tasarımı ve hasar



Şekil 4. Konsol kirişte mafsallaşma

Şekil 5 de Antakya'da göçen ve ağır hasar alan binaların deprem öncesi ve sonrası görünümü verilmiştir. Ön blokta bulunan 4 binadan birisi tamamen göçmüş, diğerleri ağır hasar almıştır. Sol taraftan ikinci bina düşeyde ve yatayda deplasman yaparak, yıkılan apartmanın üstüne doğru eğilmiştir. Bu bina 9 katlı olmasına rağmen, köşe kolonu boyutça yetersiz ve yuvarlak bir kolondur. Kiriş kolona bir kenarda temas etmektedir. Kiriş olmayan yüzeyde kolon parçalanmıştır. Ayrıca kolonda etriye sıklaştırması gözlenmemektedir. Etriye aralığı 30 cm civarındadır. Bu resim kolonlarda kuşatılmış kolon kontrolü ve kesme hasarı ile ilgili çarpıcı bir örnektir.



Şekil 5. Ağır hasar alan binada köşe kolon durumu

Şekil 6 da verilen binada taşıyıcı sistem seçimi tamamen yanlıştır. Bazı kolonların birbirine çok yakın yerleştirilmesi kısa kiriş oluşumuna neden olmuştur. Ayrıca bir doğrultuda kirişler devam ederken, diğer doğrultuda kolonlar arasında kiriş bulunmamaktadır. Kısa kirişte yeterli moment kolu olmadığı için kiriş kesme hasarına uğramıştır.



Şekil 6. Çok yakın kolon tasarımı ve kısa kirişte kesme hasarı

Şekil 7 de verilen binada oluşan hasar çarpıcıdır. Binada birbirine dik iki cephedeki kolonlar, cephelere dik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Binada planda her iki doğrultuda kolonlar vardır. Ancak kolonlar arasında kirişler sürekli değildir. Cephede bulunan kolonlardan konsol kirişler uzatılmış ve dış cephe kirişi bu konsolların ucuna bağlanmıştır. Planda her iki doğrultu boyunca kolon var gibi görülebilir, ancak bu kolonlar birbirine bağlı değildir. Rijit diyafram kabülü tam geçerli değildir. Binaya deprem bir doğrultuda gelmiştir. Şekil 7 de ilk resimde sağ taraftaki cepheye dik gelen deprem kuvveti bu cephedeki güçlü eksenindeki kolonlara zarar vermemiştir. Ancak diğer (sol) cephedeki kolonlara deprem zayıf eksen doğrultusunda gelmiştir. Bu kolonlar ağır hasar almış ve sol cephe de bina göçmüştür. Bu örnekte her iki doğrultuda kolon bulunmasına rağmen, birbirine bağlanmayan kirişler nedeniyle oluşan hasar çarpıcı şekilde ortaya çıkmıştır.



Şekil 7. Taşıyıcı sistemde sürekli kiriş oluşturulmaması ve meydana gelen hasar.

Binaların altında mağaza, dükkan gibi ticari amaçlı mekanların olması beraberinde yumuşak kat denilen bir tehlikeyi beraberinde getirir. Şiddetli depremlerde binaya gelen deprem kuvveti, binanın elastik taşıma gücünü aşacaktır. Bu nedenle kolonların ve kirişlerin sünerek-esneyerek elastik ötesi deformasyonlar yapması ve deprem enerjisini bu şekilde tüketmesi gereklidir. Bu deformasyonların oluşması için kolon ve kirişlerde mafsallaşma dediğimiz bir deformasyon ve hasarın olması gerekir. Mafsallaşma belli bir bölgeye konsantre olmuş hasardır. Mafsallaşan bölgede eleman dönme-eğilme deformasyonu yapar. Mafsallaşan bölgenin kolonlardan önce kirişlerde olması gerekir. Öncelikle tüm kirişlerde, sonrasında kolonlarda oluşan mafsallaşmalar ile bina yatay hareket yapacak ve binaya gelen deprem enerjisini tüketecektir. Fizik derslerinden hatırlanacağı gibi kuvvet ve yolun (deplasman-deformasyon) çarpımı işi ve tüketilen enerjiyi verir. Kolonlarda yatay yük, yatay deplasman grafiğinin altındaki alan tüketilen enerjiyi verir.

Tuğla duvarlar bina statik-dinamik hesabında sadece ölü yük olarak ele alınır. Taşıyıcılıkları yok sayılır. Ancak bu tuğla duvarlar, yatay yükle altında diyagonal çapraz basınç elemanları olarak yükü üst köşeden çapraz alt köşeye aktarır. Hesaba katılmayan duvarlar yük aktarımına etki eder. Zemin katın dükkan olması durumunda, giriş katında tuğla duvarlar bulunmaz. İç mekanda hiç duvar yok iken, vitrin olan ön kısımda cam bulunur. Vitrin kısmı genelde caddeye paraleldir. Vitrin kısmını kapatmamak için kolonların uzun boyutu caddeye dik olarak yerleştirilir. Yatay yükleme caddeye paralel gelmişse, kolonlar zayıf ekseninde düzlem dışı yüke maruz kalır. Caddeye paralel kolon yada perde olmadığı için binanın yatay rijitliği oldukça azdır. Üst katlardaki duvarlar, üst kat kolonlarında mafsal olmasını engeller. Zemin katta bulunmayan duvarlar sebebiyle mafsallaşmalar zemin kat kolonlarında oluşur. Kolonlar kirişlerden daha zayıf ise durum daha kritik bir hal alır. Üst katlar bir bütün halinde rijit cisim ötelemesi yapar. Alt kat kolonlarında oluşan çok az sayıdaki mafsallar ile binanın stabilitesi bozulur (Şekil 8-12). Taşıyıcı sistem deprem enerjisini tüketmeden çöker.

Şekil 8 ve 9 da bulunan binalar caddeye paralel boyutta kısa, dik doğrultuda uzundur. Kolonlar caddeye dik yerleştirilmiştir. Depremin caddeye paralel bileşeni binaya yatayda deplasman yaptırmış ve üst katlar rijit olarak ötelenmiştir. Caddeye dik duvarlar ve kolonlar, bu yönde deplasmana olanak tanımamıştır. Ayrıca ön cephede olmayan duvarlar arka cephede mevcuttur. Yumuşak kata ek olarak binada tuğla duvarlar nedeniyle burulma deformasyonu da söz konusudur.

Şekil 8 deki binada zemin kat döşemesi galeri boşluğu açmak için yapılmamıştır. Kolonlar, caddeye paralel yönde, birbirine kirişlerle bağlanmamıştır. Kolonlardan çıkan konsol kirişlerin ucunda uzanan, caddeye paralel kirişin işlevselliği yoktur.



Şekil 8. Yumuşak kat oluşumu

Şekil 9 daki binanın ön cephe yüksekliği ile arka cephe yüksekliği farklıdır. Arka cephede dükkan yok iken tuğla duvarlar her katta mevcuttur. Ön cephe ve yan cephenin bir kısmında vitrin vardır ve tuğla duvarlar yoktur. Ticari-dükkân kısmında döşeme yoktur. Şekil 8 ve 9 daki binalarda asma kat vardır. Asma kat yumuşak kat oluşumunu daha kritik hale getirmiştir. Zemin ve asma katta girişler sürekli değildir. Döşeme süreksizliği vardır. Binanın ön cephesinin yatay rijitliği az iken, arka cephesinin rijitliği fazladır. Binalardaki rijitlik düzensizlikleri, binaların ağır hasar almasına neden olmuştur. Uydu görüntüleri ve eski sokak görüntülerinden tespit edilebildiği kadar benzer yapıdaki diğer binaların ise toptan göçmeye uğradığı görülmüştür. Şekil 10 da ilk resimde verilen binada ise ön cephede olmayan tuğla duvarlar arka cephede mevcuttur. Büyük bir ihtimalle arka cephe zemin katı konut, ön cephe dükkandır. Arka cephedeki duvarlar binaya rijitlik sağlamış, ön cephede olmayan duvarlar nedeniyle binanın sadece ön cephesi yıkılmıştır.



Şekil 9. Yumuşak kat mekanizması ve burulma deformasyonu gösteren bina

Şekil 10 da verilen örnekler yumuşak kat hasarını çok güzel anlatmaktadır. Mafsallaşmalar yada kırılmalar kolon alt ve üst ucunda görülmektedir. Bina üst yapısı bir bütün halinde devrilmiştir.



Şekil 10. Yumuşak kat deformasyonları ve hasarı

Antakya’da yumuşak kat oluşum tehlikesine en güzel örnek Rende Siteleridir. Sitede toplam 4 adet blok bulunmaktadır (Şekil 11). Sitedeki iki blok tamamen yıkılırken diğer iki blok yıkılmamıştır. Yıkılan blokların altında dükkan mevcuttur. Yıkılmayan blokların altında ise konut vardır. Dükkan bulunan iki blok yıkılmış dükkan bulunmayan iki blok ise yıkılmamıştır.



Şekil 11. Rende sitelerinde yumuşak kat durumu

Yumuşak kat oluşumunda sadece alt katı ticari olan binalar etkilenmemiştir. Şekil 12 de verilen hastane binasında giriş katında geniş bir lobi ve cam cephe vardır. Bina deprem sırasında yumuşak kat mekanizması ile yıkılmıştır. Hastane binaları deprem sonrasında kullanılması gereken ve depremi hasarsız atlatarak hemen kullanılmasına ihtiyaç duyulan binalardandır. Bu binaların yapı önem katsayısı 1.5 olup konut binalarında göre daha fazla tasarım deprem ivmesi yada kuvveti dikkate alınır. Bu örnek yumuşak kat mekanizmasının ne kadar tehlikeli olduğunu göstermektedir. Bina deprem hesabında deprem yükleri %5 daha fazla alınmasına rağmen bina yine de yumuşak kat ile göçmüştür.



Şekil 12. yumuşak kat oluşumu ile yıkılan hastane binası

Antakya’da gözlenen bir diğer hususta binaların bodrum katları ile ilgilidir. Şekil 13 de ilk 5 resimde verilen yapılar depremden sonra tamamen göçmüştür. Binaların zemin kat girişi yol kotundan 1 m kadar yukarıdadır. Bodrum kat ise yol kotunun altında yer almaktadır. Zemin kat dükkan olarak kullanılırken, bodrum kat depo olarak kullanılmaktadır. Bodrum kat çevresinde betonarme perde duvar ön cephede yoktur. Dolayısıyla binalarda yumuşak kat oluşumu ile birlikte rijit olmayan bir bodrum katta mevcuttur.



Şekil 13. Antakya’da bina bodrum oluşumu

Alt katında dükkan bulunan binalarda asma kat olarak adlandırılan bir kat daha mevcuttur. Dükkan kısmının kat yüksekliği 3,5-4 m civarında iken asma kat e üst konut katlarının kat yüksekliği 3m’dir. Asma kat seviyesinde galeri boşluğu açmak için döşeme yapılmamış ve döşeme süreksizliğine neden olunmuştur.

Bu yapılarda dükkan katında tuğla duvarların olmaması yumuşak kat oluşumuna neden olmuştur. Ancak, ön cephede bulunmayan tuğla duvarlar arka cephede zemin katta da mevcuttur. Projelendirme aşamasında taşıyıcı olarak kabul edilmeyen tuğla duvarlar bu binalarda burulmaya neden olmuş ve köşe kolonlar hasar almıştır.



Şekil 14. Zemin katı dükkan olarak kullanılan ve asma katlı binalarda hasar

Şekil 15 de yukarıda mekanizması anlatılan hasara ek olarak, kirişe her iki dik doğrultuda bağlanan kirişler, hem kolondan daha güçlü olup, farklı kotta bağlanmıştır. Bu kolonda kirişlerin arasında kalan kolon bölgesinde kesme hasarı oldukça ilginçtir. Bu hasara neden olan taşıyıcı sistem tasarım hatası, mühendislik projelendirmesinde de yanlışlıklar olduğunun göstergesidir.



Şekil 15. Farklı kotta bağlanan kirişlerden dolayı hasar

Şekil 16 da asma kat kirişi sol ve sağda daha düşük bir kotta iken, ortadaki iki açıklıkta daha yüksek bir kotta tasarlanmıştır. Sol ve sağ kirişleri farklı kotta olan kolon örneği bilinçsiz tasarıma çarpıcı bir örnek olmuştur. Binanın ortasında bulunan kolon kısa kolon mekanizması ile hasar görmüştür. Bina içinde döşeme olmaması ile döşeme süreksizliği, düzensizliği de ortaya çıkmıştır.



Şekil 16. Bina cephesinde kısa kolon oluşumu

Tuğla duvarların sebep olduğu bir diğer hasar türü kısa kolon oluşumudur (Şekil 17). Kolonların her iki yanında, kolonun belirli bir yüksekliğine kadar olan tuğla duvarlar, kolonun eğilme yüksekliğini kısıtlamaktadır. Kolonun serbest yüksekliğinin alt ve üst uçlarında oluşan momentleri karşılamak için oluşan kesme kuvvetlerinin kuvvet kolu kısalmıştır. Kolon moment taşıma kapasitesine ulaşmadan, kesme kuvveti büyük değerlere ulaşır. Ancak statik hesapta kabul edilen kolon yüksekliği, deprem sırasında aktif olarak oluşan yükseklikten fazladır. Tasarımcı deprem sırasında oluşan gerçek kesme kuvvetini daha düşük olarak hesaplamıştır. Sonuçta kolonda gevrek kesme kırılması oluşmaktadır.

Şekil 14 de Antakya Orman İşletme Şefliği binası ve Antakya polis karakol binasında oluşan hasar verilmiştir. Polis karakolu deprem sonrası kullanılması gereken bir bina olduğu için deprem tasarımında bina önem katsayısı 1.5'tur; bu değer konutlar için 1 dir. Binanın mimari tasarımında en kritik hatalardan birisi olan kısa kolon oluşumuna sebebiyet verilmiştir.



Şekil 17. Kısa kolon oluşumu ve hasarı

Şekil 18 de verilen örnekte merdiven sahanlığı kolona ortadan saplanmaktadır. Kolon kısa kolon hasarına maruz kalmıştır. Merdiven çevrelerinin betonarme perdelerle çevrili olması sayesinde bu tehlike önlenebilir.



Şekil 18. Merdiven sahanlığı nedeniyle kısa kolon oluşumu

Yapıların deprem dayanımını esas belirleyen unsur binanın geometrisidir. Mimari tasarımda şekillenen binanın dinamik-titreşim özellikleri geometriye bağlıdır. Antakya’da parsel alanları ince ve uzun olarak şekillenmiştir. Caddeye cepheli parsellerde kısa kenar caddeye paralel, uzun kenar caddeye dik olarak yer almaktadır. Binalar çok katlı olup alt katları ticaridir. Zemin katın üstünde rijitliği yetersiz bir asma kat vardır. Şekil 19 da planda ince ve uzun izdüşüme sahip tamamen yıkılan ya da ağır hasar alan binalar verilmiştir. Şekil 20 de yine ince uzun plana sahip bir binanın deprem öncesi ve sonrası resimleri verilmiştir. Şekil 21 de ise köşe parselde yapılmış, ortogonal hiçbir aksı bulunmayan düzensiz binalara örnekler verilmiştir. Şekil 19 da verilen ilk resimdeki bina tamamen yıkılmış, son resimdeki bina ağır hasar almıştır. Şekil 21 de verilen iki bina, ortadaki binanın üstüne doğru devrilmiştir. Soldaki gri bina 2022 yapımı olup oldukça pahalı ve lüks bir rezidanstır.



Şekil 19. Planda ince ve uzun izdüşüme sahip yıkılan ve hasar gören binalar



Şekil 20. Plan düzleminde ince uzun, çok katlı yapıda hasar



Şekil 21. Köşe parsellere yapılmış, ortogonal olmayan binaların deprem öncesi ve sonrası durumları

3. Sonuçlar

Türkiye bir deprem ülkesidir. Depremlerin belirli oluşum periyotları vardır. Daha uzun periyotlu depremler daha yıkıcıdır. Fay hatları ve tehlike bölgeleri belirlidir. Neredeyse ülkenin tamamı deprem riski altındadır. Depremi nerede ve ne büyüklükte olacağını kestirmemiz imkânsız olsa da ihtimal olarak projeksiyonlar yapılmaktadır.

Deprem olacağı kesindir. Binaların tasarımının yapılma aşamasında ve inşasında depreme dayanıklı yapı üretimi gerçekleştirilmelidir. Ancak 1999 Marmara depreminden sonra bile hala bu konuda çok yetersiz kaldığımız aşikardır.

Sorunumuz şehir bölge planlama aşamasında başlamaktadır. Jeolojik etüt sonuçları göz ardı edilerek yerleşim yerlerine imar verilmektedir. Yumuşak ve zayıf zeminler depremin büyüklüğünü artırmakta ve farklı frekanslarda salınımına sebep olarak binaların yıkılmasına neden olmaktadır. Bu konuda ülkemizde yeterli bilinç gelişmemiştir. Şehir planlamaları tamamen yanlıştır. Deprem sonrası gözlemlediğimiz en başlıca hasar nedeni yanlış zeminlerde yapılaşmadır.

Arsa geometrisi mimari geometriyi belirlemektedir. Depreme dayanıklı yapı için binanın her iki yönde de simetrik olması gerekmektedir. Düzensiz geometriler dezavantaj oluşturmaktadır. Ancak deprem bölgesinde gözlemlediğimiz kadarıyla, cadde yönünde kısa, dik yönde uzun geometriler oluşturulmuştur. Bu binalarda kolonların uzun yönü caddeye dik, kısa yönü caddeye paraleldir. Tüm kolonlar aynı yöndedir. Bina bir yönde çok rijit ve güçlü iken diğer yönde oldukça zayıftır. Bina'nın kısa doğrultusu zayıf olduğu doğrultudur.

Bu binalarda ek olarak zemin kata dükkan yapılmıştır. Dükkan üstünde asma kat mevcuttur. Antakya'da rijit bodrum kat yapılmamış, onun yerine dükkan yapılan durumlar mevcuttur. Yani iki kat dükkan ve üstü asma kat olarak yumuşak katlı binalar inşa edilmiştir. Yıkılan binaların çok büyük bir kısmı yumuşak kat nedeniyle yıkılmıştır.

Asma katlarda kirişler kolona farklı kotlarda bağlanarak kesme hasarına neden olmuştur. Ayrıca yanlış kiriş düzenlemesi nedeniyle kısa kolon oluşumu da söz konusudur. Dolgu duvarlar nedeniyle kısa kolon oluşumu da yaygındır.

Dolgu duvarların konfigürasyonu nedeniyle binada düzensizlikler oluşması söz konusudur. Mimari ve inşaat mühendisi tasarımcıların dolgu duvarların binanın dinamik davranışına olan etkisini iyi anlamaları gerekmektedir.

Hatay'da gözlenen en büyük kusur kirişlerin düzenlenmesi ile ilgilidir. Sürekli kiriş sistemleri yapılmamış, kirişler hep aynı yönde yerleştirilmiştir. Kolonlar birbirine bağlanmadığı için rijit diyafram oluşumu zayıf kalmıştır. Köşe kolonlardan çıkan konsol kirişler ve bunların ucundan uzanan çevre kirişleri yaygındır. Köşe kolonlar binaya sadece döşeme ile bağlıdır.

Deprem bölgesinde eski yapıların yanı sıra yeni yapılarda da depreme dayanıklı yapı tasarım kuralları dikkate alınmamıştır.

4. Kaynaklar / References

- Dogan G, Ecemis AS, Korkmaz SZ, Arslan MH, Korkmaz HH. (2021). Buildings damages after elazığ, Türkiye earthquake on january 24, 2020, *Natural hazards*, 109, 161-200.
- Korkmaz SZ. (2015). Observations on the Van earthquake and structural failures, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 29, 04014033.
- M.H. Arslan, H.H. Korkmaz, (2007). What is to be learned from damage and failure of reinforced concrete structures during recent earthquakes in Türkiye?, *Engineering Failure Analysis*, 14(1), 1-22.

Yazar Hakkında / About Author

Prof. Dr. Hasan Hüsnü KORKMAZ | Necmettin Erbakan Üniversitesi |
hasanhusnukorkmaz[at]gmail.com | ORCID: 0000-0003-1531-6510

Prof. Korkmaz 1973 Konya doğumludur. 1995 yılında ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümünde lisans derecesini aldıktan sonra 1998 yılında ODTÜ İnşaat Mühendisliği bölümünde yüksek lisansını Prof. Dr. Tuğrul Tankut danışmanlığında tamamlamıştır. Yüksek lisans tez konusu Prefabrik yapılar için depreme dayanıklı bağlantı detayı üretimi ve deneyleridir. 2004 yılında Selçuk Üniversitesinde doktora eğitiminde tuğla duvarların deprem dayanımının deneysel incelenmesi konusunda testler yapmıştır. 2004-2005 yıllarında yığma yapıların deprem dayanımının artırılması konusunda Dünya Bankası maddi desteğiyle deneyleri ODTÜ de Prof. Dr. Ahmet Türer ile gerçekleştirmiştir. 2004 yılında Yrd. Doç. Dr. Olarak atanmış ve Selçuk Üniversitesi deprem laboratuvarında binaların deprem dayanımının artırılması konusunda sayısız deney gerçekleştirmiştir. Laboratuvar ortamında depremi benzeştirecek deney düzeneklerinin kurulması, deprem testlerinin yapılması konusunda sayısız araştırma projesi ve deneyleri gerçekleştirmiştir. Deprem hasarı ve güçlendirme üzerinde ağırlıklı olarak çalışmakla beraber biyomekanik çalışmaları da vardır. 2010 yılında doçent ve 2016 yılında Profesör kadrosuna atanmıştır. Uluslararası saygın (SCI indexte taranan) dergilerde 30'dan fazla uluslararası makalesi mevcuttur. Makalelerin genel ağırlığı deprem sonrası hasar ve sebepleri, betonarme binaların deprem güçlendirmesi üzerinedir. Ayrıca biyomekanik ve çimentosuz beton geliştirilmesi konusunda makaleleri vardır. Kahramanmaraş havalimanı projesi, Bursa Hilton ve Hampton otel projeleri, Konya Naturapark sitesi (700 daire), Konya Başakşehir Gold (300 daire) sitesi proje danışmanlık ve üniversite onayı hizmetlerini gerçekleştirmiştir. Ayrıca Nijerya'da kare un siloları, Libya'da çelik un fabrikası projelerinin danışmanlığını yapmıştır. 1996 yılından itibaren Adan Ceyhan, Dinar, 1999 Marmara depremlerinde hasar incelemesine bulunmuştur. Ayrıca 2009 Elazığ, 2011 Van ve 2020 Elazığ depremlerinden sonra bölgede hasar incelemesinde bulunarak çok sayıda ulusal ve uluslararası makale ve bildiri yayınlamıştır. Halen Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde görev yapmaktadır.

**Prof. Dr. Hasan Hüsni KORKMAZ | Necmettin Erbakan University |
hasanhusnukorkmaz[at]gmail.com | ORCID: 0000-0003-1531-6510**

Prof. Dr. Korkmaz was born in 1973 in Konya. After receiving his undergraduate degree from METU Civil Engineering Department in 1995, he received his master's degree from METU Civil Engineering Department in 1998. Dr. He completed it under the consultancy of Tuğrul Tankut. The subject of the master's thesis is the production and testing of earthquake resistant connection details for prefabricated structures. In 2004, during his doctoral education at Selçuk University, he conducted tests on the experimental examination of the earthquake resistance of brick walls. In 2004-2005, his experiments on increasing the earthquake resistance of masonry structures with the financial support of the World Bank were carried out by Prof. Dr. He made it with Ahmet Türer. In 2004, Assist. Assoc. Dr. He carried out numerous experiments on increasing the earthquake resistance of buildings in the earthquake laboratory of Selçuk University. He has carried out numerous research projects and experiments on the establishment of experimental setups to simulate earthquakes in a laboratory environment, and on conducting earthquake tests. Although he mainly works on earthquake damage and reinforcement, he also has biomechanical studies. He was appointed as associate professor in 2010 and professor in 2016. He has more than 30 international articles in internationally respected journals (scanned in the index within the scope of SCI). The general weight of the articles is on post-earthquake damage and its causes, earthquake strengthening of reinforced concrete buildings. He also has articles on biomechanics and cementless concrete development. Kahramanmaraş airport project, Bursa Hilton and Hampton hotel projects, Konya Naturapark site (700 flats), Konya Başakşehir Gold (300 flats) site project consultancy and university approval services. He also provided consultancy for square flour silos in Nigeria and steel flour mill projects in Libya. Since 1996, he has been inspected for damage in the Adan Ceyhan, Dinar and 1999 Marmara earthquakes. In addition, after the 2009 Elazığ, 2011 Van and 2020 Elazığ earthquakes, he conducted damage analysis in the region and published many national and international articles and papers. He is still working at Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering.

DİZİN / INDEX

A

ABD Çevre Koruma Ajansı 299
Abiyotik 161, 185, 186
Adsorpsiyon 29, 140
Aerosoller 293
Akıllı şehirler 216, 328
Akıllı ulaşım 14, 57, 80, 86, 104, 217, 327
Anaerobik çürütme 135, 155, 156, 235
Antropojenik 57, 98, 131, 183
Arıtma çamuru 144, 162, 163, 164, 165, 168, 169, 170, 171, 173, 174, 259
Atık azaltımı 227
Atık bertarafı 147
Atık Borsası 13, 15
Atık karakterizasyonu 337
Atıksu arıtma tesisi 164, 167, 183, 251, 252
Atıksu geri kazanımı 255
Atık yönetimi 6, 15, 60, 122, 132, 155, 156, 181, 207, 209, 210, 211, 213, 214, 223, 229, 230, 239, 243, 269, 271, 274, 277, 282, 283, 284, 325, 330
Avrupa Birliği 1, 5, 13, 32, 56, 60, 65, 67, 81, 87, 93, 95, 101, 103, 104, 105, 108, 115, 162, 163, 169, 170, 171, 189, 207, 209, 231, 233, 235, 269, 278, 287, 299, 305, 319, 323, 324, 330, 339, 350, 364
Avrupa Konseyi 116, 299
Ayrı toplama 210, 234, 235

B

Betonarme 294, 367, 369, 379, 382, 386
Binyıl Kalkınma Hedefleri 53, 88
Birleşmiş Milletler 15, 18, 65, 67, 68, 69, 71, 87, 93, 96, 109, 110, 185, 199, 216, 233, 269, 277
Biyobozunur 129, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 202, 235
Biyçeşitlilik 1, 2, 5, 6, 315, 324, 329
Biyoeкономи 329
Biyogaz 121, 135, 136, 137, 144, 145, 147, 156, 163, 259, 260, 326
Biyojenik 144
Biyokütle 1, 45, 54, 55, 56, 143, 144, 186, 211, 301, 331
Biyokütle enerjisi 54
Biyometanizasyon 129, 132, 133, 136, 137, 144, 145, 146, 147, 148
Biyoplastik 137, 155, 219
Biyopolimer 129, 133, 146, 147, 148
Biyoremediasyon 161
Biyotik 161, 185
Bozunma 161, 184, 185, 186, 187

C

CO₂ yakalama 337
Covid-19 173

Ç

Çevre Kanunu 230, 305

D

Değer zinciri 113, 115, 122, 123, 124
Depozito yönetim sistemi 189, 207, 217, 218, 221, 241
Deprem 6, 337, 339, 340, 341, 342, 344, 346, 352, 355, 358, 361, 362, 367, 369, 370, 371, 373, 374, 375, 378, 381, 383, 384, 385, 386
Deprem atıkları 337, 342
Dijital dönüşüm 115, 123, 126
Doğrusal ekonomi 270, 276
Döngüsel ekonomi 5, 11, 13, 14, 15, 16, 113, 136, 207, 211, 220, 232, 267, 270, 271, 272, 273, 275, 277, 279, 284, 329
Döngüsel üretim 326
Dünya Sağlık Örgütü 299, 301, 303, 304, 305
Düzenli depolama 129, 133, 136, 144, 145, 147, 148, 213, 231, 232

E

Ekolojik ayak izi 270, 273
Ekonomik büyüme 53, 69, 76, 81, 101, 105, 221, 275
Ekosistem 1, 101, 123, 164, 183, 188, 329
Ekotoksikolojik 159, 161, 168, 169, 173, 188
Ekstraksiyon 55, 140
Ekstrem Hava Olayları 297
Emisyon 13, 14, 24, 26, 35, 56, 57, 71, 80, 84, 86, 87, 93, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 105, 106, 108, 109, 115, 116, 117, 119, 136, 144, 145, 146, 168, 269, 291, 293, 299, 305, 309, 310
Endüstriyel atıksu 167, 169, 172, 190, 196
Endüstriyel simbiyoz 13, 14, 15, 16
Enerji 5, 11, 13, 14, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 25, 28, 32, 34, 35, 43, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 69, 70, 77, 80, 83, 85, 86, 95, 96, 99, 100, 101, 103, 104, 106, 116, 118, 119, 120, 121, 122, 124, 129, 131, 132, 133, 134, 136,

140, 142, 144, 145, 146, 147, 175, 185, 202, 203, 211, 215, 218, 219, 220, 229, 231, 233, 247, 259, 261, 262, 267, 269, 270, 272, 275, 278, 284, 291, 303, 305, 311, 312, 319, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 333, 340, 345, 346, 355

Enerji arzı 14, 57, 80, 86, 95, 104, 327
Enerji geri kazanımı 22, 136, 144, 147, 345
Enerji sistemlerinin 51, 54, 57, 324, 327
Enerji verimliliği 16, 20, 22, 34, 103, 06, 118, 122, 275, 311, 324, 325, 327, 330
Enerji zinciri 56
Evsel atıksu 163, 167, 247, 261
Eylem Planı 13, 19, 22, 34, 57, 59, 78, 80, 81, 83, 86, 88, 104, 105, 106, 117, 122, 123, 207, 216, 217, 221, 231, 233, 234, 242, 276, 279, 323, 332

F

Farmasötik 159, 173, 174, 175
Fay hattı 339
Fermentasyon 133, 135, 137, 138, 139, 140, 143, 146
Fosil kaynaklar 51, 140
Fosil yakıtlar 1, 144, 212, 312
Fotodegradasyon 187
Fotolitik bozunma 161

G

Gazlaştırma 55, 56, 61
Geri dönüşüm 14, 16, 17, 19, 70, 122, 181, 185, 189, 201, 209, 214, 218, 229, 233, 234, 237, 242, 271, 275, 278, 280, 281, 282, 284, 312, 325, 326, 332, 339, 341, 344, 346, 351, 357
Geri kazanım 6, 14, 18, 20, 23, 24, 28, 29, 140, 155, 189, 202, 214, 229, 231, 232, 234, 237, 240, 247, 251, 253, 254, 258, 259, 261, 280, 282, 344, 347
Göçme mekanizması 367
Güneş enerjisi 54, 272, 312, 326

H

Hammadde 11, 14, 16, 18, 20, 32, 55, 102, 104, 121, 133, 145, 201, 207, 210, 211, 214, 220, 271, 275, 278, 279, 283, 322, 345
Hava kalitesi 291, 298, 311
Hava kirliliği 267, 298, 304, 310
Hidroliz 135, 138, 139
Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli 131, 294

İ

İklim değişikliği 1, 5, 13, 15, 32, 35, 51, 55, 56, 57, 65, 67, 69, 85, 86, 93, 95, 96, 97, 98, 102, 104, 106, 109, 110, 113, 115, 124, 126, 132, 144, 146, 207, 217, 221, 267, 269, 270, 273, 276, 277, 283, 284, 285, 287, 293, 294, 296, 310, 315, 319, 323, 324, 330
İklim krizi 132, 145, 148, 283
İmalat sanayi 11, 22, 30, 35, 83
İnsani Gelişme Endeksi 67, 71, 74

J

Jeopolitik 54, 119

K

Kalkınma planı 78, 79, 88, 262
Karbon ayak izi 55, 117, 284
Kaynak azaltımı 18
Kaynak verimliliği 11, 19, 32, 35, 189, 275
Kentsel dönüşüm 339
Kompost 134, 135, 137, 144, 145, 148, 202, 214, 235, 345
Kompostlaştırma 129, 133, 134, 144, 145, 146, 147, 223
Konut stoğu 369
Küresel ısınma 11, 51, 53, 131, 267, 270, 272, 273, 276, 277, 283, 284, 285, 321
Küresel kalkınma 51
Kyoto protokolü 93, 97, 98, 107, 276, 279, 284

M

Membran 30, 140, 155, 161, 195, 196, 247, 257, 263, 333
Membran filtrasyonu 30, 257
Mikrokirletici 159, 195
Mikroplastik 181, 188, 189, 190

N

Nütrient 255

P

Paris Anlaşması 14, 85, 93, 95, 96, 97, 98, 100, 105, 113, 115, 119, 217, 321
Partikül madde 293, 299, 305, 307, 308
Piroliz 55

R

Rekabetçi üretim 79
Rüzgar 100, 119, 121, 312, 327

S

Sediment 183
Sertifikasyon 81
Sıfır atık 6, 15, 81, 199, 201, 202, 203, 207, 209, 210, 211, 214, 215, 216, 217, 221, 2223, 223, 229, 232, 233, 234, 237, 239, 240, 271, 325, 326
Sınırdaki Karbon Düzenlemesi 13, 82, 83, 103, 116
Sorumlu tüketim 77, 190
Sosyo-ekonomik kalkınma 53
Sürdürülebilir büyüme 65, 67, 85
Sürdürülebilir enerji 51, 54, 56
Sürdürülebilir kalkınma 15, 19, 53, 65, 67, 68, 69, 71, 75, 78, 79, 87, 88, 90, 203, 207, 221, 285, 287
Sürdürülebilirlik 5, 6, 13, 15, 17, 51, 53, 56, 57, 60, 61, 67, 109, 113, 119, 122, 123, 124, 133, 210, 234, 237, 270, 274, 319, 323
Sürdürülebilir tarım 14, 57, 86, 104, 217, 322, 325, 326, 330

Sürdürülebilir tüketim 19, 210
Sürdürülebilir üretim 19, 326
Susuzlaştırma 147, 162, 163
Su tasarrufu 39, 43, 202, 215, 219, 233, 325
Su yönetimi 31, 219, 291, 325

T

Tarımsal sulama 247, 249, 252, 254, 255, 256, 261
Tedarik zinciri 16, 113
Tekstil sektörü 219
Temiz enerji 55, 119, 120, 231, 319
Temiz üretim 5, 6, 11, 13, 14, 17, 18, 19, 30, 32,
35, 41, 109, 219
Toksosite 53, 163, 172

U

Uyum stratejileri 325

Y

Yağış 296, 314
Yakma 55, 213, 229, 300, 311, 312, 340, 346
Yeniden kullanım 14, 16, 70, 189, 229, 236, 237,
238, 271, 337, 345
Yenilenebilir enerji 53, 54, 55, 57, 60, 61, 118,
119, 122, 132, 219, 267, 270, 272, 284, 312,
324, 325, 326, 327, 330
Yerel yönetim 277, 282
Yeşil bina 80
Yeşil ekonomi 267, 270, 272, 279, 284, 285
Yeşil enerji 330
Yeşil finansman 80, 217
Yeşil mutabakat 1, 2, 4, 5, 7, 13, 14, 32, 34, 56,
57, 59, 78, 80, 82, 83, 86, 88, 104, 117, 120,
129, 207, 216, 217, 221, 231, 269, 283, 319,
323, 324, 332
Yıkıntı atığı 348
Yukarı dönüşüm 337, 344

Aralık 2019'da Avrupa Komisyonu, küresel iklim değişikliğiyle mücadele etmek için 2050 yılına kadar karbon nötr kıta olmayı hedefleyen ve yeşil ekonomiye geçişi bir fırsata dönüştürmeyi amaçlayan "Avrupa Yeşil Anlaşması" politika paketi yayınlamıştır. Türkiye'yi de kapsayan bu kapsamlı hedef, teknolojik yenilik ve azaltılmış karbon emisyonu ile Ar-Ge'ye dayalı üretime geçişi teşvik etmektedir. Türkiye Bilimler Akademisi Çevre, Biyoçeşitlilik ve İklim Değişikliği Çalışma Grubu, araştırmacılar, kuruluşlar ve kamuoyu arasında bu yeni politika ile ilgili farkındalığı artırmak amacıyla "Temiz Üretim, Yeşil Mutabakat ve Sürdürülebilir Atık Yönetimi Çalıştayı"nı Konya Büyükşehir Belediyesi ev sahipliğinde 17-18 Mart 2023 tarihlerinde düzenlemiştir. Çalıştayda, Avrupa Yeşil Mutabakatı kapsamında çevre sorunlarının çözümünde öncelik verilecek döngüsel ekonomi, sürdürülebilir atık yönetimi ve temiz üretim konuları, bu alanlarda çalışan uzmanlar tarafından ele alınmıştır. Elinizdeki bu kapsamlı kitap, çalıştay sırasında paylaşılan temiz üretim, döngüsel ekonomi, sıfır atık ve geri kazanım teknolojileri gibi konuları kapsamakta ve çevresel sürdürülebilirliğin güçlü bir şekilde ilerlemesi için verilen çabalara önemli katkılar sunmaktadır.



TÜRKİYE BİLİMLER AKADEMİSİ
TURKISH ACADEMY OF SCIENCES

Piyade Sokak No: 27, 06690 Çankaya/ANKARA
Tel: +90 (312) 442 29 03 Faks: +90 (312) 442 72 36



www.tuba.gov.tr



www.facebook.com/turkiyebilimlerakademisi



twitter.com/TUBA_TurkBlmAkad

ISBN 978-625-8352-57-3



9 786258 352573