

**MÜSİLAJ BENZERİ ÇEVRE FELAKETLERİNİ ÖNLEMEDE
PASİF BİOFİLM ÖRNEKLEYİCİLER KULLANARAK
KİRLİLİK YÜKÜNÜN AZALTILMASI**

**PREVENTION OF MUCILAGE LIKE DISASTERS
BY USING PASSIVE BIOFILM SAMPLERS
TO REDUCE POLLUTION LOAD**

Doç. Dr. Fatma Bedük
Prof. Dr. Senar Aydın
Prof. Dr. Mehmet Emin Aydın
Prof. Dr. Müfit Bahadır

**Doç. Dr. Fatma Bedük / Necmettin Erbakan Üniversitesi /
fabeduk[at]konya.edu.tr / ORCID: 0000-0003-0142-0122**

Fatma Bedük, Konya Selçuk Üniversitesi'nde Çevre Mühendisliği Bölümünde okudu (1995-1999) ve Doktorasını 2010 yılında Selçuk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde İleri Oksidasyon Prosesleri (AOP'lar) alanında aldı. 2017 yılından itibaren Necmettin Erbakan Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Doçent ünvanı ile Öğretim Üyesi olarak çalışmaktadır. Çalışma alanları su kirliliği ve kontrolü, toprak kirliliği ve kontrolü, su ve atıksu arıtma ve ozon bazlı ileri oksidasyon proseslerini kapsamaktadır. 2011 yılından bu yana Türkiye'deki çevre analiz laboratuvarlarının akreditasyonunu veren Türk Akreditasyon Kurumu'nda Baş Denetçi olarak görev yapmaktadır.

**Assoc. Prof. Fatma Bedük / Necmettin Erbakan University /
fabeduk[at]konya.edu.tr / ORCID: 0000-0003-0142-0122**

Fatma Bedük has studied of Environmental Engineering at Selcuk University in Konya (1995-1999) and received her Doctorate in 2010 in the field of Advanced Oxidation Processes (AOPs) at Environmental Engineering Department of Selcuk University. Since 2017 she is Assoc. Professor in Environmental Engineering at Necmettin Erbakan University. Her teaching and research cover water pollution and control, soil pollution and control, water and wastewater treatment, and ozone based advanced oxidation processes. She has been working as head assessor of Turkish Accreditation Agency for accreditation of environmental analysis laboratories in Turkey since 2011.

**Prof. Dr. Senar Aydın / Necmettin Erbakan Üniversitesi /
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 (GEPİP) ödülü almıştır. Senar Aydın uluslararası hakemli dergilerde ve sempozyum kitaplarında 125 makale, ulusal sempozyumlarda 52 bildiri ve 8 uluslararası kitap bölümü yayınlamıştır.

**Prof. Dr. Senar Aydın / Necmettin Erbakan University /
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, Turkey. 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 (TUBA) in 2013. Senar Aydın published 125 papers in international peer-reviewed journals and proceedings volumes; 52 presentations in National symposiums; 8 international book chapters.

**Prof. Dr. Mehmet Emin Aydın / Necmettin Erbakan Üniversitesi /
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, 12 kitap bölümü ve 6 kitap editörlüğü veya ortak editörlüğü vardır.

**Prof. Dr. Mehmet Emin Aydın / Necmettin Erbakan University /
meaydin[at]erbakan.edu.tr / ORCID: 0000-0001-6665-198X**

Mehmet Emin Aydın has studied of Civil engineering at Selçuk University in Konya, Turkey (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, Turkey. 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 232 papers in international peer-reviewed journals and proceedings volumes; 82 presentations in National symposiums; 12 international book chapters, 6 book editorships and co-editorships.

**Prof. Dr. Müfit Bahadır / Braunschweig Teknik Üniversitesi /
m.bahadir[at]tu-braunschweig.de / ORCID: 0000-0002-8238-7805**

Ali Müfit Bahadır Almanya, Berlin Üniversitesi Kimya bölümünden mezun oldu 1975 yılında Bonn Üniversitesinde doktorasını tamamladı, Münih Teknik Üniversitesinde Doçent olarak çalıştı.1989 yılında Braunschweig Teknik Üniversitesinde Çevre ve sürdürülebilir kimya alanında Profesör oldu. 1997 yılında Selçuk Üniversitesinden fahri doktora aldı ve misafir Profesör olarak çalıştı. Araştırma alanı çevre kimyası, endüstriyel prosesler ve ürünlerden oluşan çevre kirliliği, pestisit kimyası ve su, topraktaki metabolizması, ekotoksikoloji, yenilenebilir yem stokları, biodizel ve biolubrikantlar alanlarını kapsar. Ali Müfit Bahadır, uluslararası hakemli dergilerde 380 makale, 12 ders kitabı ve ansiklopedi yayınladı. 9 Bilimsel dergilerin ve kitap serisinin editörlüğünü yaptı, 10 patente sahiptir ve emekli olana kadar (2016) on yıl boyunca Wiley-Blackwell dergisi “CLEAN – Soil, Air, Water”ın Kurucusu ve Baş editörü olarak görev yapmıştır.

**Prof. Dr. Müfit Bahadır / Technical University of Braunschweig /
m.bahadir[at]tu-braunschweig.de / ORCID: 0000-0002-8238-7805**

Ali Müfit Bahadır studied chemistry at the Free University Berlin and Bonn University in Germany, received his PhD 1975 from Bonn University and his Assoc. Prof. from Munich Technical University. He became a full Professor of Environmental and Sustainable Chemistry at the Braunschweig Technical University in 1989. Since 1997, he is an honorary doctor and visiting professor at the Konya University in Turkey. His research fields cover environmental chemistry and analyses, environmental pollution through industrial processes and products, pesticide chemistry and metabolism in soil and water, ecotoxicology, sustainable chemistry, renewable feed stocks, biodiesel and bio-lubricants. Ali Müfit Bahadır published 380 papers in peer-reviewed international journals, and 12 textbooks and encyclopaedia. He holds 9 (co)editorships of scientific journals and book series, 10 patents, and was Founder and Editor-in-Chief of the Wiley-Blackwell journal “CLEAN – Soil, Air, Water” for ten years until retirement (2016).

MÜSİLAJ BENZERİ ÇEVRE FELAKETLERİNİ ÖNLEMEDE PASİF BİOFİLM ÖRNEKLEYİCİLER KULLANARAK KİRLİLİK YÜKÜNÜN AZALTILMASI

Özet

Kirlilik yükü artan evsel ve endüstriyel atıksu deşarjları alıcı ortam su kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Marmara Denizinde görülen müsilaj sorunu, deniz suyu kalitesindeki bozulmanın ulaştığı boyutu ortaya koymaktadır. Müsilaj ve benzeri su kalitesi sorunlarının çözümü için atıksu deşarjlarının kontrol altına alınması gerekmektedir. Geleneksel numune alma yöntemleri, deşarj su kalitesinin zamansal değişimini ortaya koyamamaktadır. Biyofilm örnekleyici (ahtapot) yöntemi, deşarjların zamansal değişimini izleme fırsatı sunarak geleneksel numune alma yöntemlerinin dezavantajlarını ortadan kaldırmaktadır. Almanya’da uzun yıllardır başarılı bir şekilde kullanılan ahtapot ile biyofilm numune alma yöntemi, uygulanması kolay, ekonomik ve etkili bir yöntemdir. Yöntemin Türkiye’deki ilk uygulaması Konya’da gerçekleştirilmiş ve karar alma süreçlerine önemli katkı sağlamıştır. Bu çalışmada önerilen yöntem Marmara Denizine deşarj yapan sanayi kuruluşları ve atıksu arıtma tesislerinin çıkış suyu kalitesinin izlenmesi için etkin bir şekilde kullanılabilir. Yönetmelik sınırları üzerinde olan kaçak deşarjların izlenerek gerekli yaptırımların uygulanması Marmara Denizi su kalitesinin iyileşmesini sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler:

Kirlilik yükü, Pasif örnekleyiciler, Kirlilik önleme,
Atıksu sistemi izleme, Akarsu kirliliği izleme.

PREVENTION OF MUCILAGE LIKE DISASTERS BY USING PASSIVE BIOFILM SAMPLERS TO REDUCE POLLUTION LOAD

Abstract

Domestic and industrial wastewater discharges with increasing pollution load adversely affect the water quality of the receiving water bodies. The mucilage problem in the Marmara Sea reveals the extent of the deterioration in sea water quality. In order to solve mucilage and similar water quality problems, wastewater discharges should be controlled. Conventional sampling methods cannot reveal the temporal variation of discharge water quality. The biofilm sampler (octopus) method provides the opportunity to monitor the temporal variation of discharges, eliminating the disadvantages of traditional sampling methods. The octopus biofilm sampling method, which has been used successfully in Germany for many years, is an easy, economical and effective method. The first application of the method in Turkey was carried out in Konya and contributed significantly to the decision-making processes. The method proposed in this study can be used effectively to monitor the effluent quality of industrial establishments and wastewater treatment plants that discharge into the Marmara Sea. Monitoring the illegal discharges above the regulation limits and applying the necessary sanctions will improve the water quality of the Marmara Sea.

Keywords:

Pollution load, Passive samplers, Pollution prevention,
Monitoring wastewater systems, Monitoring streams.

Giriş

Marmara Denizinde etkili olan müsilaj, denizlerimiz için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Deniz yüzeyini ve tabanını kaplayarak deniz ekosistemini etkileyen müsilaj, halk arasında deniz salyası olarak da bilinmektedir. Yeterli ölçüde arıtılmadan Marmara Denizine deşarj edilen evsel ve endüstriyel atıksuların yüksek azot ve fosfor içeriği ve küresel ısınma kaynaklı deniz suyu sıcaklığındaki artış müsilaj oluşumunun temel nedenleridir. Besi maddesi olarak nitelendirilen azot ve fosfor, fitoplankton oluşumunu artırmaktadır. Azot, atıksularda organik-azot, amonyak-azotu, nitrit ve nitrat olarak bulunabilmektedir. Genel olarak arıtılmamış atıksularda organik-azot ve amonyak-azotu formlarında bulunmaktadır. Fosfor ise atıksularda polifosfatlar ve organik bağlı fosfor olarak bulunur. Fitoplankton gelişimi için bulunması gereken besin maddeleri karbon, azot ve fosfordur. Bir su ortamına fosfor girdisi olması durumunda doğal mekanizmalarla suda bulunan karbon ve azot sayesinde mikroorganizma gelişimi gerçekleşmektedir. Bu nedenle genel olarak fosfor, sınırlayıcı element olarak kabul edilir.

Marmara Denizi kıyısında bulunan yerleşimlere ait atıksular ve sanayi kaynaklı atıksular bir ölçüde arıtılarak denize deşarj edilmektedir. Yeterli düzeyde arıtılmayan atıksuların alıcı su ortamına deşarjı, Marmara Denizi ekosistemine ciddi zararlar vermektedir. Kirlilik yükü yüksek atıksuların deşarjına devam edilmesi alıcı su ortamında canlı yaşamının sona ermesi, oksijensiz şartların gelişmesi, yeni türlerin ortaya çıkması ve bataklık gazlarının oluşmasıyla sonuçlanabilir.

Evsel ve endüstriyel atıksular çeşitli organik ve inorganik kirlilik yükü taşımaktadır. Ağır metaller, kalıcı organik kirleticiler, doğal organik kirleticiler, azot ve fosfor alıcı su ortamı üzerinde birçok olumsuz etki yaratan kirleticilerdendir. Atıksu arıtma tesislerinde (AAT) ikincil arıtıma seviyesine kadar arıtılan atıksuların kirlilik yükü yeterli ölçüde azaltılamamaktadır. Organize sanayi bölgelerinde yer almayan ve kanalizasyon sistemine deşarj yapan birçok sanayi kuruluşu kirlilik yükünü artırmaktadır. Marmara Denizi su kalitesinin korunması için evsel ve endüstriyel atıksuların belirlenen standartları sağlayacak seviyede arıtılması kaçınılmaz bir durumdur.

Atıksu deşarj limitleri alıcı ortam tipi ve kanalizasyon sistemine deşarj edilme durumuna göre değişmektedir. Bazı endüstriyel kuruluşlar AAT yatırımı yapmaktan kaçınmakta veya kurulu AAT'ni uygun şekilde işletmemektedir. Kentel AAT'leri için de benzer bir durum söz konusu olabilmektedir. Kanalizasyon sistemine kaçak deşarj yapan endüstriyel kuruluşlar kentel AAT yükünü artırmakta ve bu nedenle hedeflenen çıkış suyu kalitesi sağlanamamaktadır. AAT'lerin kirlilik yüküne uygun tasarlanmaması ve doğru şekilde işletilmemesi de deşarj limitlerinin aşılmasıyla sonuçlanmaktadır.

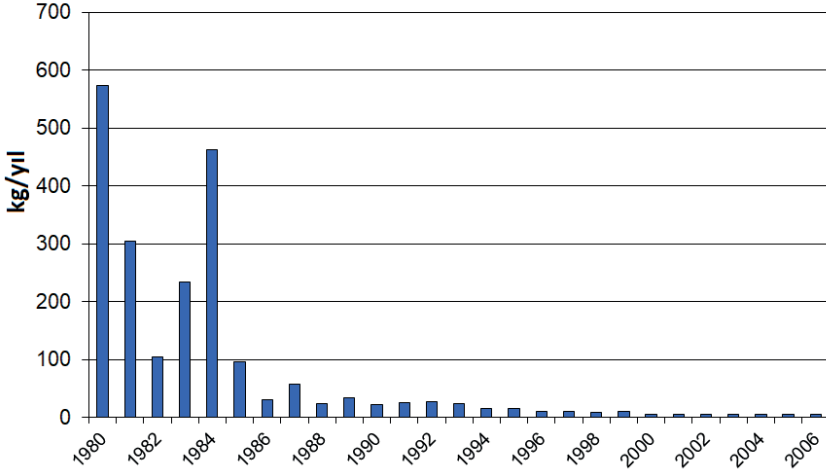
Deşarjların yönetmeliklerle belirlenen seviyede tutulması amacıyla AAT yatırımlarının yapılması ve cezai yaptırımların uygulanması kaçınılmazdır. Deşarj

şartlarının sağlanması için kentsel AAT çıkışları ve yerleşimlerin kanalizasyon sistemlerine deşarj yapan sanayi kuruluşlarının atıksularının izlenmesi gerekmektedir. Bu izlemelerin yapılması için anlık, 2 veya 24 saatlik kompozit numuneler alınmaktadır. Ancak, bazı sanayi kuruluşları deşarj izlemesinin yapılmadığı saatlerde kaçak deşarj yapabilmektedir. Kentsel AAT'ler de yönetmelik sınırları üzerinde deşarj yapabilmektedir. Bu durumda kaçak deşarjları tespit edebilecek bir yonteme ihtiyaç duyulmaktadır.

Geleneksel su örnekleme yöntemleriyle kanalizasyon sistemine dolaylı deşarjları belirlemek mümkün olmamakla birlikte, biyofilm toplayıcılar uzun vadeli bir kompozit örnekleme için uygun araçlardır. Bu çalışmada önerilen ahtapot ile biyofilm toplama tekniği, geleneksel su örnekleme yöntemlerinin yanı sıra mevcut pasif örnekleme yöntemlerine de iyi bir alternatiftir (Alvarez vd., 2005, 2014).

Almanya'da 36 yerleşim bölgesinde yaklaşık 25 yıldır biyofilm toplayıcı ahtapotlar ile izleme yapılmaktadır. Kaçak deşarjların tespitini sağlayan bu yöntem basit, ucuz ve etkili bir yöntem olması dolayısıyla ülkede yaygınlaşmaktadır. Yöntem ilk defa Bielefeld'de 1994 yılında geliştirilmiş ve 1996 yılında rutin izlemeler başlatılmıştır. 2005 yılında bir bilgisayar yazılımı ile verinin değerlendirilmesi kolaylaştırılmıştır. Bu yazılım sayesinde numune noktalarıyla ilgili tüm bilgiler, noktaların koordinatları, daha önceki analiz sonuçları, civardaki sanayi tipleri gibi birçok bilgi yönetilebilmektedir. Uygulama ilk olarak ağır metaller ve Poliklorlu Bifenil (PCB) bileşiklerinin izlenmesi için kullanılmış, daha sonra diğer kirletici parametrelerin izlenmesi için de uygun olduğu tespit edilmiştir. Metodun modifiye edilmesi ile yüzeysel su kalitesinin izlenmesinde de kullanılması mümkün olmuştur.

Almanya'da kaçak deşarj tespiti ahtapot ile biyofilm örnekleme yöntemi geliştirilmeden önce kanalizasyon sisteminden biyofilm sıyırma yapılarak numune alınması yöntemi ile yapılmaktaydı. Kullanılan bu yöntem de deşarjların tespiti ve önlenmesinde oldukça başarılı sonuçlar sağlamıştır. Şekil 1'de 1980-2006 yılları arasında Braunschweig'da biofilm örneklerinde analiz edilen kadmium (Cd) miktarındaki azalma verilmiştir. Cd miktarında sağlanan önemli düşüş yöntemin etkinliğini ortaya koymaktadır. Kanal sıyırma yönteminde alınan biyofilm numunelerinde geçmiş kirletici birikiminin analiz sonuçlarını etkileyebilmekteydi. Uygulanan bu yöntemin zorluğu ve dezavantajları nedeniyle biyofilm toplayıcıların kullanılması düşünülmüştür. Yapılan çalışmalar ahtapot üzerindeki biyofilmin kanal kenarlarında oluşan biyofilme benzer yapı içerdiğini ortaya koymuştur. Atıksuda bulunan kirleticilerin su ve biyofilm arasında denge halinde kaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 1. Braunschweig’da biyofilm örneklerinde analiz edilen kadmium (Cd) miktarındaki azalma

Almanya’da uzun yıllardır uygulanan bu izleme sistemi model alınarak, Türkiye’de ilk defa Konya’da 2013 yılında ahtapot ile kaçak deşarj izlemesine başlanmıştır. Bu amaçla kanalizasyon sistemindeki kritik noktalara yerleştirilen ahtapotlar aylık periyotlarla izlenmiştir (Aydın vd., 2020). Organize sanayi bölgesi içinde olmayan ve kentin çeşitli bölgelerine yayılmış olan sanayi kuruluşlarının izlenmesi sonucunda galvanizleme yapan sanayi kuruluşlarının yüksek metal deşarjı yaptığı tespit edilmiş ve bu kuruluşlar için bir organize sanayi bölgesi kurularak ortak bir arıtma tesisi kurulmuştur. Karar alma süreçlerinde önemli katkı sağlayan yöntemin avantajları Konya’da yapılan uygulama ile ortaya konmuş ve yöntem Marmara bölgesindeki diğer belediyelerin de ilgisini çekmiştir. Bu çalışmada, Marmara Denizinde oluşan musilaj ve benzeri çevre felaketlerini önlemek amacıyla atıksu deşarjlarının pasif biyofilm örnekleyici (ahtapot) kullanımı ile izlenmesi önerilmektedir. Geleneksel örnekleme yöntemleri yalnızca belirli bir zamanda veri sağlarken, biyofilm üzerindeki pasif örnekleme, daha uzun bir zaman aralığında çok sayıda ayrı örneklerden oluşan bir veri sunmaktadır.

Pasif Örnekleyciler

Geleneksel örnekleme yaklaşımları, hedef matriksin bir kısmının toplanmasından oluşur. Su ve atıksu numunesi almada kullanılan geleneksel yöntemler anlık ve 2/24 saatlik numune alma fırsatı sunmakta ve bu şekilde alınan örnekler, örnekleme süresi içerisindeki su karakterini yansıtmaktadır. Ancak, geleneksel yöntemler daha uzun süreli izleme için uygun değildirler (MacLeod vd., 2007). Ayrıca, örnekleme yönteminin başarısına bağlı olarak bazı olası hatalar içerebilmektedirler. Numunenin heterojenliği, kontaminasyon veya analit kayıpları ve temsiliyetin olmaması geleneksel örneklemeden kaynaklanan hatalara verilebilecek örneklerdir (Madrid & Zayas, 2007).

Numune alınan en önemli özelliği, su kaynağının bütünü temsil etmesidir. Bazı mikro kirleticilerin çözünürlüğü düşük olduğundan, suda çok düşük konsantrasyonlarda bulunurlar. Bu nedenle, numune alınan su hacimleri bazen temsili olmayabilir veya mikro kirleticileri tespit etmek için çok küçük olabilir. Pasif örnekleyiciler, diğer birçok bileşiğe ek olarak AB Su Çerçeve Direktifinin Öncelikli Kirletici Listesinde yer alan organik kirleticilerin neredeyse tümünü izlemeye olanak sağlar. Neredeyse tüm geleneksel örnekleme yöntemleri yalnızca örnekleme anında veri sağladığından, pasif örnekleyiciler, geleneksel örneklemenin dezavantajlarını ortadan kaldıran bir alternatif sunarken uzun süreli örnekleme periyotları boyunca kimyasalların seviyelerini izleme fırsatı da sunmaktadır. Ayrıca düşük maliyetleri, kolay kullanımları ve sahaya özgü düşük gereksinimleri çeşitli avantajlar sağlar.

Sularda bulunan organik bileşikler, ağır metaller, farmasötikler, pestisitler, alev geciktiriciler vb. örnekleme için çok çeşitli pasif örnekleyiciler geliştirilmiştir. Chemcatcher, Polar Organik Kimyasal Bütünleştirici Örnekleyici (POCIS), yarı geçirgen membran cihazı (SPMD) ve seramik dozimetrelere pasif örneklemede kullanılan cihazlara örneklerdir (Greenwood, Mills & Vrana, 2007; Alvarez vd., 2007). Bununla birlikte, bu çalışmada önerilen ahtapot biyofilm örnekleyiciler, yukarıda bahsedilen ticari olarak temin edilebilen pasif örnekleyicilere kıyasla nispeten daha ucuzdur. Ayrıca ahtapot biyofilm örnekleyicilerin kullanımı için ek altyapı yatırımı gerekmez.

Su ile temas eden tüm yüzeyler mikroorganizmalar tarafından kolonize edilebilir. Yeryüzündeki çoğu mikroorganizma, filmler, granüller veya çamur gibi agregalarda yaşar. Bu yaşam formuna "biyofilm" adı verilir. Biyofilmler, yapılarına göre kirletici maddeleri bünyelerine katabilir, hızlı büyür ve ayrıca kolay numune alma imkanı sunar. Böylece, sudaki mikrobiyal topluluklar, kirleticiler için bir birikim biyo-izleyicisi olarak kullanılabilir.

Biyofilm oluşumunun başarısı, hücre dışı polimerik maddelerden (EPS) oluşan matris sayesinde mümkündür. Biyofilmlerdeki mikroorganizmalar, çevrelerini oluşturan kendi ürettikleri hidratlı EPS matrisinde yaşarlar. EPS, polisakaritleri, proteinleri, nükleik asitleri ve lipidleri içerir; biyofilmlerin mekanik stabilitesini sağlarlar, yüzeylere yapışmalarına aracılık ederler ve biyofilm hücrelerini birbirine bağlayan ve geçici olarak hareketsiz hale getiren yapışkan, üç boyutlu bir polimer ağı oluştururlar. EPS, harici bir sindirim sistemi olarak tanımlanabilecek mikroorganizmaların ortaya çıkan bir özelliği olarak düşünülebilir. EPS'deki sorpsiyon bölgeleri katyonik gruplardır (NH_4^+ , proteinler, amino şekerler); anyonik gruplar ($-\text{COO}^-$, HPO_4^- , SH^- , SO_4^{2-} , üronik asitler, proteinler, hümikler); polar gruplar (hidrojen bağı ($-\text{OH}$) grupları, polisakaritler, hümik asitler) ve polar olmayan gruplar (aromatik amino asitler, polifenoller). Metal bağlama mekanizmaları iyon değişimi, kompleksleşme ve çökelmedir ve organik bağlanma mekanizmaları genellikle hidrofobik etkileşimlerdir (Flemming & Wingender, 2010; Flemming, 2011).

Materyal ve Metot

Pasif biyofilm örnekleyici ahtapot, yeterli miktarda biyofilm geliştirmek için yaklaşık bir metre uzunluğunda yapılmış, sekiz ila on kollu polietilen bir malzemedir (Şekil 2). Ahtapot halatı kanalizasyon sistemi üzerindeki kontrol bacalarına asılmaktadır. Ahtapot üzerinde oluşan biyofilmin sıyırılması için özel bir aparat kullanılmaktadır. Biyofilm örnekleri kaplara aktarılarak analiz edilene kadar 4 °C'de buzdolabında saklanmaktadır.

Ahtapot üzerinde biyofilm oluşumu birkaç hafta içinde gerçekleşmektedir. Düşük miktarda organik madde içeren sularda ahtapot üzerinde biyofilm oluşumu daha uzun zaman alabilmektedir. Bu nedenle, yüzeysel suların izlenmesinde daha önce agar ortamına batırılmış ve biyofilm büyümesi sağlanmış tüp örnekleyiciler kullanılmaktadır (Şekil 3).

Metodun ilk basamağı olarak örnekleme noktalarının tespiti gerekmektedir. Örnekleme noktalarından alınan biyofilm örneklerinden elde edilen analiz sonuçları her bir nokta için referans değerini belirlenmesini sağlamaktadır. Bu amaçla histogramlar kullanılmakta ve referans değerden sapan değerler örnekleme yapılan noktaya deşarj yapıldığını göstermektedir (Şekil 4). Deşarj yapıldığı tespit edilen noktanın memba tarafına doğru sanayi kuruluşları incelenerek gerekirse yeni noktalara biyofilm örnekleyiciler yerleştirilmelidir. Bu metot ile uzun yıllar ortalamasıyla elde edilmiş veri kullanılarak referans değerler normalize edilmektedir.

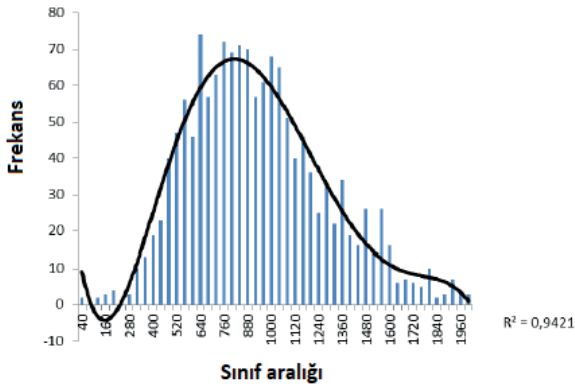
Bielefeld'de ağır metal izlemesi yapılan Heepen bölgesinde biyofilm analiz sonuçlarının referans değerlerle kıyaslandığı histogramlar Şekil 5'te verilmiştir. İzlenen noktaların bir kısmında referans değerleri aşan Civa (Hg) deşarjı dikkat çekmektedir.



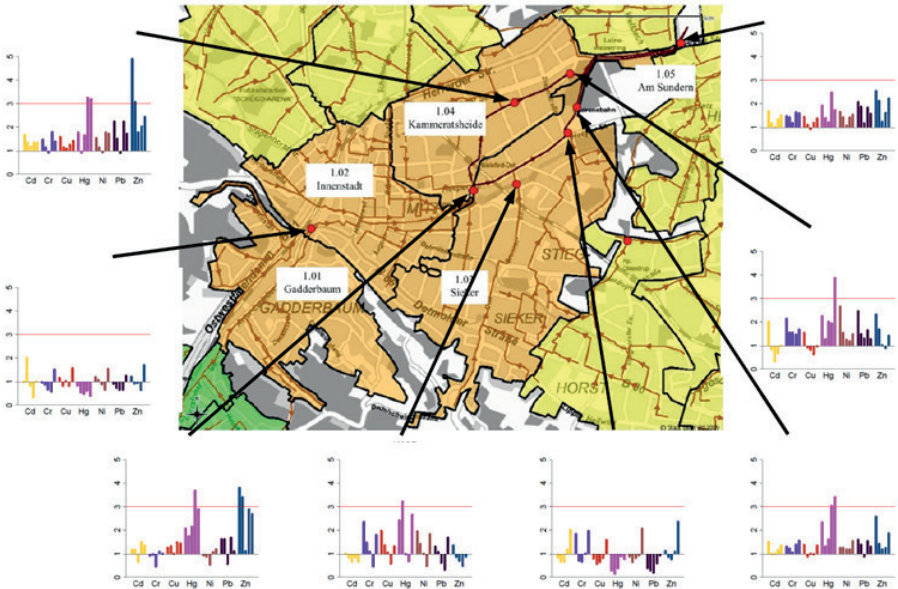
Şekil 2. Pasif biyofilm örnekleyici ahtapot



Şekil 3. Düşük organik madde yüküne sahip yüzeysel sular için tüp örnekleyiciler



Şekil 4. Referans değerden sapan değerlerin izlenmesinde kullanılan histogram (Aydın vd., 2020)



Şekil 5. Bielefeld'de ağır metal izlemesi yapılan Heepen bölgesinde biofilm analiz sonuçlarının referans değerlerle kıyaslandığı grafikler (Aydın vd., 2020).

Konya’da Pasif Biyofilm Örnekleyici Ahtapot ile Kaçak Deşarjların Tespiti

Çalışmanın birinci basamağında çeşitli endüstriyel faaliyetlerin olduğu 9 noktaya ve evsel yerleşimlerin olduğu 1 noktaya ahtapotlar yerleştirilmiştir (1. Set örnekleme noktaları). Kanalizasyon sisteminde ahtapotların yerleştirildiği numune noktaları akış yönü ve sanayi tesislerinin konumu dikkate alınarak belirlenmiştir. Endüstriyel deşarj gerçekleştirilmeyen; evsel atıksuların bulunduğu noktaya yerleştirilen biyofilm toplayıcıdan alınan örnekler evsel nitelikli atıksu referans değerlerin belirlenmesini sağlamıştır. Çalışmanın ikinci basamağında, yüksek deşarj olduğu tespit edilen noktaların membamdaki sanayi kuruluşlarının kanalizasyona deşarj yaptığı noktalara (2. Set örnekleme noktaları) ahtapotlar yerleştirilmiştir (Çiçek, 2016; Bedük vd., 2016). Örnekleme noktalarına deşarj yapan kuruluşlara ait bilgiler Çizelge 1’de verilmiştir.

Numune noktaları hem biofilm örnekleri, hem de atıksu örnekleri alınarak izlenmiştir. Ahtapotlar genel olarak 4 haftalık periyodların sonunda özel sıyrıcı aparat kullanılarak sıyrılmıştır. Alınan biyofilm ve atıksu örnekleri aşağıda belirtilen parametreler bakımından izlenmiştir.

İzlenen kirletici parametreler;

Kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu), nikel (Ni), çinko (Zn), civa (Hg).

Çizelge 1. Konya’da biyofilm örnekleme noktalarına deşarj yapan kuruluşların faaliyet alanları (Aydın vd., 2020).

| Numune noktası | Numune noktasındaki faaliyet alanları |
|--------------------|--|
| Birinci Set | |
| 1 | Evsel atıksu |
| 2 | Araç parça yıkama sanayi, halı yıkama, araç boyama |
| 3 | Tır bakım sanayi parça ve yağ değişimi, oto yıkama, galvaniz |
| 4 | Oto yıkama, mobilya ve marangozlar sanayi |
| 5 | Oto yıkama, galvaniz |
| 6 | Marangoz sanayi, oto sanayi |
| 7 | Araç parçaları yıkama |
| 8 | Galvaniz, bakır kaplama, döküm |
| 9 | Boyacılar, alüminyum ve çinko kaplama |
| 10 | Plastik geri dönüşüm, galvaniz, emaye ve döküm sanayi |
| İkinci Set | |
| 3.1. | Galvaniz |
| 3.2. | Supab imalatı |
| 6.1. | Galvaniz |
| 10.1. | Döküm |

Biyofilm örnekleri mikrodalga özütleme tekniği ile hazırlandıktan sonra, atıksu örnekleri ise gerekli ön işlemler yapıldıktan sonra ICP-OES (Optima 2100 DV) kullanılarak analiz edilmiştir. İzleme yapılan 9 endüstriyel nokta ve 1 evsel nokta için toplam 113 örnek alınmıştır. Evsel ve endüstriyel bölgeler için referans değerler belirlenmiştir. Konya için hesaplanan referans değerlerin Braunschweig ve Bielefeld için hesaplanan referans değerlerin çok üstünde olduğu görülmüştür (Çizelge 2). Bu durum, kanalizasyon sistemine yüksek kirlilik yükünün bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 2. Konya, Braunschweig ve Bielefeld şehirleri için ağır metal referans değerleri (Aydın vd., 2020).

| Braunschweig referans değerleri (mg/kg.kuru madde) (2010-2012 ortalaması) | | | | | | |
|--|-----|-----|----|----|-----|-----|
| Cr | Cu | Zn | Ni | Pb | Hg | Cd |
| 50 | 114 | 718 | 30 | 44 | 2.5 | 0.8 |

| Bielefeld referans değerleri (mg/kg.kuru madde) (1500 rutin nokta) | | | | | | |
|---|-----|-----|----|----|-----|-----|
| Cr | Cu | Zn | Ni | Pb | Hg | Cd |
| 24 | 250 | 800 | 17 | 34 | 0.7 | 0.6 |

| Konya referans değerleri (mg/kg.kuru madde) (9 endüstriyel nokta ortalaması) (2013-2016) | | | | | | |
|---|-----|------|-----|-----|----|-----|
| Cr | Cu | Zn | Ni | Pb | Hg | Cd |
| 434 | 360 | 1872 | 129 | 128 | 8 | 0.7 |

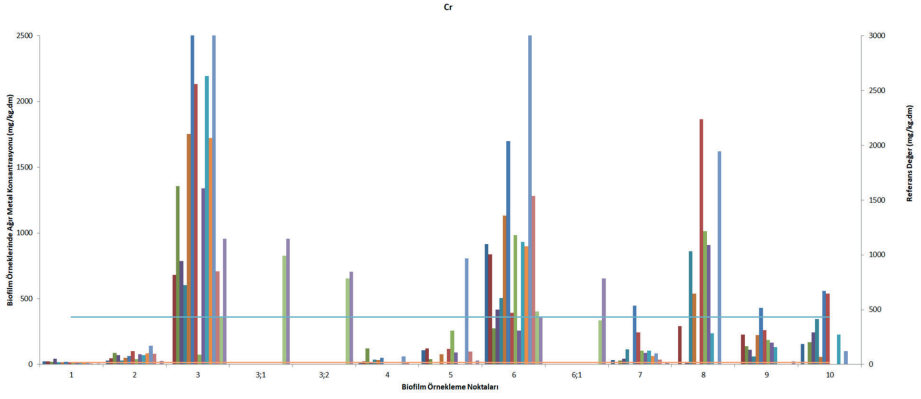
| Konya evsel bölge referans değerleri (mg/kg.kuru madde) (2013-2016) | | | | | | |
|--|----|-----|----|----|----|-----|
| Cr | Cu | Zn | Ni | Pb | Hg | Cd |
| 19 | 29 | 103 | 36 | 9 | 12 | 0.2 |

İzlenen 9 noktadan 3. 6. ve 10. örnekleme noktalarında sürekli ve yüksek ağır metal deşarjı tespit edilmiştir. 3. örnekleme noktası olarak belirlenen noktada tır bakım sanayi, yağ değişimi, oto yıkama ve galvaniz kaplama endüstrileri atıksularını içermektedir. 3. noktada yapılan biyofilm analizleri sonucunda bu noktada Cr, Zn ve Ni deşarjı olduğu tespit edilmiştir. 3.1 no'lu noktada yapılan izleme ile deşarj yapan tesis tespit edilmiştir. 3 No'lu örnekleme noktasına ait histogram Şekil 6'da verilmiştir.

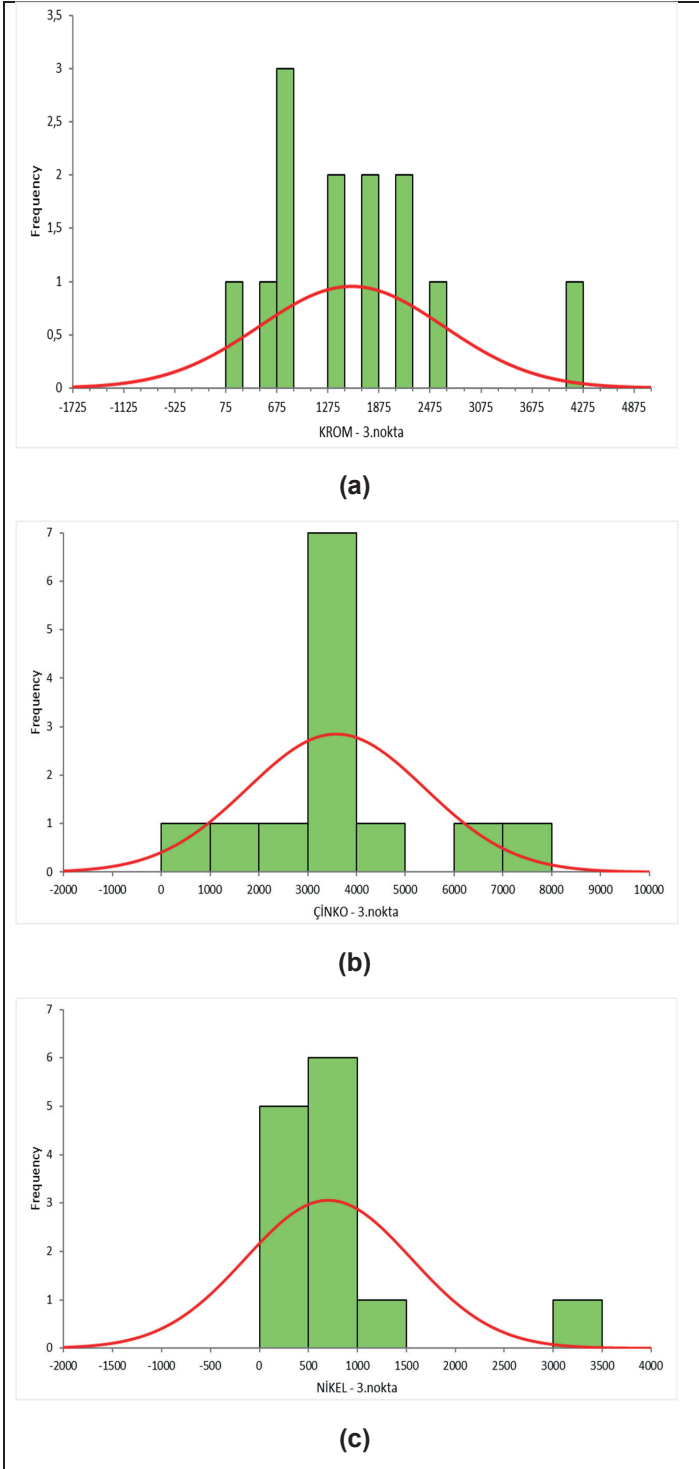
6. noktada yapılan biyofilm analizleri sonucunda bu noktada Cu ve Zn deşarjı olduğu tespit edilmiştir. Bu noktaya deşarj yapan kuruluşların faaliyetleri değerlendirildiğinde bir galvaniz tesisi mansabına biyofilm toplayıcı yerleştirilmesi uygun bulunmuştur. Bu noktada deşarj kaynağının bulunması amacıyla 6.1 no'lu örnekleme noktası belirlenmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda Zn deşarjının söz konusu olduğu ortaya konmuştur.

10. noktada yapılan biyofilm analizleri sonucunda bu noktada Cu deşarjı olduğu tespit edilmiştir. Alman atıksu örneğinde de Cu değerinin KOSKİ yönetmelik sınır değeri olan 2000 mg/L'den yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. Bu noktada da deşarj kaynağının bulunması amacıyla örnekleme noktasının membama doğru yeni örnekleme noktaları belirlenmiştir.

Biyofilm örnekleme noktalarında izlenen ağır metallere birisi olan Cr'a ait analiz sonuçları ve referans değerden sapma Şekil 7'de verilen grafikte net olarak görülebilmektedir. Özellikle 3 numaralı izleme noktasındaki sapma dikkat çekicidir.



Şekil 7. Konya'da biyofilm örnekleme noktalarında Krom'a (Cr) ait analiz sonuçları (Aydın vd., 2020).



Şekil 6. Konya'da 3 No'lu örnekleme noktasında Cr, Zn ve Ni histogramları

Sonuç ve Öneriler

Numune alma, su kütlelerinin izlenmesinde en önemli adımdır. Geleneksel su örnekleme yöntemleri ile kanalizasyon sistemine dolaylı deşarjları belirlemek mümkün olmamakla birlikte, biyofilm toplayıcılar uzun süreli kompozit örnekleme için iyi araçlardır. Örnekleme süresi boyunca, ahtapot yüzeyinde biriken biyofilm, izlenen suyun içinde bulunan herhangi bir partikül veya çözünmüş kirleticiyi içermektedir. Bu çalışmada önerilen yöntem Almanya'da birçok şehirde ve Konya'da uygulanmış ve iyi sonuçlar alınmıştır. Bu durum diğer belediyeler ve organize sanayi bölgeleri için iyi bir model olabilir. Kaçak deşarj yapan tesislerin tespiti bu kuruluşlar ile müzakere şansı da yaratmaktadır. Ayrıca sanayi kuruluşlarının ve AAT'lerin izlenmesi, yasal düzenlemelere uyma konusunda bir baskı unsuru oluşturmaktadır. Biyofilm örnekleme için ahtapot kullanılarak Marmara Denizine deşarj yapan sanayi kuruluşları, evsel AAT'ler, organize sanayi bölgelerinin AAT'leri ve Marmara Denizine dökülen akarsulardaki kirlilik yükü değişimi izlenebilir. Uygulanacak yaptırımlar Marmara Denizine giren kirlilik yükünün azaltılmasını sağlayacaktır. Biofilm toplayıcı ahtapot yöntemi, Marmara Denizinde müsilaj ve benzeri diğer felaketlerin önüne geçmede etkili olacaktır, ucuz, basit ve ilave yatırım gerektirmeyen bir metot olarak önerilmektedir.

Kaynakça / References

- Alvarez, D. A., Huckins, J. N., Petty, J. D., Jones-Lepp, T., Stuer-Lauridsen, F., Getting, D. T., Goddard, J. P., ve Gravell, A. (2007). Tool for monitoring hydrophilic contaminants in water: polar organic chemical integrative sampler (POCIS). *Comprehensive Analytical Chemistry*. 48; 171-197.
- Alvarez, D., Stackelberg, P., Petty, J., Huckins, J., Furlong, E., Zaugg, S., ve Meyer, M. (2005). Comparison of a novel passive sampler to standard water-column sampling for organic contaminants associated with wastewater effluents entering a New Jersey stream. *Chemosphere*. 61(5): 610-622.
- Alvarez, D.A., Maruya, K.A., Dodder, N.G., Lao, W.J., Furlong, E.T., ve Smalling, K.L. (2014). Occurrence of contaminants of emerging concern along the California coast (2009-10) using passive sampling devices. *Marine Pollution Bulletin*. 81(2): 347-354.
- Aydın M. E., Bedük F., Aydın S., Koyuncu S., Genut G., ve Bahadır M. (2020). Development of biofilm collectors as passive samplers to control indirect industrial discharges into sewerage systems - A novel wastewater monitoring method. *Environmental Science and Pollution Research*, 27:8199-8209.
- Bedük, F., Aydın M.E., Aydın S., Çiçek Ü., Koyuncu S., & Bahadır M., (2016). Konya'da Endüstriyel Kaçak Deşarjların Ahtapot Sistemi ile Tespiti. *Çevre Bilim ve Teknoloji Teknik Dergisi*. 1; 109-125.
- Çiçek Ü., (2016). Konya Kanalizasyon Sistemine Kaçak Deşarjların Biyofilm Toplayıcı Ahtapot Kullanılarak İzlenmesi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği ABD*.
- Flemming, H.C., ve Wingender, J., (2010). The biofilm matrix, *Nature Reviews; Microbiology, Macmillan Publishers Limited*. 8; 623-633.
- Flemming, H.C., (2011). The perfect slime. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 86; 251-259.
- Greenwood, R., Mills, G., ve Vrana, B. (2007). Passive sampling techniques in environmental monitoring. *Elsevier Science*, 48; 1-453.

- MacLeod, S. L., McClure, E. L., ve Wong, C. S. (2007). Laboratory calibration and field deployment of the polar organic chemical integrative sampler for pharmaceuticals and personal care products in wastewater and surface water. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 26(12): 2517-2529.
- Madrid, Y., ve Zayas, Z. P., (2007). Water sampling: Traditional methods and new approaches in water sampling strategy. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 26(4): 293-299.