

**TEK HÜCRE-MİKROORGANİZMA BAZLI
PROTEİN KAYNAKLARI**

SINGLE CELL PROTEIN SOURCES

Berat Zeki Haznedaroğlu

Atıf Künyesi: Haznedaroğlu, B. Z. (2024). Tek Hücre-Mikroorganizma Bazlı Protein Kaynakları. Şahin, K. (Ed.), *Alternatif Gıda Kaynakları* (s. 129-142) içinde. Ankara Basım Yayın

TEK HÜCRE-MİKROORGANİZMA BAZLI PROTEİN KAYNAKLARI

Dr. Öğr. Üyesi Berat Zeki HAZNEDAROĞLU
Boğaziçi Üniversitesi

Özet

Tek Hücre-Mikroorganizma Proteinleri (THP), bakteriler, mayalar, mantarlar ve algler gibi mikroorganizmalardan elde edilen proteinlerdir. Bu mikroorganizmalar, biyoreaktörler kullanılarak kontrollü şartlar altında çoğaltılır ve protein açısından zengin biyokütle olarak işlenerek son ürünlere dönüştürülürler. THP üretimi için kullanılan yaygın mikroorganizmalar arasında *Limnospira*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Fusarium venenatum*, *Candida* ve *Chlorella* türleri bulunur. Bu türler, yüksek büyüme performansı, yüksek protein içeriği ve zorlu koşullar altında gelişme yetenekleri gibi özelliklerine göre seçilirler. THP'ler hızla artan dünya nüfusunun sürdürülebilir şekilde beslenmesi için gerekli olan tüm temel ve esansiyel amino asitleri içeren yüksek protein içeriklerine sahiptir. THP'ler endüstriyel et üretimi ve soya gibi geleneksel protein kaynaklarına göre önemli miktarda arazi, gübre, su ve yem gibi kaynaklar gerektirmeyen, çevresel açıdan daha sürdürülebilir alternatiflerdir. Ancak, THP'lerin daha yaygın olarak kullanımı ile ilgili zorluklar bulunmakta olup insan tüketimi için regülasyon düzenlemeleri, tüketicilerin bakış açısı ve kabulü, büyük ölçek üretim verimliliğinin düşük olması ve ARGE maliyetlerinin yüksek olması gibi zorluklardır. Bunlara ilaveten, üretim sırasında patojen kontaminasyon riski ve olası toksin bulaşı THP üretiminde güvenlik açısından dikkat edilmesi gereken konulardır. Bu çalışma Boğaziçi Üniversitesi Mikroyosun Biyoteknolojileri ARGE Birimi'nden THP üzerine yapılan çalışmalar ile Boğaziçi Üniversitesi mikroalg biyorafinerisinde üretilen THP örneklerini mevcut literatür bilgileri ile harmanlanarak kamu ve özel sektörün bilgisine sunmak amacıyla hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler

Tek Hücre Protein Kaynakları, Algal Biyoteknoloji, Alternatif Proteinler

SINGLE CELL PROTEIN SOURCES

Asst. Prof. Dr. Berat Zeki HAZNEDAROĞLU

Boğaziçi University

Abstract

Single Cell-Microorganism based Proteins (SCP) are obtained from microorganisms such as bacteria, yeasts, fungi and algae. These microorganisms are grown under controlled conditions and processed into end-products rich in proteins. The most common microorganisms used for SCP include *Limnospira*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Fusarium venenatum*, *Candida*, and *Chlorella* species. These species are selected for their characteristics, such as rapid-growth rate, high-protein content, and ability to thrive under harsh conditions. SCPs amino acids required for the sustainable nutrition of the rapidly growing world population. SCPs can be designed and optimized through various R&D activities to meet specific nutritional requirements. SCPs are more environmentally sustainable alternatives to traditional protein sources such as industrial meat and soy, and do not require significant land, fertilizer, water or feed. As grown in controlled environments, SCPs make a promising sustainable solution to meet the growing global protein. However, there are still challenges regarding common spread utilization of SCPs such as regulatory procedures for human consumption, consumers' perspective and acceptance, increasing large-scale production efficiency and high R&D costs. In addition, the risk of pathogens and possible toxin contamination are among the issues that need to be considered in terms of safety. This study aims to inform the public and private sectors by blending the studies on SCP research conducted at Boğaziçi University Microalgae Biotechnologies R&D Unit with existing literature studies as well as SCP samples produced in Boğaziçi University microalgae biorefinery.

Keywords

Single Cell Proteins, Algal Biotechnology, Alternative Proteins

GİRİŞ

Dünya nüfusunun mevcut artış hızı dikkate alındığında yakın gelecekte protein ihtiyacının sürdürülebilir bir şekilde sağlanabilmesi giderek zorlaşacağı aşikârdır. Bir çok tüketicinin protein ihtiyacı için tercih ettiği öncelikli kaynağın et ürünleri olduğu bilinmekle birlikte, et yoğun bir beslenme şeklinin kardiyovasküler hastalıklar, kanser, tip 2 diyabet dahil olmak üzere çok çeşitli olumsuz sağlık etkileriyle ilişkilendirildiği görülmektedir (Wolk, 2017). Bununla birlikte özellikle endüstriyel et üretimi küresel iklim değişikliğine sebep olan sera gazlarından metan emisyonlarını artırmaktadır. Besi hayvanı sistemlerindeki sera gazlarının ana kaynakları karbon dioksitten yaklaşık 25-30 kat daha fazla küresel ısıma yaratan enterik metandır. Enterik fermentasyon ve gübre yönetiminden kaynaklanan doğrudan emisyonlar, karbon dioksit eşdeğerleri cinsinden ölçüldüğünde, tarımsal faaliyetlerin toplam sera gazı emisyonunun yaklaşık %41'ini temsil etmektedir (Dillon vd., 2021).

Bununla birlikte kişi başına düşen mevcut et tüketimi, Dünya Kanser Araştırma Fonu'nun tavsiye ettiği haftada 500 gramdan az olan günlük alım miktarını aşmaktadır (Clinton, Giovannucci, & Hursting, 2020). Bu sebeple işlenmiş et tüketimini azaltabilecek alternatif protein kaynaklarının tüketilmesi, yaşam kalitesini düşüren ve ülkelerin sağlık sistemleri üzerinde ciddi ekonomik yük oluşturan kalp-damar ve bazı kronik rahatsızlıkların önleniminin bir yolu olabilir. Günümüzde alternatif protein kaynakları incelendiğinde; yenilebilir böcekler, bitki bazlı protein alternatifleri, kültürlenmiş et ve tek hücreli protein (THP) en önemli kaynaklar olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışmanın temel konusunu oluşturan THP'lerin üretimi, 1950'li yılların başında dünyanın bazı yerlerinde yaşanan gıda kıtlığı gibi olumsuzluklar sebebiyle artmaya başlamış ve alternatif bir çözüm olarak kabul edilmiştir. Gıda veya yem amacıyla protein elde etmek üzere tek hücreli mikroorganizmaların kullanılmasının geleneksel protein kaynaklarına göre önemli avantajları bulunmaktadır. Öncelikle tek hücreli mikroorganizmalar türlerine ve besi ortamlarına bağlı olmak üzere hızlı bir şekilde büyürler. Böylelikle arzu edilen protein üretimi daha kısa bir sürede elde edilir. Öte yandan tarım ve hayvancılık sektörünün ihtiyacı olan geniş ve verimli tarım arazileri gerektirmediğinden mikroorganizmaların üretimi çevresel açıdan daha az alan yükü ve ekolojik etki yaratmaktadır. Tarımsal faaliyetlerde kullanılan herbisit, pestisit ve diğer kimyasallar ile hayvanların hastalanmaması için tercih edilen antibiyotikler atık sular ve yüzey akışı (run-off) ile su kaynaklarını kirletme riski açısından tek hücreli mikroorganizma üretiminde yok denecek kadar azdır. Tatlı su algleri dışında tuzlu su kullanılan türler tercih edildiğinde su gereksinimi yine proteince zengin konvansiyonel tohumlara göre daha düşüktür. Son olarak tek hücreli mikroorganizmaların üretimi kontrollü reaktörler kullanılarak gerçekleştirildiğinden mevsimlik iklim şartlarından etkilenmeden üretimin devam etmesi mümkündür.

TEK HÜCRE-MİKROORGANİZMA BAZLI PROTEİN DEĞERLENDİRMELERİ

Besin İçerikleri

Protein içeriği zengin olarak bilenen temel gıda ürünleri olan et (%21), balık (%18) ve soya fasulyesi (%39) ile karşılaştırıldığında THP kaynakları daha yüksek oranda (%30-80) protein içermektedir (Fukagawa vd., 2022). Amino asit içeriklerine bakıldığında ise THP kaynakları, metiyonin, treonin ve lisin dahil olmak üzere beslenme yoluyla alınması gereken tüm esansiyel amino asitleri bulundurmaktadır (Khan vd. 2022; Pires vd. 2016; Saejung ve Salasook, 2020; Yap vd. 2022).

Endüstriyel olarak büyük ölçekte üretilen THP kaynakları incelendiğinde ise ağırlıklı olarak mikroalgler, bakteriler, maya ve mantarlar kullanılmaktadır. Bu mikroorganizma gruplarına ait örnekler besin içerikleri ile birlikte Tablo 1’de sunulmaktadır.

Tablo 1.

Ték Hücre Bazlı Protein Üretiminde Kullanılan Mikroorganizmalar

Mikroalgler	Ototrofik Bakteriler	Heterotrofik Bakteriler	Aktinomisetler	Mantarlar	Mayalar	Küfler
<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Limnospira (Spirulina)</i>	<i>Achromobacter delvacvate</i>	<i>Nocardia spp.</i>	<i>Agaricus campestris</i>	<i>Candida lipolytica</i>	<i>Aspergillus niger</i>
<i>Scenedesmus spp.</i>		<i>Bacillus megaterium</i>	<i>Thermomonospora fusca</i>	<i>Morchella crassipes</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Trichoderma viride</i>
<i>Haematococcus pluvialis</i>		<i>Cellulomonas spp.</i>		<i>Fusarium venenatum</i>	<i>Rhodotorula glutinis</i>	<i>Paecilomyces varioti</i>
		<i>Methylomonas clara</i>			<i>Torulopsis spp.</i>	
		<i>Pseudomonas spp.</i>				

Bu gruplara ait besin içerikleri ise Tablo 2’de sunulmaktadır.

Tablo 2.

Ték Hücre Bazlı Protein Üretiminde Kullanılan Mikroorganizmalara Ait Gıda Bileşenleri

Kuru madde miktarları (%)				
Gıda Bileşenleri	Algler	Bakteriler	Mayalar	Mantarlar
Protein	40-75	72-85	55-60	50-55
Serbest amino asitler	3-8	8-12	6-12	7-10
Yağ	7-20	2-3	2-6	2-8
Kül	8-20	3-7	5-10	4-19

Tablo 1’de listelenen mikroorganizmalardan bazılarının (Örn. *Chlorella vulgaris*) aynı zamanda Omega-3 gibi sağlık açısından önemli doymamış yağ asitlerine sahip olması, onlara endüstriyel üretim anlamında avantaj sağlamakta olup, biyorafineri modeli takip edilerek THP yanında tek hücre bazlı yağlar (TYP) üretimi de mümkün olmaktadır. Benzer şekilde “Spirulina” yaygın ticari ismi ile satılan *Limnospira* türü siyanobakterilerde temel aminoasitlere ek olarak fotosentetik bir pigment olan fikosiyanin proteini de bulunmaktadır (Şekil 1). Fikosiyanin, askorbik asite (Vitamin C) eş değer bir antioksidan özellik gösteren, suda çözünebilen önemli bir pigment olup, nütrasötik sektörü dışında doğal mavi rengi ile gıda boyası olarak da kullanılmaktadır.

Şekil 1.

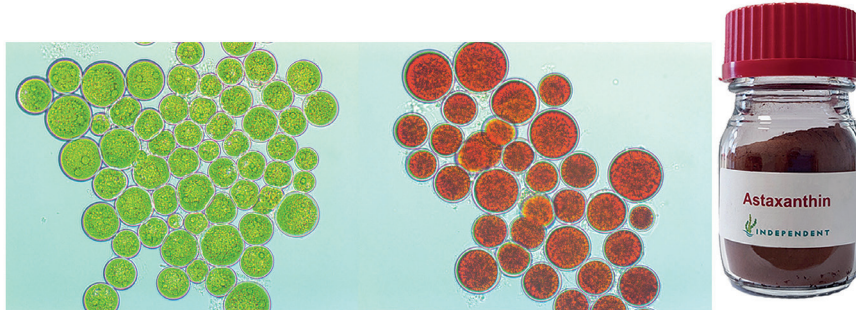
Boğaziçi Üniversitesi mikroalg biyorafinerisinde üretilen fikosiyanin örnekleri.



Doğada bilenen en kuvvetli antioksidan olan “astakzantin” molekülü ise yine Tablo 1’de listelenen önemli mikroalglerden *Haematococcus pluvialis* türünden elde edilmektedir. Keto-karotenoid grubu bir molekül olan astakzantin, *H. Pluvialis* türünün farklı stres koşulları altında (ışık, besiyeri, vb.) büyütülmesi ile elde edilmekte olup (Şekil 2), reaktif oksijen türlerini nötralize edici özellikleri sayesinde kozmetik, nütrasötik ve farmasötik sektörleri dışında su ürünleri ve balıkçılık sektöründe de kullanılmaktadır.

Şekil 2.

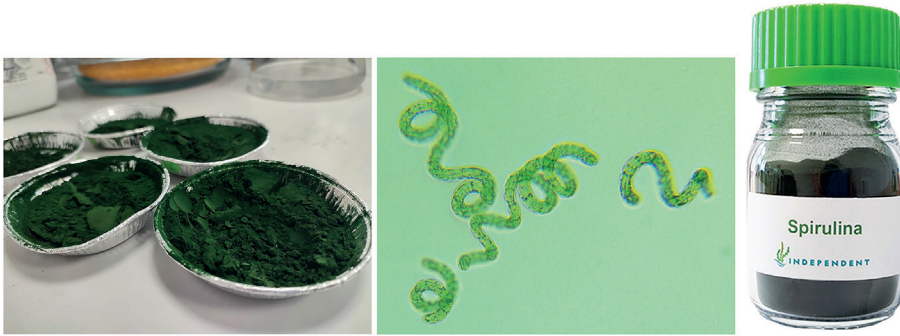
Boğaziçi Üniversitesi mikroalg biyorafinerisinde üretilen astakzantin örnekleri.



Tablo 1’de sunulan ve protein içeriği açısından zengin bir siyanobakteri olan ve yaygın ticari adıyla Spirulina olarak bilinen *Limnospira* türleri (Şekil 3), insanlar tarafından sentezlenemeyen ve mutlaka beslenme yoluyla alınması gereken esansiyel amino asitler olan histidin, lösin, izolösin, metiyonin, fenilalanin, treonin, triptofan ve valin içermektedir. Hayvansan protein kaynaklarında bulunan ancak baklagiller grubundan oldukça az olan metiyonin ile, tahıllarda az miktarda bulunan lösin amino asitlerinin Spirulina’da bulunması THP kaynağı olarak önemini göstermektedir.

Şekil 3.

Boğaziçi Üniversitesi mikroalg biyorafinerisinde üretilen Spirulina örnekleri



Mikroalg türleri arasında önemli bir protein kaynağı olan diğer bir tür ise *Chlorella vulgaris*’tir (Sharma, Singh, & Sharma, 2012; Ursu vd., 2014). *Chlorella* türleri yüksek protein içeriği dışında özellikle B1, B2, B3, B6 ve B12 vitaminleri açısından da zengin olup, antioksidan karakter gösteren sekonder metabolitler ve magnezyum, demir, kalsiyum ve çinko mineralleri bulundurmaktadır (Pratt ve Johnson, 1965; Seyfabadi vd. 2011). Boğaziçi Üniversitesi Mikroyosun Biyoteknolojileri Araştırma ve Geliştirme Birimi’nde yakın zaman önce tamamlanan çalışmada farklı fonksiyonel gıdalarda kullanımı yaygınlaşan *Chlorella vulgaris* türünün karıştırılarak kullanılabildiği ürünler olan ekmek, kurabiye, vb. pişirilmesi sırasında maruz bırakıldığı ısıl işlemlerde normalde ısıya karşı hassas bazı B vitaminlerinin pişirilmeyen örneklerle göre daha fazla açığa çıktığı, diğerlerinin ise maruz kaldıkları ısıl işleme rağmen korunduğu belirlenmiştir (Haznedaroğlu, 2023).

Üretim Modelleri

Tek hücre bazlı protein üretim sistemleri, mikroorganizmalar kullanıldığı için üretimin her aşamasının dikkatli bir şekilde kontrol edilebildiği besin ortamlarında (foto)biyoreaktörler veya fermentörler kullanılarak gerçekleştirilir. Böylelikle mikroorganizmalardan elde edilen protein bakımından zengin biyokütle oluşturulması amaçlanır. Tek hücre bazlı protein için seçilen mikroorganizmanın metabolik ihtiyaçları göz önünde bulundurularak tasarlanan reaktör sistemleri büyümeleri ve çoğalmaları için optimal koşulları sağlamak üzere tasarlanmış özel kapalı sistemlerdir.

Tek hücre bazlı protein üretim sistemleri yukarı (upstream) ve aşağı akım (downstream) prosesleri olarak iki ana üretim sistemlerinden oluşur. Yukarı akım proseslerinin temel adımları ve bileşenleri ise şu şekildedir:

Mikroorganizmaların Seçimi ve Tür/Suş Optimizasyonu:

Elde edilecek THP'nin kullanılacağı sektör dikkate alınarak hızlı büyüme, yüksek protein içeriği ve amaçlanan uygulama için uygunluk gibi faktörlere göre mikroorganizmaların seçilmesi adımını içerir.

Mikroorganizmaların Büyütülmesi:

Seçilen mikroorganizmaların üretim için en uygun suşunun aşısı kültürlerinin oluşturulması sonrası kullanılacak biyoreaktör sistemine inoküle edilerek çoğaltılması adımlarını içerir. Mikroorganizmanın metabolik gereksinimleri kapsamında (ototrofik, heterotrofik, miksotrofik, vd.) en uygun sıcaklık, pH, oksijen koşulları optimize edilerek reaktörler çalıştırılır. Mikroorganizmaların büyümesi için gerekli karbon kaynağı ile diğer makro (azot, fosfor, vb) ve mikro (vitamin ve mineraller) besin kaynakları sağlanarak mikroorganizmaların biyoreaktörler içinde yüksek verimle çoğaltılmasına ve en yüksek hücre yoğunluğuna ulaşması sağlanır.

Mikroorganizmaların büyütülmesi sonrası başlayan aşağı akım proseslerinin temel adımları ve bileşenleri ise şu şekildedir:

Hasatlama

Biyoreaktörler içindeki biyokütle, istenen hücre yoğunluğuna ve protein içeriğine ulaştığında hasat edilir. Hasat yöntemleri kullanılan mikroorganizma türüne ve biyokütle karakteristiklerine bağlı olarak değişmektedir. Hasatlama için ağırlıklı olarak filtrasyon, santrifüjleme, çökeltme veya yüzdürme teknolojileri tercih edilmektedir.

İşleme

Hasat edilen biyokütlenin protein ve (varsa) diğer katma değerli bileşenlerini (yağlar veya karbonhidratlar gibi) çıkarmak için işlenmesi adımlarını içerir. Kullanılan mikroorganizmanın hücre çeperinin yapısına göre homojenizasyon/öğütme adımları gerekebilir. Sprey veya liyofilizasyon kurutma teknikleri ile kurutulan biyokütleden elde edilecek proteinin konsantrasyonuna göre saflaştırma yöntemleri gibi teknikleri de içerebilir.

Formülasyon

Bu aşamada sektöre yönelik amaçlanan son uygulamaya bağlı olarak, THP'leri ürüne dönüştürme amacıyla formülasyon çalışmaları gerçekleştirilir. Örneğin, THP'ler ham protein olarak kullanılmak üzere protein zengin tozlara, fonksiyonel gıda ürünlerine veya küçük/büyük baş hayvan, balık yemi için granüllere dönüştürülebilirler.

Kalite kontrol

Özellikle nütrasötik, farmasötik ve gıda uygulamaları için en kritik adımlardan biri olan bu aşamada elde edilen son ürünün güvenlik ve beslenme standartlarını karşıladığından emin olunması için kalite kontrol önlemlerinin uygulanmasını içerir. Üretim aşamasında bulaş yaratması muhtemel kontaminantların tespiti, son ürünün besin içeriğinin ve diğer ilgili parametrelerin test edilmesi kalite kontrol altında gerçekleştirilir.

Güvenlik ve Uygulama Zorlukları

Tek hücre bazlı protein üretim sırasında ortak besin ortamlarını kullanan diğer mikroorganizmalardan toksinler, nükleik asitler (RNA), alerjenler, patojenler ile üretim sırasında kaynağı tespit edilmesi zor pestisitler ve ağır metaller gibi insan sağlığına zararlı olabilecek maddeler ürünlere bulaşabilir. Örnek olarak bazı nükleik asitler (pürinler) insan sağlığı için tehlikeli gut veya böbrek taşları gibi hastalıkların öncüsü olan ürik asit konsantrasyonunu (hiperürisemi) artırabilir (Ritala vd. 2017). Bu durum mikroalglerde olmamakla beraber eğer mantar veya bakteri kullanan THP üretimlerinde ribonükleaz enzimler kullanılarak veya nükleik asit azaltıcı tuz, asit veya hidroksit bazlar kullanılarak azaltılabilir.

Tek hücre bazlı protein üretiminde kullanılan bazı mantar ve bakteriler ayrıca mikotoksinler, okratoksinler ve aflatoksinler başta olmak üzere çeşitli ekzo- ve endotoksinler salgıladıklarından insan sağlığı üzerinde önemli etkileri olabilir. Örnek olarak Tablo 1’de listelenen *Fusarium*’un bazı türleri merkezi sinir sistemine zarar verebilecek mikotoksin üretebilmektedir (Desjardins ve Proctor, 2007; Desjardins, 2006).

Bir başka örnek olarak Spirulina üretiminde kullanılan besin ortamlarında rahatlıkla üreyebilen ve zararlı alg patlamalarına (HAB) sebep olan *Microcystis aeruginosa* türü siyanobakteriler tarafından üretilen mikrosistinler, üretim sırasında dikkat edilmezse son ürüne bulaşma riski yaratmaktadır (Gilroy vd. 2000; Vichi vd. 2012).

Tek hücre bazlı protein üretiminde kullanılan mikroorganizmaların besi ortamlarında bulunabilecek diğer spesifik alerjenler, kullanılan su kaynağı içinde bulunabilecek kirlenici maddeler veya zararlı maddeler, özellikle gıda atıklarından veya resmi regülasyonların limitlerinin farklı olduğu başka bir endüstriyel üretim hattından geliyorsa güvenlik ve risk sıkıntıları artabilir. Bu nedenle glikoz, dekstroz veya süktroz gibi kaynağı bilinen tek karbon kaynakları ve ototrofik mikroorganizmalar için saf karbon dioksit kaynakları değerlendirilebilir. Böylelikle sistem girdilerinde bulunabilecek zararlı maddeler en aza indirilerek insan veya hayvan tüketimine yönelik ürünler için yüksek düzeyde güvenlik sağlanabilir.

Sürdürülebilirlik ve Döngüsel Ekonomi Uygulamaları

Tek hücre bazlı protein üretim için seçilen bazı mikroorganizmaların üretimi için gereken substratların atık su sistemlerinden sağlanarak döngüsel ekonomi kapsamında değerlendirilmeleri mümkündür. Örnek olarak bir *Candida* türünün üretiminde glikoz, mannoz ve fruktozu içeren endüstriyel kahve işleme atık suyunu kullanarak %39 oranında varan bir protein miktarı yakalanmıştır (Pillaca-Pullo, Lopes, Rodriguez-Portilla, & Estela-Escalante, 2023). Bir başka *Candida* türünün kullanıldığı çalışmada ise patates kabuklarından elde edilen %5 gliserol ilave edilmiş atık su karbon kaynağı olarak kullanıldığında 30 g kuru biyokütle/L verimlilikle ve 12,2 g/L protein sentezi elde edilebilmiştir (Kurcz vd. 2018).

Atık suyun ve çeşitli gıda atıklarının (portakal, patates kabuğu, vb.) THP üretmek için düşük maliyetli substratlar olarak kullanılması ile birlikte üretim sistemlerinin çevresel etkileri azaltılabilmekle birlikte bu alanda risk ve güvenlik ile ilgili daha fazla çalışma yapılması gereklidir.

SONUÇ

Tek hücre-mikroorganizma bazlı protein kaynakları et, süt ve balık gibi geleneksel gıda gruplarına kıyasla daha yüksek protein içeriğine sahip olabilir ve beslenme yoluyla alınması gereken esansiyel amino asitleri içermektedir. Tek hücre-mikroorganizma bazlı protein kaynaklarının gıdalara dahil edilmesi ile besleyici özelliklerinin artırabildiği ve et ve bitki bazlı protein alternatiflerinden daha zengin olabileceği gösterilmiştir. Ek olarak THP'lerin özellikle antioksidan potansiyel gösteren bazı bileşenleri, antienflamatuvar, antibakteriyel ve antiviral özellikler taşıyan sekonder metabolitler sayesinde farklı sağlık sorunlarına karşı faydalı olabileceği belirlenmiştir. Bu özellikleri sayesinde THP'lerin umut verici bir alternatif protein kaynağı olduğu aşıkardır. Ek olarak özellikle döngüsel ekonomi çerçevesinde farklı atık sistemlerinin (nutrientler, atık karbon dioksit, vb.) girdi olarak üretim sistemleri dahil edilmesi ve biyorafineri modelleri çerçevesinde protein dışında katma değerli ek ürünlerin elde edilebilmesi THP'lerin sürdürülebilirlik adına çok kıymetli kaynaklar olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte daha geniş alanlarda ve üretiminde kullanımlarını doğrulamak üzere Ar-Ge faaliyetlerine ek olarak, endüstriyel ölçeklendirme, izolasyon süreçlerinin optimizasyonu, potansiyel toksik maddelerin uzaklaştırılması gibi bazı zorluklar hala mevcuttur. Hızla artan dünya nüfusunun protein ihtiyacına ilişkin alternatiflerin ve yeniliklerin geliştirilmesi, ekonomik, bilimsel, teknolojik çalışmalar ile yasal düzenlemeleri de dikkate alarak üniversiteler, işletmeler, yatırımcılar ve kamu düzenleyicilerin dahil olduğu paydaşlarla birlikte teşvik edilmesini gerektirmektedir.

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Clinton, S. K., Giovannucci, E. L., Hursting, S. D. (2020). The world cancer research fund/ American institute for cancer research third expert report on diet, nutrition, physical activity, and cancer: impact and future directions. *The Journal of nutrition*, 150(4), 663-671.
- Desjardins, A., Proctor, R. (2007). Molecular biology of *Fusarium* mycotoxins. *International journal of food microbiology*, 119(1-2), 47-50.
- Desjardins, A. E. (2006). *Fusarium mycotoxins: chemistry, genetics, and biology*: American Phytopathological Society (APS Press).
- Dillon, J. A., Stackhouse-Lawson, K. R., Thoma, G. J., Gunter, S. A., Rotz, C. A., Kebreab, E., Mueller, N. D. (2021). Current state of enteric methane and the carbon footprint of beef and dairy cattle in the United States. *Animal Frontiers*, 11(4), 57-68. doi:10.1093/af/vfab043
- Fukagawa, N. K., McKillop, K., Pehrsson, P. R., Moshfegh, A., Harnly, J., Finley, J. (2022). USDA's FoodData Central: what is it and why is it needed today? *The American journal of clinical nutrition*, 115(3), 619-624.
- Gilroy, D. J., Kauffman, K. W., Hall, R. A., Huang, X., Chu, F. S. (2000). Assessing potential health risks from microcystin toxins in blue-green algae dietary supplements. *Environmental health perspectives*, 108(5), 435-439.
- Haznedaroğlu, B. Z. (2023). *Chlorella vulgaris* Türü Mikroalgelerde B Vitamini İçeriklerinin Uzun Süreli Pişirme Koşulunda Değişimi. *Akademik Gıda*, 21(2), 167-173.
- Khan, M. K. I., Asif, M., Razzaq, Z. U., Nazir, A., Maan, A. A. (2022). Sustainable food industrial waste management through single cell protein production and characterization of protein enriched bread. *Food Bioscience*, 46, 101406. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101406>
- Kurcz, A., Błażej, S., Kot, A. M., Bzducha-Wróbel, A., Kieliszek, M. (2018). Application of Industrial Wastes for the Production of Microbial Single-Cell Protein by Fodder Yeast *Candida utilis*. *Waste and Biomass Valorization*, 9(1), 57-64. doi:10.1007/s12649-016-9782-z
- Pillaca-Pullo, O. S., Lopes, A. M., Rodriguez-Portilla, L. M., Estela-Escalante, W. (2023). Optimizing medium composition with wastewater from *Coffea arabica* processing to produce single-cell protein using *Candida sorboxylosa*. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 98(1), 106-116.

- Pires, J. E., Ferreira, G. M. R., Reis, K. C., Schwan, R. F., Silva, C. F. (2016). Mixed yeasts inocula for simultaneous production of SCP and treatment of vinasse to reduce soil and fresh water pollution. *Journal of Environmental Management*, 182, 455-463. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.006>
- Pratt, R., & Johnson, E. (1965). Production of thiamine, riboflavin, folic acid, and biotin by *Chlorella vulgaris* and *Chlorella pyrenoidosa*. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 54(6), 871-874.
- 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, 2009.
- Saejung, C., Salasook, P. (2020). Recycling of sugar industry wastewater for single-cell protein production with supplemental carotenoids. *Environmental Technology*, 41(1), 59-70. doi:10.1080/09593330.2018.1491633
- Seyfabadi, J., Ramezanpour, Z., Amini Khoeyi, Z. (2011). Protein, fatty acid, and pigment content of *Chlorella vulgaris* under different light regimes. *Journal of applied phycology*, 23, 721-726.
- Sharma, R., Singh, G. P., Sharma, V. (2012). Effects of culture conditions on growth and biochemical profile of *Chlorella vulgaris*. *Journal of Plant Pathology and Microbiology*, 3(5), 1-6.
- Ursu, A.-V., Marcati, A., Sayd, T., Sante-Lhoutellier, V., Djelveh, G., Michaud, P. (2014). Extraction, fractionation and functional properties of proteins from the microalgae *Chlorella vulgaris*. *Bioresource technology*, 157, 134-139.
- Vichi, S., Lavorini, P., Funari, E., Scardala, S., Testai, E. (2012). Contamination by Microcystis and microcystins of blue-green algae food supplements (BGAS) on the Italian market and possible risk for the exposed population. *Food and Chemical Toxicology*, 50(12), 4493-4499.
- Wolk, A. (2017). Potential health hazards of eating red meat. *Journal of Internal Medicine*, 281(2), 106-122. doi:<https://doi.org/10.1111/joim.12543>
- Yap, S. M., Lan, J. C.-W., Kee, P. E., Ng, H. S., Yim, H. S. (2022). Enhancement of protein production using synthetic brewery wastewater by *Haematococcus pluvialis*. *Journal of Biotechnology*, 350, 1-10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2022.03.008>

Yazar Hakkında / About Author

**Dr. Öğr. Üyesi Berat HAZNEDAROĞLU | Boğaziçi Üniversitesi |
berat.haznedaroglu[at]boun.edu.tr | ORCID: 0000-0002-0081-8801**

Berat Haznedaroğlu lisans eğitimini 2003 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Biyoloji Bölümü'nde tamamlamış olup, 2005 yılında Villanova Üniversitesi İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümü'nden yüksek lisans, 2010 yılında Kaliforniya Üniversitesi-Riverside Kimya ve Çevre Mühendisliği Bölümü'nden doktora derecelerini almıştır. Uygulamalı mikrobiyoloji, biyoteknoloji ve fonksiyonel genetik alanlarında uzmanlaşan Dr. Haznedaroğlu doktora sonrası çalışmalarını Yale Üniversitesi'nde tamamlayarak 2014 yılında Türkiye'ye geri dönüş yapmıştır. Dr. Haznedaroğlu, TÜBİTAK, NSF, İstanbul Kalkınma Ajansı, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Avrupa Komisyonu, ve İngiliz Bilimler Akademisi tarafından fonlanan projelerinde mikroalg ve siyanobakterilerin sistem biyolojileri üstünde çalışmakta olup gıda, ilaç, enerji, ve çevre alanlarında ürün ve uygulama geliştirmektedir. Yakın zamanda Bilim Akademisi Genç Bilim İnsanları Ödülü (BAGEP), FABED Eser Tümen Araştırma Ödülü, Royal Society Newton Fellowship ile ödüllendirilen Dr. Haznedaroğlu halen Boğaziçi Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmakta olup; İstanbul Mikroyosun Biyoteknolojileri Ar-Ge Merkezi direktörlüğünü yürütmektedir.

**Asst. Prof. Dr. Berat HAZNEDAROĞLU | Boğaziçi University |
berat.haznedaroglu[at]boun.edu.tr | ORCID: 0000-0002-0081-8801**

Berat Z. Haznedaroglu is an assistant professor at the Institute of Environmental Sciences at Boğaziçi University. Berat's research group focuses on understanding the fundamental biochemistry of non-model algal species and cyanobacteria by coupling with high-throughput systems biology tools including next-generation DNA sequencing, metabolomics, proteomics, and bioinformatics. His group investigates the relationship between the expression and interaction of anabolic and catabolic reactions with the goal of maximizing novel hydrocarbon formations in microalgae. Some of his other projects include systems level investigation of algae for nutritional supplements, biofuels, value-added chemicals, and wastewater treatment applications. Very recently, he has been awarded with Newton Advanced Fellowship from Royal Society of UK and also granted to construct the first algae test-bed in Türkiye to develop algal applications for Food:Energy:Water nexus by Istanbul Development Agency. Berat completed his postdoc at Yale and received his Ph.D. from the Chemical and Environmental Engineering Department of University of California, Riverside. His M.Sc. is from Villanova University. Berat holds a B.Sc. in Biology from the Middle East Technical University, Ankara.