

Mikrobiyal Pigmentlerin Gıdalarda Renklendirici Olarak Kullanılması

Burcu ÇAKMAK SANCAR*, Muhsin ÖZTÜRK**, Meryem AKHAN***, Özer ERGÜN****

Öz

Günümüzde tüketicilerin sentetik gıda boya ile ilgili olumsuz düşüncelerinin yaygınlaşması doğal kaynaklardan elde edilen renklendiricilere olan talebi artırmıştır. Doğal kaynaklı renklendiriciler bitki, hayvan ve mikroorganizmalardan elde edilmektedir ve biyorenlendirici olarak ifade edilmektedir. Bunlardan mikroorganizmalardan elde edilen pigmentler, sağlık üzerine yararlı etkileri ve üretimdeki çeşitli avantajları sebebiyle tercih edilmektedir. Çeşitli mikroorganizmalar (*Monascus*, *Flavobacterium*, *Bacillus*, *Paracoccus*, *Streptomyces*, *Penicillium*, *Rhodotarla*, *Brevibacterium* vb. mikroorganizmaların çeşitli türleri) pigment üretme yeteneğine sahiptir; β -karoten, arpink red, riboflavin, monascus pigmenti, prodigiosin ve likopen başlıca üretilen pigmentlerdir. Mikrobiyal pigmentlerin, kolay ekstrakte edilebilmeleri, üretim maliyetlerinin düşük olması, hammadde sorunu olmaması, çevre dostu olmaları gibi çeşitli avantajları mevcuttur. Bununla birlikte bazı mikrobiyal pigmentlerin suda çözünmemesi, farklı pH koşulları altında renk değişiklikleri göstermeleri, tat değişikliğine yol açmaları, daha sınırlı renk yelpazelerinin olması gibi dezavantajları da vardır. Bu derleme mikroorganizmaların gıdalarda kullanılan renk pigmentleri ile ilgili temel bilgileri sunmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Mikrobiyal pigment, gıda, biyorenlendirici, mikroorganizmalar

Use of Microbial Pigments as Colorants in Foods

Abstract

Today, the widespread negative opinions of consumers about synthetic food colorings have increased the demand for colorants derived from natural sources. Naturally derived colorants are obtained from plants, animals, and microorganisms and are referred to as biorecolorants. Among these, pigments obtained from microorganisms are preferred because of their beneficial effects on health and various advantages in production. Various microorganisms (*Monascus*, *Flavobacterium*, *Bacillus*, *Paracoccus*, *Streptomyces*, *Penicillium*, *Rhodotarla*, *Brevibacterium*, etc.) are capable of producing pigments; β -carotene, arpink red, riboflavin, monascus pigment, prodigiosin, and lycopene are the main pigments produced. Microbial pigments have various advantages such as easy extraction, low production costs, no raw material problems and environmental friendliness. However, some microbial pigments also have disadvantages, such as being insoluble in water, showing color changes under different pH conditions, causing taste changes, and having

Derleme Makale (Review Article)

Geliş / Received: 06.04.2022 & **Kabul / Accepted:** 28.11.2023

DOI: <https://doi.org/10.38079/igusabder.109891>

* Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Esenyurt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İstanbul, Türkiye.

E-posta: burcu.cakmak@gmail.com [ORCID https://orcid.org/0000-0002-0737-7009](https://orcid.org/0000-0002-0737-7009)

** Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İstanbul, Türkiye.

E-posta: muhsin.ozturk@istun.edu.tr [ORCID https://orcid.org/0000-0002-3076-8251](https://orcid.org/0000-0002-3076-8251)

*** Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Esenyurt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İstanbul, Türkiye.

E-posta: meryemakhan@esenyurt.edu.tr [ORCID https://orcid.org/0000-0001-8065-8635](https://orcid.org/0000-0001-8065-8635)

**** Prof. Dr., İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İstanbul, Türkiye.

E-posta: ozer.ergun@istun.edu.tr [ORCID https://orcid.org/0000-0003-1675-7238](https://orcid.org/0000-0003-1675-7238)

a more limited color range. This review provides basic information about the color pigments of microorganisms used in foods.

Keywords: Microbial pigment, food, biocolors, microorganisms

Giriş

Gıdaların kalite ve güvenilirlik algısını, kabul edilebilirliğini etkilemede renklerin önemli bir rolü vardır^{1,2}. İştah, tüketicinin renklere olan tepkisi ile bağlantılı olarak uyarılır veya sönümlenir³. Dolayısıyla renk; tüketicilerin tercihlerini, seçimlerini ve yeme isteklerini doğrudan etkileyen, gıdaların en etkileyici özelliklerinden biridir².

Pigmentler ya da diğer bir ifadeyle renklendiriciler görünür aralıktaki ışığı (400-700 nm) absorbe etme veya yayma kabiliyeti olan bileşiklerdir⁴. Biyolojik terminolojide ise pigment; hayvanlarda veya bitkilerde bulunan, hücrelerin içindeki granüllerde oluşan, dokularda biriken veya vücut sıvılarında süspansiyon şeklinde bulunan renklendirici maddelerdir⁵.

Pigmentlerin Sınıflandırılması ve Kullanımları

Gıda renklendiricileri sentetik, doğala özdeş, inorganik ve doğal olarak sınıflandırılabilir. Gıdalar için doğal renklendiriciler bitki, hayvan, mikroorganizma gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilir. Gıdalarda kullanılan başlıca doğal renklendiricilere karotenoidler, antosiyaninler, betalainler, karminik asit, antrakinin, ksantofiller, annatto özü, riboflavin, kurkumin örnek olarak verilebilir^{6,7}. "Sentetik" renklendiriciler ise kimyasal olarak sentezlenmiş maddeleri içerir ve tartrazin, sunset yellow, quinoline yellow, allura red, eritrosin, indigo karmin, azorubine, patent blue bunlardan birkaçıdır^{5,6}.

Aslında doğal renklendiriciler tarih öncesi dönemden beri kullanılmaktadırlar. Doğal boyaların kullanımı ile ilgili en eski yazıt MÖ 2600'de Çin'de bulunmuştur. Milattan önceki döneme ait Hindistan Yarımadası'nda bulunan renkli kumaş giysiler ve kök boya izleri ile Mısır'da bulunan kök boyadan yapılmış renkli kumaşlara sarılmış mumyalar doğal boyaların tarih öncesi dönemlerde de kullanıldığını doğrulamıştır⁵. Safran, kalamar mürekkebi, kırmızıbiber, zerdeçal, pancar özü ve çeşitli çiçeklerin yapraklarının doğadan elde edilen ilk doğal renklendiriciler olduğu bilinmektedir. 1856'da mauvine adı verilen leylak rengi olan ilk sentetik renklendiricinin keşfi, diğerlerine öncülük etmiştir⁸. 1900'lü yılların başında, kimyasal olarak sentezlenen renklerin çoğu, zehirli bir petrol ürünü olan anilinden türetilmiştir^{3,9-13}. Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa'da ketçap, hardal, jöle ve şarap gibi birçok gıdada toksisitesi ve olumsuz etkileri test edilmeyen birçok renklendirici kullanılmaya başlanmıştır. Sentetik pigmentlerin nispeten daha düşük maliyetli olması ve kimyasal stabilitelerinin daha fazla olması doğal renklendiricilerin kullanımını azaltmış ve 20. yüzyıl boyunca doğal olarak elde edilen renklendiricilerin yerini sentetik boyalar almaya başlamıştır. Ayrıca kimyasal olarak sentezlenmiş renklendiricilerin üretimi daha kolay ve renklendirme özellikleri daha üstün olduğu için, sadece küçük miktarlara

ihtiyaç duyulduğu, kolay karıştırıldığı ve gıdalara istenmeyen tatlar vermedikleri için kullanımları giderek artmıştır^{3,9,10}. Ancak alerjik, toksik ve kanserojenik etkilerinin bilinmesi ve çevre dostu olmamaları tüketici sağlığı ve çevre ile ilgili güvenlik endişelerini artırmıştır^{1,3,9,11,12}. Sentetik renklendiricilerin zararlı etkileri konusunda farkındalığın artmasıyla birlikte uluslararası pazarda doğal gıda renklendiricilerine olan talep, Japonya ve Avrupa ülkelerinde sentetik renklendiricilerin ticaretinin yasaklanması ve bazı gelişmiş ülkelerde doğal gıda renklendiricilerinin bebek oyuncakları, boya kalemleri ve organik tekstil gibi ürünlerde kullanımını teşvik edilmesi, doğal renklendiricilere yönelimi artırmıştır¹⁴. 1994 yılında doğal renklendirici endüstrisinde yıllık büyüme %5-10, sentetik renklendirici endüstrisindeki yıllık büyüme ise %3-5'dir¹⁵. Doğal renklendiriciler başlangıçta daha az kararlı, kullanımı daha zor ve maliyeti daha yüksek olarak değerlendirilmiştir³. Ancak tüketicilerin doğal yöntemlerle elde edilen renklendiricileri sağlıklı ve iyi kalitede olarak düşünmeleri mikrobiyal pigmentlerin gıdalarda renklendirici olarak kullanılmasını büyük ölçüde artırmıştır¹⁴⁻¹⁶.

Doğal Pigment Kaynakları

Doğal pigmentler bitkilerden, hayvanlardan ve mikroorganizmalardan elde edilirler^{7,14,17,18}. Bitki, hayvan ve mikroorganizma gibi doğal kaynaklardan elde edilen pigmentler biyorenlendirici olarak da ifade edilir¹⁹. Bitkilerden elde edilen doğal pigmentler; çiçekler, meyveler, sebzeler, tohumlar ve köklerden elde edilirler^{3,20}. Renk çeşitlilikleri de çok olmasına rağmen, mevsimlik meyve sebzelerden elde edilmeleri, yıl boyunca yeterli miktar ve sıklıkta üretilmemesine sebep olur^{21,22}. Bununla birlikte; bunlar ısıya, ışığa, olumsuz pH koşullarına dayanıksızlık ve düşük su çözünürlüğü gibi birçok dezavantaja sahiptir^{14,17}. Bu sebeplerle, mikrobiyal renklendiriciler, mevsimsel değişim problemleri olmadan daha kolay ekstrakte edilebilmeleri, üretim maliyetlerinin düşük olması ve doğal renklerin verimliliğinin etkin olması nedeniyle daha çok tercih edilirler²³.

Mikrobiyal Pigmentler

Mikroorganizmalardan ekstrakte edilen doğal pigmentlere mikrobiyal pigment denir¹⁶. Çok sayıda bakteri, küf, maya, alg ve protozoa pigment üretmektedir^{7,24}. Bu mikroorganizmalar doğada oldukça yaygındır; su kaynakları, toprak, bitkiler, böcekler ve hayvanlar gibi çeşitli çevresel kaynaklardan izole edilebilirler^{24,25}.

Mikrobiyal pigmentler gıdalarda renklendirici özelliğinin yanı sıra, aynı zamanda antioksidan, antimikrobiyal, antikanser, antienflamatuar, antiproliferatif, immun baskılayıcı vb. gibi özelliklere de sahiptir²⁶⁻²⁹. Pigment üretme özelliğine sahip başlıca mikroorganizmalar ve ürettikleri pigmentler Tablo-1'de verilmiştir. Mikrobiyal kaynaklardan elde edilen renklendiriciler, biyolojik olarak daha iyi parçalanabilmeleri ve çevre dostu olmaları gibi avantajlara sahiptir ve bu nedenle diğer pigmentlere göre iyi bir alternatiftir^{9,12}. Ayrıca daha düşük maliyetlerle daha büyük ölçeklerde üretilmektedir³⁰. Bununla birlikte daha kolay ekstrakte

edilebilmeleri, kolay üretilebilmelerinden dolayı daha yüksek verime sahip olmaları, hammadde eksikliği olmaması, mevsimsel değişikliklerden etkilenmemeleri, besin değerlerinin (vitaminler gibi) yüksek olması gibi avantajlara da sahiptir¹⁷. Mikroorganizmalar, düşük maliyetli kültür ortamlarında ve hava şartlarından bağımsız olarak kolayca ve hızlı bir şekilde üretilebilmektedirler³¹. Mikroorganizmalardan farklı tonlarda renkler elde edilebilmektedir, başlıca renkler ise kırmızı, sarı ve mavidir. Bu renkler biyolojik olarak parçalanabilir ve çevre dostudur²⁰.

Bazı mikrobiyal pigmentlerin ise suda çözünmemesi, stabiliteilerinin düşük olması, farklı pH koşulları altında renk değişikliği göstermeleri, bir standarda sahip olmalarını ya da tat değişikliğine yol açmaları gibi dezavantajları da vardır. Ayrıca sentetik renklendiricilere kıyasla daha sınırlı renk yelpazelerinin olması ve düşük pigment içeriğine sahip olmaları mikrobiyal pigmentlerle ilişkili diğer problemlerdendir^{7,22}. Mikrobiyal pigmentlerin yararlı olabilmesi için; çevresel strese, yol açan ve serbest radikal reaksiyonlarını başlatan UV ışığına maruz kaldığında kabul edilebilir bir stabiliteye sahip olması gerekmektedir³².

Mikrobiyal pigmentler sadece gıda renklendiricisi ve lezzet verici olarak kullanılmaz, bunlar tıbbi açıdan da yaygın olarak uygulanır¹². Günümüzde endüstriyel olarak gıda, kozmetik, ilaç veya tekstil sektörlerinde kullanılmak üzere bazı mikrobiyal pigmentlerin üretimi yapılmaktadır^{14,27}.

Tablo 1. Pigment üreten mikroorganizmalar

M.o. adı	Üretilen Pigment/ Molekül	Renk	Kaynak
Bakteri			
<i>Achromobacter</i>		Krem	33
<i>Agrobacterium aurantiacum</i>	Astaksantin	Kırmızı – Turuncu	1, 28, 31
<i>Bacillus subtilis</i>	Riboflavin	Sarı	34
<i>Bradyrhizobium</i> sp.	Kantaksantin	Turuncu - Koyu Pembe	1, 28, 31, 35
<i>Corynebacterium insidiosum</i>	İndigoidin	Mavi	1
<i>Flavobacterium</i> sp.	Zeaksantin	Sarı	1, 28, 31, 35
<i>Haloferax alexandrinus</i>	Kantaksantin	Koyu Kırmızı	1
<i>Lactobacillus pluvialis</i>	Kantaksantin	Turuncu-koyu Pembe	35
<i>Paracoccus zeaxanthinifaciens</i>	Zeaksantin	Sarı	28, 31, 35
<i>Paracoccus carotinifaciens</i>	Astaksantin	Kırmızı - Turuncu	1, 28, 31, 35
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Piyosiyenin	Mavi - Yeşil	1, 22, 35

<i>Rhodococcus maris, Rhodococcus ruber</i>	β -karoten	Kırmızı	35
<i>Serratia marcescens, Serratia rubidaea</i>	Prodigiosin	Kırmızı	1, 35
<i>Staphylococcus aureus</i>	Stafiloksantin Zeaksantin	Altın sarısı	1, 35
<i>Streptomyces sp.</i>	Rubrolon/ Karotenoidler	Sarı, Kırmızı, Mavi Sarı	7, 28, 31
<i>Streptomyces echinoruber</i>	Rubrolon	Kırmızı	31
<i>Xanthophyllomyces dendrorhous</i>	Astaksantin	Pembe - Kırmızı	1, 31
Küfler			
<i>Ashbya gossypi</i>	Riboflavin	Sarı	28, 31, 34
<i>Aspergillus sp.</i>	Asperyelon	Turuncu, Kırmızı	33, 36
<i>Blakeslea trispora</i>	Likopen/ β -karoten	Kırmızı, Sarı Turuncu	12, 28, 31
<i>Cordyceps unilateralis</i>	Naftakinon	Koyu kan kırmızısı	1,28, 31
<i>Fusarium sporotrichioides</i>	Likopen/ β -karoten	Kırmızı, Sarı - Turuncu	1, 31
<i>Monascus purpureus</i>	Azaflon	Sarı - Turuncu, Kırmızı	33, 36
<i>Monascus spp.</i>	Monaskorubramin, Rubropunktamin Ankaflavin, Monaskin Rubropunktatin, Monaskorubrin	Mor Sarı Turuncu	1, 25, 28, 31
<i>Mucor circinelloides</i>	β -karoten	Sarı - Turuncu	12, 28,31
<i>Neurospora crassa</i>	β -karoten	Sarı - Turuncu	31
<i>Penicillium oxalicum</i>	Antrakinin (Arpink red)	Kırmızı	1, 31, 37
<i>Phycomyces blakesleeanus</i>	β -karoten	Sarı - Turuncu	12, 31
Maya			
<i>Rhodotorula sp.</i>	Torularodin	Turuncu - Kırmızı	1, 31
<i>Saccharomyces neoformans var. Nigricans</i>	Melanin	Siyah	31
<i>Yarrowia lipolytica</i>		Kahverengi	1, 33
<i>Candida famata</i>	Riboflavin	Sarı	34

Mikrobiyal Pigment Üretimini Etkileyen Faktörler

Pigment üreten mikroorganizmanın seçiminde en önemli konu, patojenik ve toksik özelliklere sahip olmaması gerektiğidir²⁷. Mikrobiyal pigment üretimini etkileyen ana faktörlerin inkübasyon sıcaklığı, süresi, pH, karbon kaynağı, azot kaynağı, fermentasyon tekniği, mineraller, nem içeriği ve havalandırma oranı olduğu belirtilmiştir^{1,7,31,38}. İnkübasyon sıcaklığı ve süresi, mikroorganizmanın türüne bağlı olan, mikrobiyal pigment üretimini etkileyen faktörlerin başında gelir. Örneğin; *Pseudomonas* için 35-36°C, *Monascus* spp. için ise 25-28°C inkübasyon sıcaklığı gerekmektedir^{12,16}. Bir diğer faktör olan ortam pH'sı hem mikroorganizma büyümesini hem de pigment tipini etkiler. *Monascus* sp. ve *Rhodotorula* için optimum pH sırasıyla 5,5-6,5 ve 4,0-4,5'tur. Nötr pH ve hafif alkali pH likopen oluşumunu desteklerken; asidik pH β-karoten sentezi için uygundur^{12,7}.

Mikroorganizmalardan pigment üretiminde ayrıca, çeşitli karbon ve nitrojen kaynaklarını kullanabilme yeteneğinin olması, sıcaklık, pH ve minerallere toleranslı olması ve yüksek verimlilik özelliklere sahip olması gerekir. Pigment üreten mikroorganizmada misel gelişimi, glukoz, fruktoz, maltoz, laktoz, galaktoz vb. gibi karbon kaynaklarından etkilenir¹². Azot kaynakları, mikroorganizmaya bağlı olarak değişen önemli bir faktördür. Amonyum klorür, *Monascus* pigmentinin, ardından amonyum nitratın ve ardından glutamatın üretimi için en iyisidir^{12,7}.

Fermentasyonun tekniği diğer bir faktördür. Katı faz fermentasyonu, derin kültür fermentasyonundan 3 kat daha fazla pigment verir¹². Pigment üretiminde mineraller de önemli rol oynar. Çinko (Zn) sıvı ortamda büyümeyi durdururken, katı ortamda kuvvetli büyüme ve gelişim gözlenir^{12,7}. Nem içeriği önemlidir. Örneğin; katı faz fermentasyonunda *Monascus ruber*'in daha yüksek düzeydeki pigment üretimi, substrattaki (örneğin pirinç) %70 başlangıç nem seviyesinde meydana gelir. Faktörlerden biri de havalandırma oranıdır. En yüksek pigment seviyeleri dakikadaki 0,05 ile 0,2 L arasındaki havalandırma oranlarında elde edilir¹².

Gıda Endüstrisinde Kullanılan Başlıca Mikrobiyal Pigmentler ve Kullanım Alanları

Gıdalarda mikroorganizmalardan elde edilen renklendiriciler katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Başlıca kullanılan doğal renklendiriciler; astaksantin, antrakinin, riboflavin, karotenoidler ve monascus pigmentleridir.

Karotenoidler: İlk olarak 1831'de izole edilmiştir²⁸. Son yıllarda, karotenoidlere, özellikle vücutta A vitaminine dönüştürüldüğü ve antioksidan özelliklere sahip olduğu için büyük ilgi duyulmuştur. Bazı kanser türlerinin ve kalp hastalıklarının riskini azaltmada yararlı bir etkiye sahiptir¹⁹. En önemli karotenoidler; α-karotenler, β-karotenler, kriptoksantin, lutein, likopen, violaksantin, neoksantin, zeaksantin ve kantaksantindir³⁹.

β-karoten: Pro-vitamin A olarak bilinen sarımsı karotenoid pigmenttir. Kırmızıdan sarıya kadar farklı renk tonları içermektedir. Doğada yaygın olarak bulunur ve çeşitli çevresel streslere cevap

olarak bitkiler ve mikroorganizmalar tarafından sentezlenirler⁴⁰. Antioksidan görevi görür ve bazı hastalıklara karşı yararlı etkileri vardır. *Dunaliella salina*, *Blakeslea trispora*, *Mucor circinelloides* ve *Phycomyces blakesleeanus* bu pigmentin üretimi için kullanılan mikroorganizmalardandır^{12,30}. Avrupa'da mikroorganizma kullanılarak pigment üreten ilk başarılı çalışmada, bir küf cinsi olan *Blakeslea*'dan β -karoten elde edilmiştir. Avrupa Birliği Sağlık ve Tüketiciyi Koruma Genel Müdürlüğü, bu şekilde üretilen β -karotenin kimyasal olarak sentezlenen materyale eşdeğer olduğunu ve bu nedenle gıda maddeleri için renklendirici madde olarak kullanılmak üzere kabul edilebilir olduğunu bildirmiştir²⁵.

Prodigiosin: İlk olarak *Serratia marcescens*'ten 1987'de izole edilen kırmızı bir pigmenttir⁴¹. *Serratia marcescens* dışında, *Pseudomonas magnesorubra*, *Vibrio psychroerythrus*, *Vibrio gazogenes*, *Alteromonas rubra*, *Rugamonas rubra* ve *Streptovorticillium rubrreticuli*'den prodigiosin üretimi bildirilmiştir⁴². Bağışıklık sistemini baskılayıcı ve antikanser etkileri de vardır²⁸. Yoğurt, süt ve gazlı içeceklerde renklendirici madde olarak kullanılmıştır⁴³.

Arpink Red: Topraktan elde edilen *Penicillium oxalicum* suşu tarafından üretilen, bakteriyostatik, antiviral, fungisidal, herbisidal ve insektisidal özelliklere sahip, kırmızı renkli antrakinin pigmentidir^{12,44}. Süt ürünleri, dondurma, et ve et ürünleri, alkollü ve alkolsüz içecekler, şekerlemeler başlıca kullanıldığı gıdalar arasındadır³⁷.

Riboflavin (B₂ vitamini): Birçok mikroorganizma tarafından üretilen sarı renkli, suda çözünen bir vitamindir. Çoğu ülkede gıda renklendirici olarak kullanılan ve kullanımı yasal olan bir pigmenttir^{12,34,37}. Ağırlıklı olarak üç mikroorganizma tarafından üretilir, *Ashbya gossypii*, *Candida famata* ve *Bacillus subtilis*³⁴. Bebek mamalarında, kahvaltılık tahıllarda, makarnalarda, soslarda, işlenmiş peynirlerde, meyve içeceklerinde, dondurmada, vitamin bakımından zengin süt ürünlerinde ve bazı enerji içeceklerinde kullanılır³⁴.

Monascus pigmenti: Mikroorganizmalardan elde edilen en eski renklendiricidir. Asya'da yüzyıllarca kırmızı pirinç şarabı, kırmızı soya peyniri ve et, balık ürünlerinde renklendirici olarak kullanılmıştır²⁵. *Monascus* cinsi dört türe ayrılabilir; geleneksel oryantal yiyeceklerden izole edilen suşların çoğunluğunu oluşturan *M. purpureus*, *M. frigidanus*, *M. pilosus*, *M. ruberanus*¹². Bu mikroorganizmalar tarafından üretilen moleküllerden ankaflavin ve monascine sarı, rubropunktatin ve monaskorubrin turuncu, rubropunktamin ve monaskorubramin mor renklidir. Bu pigmentlerin suda düşük çözünürlükleri vardır, ısıya duyarlıdırlar, pH 2-10 aralığında kararsızdırlar ve ışıkla solarlar. Sosis, jambon gibi işlenmiş et ürünlerinin, deniz ürünlerinin renklendirilmesinde ve ketçap gibi ürünlerde kullanılmaktadır²⁵.

Likopen: *Fusarium sporotrichioides* ve *Blakeslea trispora* gibi mikroorganizmalardan izole edilmiştir ve bazı kanser türleri, koroner kalp hastalıkları üzerine yararlı etki potansiyeline sahiptir. ABD, Avustralya ve Yeni Zelanda gibi ülkelerde eti renklendirmede kullanılmaktadır³⁰.

Gıdalarda izin verilen biyolojik boyalar (β -karoten, kantaksantin, astaksantin, zeaksantin, riboflavin, melanin, antrakinon, likopen vd.) çok sınırlıdır ve ABD Gıda ve İlaç İdaresi'nin (FDA) pigmentleri katkı maddesi olarak gördüğü ve dolayısıyla pigmentlerin katı düzenlemeler altında olduğunu düşündüğü için yeni kaynaklar için onay almakta zorluk çekilmektedir^{15,19,34}. Bununla birlikte Avrupa Birliği renklendirici gıda katkı maddesi olarak onay verdiği 10 pigment mikroorganizmalar tarafından da üretilmektedir. Bunlar kurkumin (E100), riboflavin (E101), karotenler (E160a), bixin, norbixin (E160b), kapsantin, kapsorubin (E160c), likopen (E160d), lutein (E161b), kantaksantin (E161g), betanin (E162), antosiyaninler (E163)'dir⁴⁵. Gıda renklendiricilerinin gıdalarda kullanımı ile ilgili düzenlemeler dünyanın her yerinde değişiklik göstermektedir. Latin Amerika ve Avrupa'dan birçok ülke, Codex Alimentarius'un ya da Joint Expert Committee in Food Additives and Contaminants (JECFA)'nın spesifikasyonlarını benimsemiştir. Amerika Birleşik Devletleri, Kore ve Japonya gibi ülkeler ise bağımsız olarak düzenledikleri yasal düzenlemelere sahiptir⁸.

Pigmentlerin Ekstraksiyon Metotları

Mikrobiyal pigment üretiminde kullanılan mikroorganizmalar; vücut sıvısı, toprak, su, bitkiler, insektler ve hayvanlar gibi çeşitli kaynaklardan izole edilmektedir^{9,27}. Doğal materyallerden ya da endüstriyel organik atıklardan katı faz veya derin kültür fermentasyonu yöntemiyle pigment üretimi gerçekleştirilmektedir¹⁶. Mikroorganizmalardan pigment ekstraksiyonunda uygulanan geleneksel yöntem solvent ekstraksiyonudur. Bununla birlikte yüksek hidrostatik basınç (HHP) ve darbeli elektrik alan (PEF), sonikasyon destekli ekstraksiyon, gama ışınımı, enzimatik ekstraksiyon ve membran teknolojileri de kullanılmaktadır. Ekstraksiyon işleminden sonra ekstrakt konsantre edilir ve kolon kromatografisi kullanılarak saflaştırma işlemleri uygulanır¹⁹. Mikroorganizmalardan üretilen pigmentler TLC, UV Spektroskopisi, FTIR, ESI-MS, NMR, HPLC ve Jel Geçirgenlik Kromatografisi gibi çeşitli enstruman bazlı analitik teknikler kullanılarak karakterize edilebilir⁹.

Mikroorganizmalardan saf ve konsantre olarak pigment elde edilmesinde teknolojik açıdan zorluklar bulunmaktadır. Mikroorganizmalarda pigment üretimi hücre içi ve hücre dışına salgılanması açısından ikiye ayrılmaktadır. Hücre içine salgılanan pigmentlerin elde edilmesi için öncelikle hücrenin çeşitli çözücülerle parçalanması ve ardından ekstraksiyon işleminin yapılması gerekmektedir. Hücre dışına salgılanan pigmentler ise direkt olarak çözücülerle ekstrakte edilebilmektedir²⁷.

Sonuç ve Öneriler

Sentetik renklendiricilerin sağlık ile ilgili olumsuz etkilerinin bilinmesi, günümüzde tüketicilerin doğal renklendiricilere olan ilgisini ve talebini artırmıştır. Sentetik boya kullanımının yıllık büyüme oranı %3-5 iken doğal boya kullanımı büyüme oranı %5-10'a kadar yükselebilmektedir¹⁹. Doğal pigmentlerin dünya çapındaki ticareti ise 2007'den 2011'e %29'a kadar artmıştır⁴⁶.

Kullanım ve ticaretteki bu artışlar, tüketicilerin doğal pigmentlere olan yönelimini göstermektedir.

Mikroorganizmalar, bitkilerden elde edilemeyen renk aralıklarını sağlama potansiyeline sahiptir. Ancak doğal renklendirici endüstrisi mikrobiyal kaynaklardan yararlanamamaktadır. Bu durumun nedenlerinden biri; birincil kaynağın bitkiler olması, mikrobiyal üretime geçişin yasal gerekliliklere uymayı gerektirmesi ve pahalı altyapı gereksinimleridir²¹. Birçok doğal renklendirici olmasına rağmen, mikrobiyal pigmentlerin sağlık üzerine yararlı etkilerinin olması, üretiminin diğer renklendiricilere göre daha kolay olması, çevre dostu olmaları vb. gibi birçok avantajı nedeniyle, gelecekte pigment üreten mikroorganizmalar ile ilgili araştırmaların artması ve mikrobiyal pigment kullanımının yaygınlaşması gıda sektörü için oldukça faydalı olacaktır.

Gıda katkı maddesi olarak kullanılan mikrobiyal kaynaklı renklendiricilerin kolay ve ekonomik üretim avantajına sahip olmaları, çevre dostu olmaları gibi özellikleri yanında tüketici tarafından da kabul edilebilir ve tercih edilebilir olması gerekmektedir. Yasal düzenlemeler tüketicilerin tercihini etkileyen önemli unsurların başında gelmektedir. Gıdalarda gıda renklendiricilerin kullanımı ile ilgili benimsenen yasal düzenlemelerin ülkelere göre değişiklik göstermesi hem mikrobiyal renklendiricilerin tercihini etkilemektedir, hem de dünya ticaretini dolayısıyla gıdalarda kullanımının yaygınlaşmasını engellemektedir. Dünya ticaretini kolaylaştıracak şekilde yasal düzenlemelerin gözden geçirilmesi mikrobiyal pigmentlerin üretimini ve kullanımını artıracaktır.

KAYNAKLAR

1. Malik K, Tokkas J, Goyal S. Microbial pigments: A review. *International Journal of Microbial Resource Technology*. 2012;1(4):361-365.
2. Clydesdale FM. Color as a factor in food choice. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 1993;33(1):83-101. doi: 10.1080/10408399309527614.
3. Downham A, Collins P. Colouring our foods in the last and next millennium. *International Journal of Food Science and Technology*. 2000;35(1):5-22. doi: 10.1046/j.1365-2621.2000.00373.x.
4. Zollinger H. Color Chemistry Syntheses, Properties, and Applications of Organic Dyes and Pigments. Zürih: Verlag Helvetica Chimica Acta; 2003
5. Aberoumand A. A review article on edible pigments properties and sources as natural biocolorants in foodstuff and food industry. *World Journal of Dairy & Food Sciences*. 2011;6(1):71-78.

6. Amchova P, Kotolaova H, Ruda-Kucerova J. Health safety issues of synthetic food colorants. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2015;73(3):914-922. doi: 10.1016/j.yrtph.2015.09.026.
7. Joshi VK, Attri D, Bala A, Bhushan S. Microbial pigments. *Indian Journal of Biotechnology*. 2003;2:362-369.
8. Sigurdson, GT, Tang, P, Giusti MM. Natural colorants: Food colorants from natural sources. *Annual Review of Food Science and Technology*. 2017;8:261-280.
9. Venil CK, Zakaria ZA, Ahmad WA. Bacterial pigments and their applications. *Process Biochemistry*. 2013;48(7):1065-1079. doi: 10.1016/j.procbio.2013.06.006.
10. Arikan EB, Canlı O, Caro Y, Dufossé L, Dizge N. Production of bio-based pigments from food processing industry by-products (apple, pomegranate, black carrot, red beet pulps) using aspergillus carbonarius. *Journal of Fungi*. 2020;6(4):1-18.
11. Shahid M, Shahid-ul-Islam, Mohammad F. Recent advancements in natural dye applications: A review. *Journal of Cleaner Production*. 2013;53:310-331. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.03.031.
12. Kumar A, Vishwakarma HS, Singh J, Dwivedi S, Kumar M. Microbial pigments: production and their applications in various industries. *International Journal of Pharmaceutical, Chemical and Biological Sciences*. 2015;5(1):203-212.
13. Chaitanya Lakshmi G. Food coloring: The natural way. *Research Journal of Chemical Sciences*. 2014;4(2):87-96.
14. Venil CK, Lakshmanaperumalsamy P. An insightful overview on microbial pigment, prodigiosin. *Electronic Journal of Biology*. 2009;5(3):49-61.
15. Wissgott U, Bortlik K. Prospects for new natural food colorants. *Trends In Food Science & Technology*. 1996;7(9):298-302. doi:10.1016/0924-2244(96)20007-X.
16. Heer K, Sharma S. Microbial pigments as a natural color: A review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2017;8(5):1913-1922.
17. Naidu MM, Sowbhagya HB. Technological advances in food colours. *Food Colours*. 2012;79-88.
18. Boo HO, Hwang SJ, Bae CS, Park SH, Heo BG, Gorinstein S. Extraction and characterization of some natural plant pigments. *Industrial Crops and Products*. 2012;40:129-135. doi: 10.1016/j.indcrop.2012.02.042.
19. Parmar M, Phutela UG. Biocolors: The new generation additives. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2015;4(7):688-694.

- 20.** Gupta C, Garg AP, Prakash D, Goyal S, Gupta S. Microbes as potential source biocolours. *Pharmacologyonline*. 2011;2:1309-1318.
- 21.** Mejia EG, Zhang Q, Penta K, Eroglu A, Lila MA. The colors of health: Chemistry, bioactivity, and market demand for colorful foods and natural food sources of colorants. *Annual Review of Food Science and Technology*. 2019;11:145-182.
- 22.** Saleem H, Mazhar S, Syed Q, Javed MQ, Adnan A. Bio-characterization of food grade pyocyanin bio-pigment extracted from chromogenic *Pseudomonas* species found in Pakistani native flora. *Arabian Journal of Chemistry*. 2021;14:1-14. doi: 10.1016/j.arabjc.2021.103005.
- 23.** Panesar R, Kaur S, Panesar PS. Production of microbial pigments utilizing agro-industrial waste: a review. *Current Opinion Food Science*. 2015;1:70-76. doi: 10.1016/j.cofs.2014.12.002.
- 24.** Tuli HS, Chaudhary P, Beniwal V, Sharma AK. Microbial pigments as natural color sources: Current trends and future perspectives. *Journal Food Science Technology*. 2014;52(4):669-780. doi: 10.1007/s13197-014-1601-6.
- 25.** Dufossé L, Galaup P, Yaron A, Arad SM, Blanc P, Murthy KN, Ravishankar GA. Microorganisms and microalgae as sources of pigments for food use: A scientific oddity or an industrial reality? *Food Science and Technology*. 2005;16:389-406. doi:10.1016/j.tifs.2005.02.006.
- 26.** Manimala MR, Murugesan R. In vitro antioxidant and antimicrobial activity of carotenoid pigment extracted from *Sporobolomyces* sp. isolated from natural sources. *Journal of Applied and Natural Science*. 2014;6(2):649-653. doi: 10.31018/jans.v6i2.511.
- 27.** Nigam PS, Luke JS. Food additives: Production of microbial pigments and their antioxidant properties. *Current Opinion in Food Science*. 2016;7:93-100. doi: 10.1016/j.cofs.2016.02.004.
- 28.** Rao MP, Xiao M, Li WJ. Fungal and bacterial pigments: Secondary metabolites with wide applications. *Frontiers In Microbiology*. 2017;8:1-13. doi: 10.3389/fmicb.2017.01113.
- 29.** Zhang C, Chen X, Too HP. Microbial astaxanthin biosynthesis: recent achievements, challenges, and commercialization outlook. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2020;104:5725-5737.
- 30.** Sen T, Barrow CJ, Deshmukh SK. Microbial pigments in the food industry— challenges and the way forward. *Frontiers In Nutrition*. 2019;6(7):1-14.
- 31.** Dufosse L. Microbial production of food grade pigments. *Food Technology and Biotechnology*. 2006;44(3):313-321.

32. Charkoudian LK, Fitzgerald JT, Khosla C, Champlin A. In living color: Bacterial pigments as an untapped resource in the classroom and beyond. *Plos Biology*. 2010;8(10):1-6. doi: 10.1371/journal.pbio.1000510.
33. Barnetta J, Miller S, Pearce E. Colour and art: A brief history of pigments. *Optics & Laser Technology*. 2006;38(4-6):445-453. doi: 10.1016/j.optlastec.2005.06.005.
34. Stahmann KP, Revuelta JL, Seulberger H. Three biotechnical processes using ashbya gossypii, candida famata, or bacillus subtilis compete with chemical riboflavin production. *Applied Microbiology & Biotechnology*. 2000;53(5):509-516.
35. Agarwal H, Bajpai S, Mishra A, et al. Bacterial pigments and their multifaceted roles in contemporary biotechnology and pharmacological applications. *Microorganisms*. 2023;11(3):6-14.
36. Venil CK, Velmurugan P, Dufosse L, Devi PR, Ravi AV. Fungal pigments: Potential coloring compounds for wide ranging applications in textile dyeing. *Journal of Fungi*. 2020;6(2):1-23. doi: 10.3390/jof602006.
37. Afroz Toma M, Rahman MH, Rahman MS, et al. Fungal pigments: Carotenoids, riboflavin, and polyketides with diverse applications. *Journal of Fungi*. 2023;9(4):454.
38. Erdal P, Ökmen G. Gıdalarda kullanılan mikrobiyal kaynaklı pigmentler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*. 2013;6(2):56-68.
39. Rymbai H, Sharma RR, Srivastav M. Bio-colorants and its implications in health and food industry a review. *International Journal of Pharmacological Research* 2011;3(4):2228-2244.
40. Kirti K, Amita S, Priti S, Kumar AM, Jyoti S. Colorful world of microbes: Carotenoids and their applications. *Advances in Biology*. 2014;1-13. doi: 10.1155/2014/837891.
41. Boger DL, Patel M. Total synthesis of prodigiosin. *Tetrahedron Letters*. 1987;28(22):2499-2502.
42. Darshan N, Manonmani HK. Prodigiosin and its potential applications. *Journal of Food Science and Technology*. 2015;52:5393-5407.
43. Namazkar S, Ahmad WA. Spray-dried prodigiosin from *Serratia marcescens* as a colorant. *Biosci Biotechnol Res Asia*. 2013;10:69–76. doi:10.13005/bbra/1094.
44. Gessler NN, Egorova AS, Belozerskaya TA. Fungal anthraquinones. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2013;49:85-99.
45. Kallscheuer N. Engineered microorganisms for the production of food additives approved by the European Union—A systematic analysis. *Frontiers in Microbiology*. 2018;9:1746.

- 46.** Bhosale MN, Waghmode MS, Patil NN. A survey on microbial pigments: Production and applications. *Gorteria*. 2022;35:10.