
GIDA BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİNDE İLERİ ARAŞTIRMALAR

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Gülten ŞEKEROĞLU

Gıda Bilimleri ve Mühendisliğinde İleri Araştırmalar

Editör

Dr. Öğr. Üyesi Gülten ŞEKEROĞLU

yaz
yayınları

2024

Gıda Bilimleri ve Mühendisliğinde İleri Araştırmalar

Editör: Dr. Öğr. Üyesi Gülten ŞEKEROĞLU

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-6171-56-5

Aralık 2024 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

**Sosyal Medya Platformlarında Yayılan Gıda Güvenliği
Dezenformasyonunun Toplumsal Algıya Etkisi1**
Aslıhan TÜĞEN

**Ohmic Heating As an Innovative and Efficient Solution
in Food Preservation 18**
Pınar ŞEKERCİ KELEŞ, Yusuf ESEN

**Advancements in Non-Destructive Analysis:
Hyperspectral Imaging Applications in Meat And
Meat Products..... 50**
Hasan İbrahim KOZAN

Green Extraction Techniques in Food Processing 75
Hicran UZUN KARKA, Songül KESEN

İşlenmiş Gıdalar ve Sağlık Üzerine Etkileri 94
Songül KESEN, Hicran UZUN

Chocolate Production..... 110
Gülten ŞEKEROĞLU, Ahmet KAYA

**Gıda Ambalajlamada Uygulanan Ambalajlama
Yöntemleri..... 132**
Eda Elgin KILIÇ

**Probiyotiklerin Kapsüllenmesinde Kullanılan
Polimer Sistemler 156**
Eda Elgin KILIÇ

Gelatin	174
<i>Ayşe SEVGİLİ</i>	
Gıdalarda Jelatin Kullanımı	193
<i>Dilek BÜYÜKBEŞE YAYLA</i>	
Applications of Genomic Editing in Food Safety and Quality: Analyzing The Potential And Ethical Considerations	216
<i>Yusuf ESEN, Pınar ŞEKERCİ KELEŞ</i>	
Çocuk ve Ergen Beslenmesinde Diyet Lifin Önemi ve Alım Önerileri.....	251
<i>Cavidan DEMİR GÖKİŞİK</i>	
Shelf Life Dating of Foods	280
<i>Gülten ŞEKEROĞLU</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

SOSYAL MEDYA PLATFORMLARINDA YAYILAN GIDA GÜVENLİĞİ DEZENFORMASYONUNUN TOPLUMSAL ALGIYA ETKİSİ

Aslıhan TÜĞEN¹

1. GİRİŞ

Bilgi paylaşımının dinamiklerini dönüştüren sosyal medya, bireyler ve toplumlar arasındaki etkileşimin temel unsurlarından biri haline gelmiştir. Bu dijital ortam, bilgiye hızlı erişim ve geniş çaplı dağıtım imkânları sunarken, aynı zamanda yanlış bilgi ve dezenformasyonun yayılmasını da kolaylaştırmaktadır. Özellikle toplum sağlığı, çevre, eğitim ve ekonomi gibi hassas konulara dair yayılan yanlış bilgiler, bireylerin algılarını ve davranışlarını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu bağlamda, sosyal medyada yayılan yanlış bilgi ve dezenformasyon, gıda güvenliği gibi toplum sağlığını doğrudan ilgilendiren alanlarda ciddi riskler oluşturmakta ve halk sağlığını tehdit etmektedir.

Gıda güvenliği, bireylerin tükettiği gıdaların sağlık açısından güvenilirliğini sağlama çabasıyla, yalnızca bilimsel çalışmaların değil, aynı zamanda doğru bilgi paylaşımının da odak noktasıdır. Ancak, sosyal medya platformlarının bilgi paylaşımındaki kontrolsüz yapısı, tüketicilerin gıda güvenliği konusundaki yanlış algılarının oluşmasına ve bu algıların

1 Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği
Anabilim Dalı Doktora Öğrencisi, Afyonkarahisar, Türkiye,
asl.tugen@gmail.com, ORCID ID:0000-0001-5344-2804.

yaygınlaşmasına zemin hazırlamaktadır. Bu çalışmada, sosyal medyada yayılan yanlış bilgilerin bireylerin gıda güvenliği algısı üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Özellikle, 2011 yılından itibaren aralıklarla sosyal medya gündemini meşgul eden, bilimsel temelden yoksun ve tamamen yanlış iddialar içeren “Gıdalarda Solitin Kullanımı” başlıklı bir metin üzerinden, bu tür yanlış bilgilerin bireyler ve toplum üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. BİLGİ DÜZENSİZLİĞİ, DEZENFORMASYON VE BİR DEZENFORMASYON ARACI OLARAK SOSYAL MEDYA

Yeni medya platformları, bireylerin içerik oluşturucu olarak hareket etmesini sağlayarak katılımcı bir ortamı teşvik etmiş ve böylece bilgi kaynaklarını çeşitlendirmiştir (Akyüz & Akpınar, 2023). Ancak bu artan çeşitlilik, içeriğin düzenlenmesini zorlaştırmakta ve yanlış bilgi, kötü bilgi ve dezenformasyon gibi bilgi bozukluklarıyla karakterize edilen infodemik gibi olgulara yol açmaktadır. Kontrol mekanizmalarının görece işlevsel olduğu geleneksel medyanın aksine, yeni medyanın merkezi olmayan yapısı, etkili düzenleme ve özdenetimi zorlaştırmaktadır (Toktay, 2019).

Bilgi düzensizliği, üç temel türe ayrılmaktadır: mezenformasyon, dezenformasyon ve malenformasyon. *Mezenformasyon* yanlış bilginin kasıtsız bir şekilde paylaşılması durumunu ifade eder; bu, bireylerin bilgi doğruluğunu teyit etmeden yanlış bilgiyi yaymaları ile ilişkilidir (Oymak, 2022). Lewandowsky ve diğerleri (2012) mezenformasyonun yayılmasında söylentiler, hükûmetler, bireysel menfaatler ve medya gibi faktörlerin rol oynadığını belirtmektedir. *Dezenformasyon*, bilinçli bir şekilde yanlış bilgi üretilmesi ve

yayılması anlamına gelir. Bu tür bilgi düzensizliği genellikle propaganda ve manipölasyon amacı taşır. Yanlış bilgiyi yayma sürecinde profesyonel troller, botlar ve partizan medya gibi aktörler aktif rol oynar (Patterson, 2005). *Malenformasyon* ise, doğru bilginin zarar verme amacıyla kötüye kullanılmasıdır; örneğin, gizli bilgilerin kamuoyuna sızdırılması bu türe dahildir (Erdoğan ve diğerleri, 2022). Bu üç tür, bilgi düzensizliğinin farklı motivasyonlarla üretildiği ve dağıtıldığı süreçlerde, modern medya teknolojilerinin etkisiyle sıkça karşılaşılan sorunlardır (Wardle & Derakhshan, 2022).

İletişim teknolojilerinin evrimi, özellikle yeni medya ve sosyal medya platformlarının yaygınlaşması yoluyla toplumsal etkileşimleri temelden yeniden şekillendirmiştir. Bu teknolojiler bilgiye eşi benzeri görülmemiş bir erişim kolaylığı sunarken, aynı zamanda, özellikle erişilebilir verilerin güvenilirliğini zayıflatan yanlış bilgi, manipölasyon ve dezenformasyonun yaygınlığı gibi önemli zorlukları da beraberinde getirmektedir (Kırık & Orkan, 2016). Tekrarlama ve duygusal çekicilik, sosyal medyanın hızı ve erişimi ile daha da kötüleşen bir olgu olan yanlış bilginin yayılmasını güçlendirmektedir (Le Bon, 2018). Bu hızlı, filtrelenmemiş yayılım, özellikle seçimler veya krizler gibi kritik toplumsal olaylar sırasında yanlış bilginin geliştiği ortamları beslemektedir (Erkan & Ayhan, 2018).

Sosyal medya platformları, yanlış bilgilerin yayılmasını hızlandıran çeşitli tasarım unsurlarına ve kullanıcı etkileşim dinamiklerine sahiptir. Yanlış bilgi, özellikle siyasi kutuplaşma, aşırı tereddütleri ve iklim değişikliği gibi önemli toplumsal sorunlarda etkili olabilmektedir (Globig ve diğerleri, 2023). Yanlış bilgilerin bu denli hızlı yayılmasında, kullanıcı alışkanlıkları ve teşvik mekanizmalarının etkisi büyüktür. Platformlar genellikle beğeni, paylaşım gibi ödül mekanizmalarına dayanarak kullanıcıları doğruluk yerine

etkileşim odaklı davranmaya teşvik etmektedir (Ceylan ve diğerleri, 2023). Bu durum, doğruluk kontrolüne dayalı müdahalelerin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Teşvik mekanizmalarının yeniden yapılandırılması, yanlış bilgilerin yayılımını sınırlamada etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Örneğin, doğru bilgi paylaşımını ödüllendiren sistemlerin, kullanıcı davranışını olumlu yönde değiştirdiği gözlemlenmiştir (Globig ve diğerleri, 2023). Kullanıcıların, bilgi paylaşırken doğruluk kavramını dikkate alması, sadece platform tasarımlarındaki değişikliklerle değil, aynı zamanda sosyal medya okuryazarlığının artırılmasıyla da desteklenebilir (Zade ve diğerleri, 2023). Bu tür müdahaleler hem bireysel hem de toplumsal düzeyde bilgi paylaşımında daha sorumlu bir yaklaşımı teşvik etmektedir.

Platform tasarımı ve teknik özellikler de yanlış bilgilerin yayılmasını önlemede kritik rol oynamaktadır. Örneğin, bağlamsal ipuçları ve tweet yörüngeleri gibi özellikler, kullanıcıların bir içeriğin güvenilirliğini değerlendirmelerine yardımcı olmaktadır (Zade ve diğerleri, 2023). Bununla birlikte, sosyal medya platformlarının birbirleriyle bağlantılı yapısı, yanlış bilginin farklı platformlar arasında hızla yayılmasına olanak tanımaktadır (Ng ve diğerleri, 2022). Dolayısıyla, çapraz platform stratejilerinin geliştirilmesi gerekliliği önem kazanmaktadır. Kullanıcı alışkanlıklarının daha bilinçli bir doğruluk kontrolü üzerine eğitilmesi, bu sorunun çözümüne katkı sağlayabilir.

Yanlış bilgilerin tespiti ve yayılmasının önlenmesi için kullanılan teknolojiler arasında makine öğrenimi modelleri önemli bir yere sahiptir. Bu modeller, içerik özelliklerini ve kullanıcı davranışlarını analiz ederek yanlış bilgilerin yayılım eğilimlerini öngörebilmektedir (Jing ve diğerleri, 2023). Bunun

yanı sıra, stil tabanlı ve yayılım odaklı algılama teknikleri, doğru ve yanlış bilgileri ayırt etmede etkili bir yöntem sunmaktadır (Rastogi & Bansal, 2022). Bu teknolojilerin başarılı bir şekilde uygulanması, sosyal medya ekosisteminde bilgi doğruluğunu sağlamada önemli bir ilerleme sunmaktadır.

Doğrulama mekanizmalarının etkinliği ve erişilebilirliği, çevrimiçi etkileşimlerin güvenilirliği açısından hayati bir öneme sahiptir. Sahte hesapların tespit edilmesinde kullanılan makine öğrenimi tabanlı sınıflandırıcılar, bu tür mekanizmaların etkili bir örneği olarak öne çıkmaktadır (Kozlov ve diğerleri, 2020). Aynı şekilde, söylenti doğrulama modelleri ve kullanıcı geri bildirimlerine dayalı hibrit yöntemler, sosyal medya platformlarında daha güvenilir bir bilgi ortamı oluşturmayı hedeflemektedir (Lv ve diğerleri, 2020; Yavary ve diğerleri, 2020). Ancak, bu mekanizmaların etkin bir şekilde işlemesi, kullanıcı eğitime yönelik stratejilerin geliştirilmesiyle daha da güçlendirilmelidir.

Bu bağlamda, sosyal medya platformlarında yanlış bilgiyle mücadele için teşvik sistemlerinin yeniden yapılandırılması, teknik altyapının geliştirilmesi ve kullanıcı farkındalığının artırılması gerekmektedir. Doğrulama mekanizmalarının etkinliğinin artırılması ve kullanıcıların bu mekanizmalara kolayca erişebilmesi, platformların daha güvenilir bir bilgi ekosistemi oluşturmaya katkı sağlayabilir. Bu süreçte, teknolojik yeniliklerin yanı sıra sosyal ve politik düzeyde koordineli çabalar da kritik öneme sahiptir.

3. GIDA GÜVENLİĞİ VE SOSYAL MEDYA YANILSAMALARI: “GIDALARDA SOLİTİN KULLANIMI”

“Solitin” adlı kimyasal maddenin süt ve süt ürünlerinde kullanıldığına dair asılsız iddialar, ilk olarak 2011 yılında internet ve sosyal medya platformlarında ortaya çıkmıştır (DHA, 2017). Bu iddialar, başlangıçta e-posta zincirleri aracılığıyla yayılmış, ardından Facebook ve WhatsApp gibi sosyal medya ve mesajlaşma uygulamaları üzerinden geniş kitlelere ulaşmıştır. Bu tür platformlar, yanlış bilgilerin hızla ve geniş çapta yayılmasına zemin hazırlamıştır. Ayrıca baştan aşağı hatalı, yanlış ve hatta açıkça yalan bilgilerden oluşan bu metni gerçek sanan birçok yerel ve ulusal haber sitesi ve gazeteler de metni haberleştirerek paylaşmış ve metnin daha da yayılmasına neden olmuştur.



Şekil 1. Tamamı Yanlış Bilgilerden Oluşan Metne Dair Paylaşım Görüntüleri

Söz konusu metin, süt ve süt ürünlerinde “Solitin” isimli kimyasal bir maddenin kullanıldığı iddiasıyla ilgili ciddi yanlış bilgiler içermektedir. Öncelikle, “Solitin” adıyla tanımlanan bir bileşiğin kimya literatüründe yer almadığı ve bilimsel olarak

tanımlanmadığı açıktır. Ayrıca, metinde “trikalsit bileşiği” olarak nitelendirilen bu maddenin sağlık üzerindeki etkilerine ilişkin öne sürülen iddialar, herhangi bir bilimsel temele dayanmamaktadır. Metin, Ankara Üniversitesi Hacettepe Tıp Fakültesi Biyokimya Bölümü’nde görev yaptığı iddia edilen “Yrd. Doç. Dr. Gülden Semavi” ve “Ankara Hıfzıssıhha Gıda Denetim Bölüm Başkan Yardımcısı Gönül Özdeğer” isimli kişilere atıfta bulunmasına rağmen, ne Ankara Üniversitesi Hacettepe Tıp Fakültesi Biyokimya Bölümü’nde görevli böyle bir akademisyen ne de Ankara’da “Ankara Hıfzıssıhha Gıda Denetim Bölümü” diye bir kurum bulunmaktadır. Bununla birlikte, metinde bahsi geçen “Solingen Üniversitesi” ve “European Psychiatry Society” gibi kuruluşlar da gerçek hayatta mevcut değildir (Malumatfuruş, 2020).

Sözde “Solitin” maddesinin böbrek rahatsızlıklarına, şizofreniye ve diğer sağlık sorunlarına neden olduğu iddiası, bilimsel bir dayanak taşımamaktadır. Ayrıca, metinde önerilen sözde “evde test yöntemleri” (sıcak metal batırma veya sirkeli su testi), bilimsel açıdan geçersiz ve safsatadan ibarettir. Metnin içerdiği bu iddiaların, bilimsel olmayan tanımlar ve kurum isimleriyle desteklenerek güvenilirlik algısı yaratmaya çalıştığı gözlemlenmektedir. Ancak, konuya ilişkin yapılan araştırmalarda, metinde yer alan ifadelerin hiçbirinin doğrulanabilir olmadığı ve iddiaların asılsız olduğu açıkça ortaya konmuştur (Arabacı, 2017).

4. SOSYAL MEDYADA YAYILAN YANLIŞ BİLGİLERİN GIDA GÜVENLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Sosyal medya, gıda güvenliği konusundaki yanlış bilgilerin yayılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Geniş erişim kapasitesi ve hızlı bilgi akışı sağlayan bu platformlar hem doğru

hem de yanlış bilgilerin etkili bir şekilde yayılmasını mümkün kılmaktadır. Özellikle gıda güvenliğiyle ilgili yanlış bilgiler, tüketicilerin algılarını şekillendirmekte ve karar alma süreçlerini etkilemektedir. Bu durum, çoğunlukla tüketicilerin yanlış bilgilere dayalı davranışlar sergilemesine neden olmaktadır (Seah & Weimann, 2020). Yanlış bilgi, sosyal medya platformlarının dinamik yapısı nedeniyle hızla yayılabilmektedir ve bu da halk sağlığı ve tüketici güvenliği açısından önemli sonuçlara yol açmaktadır (Chou ve diğerleri, 2018).

Sosyal medya kullanıcılarının bilgiye olan güvenini etkileyen en önemli unsurlardan biri, bilginin kaynağıdır. Güvenilir kaynaklardan gelen bilgilerin daha yaygın olarak paylaşıldığı ve bu durumun yanlış bilgiye olan güveni azaltabildiği bilinmektedir. (Ji ve diğerleri, 2021). Ancak, yanlış bilgi içeren kaynakların popülerliği, doğru bilgiye olan erişimi sınırlandırabilmekte ve yanlış bilginin daha geniş kitlelere ulaşmasını kolaylaştırmaktadır (Diekman ve diğerleri, 2022). Bunun yanı sıra, sosyal medyada yer alan yankı odası etkisi, kullanıcıların mevcut inançlarını pekiştiren bilgilere daha fazla maruz kalmasına neden olmaktadır. Bu durum, yanlış bilginin güçlenmesine ve doğru bilginin yayılmasının engellenmesine katkıda bulunmaktadır (Chou ve diğerleri, 2018).

Gıda güvenliğiyle ilgili yanlış bilgiler genellikle duygusal tepkilerle daha etkili hale gelmektedir. Son derece profesyonel bir dille hazırlanmış “Gıdalarda Solitin Kullanımı” gibi sahte sosyal medya içerikleri, kullanıcıların bilgiye daha güçlü bir şekilde bağlanmasına yol açabilmektedir. Bu tip, sözde uzmanlarca kaleme alınan profesyonel dille hazırlanmış ve doğru olduğu izlenimi veren yanlış bilgilerin yayılması hızlanmaktadır (Mou & Lin, 2014). Duygusal tepki ve risk algısı arasındaki etkileşim, tüketicilerin gereksiz önlemler almasına veya belirli ürünlerden kaçınmasına neden olabilmektedir. Bu

süreç, sosyal medya platformlarının bilgi yayma gücü ile birleştiğinde, tüketicilerin yanlış bilgilere dayalı kararlar almasını kolaylaştırmaktadır (Ventura ve diğerleri, 2021).

Yanlış bilginin etkileri yalnızca bireysel tüketici davranışlarını değil, aynı zamanda toplumsal ve ekonomik dinamikleri de etkilemektedir. Yanlış bilgilere dayalı tüketici davranışları, gıda sektöründe şirketlerin finansal performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Yanlış bilgi nedeniyle tüketici güveninin azalması, satış kayıplarına ve piyasa dengesizliklerine yol açabilmektedir (Wang ve diğerleri, 2020).

Örneğin, 2011 yılında Almanya'da ortaya çıkan E. coli salgını sırasında, başlangıçta İspanyol salatalıklarının kontamine olduğu yönünde yanlış bilgiler yayılmış, bu durum, İspanyol tarım sektöründe ciddi ekonomik kayıplara neden olmuştur. İspanya'da salatalık ihracatı durma noktasına gelmiş ve üreticiler 200 milyon Euro'dan fazla zarar etmiştir. Daha sonra kontaminasyonun kaynağının farklı olduğu anlaşılsa da yanlış bilginin yol açtığı zararlar kalıcı olmuştur (Rogers, 2024). Öte yandan, bu tür yanlış bilgilerin etkilerini azaltmak için yapılan halkla ilişkiler kampanyaları ve diğer stratejik müdahaleler, şirketler için ek maliyetlere yol açmaktadır (Fernández-Miguélez ve diğerleri, 2020).

Yanlış bilgilendirmenin gıda güvenliği üzerindeki etkisini gösteren kayda değer başka bir örnek, 2012 yılında “pembe balçık” olarak bilinen yağsız ince dokulu sığır eti (LFTB) ile ilgili tartışmalardır. Mart 2012'de ABC News, LFTB'yi “esasen birbirine sıkıştırılmış ve antibakteriyel bir madde ile muamele edilmiş hurda et parçaları” olarak tanımlayan ve “endüstriyel gıda üretiminin iştah açıcı olmayan bir örneği” olarak nitelendiren bir dizi haber yayınlamıştır. Bu tasvir, kamuoyunda yaygın bir endişeye ve ürüne karşı tepkiye

yol açmıştır (Pannone, 2013). Medyada yer alan haberler ve ardından gelen kamuoyu tepkisinin önemli ekonomik yansımaları olmuştur. Önemli bir LFTB üreticisi olan Beef Products Inc. (BPI) talepte ciddi bir azalma yaşamış ve bunun sonucunda dört üretim tesisinden üçü kapatılmış ve yaklaşık 650 çalışan işten çıkarılmıştır. Şirket, ABC News'e karşı bir hakaret davası açarak, kanalın haberlerinin LFTB'nin güvenliği ve kalitesi konusunda tüketicileri yanlış yönlendirdiğini iddia etmiştir. Dava 2017 yılında sonuçlanmış ve ABC News'in BPI'ye 177 milyon dolar ödediği bildirilmiştir (Reuters, 2017).

Yanlış bilgilere karşı koymak ve halk sağlığını korumak için çeşitli stratejiler önerilmektedir. Bu stratejiler arasında eleştirel düşünme becerilerinin geliştirilmesi, medya okuryazarlığının teşvik edilmesi ve güvenilir kaynaklardan bilgi sağlanması yer almaktadır (Diekman ve diğerleri, 2022). Gıda bilimcileri ve beslenme uzmanları, doğru bilgilerin yayılmasında ve yanlış bilgilere karşı savunma mekanizmalarının geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, sosyal medya platformları algoritmalarını, doğru bilgilerin görünürlüğünü artıracak şekilde yeniden yapılandırarak yanlış bilginin yayılmasını sınırlayabilir (Bode ve diğerleri, 2021).

Yanlış bilginin etkilerini azaltmanın bir diğer yolu, sosyal medya üzerinden gerçek zamanlı bilgi izleme ve analiz yöntemleri geliştirmektir. Metin madenciliği ve makine öğrenimi gibi teknolojiler, yanlış bilgilerin erken tespit edilmesine ve bu bilgilere hızla müdahale edilmesine olanak tanımaktadır (Goldberg ve diğerleri, 2020). Bu tür teknolojik yaklaşımlar, yanlış bilginin etkilerini sınırlamak ve kamuoyu algısını doğru bir şekilde yönlendirmek için etkili araçlar sunmaktadır.

Sosyal medyanın bilgi yayma gücü fırsatlar sunduğu kadar zorluklar da sunmaktadır. Doğru bilgiye dayalı halk sağlığı iletişimi sağlamak ve yanlış bilginin etkilerini en aza indirmek için dengeli bir yaklaşım benimsemek gerekmektedir. Uzmanların ve kurumların sosyal medya platformlarında aktif bir rol oynaması hem yanlış bilginin yayılmasını önlemek hem de halkı daha bilinçli tüketici davranışlarına yönlendirmek açısından kritik öneme sahiptir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, sosyal medyanın bilgi paylaşımındaki gücü ve etkisi bağlamında yanlış bilgilerin gıda güvenliği algısı üzerindeki etkilerini ele almıştır. Özellikle, "Gıdalarda Solitin Kullanımı" gibi tamamen yanlış bilgiler içeren içeriklerin sosyal medya platformlarında yayılması, bireylerin gıda güvenliği konusundaki algılarını ve davranışlarını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Sosyal medya platformlarının merkezi olmayan yapısı ve kullanıcı etkileşimlerini teşvik eden tasarım özellikleri, bu ve bunun gibi yanlış bilgilerin hızlı ve geniş çaplı bir şekilde yayılmasını kolaylaştırmaktadır. Yanlış bilgiler, tüketicilerin gıda güvenliği konusunda yanlış algılar geliştirmesine ve yanıltıcı kararlar almasına neden olmaktadır. Bu durum, bireysel düzeyde yanlış bilgilere dayalı davranışlara yol açarken, toplumsal düzeyde ekonomik ve sosyal sorunları da beraberinde getirmektedir. Doğru bilgiye erişim konusunda yaşanan eksiklikler, sosyal medyada yanlış bilginin daha cazip ve güvenilir algılanmasını sağlamaktadır. Bilimsel bilgilerin yeterince yaygınlaştırılamaması, bu eksikliğin temel nedenlerinden biridir. Bu bağlamda yanlış bilgilerin etkilerini azaltmak ve toplumu doğru bilgiye yönlendirmek amacıyla aşağıdaki önerilerin dikkate alınması gerekli olacaktır:

- Sosyal medya kullanıcılarının medya okuryazarlığı becerilerini geliştirmek için eğitim programları düzenlenmelidir.
- Yanlış bilginin tespit edilmesi için makine öğrenimi ve metin madenciliği gibi teknolojiler kullanılmalıdır.
- Gerçek zamanlı bilgi doğrulama mekanizmaları sosyal medya platformlarına entegre edilmelidir.
- Yanlış bilgi yayılımını engellemek için sosyal medya platformlarına yönelik yasal düzenlemeler yapılmalıdır.
- Sosyal medya platformları, algoritmalarını doğru bilgiye öncelik verecek şekilde yeniden yapılandırılmalıdır.
- Bilimsel ve güvenilir bilgilerin daha geniş kitlelere ulaşmasını sağlamak amacıyla kamu kurumları, sivil toplum kuruluşları ve akademik çevreler arasında iş birliği artırılmalıdır.
- Gıda güvenliği konularında doğru bilgi paylaşımını artırmak için düzenli halk sağlığı kampanyaları düzenlenmelidir.
- Uzmanların sosyal medya platformlarında aktif olarak doğru bilgiyi paylaşımları teşvik edilmelidir.
- Sosyal medya platformları arasında yanlış bilgiyle mücadeleyle yönelik çapraz iş birliği mekanizmaları oluşturulmalıdır.
- Farklı platformlarda yayılan yanlış bilgilerin hızlı bir şekilde tespit edilmesi ve kaldırılması için ortak bir protokol geliştirilmelidir.

6. KAYNAKÇA

- Akyüz, S. S. (2021). Yeni toplumsal hareketlerde sosyal medya ve manipülatif haberlerin etkisi: Boğaziçi protestoları örneği. İçinde S. S. Akyüz (Ed.), *Dezenformasyon çağı* (ss. 25–54). Konya: Eğitim Yayınevi.
- Arabacı, A. O. (2017, Kasım 21). Süt ve süt ürünlerinde Solitin isimli ölümcül bir kimyasal bulunduğu iddiası. *Teyit*. <https://tinyurl.com/6cpjahzy>
- Bahri, L., Carminati, B., & Ferrari, E. (2014, June). Community-based identity validation on online social networks. In *2014 IEEE 34th International Conference on Distributed Computing Systems* (pp. 21-30). IEEE.
- Bode, L., Vraga, E. K., & Tully, M. (2021). Correcting misperceptions about genetically modified food on social media: Examining the impact of experts, social media heuristics, and the gateway belief model. *Science Communication*, 43(2), 225-251.
- Ceylan, G., Anderson, I. A. & Wood, W. (2023). Sharing of misinformation is habitual, not just lazy or biased. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(4), e2216614120.
- Chou, W. Y. S., Oh, A., & Klein, W. M. (2018). Addressing health-related misinformation on social media. *Jama*, 320(23), 2417-2418.
- DHA. (2017, Ağustos 18). Süt ürünlerinde solitin iddiası tümüyle palavra. *Hürriyet*. <https://tinyurl.com/4646a5vp>
- Diekman, C., Ryan, C. D. & Oliver, T. L. (2023). Misinformation and disinformation in food science and nutrition: impact on practice. *The Journal of Nutrition*, 153(1), 3-9.

- Erdoğan, E., Uyan Semerci, P., Eyolcu Kafalı, B., & Çaytaş, Ş. (2022). İnfodemi ve bilgi düzensizlikleri: Kavramlar, nedenler ve çözümler.
- Erkan, G., & Ayhan, A. (2018). Siyasal iletişimde dezenformasyon ve sosyal medya: Bir doğrulama platformu olarak teyit. org. *Akdeniz Üniversitesi İletişim Fakültesi Dergisi*, (29. Özel Sayısı), 202-223.
- Fernández-Miguélez, S. M., Díaz-Puche, M., Campos-Soria, J. A., & Galán-Valdivieso, F. (2020). The impact of social media on restaurant corporations' financial performance. *Sustainability*, 12(4), 1646.
- Globig, L. K., Holtz, N., & Sharot, T. (2023). Changing the incentive structure of social media platforms to halt the spread of misinformation. *Elife*, 12, e85767.
- Goldberg, D. M., Khan, S., Zaman, N., Gruss, R. J., & Abrahams, A. S. (2022). Text mining approaches for postmarket food safety surveillance using online media. *Risk Analysis*, 42(8), 1749-1768.
- Ji, J., Chao, N., Wei, S., & Barnett, G. A. (2021). Microblog credibility indicators regarding misinformation of genetically modified food on Weibo. *PloS one*, 16(6), e0252392.
- Jing, J., Li, F., Song, B., Zhang, Z. & Choo, K. K. R. (2022). Disinformation propagation trend analysis and identification based on social situation analytics and multilevel attention network. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 10(2), 507-522.

- Kırık, A. M., & Orkan, S. (2016). Değişen iletişim pratikleri çerçevesinde sosyal medyada sanal dedikodu etkisi. In A. Büyükaslan & A. M. Kırık (Eds.), *Sosyal medya araştırmaları 3* (ss. 17–42). Konya: Çizgi Kitabevi.
- Kozlov, F., Yuen, I., Kowalczyk, J., Bernhardt, D., Freeman, D., Pearce, P., & Ivanov, I. (2020). Evaluating changes to fake account verification systems. In *23rd International Symposium on Research in Attacks, Intrusions and Defenses (RAID 2020)* (pp. 135-148).
- Le Bon, G. (2018). *Kitleler psikolojisi*. Ankara: Bilge Su Yayınları.
- Lewandowsky, S., Ecker, U. K., Seifert, C. M., Schwarz, N., & Cook, J. (2012). Misinformation and its correction: Continued influence and successful debiasing. *Psychological science in the public interest*, 13(3), 106-131.
- Lv, Q., Wang, Y., Zhang, B., & Jin, Q. (2020). RV-ML: An effective rumor verification scheme based on multi-task learning model. *IEEE Communications Letters*, 24(11), 2527-2531.
- Malumatfuruş. (2020, Ocak 26). Süt ve süt ürünleri içeren yiyeceklere solitin koyularak insanların zehirlendiği iddiası. *Malumatfuruş*. <https://tinyurl.com/48bzaxbb>
- Mou, Y., & Lin, C. A. (2014). Communicating food safety via the social media: The role of knowledge and emotions on risk perception and prevention. *Science Communication*, 36(5), 593-616.
- Ng, L. H. X., Cruickshank, I. J., & Carley, K. M. (2022). Cross-platform information spread during the January 6th capitol riots. *Social Network Analysis and Mining*, 12(1), 133.

- Oymak, H. (2022). Kamuoyunda dezenformasyon yasası olarak bilinen, 7418 sayılı “Basın Kanunu İle Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun”’un getirdikleri. *Yeni Medya*, 2022(13), 504-514.
- Pannone, A. J. (2013). *Bloggers as citizen journalists: The 2012 pink slime incident*. Texas A&M University (Master’s thesis).
- Patterson, A. (2005). Dezenformasyon Çağı. İstanbul: Nüansarma Yayınları.
- Rastogi, S., & Bansal, D. (2022). Disinformation detection on social media: An integrated approach. *Multimedia Tools and Applications*, 81(28), 40675-40707.
- Reuters. (2017). *ABC settles 'pink slime' defamation lawsuit with Beef Products Inc.* <https://tinyurl.com/ynunjweu>
- Rogers, K. (2024). German E. coli outbreak of 2011. In *Encyclopædia Britannica*. <https://tinyurl.com/mspvr5v>
- Seah, S., & Weimann, G. (2020). What influences the willingness of Chinese WeChat users to forward food-safety rumors?. *International Journal of Communication*, 14, 22.
- Toktay, Y. (2019). *Sosyal medyada dezenformasyon, manipölasyon ve propaganda etkisi: Zeytin Dalı Hareketi örneği*. Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi.
- Ventura, V., Cavaliere, A., & Ianno, B. (2021). # Socialfood: Virtuous or vicious? A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 674-686.

- Wardle, C. & Derakhshan, H. (2017). *Information disorder: Toward an interdisciplinary framework for research and policymaking* (Vol. 27, pp. 1-107). Strasbourg: Council of Europe.
- Yavary, A., Sajedi, H. & Saniee Abadeh, M. (2020). Information verification in social networks based on user feedback and news agencies. *Social Network Analysis and Mining*, 10, 1-8.
- Zade, H., Woodruff, M., Johnson, E., Stanley, M., Zhou, Z., Huynh, M. T., ... & Starbird, K. (2023). Tweet Trajectory and AMPS-based Contextual Cues can Help Users Identify Misinformation. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 7(CSCW1), 1-27.

OHMIC HEATING AS AN INNOVATIVE AND EFFICIENT SOLUTION IN FOOD PRESERVATION

Pınar ŞEKERCİ KELEŞ¹

Yusuf ESEN²

1. INTRODUCTION

Traditional heat treatment methods are one of the basic techniques widely used in food preservation (Cappato et al., 2017; Kaur & Singh, 2016). The main purpose of heat treatments applied to foods is to provide microbial components of foods, preserve nutrients and sensory properties and extend the product's properties and shelf life (Varghese et al., 2014). However, the heat transfer module used in traditional heat treatment methods can cause the product to overheat, causing losses in the structure and sensory properties of heat-sensitive foods. Traditional heat treatments in industry are generally provided by cutting the thermal energy produced by burning solid, liquid or gaseous fuels directly or indirectly with the transfer of the material. However, these rates operate with low energy efficiency and cause a high increase in value. With these failures, the demand for new and alternative heating technologies has been increasing rapidly in recent years. Ohmic heating systems are one of these advanced devices used in many

-
- 1 Assistant Professor; Ardahan University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering. pınarsekerici@ardahan.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-6225-4781>
 - 2 Lecturer Doctor; Ardahan University, Technical Sciences Vocational School, Food Processing Department. yusufesen@ardahan.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-1173-0677>.

areas of the food industry. Heat transfer mechanisms in traditional heat treatments have some disadvantages such as causing excessive heating on the product surface, causing losses in heat-sensitive nutrients and sensory properties (Sakr & Liu, 2014).

Ohmic heating is an electrical heating method and is because the alternating current passing through the system is heated by the electrical resistance of a food showing the circuit. During ohmic heating, electrical energy is converted into thermal energy. During the heating process, a food item is placed in an electric field and in this area formed by two or more electrodes, the current is distributed through the food and the food is heated in a way with the resistance shown by the food. In this system, a volumetric heat increase occurs in the food or food mixture that resists the alternating current passing through. The main difference of this method from microwave and inductive heating methods is that the heating occurs in direct contact with the feed (Kaur & Singh, 2016). Liquid phase is generally used as the heating medium and extremely low concentration salt solutions are preferred due to their high conductivity (Icier et al., 2017).

In general, an ohmic heating system consists of a power supply, heating cell, electrodes, microprocessor and computer (Gavahian & Farahnaky, 2018). An ohmic heating supported evaporation system is used to ensure the protection of the power supply, necessary installations and systems. The capacity of the power supply varies depending on the voltage transitions required during the process and the process to be performed. In order for the system to operate safely, the foodstuff must be placed, and the heating unit must be made of an insulating material. In addition, it is very important that the electrodes that come into direct contact with the foodstuff during the process

have high conductivity and are provided with a support that does not leave any residue on the product (Gavahian & Farahnaky, 2018; Icier et al., 2017). These design details are critical in terms of system components and the provision of foodstuffs.

2. BASIC PRINCIPLES

Like capacitive dielectric, radiative dielectric, inductive, and radiative magnetic heating, ohmic heating is categorized as having a variety of flexibility. Although it is like microwave heating, ohmic heating works at very different frequencies. This method provides continuous and homogeneous heating by passing electric current through food liquids and solids. One of the most important sources of ohmic heating is to eliminate the uneven heat situation seen in microwave heating and to provide homogeneous heating of the food instead (Varghese et al., 2014). A system with hot walls, ohmic heating prevents the deterioration of heat-sensitive compounds due to excessive heat, as well as the contamination that occurs on the food surfaces during processing. This is an important advantage in terms of food applications (Ayadi et al., 2006). In addition, the ohmic heating method has special advantages such as increasing the food, reducing consumption and energy consumption during processing. Products produced by ohmic heating can have high safety and quality capacity, and the shelf life of these foods is comparable to canned, sterile or aseptically processed products. At the same time, this method can be used for commercial operations with ordinary applications. Ohmic heating stands out as a safe, high-quality and energy-efficient option in modern food processing technologies.

Electrical conductivity applied electric field food power, food residence time in the system, feeding technique, and the

system's heat output rate all affect how well ohmic heating works. This method produces heat using the electrical resistance of the food. To understand the process effectively, detailed examination of the electrical conductivity of the food and accurate prediction of heating patterns are necessary. Ohmic heating can be seen in the sensory and microbiological properties of foods, which is of great importance in terms of technological efficiency. This method can be used similarly to traditional methods such as pasteurization, fermentation or sterilization of foods (Varghese et al., 2014). Ohmic heating provides both microbial safety in food processing technologies and stands out as an effective alternative to produce quality products by preserving the sensory properties of the product.

Ohmic heating is classified as an advanced version of traditional heating methods. Some studies have stated that ohmic heating is like microwave heating because it converts electrical energy into heat due to ion movement and increases (Silva et al., 2017). However, the ohmic heating method provides continuous heating using an alternating current power source, unlike microwaves. This feature allows the process to be carried out in a more controlled and efficient way. The basic work list of ohmic heating in a system is the thermal structures of the food depending on the electrical resistance of the path provided by the alternating current. An example of this method being recorded is visualized in Figure 1. Ohmic heating is a method that shows attention in modern processing technologies with its energy efficiency and homogeneous heating system (Varghese et al., 2014).

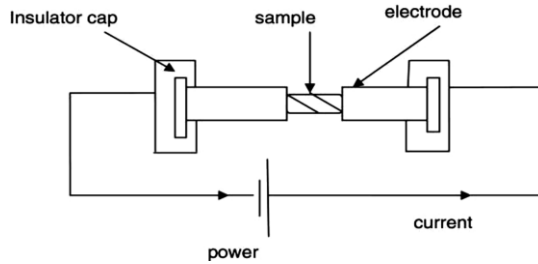


Figure 1. Schematic representation of ohmic heating applied to food

Reference: Varghese et al., 2014.

The heating techniques commonly used for food are based on the transfer of heat from a surface to the material. This heat is produced directly or indirectly by a heating process, by bringing hot parts together (e.g. steam) or by using a heat exchanger (e.g. shell and plate tube). This fracture requires a temperature gradient (temperature difference) for heat transfer to the material, so the surfaces must have a higher temperature than the parts of the product. However, a hot surface can cause spoilage and burns in some products, heat transfer losses and this can have negative effects on the product. Especially high viscosity liquids or liquids with particles are difficult to heat and heat transfer. Ohmic heating prevents such problems by eliminating hot surfaces caused by heating materials (Sakr & Liu, 2014). The quantity of heat generated by the system, the material's electrical conductivity, electrical records, the material's residence period, and the production process all affect the ohmic heating system (Takhistov, 2007).

To carry out the ohmic heating process, it is necessary to examine the electrical conductivity of the food and to correctly predict the resulting heating patterns. The perspective of this process on the sensory and microbiological aspects of the food is very important. The main difference between ohmic heating

and other heating methods is the use of electrodes that do not come into direct contact with the material. These electrodes are connected correctly to save electricity in their components and ensure that the heat is distributed evenly (Silva et al., 2017).

3. METHODS OF OHMIC HEATING

Ohmic heating devices, unlike many new electrical energy technologies, use alternating current. In practice, heating can be provided using low frequency (50-60 Hz) alternating current without the need for a frequency converter. This feature provides a significant advantage by limiting the electrochemical reactions caused by traditional heating methods in foods. Historically, although different processes were developed for direct resistance heating in liquids in the late 19th century, continuous sterilization and packaging applications were not successful due to corrosion and electrolysis in the electrodes. However, today this problem has been prevented by coating passive electrodes containing titanium with platinum or ruthenium.

Ohmic heating is an effective method to prevent food spoilage and provide the desired shelf life. However, depending on the application method and the structure of the food, heat transfer can often be heterogeneous, which can lead to nutritional losses. Homogeneous heat treatment plays a critical role in deficiencies caused by foodstuffs for microbial stability. The change of traditional heating methods and the increasing demands for safe food production have increased the interest in alternative technologies such as radio broadcasting, microwave and pulsed electric field in the industrial field (Yildiz-Turp et al., 2013).

Ohmic heating, sometimes referred to as Joule heating, is a technique that uses electricity to heat food. The transformation

of electrical energy into thermal energy in an electrical conductor is the fundamental idea behind this technique (Aurina & Sari, 2022). The first step in heating is shielding the food item from an alternating electrical current, which causes heat to be produced inside the meal (Pereira & Vicente, 2010). Ionic motion (joule effect) causes the heat to be generated quickly and volumetrically inside the food ingredients. Electrical conductivity and the voltage gradient can directly be used in the quantity of heat produced. Temperature, voltage gradient, and food composition are some of the variables that affect the electrical conductivity of food materials. In particular, the electrical conductivity increases in ionic groups such as acids and salts, while the cellular conductivity of non-polar parts (their fats and lipids) decreases (Aurina & Sari, 2022). This feature is an important factor in the realization of the heating of ohmic heating according to food care.

Numerous elements have been found to influence a food's ohmic heating rate values, including electrical conductivity, field strength, particle size, concentration, ionic concentration, and electrodes. Electrical conductivity is the most crucial factor in ohmic heating modeling (Kaur & Singh, 2016). When more than one phase is present, these parameters can either directly affect the heating rate of various components (in the case of particle orientation and geometry) or indirectly affect the mixture's effective conductivity (in the case of particle size and concentration). It has been demonstrated that particle geometry becomes significant only when the solid particle's aspect ratio deviates significantly from unity (Sarang, 2007). It has been demonstrated that when the particle axis is positioned parallel to the electric field in a static ohmic heating system with a liquid and a single elongated particle with lower conductivity than the liquid, the solid particle will heat up more slowly than

the liquid if its aspect ratio is not unity. Nevertheless, the particle heats up more quickly than the liquid if it is positioned with its longer axis perpendicular to the electric field. Due to the limiting potential for ohmic heating in the industrial field, all parameters that can be included in the process design should be considered (Aurina & Sari, 2022). This comprehensive analysis has critical information for the operation of ohmic heating and the extension of its sections.

3.1. Electrical Conductivity

The most important property affecting the speed of ohmic heating is the electrical conductivity of the food. This characteristic has to do with the food's temperature and chemical makeup. Several variables, including the material's microstructure, free water content, and ionic strength, influence electrical conductivity (Varghese et al., 2014). Conductivity is increased by the presence of ionic compounds, particularly acids and salts, and decreased by the presence of non-polar components, such as lipids and oils. Electrical conductivity depends on the field strength of the experimental setup, the temperature of the heated food, its ionic disintegration and microstructure order (Parrott, 1992). Heat transfer is directly impacted by the electrical conductivity at a constant voltage gradient, which determines the rate of heat production that is achieved during ohmic heating. The electrical conductivity characteristics of the food to be treated determine how effective ohmic heating is (Varghese et al., 2014). It has been found that the electrical conductivity of fruit and meat species increases linearly with temperature during different heating ohmic heating under constant voltage gradient. For those designed for ohmic heating of meat pieces, the anatomical positioning of the piece can be heated; however, additional studies are needed to obtain more precise results in this regard (McKenna et al., 2006).

Lower cellular conductance values can be observed for highly preserved features such as apples. However, no strong correlation was found between the studied fat content and electrical conductance of lean muscle pieces. Meat's electrical conductivity may be significantly impacted by the condition of its fat or marbling (Varghese et al., 2014). Published conductance values for different food samples during ohmic heating are summarized in Table 1. These data are important for ohmic heating, optimizing repair and enabling more efficient operation for different types of food.

Table 1. Food sample conductivity levels during ohmic heating

Product	Conductivity (25 °C, S/m)	Comments
Pickles and chutneys	2.0–3.0	Fast heating possible (1–5 °C sec ⁻¹)
Savoury sauces	1.6–1.8	
Soups, various	1.4–1.8	
Minced beef, lamb	0.8–1.2	
Pet food	0.7–1.2	
Whole milk	0.52	Very fast heating possible (7–50 °C sec ⁻¹)
Desserts: vanilla/rice/custard	0.50–0.38	
Scrambled eggs	0.40	
Vegetable pieces/	0.1–0.06	
Fruit pieces	0.15–0.05	
Chicken	0.8–0.37	
Margarine	0.027	Unsuitable products: conductivity too low
Syrup	0.001	
Fruits	0.067–0.186	Low conductivity, slow heating
Pork cuts	0.56–0.584	Very fast heating possible
Steak	0.371–0.491	Fast heating

Kaynak: Brunton et al., 2005.

3.2. Field Strength

As the electrical field strength increases, higher conductivity is obtained. This increased electrical conductivity allows the system to accelerate and microbial inactivation to occur more effectively (Kaur & Singh, 2016). The electrical field strength can be changed by adjusting the distance between the electrodes or the applied voltage (Silva et al., 2017). The increase in field strength allows the systems in the solution to increase the electrical conductivity, which increases their brightness, and faster heating (Kaur & Singh, 2016). Electrical conductivity and heating rate both rise in tandem with an increase in electric field intensity. Membrane damage occurs during the heating process, and this increases the amount of free water (Bean et al., 1960). The application of field strength causes the liquid movement through the capillaries to increase in direct proportion to the electrical conductivity (Halden et al., 1990). Higher field intensities (104–105 V/cm) effectively rendered bacteria inactive (Kaur & Singh, 2016).

3.3. Particle Size

In ohmic heating, the heating rate is significantly affected by the particle size. (Zareifard et al., 2003) observed that the heating rate decreases as the carrot width increases. They observed that as the particle size increases, the heating time increases to achieve the same temperature increase. Therefore, the heating rate decreases as the particle size increases.

3.4. Particle Concentration

For ohmic heating to be carried out homogeneously and effectively, three basic features such as size, shape and distribution should be considered (İncedayi et al., 2019). During the operation of particulate foods with ohmic heating method,

the size of the contents and their electrical conductivity play a critical role. While the electrical conductivity of small amounts (less than 5 mm) such as emulsions or colloids is generally washable, in foods containing larger particles (15-25 mm), the properties of the two phases and the heating effect of the explosion heating flows are quite high.

The concentration of the product during ohmic heating also affects the effectiveness and duration of heating. The increase in product concentration causes the ionic mobility to slow down, which in turn reduces the electrical conductivity. Therefore, products with high density and high specific heats heat up more slowly, while high viscosity fluids can heat up faster with the ohmic method than those with low viscosity (Silva et al., 2017). Careful control of these parameters is of great importance to obtain the desired performance in ohmic heating ranges.

3.5. Concentration of Ions

When biological tissues are heated, their flexibility changes, which results in an increase in electrical conductivity. Protopectin in the cell wall breaks down, non-conductive gas scarves are expelled, heat softens, and the viscosity of the aqueous phase is reorganized. Increased cellular conductivity and ionic mobility are the results of these modifications (Bean et al., 1960; Sasson & Monselise, 2022). The rate of heating increases with increasing ionic concentration. Higher ionic concentration significantly affects the heating behavior of the processed material utilizing the ohmic heating technique, according to Sarang et al.'s (2008) evaluation of the impact of ionic concentration on ohmic heating of fruits and meats. Zell et al. (2009) found that salted meat and scour had the largest electrical conductivity sweep when heated in parallel or

perpendicular directions to intact meat. Shirsat et al., (2004) stated that the effect of mincing on the electrical conductivity of the crimp is that moisture and inorganic deposits remain free from the myofibril tissue during the cutting and friction processes. It has also been observed that the difference in conductivity due to fiber orientation increases in salt consumption. Zell et al., (2009) suggested that the exchange and tumbling processes should be carried out directly to ensure the emergence of a homogeneous salt and thus optimize the ohmic heating process. These conditions have critical systems in increasing the development of ohmic heating technology.

3.6. Particle Position

Particle orientation and position have an important role in the ohmic heating process. Zareifard et al. (2003) investigated how most of the analyses change their ohmic behavior according to their position relative to the electrodes. The electrode heating was completely or completely in contact with the compartment in the ohmic heating cell during heating. Observations show that in parallel case, the liquid phase heats up faster than the solid phase, but in series case, this is normal. These findings reveal that their performance and location have an important performance in determining the ohmic heating processes and comprehensiveness.

3.7. Electrodes

Unacceptably high temperature variations within the product might result from heat loss around the food material, which is mostly determined by the type of cell and electrodes that contain the product. When ohmic heating occurs, this kind of heat loss could be problematic. According to Zell et al. (2011), a thicker electrode has a slower rate of temperature rise since it has more mass and less electrical resistance. The

thermocouples positioned near the electrodes and those in the middle of the ohmic heating cell produced a significant temperature differential (Kaur & Singh, 2016).

4. ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF OHMIC HEATING

The advantage of ohmic heating is the homogeneous distribution of heat, unlike the uneven heat state of microwave heating. One of the most important benefits of this method is that it is possible to quickly achieve the required temperature and separate the system (Sakr & Liu, 2014). The high energy efficiency of ohmic heating is provided by converting 90% of the electrical energy into heat. This feature makes ohmic heating ideal for safe and high-quality food production and provides validation of the commercial process with applications with parts. The shelf life of foods processed with ohmic heating is comparable to products produced by canning, sterilization and aseptic processes (Aurina & Sari, 2022; Aytuna Çerçi et al., 2024; Varghese et al., 2014). Ohmic heating can be used for pasteurization, fermentation and sterilization of foods. In addition, it has low maintenance cost due to the disruption of movement and reduces the contamination of surfaces during heat transfer (Kumar, 2018; Varghese et al., 2014). The disadvantage of ohmic heating is that the shortcomings associated with ohmic heating are eliminated and cold spots and overheated areas are detected, and difficult places are located. In addition, the limitation of information regarding the determination of heating life causes the need for more safety and quality protocols in commercial applications (Sakr & Liu, 2014). Ohmic heating time and the particle size of one of the particles. As the particle size increases, the heating temperature decreases and the heating time increases (Zareifard et al., 2003).

Because fat globules are non-conductive due to the absence of salt and water, they cannot be heated efficiently via ohmic heating. According to this study, ohmic heating is ineffective for non-conductive items, such as the majority of solid foods. Because of their high specific heat and density, solid meals take longer to heat up (Kaur & Singh, 2016).

5. AREAS OF APPLICATION

The planning of electrode design, particularly the emergence of issues like electrode polarization and fouling, has played a major role in the development of ohmic heating's application in the food business during the past 20 years (Sakr & Liu, 2014). Ohmic heating allows extremely rapid heating of foods; this process usually takes from a few seconds to a few minutes, providing great efficiency in terms of time (Sastry, 2008). Researchers have recently studied ohmic heating systems and their yields, taking into account variables like the electrode type and the pH of the heating fluid. Using a 60 Hz sinusoidal alternating current, the impact of pH on the electrochemical behavior of an electrode material is demonstrated. All electrode materials showed denser electrode partitions at pH 3.5 than at other pH values, according to experimental results; nonetheless, titanium electrodes showed a high level of fracture resistance in their portions (Samaranayake & Sastry, 2005). These findings highlight the selection of electrodes used in ohmic heating applications and the expansion of pH control.

The electrical conductivity (σ) is the primary important parameter in ohmic heating. The electrical conductivity of the recorded food and its correlation with the liquid conductivity are demonstrated to be crucial factors in comprehending the heating under ohmic heating in non-homogeneous properties, such as

soups that contain solid food slices (Kumar, 2018). Although the commercial applications of ohmic heating are generally limited to the studies of liquid foods, the research conducted on its use in solid foods today reveals that it is more profitable than other thermal technologies such as traditional thermal processing methods, radiofrequency and microwave heating (Wang & Farid, 2015).

Ohmic heating can be used for cooking purposes and as an alternative method for rapid heating at appropriate temperature operation. Current ohmic heating applications include blanching, separation, gelatinization, fermentation, peeling, evaporation, dehydration, extraction and other processes. These applications show that ohmic heating has a wide potential to increase efficiency and quality in a wide range of food processing.

5.1. Pasteurization and Sterilization

Pasteurization is a heating process that kills microorganisms that can cause disease in food and significantly reduces the occurrence of non-perishables. This process kills microorganisms (mostly bacteria) in milk, fruit juice, canned food and other products (Watts, 2019). Foods that have been pasteurized or sterilized by ohmic heating are of exceptional quality. Depending on the intended use, milk and other liquid goods can also undergo pasteurization and sterilization. Sterilization is utilized in the process if the goal is to eradicate harmful microbes. Ultra-high temperature (UHT) sterilization of foods, particularly those with large particles (up to 2.5 cm) that are challenging to sterilize using existing techniques, can be accomplished with ohmic heating (Varghese et al., 2014). Ohmic heating is used to pasteurize milk by pumping it between two metal plates that have a voltage differential between them

(Silva et al., 2017). Acid-producing microorganisms such streptococci, lactobacilli, microbacteria, coliforms, and micrococci are among those eliminated by pasteurization. Gas-producing microorganisms include coliforms, *Clostridium butyricum*, and *Torula cremoris*. filamentous or filamentous fermentative microorganisms include *Alcaligenes viscolactis* and *Enterobacter aerogenes*, while proteolytic organisms include *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., *Proteus* spp., and *Streptococcus liquefaciens*. Lipolytic organisms include *Pseudomonas fluorescens*, *Achromobacter lipolyticum*, *Candida lipolytica*, and *Penicillium* spp.

5.2. Thawing and Boiling in Foods

An inventive technique for thawing frozen foods is the ohmic heating system. Using this technique, frozen foods are thawed by passing alternating current between two electrodes. This process's benefits include the lack of water and wastewater output, the volumetric heating's ability to thaw relatively uniformly, and the process's ease of control (Varghese et al., 2014). When thawing shrimp blocks, for instance, the product was successfully thawed without increasing its moisture content (Aurina & Sari, 2022). Compared to conventional measurement, thawing frozen meat with the ohmic heating system results in reduced weight loss (Duygu & Ümit, 2015).

Furthermore, regardless of the product's size or shape, the blanching process using ohmic heating may greatly lessen the amount of solute leakage when compared to the hot water method. Studies show that electrically operated potato slices increase moisture loss during blanching (Mizrahi, 1996). This feature shows that ohmic heating offers a significant advantage in increasing efficiency in food separation and processing.

5.3. Fermentation

Ohmic heating method has recently gained popularity in the fermentation of Arabica coffee and chocolate goods, particularly to reduce the acidity of coffee beans. Depending on the microorganism's ideal temperature, different temperatures are employed during fermentation. For instance, *Saccharomyces cerevisiae* typically ferment best at temperatures about 30°C, whereas enzymatic hydrolysis requires temperatures around 50°C. A temperature set point between 37 and 38°C is typically favored in order to blend these two ideal temperature conditions (Sagita et al., 2020). It has been proven that the fermenter control unit can maintain, control and monitor the temperature condition in the reactor in real time. The energy efficiency of this process has increased from 81.96% to 86.29%. High degrees of homogeneity can be produced by the ohmic-based fermenter. Both liquid and non-liquid products can benefit from its temperature distribution, particularly those that are damp or have a high moisture content. The electrodes conduct electricity and are positioned between the fermenter reactor tube. The fermenter reactor will be filled with materials intended for both batch and continuous fermentation. Because of its great energy efficiency and homogeneous temperature distribution, this design is offered as a fermenter prototype that might be developed for commercial usage in the food business (Aurina & Sari, 2022).

5.4. Extraction

Ohmic heating can also be used for fruit juice extraction such as sugar beet, soybean soy milk, apple and orange juice (Kumar, 2018). Comparison of traditional heating methods with ohmic heating is used as an effective method for the extraction of some components from plant wastes because it rapidly heats

the material with high energy changes. This feature is a suitable alternative method for industrial pectin extraction. Pectin was extracted from orange waste with the best results obtained with a voltage gradient of 30 V/cm, pH of 1.5 and S/L ratio of 1:20 g/ml (Saberian et al., 2018). In addition, ohmic heating was used to extract anthocyanin (pigment for dark purple color in food industry) from black rice bran. Coloring powder formed by assisted ohmic heating (CP-OHM) contained higher colorant yield, anthocyanin pigments and bioactive components compared to conventional methods (Loypimai et al., 2015). The quality of products processed by ohmic heating may vary depending on the characteristics of the product and the applied process. This shows that ohmic heating has a wide range of applications in the food economy and maintains its potential to improve quality.

6. EFFECTS OF OHMIC HEATING ON FOOD QUALITY

Ohmic heating systems are used in many processes such as heat, extraction, dissolution, cooking, enzymatic and microbial inactivation, which occurs when electrical energy is converted to thermal energy (Achir et al., 2016; Kim et al., 2018). The use of ohmic systems during these processes plays an important role in maintaining product quality, texture, aroma and flavor to obtain a mass heat increase in a short time. In addition, these systems facilitate the microbial flexibility of the products and the obtaining of an assurance certificate (Cappato et al., 2017).

6.1. Evaporation

Evaporation technology is widely used in the food industry to concentrate liquid products. The concentration

process is usually carried out by applying heat treatment to the product and removing some of the free water in it. Thanks to this process, products with reduced water activity through evaporation become more resistant to spoilage by microorganisms. In addition, expanding the product volume leads to a decrease in packaging, transportation and storage costs. However, during the processing of heat-sensitive foods into concentrates, losses in color, aroma, taste and nutritional value may occur. To minimize these negative effects, vacuum evaporation process is generally used in industry, and thanks to this process, it can be carried out at lower temperatures (Sabanci & Icier, 2017). Long periods of evaporation processes cause both time and energy losses, and therefore costs increase. One of the alternative applications made in the food industry to perform an effective process by reducing evaporation times is the use of ohmic systems in the heat unit of the evaporation system. Studies have shown that ohmic-supported evaporation units shorten process times and increase efficiency (Icier et al., 2017). This offers more efficient and cost-effective solutions for evaporation rates.

6.2. Extraction - Hydrodistillation

Extraction is defined as the transfer of one or more valuable compounds from a solid or liquid phase to another liquid phase by taking advantage of their different solubility properties in food processes (Nakilcioğlu et al., 2014). Extraction processes, which are an important step in the food industry, are generally carried out with conventional methods. However, in recent years, alternative extraction methods have been investigated in order to reduce the use of solvent and time in conventional extraction methods as well as to increase extraction efficiency (Kutlu et al., 2017). In ohmic-assisted extraction systems, one of these methods, the extraction of food components can be carried out in

much shorter times, with higher efficiency and quality compared to the conventional method. In ohmic assisted extraction systems, the ohmic system functions as both a heat source and electroporation in the tissues of the units due to the applied electric field, thus providing bioactive units with the opportunity to extract bioactive components more efficiently (Pereira et al., 2016). Another option for ohmic heating is the new application area of ohmic assisted hydrodistillation systems. This system, which is obtained by applying the volumetric heating feature of ohmic heating to distillation systems, enables the distillation process to be carried out in shorter periods of time and by saving energy (İncedayi et al., 2019). In an ohmic assisted hydrodistillation unit, an ohmic heating system is used instead of a traditional heater. In this way, better process control is provided, and distillation costs and time are reduced (Gavahian & Farahnaky, 2018).

6.3. Enzyme Inactivation

Enzymes can have some negative effects that reduce food quality, such as bad odor formation, color and flavor losses, and changes in textural structure in food products. Therefore, enzyme activation must be controlled during food processing. For this purpose, traditional heat treatment applications are used to prevent enzyme degradation (Demirdöven & Baysal, 2014). However, traditional heat treatment applications can inactivate enzymes while also causing losses in the sensory and nutritional properties of the product. Therefore, alternative heat treatment applications are being tried to ensure enzyme inactivation and the effects of these applications on product quality are being investigated. One of these, the ohmic heating method, is seen to provide enzyme inactivation due to effective heating in a short time and at the same time preserves quality parameters (Demirdöven & Baysal, 2014; Jakób et al., 2010).

6.4. Microbial Inactivation

Heat-based microbial inactivation methods applied for the purpose of preserving food can cause losses in the color, flavor and nutritional value of the product (Cho et al., 2017). However, today, the consumer's demand for minimally processed, nutritionally high and reliable food is steadily increasing (Kim & Kang, 2017). For this reason, methods that minimize quality losses during inactivation are being investigated. Ohmic heating is an alternative method to thermal microbial inactivation mechanisms and provides effective microbial inactivation with mass and rapid heating (Cappato et al., 2017; Yildiz-Turp et al., 2013). In addition to the thermal effect of ohmic heating on the microbial inactivation mechanism, the alternating current used in this system also shows non-thermal effects by creating pores in the cell membranes of microorganisms (Jaeger et al., 2016). Charge accumulation occurs on microbial cells in food exposed to electrical current. This charge accumulation causes increased membrane permeability and decreased thermal resistance through pore formation in the cell membrane (Cappato et al., 2017; Yildiz-Turp et al., 2013).

6.5. Thawing

Although freezing is a widely used method for preserving food, many problems are encountered during the thawing of frozen products with conventional thermal applications. During thawing, it is aimed to prevent regional heat increases by providing a rapid and homogeneous heat increase to ensure the microbial safety of the product. However, it is sometimes not possible to provide these conditions in conventional heating methods. Ohmic heating applications are an alternative thawing method that can be used in thawing

foods. In ohmic heating systems, the volumetric, uniform and rapid increase in heat makes it the preferred choice in the thawing process. In the ohmic thawing process, the conversion rate of electrical energy to thermal energy is over 90%, and this high efficiency makes the method an effective thawing alternative (İncedayi et al., 2019). In a study, the ohmic heating method was used to thaw frozen meat, and the thawing process was carried out in a shorter time and with less weight loss compared to the traditional method. However, in ohmic thawing systems, contact with the electrodes must be made for homogeneous heating to occur (Duygu & Ümit, 2015). To ensure continuity of contact with the electrodes during thawing and to create a conductive environment, researchers used water or salt water and dissolved the product in these phases (Icier et al., 2017). In another study (Min et al., 2016), a “pressurized ohmic thawing system” was realized by combining the ohmic thawing system with high pressure. This system further accelerated the transition of the ice phase to the water phase during dissolution by decreasing the phase transition point of water by applying pressure and providing increased heat flow, thus making ohmic dissolution more efficient (rapid and volumetric heat generation).

7. CONCLUSION

When digesting semi-solid, particle meals, ohmic heating is especially beneficial. It has demonstrated benefits over emerging thermal alternative technologies including induction, microwave, and radiofrequency heating as well as conventional thermal processing. The primary benefits include improved food quality, shorter cooking times, fewer capital costs, increased energy efficiency, and an eco-friendly procedure. Compared to other electroheating techniques, it has a cheaper initial cost.

Sterilization of high-protein materials, seafood processing, pretreatment for dewatering and thawing, detection of starch gelatinization, and extraction enhancement are the primary uses of this technology. Both at home and in large quantities, the potential of direct ohmic heating for food in retort pouches that ensure food safety has been clearly shown. Commercially available sterile ohmic hot casserole-style goods that have a three-year shelf life are being considered for military ration inclusion. Interesting topics for more study include corrosion issues with various electrode types at various frequencies and the process's fluctuating efficiency based on the electrical conductivity of the material utilized.

Ohmic heating is considered an effective food processing technology for modern food products. It has become a preferred method for preserving and pasteurizing foods thanks to data collection such as rapid heating, process control and energy efficiency. The potential of ohmic heating is further increased with research and applications, and significant contributions are made to the food industry. In this example, a book food section example is presented, which provides information about the basic principles of ohmic heating technology, the protection of the public and the effects on it. A real book section will be more detailed and have more content.

Due to developing technologies and the consumer's demand for healthier and more natural products, the demand for processing technologies that better protect food and research on this subject is rapidly increasing. In this sense, ohmic heating has become one of the popular topics studied in recent years, as it creates a short and homogeneous heating effect. The success of the ohmic heating system depends on the heat generation rate of the system, the electrical conductivity of the heating material, the application time, frequency and should be applied according

to factors. In commercial applications, the creation of systems where the process cost can be reduced, the heat rate can be better controlled, and the quality of the food can be better preserved will be topics to be studied in the future.

Ohmic heating is a remarkable alternative heating method that transfers heat to food materials directly rather than by convection or conduction. The uses of ohmic heating in blanching, evaporation, extraction, sterilization, pasteurization, and pregelatinization have been the subject of several experiments. As electrical conductivity increases, ohmic heating also increases. While the ohmic heating rate decreases with increasing particle size and electrode thickness, it increases with increasing voltage gradient and ionic concentration. This procedure improves the flour and starch's water retention and solubility indices. Additionally, the ohmic heating process produces uniform heating, improved preservation of nutritional quality, great energy efficiency, etc., but its commercial application on a wider scale is limited by its higher input cost when compared to other conventional heating methods. Additionally, because they lack salt and water, meals that contain fats and oils cannot be digested by ohmic heating. Even though this field has seen significant advancements, there is still a lack of knowledge regarding the effects of electric fields on mass transfer properties, process design to establish industrial processes, electroporation phenomenon characterization and modeling, and the modeling, prediction, and determination of the heating model of complex foods. Future studies should concentrate on characterizing and simulating complex meals and electroporation events. Cold spot detection experiments should also be encouraged. Ohmic heating has the potential to be the most important food processing technology of the future.

8. REFERENCES

- Achir, N., Dhuique-Mayer, C., Hadjal, T., Madani, K., Pain, J. P., & Dornier, M. (2016). Pasteurization of citrus juices with ohmic heating to preserve the carotenoid profile. In *Innovative Food Science and Emerging Technologies* (Vol. 33). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.11.002>
- Aurina, K., & Sari, A. (2022). Ohmic Heating: A Review and Application in Food Industry. *Proceedings of the 2nd International Conference on Smart and Innovative Agriculture (ICoSIA 2021)*, 19(ICoSIA 2021), 107–113. <https://doi.org/10.2991/absr.k.220305.016>
- Ayadi, M. A., Benezech, T., Chopard, F., Berthou, M., & Leuliet, J. C. (2006). Heat treatment of dairy product by a flat ohmic cell: Impact of the reynolds number, fluid rheology and fouling presence on the electrode surface temperature. *Engineering*. <http://dc.engconfintl.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1018&context=heatexchanger2005>
- Aytuna Çerçi, N., Külahcı, M. B., Aydın, B., Beyzi, E., Arslan, A., & Demir, S. (2024). Aronia melanocarpa (Michx.) Elliott Meyve Ve Yaprak Özütlерinin Biyolojik Aktivitelerinin Belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi*, 5(1), 31–38. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/guffd>
- Bean, R. C., Rasor, J. P., & Porter, G. G. (1960). Changes in Electrical Characteristics of Avocados During Ripening. *California Avocado Society*, 44, 75–78.

- Brunton, N. P., Lyng, J. G., Li, W., Cronin, D. A., Morgan, D., & McKenna, B. (2005). Effect of radio frequency (RF) heating on the texture, colour and sensory properties of a comminuted pork meat product. *Food Research International*, 38(3), 337–344.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.06.016>
- Cappato, L. P., Ferreira, M. V. S., Guimaraes, J. T., Portela, J. B., Costa, A. L. R., Freitas, M. Q., Cunha, R. L., Oliveira, C. A. F., Mercali, G. D., Marzack, L. D. F., & Cruz, A. G. (2017). Ohmic heating in dairy processing: Relevant aspects for safety and quality. *Trends in Food Science and Technology*, 62, 104–112.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.01.010>
- Cho, W. Il, Kim, E. J., Hwang, H. J., Cha, Y. H., Cheon, H. S., Choi, J. B., & Chung, M. S. (2017). Continuous ohmic heating system for the pasteurization of fermented red pepper paste. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 42(July), 190–196.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.07.020>
- Demirdöven, A., & Baysal, T. (2014). Optimization of ohmic heating applications for pectin methylesterase inactivation in orange juice. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1817–1826.
<https://doi.org/10.1007/s13197-012-0700-5>
- Duygu, B., & Ümit, G. (2015). Application of Ohmic Heating System in Meat Thawing. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 2822–2828.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.400>

- Gavahian, M., & Farahnaky, A. (2018). Ohmic-assisted hydrodistillation technology: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 72(December 2017), 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.014>
- Icier, F., Cokgezme, O. F., & Sabanci, S. (2017). Alternative Thawing Methods for the Blanched/Non-Blanched Potato Cubes: Microwave, Ohmic, and Carbon Fiber Plate Assisted Cabin Thawing. *Journal of Food Process Engineering*, 40(2). <https://doi.org/10.1111/jfpe.12403>
- İncedayi, B., Seyhan, B., & Çopur, Ö. U. (2019). Ohmik Isıtma Destekli İşlemlerin Gıdalarda Kullanımı ve Kalite Üzerine Etkisi Use of Ohmic Heating Assisted Treatments in Foodstuffs and Impact on Quality. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University*, 33(2), 341–354.
- Jaeger, H., Roth, A., Toepfl, S., Holzhauser, T., Engel, K. H., Knorr, D., Vogel, R. F., Bandick, N., Kulling, S., Heinz, V., & Steinberg, P. (2016). Opinion on the use of ohmic heating for the treatment of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 55, 84–97. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.07.007>
- Jakób, A., Bryjak, J., Wójtowicz, H., Illeová, V., Annus, J., & Polakovič, M. (2010). Inactivation kinetics of food enzymes during ohmic heating. *Food Chemistry*, 123(2), 369–376. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.047>
- Kaur, N., & Singh, A. K. (2016). Ohmic Heating: Concept and Applications—A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(14), 2338–2351. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.835303>

- Kim, S. S., & Kang, D. H. (2017). Synergistic effect of carvacrol and ohmic heating for inactivation of *E. coli* O157:H7, *S. Typhimurium*, *L. monocytogenes*, and MS-2 bacteriophage in salsa. *Food Control*, 73, 300–305. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.08.022>
- Kim, S. S., Park, S. H., & Kang, D. H. (2018). Application of continuous-type pulsed ohmic heating system for inactivation of foodborne pathogens in buffered peptone water and tomato juice. *Lwt*, 93(March), 316–322. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.032>
- Kumar, T. (2018). A Review on Ohmic Heating Technology: Principle, Applications and Scope. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 11(4), 679–687. <https://doi.org/10.30954/0974-1712.08.2018.10>
- Kutlu, N., Yeşilören, G., İşci, A., & Şakıyan, Ö. (2017). KONVANSİYONELEkstraksiyonaAlternatif:YeşilTeknolojiler. *Gıda / the Journal of Food*, 42(5), 514–526. <https://doi.org/10.15237/gida.gd17016>
- Loypimai, P., Moongngarm, A., Chottanom, P., & Moontree, T. (2015). Ohmic heating-assisted extraction of anthocyanins from black rice bran to prepare a natural food colourant. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 27, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.12.009>
- McKenna, B. M., Lyng, J., Brunton, N., & Shirsat, N. (2006). Advances in radio frequency and ohmic heating of meats. *Journal of Food Engineering*, 77(2), 215–229. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.06.052>

- Min, S. G., Hong, G. P., Chun, J. Y., & Park, S. H. (2016). Pressure Ohmic Thawing: a Feasible Approach for the Rapid Thawing of Frozen Meat and Its Effects on Quality Attributes. *Food and Bioprocess Technology*, 9(4), 564–575. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1652-3>
- Mizrahi, S. (1996). Leaching of soluble solids during blanching of vegetables by ohmic heating. *Journal of Food Engineering*, 29(2), 153–166. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)00074-7](https://doi.org/10.1016/0260-8774(95)00074-7)
- Nakilcioğlu, E., Ötleş, S., Üniversitesi, E., Fakültesi, M., Bölümü, G. M., Bornova, İ., Geliş, T. (, & Yazar, Y. S. (2014). Basınçlı Çözgen Ekstraksiyonu ve Gıda Sanayiindeki Uygulamaları. *Akademik Gıda*, 12(2), 88–94. <https://dergipark.org.tr/en/pub/akademik-gida/763711>
- Parrott, D. L. (1992). Use of Ohmic Heating for Aseptic Processing of Food Particulates. *Food Technology*, 12, 68–72. <http://infohouse.p2ric.org/ref/05/04528.pdf>
- Pereira, R. N., Rodrigues, R. M., Genisheva, Z., Oliveira, H., de Freitas, V., Teixeira, J. A., & Vicente, A. A. (2016). Effects of ohmic heating on extraction of food-grade phytochemicals from colored potato. *Lwt*, 74, 493–503. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.074>
- Pereira, R. N., & Vicente, A. A. (2010). Environmental impact of novel thermal and non-thermal technologies in food processing. *Food Research International*, 43(7), 1936–1943. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.013>

- Sabancı, S., & İcier, F. (2017). Applicability of ohmic heating assisted vacuum evaporation for concentration of sour cherry juice. *Journal of Food Engineering*, 212, 262–270. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.004>
- Saberian, H., Hamidi-Esfahani, Z., Ahmadi Gavlighi, H., Banakar, A., & Barzegar, M. (2018). The potential of ohmic heating for pectin extraction from orange waste. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13458>
- Sagita, D., Darmajana, D. A., Hidayat, D. D., Novrinaldi, & Sitorus, A. (2020). Design and performance of ohmic-based fermentor model for controlling fermentation process. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 542(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/542/1/012033>
- Sakr, M., & Liu, S. (2014). A comprehensive review on applications of ohmic heating (OH). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 262–269. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.061>
- Samaranayake, C. P., & Sastry, S. K. (2005). Electrode and pH effects on electrochemical reactions during ohmic heating. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 577(1), 125–135. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2004.11.026>
- Sarang, S. (2007). *Ohmic heating for thermal processing of low acid foods containing solid particulates*. 170.
- Sarang, S., Sastry, S. K., & Knipe, L. (2008). Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. *Journal of Food Engineering*, 87(3), 351–356. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.12.012>

- Sasson, A., & Monselise, S. P. (2022). Electrical Conductivity of ‘Shamouti’ Orange Peel during Fruit Growth and Postharvest Senescence1. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 102(2), 142–144. <https://doi.org/10.21273/jashs.102.2.142>
- Sastry, S. (2008). Ohmic heating and moderate electric field processing. *Food Science and Technology International*, 14(5), 419–422. <https://doi.org/10.1177/1082013208098813>
- Shirsat, N., Lyng, J. G., Brunton, N. P., & McKenna, B. (2004). Ohmic processing: Electrical conductivities of pork cuts. *Meat Science*, 67(3), 507–514. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2003.12.003>
- Silva, V. L. M., Santos, L. M. N. B. F., & Silva, A. M. S. (2017). Frontispiece: Ohmic Heating: An Emerging Concept in Organic Synthesis. *Chemistry – A European Journal*, 23(33). <https://doi.org/10.1002/chem.201783362>
- Takhistov, P. (2007). Dimensionless analysis of the electric field-based food processes for scale-up and validation. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 746–754. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.015>
- Varghese, K. S., Pandey, M. C., Radhakrishna, K., & Bawa, A. S. (2014). Technology, applications and modelling of ohmic heating: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2304–2317. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0710-3>
- Wang, R., & Farid, M. M. (2015). Corrosion and health aspects in ohmic cooking of beef meat patties. *Journal of Food Engineering*, 146, 17–22. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.08.011>

- Watts, S. (2019). A mini review on technique of milk pasteurization. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 5(5), 99–101.
- Yildiz-Turp, G., Sengun, I. Y., Kendirci, P., & Icier, F. (2013). Effect of ohmic treatment on quality characteristic of meat: A review. *Meat Science*, 93(3), 441–448. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.10.013>
- Zareifard, M. R., Ramaswamy, H. S., Trigui, M., & Marcotte, M. (2003). Ohmic heating behaviour and electrical conductivity of two-phase food systems. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 4(1), 45–55. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(02\)00088-7](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(02)00088-7)
- Zell, M., Lyng, J. G., Cronin, D. A., & Morgan, D. J. (2009). Ohmic heating of meats: Electrical conductivities of whole meats and processed meat ingredients. *Meat Science*, 83(3), 563–570. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.07.005>
- Zell, M., Lyng, J. G., Morgan, D. J., & Cronin, D. A. (2011). Minimising heat losses during batch ohmic heating of solid food. *Food and Bioproducts Processing*, 89(2), 128–134. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.04.003>

ADVANCEMENTS IN NON-DESTRUCTIVE ANALYSIS: HYPERSPECTRAL IMAGING APPLICATIONS IN MEAT AND MEAT PRODUCTS

Hasan İbrahim KOZAN¹

1. INTRODUCTION

1.1. Importance of Non-Destructive Methods in Meat Quality and Safety

Meat and meat products are the main sources of high-quality protein among animal-based products consumed by humans. These products are also rich in vitamins and minerals. According to the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), per capita meat consumption is expected to increase to 35.5 kg by 2024 (Wu, Liang, Wang, Wu, & Sun, 2022). The growing significance and increasing consumption of meat and meat products have introduced several challenges in the meat industry. Among these, ensuring quality assurance and food safety has become particularly critical. This situation necessitates the development of efficient, reliable, and rapid evaluation techniques. Non-destructive methods offer the advantage of assessing meat quality without altering the product, which is highly valued by consumers as it preserves the integrity of the product. These methods are essential for detecting spoilage and adulteration, obtaining quality-related information, and ensuring compliance with safety standards (W. Wang &

¹ Dr., Necmettin Erbakan University, Meram Vocational School, Food Processing, h.brahimkozan@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2453-1645.

Peng, 2018; Xiong, Sun, Pu, Gao, & Dai, 2017). Time is a crucial factor in the quality assessment of meat and meat products. The ability to perform real-time quality evaluations enhances operational efficiency and reduces waste. Moreover, it provides experts in the meat industry with the opportunity to make swift and informed decisions. This underscores the importance of non-destructive techniques, making them indispensable for modern meat processing practices (G. Elmasry, Kamruzzaman, Sun, & Allen, 2012; Kozan, Sariçoban, Akyürek, & Ünver, 2016).

1.2. Overview of Hyperspectral Imaging (HSI) Technology and Its Relevance

Imaging technology has emerged as one of the most rapidly advancing fields in recent years. However, traditional imaging systems capture data through only three channels, which limits their ability to provide comprehensive information, particularly for complex organic components such as meat. Hyperspectral imaging (HSI) is an advanced technology that combines imaging and spectroscopy, enabling simultaneous acquisition of both spatial and spectral information from samples. This dual capability facilitates detailed analysis of meat products, making it easier to identify various quality attributes, including moisture content, fat distribution, and color (Feng, Arai, & Rodriguez-Pulido, 2024; Huang, Liu, & Ngadi, 2014). HSI possesses the ability to generate pixel-based prediction maps that illustrate the distribution of various attributes across samples. This capability has positioned it as a powerful tool for non-destructive evaluation, particularly in the food industry, where assessing the quality of complex components like meat is critical (Feng, Arai, & Rodriguez-Pulido, 2023; Kandpal, Lee, Kim, Mo, & Cho, 2013). HSI can seamlessly integrate with multivariate analysis techniques, further enhancing its

effectiveness. This integration enables the extraction of meaningful insights from complex datasets, making it an invaluable tool for comprehensive data interpretation and decision-making (Charan, 2022; Y. Li et al., 2011).

2. BASICS OF HYPERSPECTRAL IMAGING

2.1. Principles and Components of HSI Systems

Hyperspectral imaging is achieved by capturing reflections across hundreds of distinct bands in the electromagnetic spectrum. While the human eye can only perceive reflections in the visible (RGB) spectrum, hyperspectral imaging encompasses reflections from bands beyond human vision, such as infrared (IR) and near-infrared (NIR). Figure 1 illustrates the entire electromagnetic spectrum (Ozdemir & Polat, 2020).

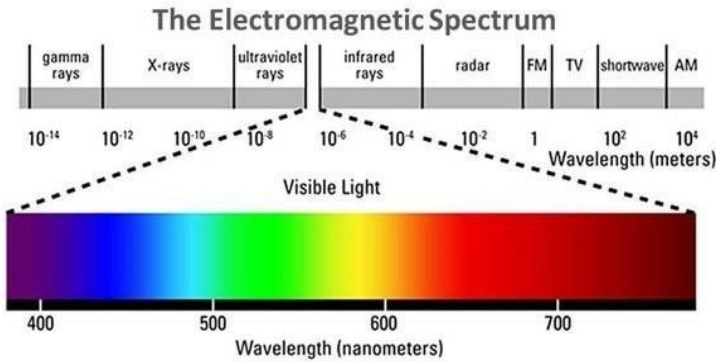


Figure 1. Electromagnetic spectrum

Reference: (Ozdemir & Polat, 2020)

HSI cameras typically operate by capturing images across a broad wavelength range, from the visible region (400–700 nm) to the near-infrared spectrum (1000–2500 nm). Each

pixel in a hyperspectral image contains a spectrum that represents the chemical composition of the material being analyzed (Kozan et al., 2016; Serranti & Bonifazi, 2016). HSI systems are relatively complex, comprising key components such as a light source, a spectrometer, and a camera. The light source illuminates the sample, while the spectrometer disperses the reflected light into its constituent wavelengths, which are subsequently captured by the camera (G. Elmasry et al., 2012; Singh, Jayas, Paliwal, & White, 2010).

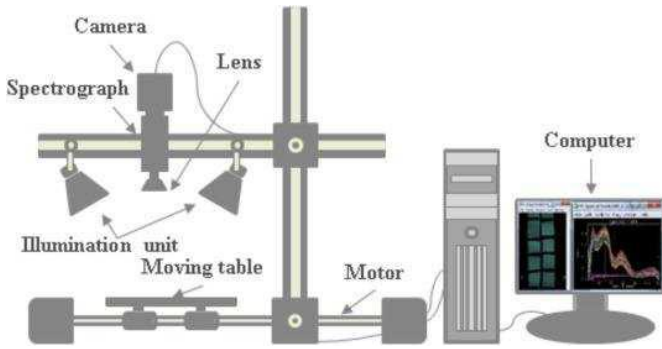


Figure 2. Configuration of a typical hyperspectral imaging system

Reference: He & Sun, 2015.

As shown in Figure 2, the system design includes a moving table, motor, spectrograph, lenses, illumination source, stage, and a computer with software for control. The camera collects data from the samples positioned on the moving table. This process generates a three-dimensional data cube, where two dimensions represent spatial information and the third dimension corresponds to spectral information (Akyürek & Koçer, 2017; Edwards, Hoffman, Manley, & Williams, 2023; Huang et al., 2014). In order to get better results or low error, preprocessing can be applied to captured images (Akyürek & Koçer, 2024; Jiang, Yang, & Shi, 2021).

2.2. Advantages Over Traditional Methods

Advancements in technology have addressed several disadvantages associated with traditional methods. Technological progress in imaging systems within the meat industry has focused on resolving issues such as sample destruction, labor dependency, time consumption, and the use of consumables inherent to conventional techniques. HSI systems offer distinct advantages over traditional methods in meat quality assessment. Firstly, they are non-invasive and do not require sample preparation, minimizing contamination risks and preserving the quality of the product (Kozan et al., 2016; W. Wang & Peng, 2018). Secondly, HSI enables rapid analysis, allowing real-time monitoring of meat quality attributes that are critical for maintaining safety standards throughout the meat supply chain. This significantly reduces the time required for quality assessments, which traditionally could take hours or even days, to just a few seconds or minutes (Lim et al., 2020; Y. Yang, Wang, Zhuang, Yoon, & Jiang, 2018). Traditional methods are unable to perform fundamental meat quality analyses, such as oxidation, texture, and color assessments, simultaneously. The ability of HSI to analyze multiple quality parameters at the same time makes it a more efficient alternative compared to conventional methods, which typically focus on a single attribute at a time. This simultaneous analysis capability is a significant advantage that traditional approaches cannot offer (Jiang et al., 2021; Xiong et al., 2017). Furthermore, the integration of chemometric techniques with HSI enhances the accuracy and reliability of assessments, enabling better decision-making in meat processing and quality control (Charan, 2022; Feng et al., 2023). Beyond these advantages, there are additional distinctions.

Traditional analytical methods require skilled and experienced technical personnel, whereas HSI systems, once calibrated, eliminate such a need. Conventional methods demand large, specialized spaces or laboratories, while HSI systems require minimal space. Traditional methods often involve consumables and equipment, and some analyses may necessitate preparatory steps. In contrast, HSI systems do not rely on consumables. Additionally, while traditional methods often mandate the use of harmful chemicals that pose risks to both humans and the environment, HSI systems completely eliminate this requirement, offering a safer and more sustainable alternative.

3. KEY APPLICATIONS IN MEAT AND MEAT PRODUCTS

3.1. Quality Control

Quality control in the meat industry is crucial for ensuring consumer safety and satisfaction. It is also essential for identifying and addressing potential deficiencies or errors in industrial production, thereby supporting sustainable and stable manufacturing. Hyperspectral imaging (HSI) systems have emerged as a powerful tool for evaluating various quality attributes of meat, such as freshness, tenderness, and compositional analysis. This chapter explores the applications of HSI in these critical areas.

3.1.1. Freshness Assessment

Freshness is a fundamental indicator of meat quality. Fresh meat and meat products play a critical role in human nutrition and have positive impacts on human health. Conversely, meat and meat products stored under refrigeration

have a short shelf life and are recommended for prompt consumption. Factors such as oxidation and the risk of microbial contamination can adversely affect human health. HSI can be effectively employed to evaluate freshness. For instance, Yu et al. demonstrated that HSI could distinguish between fresh, frozen-stored, and frozen-thawed beef samples by generating visualization maps that represent the spatial distribution of spoilage indices (Yu, Chen, Zhang, Liu, & Li, 2024). This capability enables a detailed understanding of meat quality over time, which is crucial for maintaining high standards in meat processing and retail. It also facilitates the economic evaluation of meat by providing insights into an essential quality parameter.

Moreover, Elmasry et al. (2011), utilized near-infrared (NIR) hyperspectral imaging to non-destructively determine the water-holding capacity of fresh beef—an essential factor affecting the juiciness and overall quality of the meat (Gamal ElMasry, Sun, & Allen, 2011). This method provides rapid results, enabling processors to make timely decisions regarding meat freshness and quality.

3.1.2. Tenderness Evaluation

Tenderness is another fundamental quality attribute that significantly influences consumer preferences. Studies have shown that tenderness positively impacts consumer purchasing behavior (De Devitiis et al., 2023). HSI has been integrated with chemometric techniques to predict tenderness in meat products. For instance, Wang and He applied HSI to classify the grades of Cantonese sausages, correlating spectral data with sensory evaluations of tenderness (Q. Wang & He, 2019). This approach not only enhances the accuracy of tenderness evaluations but also streamlines the quality control process in meat production.

Additionally, Yang et al. (2017), combined HSI with wavelet transformation and multi-way partial least squares algorithms to detect total viable counts in spiced beef, indirectly reflecting tenderness through microbial load (D. Yang, Lu, Ren, & Wang, 2017). This innovative approach highlights the versatility of HSI in simultaneously evaluating multiple quality parameters, providing a comprehensive overview of meat quality.

3.1.3. Compositional Analysis

The physicochemical, chemical, and biological properties of meat and meat products are of significant importance. Among these, fundamental attributes such as color, marbling, and fat content are widely utilized in the industry. HSI is particularly adept at compositional analysis, enabling the simultaneous evaluation of various chemical components in meat. For instance, Elmasry et al.(2012), highlighted that HSI can effectively measure critical visual attributes such as color, marbling, and fat content, which are essential for grading meat quality (G. Elmasry et al., 2012). This capability is further enhanced through the integration of multivariate analysis techniques, facilitating the extraction of meaningful information from complex spectral data.

Additionally, Gallo et al. (2019) demonstrated the use of HSI to predict pork spoilage, highlighting the technique's potential for monitoring compositional changes over time (Gallo, Almeida, Bermudez, Chen, & Richard, 2019). By providing insights into the chemical and physical properties of meat, HSI helps ensure that products meet quality standards throughout their shelf life.

3.2. Safety

The safety of meat products is of critical importance for both consumers and regulatory authorities. Every step in the supply chain—from animal nutrition to slaughtering and processing—plays a pivotal role in ensuring safety. The implications for human health and nutrition are evident. Beyond these aspects, safety parameters are also crucial for economic evaluations of meat and meat products, which are among the highest-valued food items globally. Technological advancements in this area are essential, and hyperspectral imaging (HSI) systems have proven highly effective. HSI has emerged as a robust tool for detecting adulteration, contamination, and identifying meat types. With broader adoption and cost reductions, HSI systems are expected to become one of the most vital tools for enhancing food safety and ensuring product integrity. This section explores the applications of HSI in these critical areas.

3.2.1. Detection of Adulteration and Contamination

Adulteration and contamination are significant issues globally, including in Turkey, where governmental authorities implement measures to combat them. While legal sanctions are in place, authorities periodically expose those engaged in such fraudulent practices. The adulteration of meat products poses significant health risks and economic losses. HSI has been effectively employed to detect various forms of adulteration, including the presence of non-meat substances in meat products.

For instance, Jiang et al. (2020) demonstrated HSI's capability to rapidly detect cheek meat adulteration in pork, highlighting its effectiveness in distinguishing between pure and adulterated samples (Jiang, Cheng, & Shi, 2020). This approach not only provides a non-destructive method of analysis but also

facilitates real-time monitoring essential for maintaining food safety standards.

Additionally, Dashti et al. (2023) compared portable visible-near-infrared (Vis-NIR) hyperspectral imaging with shortwave infrared (SWIR) imaging for assessing meat authenticity. Their findings revealed that both imaging techniques effectively utilized pigment color information and compositional data to detect adulteration (Dashti et al., 2023). This underscores HSI's versatility in addressing food safety concerns across different types of meat. A sample of different spectral data collected from different wavelengths is given in Figure 3.

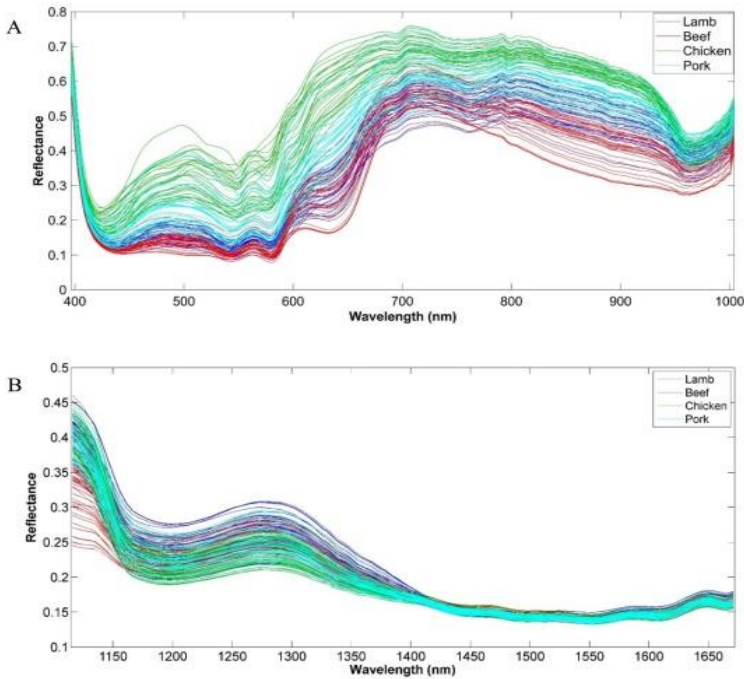


Figure 3. A) Vis-NIR and B) SWIR averaged spectra obtained from all four pure meat species

Reference: Dashti et al., 2023.

Ropodi et al. (2015) also employed multispectral image analysis to detect adulteration in beef and pork, emphasizing HSI's potential to identify low levels of adulterants that conventional methods might overlook (Ropodi, Pavlidis, Mohareb, Panagou, & Nychas, 2015). This capability is critical for protecting consumers against fraudulent practices in the meat industry.

3.2.2. Meat Type Identification

In meat products, tissues from different meat species can be incorporated into products that are marketed as containing a single type of meat, misleading consumers. The identification of meat types is crucial for ensuring authenticity, particularly in the context of halal certification and consumer preferences. HSI systems utilize the spectral signature of an organic product to provide data about its authenticity, effectively serving as a "fingerprint" technology. By delivering detailed spectral information that can be analyzed to determine the meat types present in a sample, HSI holds significant promise in this domain.

For instance, Dashti et al. (2021) investigated the applicability of handheld spectrometers combined with chemometric methods for meat type identification, demonstrating the efficacy of HSI in verifying meat products (Dashti et al., 2021). This approach not only enhances the reliability of meat identification but also supports compliance with regulatory standards.

Additionally, Edwards et al. (2023) used near-infrared hyperspectral imaging to classify raw beef patties into different categories, showcasing the potential of HSI for automated meat classification (Edwards et al., 2023). This application not only

streamlines the quality control process but also helps prevent mislabeling and fraud in meat products.

Hyperspectral imaging serves as a powerful tool for enhancing the safety and authenticity of meat and meat products. Its ability to detect adulteration and contamination, combined with its effectiveness in identifying meat types, positions HSI as a critical technology for ensuring food safety and consumer trust in the meat industry. Leveraging data from pilot-scale studies and employing reverse engineering techniques with low-cost multispectral cameras, HSI has emerged as one of the most promising technologies for addressing these significant challenges.

3.3. Process Optimization

Process optimization in the meat industry is essential for enhancing efficiency, ensuring product quality, and maintaining safety standards. Significant advancements have been made in this area, with industrial production increasingly focused on real-time monitoring for process optimization. Hyperspectral imaging (HSI) has emerged as a transformative technology, facilitating sorting and classification during processing and optimizing various stages of meat production. This section focuses on HSI's applications in sorting and classification for process optimization.

3.3.1. Sorting and Grading During Processing

Meat differs from other food products due to its complex composition. While sorting and classification are relatively straightforward for food products with predominantly uniform components, meat contains a diverse mix of proteins, fats, and carbohydrates. The structural complexity of meat tissues makes technological separation during production challenging. HSI provides a non-destructive method for sorting and classifying

meat products based on quality attributes. One of the primary advantages of HSI is its ability to rapidly evaluate multiple quality parameters simultaneously, which is critical for effective sorting. A sample classification model is illustrated in Figure 4.

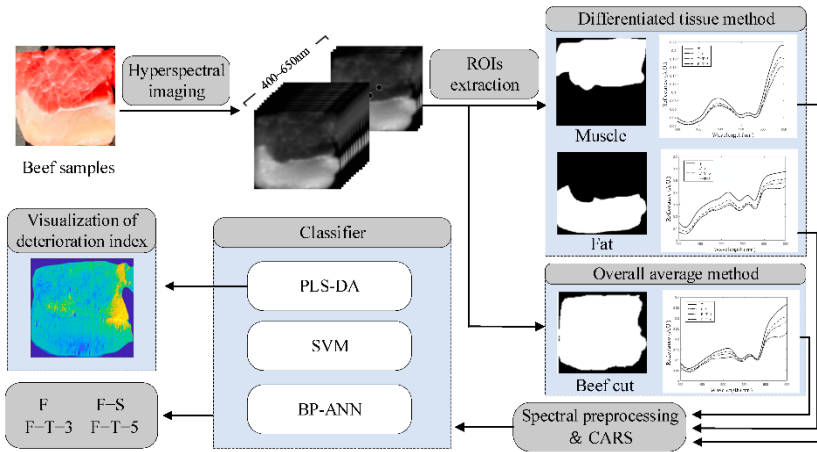


Figure 4. Flowchart of the main steps of the classification model

Reference: Yu et al., 2024.

For example, Edwards et al. (2023) demonstrated that near-infrared (NIR) hyperspectral imaging could classify raw beef patties into four distinct categories based on quality attributes, thereby streamlining the sorting process (Edwards et al., 2023). This capability not only enhances operational efficiency but also ensures that only high-quality products reach consumers. Although research on sorting efficiency is ongoing in other domains, progress is steadily being made in meat products as well.

Additionally, Aheto et al. (2019) investigated the combination of spectral and image data from HSI to predict lipid oxidation properties in pork (Aheto et al., 2019). Their study found that changes in reflectance values were directly linked to

physical and chemical alterations induced by various processing methods. This insight allows producers to optimize conditions such as salt concentration and temperature, which significantly impact meat quality. Real-time monitoring of lipid oxidation using HSI provides critical data to enhance product quality and extend shelf life.

Microbiological development in meat and meat products is another key concern. Among commonly consumed foods, meat is considered the most conducive to microbial growth. Differentiating microbial contamination is critical not only for classification and sorting but also for ensuring safety.

Yang et al. (2017) utilized HSI combined with wavelet transformation and multi-way partial least squares regression to detect total viable counts in spiced beef (D. Yang et al., 2017). This application underscores HSI's potential to not only classify meat based on quality but also identify microbial contamination, thereby ensuring safety. By integrating HSI into processing workflows, meat producers can improve quality control measures and reduce the risk of foodborne illnesses.

Furthermore, Gallo et al. highlighted the use of HSI for the non-destructive prediction of pork spoilage over time (Gallo et al., 2019). Their study demonstrated that HSI, combined with advanced data analysis techniques, effectively monitors changes in meat quality during storage. This capability allows processors to optimize storage conditions and minimize waste. Such features are particularly valuable in supply chain management, where maintaining product quality throughout distribution is critical.

Hyperspectral imaging plays a pivotal role in optimizing processes within the meat industry. As a promising solution to the complex and time-consuming classification challenges faced

by large-scale industrial operations, HSI enables sorting and grading based on multiple quality attributes. This enhances operational efficiency, ensures product safety, and ultimately improves consumer satisfaction. As the meat industry continues to evolve, the integration of HSI technology will be critical for meeting the growing demands for quality and safety in meat production.

4. CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

4.1. Technical and Economic Limitations

As with any technological advancement, the development of hyperspectral imaging (HSI) comes with its own set of challenges and limitations. Emerging technologies often face financial burdens and complexity, which, despite being part of the developmental process, can hinder their widespread adoption. However, alongside these challenges, opportunities for innovation also arise.

While HSI offers significant advantages for meat quality assessment, several technical and economic limitations have slowed its adoption in the meat industry. One of the primary technical challenges is the complexity of data analysis. HSI generates vast amounts of data that require sophisticated algorithms and computational power for processing and interpretation. This complexity poses a barrier for smaller meat processing facilities that may lack the necessary resources or expertise to implement advanced data analytics (Echegaray et al., 2022; Y. C. Li et al., 2020).

Additionally, the initial investment cost of HSI systems can be substantial, typically starting at approximately \$28,000 (Echegaray et al., 2022). This high cost can create a disparity in

quality control capabilities between larger and smaller meat processors. Moreover, the ongoing maintenance and potential upgrades required to ensure optimal system performance further increase the economic burden (Echegaray et al., 2022).

Economic constraints also extend to the broader meat industry, where fluctuating market demands and shifting consumer preferences influence the feasibility of investing in new technologies. For example, the industry faces increasing pressure to adopt sustainable practices, which often require significant capital investments in new technologies like HSI (Duong et al., 2020; Echegaray et al., 2022). Balancing these investments with the need to maintain competitive pricing presents a significant challenge for many producers.

Despite these limitations, HSI presents significant opportunities, particularly through advancements in engineering techniques. One promising avenue is the development of low-cost multispectral cameras derived from HSI technology. These cost-effective solutions would also demand fewer resources, enhancing accessibility and usability for smaller operations. This increased affordability has the potential to expand the use of HSI systems across the meat industry, paving the way for more widespread adoption.

This potential is explored in greater detail in Section 4.2, where strategies for overcoming current limitations and maximizing the benefits of HSI are discussed.

4.2. Emerging Trends: AI Integration and Portable Systems

Despite the challenges, emerging trends present opportunities to enhance the application of HSI in the meat industry. One significant trend is the integration of artificial intelligence (AI) with HSI technology. AI algorithms can

improve the accuracy and efficiency of data analysis, enabling real-time decision-making based on hyperspectral data. For example, machine learning techniques can be used to develop predictive models that evaluate meat quality attributes such as tenderness and freshness based on spectral data (Akyürek & Koçer, 2019; Echegaray et al., 2022; Zhang, Chen, Xie, Wang, & Pan, 2021). This integration can streamline the quality control process and reduce the need for extensive manual analysis.

Additionally, the development of portable HSI systems represents another promising trend. Portable devices facilitate on-site analysis, allowing meat processors to conduct real-time quality assessments during processing. This capability can enhance operational efficiency and reduce the time lag between production and quality evaluation (Echegaray et al., 2022; Hassoun et al., 2023). Portable systems also enable smaller operations to adopt HSI without requiring extensive infrastructure investments. Furthermore, advancements in Industry 4.0 technologies, including the Internet of Things (IoT) and robotics, can complement HSI applications in the meat industry. These technologies can enhance traceability, automate data collection, and improve overall supply chain management, addressing some of the economic and logistical challenges faced by meat processors (Duong et al., 2020; Hassoun et al., 2023).

While significant technical and economic limitations remain in the adoption of HSI within the meat industry, emerging trends such as AI integration and the development of portable systems offer substantial opportunities for advancing meat quality assessment. Businesses must carefully evaluate the balance between benefits and costs and foster awareness among industry experts. Each enterprise must realistically address these factors while recognizing that the opportunities provided by advanced technologies outweigh the challenges they may pose.

By leveraging these developments, the meat industry can improve operational efficiency, ensure product safety, and meet the evolving demands of consumers.

5. CONCLUSION

Hyperspectral imaging (HSI) has demonstrated significant potential to revolutionize the meat industry by providing a non-destructive, fast, and comprehensive method for assessing the quality, safety, and authenticity of meat products. Its ability to simultaneously capture both spatial and spectral information allows for the evaluation of multiple quality attributes, such as freshness, tenderness, compositional analysis, and the detection of adulteration and contamination. This capability not only improves operational efficiency in meat processing but also ensures compliance with safety standards, safeguarding consumer health and boosting trust in meat products.

Furthermore, the integration of HSI with advanced data analytics, including artificial intelligence (AI) and machine learning, enhances its effectiveness. These technologies enable the development of predictive models that can evaluate meat quality attributes in real time and facilitate timely decision-making during processing. As the meat industry continues to evolve, the adoption of HSI technology is expected to play an increasingly critical role in maintaining high quality and safety standards.

Looking ahead, there are several areas that require further research and implementation to maximize the benefits of HSI in the meat industry. First, there is a need for the development of more user-friendly and cost-effective HSI systems, particularly portable devices that can easily integrate

into existing processing workflows. Such advancements would accelerate access to HSI technology, enabling smaller meat processors to adopt these innovative solutions without significant financial burdens.

Second, ongoing research should focus on improving the algorithms and analytical methods used with HSI. This includes advancing machine learning techniques to enhance the accuracy and reliability of quality assessments, as well as exploring the integration of HSI with other emerging technologies like the Internet of Things (IoT) and robotics to create more automated and efficient processing environments.

Finally, collaborative efforts among industry stakeholders, researchers, and regulatory bodies are crucial for establishing standard protocols for HSI applications in meat quality assessment. These standards would facilitate the widespread adoption of HSI technology and ensure consistency in quality control measures across the industry.

In conclusion, hyperspectral imaging holds immense promise for enhancing quality control processes in the meat industry. By addressing current challenges and leveraging emerging trends, the industry can harness the potential of HSI technology to improve product quality, ensure safety, and meet the evolving demands of consumers.

6. REFERENCES

- Aheto, J. H., Huang, X., Tian, X., Ren, Y., Bonah, E., Alenyorege, E. A., . . . Dai, C. (2019). Combination of Spectra and Image Information of Hyperspectral Imaging Data for Fast Prediction of Lipid Oxidation Attributes in Pork Meat. *Journal of Food Process Engineering*, 42(6). doi:10.1111/jfpe.13225
- Akyürek, H. A., & Koçer, B. (2017). Three-Dimensional Spatial-Spectral Filtering Based Feature Extraction for Hyperspectral Image Classification. *Advances in Electrical & Computer Engineering*, 17(2).
- Akyürek, H. A., & Koçer, B. (2019). Semi-supervised fuzzy neighborhood preserving analysis for feature extraction in hyperspectral remote sensing images. *Neural Computing and Applications*, 31(8), 3385-3415. doi:10.1007/s00521-017-3279-y
- Akyürek, H. A., & Koçer, B. (2024). Spectral Similarity Based Multiscale Spatial-Spectral Preprocessing Framework for Hyperspectral Image Classification. *Traitement du Signal*, 41(4), 1763-1769. doi:10.18280/ts.410410
- Charan, A. S. (2022). A Review of Hyperspectral Imaging in the Quality Evaluation of Meat, Fish, Poultry and Their Products. *Meat Technology*, 63(2), 109-120. doi:10.18485/meattech.2022.63.2.4
- Dashti, A., Muller-Maatsch, J., Roetgerink, E., Wijtten, M., Weesepoel, Y., Parastar, H., & Yazdanpanah, H. (2023). Comparison of a portable Vis-NIR hyperspectral imaging and a snapscan SWIR hyperspectral imaging for evaluation of meat authenticity. *Food Chem X*, 18, 100667. doi:10.1016/j.fochx.2023.100667

- Dashti, A., Muller-Maatsch, J., Weesepeel, Y., Parastar, H., Kobarfard, F., Daraei, B., . . . Yazdanpanah, H. (2021). The Feasibility of Two Handheld Spectrometers for Meat Speciation Combined with Chemometric Methods and Its Application for Halal Certification. *Foods*, 11(1), 71. doi:10.3390/foods11010071
- De Devitiis, B., Viscecchia, R., Seccia, A., Nardone, G., Carlucci, D., Albenzio, M., . . . Marino, R. (2023). Improving meat tenderness using exogenous process: The consumer response. *Meat Science*, 200, 109164.
- Duong, L. N. K., Al-Fadhli, M., Jagtap, S., Bader, F., Martindale, W., Swainson, M., & Paoli, A. (2020). A review of robotics and autonomous systems in the food industry: From the supply chains perspective. *Trends in Food Science & Technology*, 106, 355-364. doi:10.1016/j.tifs.2020.10.028
- Echegaray, N., Hassoun, A., Jagtap, S., Tetteh-Caesar, M., Kumar, M., Tomasevic, I., . . . Lorenzo, J. M. (2022). Meat 4.0: Principles and Applications of Industry 4.0 Technologies in the Meat Industry. *Applied Sciences*, 12(14), 6986. doi:10.3390/app12146986
- Edwards, K., Hoffman, L. C., Manley, M., & Williams, P. J. (2023). Raw Beef Patty Analysis Using Near-Infrared Hyperspectral Imaging: Identification of Four Patty Categories. *Sensors (Basel)*, 23(2), 697. doi:10.3390/s23020697
- Elmasry, G., Kamruzzaman, M., Sun, D. W., & Allen, P. (2012). Principles and applications of hyperspectral imaging in quality evaluation of agro-food products: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 52(11), 999-1023. doi:10.1080/10408398.2010.543495

- ElMasry, G., Sun, D.-W., & Allen, P. (2011). Non-destructive determination of water-holding capacity in fresh beef by using NIR hyperspectral imaging. *Food Research International*, 44(9), 2624-2633. doi:10.1016/j.foodres.2011.05.001
- Feng, C. H., Arai, H., & Rodriguez-Pulido, F. J. (2023). Hyperspectral Imaging Combined with Chemometrics Analysis for Monitoring the Textural Properties of Modified Casing Sausages with Differentiated Additions of Orange Extracts. *Foods*, 12(5), 1069. doi:10.3390/foods12051069
- Feng, C. H., Arai, H., & Rodriguez-Pulido, F. J. (2024). Assessment of adenosine triphosphate content in sausages stuffed in different modified casing treatments added with orange extracts, utilising hyperspectral imaging combined with multivariate analysis. *Front Nutr*, 11, 1370339. doi:10.3389/fnut.2024.1370339
- Gallo, B. B., Almeida, S., Bermudez, J. C. M., Chen, J., & Richard, C. (2019). *Non-Destructive Prediction of Pork Meat Degradation Using a Stacked Autoencoder Classifier on Hyperspectral Images*. Paper presented at the In 2019 27th European Signal Processing Conference (EUSIPCO) (pp. 1-5). .
- Hassoun, A., Ait-Kaddour, A., Abu-Mahfouz, A. M., Rathod, N. B., Bader, F., Barba, F. J., . . . Regenstein, J. (2023). The fourth industrial revolution in the food industry-Part I: Industry 4.0 technologies. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 63(23), 6547-6563. doi:10.1080/10408398.2022.2034735
- He, H.-J., & Sun, D.-W. (2015). Hyperspectral imaging technology for rapid detection of various microbial contaminants in agricultural and food products. *Trends in Food Science & Technology*, 46(1), 99-109.

- Huang, H., Liu, L., & Ngadi, M. (2014). Recent Developments in Hyperspectral Imaging for Assessment of Food Quality and Safety. *Sensors*, 14(4), 7248-7276. doi:10.3390/s140407248
- Jiang, H., Cheng, F., & Shi, M. (2020). Rapid Identification and Visualization of Jowl Meat Adulteration in Pork Using Hyperspectral Imaging. *Foods*, 9(2), 154. doi:10.3390/foods9020154
- Jiang, H., Yang, Y., & Shi, M. (2021). Chemometrics in Tandem with Hyperspectral Imaging for Detecting Authentication of Raw and Cooked Mutton Rolls. *Foods*, 10(9), 2127. doi:10.3390/foods10092127
- Kandpal, L. M., Lee, H., Kim, M. S., Mo, C., & Cho, B. K. (2013). Hyperspectral reflectance imaging technique for visualization of moisture distribution in cooked chicken breast. *Sensors (Basel)*, 13(10), 13289-13300. doi:10.3390/s131013289
- Kozan, H. I., Sariçoban, C., Akyürek, H. A., & Ünver, A. (2016). Hyperspectral Imaging Technique as a State of Art Technology in Meat Science. *Green Chemistry & Technology Letters*, 2(3), 127-137. doi:10.18510/gctl.2016.232
- Li, Y., Zhang, L., Peng, Y., Tang, X., Chao, K., & Dhakal, S. (2011). Hyperspectral Imaging Technique for Determination of Pork Freshness Attributes. *Sensing for Agriculture and Food Quality and Safety III* 8027, 132-140. doi:10.1117/12.883652
- Li, Y. C., Liu, S. Y., Meng, F. B., Liu, D. Y., Zhang, Y., Wang, W., & Zhang, J. M. (2020). Comparative review and the recent progress in detection technologies of meat product adulteration. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 19(4), 2256-2296. doi:10.1111/1541-4337.12579

- Lim, J., Lee, A., Kang, J., Seo, Y., Kim, B., Kim, G., & Kim, S. M. (2020). Non-Destructive Detection of Bone Fragments Embedded in Meat Using Hyperspectral Reflectance Imaging Technique. *Sensors (Basel)*, 20(14), 4038. doi:10.3390/s20144038
- Ozdemir, A., & Polat, K. (2020). Deep learning applications for hyperspectral imaging: a systematic review. *Journal of the Institute of Electronics and Computer*, 2(1), 39-56.
- Ropodi, A. I., Pavlidis, D. E., Mohareb, F., Panagou, E. Z., & Nychas, G. J. E. (2015). Multispectral image analysis approach to detect adulteration of beef and pork in raw meats. *Food Research International*, 67, 12-18. doi:10.1016/j.foodres.2014.10.032
- Serranti, S., & Bonifazi, G. (2016). Hyperspectral Imaging and Its Applications. *Optical Sensing and Detection IV* 9899, 146-165. doi:10.1117/12.2234976
- Singh, C. B., Jayas, D. S., Paliwal, J., & White, N. D. G. (2010). Near-Infrared Hyperspectral Imaging for Quality Analysis of Agricultural and Food Products. *Sensing for Agriculture and Food Quality and Safety II* 7676, 18-26. doi:10.1117/12.850371
- Wang, Q., & He, Y. (2019). Rapid and Nondestructive Classification of Cantonese Sausage Degree Using Hyperspectral Images. *Applied Sciences*, 9(5), 822. doi:10.3390/app9050822
- Wang, W., & Peng, Y. (2018). Hyperspectral Imaging in Agriculture, Food and Environment. In *Hyperspectral Imaging for Assessing Quality and Safety of Meat*: IntechOpen.

- Wu, X., Liang, X., Wang, Y., Wu, B., & Sun, J. (2022). Non-destructive techniques for the analysis and evaluation of meat quality and safety: A review. *Foods*, 11(22), 3713.
- Xiong, Z., Sun, D. W., Pu, H., Gao, W., & Dai, Q. (2017). Applications of emerging imaging techniques for meat quality and safety detection and evaluation: A review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 57(4), 755-768. doi:10.1080/10408398.2014.954282
- Yang, D., Lu, A., Ren, D., & Wang, J. (2017). Detection of total viable count in spiced beef using hyperspectral imaging combined with wavelet transform and multiway partial least squares algorithm. *Journal of Food Safety*, 38(1). doi:10.1111/jfs.12390
- Yang, Y., Wang, W., Zhuang, H., Yoon, S.-C., & Jiang, H. (2018). Fusion of Spectra and Texture Data of Hyperspectral Imaging for the Prediction of the Water-Holding Capacity of Fresh Chicken Breast Filets. *Applied Sciences*, 8(4), 640. doi:10.3390/app8040640
- Yu, Y., Chen, W., Zhang, H., Liu, R., & Li, C. (2024). Discrimination among Fresh, Frozen-Stored and Frozen-Thawed Beef Cuts by Hyperspectral Imaging. *Foods*, 13(7), 973. doi:10.3390/foods13070973
- Zhang, T., Chen, C., Xie, K., Wang, J., & Pan, Z. (2021). Current State of Metabolomics Research in Meat Quality Analysis and Authentication. *Foods*, 10(10), 2388. doi:10.3390/foods10102388

GREEN EXTRACTION TECHNIQUES IN FOOD PROCESSING

Hicran UZUN KARKA¹

Songül KESEN²

1. INTRODUCTION

Green extraction is the use of ecologically friendly, sustainable technologies to remove valuable biologically active substances from raw materials such as plants and food byproducts without using harmful solvents, unnecessary energy, or environmentally harmful processes. Green extraction aims to reduce the ecological effects of the extraction process, reduce waste materials, and increase the quality of recovered substances while remaining economically viable.

These techniques focus on optimising the production of useful components (such as essential oils, antioxidants, vitamins, and polyphenols) while using a minimum of assets as possible, with the goal of contributing to the circular economy through the reuse or valorisation of byproducts. Green extraction methods depend on principles of efficiency, sustainability, and economic feasibility.

1 Dr. Öğr. Üyesi Hicran UZUN KARKA, Gaziantep Üniversitesi, Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Gaziantep/Türkiye, hicranuzun@gantep.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1098-3197.

2 Doç. Dr. Songül KESEN, Gaziantep Üniversitesi, Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Gaziantep/Türkiye, songulkesen27@hotmail.com, ORCID: 0000-0003-0587-1721.

2. PRINCIPLES OF GREEN EXTRACTION

Green extraction refers to a set of environmentally friendly techniques aimed at efficiently recovering bioactive compounds from natural sources while minimizing the utilization of hazardous chemical solvents and reducing consumption of energy. The principles of green extraction are based on the broader green chemistry framework that emphasizes sustainability, safety, and efficiency in chemical processes.

Several fundamental principles guide the development and implementation of green extraction methods;

2.1. Use of Renewable Resources

The use of renewable plant resources is one of the main principles of green extraction. This involves selecting plant materials that can be sustainably sourced and ensuring that extraction processes do not deplete these resources (Herrero & Ibáñez, 2018). For example, extracting waste materials or agricultural byproducts not only increases the value of these resources but also helps reduce waste (Şahin, 2024).

2.2. Selection of Green Solvents

The choice of solvent is critical in green extraction. It is advised to utilise solvents that are safe for the environment, such as ethanol, water, or natural deep eutectic solvents (NADES). These solvents are less toxic and more biodegradable compared to traditional organic solvents, thereby minimising the extraction process's negative environmental effects (Herrero & Ibáñez, 2018). For example, NADES have been successfully applied to extract phenolic substances from various plant sources, demonstrating their effectiveness as green solvents (Syakfanaya et al., 2019).

2.3. Energy Efficiency

The objective of green extraction techniques is to reduce energy usage through innovative technologies and energy recovery systems. When compared to traditional procedures, methods include microwave-assisted extraction (MAE) and ultrasound-assisted extraction (UAE) significantly reduce extraction times and energy consumption (Jiménez et al., 2022; Uzel, 2018). By optimizing extraction conditions, these methods enhance the effectiveness of recovering bioactive compounds while lowering the overall energy footprint (Jiménez et al., 2022).

2.4. Minimization of Waste

A key principle of green extraction is the reduction of waste generated during the extraction process. This includes not only the minimization of solvent waste but also the production of co-products instead of waste. By designing extraction processes that allow for the recovery of several significant substances, the overall sustainability of the process is improved (Herrero & Ibáñez, 2018; Şahin, 2024). For instance, the extraction of antioxidants from food by-products can yield both bioactive compounds and other valuable materials, contributing to a circular economy (Şahin, 2024).

2.5. Safety and Non-toxicity

Green extraction emphasizes the importance of safety for both the environment and human health. This principle advocates for the use of safe solvents and processes that do not generate harmful by-products. Techniques including supercritical fluid extraction and enzyme-assisted extraction are examples of methods that align with this principle, as they avoid the use of hazardous chemicals (Baskaran, 2024; Salami et al., 2020).

2.6. Process Intensification

This principle involves optimizing extraction processes to enhance effectiveness and minimise time and resources required for extraction. Process intensification techniques that increase extraction yields while preserving the quality of the extracted compounds include innovations like high-pressure processing, pulsed electric fields, and other non-thermal techniques (Baskaran, 2024).

3. GREEN EXTRACTION METHODS USED IN FOOD PROCESSING

Green extraction technologies are pivotal in promoting sustainable food processing by enhancing the recovery of bioactive substances while reducing environmental effect. These techniques give priority to use of non-toxic solvents, reduced energy consumption, and improved extraction efficiencies.

Several innovative techniques have emerged as part of this green approach, each offering unique advantages for the extraction of food constituents in food processing.

3.1. Natural Deep Eutectic Solvents (NADES)

NADES are non-toxic and biodegradable, so that they have gained more attention as a green extraction medium. These solvents are formed by mixing natural substances, such as sugars and organic acids, which can effectively extract phenolic compounds and other bioactive constituents from various food matrices (Duan et al., 2019). Studies have shown that NADES can replace traditional organic chemical solvents in the extraction of valuable substances from by-products of food, thereby reducing environmental pollution and enhancing the sustainability of extraction processes (Duan et al., 2019).

The utilization of deep eutectic solvents (DESs) in extracting phenolic substances from fruits has been shown to yield higher extraction efficiencies compared to traditional organic solvents. For example, studies have demonstrated that natural deep eutectic solvents (NADESs), composed of natural substances such as sugars and organic acids, can effectively extract phenolic compounds from various fruit sources, including mango peels and bilberries (Martinović et al., 2022; Vo, 2023). The extraction process using NADESs not only enhances the yield of phenolic compounds but also preserves their bioactivity, making them suitable for food applications (Vo, 2023).

Moreover, the versatility of DESs allows for the optimization of extraction conditions. The extraction efficiency can be greatly impacted by variables including the extraction temperature, the presence of water, and the mole fraction of hydrogen bond donor to hydrogen bond acceptor (Stržincová et al., 2022). For example, it has been demonstrated that adding water to DESs improves mass transfer and increases the extraction of phenolic substances by reducing viscosity (Stržincová et al., 2022). This adaptability makes DESs a valuable tool in the food industry, where the extraction of bioactive compounds is vital for developing functional foods and nutraceuticals (García-Roldán et al., 2023).

3.2. Ultrasound-Assisted Extraction (UAE)

This method uses high-frequency sound waves to produce cavitation bubbles in the solvent, resulting in increased mass transfer and extraction yields. UAE works by producing high-frequency waves of sound (usually ranging from 20 kHz to 100 kHz) that cause cavitation bubbles in the extraction solution. When these bubbles break down, they cause localised

high temperatures and pressures, disrupting plant cell walls and releasing internal substances into the solvent (Liao et al., 2021). This process enhances mass transfer, allowing for more efficient extraction of target substances such as phenolics, flavonoids, and essential oils (Liao et al., 2021). UAE is particularly effective method for removing bioactive substances and antioxidants from plant materials like fruit seeds and peels (Fernandes et al., 2022; Arya et al., 2019). The method is characterized by shorter extraction times and reduced solvent usage, aligning with basic principles of green chemistry (Fernandes et al., 2022).

3.3. Microwave-Assisted Extraction (MAE)

MAE utilizes microwave radiation for heating solvents and samples rapidly, facilitating the extraction of bioactive substances. This technique is a very effective and environmentally friendly method to recover essential food components because it has been demonstrated to drastically decrease extraction times and solvent quantities when compared to traditional methods (Kim et al., 2016; Martínez, 2023). The application of MAE has been particularly successful in extracting polyphenols from various plant sources, including green tea and grape seeds (Kim et al., 2016).

MAE operates by exposing a polar extraction solvent to microwave irradiation. As a result of the solvent and plant material absorbing the microwave radiation, the sample rapidly heats up and develops localised hot spots. This mechanism breaks cell walls and increases the solubility of target substances, allowing their release into the solvent (Li et al., 2010; Rezzadori et al., 2021). The dielectric properties of the solvent play a crucial role; for instance, water, being a polar

solvent, absorbs microwave energy effectively, thus enhancing the extraction process (Rezzadori et al., 2021).

3.4. Enzyme-Assisted Extraction (EAE)

EAE uses particular enzymes for breaking down cell walls and releasing intracellular substances, thereby enhancing the extraction of bioactive molecules without the need for harsh solvents or extreme conditions. This method is particularly beneficial for extracting sensitive compounds, preserving their integrity and bioactivity (Martínez, 2023). EAE has been effectively used to recover essential substances from food waste, contributing to sustainability in food processing (Martínez, 2023).

EAE operates on the principle of using enzymes to hydrolyze cell wall components like as pectin, cellulose, and hemicellulose, thereby disrupting the cellular structure and facilitating the release of intracellular substances into the extraction solvent (Aliaño-González et al., 2022). The choice of enzymes is crucial, as particular components of the cell wall are targeted by specific enzymes, enhancing the extraction of various bioactive substances, including phenolics, flavonoids, and essential oils (Aliaño-González et al., 2022).

EAE has been utilised to extract phenolic compounds from fruits, vegetables, and herbs, enhancing their antioxidant properties. For example, enzyme-assisted extraction of anthocyanins from blackcurrant has shown promising results (Aliaño-González et al., 2022).

The extraction of oils from seeds and nuts using enzyme-assisted methods has been explored, leading to higher yields and improved oil quality. Studies have demonstrated that EAE can effectively extract oils from sources like *Balanites aegyptiaca* and apricot kernels (Akhone et al., 2022).

EAE is also used to recover proteins from various food matrices, including legumes and grains. The enzymatic treatment can enhance protein solubility and bioavailability, making it a valuable technique in extraction of protein (Franchi et al., 2014).

The extraction of natural colorants, such as carotenoids and anthocyanins, from plant materials has been optimized using EAE, resulting in higher yields and improved color stability (Dasari, 2020).

3.5. Supercritical Fluid Extraction (SFE)

SFE uses supercritical fluids, typically carbon dioxide, as solvents to extract bioactive substances. This method is recognised for its ability to remove specific substances without leaving behind hazardous residues, which makes it a sustainable choice for obtaining valuable components from food matrices (Dhua et al., 2022). SFE is particularly effective for extracting essential oils and flavors from plant materials, thereby enhancing the quality of food products (Dhua et al., 2022).

3.6. Pulsed Electric Field Extraction (PEF)

This non-thermal approach uses brief pulses of high voltage to rupture cell membranes, which facilitates the release of internal substances. Pulsed electric field extraction has shown potential in improving extraction yields while maintaining the quality of the extracted compounds, making it a promising green technology for food processing (Chatzimitakos, 2023). PEF extraction operates by applying high-voltage electric pulses (in the range of 1–10 kV/cm) to food materials positioned between two electrodes. The electric field promotes electroporation, which forms temporary pores in plant or microbial cell membranes. This process promotes the release of intracellular substances like proteins, lipids, and phenolic chemicals into the

solvent (Berzosa et al., 2023). Several parameters influence the efficiency of PEF extraction, including the intensity and duration of the electric pulses, the type of food matrix, and the extraction solvent (Seydani et al., 2022).

PEF extraction has been shown to yield higher amounts of bioactive compounds compared to traditional extraction methods. For instance, studies have demonstrated that PEF can significantly enhance the extraction of phenolic compounds from plant materials, leading to improved extraction yields (Seydani et al., 2022). PEF is widely used in juice extraction processes to enhance yield and quality.

Studies have shown that PEF treatment can significantly increase juice yield from fruits such as tomatoes and apples, while preserving their sensory attributes (Berzosa et al., 2023). PEF has been used to extract rapeseed oil, demonstrating its effectiveness in enhancing oil recovery (Seydani et al., 2022). PEF extraction has been employed to recover phenolic substances from various plant sources, including grape pomace and olive leaves. This technique has shown promising results in enhancing the extraction of these valuable antioxidants (Berzosa et al., 2023). The protein extraction from food matrices, such as fish and legumes, has been optimized using PEF. The technique can enhance protein solubility and bioavailability, making it a valuable method in protein extraction (Takaki et al., 2021).

4. THE ADVANTAGES OF GREEN EXTRACTION METHODS TO TRADITIONAL METHODS

Traditional extraction methods frequently employ harmful toxic solvents and can be energy-intensive, whereas green extraction methods promote the use of safer,

biodegradable solvents and innovative techniques that increase extraction efficiency.

Traditional extraction methods typically utilize solvents such as methanol, ethanol, and chloroform, which can be toxic and harmful to the environment. These solvents often leave residues in the final product, posing health risks (Liu et al., 2022). In contrast, green extraction methods use safer options such as natural deep eutectic solvents (NADES), water, and vegetable oils, which are non-toxic and biodegradable (Bonacci et al., 2020). For instance, NADES have been shown to effectively extract phenolic substances from plant materials without the environmental drawbacks associated with conventional solvents (Bonacci et al., 2020; García-Roldán et al., 2023).

Green extraction techniques often demonstrate higher extraction efficiencies compared to traditional methods. For example, studies have shown that microwave-assisted extraction (MAE) yields significantly higher amounts of bioactive compounds in a shorter time frame than conventional maceration techniques (Fernandes et al., 2022). In a study that compared MAE to traditional methods, the authors observed that MAE obtained extraction yields of 58.6 mg of hesperidin per gramme of fresh peel in under 7 minutes, whereas traditional methods required substantially longer extraction durations (Fernandes et al., 2022). The resulting effectiveness minimises time while simultaneously lowering energy use.

Traditional extraction methods can contribute to environmental pollution due to the utilization of volatile organic compounds (VOCs) and the generation of hazardous waste (Chang et al., 2022; Liu et al., 2022). In contrast, green extraction techniques are designed to minimize environmental

impact. For instance, supercritical carbon dioxide extraction is a safe green method that avoids the use of harmful chemicals and produces high-quality extracts without toxic residues (Salami et al., 2020).

Green extraction methods often operate under milder conditions compared to traditional methods. For example, deep eutectic solvents can facilitate extraction at lower temperatures and pressures, minimising the risk of heat degradation of sensitive substances (Yue et al., 2022). Traditional procedures, such as Soxhlet extraction, often require lengthy heating and might result in the destruction of heat-sensitive substances (Chang et al., 2022).

Green extraction techniques aim to reduce generation of waste by utilizing renewable resources and producing co-products. For example, by valorising food processing waste with green extraction methods, useful bioactive substances can be recovered while waste is reduced. In contrast, traditional methods often result in significant waste generation, as they may not effectively utilize by-products from food processing (Chang et al., 2022; Yue et al., 2022).

While traditional extraction techniques may have lower initial costs due to the availability of conventional solvents, the long-term economic benefits of green extraction methods become apparent when considering factors such as waste disposal, health risks, and environmental regulations. Green extraction methods can lead to cost savings in waste management and compliance with environmental standards. Moreover, the higher extraction yields and improved product quality associated with Green extraction can increase the market value of the final products (Carpentieri et al., 2021).

5. CONCLUSION

Green extraction technologies are critical for sustainable food processing because they focus on the effective recovery of bioactive substances while minimising the effect on the environment. By adhering to the principles of renewable resource use, green solvent selection, energy efficiency, waste minimization, safety, and process intensification, These techniques help to create a more environmentally friendly and sustainable food production and processing system.

In conclusion, incorporating green extraction technology into food processing is an important advance towards sustainability. Techniques such as natural deep eutectic solvents, ultrasound-assisted extraction, microwave-assisted extraction, enzyme-assisted extraction, supercritical fluid extraction, and pulsed electric field extraction not only enhance the extraction of bioactive substances but also align with the an increasing need for ecologically beneficial methods in the food industry. These innovations contribute to the improvement of functional foods and nutraceuticals while minimizing the ecological footprint of food processing. Green extraction methods offer numerous advantages over traditional extraction methods, including the use of safer solvents, higher extraction efficiencies, reduced environmental impact, milder process conditions, and minimized waste generation. As the demand for sustainable practices in food processing continues to grow, the adoption of green extraction techniques is likely to increase, providing a more environmentally friendly and economically viable approach to the extraction of food constituents.

6. REFERENCES

- Aliaño-González, M. J., Carrera, C., Barbero, G. F., & Palma, M. (2022). A comparison study between ultrasound–assisted and enzyme–assisted extraction of anthocyanins from blackcurrant (*ribes nigrum* l.). *Food Chemistry: X*, 13, 100192. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100192>
- Akhone, M. A., Bains, A., Tosif, M. M., Chawla, P., Fogarasi, M., & Fogarasi, S. (2022). Apricot kernel: bioactivity, characterization, applications, and health attributes. *Foods*, 11(15), 2184. <https://doi.org/10.3390/foods11152184>
- Arya, S. S., Kaimal, A. M., Chib, M., Sonawane, S. K., & Show, P. L. (2019). Novel, energy efficient and green cloud point extraction: technology and applications in food processing. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 524-534. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3546-7>
- Baskaran, K. and Radhakrishnan, M. (2024). High-pressure processing-assisted in-situ extraction of caffeine, chlorogenic acid, phenolic content, and antioxidant properties of green coffee bean. *Journal of Food Process Engineering*, 47(2). <https://doi.org/10.1111/jfpe.14551>
- Berzosa, A., Delso, C., Sanz, J., Sánchez-Gimeno, C., & Raso, J. (2023). Sequential extraction of compounds of interest from yeast biomass assisted by pulsed electric fields. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1197710>

- Bonacci, S., Gioia, M. L. D., Costanzo, P., Maiuolo, L., Tallarico, S., & Nardi, M. (2020). Natural deep eutectic solvent as extraction media for the main phenolic compounds from olive oil processing wastes. *Antioxidants*, 9(6), 513. <https://doi.org/10.3390/antiox9060513>
- Carpentieri, S., Soltanipour, F., Ferrari, G., Pataro, G., & Donsì, F. (2021). Emerging green techniques for the extraction of antioxidants from agri-food by-products as promising ingredients for the food industry. *Antioxidants*, 10(9), 1417. <https://doi.org/10.3390/antiox10091417>
- Chang, Y., Shi, X., He, F., Wu, T., Jiang, L., Normakhamatov, N., ... & Aisa, H. A. (2022). Valorization of food processing waste to produce valuable polyphenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(29), 8855-8870. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c02655>
- Chatzimitakos, T., Athanasiadis, V., Kalompatsios, D., Mantiniotou, M., Bozinou, E., & Lalas, S. I. (2023). Pulsed electric field applications for the extraction of bioactive compounds from food waste and by-products: a critical review. *Biomass*, 3(4), 367-401. <https://doi.org/10.3390/biomass3040022>
- Dasari, P. K. (2020). Parametric optimizations for pectinase production by *aspergillus awamori*. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 12(2), 093-098. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2020.12.2.0247>
- Dhua, S., Kumar, K., Sharanagat, V. S., & Nema, P. K. (2022). Bioactive compounds and its optimization from food

waste: review on novel extraction techniques. *Nutrition & Food Science*, 52(8), 1270-1288.
<https://doi.org/10.1108/nfs-12-2021-0373>

Duan, L., Zhang, C., Zhang, C., Xue, Z., Zheng, Y., & Guo, L. (2019). Green extraction of phenolic acids from artemisia argyi leaves by tailor-made ternary deep eutectic solvents. *Molecules*, 24(15), 2842.
<https://doi.org/10.3390/molecules24152842>

Fernandes, F., Heleno, S., Pinela, J., Carrocho, M., Prieto, M., Ferreira, I., ... & Barros, L. (2022). Recovery of citric acid from citrus peels: ultrasound-assisted extraction optimized by response surface methodology. *Chemosensors*, 10(7), 257.
<https://doi.org/10.3390/chemosensors10070257>

Franchi, M., Marzioletti, M., Pose, G., & Cavalitto, S. (2014). Evaluation of enzymatic pectin extraction by a recombinant polygalacturonase (pgi) from apples and pears pomace of argentinean production and characterization of the extracted pectin. *Journal of Food Processing & Technology*, 05(08).
<https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000352>

García-Roldán, A., Piriou, L., & Jauregi, P. (2023). Natural deep eutectic solvents as a green extraction of polyphenols from spent coffee ground with enhanced bioactivities. *Frontiers in Plant Science*, 13.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1072592>

- Herrero, M. and Ibáñez, E. (2018). Green extraction processes, biorefineries and sustainability: recovery of high added-value products from natural sources. *The Journal of Supercritical Fluids*, 134, 252-259. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.12.002>
- Jiménez, J., Torres-Valenzuela, L. S., & Mejía-Arango, G. (2022). Evaluation and comparison in caffeine extraction under green conditions: solvent selection and ultrasound-assisted process. *Journal of Food Process Engineering*, 45(11). <https://doi.org/10.1111/jfpe.14157>
- Kim, M. J., Ahn, J. H., Kim, S. B., Jo, Y. H., Liu, Q., Hwang, B. Y., ... & Lee, M. K. (2016). Effect of extraction conditions of green tea on antioxidant activity and egcg content: optimization using response surface methodology. *Natural Product Sciences*, 22(4), 270. <https://doi.org/10.20307/nps.2016.22.4.270>
- Li, J., Zu, Y., Fu, Y., Yang, Y., & Zhengnan, L. (2010). Optimization of microwave-assisted extraction of triterpene saponins from defatted residue of yellow horn (*xanthoceras sorbifolia bunge.*) kernel and evaluation of its antioxidant activity. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(4), 637-643. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.06.004>
- Liao, J., Guo, Z., & Yu, G. (2021). Process intensification and kinetic studies of ultrasound-assisted extraction of flavonoids from peanut shells. *Ultrasonics Sonochemistry*, 76, 105661. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105661>

- Liu, C., Ni, H., Chang, Y., Wang, Z., Wan, N., Cao, L., ... & Fu, Y. (2022). Effects of ultrasonic-microwave assisted extraction with green solvent on the chemical constituents, antioxidant, and hypolipidemic activities of manchurian walnut oil. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(7). <https://doi.org/10.1111/jfpp.16603>
- Martínez, D. Q., Lorca, F., Fernández, M. D., & García, P. (2023). Broccoli by-product extract as a functional ingredient: food application. *Exploration of Foods and Foodomics*, 1(4), 235-243. <https://doi.org/10.37349/eff.2023.00018>
- Martinović, M., Krgović, N., Nešić, I., Žugić, A., & Tadić, V. (2022). Conventional vs. green extraction using natural deep eutectic solvents—differences in the composition of soluble unbound phenolic compounds and antioxidant activity. *Antioxidants*, 11(11), 2295. <https://doi.org/10.3390/antiox11112295>
- Rezzadori, K., Arend, G. D., Jaster, H., Díaz-de-Cerio, E., Verardo, V., Segura-Carretero, A., ... & Petrus, J. C. C. (2021). Bioavailability of bioactive compounds of guava leaves (*psidium guajava*) aqueous extract concentrated by gravitational and microwave-assisted cryoconcentration. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(2). <https://doi.org/10.1111/jfpp.16241>
- Salami, A., Asefi, N., Kenari, R. E., & Gharekhani, M. (2020). Extraction of pumpkin peel extract using supercritical co2 and subcritical water technology: enhancing oxidative stability of canola oil. *Journal of Food Science and Technology*, 58(3), 1101-1109. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04624-x>

- Seydani, L. M., Gharachorloo, M., & Asadi, G. (2022). Use of pulsed electric field to extract rapeseed oil and investigation of the qualitative properties of oils. *Journal of Food Process Engineering*, 45(11). <https://doi.org/10.1111/jfpe.14149>
- Stržincová, P., Šurina, I., Majová, V., Ház, A., & Hroboňová, K. (2022). Choline chloride: lactic acid as a green solvent for the extraction of eugenol, eugenol acetate, and β -caryophyllene of clove buds.. <https://doi.org/10.20944/preprints202211.0256.v1>
- Syakfanaya, A. M., Saputri, F. C., & Mun'im, A. (2019). Simultaneously extraction of caffeine and chlorogenic acid from coffea canephora bean using natural deep eutectic solvent-based ultrasonic assisted extraction. *Pharmacognosy Journal*, 11(2), 267-271. <https://doi.org/10.5530/pj.2019.11.41>
- Şahin, S. (2024). Green extraction and valorization of by-products from food processing. *Foods*, 13(10), 1589. <https://doi.org/10.3390/foods13101589>
- Takaki, K., Takahashi, K., Guionet, A., & Ohshima, T. (2021). Pulsed power applications for protein conformational change and the permeabilization of agricultural products. *Molecules*, 26(20), 6288. <https://doi.org/10.3390/molecules26206288>
- Uzel, R. (2018). Microwave-assisted green extraction technology for sustainable food processing. <https://doi.org/10.5772/intechopen.76140>

- Vo, T. P., Phan, T. H., Nguyen, T. H. P., Nguyen, V. K., Dang, T. C. T., Nguyen, L. G. K., ... & Nguyen, D. Q. (2023). Green extraction of phenolics and terpenoids from passion fruit peels using natural deep eutectic solvents. *Journal of Food Process Engineering*, 47(1). <https://doi.org/10.1111/jfpe.14503>
- Yue, X., Cao, Y., Wang, Y., Bao, H., & Xu, Y. (2022). Optimization of deep eutectic solvents extraction of effective components from phellodendron chinense schneid by response surface methodology. *International Journal of Chemical Engineering*, 2022, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2022/3881551>

İŞLENMİŞ GIDALAR VE SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Songül KESEN¹

Hicran UZUN²

1. GİRİŞ

İşlenmiş gıdalar, raf ömürlerini, tatlarını ve güvenliklerini artırmak için genellikle koruyucuların, tatlandırıcıların ve diğer katkı maddelerinin eklenmesini içeren, orijinal hallerinden fiziksel veya kimyasal dönüşümlere uğramış gıdalar olarak tanımlanır. Bu gıdalar minimal işlenmiş gıdalar, işlenmiş mutfak malzemeleri ve ultra işlenmiş gıdalar (UPF'ler) olmak üzere çeşitli alt kategorilere ayrılırlar. Birçok güncel araştırmanın odak noktası olan bu gıdalar, çok az veya hiç tam gıda içermeyen ve tipik olarak ilave şeker, yağ ve sodyum bakımından yüksek, temel besin maddeleri bakımından ise düşük olan endüstriyel formülasyonları ifade etmektedir (Steele ve ark., 2016; Monteiro ve ark., 2017; Gibney, 2019).

İşlenmiş gıdaların besin profili, işleme derecesine bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Bazı minimal düzeyde işlenmiş gıdalar besin öğelerinin çoğunu koruyabilirken, ultra işlenmiş gıdalar genellikle düşük diyet kalitesine ve olumsuz sağlık sonuçlarına yol açabilecek yüksek düzeyde sağlıksız yağlar, şekerler ve katkı maddeleri içerir (Louzada ve ark.,

¹ Doç. Dr., Gaziantep Üniversitesi, Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Gaziantep/Türkiye, e-mail: songulkesen27@hotmail.com, ORCID: 0000-0003-0587-1721.

² Dr. Öğr. Üyesi Hicran UZUN KARKA, Gaziantep Üniversitesi, Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Gaziantep/Türkiye, e-mail: hicranuzun@gantep.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1098-3197.

2015; Julia ve ark., 2017). Bu gıdaların tüketimi meyve, sebze ve tam tahıllar gibi daha sağlıklı beslenme seçeneklerinin yer değiştirmesiyle ilişkilendirilmekte ve sağlıklı beslenme alışkanlıkları döngüsüne katkıda bulunmaktadır (Monteiro ve ark., 2017; Schulte ve ark., 2015).

Ultra işlenmiş gıdalar, özellikle yüksek gelirli ülkelerde modern diyetlerin önemli bir bölümünü temsil etmektedir. Yapılan çalışmalar bu gıdaların ABD diyetindeki kalori alımının yarısından fazlasını oluşturduğunu ve tüketilen ilave şekerlerin yaklaşık %90'ına katkıda bulunduğunu göstermiştir (Steele ve ark., 2016; Monteiro ve ark., 2017). İşlenmiş gıdaların sınıflandırılması genellikle, gıdaları işlenme derecelerine ve amaçlarına göre kategorize eden NOVA sınıflandırma sistemi tarafından yönlendirilir (Monteiro ve ark., 2017; Gibney, 2019). Bu sistem gıdaları dört gruba ayırır: İşlenmemiş veya minimal işlenmiş gıdalar, işlenmiş mutfak malzemeleri, işlenmiş gıdalar ve ultra işlenmiş gıdalar (Monteiro ve ark., 2010; Gibney, 2019).

Ultra işlenmiş gıdaların yükselişi gıda politikası ve halk sağlığı girişimleri için zorluklar yaratmaktadır. Bu gıdaların tüketimini ele alan ve daha sağlıklı alternatifleri teşvik eden net beslenme kılavuzlarına olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Politika yapıcılar, daha sağlıklı beslenme davranışlarını destekleyen koşulları teşvik etmeyi amaçlayarak, beslenme tercihlerini etkileyen daha geniş gıda ortamını ve kültürel normları dikkate almaya teşvik edilmektedir (Quinn ve ark., 2021; Fang, 2024; Anastasiou ve ark., 2022). İşlenmiş gıdalar, özellikle de ultra işlenmiş çeşitler, modern diyetlerde yaygın hale gelmiştir ve beslenme eksiklikleri ve kronik hastalıklarla ilişkileri nedeniyle önemli sağlık endişelerine yol açmaktadır. Bu gıdaların etkilerini anlamak, toplum sağlığını iyileştirmeyi amaçlayan etkili diyet kılavuzları ve halk sağlığı stratejileri geliştirmek için çok önemlidir.

2. İŞLENMİŞ GIDA ÇEŞİTLERİ

İşlenmiş gıdalar, pişirme, konserve etme, dondurma ve koruyucu veya lezzet artırıcıların eklenmesi gibi çeşitli yöntemlerle orijinal formlarından değiştirilmiş geniş bir ürün yelpazesini kapsar. Bu değişiklikler gıdanın raf ömrünü, güvenliğini ve lezzetini artırabilir. İşlenmiş gıda örnekleri, işleme derecelerine göre birkaç gruba ayrılabilir.

3. İŞLENMEMİŞ VEYA MINİMAL İŞLENMİŞ GIDALAR

Bunlar, yıkanmış ve kesilmiş meyve ve sebzeler, dondurulmuş meyve ve sebzeler ve pastörize süt gibi minimum değişikliğe uğramış ürünleri içerir. Bu gıdalar, tüketiciler için uygun olmakla birlikte besin değerlerinin çoğunu korumaktadır (Singh, 2023; Steele ve ark., 2016).

Minimal düzeyde işlenmiş gıdalar, başta yıkama, kesme ve paketlenme gibi fiziksel işlemler olmak üzere orijinal hallerinden minimum düzeyde değişikliğe uğramış gıdalar olarak tanımlanmaktadır. Bu gıdalar doğal özelliklerinin ve besin değerlerinin çoğunu koruyarak sağlıklı bir diyetin hayati bir bileşeni haline gelir. Minimal düzeyde işlenmiş gıdalara örnek olarak taze meyve ve sebzeler, tam tahıllar, kabuklu yemişler, tohumlar ve önemli ölçüde değiştirilmemiş süt ürünleri verilebilir (Nasreddine ve ark., 2017; Coletto ve ark., 2023; Salomé ve ark., 2021).

Taze Meyve ve Sebzeler: Bunlar belki de en az işlenmiş gıdaların en tanınmış örnekleridir. Tipik olarak yıkanır ve doğal hallerinde önemli bir değişiklik yapılmadan satış için paketlenirler. Örneğin, önceden kesilmiş salatalar veya paketlenmiş meyve ve sebzeler, basit yıkama ve kesme

işlemlerini içerdikleri için asgari düzeyde işlenmiş olarak kabul edilir (Nasreddine ve ark., 2017; Coletro ve ark., 2023).

Tam Tahıllar: Esmer pirinç, kinoa ve tam yulaf gibi gıdalar bu kategoriye girer. Bu tahıllar genellikle temizlenir ve paketlenir, ancak besin ve lif açısından zengin olan kepek ve rüşeymlerini korurlar. Söz konusu işlem, temel bileşenlerini ortadan kaldırmaz, böylece sağlık yararlarını korur (Coletro ve ark., 2023; Salomé ve ark., 2021).

Kuruyemiş ve Yağlı Tohumlar: Badem, ceviz ve chia tohumu gibi çiğ kuruyemişler ve tohumlar minimum düzeyde işlenir. Kavrulmuş veya paketlenmiş olabilirler ancak ilave şeker, tuz veya sağlıksız yağ içermezler, bu da onları besleyici bir atıştırılmalık seçeneği haline getirir (Wang ve ark., 2022; Salomé ve ark., 2021).

Süt Ürünleri: Süt, yoğurt ve peynir gibi ürünler de, özellikle az sayıda ilave bileşen içerdiklerinde, minimum düzeyde işlenmiş olarak sınıflandırılırlar. Örneğin, süt ve canlı kültürlerden yapılan sade yoğurt minimum düzeyde işlenirken, ilave şeker ve koruyucu içeren aromalı yoğurtlar işlenmezler (Nasreddine ve ark., 2017; Coletro ve ark., 2023).

Baklagiller: Mercimek, nohut ve fasulye gibi gıdalar genellikle koruyucu madde eklenmeden kurutulmuş veya konserve olarak satılmaktadır. Konserve edildiklerinde tuz içerebilirler, ancak yine de besin bütünlüklerini korurlar ve bu da onları sağlıklı bir seçim haline getirir (Coletro ve ark., 2023; Salomé ve ark., 2021).

Minimal düzeyde işlenmiş gıdaların tüketimi, metabolik sendrom riskinin azalması ve diyet kalitesinin iyileşmesi de dahil olmak üzere birçok sağlık faydası ile ilişkilendirilmektedir. Çalışmalar, bu gıdalar açısından zengin diyetlerin, genellikle enerjice yoğun ve besin açısından fakir olan ultra işlenmiş

gıdalardan yüksek olanlara kıyasla daha iyi sağlık sonuçlarına yol açabileceğini göstermiştir (Nasreddine ve ark., 2017; Silva ve ark., 2019; Steele ve ark., 2016). Ayrıca, geleneksel diyetlerin ayrılmaz bir parçası oldukları ve genel sağlık ve esenliğe katkıda bulundukları için dünya çapında diyet kılavuzlarında minimal işlenmiş gıdaların tüketimi teşvik edilmektedir (Coletro ve ark., 2023; Salomé ve ark., 2021).

Minimal düzeyde işlenmiş gıdalar, doğal niteliklerini korurken temel besin maddelerini sağlayarak dengeli beslenmede çok önemli bir rol oynarlar. Tüketimleri çeşitli sağlık faydalarıyla bağlantılıdır ve bu gıdaların günlük diyet uygulamalarına dahil edilmesi önemlidir.

3.1. İşlenmiş Mutfak Malzemeleri

Bu kategori, yağlar, şekerler ve tuzlar gibi yemek pişirmede kullanılan gıdalardan elde edilen maddeleri içerir. Bu bileşenler yemek hazırlamak için gereklidir ancak genellikle kendi başlarına tüketilmezler (Louzada ve ark., 2015).

İşlenmiş mutfak malzemeleri, çiğ gıdaların lezzetli ve besleyici yemeklere dönüştürülmesinde çok önemli bir rol oynarlar. Tuz, bitkisel yağlar, tereyağı ve şekeri içeren bu bileşenler, işlenmemiş veya minimum düzeyde işlenmiş gıdalardan elde edilir ve mutfak hazırlıkları için gereklidir. NOVA sınıflandırma sisteminde belirtildiği gibi, gıdaların işleme seviyelerine göre sınıflandırılması, işlenmemiş gıdalar, işlenmiş mutfak malzemeleri ve ultra işlenmiş gıdalar arasında ayrım yapmaktadır (Fiolet ve ark., 2018; Monteiro ve ark., 2010). Bu sınıflandırma, farklı gıda türlerinin besinsel etkilerini ve sağlık üzerindeki etkilerini anlamaya yardımcı olduğu için önemlidir.

Mutfak malzemelerinin işlenmesi besin değerlerini ve güvenliklerini önemli ölçüde etkileyebilir. Örneğin, yıkama, haşlama ve pişirme gibi çeşitli gıda işleme teknikleri meyve ve

sebzelerdeki pestisit kalıntılarını azaltarak gıda güvenliğini artırılabilir (Padaliya ve ark., 2020). Bu nedenle, işlenmiş mutfak malzemeleri gıda hazırlama için gerekli olsa da, bunların kullanımı sağlık ve beslenme hususları ile dengelenmelidir.

Diğer taraftan, son yıllarda tüketicilerin daha sağlıklı seçeneklere yönelik talepleri nedeniyle işlenmiş mutfak malzemelerinin kalitesine yönelik ilgi giderek artmaktadır. Halk sağlığı beslenme politikaları giderek artan bir şekilde sadece kalori sayımı yerine bileşenlerin kalitesine odaklanmakta ve daha sağlıklı beslenme modellerine doğru bir değişimi savunmaktadır. Bu değişim, gıdaların besleyici kalitesinin çeşitli hastalıkların önlenmesi için çok önemli olduğunu gösteren araştırmalarla desteklenmektedir (Fernandes ve ark., 2019).

Ek olarak işlenmiş mutfak malzemeleri yemeklerin hem duyuusal niteliklerini hem de besin değerlerini etkilemektedir. Bununla birlikte, aşırı işlenmiş gıdaların artan tüketimi, gıda işleme uygulamalarının ve bileşen kalitesinin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesini gerektiren önemli sağlık riskleri oluşturmaktadır. Gelecekteki halk sağlığı girişimleri, diyet kalitesini ve genel sağlığı iyileştirmek için minimal düzeyde işlenmiş gıdaların ve mutfak malzemelerinin teşvik edilmesine öncelik vermelidir.

3.2. İşlenmiş Gıdalar

Bunlar konserve, fırınlama veya tutsüleme gibi yöntemlerle modifiye edilmiş gıdalardır. Örnek olarak konserve sebzeler, peynir ve ekmek verilebilir. Bu gıdalar genellikle tat ve uzun ömürlülüğü artırmak için koruyucu veya tatlandırıcı gibi ilave bileşenler içerir (Louzada ve ark., 2015; Steele ve ark., 2016). İşlenmiş gıdalarda gıda katkı maddelerinin kullanımı, kronik hastalıklarla bağlantılar da dahil olmak üzere potansiyel sağlık risklerine ilişkin endişeleri artırmıştır (Pandir, 2014).

Genel olarak, konserve, fırınlama ve tutsüleme gibi gıda işleme yöntemlerinin gıdaların besinsel ve duyuşsal özellikleri üzerindeki etkisi karmaşıktır ve çeşitli faktörlere bağılıdır. Bu yöntemler belirli besinsel niteliklerin korunmasına ve hatta geliştirilmesine yardımcı olabilirken, istenmeyen bileşiklerin oluşumuna da yol açabilir. Bu gıdaların kullanımı değerlendirilirken fayda-zarar ilişkisinin dikkatle göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

3.2.1. Ultra-İşlenmiş Gıdalar (UPF'ler)

Bu gıda grubu, endüstriyel olarak formüle edilmiş ve çok az veya hiç tam gıda içermeyen gıdaları içerir. Ultra işlenmiş gıdaların tüketimi, yüksek enerji yoğunlukları ve düşük besin kaliteleri nedeniyle obezite ve çeşitli sağlık sorunlarıyla ilişkilendirilmiştir (Fang, 2024; Monteiro ve ark., 2017). Ayrıca, bu gıdalar genellikle aşırı tüketimi teşvik edecek şekilde pazarlanmakta ve bu da onları halk sağlığı açısından önemli bir endişe kaynağı haline getirmektedir (Monteiro ve ark., 2017).

Ultra işlenmiş gıdalar (UPF'ler), duyuşsal çekiciliği ve raf ömrünü artırmak için genellikle renklendiriciler, tatlandırıcılar ve koruyucular gibi katkı maddeleriyle birleştirilen yağlar, katı yağlar, şekerler ve proteinler gibi gıdalardan ekstrakte edilen maddelerden yapılan endüstriyel formülasyonlar oldukları için özellikle dikkat çekicidir (Louzada ve ark., 2015; Monteiro ve ark., 2017). Araştırmalar, UPF'lerin genellikle ilave şeker, sağlıksız yağ ve sodyum bakımından yüksek, temel besin maddeleri, lif ve protein bakımından ise düşük olduğunu göstermektedir (Atzeni ve ark., 2022; Monteiro ve ark., 2017).

UPF'lere örnek olarak şunlar verilebilir:

- *Paketlenmiş Atıştırmalıklar*: Genellikle şeker ve sağlıksız yağ oranı yüksek olan cips, kurabiye ve şekerleme gibi ürünlerdir.

- *Şekerli İçecekler*: İlave şeker oranı yüksek olan alkolsüz içecekler ve enerji içecekleridir.
- *Hazır Yemekler*: Hazır erişte, mikrodalgada pişirilebilir yemekler ve genellikle koruyucu ve yapay tatlar içeren önceden paketlenmiş dondurulmuş yemekler gibi ürünlerdir.
- *Yeniden Yapılandırılmış Et Ürünleri*: Sosisli sandviç, tavuk nugget ve diğer işlenmiş etler gibi dolgu maddeleri ve katkı maddeleri içerebilen ürünlerdir (Monteiro ve ark., 2017; Gibney, 2019).

Aşırı işlenmiş gıdaların tüketimi, obezite ve kronik hastalıklar da dahil olmak üzere çeşitli sağlık riskleriyle ilişkilendirilmiştir. Çalışmalar, aşırı işlenmiş gıdaların diyetlerdeki payı arttıkça, bu diyetlerin genel beslenme kalitesinin düştüğünü göstermiştir (Louzada ve ark., 2017; Monteiro ve ark., 2017). Bu eğilim, hane halkı anketlerinin taze gıdalar ve mutfak malzemeleri yerine ultra işlenmiş ürünlerin satın alınmasında belirgin bir artış olduğunu gösterdiği Brezilya gibi ülkelerde özellikle belirgindir (Louzada ve ark., 2017). Gıda endüstrisi tarafından kullanılan pazarlama stratejileri, düşük üretim maliyetleri ve yüksek karlılıkları nedeniyle genellikle bu ultra işlenmiş ürünlere öncelik vermekte ve daha sağlıklı seçeneklerin yerini almaktadır (Monteiro ve ark., 2010; Monteiro ve ark., 2017).

UPF'lerde yüksek diyetlerin obezite, diyabet ve kardiyovasküler hastalıklar dahil olmak üzere çeşitli kronik hastalık riskinde artışla ilişkili olduğunu göstermiştir (Lane ve ark., 2020; Ortenzi ve ark., 2022). Yapılan bir çalışmada, ultra işlenmiş gıdaların daha yüksek alımının, daha düşük genel diyet kalitesi ve daha yüksek enerji yoğunluğu ile ilişkili olduğu ve

bunun da aşırı kalori ve kilo alımına yol açabileceği ortaya konulmuştur (Lane ve ark., 2020; Steele ve ark., 2017).

UPF'lerle ilişkili olumsuz sağlık etkilerine rağmen, bazı araştırmalar belirli işlenmiş gıdaların diyetlerde besin yeterliliğinin sağlanmasında rol oynayabileceğini öne sürmektedir. Örneğin bir çalışma, yalnızca işlenmemiş gıdalardan veya ultra işlenmiş gıdalardan oluşan modellerin beslenme açısından yeterli diyetler vermediğini göstermiş ve diyet ihtiyaçlarını karşılamak için bazı işlenmiş gıdaların dahil edilmesinin potansiyel gerekliliğini vurgulamıştır (Skyler ve ark., 2021). Bu karmaşıklık, hem ultra işlenmiş gıdaların yüksek tüketimiyle ilişkili sağlık risklerini hem de genel beslenme dengesinin sağlanmasında bazı işlenmiş ürünlerin potansiyel faydalarını dikkate alan incelikli beslenme kılavuzlarına duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır (Weaver ve ark., 2014; Forde, 2023).

UPF tüketimi ile sağlık sonuçları arasındaki ilişki kapsamlı araştırmalara konu olmuştur. Çalışmalar, ultra işlenmiş gıdaların daha fazla alımının, meyve, sebze ve tam tahıl tüketiminin azalmasıyla karakterize edilen daha düşük diyet kalitesiyle ilişkili olduğunu göstermiştir (Nansel ve ark., 2022; Julia ve ark., 2022). Örneğin, bir çalışmada hamilelik sırasında daha fazla UPF alımının daha düşük diyet kalitesi ve besin alımıyla bağlantılı olduğu bulunmuştur (Nansel ve ark., 2022). Ayrıca, UPF tüketimindeki %10'luk bir artışın genel kanser riskinde %12'lik ve meme kanseri riskinde %11'lik bir artışla ilişkili olduğunu göstermiştir (Fiolet ve ark., 2018; Rauber ve ark., 2018). Yapılan diğer çalışmalarda, daha yüksek UPF tüketimine sahip bireylerin genellikle daha düşük temel besin alımı sergilediği ve bunun sağlık risklerini daha da kötüleştirdiği vurgulanmıştır (Araújo ve ark., 2021; Rauber ve ark., 2018).

UPF'lerin sağlık üzerindeki olumsuz etkilerinin arkasındaki mekanizmalar arasında, aşırı tüketime ve daha sağlıklı gıda seçeneklerinin yer değiştirmesine yol açabilen aşırı lezzetli yapıları yer almaktadır (Nansel ve ark., 2022; Canella ve ark., 2018). UPF'lerin genellikle taze, minimal işlenmiş gıdalardan daha ucuz ve daha erişilebilir olması, onları tüketiciler için daha cazip bir seçenek haline getirmektedir (Juul & Hemmingsson, 2015; Camargo & Bós, 2022).

4. SONUÇ

Sonuç olarak işlenmiş gıdaların tüketimi, insan sağlığı üzerindeki önemli etkileri nedeniyle giderek daha fazla incelenmektedir.

Bu yiyecekler genellikle taze, asgari düzeyde işlenmiş seçeneklerden daha ucuz ve daha erişilebilirdir ve bu da onları özellikle düşük gelirli topluluklarda birçok diyetin temel gıdası haline getirir. Bu ekonomik avantaj, çekici tatları ve kolaylıklarıyla birleştiğinde daha yüksek tüketim oranlarına yol açar ve bu da kötü beslenme alışkanlıkları ve sağlık sonuçları döngüsünü besler.

Ayrıca, ultra işlenmiş gıdaların tüketiminin obezite, kardiyovasküler hastalıklar ve artan ölüm riski dahil olmak üzere çok sayıda olumsuz sağlık sonucuyla bağlantılı olduğu belirtilmektedir. Aşırı işlenmiş gıdalar, özellikle yüksek gelirli ülkelerde modern diyetlerin önemli bir bileşenini temsil etmekte ve çok sayıda olumsuz sağlık sonucuyla ilişkilendirilmektedir. Kamu sağlığı girişimleri, UPF tüketimini azaltmaya ve asgari düzeyde işlenmiş gıdalara öncelik veren daha sağlıklı beslenme düzenlerini teşvik etmeye odaklanmalıdır. Bu yaklaşım, düşük kaliteli beslenme ve buna bağlı sağlık sorunlarıyla ilişkili büyüyen halk sağlığı krizinin ele alınması için önemlidir.

5. REFERENCES

- Anastasiou, K., Melo, P., Slater, S., Hendrie, G., Hadjikakou, M., Baker, P., ... & Lawrence, M. (2022). From harmful nutrients to ultra-processed foods: exploring shifts in 'foods to limit' terminology used in national food-based dietary guidelines. *Public Health Nutrition*, 26(11), 2539-2550. <https://doi.org/10.1017/s1368980022002580>
- Gibney, M. (2019). Ultra-processed foods: definitions and policy issues. *Current Developments in Nutrition*, 3(2), nzy077. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzy077>
- Julia, C., Martinez, L., Allès, B., Touvier, M., Herçberg, S., Méjean, C., ... & Kesse-Guyot, E. (2017). Contribution of ultra-processed foods in the diet of adults from the french nutrinet-santé study. *Public Health Nutrition*, 21(1), 27-37. <https://doi.org/10.1017/s1368980017001367>
- Louzada, M., Martins, A., Canella, D., Baraldi, L., Levy, R., Claro, R., ... & Monteiro, C. (2015). Ultra-processed foods and the nutritional dietary profile in brazil. *Revista De Saúde Pública*, 49(0). <https://doi.org/10.1590/s0034-8910.2015049006132>
- Monteiro, C., Cannon, G., Moubarac, J., Levy, R., Louzada, M., & Jaime, P. (2017). The un decade of nutrition, the nova food classification and the trouble with ultra-processing. *Public Health Nutrition*, 21(1), 5-17. <https://doi.org/10.1017/s1368980017000234>
- Quinn, M., Jordan, H. & Lacy-Nichols, J. (2021). Upstream and downstream explanations of the harms of ultra-processed foods in national dietary guidelines. *Public Health Nutrition*, 24(16), 5426-5435. <https://doi.org/10.1017/s1368980021003505>

- Schulte, E., Avena, N., & Gearhardt, A. (2015). Which foods may be addictive? the roles of processing, fat content, and glycemic load. *Plos One*, 10(2), e0117959. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117959>
- Steele, E., Baraldi, L., Louzada, M., Moubarac, J., & Mozaffarian, D. (2016). Ultra-processed foods and added sugars in the us diet: evidence from a nationally representative cross-sectional study. *BMJ Open*, 6(3), e009892. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2015-009892>
- Fang, Z. (2024). Association of ultra-processed food consumption with all cause and cause specific mortality: population based cohort study. *BMJ*, e078476. <https://doi.org/10.1136/bmj-2023-078476>
- Singh, B. (2023). Review- effects of food processing on nutrients. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 42(46), 34-49. <https://doi.org/10.9734/cjast/2023/v42i464292>
- Coletro, H., Júnior, L., Mendonça, R., Meireles, A., Machado-Coelho, G., & Menezes, M. (2023). The combined consumption of fresh/minimally processed food and ultra-processed food on food insecurity: covid inconfindentes, a population-based survey. *Public Health Nutrition*, 26(7), 1414-1423. <https://doi.org/10.1017/s136898002300054x>
- Nasreddine, L., Tamim, H., Itani, L., Nasrallah, M., Isma'eel, H., Nakhoul, N., ... & Naja, F. (2017). A minimally processed dietary pattern is associated with lower odds of metabolic syndrome among lebanese adults. *Public Health Nutrition*, 21(1), 160-171. <https://doi.org/10.1017/s1368980017002130>

- Salomé, M., Arrazat, L., Wang, J., Dufour, A., Dubuisson, C., Volatier, J., ... & Mariotti, F. (2021). Contrary to ultra-processed foods, the consumption of unprocessed or minimally processed foods is associated with favorable patterns of protein intake, diet quality and lower cardiometabolic risk in french adults (inca3). *European Journal of Nutrition*, 60(7), 4055-4067. <https://doi.org/10.1007/s00394-021-02576-2>
- Silva, C., Santos, I., Shivappa, N., Hébert, J., Crivellenti, L., & Sartorelli, D. (2019). The role of food processing in the inflammatory potential of diet during pregnancy. *Revista De Saúde Pública*, 53, 113. <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2019053001154>
- Wang, K., Zhao, Y., Lei, X., Liao, X., & Xu, Z. (2022). Health outcomes of fruit juice and fruity beverage: a comparative analysis of gut microbiota and metabolomics in rats.. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1733175/v1>
- Fernandes, A., Rieger, D., & Proença, R. (2019). Perspective: public health nutrition policies should focus on healthy eating, not on calorie counting, even to decrease obesity. *Advances in Nutrition*, 10(4), 549-556. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz025>
- Fiolet, T., Srour, B., Sellem, L., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Méjean, C., ... & Touvier, M. (2018). Consumption of ultra-processed foods and cancer risk: results from nutrinet-santé prospective cohort. *BMJ*, k322. <https://doi.org/10.1136/bmj.k322>
- Louzada, M., Ricardo, C., Steele, E., Levy, R., & Cannon, G. (2017). The share of ultra-processed foods determines the overall nutritional quality of diets in brazil. *Public*

- Health Nutrition, 21(1), 94-102.
<https://doi.org/10.1017/s1368980017001434>
- Monteiro, C., Levy, R., Claro, R., Castro, I., & Cannon, G. (2010). A new classification of foods based on the extent and purpose of their processing. *Cadernos De Saúde Pública*, 26(11), 2039-2049.
<https://doi.org/10.1590/s0102-311x2010001100005>
- Padaliya, S., Parmar, K., & Chawla, S. (2020). Processing of raw agricultural produce and its effect on pesticide residues: a review. *Agricultural Reviews*, (OF).
<https://doi.org/10.18805/ag.r-1957>
- Pandır, D. (2014). Dna damage in human germ cell exposed to the some food additives in vitro. *Cytotechnology*, 68(4), 725-733. <https://doi.org/10.1007/s10616-014-9824-y>
- Atzeni, A., Martínez, M., Babió, N., Konstanti, P., Tinahones, F., Vioque, J., ... & Salas-Salvadó, J. (2022). Association between ultra-processed food consumption and gut microbiota in senior subjects with overweight/obesity and metabolic syndrome. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.976547>
- Forde, C. (2023). Beyond ultra-processed: considering the future role of food processing in human health. *Proceedings of the Nutrition Society*, 82(3), 406-418.
<https://doi.org/10.1017/s0029665123003014>
- Lane, M., Davis, J., Beattie, S., Gómez-Donoso, C., Loughman, A., O'Neil, A., ... & Rocks, T. (2020). Ultraprocessed food and chronic noncommunicable diseases: a systematic review and meta-analysis of 43 observational studies. *Obesity Reviews*, 22(3).
<https://doi.org/10.1111/obr.13146>

- Ortenzi, F., Kolby, M., Lawrence, M., Leroy, F., Nordhagen, S., Phillips, S., ... & Beal, T. (2022). Limitations of the food compass nutrient profiling system.. <https://doi.org/10.31235/osf.io/eu578>
- Skyler, H., Rose, C., Buszkiewicz, J., & Drewnowski, A. (2021). Some ultra-processed foods are needed for nutrient adequate diets: linear programming analyses of the seattle obesity study. *Nutrients*, 13(11), 3838. <https://doi.org/10.3390/nu13113838>
- Steele, E., Popkin, B., & Swinburn, B. (2017). The share of ultra-processed foods and the overall nutritional quality of diets in the us: evidence from a nationally representative cross-sectional study. *Population Health Metrics*, 15(1). <https://doi.org/10.1186/s12963-017-0119-3>
- Weaver, C., Dwyer, J., Fulgoni, V., King, J., Leveille, G., MacDonald, R., ... & Schnakenberg, D. (2014). Processed foods: contributions to nutrition. *American Journal of Clinical Nutrition*, 99(6), 1525-1542. <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.089284>
- Camargo, L. and Bós, Â. (2022). Availability of foods according to the degree of processing in families with young elderly and oldest-old (pof 2017-2018). *Revista De Nutrição*, 35. <https://doi.org/10.1590/1678-9865202235e210251>
- Canella, D., Louzada, M., Claro, R., Costa, J., Bandoni, D., Levy, R., ... & Martins, A. (2018). Consumo de hortaliças e sua relação com os alimentos ultraprocessados no brasil. *Revista De Saúde Pública*, 52, 50. <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2018052000111>

- Julia, C., Baudry, J., Fialon, M., Herçberg, S., Galán, P., Srouf, B., ... & Kesse-Guyot, E. (2022). Respective contribution of ultra-processing and nutritional quality of foods to the overall diet quality: results from the nutrinet-santé study. *European Journal of Nutrition*, 62(1), 157-164. <https://doi.org/10.1007/s00394-022-02970-4>
- Juul, F. and Hemmingsson, E. (2015). Trends in consumption of ultra-processed foods and obesity in sweden between 1960 and 2010. *Public Health Nutrition*, 18(17), 3096-3107. <https://doi.org/10.1017/s1368980015000506>
- Nansel, T., Cummings, J., Burger, K., Siega-Riz, A., & Lipsky, L. (2022). Greater ultra-processed food intake during pregnancy and postpartum is associated with multiple aspects of lower diet quality. *Nutrients*, 14(19), 3933. <https://doi.org/10.3390/nu14193933>
- Araújo, T., Moraes, M., Magalhães, V., Afonso, C., Santos, C., & Rodrigues, S. (2021). Ultra-processed food availability and noncommunicable diseases: a systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(14), 7382. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147382>
- Rauber, F., Louzada, M., Steele, E., Millett, C., & Levy, R. (2018). Ultra-processed food consumption and chronic non-communicable diseases-related dietary nutrient profile in the uk (2008–2014). *Nutrients*, 10(5), 587. <https://doi.org/10.3390/nu10050587>

CHOCOLATE PRODUCTION

Gülten ŞEKEROĞLU¹

Ahmet KAYA²

1. INTRODUCTION

Chocolate is an essential component in numerous food and beverage items, including milkshakes, chocolate drinks, candy bars, cookies, and cereals. It is defined as a homogeneous product obtained by an adequate manufacturing process from cocoa materials which may be combined with milk products, sugars and/or sweeteners and other additives (Codex Alimentarius, 2022). Additionally, chocolate refers to the product derived from cocoa products and sugars, containing a minimum of 35% total dry cocoa solids, which includes at least 18% cocoa butter and no less than 14% dry non-fat cocoa solids (EU Directive 2000). Chocolate, derived from the cacao bean (*Theobroma cacao*), is a complex food product with varying composition and flavor depending on the type and processing methods used.

For centuries, chocolate production employed methods and techniques barely modified from those utilized by ancient civilizations and others long ago. With the popularity of chocolate in the world, it is possible to say that the number of

1 Assist.Prof.Dr., Gaziantep University, Naci Topcuoglu Vocational High School, Food Processing Department, Gaziantep/Türkiye, sekeroglu@gantep.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5499-1028

2 Prof.Dr., Gaziantep University, Engineering Faculty, Food Engineering Department, Gaziantep/Türkiye, kaya@gantep.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6960-3780

boutique chocolate shops and industrial production companies is increasing. Since the beginning of the new millennium, chocolate production and technology have experienced a revolution. Techniques for plant breeding, cultivation, fermentation, drying, and processing have been established. Furthermore, research and development in cacao and chocolate products has advanced considerably.

2. HISTORY OF CHOCOLATE

Chocolate has a rich history spanning thousands of years, beginning in Mesoamerica, where ancient civilizations such as the Olmecs, Mayans, and Aztecs first cultivated the cacao tree (*Theobroma cacao*). Around 1500 BCE, the Olmecs were the first to domesticate cacao, producing a bitter beverage flavored with spices and consumed during rituals and ceremonies (Table 2.1). The Mayans and Aztecs later adopted this practice, elevating chocolate to a status of luxury and importance, often using cacao beans as currency and in religious offerings (Achaw et al., 2021; Kennett et al, 2022).

The Mesoamericans esteemed cacao for its nutritional benefits and medicinal applications as a sedative, appetite stimulant, aphrodisiac, and remedy for cramps and headaches. They also ingested cacao for its spiritually elevating properties as a drink. The significance of cacao is evidenced by its mention in the longest Aztec manuscript, a detailed encyclopedia created in the mid-1500s, which encompasses historical and mythological accounts, a calendar, and botanical descriptions (Dillinger et al. 2000).

Chocolate was introduced to Europe in the early 16th century following Spain's conquest of the Aztec Empire. Hernán Cortés is credited with bringing cacao beans and chocolate-

making knowledge back to Spain, where they quickly gained popularity among the Spanish aristocracy. Chocolate was initially consumed as a beverage, usually sweetened with sugar and flavored with vanilla or cinnamon. Its popularity spread throughout Europe, prompting the establishment of chocolate houses in cities such as London and Paris in the 17th century, when it became a fashionable drink among the elite (Beckett, 1999).

Table 1. Some important dates in the history of chocolate

1519	Cortez discovered that cocoa had been cultivated by the Aztecs for more than 3000 years
1528	Cortez introduced a chocolate drink to Spain
1606	Chocolate drinking spread to Italy
1615	Chocolate drinking reaches France
1657	First chocolate house established in London
1727	Nicholas Sanders invents a milk chocolate drink
1746	First cocoa planting in Bahia and Brazil
1765	First chocolate company established in North America
1828	Van Houten patents the cocoa press
1847	Fry's factory established in Bristol to produce eating chocolate
1876	Daniel Peter manufactures milk chocolate
2004	Invention of new type of chocolate, Ruby chocolate

Kaynak: Beckett, 1999.

Until the early 1800s, the only product was a fatty chocolate drink made from whole cocoa beans, sugar, and spices. In 1828, Coenraad Van Houten invented a cocoa press that separated cocoa fat from solid cocoa. Dand (1999) and Dhoedt (2009) found that defatted cocoa powder was more easily dissolved in liquid, resulting in a fluid chocolate that

could be molded and used to cover other confectionery products. As technology advanced, chocolate became a coating or component of various products.

The history of chocolate is both rich and delicious. In 2017, Barry Callebaut introduced a new player: ruby chocolate. The chocolate is naturally pink and has a citrusy flavor that distinguishes it from the more familiar milk, dark, and white chocolates. Indeed, the first bite may be jarring, with the smooth, milky taste of chocolate followed by an acidic tang (Tuenter et al, 2021).

3. INGREDIENTS USED IN CHOCOLATE PRODUCTION

3.1. Cocoa bean

The Aztecs and Incas cultivated cocoa trees to make the drink "Chocolatl" (also known as "xoxocoatl" or "cacahuatl"), which was made by roasting and grinding cocoa nibs, kneading into cakes, and mixing with water and other flavorings (Minifie, 1999; Beckett, 2006).

Although the cocoa tree, also known as the cacao tree (*Theobroma cacao* L.), was originally found in South and Central America, it is now cultivated for commercial purposes in environments that are suitable between 20° north and 20° south. Africa is the largest producing continent. Cote d'Ivoire, Ghana Indonesia, Nigeria and Cameroon are the top five countries in cocoa producing.

There are three different type of cocoa tree used in chocolate manufacturing.

Criollo, often referred to as the prince of cocoa trees, produces pods characterized by a remarkably thin shell. The

cocoa possesses a notably pale hue and a distinctive refined aroma. This variety is predominantly located in South America and Asia, yet it yields minimal harvests. The Criollo is exceedingly delicate.



Figure 2. Varieties of Criollo and Forastero pods (Owusu, 2010)

The Forastero cacao is significantly easier to cultivate, constituting nearly 70% of global cacao production. The cacao pods possess a denser rind and a more robust, pronounced fragrance. It is frequently referred to as bulk cocoa due to its characteristic bitter fundamental aroma in chocolate. This variety of cocoa constitutes the primary component in the majority of chocolate and typically comprises 80% of the cocoa blend. It is located in West Africa (Ghana, Ivory Coast, Nigeria, Cameroon), as well as in Brazil and Malaysia.

The Trinitario is a hybrid of Forastero and Criollo cacao. It possesses attributes of both, exhibiting a robust yet comparatively subtle aroma. It was discovered in Ecuador, Trinidad, Costa Rica, and Mexico (Beckett, 2006).

Prior to the processing of cocoa in chocolate production, several essential procedures must occur to fully develop the cocoa's aromas. Chocolate derived from unfermented beans possesses minimal to no distinctive cocoa flavor. The fermented

cocoa beans are cleaned, roasted and ground to produce cocoa liquor. Cocoa butter and cocoa powder are obtained by pressing the cocoa liquor under high pressure.

3.2. Cocoa butter

Cocoa butter is an important ingredient in chocolate production, as it influences the texture, mouthfeel, and overall quality of the finished product. It is made from cocoa beans and has unique melting properties that allow it to melt at body temperature, resulting in a smooth and creamy mouthfeel when consumed.

The European Union (EU) (2020) establishes specific common regulations for cocoa and chocolate products that supplement the legislation governing foodstuffs. These regulations related to composition, trade names, labeling, and presentation. This Directive establishes the formulation of cocoa and chocolate products. Specifically, it establishes the minimum percentage of cocoa butter permissible for certain products. It also establishes the permissible quantity of vegetable fats, which must not exceed 5% of the final product.

Cocoa butter is primarily made up of triacylglycerols (TAGs), which have a strong influence on its physical and chemical properties. Palmitic acid (C16:0), stearic acid (C18:0), and oleic acid (C18:1) are the major fatty acids found in cocoa butter, with the most common TAGs being 1,3-dipalmitoyl-2-oleoyl-glycerol (POP), 1-palmitoyl-2-oleoyl-3-stearoyl-glycerol (POS), and 1,3-distearoyl-2-oleoyl-glycerol (SOS) (Campos et al., 2009; Yao et al., 2020). The symmetrical nature of TAGs contributes to the unique melting behavior of cocoa butter, which remains solid at room temperature (approximately 25°C) but melts at body temperature (approximately 37°C) (Da Silva et al., 2019; Szydłowska-Czerniak et al., 2016). This property is

critical for the desired sensory experience of chocolate, as it provides a smooth and creamy mouthfeel.

Cocoa butter's crystallization behavior is another critical factor influencing its functionality in chocolate. Cocoa butter crystallizes into various polymorphic forms, with the β V form being the most stable and suitable for chocolate applications due to its high melting point and glossy appearance (Marangoni & McGauley, 2002). Cocoa butter's melting range is typically 27 °C to 35 °C, depending on the specific fatty acid composition and arrangement of these fatty acids within the TAGs. The crystallization process is temperature dependent and can be influenced by cooling rates and the presence of other ingredients (Marangoni & McGauley, 2002; Da Silva et al., 2019).

The interaction of cocoa solids and cocoa butter also influences the overall quality of chocolate. Cocoa butter helps to create a stable emulsion with cocoa solids and sugar, which contributes to the final product's smooth texture (Sonwai & Rousseau, 2010). Furthermore, the particle size distribution of cocoa solids can influence chocolate's viscosity and flow properties, affecting its processing and sensory characteristics (Afoakwa et al., 2008a). Chocolates with smaller particle sizes have a smoother mouthfeel, whereas larger particles contribute to a gritty texture.

3.3. Carbohydrates

Traditionally, chocolate has been composed of approximately 50% sugar, primarily in the form of sucrose, along with some lactose derived from the milk components in milk chocolate. There has been a demand for "low calorie" or "tooth-friendly" chocolates recently. Moreover, individuals with diabetes are restricted in their sugar intake. Consequently, alternative sugar substitutes have been created (Beckett, 2006).

Sugar alcohols are utilized as substitutes for sucrose in chocolate to create lower-calorie or sugar-free products.

Lactose is the predominant constituent in milk and powdered milk products, playing a significant role as an ingredient in making chocolate. Glucose, a monosaccharide, typically retains some moisture and readily absorbs water from the ambient atmosphere. The moisture renders the melted chocolate exceedingly thick, as it causes the sugar particles to adhere to one another. Fructose is highly hygroscopic and occurs naturally in fruits and honey. It is occasionally present in specialized chocolates for diabetics and requires specific processing conditions, particularly concerning temperature and humidity.

3.4. Emulsifiers

Emulsifiers control the rheological properties and crystallization of fats. Emulsifiers improve the interaction between sugar and fat, reducing the amount of fat required for a specific viscosity. Chocolate typically contains a low level of emulsifier (surface active agent) (less than 1.5). Lecithin is commonly used in chocolate manufacturing as a cost-effective emulsifier or to reduce viscosity without adding additional cocoa butter. Polyglycerol polyricinoleate (PGPR) is a highly hydrophobic emulsifier approved for use in. Monoacylglycerol (MG), diacylglycerol (DG), sugar esters are other types of emulsifiers used in chocolate (Ziegler, 2006).

3.5. Other Ingredients Used in Chocolate Manufacturing

There are other ingredients also play an important role in chocolate production depending on chocolate type. Milk fat, utilized in chocolate production, is typically provided as anhydrous milk fat (AMF) or butter oil. The fat phase

significantly impacts chocolate quality and influences the rheological characteristics, melting properties, snap, gloss, bloom prevention, and flavor release. Milk powders and milk proteins are other ingredients which are important in determining chocolate's flavor, texture and flow properties. Cocoa butter alternatives include cocoa butter equivalents (CBEs), cocoa butter substitutes (CBSs), and cocoa butter replacers (CBRs) and they are utilized as substitutes for cocoa butter in chocolate manufacturing for technological and economic purposes.. These primarily comprise blends of diverse vegetable fats, including kokum butter, sal fat, shea butter, illipe fat, palm oil (Zhao et al., 2016; Şekeroğlu, 2014).

4. PROCESS OF CHOCOLATE PRODUCTION

4.1. Mixing and Refining

The main goal of this process is to reduce the size of solid particles (cocoa, milk powder, and sugar). There should be no particles larger than about 15-30 microns. Accurate particle size reduction is a critical step in developing desired flow properties in molten chocolate, which influences process efficiency, chocolate textural quality, and viscosity (Beckett, 1999).

Modern chocolate factories typically use roll refiners especially five-roll refiners to mill solid particles. The five-roll refiner has five barrel-shaped horizontal cylinders, four of which are stacked one above the other. The feed cylinder is placed below the others on the side, creating a trough between it and the second cylinder. The hollow cylinders can be cooled or heated with water flowing through them. They are typically pressed together using a hydraulic system. The pressure bends the barrel shape, resulting in a straight gap between the

cylinders. To remove chocolate flakes or powder, place a knife blade against the back of the fifth cylinder. The temperature affects the operation of a roll refiner. This changes the texture and viscosity of the film by influencing the flow properties of the fat present.

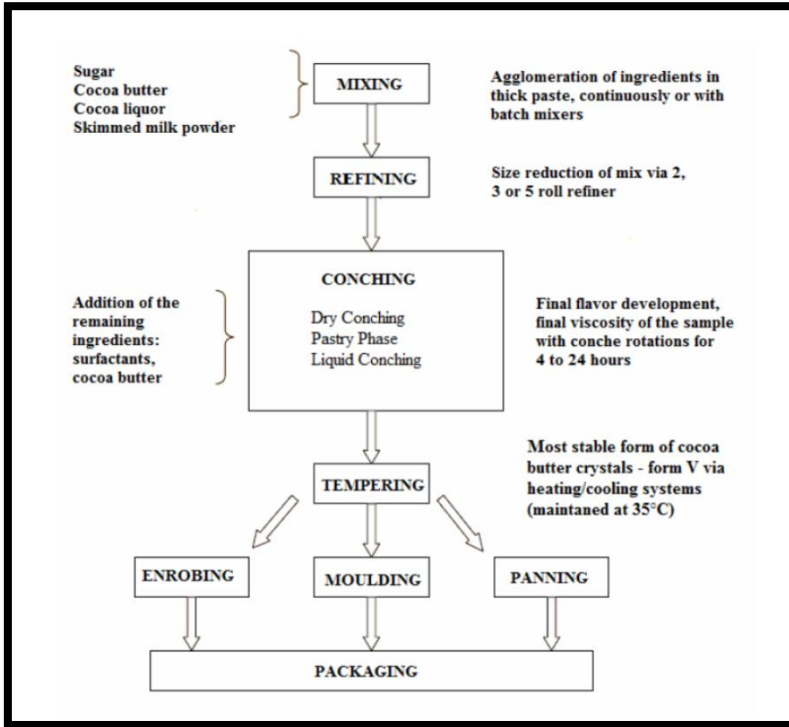


Figure 3. Steps of chocolate manufacturing

Kaynak: Afoakwa et al., 2007.

4.2. Conching

This stage involves continuously mixing, aerating, and heating the chocolate mass, transforming it from a coarse mixture to a smooth and homogeneous product. The primary goals of conching are to refine the texture, improve flavor

development, and reduce undesirable volatile compounds (Owusu et al., 2011).

Conching typically involves heating the chocolate mass to temperatures ranging from 40 °C to 82 °C, depending on the formulation and desired properties. This heating promotes the development of desirable flavor compounds through various chemical reactions, including the Maillard reaction, while facilitating the evaporation of unwanted volatile compounds, such as acetic acid. Conching times can range from a few hours to several days, with longer times resulting in smoother textures and more refined flavors. However, excessive conching can lead to the loss of some beneficial compounds, such as antioxidants, which are important for both health (Afoakwa et al., 2007).

Conching has a profound impact on chocolate's sensory properties. Conching has been shown in studies to affect the release and concentration of aroma-active compounds, which are important for chocolate's overall flavor profile (Owusu et al., 2011). For example, the concentration of certain pyrazines and other volatile compounds rises during conching, contributing to the distinctive chocolate aroma. Conversely, undesirable compounds are reduced, resulting in a more pleasant sensory experience (Owusu et al., 2011).

4.3. Tempering

Tempering is an important process in chocolate production that ensures the final product has desirable properties like a smooth texture, a glossy appearance, and a satisfying snap when broken. Controlled heating and cooling stabilize cocoa butter crystals and promote the formation of the β V polymorphic form, the most stable and desirable crystalline structure for chocolate (Afoakwa et al, 2008b).

Tempering typically begins by heating the chocolate to 45-50 °C to melt all of the cocoa butter crystals. This step ensures the chocolate is completely fluid and dissolves any unstable crystals). After melting, the chocolate is cooled to 27-28°C, allowing stable β V (Form V) crystals to form. Finally, the temperature is raised slightly to 30-32 °C to promote the growth of stable crystals while inhibiting the formation of unstable forms (Campos & Marangoni, 2014).

Chocolate's visual and textural properties, as well as its mechanical properties, are all affected by proper tempering. Well-tempered chocolate is harder and more resistant to fat bloom, a white film that forms on the surface due to fat migration and recrystallization. Over-tempering can cause a rough surface texture and undesirable color changes, whereas under-tempering produces a soft and poorly structured product. Chocolate hardness is also influenced by particle size distribution and chocolate composition, including emulsifier type. The importance of tempering extends beyond aesthetics; it also plays a significant role in the shelf life of chocolate. Properly tempered chocolate has a longer shelf life due to its stable crystalline structure, which minimizes the likelihood of fat bloom and other quality degradation over time (Şekeroğlu, 2014). Additionally, the tempering process can enhance the mouthfeel of chocolate, contributing to a more enjoyable eating experience.

4.4. Molding and Cooling

Molding is the final stage in chocolate production during which the chocolate takes the shape of the chosen mold. The materials for molds can differ, including polycarbonate molds stainless steel or plastic with the latter being more advantageous for industrial applications. To prevent unstable crystal

formation, the empty molds must be preheated to a comparable tempering temperature, and the liquid chocolate should be uniformly distributed through vigorous agitation to eliminate air bubbles.

Upon exiting the molding facilities, the majority of the fat in the chocolates remains in a liquid state. For it to attain sufficient firmness for handling and packaging, the majority must crystallize in the appropriate form. This necessitates the extraction of a substantial quantity of latent heat and a comparatively lesser amount of specific heat. The application of cold air or the use of conduction and convection methods exemplifies the solidification of chocolate. Various types of coolers, such as blowers and long tunnel coolers, are utilized (Beckett, 2006).

5. TYPES OF CHOCOLATES

5.1. Dark chocolate

Dark chocolate is produced by combining and processing cocoa liquor, cocoa butter, cocoa powder, sugar, and vanilla. At the conclusion of the process, additional cocoa butter and lecithin are incorporated (Codex Alimentarius, 2022). Additional cocoa butter enhances the liquidity of chocolate, which is essential for specific applications. Soya lecithin stabilizes the emulsion and maintains the liquid state of chocolate. The ratios of the various ingredients are also significant: dark chocolate may comprise 40%, 50%, or 70% cocoa components, for example. These percentages indicate the flavor profile of the chocolate. This can range from extremely bitter to moderately bitter and sweet (Aprotosoiaie et al, 2015).

5.2. Milk chocolate

Milk chocolates denotes the product derived from cocoa products, sugars, and milk or milk derivatives, which comprises:

- at least 25% total dry cocoa solids,



Figure 4. Chocolates

- a minimum of 14% dry milk solids derived from the partial or complete dehydration of whole milk, semi-skimmed or full-skimmed milk, cream, or from the partial or complete dehydration of cream, butter, or milk fat.
- at least 2.5% dry non-fat cocoa solids,
- at least 3.5% milk fat,
- minimum of 25% total fat (cocoa butter and milk fat) (Codex Alimentarius, 2022).

The proportions are crucial as they determine the intensity of cocoa flavor in milk chocolate, the creaminess of the milk chocolate, or the dominance of caramel aroma in the chocolate (Beckett, 2011).

5.3. White chocolate

White chocolate differs from other types of chocolates, as cocoa liquor is excluded from its formulation. The components utilized in white chocolate are cocoa butter, sugar, and milk powder. Some authorities assert that white chocolate should not be classified as chocolate, as it lacks cocoa solids (Minifie, 1999). On a dry matter basis, white chocolate must contain at least 20% cocoa butter and at least 14% milk solids (including a minimum milk fat of 2.5% to 3.5% as determined by the authority with jurisdiction under applicable legislation). "Milk solids" refers to the addition of milk ingredients in their natural proportions, with the exception of milk fat, which can be added or removed. Where required by the competent authority, a minimum content of cocoa butter and milk fat may be established (Minifie, 1999).

5.4. Ruby chocolate

Ruby chocolate is a novel variety of chocolate that was launched in 2017 by the Swiss confectionery producer Barry Callebaut. It is distinguished by its distinctive pinkish-red hue, originating from specially processed cocoa beans rich in anthocyanins, a class of flavonoids present in specific fruits and vegetables. Ruby chocolate's unique color and flavor profile differentiate it from conventional varieties, including dark, milk, and white chocolate (Tuenter et al, 2021; Šeremet et al, 2019).

6. HEALTH BENEFITS OF CHOCOLATE PRODUCTS

Functional foods are gaining global popularity as consumers increasingly recognize the correlation between diet and health. Rising disposable incomes in developing countries, coupled with heightened health consciousness, are prompting consumers to invest more in fortified and functional foods (Singh et al., 2024). Chocolate primarily consists of fat (as cacao butter) and is abundant in polyphenols, including catechins, anthocyanidins, and proanthocyanidins. The polyphenol concentration in chocolate differs based on various raw ingredient sources and production methods. Chocolate is known to contain polyphenols, flavonoids, and minerals that can influence bodily functions. Chocolate also contains minerals, namely magnesium, potassium, iron and copper (Tan et.al., 2021). The health benefits of chocolate are predominantly linked to dark chocolate, which contains a higher cocoa content and lower sugar content than milk chocolate.

Dark chocolate is abundant in polyphenols, flavanols, and other bioactive constituents linked to numerous health advantages. These compounds possess significant antioxidant properties that may mitigate oxidative stress and inflammation within the body (Tian et. al., 2018). Chocolate is a rich source of bioactive compounds that have beneficial effects on heart health, insulin secretion, and brain function among others (Singh et al., 2024).

7. CONCLUSION

Chocolate is one of the most popular desserts and snacks in the world. It is a product obtained by processing different types of cocoa beans, mainly cocoa butter, which differs

according to the type, but it is a product consisting of components such as cocoa mass, sugar, milk powder, milk proteins and emulsifiers. Dating back to ancient times, chocolate was consumed as a bitter, hot drink when it was first discovered. In particular, the pressing of cocoa liquor to obtain cocoa butter led to the production of edible chocolate. Recently, in addition to black, milk and white chocolate, with the discovery of the fourth generation-ruby chocolate, ruby-colored chocolate has also taken its place on the shelves of market.

Black chocolate stands out as the type that has more positive effects on health because it contains more cocoa mass in its structure. Consumers' interest in healthy nutrition has led to an increase in the popularity of functional foods, so that chocolate has started to take place among these product groups.

Currently, the rising global demand for chocolate production is altering the production systems of this agricultural commodity. Despite the daily increase in chocolate production, this heightened output incurs significant environmental costs resulting from alterations in production systems. In light of the awareness regarding the irreversible ecological repercussions, there is presently considerable interest in the production and consumption of sustainable food products, including chocolate.

8. REFERENCES

- Achaw, OW., Danso-Boateng, E. (2021). Cocoa Processing and Chocolate Manufacture. In: Chemical and Process Industries. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-79139-1_10
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M. (2007). Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate: A review. Trends in Food Science and Technology. 18, 290-298.
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Vieira, J. (2008a). Characterization of melting properties in dark chocolates from varying particle size distribution and composition using differential scanning calorimetry. Food Research International, 41(7), 751-757. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.05.009>
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., Vieira, J. (2008b). Modelling tempering behavior of dark chocolates from varying particle size distribution and fat content using response surface methodology. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 9, 527-533.
- Alemawor, F., Agbenorhevi, J. K., & Poku, A. K. (2014). Partial substitution of cocoa butter with processed shea butter in milk chocolate. Journal of Food Science and Engineering, 4(4). <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2014.04.006>
- Aprotosoia, A. C., Luca, S. V., & Miron, A. (2015). Flavor Chemistry of Cocoa and Cocoa Products—An Overview. In Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety (Vol. 15, Issue 1, pp. 73–91). Wiley. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12180>

- Beckett, S. T. (1999). Industrial Chocolate Manufacture and Use. Third Ed. Blackwell Science. Blackwell Publishing Inc. USA.
- Beckett, S. T. (2006). The Science of Chocolate. RSC papers. The royal society of chemistry. Second edition. Cambridge, UK.
- Beckett, S. T. (2011). CHOCOLATE, Milk Chocolate. In Encyclopedia of Dairy Sciences (pp. 856–861). Elsevier. Editor(s): John W. Fuquay, Academic Press, ISBN 9780123744074, <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374407-4.00099-6>
- Campos, R., Ollivon, M., & Marangoni, A. G. (2009). Molecular composition dynamics and structure of cocoa butter. Crystal Growth & Design, 10(1), 205-217. <https://doi.org/10.1021/cg900853e>
- Campos, R. and Marangoni, A. G. (2014). Crystallization dynamics of shear worked cocoa butter. Crystal Growth & Design, 14(3), 1199-1210. <https://doi.org/10.1021/cg4017273>
- Codex Alimentarius Commission. (2022). Codex standard for chocolate. Codex Stan. 87-1981. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations.
- Da Silva, T. L. T., Grimaldi, R., & Gonçalves, L. A. G. (2019). Effect of cocoa butter equivalent on cocoa butter crystallization behavior and on dark chocolate. In Brazilian Journal of Food Research (Vol. 10, Issue 1, p. 149). Universidade Tecnológica Federal do Parana (UTFPR). <https://doi.org/10.3895/rebrapa.v10n1.10699>
- Dand, R. (1999). The internal cocoa trade: second edition (2 ed). Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK..

- Dhoedt, A. (2009). "Foods of the Gods" The rich history of chocolate. *AgroFood Industry Hi-Tech* 20, 1-5.
- Dillinger, T., Barriga, P., Escarcega, S., Jimenez, M., Salazar Lowe, D., Grivetti, L. (2000). Foods of the Gods: Cure for Humanity? Cultural History of the Medicinal and Ritual Use of Chocolate. *The Journal of Nutrition*. The American Society for Nutritional Sciences. 2057-2072.
- Directive 2000/36/EC of the European Parliament and of the Council of 23 June 2000 relating to cocoa and chocolate products intended for human consumption (OJL 197, 3.8.2000, p. 19). <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2000L0036:20081221:EN:PDF>). 28.12.2013.
- Kennett, D. J., Masson, M. A., Lope, C. P., Serafin, S., George, R. J., Spencer, T. C., ... & Hodell, D. A. (2022). Drought-induced civil conflict among the ancient maya. *Nature Communications*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31522-x>
- Marangoni, A. G. and McGauley, S. E. (2002). Relationship between crystallization behavior and structure in cocoa butter. *Crystal Growth & Design*, 3(1), 95-108. <https://doi.org/10.1021/cg025580l>
- Owusu, M. (2010). Influence of raw material and processing on aroma in chocolate. Ph.D. Thesis. Faculty of Life Science, University of Copenhagen.
- Owusu, M., Petersen, M. A., & Heimdal, H. (2011). Effect of fermentation method, roasting and conching conditions on the aroma volatiles of dark chocolate. *Journal of Food Processing and Preservation*, 36(5), 446-456. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00602.x>

- Šeremet, D., Mandura, A., Cebin, A. V., Oskomić, M., Champion, E., Martinić, A., & Komes, D. (2019). Ruby chocolate - bioactive potential and sensory quality characteristics compared with dark, milk and white chocolate. *Food in Health and Disease: Scientific-Professional Journal of Nutrition and Dietetics*, 8, 89–96.
- Singh, P. K., Khedkar, R. D., & Chandra, S. (2024). Chocolate: An overview of functional potential and recent trends in fortification. In *Brazilian Journal of Food Technology* (Vol. 27). FapUNIFESP (SciELO). <https://doi.org/10.1590/1981-6723.11823>
- Sonwai, S. and Rousseau, D. (2010). Controlling fat bloom formation in chocolate – impact of milk fat on microstructure and fat phase crystallisation. *Food Chemistry*, 119(1), 286-297. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.06.031>
- Szydłowska-Czeraniak, A., Rabiej, D., & Pawłowicz, R. (2016). Comparison of the crystallization behaviors of different types of cocoa butters and chocolates. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(5), e13154. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13154>
- Şekeroğlu, G. (2014). Investigation of Fat Bloom Mechanism in Dark Chocolate. PhD Thesis. University of Gaziantep. Graduate School of Natural & Applied Sciences.
- Tan, T. Y. C., Lim, X. Y., Yeo, J. H. H., Lee, S. W. H., & Lai, N. M. (2021). The Health Effects of Chocolate and Cocoa: A Systematic Review. In *Nutrients* (Vol. 13, Issue 9, p. 2909). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu13092909>

- Tian, X., Liu, Y., Sun, X., Wang, B., Zhao, Y., Liu, D., ... & Hu, D. (2018). Chocolate consumption and risk of cardiovascular diseases: a meta-analysis of prospective studies. *Heart*, 105(1), 49-55. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2018-313131>
- Tuenter, E., Sakavitsi, M. E., Rivera-Mondragón, A., Hermans, N., Foubert, K., Halabalaki, M., & Pieters, L. (2021). Ruby chocolate: A study of its phytochemical composition and quantitative comparison with dark, milk and white chocolate. In *Food Chemistry* (Vol. 343, p. 128446). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128446>
- Yao, Y., Liu, W., Zhang, D., Li, R., Zhou, H., Li, C., & Wang, S. (2020). Dynamic changes in the triacylglycerol composition and crystallization behavior of cocoa butter. In *LWT* (Vol. 129, p. 109490). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109490>
- Zhao, L., Li, B., Xiong, D., Zhang, H., Tang, X., Zhang, H., ... & Yang, S. (2016). Cocoa-butter-equivalent production from *Yarrowia lipolytica* by optimization of fermentation technology. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 12(4), 196-205. <https://doi.org/10.3844/ajbbbsp.2016.196.205>
- Ziegler, G. R., Garbolino, C., Coupland, J. N. (2006) The influence of surfactants and moisture on the colloidal and rheological properties of model chocolate dispersions. 3rd International Symposium on Food Rheology and Structure. 335-339.

GIDA AMBALAJLAMADA UYGULANAN AMBALAJLAMA YÖNTEMLERİ

Eda Elgin KILIÇ¹

1. GİRİŞ

Gıda ambalajı, gıda ürünlerini kontaminasyondan, bozulmadan ve depolama ve nakliye sırasında fiziksel hasardan korumak için tasarlanmış, gıda tedarik zincirinin önemli bir bileşenidir. Aynı zamanda ürün hakkında bilgi sağlayan ve tüketici tercihlerini etkileyen bir pazarlama aracı olarak da hizmet vermektedir. Gıda ambalajının önemi, gıda güvenliği, sürdürülebilirlik ve kolaylık konularında artan farkındalık nedeniyle son yıllarda artmıştır. Gıda ambalajı, gıda güvenliği, kalitesi ve sürdürülebilirliğinin korunması için gerekli olan birçok işleve hizmet eden, gıda endüstrisinin kritik bir yönüdür. Gıda güvenliği ve çevresel etkiler konusunda tüketici bilinci arttıkça ambalajın rolü de önemli ölçüde değişmiştir.

1.1. Gıda Ambalajının Rolü

Gıda ambalajının birincil işlevlerinden biri gıdaları kontaminasyon ve bozulmadan korumaktır. Ambalaj, gıda ürünlerinin kimyasal ve mikrobiyal bozulmasına yol açabilecek nem, ışık ve oksijen gibi çevresel faktörlere karşı bir bariyer görevi görür. Kağıt ve karton gibi elyaf bazlı ambalaj malzemeleri, özellikle unlu mamuller ve taze ürünler gibi ürünlerde mikrobiyal bütünlüğü koruma yetenekleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır (Schmid vd., 2023).

¹ Öğr. Gör. Dr., Gaziantep Üniversitesi, Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, edakilic@gantep.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9887-8377.

Antimikrobiyal maddelerin ambalaj malzemelerine dahil edilmesinin patojenlerin büyümesini engelleyerek gıda güvenliğini artırdığı gösterilmiştir (Omerović vd., 2021; Malhotra vd., 2015). Bu koruyucu rol, gıda ürünlerinin raf ömrünü uzatmada ve tüketim için güvenli kalmalarını sağlamada çok önemlidir.

Gıda ambalajları aynı zamanda önemli bir bilgilendirme amacına da hizmet eder. Tüketicilere besin bilgileri, içerik listeleri ve son kullanma tarihleri de dahil olmak üzere ürünle ilgili temel ayrıntıları sağlar. Bu şeffaflık, özellikle taze, minimum düzeyde işlenmiş ve güvenli gıda ürünlerine yönelik artan talep nedeniyle, bilinçli tüketici seçimleri için hayati önem taşımaktadır (Sharma vd., 2017). Gıda kalitesini izlemek için sensörler içeren akıllı paketlenme sistemleri, tüketicinin gıda güvenliğine olan güvenini artırmak için yenilikçi çözümler olarak ortaya çıkarmaktadır (Fuertes ve ark., 2016). Bu sistemler gıdanın durumu hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlayarak ve böylece gıda kaynaklı hastalık riskini azaltabilmektedir.

Gıda ambalajlarının çevresel etkisi önemli bir endişe kaynağı haline gelmiş ve daha sürdürülebilir malzemelere doğru bir geçişe neden olmuştur. Geleneksel petrol bazlı plastikler, biyopolimerler ve elyaf bazlı malzemeler gibi yenilenebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir alternatiflerle değiştirilmektedir (Chi vd., 2023; Taherimehr vd., 2021). Bu malzemeler yalnızca yenilenemeyen kaynaklara olan bağımlılığı azaltmakla kalmıyor, aynı zamanda kompostlanabilirlik ve geri dönüştürülebilirlik yoluyla atıkları da en aza indirmektedir. Elyaf bazlı ambalajlar için bariyer kaplama olarak elektrostatik olarak kompleksleştirilmiş doğal polisakkaritlerin geliştirilmesi, gıda korumanın işlevsel gereksinimlerini karşılayan sürdürülebilir ambalaj çözümleri oluşturma potansiyelini vurgulamaktadır (Chi vd., 2023). Araştırmalar, verimli ambalajlamanın gıda israfını en aza

indirmede önemli bir rol oynayabileceğini ve böylece gıda tedarik zincirinde genel sürdürülebilirliğe katkıda bulunabileceğini göstermektedir (Verghese vd., 2015; Williams ve Wikström, 2011).

1.2. Gıda Ambalajı Türleri

Gıda ambalajı, gıda ürünlerini korumak, raf ömürlerini uzatmak ve nakliye ve depolama sırasında güvenliği sağlamak için tasarlanmış, gıda endüstrisinin hayati bir bileşenidir. Gıda ambalajının evrimi, her biri belirli işlevlere hizmet eden ve farklı malzemeler kullanan çeşitli türlerin geliştirilmesine yol açmıştır. Gıda ambalajlarını birkaç temel türe ayırmaktadır: geleneksel ambalaj, aktif ambalaj, akıllı ambalaj ve yenilebilir ambalaj

1.2.1. Geleneksel Ambalaj

Geleneksel gıda ambalajları öncelikle gıda ürünleri ile dış çevresel faktörler arasında bir bariyer görevi görecektir şekilde tasarlanmıştır. Bu, gıda kalitesini korumak için kritik önem taşıyan fiziksel hasar, nem, ışık ve mikrobiyal kontaminasyondan korunmayı içerir (Yan vd., 2022; Acevedo-Puello, 2023). Geleneksel ambalajlamada kullanılan malzemeler genellikle bu koruyucu nitelikleri sağlama kabiliyetlerinin yanı sıra uygun maliyetli ve kolay temin edilebilir olmaları nedeniyle seçilir. Yaygın malzemeler arasında cam, metal, kağıt ve her biri kendine özgü avantajlar ve sınırlamalar sunan çeşitli plastik türleri yer almaktadır (Sharma vd., 2017).

1.2.1.1. Geleneksel Ambalajda Kullanılan Malzemeler ve Geleneksel Ambalaj İşlevi

Geleneksel gıda ambalajlarında malzeme seçimi, gıda ürünlerinin güvenliğini ve kalitesini sağlamak için çok önemlidir. Cam ve metal kaplar, oksijen ve neme karşı

mükemmel bariyerler sağladıkları için genellikle daha uzun raf ömrü gerektiren ürünler için kullanılır (Kuswandi vd., 2011). Kağıt ve karton, biyolojik olarak parçalanabilirlikleri ve geri dönüştürülebilirlikleri nedeniyle tercih edilmekte, bu da onları başta kuru ürünler olmak üzere çeşitli gıda maddeleri için uygun hale getirmektedir (Bilohan vd., 2022). Plastikler, çok yönlü ve hafif olmalarına rağmen, biyolojik olarak parçalanamayan yapıları nedeniyle çevresel endişelere yol açmıştır; ancak, kolaylık ve maliyet etkinliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaya devam etmektedir (Kawahara vd., 2014).

Geleneksel ambalajın birincil rolü gıdayı kontaminasyon ve bozulmadan korumaktır. Bu, gıdayı nakliye ve depolama sırasında fiziksel hasardan korumanın yanı sıra zararlı mikroorganizmalara maruz kalmasını önlemeyi de içerir (Yan vd., 2022; Acevedo-Puello, 2023). Geleneksel ambalajlama, bozulma ve degradasyona yol açabilecek hava, nem ve ışığa maruz kalmayı en aza indirerek gıda ürünlerinin raf ömrünü uzatmaya yardımcı olur (Sharma vd., 2017). Vakumla kapatılmış ambalajlar gıdanın oksidasyonunu önemli ölçüde azaltarak kalitesini daha uzun süre koruyabilir. Ambalaj aynı zamanda besin içeriği, son kullanma tarihleri ve saklama talimatları gibi önemli bilgilerin tüketicilere aktarılması için bir araç görevi görür. Satış noktasında tüketici tercihlerini etkileyerek markalaşma ve pazarlamada hayati bir rol oynar (Yan vd., 2022; Hasanah vd., 2021). Etkinliğine rağmen geleneksel ambalajlar, özellikle çevresel sürdürülebilirlik açısından çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. Petrol bazlı plastiklerin aşırı kullanımı, kirlilik ve atıklarla ilgili endişeleri artırmıştır (Gupta vd., 2022). Buna bir yanıt olarak, biyolojik olarak parçalanabilen ve gübreleşebilen malzemeler de dahil olmak üzere daha sürdürülebilir ambalaj çözümlerine yönelik artan bir eğilim söz konusudur (Achmadi, 2023). Aktif ve akıllı

paketleme gibi paketleme teknolojisindeki yenilikler de, gıda kalitesini ve güvenliğini aktif olarak koruyan özellikleri bir araya getirerek geleneksel paketlemenin işlevselliğini artırmak için ortaya çıkmaktadır (Wyrwa ve Barska, 2017; Yan vd., 2022).

1.2.2. Aktif Ambalaj

Aktif ambalaj, gıda ürünlerinin korunmasını ve güvenliğini artırmak için tasarlanmış gıda paketleme teknolojisinde önemli bir ilerlemeyi temsil etmektedir. Bu yenilikçi yaklaşım, raf ömrünü uzatmak, kaliteyi korumak ve güvenliği artırmak için gıda veya çevresiyle aktif olarak etkileşime giren bileşenlerin ambalaj malzemelerine dahil edilmesini içerir. Aktif ambalaj sistemleri, paketlenmiş gıda veya çevresindeki ortama bileşenleri salabilen veya emebilen maddeleri içeren ambalajlar olarak tanımlanır. Bu etkileşim, gıda ürünlerinin kalitesini ve güvenliğini artırmayı amaçlar (Wyrwa ve Barska, 2017). Avrupa Komisyonu'na göre, aktif ambalaj oksijen gidericiler, nem düzenleyiciler ve antimikrobiyal maddeler içerebilir, bu maddeler bozulmayı engelleyerek raf ömrünü uzatmaya çalışır (Omerović vd., 2021; Daniloski vd., 2020). Aktif ambalajın birincil amacı, gıda bozulmasına yol açan faktörleri en aza indiren kontrollü bir ortam yaratmaktır.

1.2.2.1. Aktif Ambalaj Türleri

Oksijen Tutucular: Oksijen tutucular, ambalaj ortamından oksijeni emmek ve böylece gıda ürünlerinin raf ömrünü uzatmak ve kalitesini korumak için tasarlanmış aktif ambalaj teknolojilerinin önemli bir bileşenidir. Oksijen tutucular, ambalaj üst boşluğunda bulunan oksijen molekülleriyle kimyasal olarak reaksiyona girerek işlev görür. Bu reaksiyon, oksidatif bozulmayı ve aerobik mikroorganizmaların büyümesini önlemek

için çok önemli olan oksijen konsantrasyonunu azaltır (Lee vd., 2018 Baele vd., 2020). Oksijen tutucuların etkinliği sıcaklık, bağıl nem ve tutucunun spesifik formülasyonu gibi çeşitli faktörlerden etkilenir (Pant vd., 2018; Upasen ve Wattanachai, 2018). Askorbik asit bazlı tutucuların et ürünlerindeki oksijen seviyelerini etkili bir şekilde azalttığı ve böylece muhafazalarını artırdığı gösterilmiştir (Lee vd., 2018).

Oksijen tutucular, kimyasal bileşimlerine ve etki mekanizmalarına göre kategorize edilebilir;

Demir bazlı tutucular: Gıda ambalajlarında kullanılan en yaygın oksijen tutucular arasındadır. Demir oksit oluşturmak için oksijenle reaksiyona girerek ambalajdaki artık oksijen seviyelerini etkili bir şekilde düşürürler (Baele vd., 2020; Polyakov ve Miltz, 2015). Demir bazlı tutucular genellikle poşetlere veya doğrudan ambalaj malzemelerine dahil edilir. Titanyum Dioksit Nanotüpler: Son çalışmalar titanyum oksit nanotüplerin oksijen tutucu olarak kullanımını araştırmıştır. Bu malzemeler yüksek oksijen alım oranı göstermektedir ve ambalaj filmlerine entegre edilebilir (Tulsyan vd., 2017).

Doğal Bileşikler: Gallik asit ve askorbik asit gibi bileşikler oksijen tutucu özellikleriyle dikkat çekmektedir. Bu doğal antioksidanlar, sentetik katkı maddeleri kullanılmadan gıda muhafazasını geliştirmek için ambalaj malzemelerine dahil edilebilir (Pant vd., 2018). Polimer Bazlı Tutucular: Polimer teknolojisindeki yenilikler, oksijen tutucu maddeler içeren filmlerin geliştirilmesine yol açmıştır. Oksijen tutucular içeren polietilen filmler depolama süresi boyunca düşük oksijen seviyelerini koruyabilmektedir (Ahn vd., 2016).

Nem Düzenleyiciler: Bu sistemler, gıda maddelerinin dokusunu ve kalitesini korumak için gerekli olan ambalaj içindeki nem seviyelerini kontrol etmeye yardımcı olur (Huang

vd., 2013). Nem düzenleyiciler, ya paket ortamından fazla nemi emerek ya da gerektiğinde nem salarak çalışır. Bu dinamik nem kontrolü, gıda ürünlerinde bozulmayı, mikrobiyal büyümeyi ve kalite düşüşünü önlemek için gereklidir (Poonnakasem, 2021; Adetunji vd., 2019). Nem düzenleyicilerin etkinliği, sıcaklık, bağıl nem ve düzenleyicinin özel formülasyonu gibi faktörlerden etkilenir. (Oliveira vd., 2015; Ajayi vd., 2015). Silika jel veya kil bazlı kurutucuların kullanımı, nemi etkili bir şekilde emerek bozulmaya sebep olan mikroorganizmalarının büyümesini engelleyen daha kuru bir ortam oluşturabilir. (Silva vd., 2022).

Nem düzenleyiciler işlevselliğine göre kategorize edilebilir.

Nem Düzenleyiciler: Bu sistemler, nem seviyeleri belirli bir eşik değerinin altına düştüğünde nem salabilir, böylece pakette optimal bir nem dengesi sağlamaya yardımcı olur. Belirli polimer bazlı filmler nem salınımını kontrol etmek için tasarlanabilir. (Kirse-Ozolina vd., 2019; Wang vd., 2013). Doğal Nem Emiciler: Aloe vera ekstresi ve diğer bitki bazlı bileşikler gibi malzemeler, nem emme özellikleri için araştırılmaktadır. Bu doğal düzenleyiciler, sentetik katkı maddeleri olmadan gıda koruma süresini artırmak için ambalaj filmlerine dahil edilebilir. (Adetunji vd., 2019; Shakerardekani & Karim, 2012).

Antimikrobiyal ambalajlar: Bozulma ve patojenik mikroorganizmaların büyümesini engellemek için ambalaj malzemelerine antimikrobiyal maddeler entegre eden gıda endüstrisinde yenilikçi bir yaklaşımdır. Antimikrobiyal ambalaj, gıda ortamına antimikrobiyal maddeler salarak veya doğrudan gıda yüzeyiyle etkileşime girerek çalışır. Bu maddeler doğal olarak elde edilmiş veya sentetik olabilir ve bozulmaya veya gıda kaynaklı hastalıklara neden olan belirli mikroorganizmaları hedef almak üzere tasarlanmıştır (Arena vd., 2016; Kraszewska

vd., 2016). Antimikrobiyal ambalajın etkinliği, kullanılan antimikrobiyal maddenin türü, konsantrasyonu ve ambalaj malzemesinin maddeye geçirgenliği gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. (Kraszevska vd., 2016; Yuliana vd., 2022).

Antimikrobiyal Ajan Türleri: Antimikrobiyal ambalaj çeşitli maddeleri içerebilir.

Bakteriyosinler: Bunlar, laktik asit bakterileri (LAB) tarafından üretilen ve antimikrobiyal özellikler gösteren ribozomal olarak sentezlenen peptitlerdir. Nisin gibi bakteriosinler, gıda koruma konusundaki etkinlikleri için geniş çapta incelenmiştir. (Song vd., 2014; Dobrucka ve Ankiel-Homa, 2018). Hedef bakterilerin hücre zarını bozarak hücre ölümüne neden olurlar.

Uçucu Yağlar: Sarımsak (*Allium sativum*) ve çemen otu (*Trigonella foenum-graecum*) gibi bitkisel kaynaklı uçucu yağlar, çeşitli gıda kaynaklı patojenlere karşı önemli antimikrobiyal aktivite göstermiştir. (Ashraf vd., 2019). Bu yağlar, sentetik koruyuculara doğal bir alternatif sağlamak için ambalaj malzemelerine dahil edilebilir.

Metal Nanopartiküller: Gümüş ve bakır nanopartikülleri, geniş spektrumlu antimikrobiyal özellikleri nedeniyle dikkat çekmektedir. Bu nanopartiküller, mikrobiyal büyümeyi etkili bir şekilde engellemek için ambalaj malzemelerine yerleştirilebilir. (Dobrucka ve Ankiel-Homa, 2018; Bastarrachea vd., 2011).

Kitosan: Kitin'den türetilen bu biyopolimer, antimikrobiyal özellikler sergiler ve gıda ambalajı için filmler ve kaplamalar oluşturmakta kullanılabilir (Aider, 2010; Rai vd., 2016). Chitosan'ın etkinliği, mikrobiyal hücre zarlarını bozma yeteneğine ve şelatlama özelliklerine atfedilmektedir.

Etilen Tutucular: Meyve ve sebzelerin olgunlaşmasıyla ortaya çıkan etilen gazını emmek için özel olarak tasarlanmış aktif paketlenme teknolojilerinin önemli bir bileşenidir. Bu teknoloji bozulabilir ürünlerin raf ömrünün uzatılmasında, kalitelerinin korunmasında ve gıda israfının azaltılmasında çok önemli bir rol oynamaktadır.

Etilen tutucular, etilen gazı ile kimyasal olarak reaksiyona girerek ambalaj ortamındaki konsantrasyonunu azaltarak işlev görür. Etilen, klimakterik meyvelerde olgunlaşma ve yaşlanma süreçlerini hızlandırarak kalitenin bozulmasına yol açan doğal bir bitki hormonudur (Sardabi vd., 2013; Tirgar vd., 2018). Bu tutucular, etileni emerek optimum depolama koşullarının korunmasına yardımcı olur, olgunlaşmayı geciktirir ve taze ürünlerin raf ömrünü uzatır (López-Gómez vd., 2020; Gaikwad vd., 2019). Yaygın mekanizmalar arasında, etilen giderimindeki etkinlikleri nedeniyle potasyum permanganat ($KMnO_4$) gibi malzemelerin sıklıkla kullanıldığı adsorpsiyon ve katalitik reaksiyonlar yer almaktadır (Jiang vd., 2012; Duque vd., 2021).

Etilen tutucular, kimyasal bileşimlerine ve etki mekanizmalarına göre kategorize edilebilir:

Potasyum Permanganat : Bu, en yaygın kullanılan etilen tutuculardan biridir. Etilen ile reaksiyona girerek mangan dioksit oluşturur ve ambalajdaki etilen seviyelerini etkili bir şekilde azaltır (Navarro-Martínez vd., 2021; East vd., 2015).

Zeolit Nanopartiküller: Bu malzemeler, etilen emilimini artırmak için ambalaj filmlerine dahil edilebilir. Zeolitler yüksek yüzey alanına ve gözenekliliğe sahiptir, bu da onları etilen gazını hapsedmede etkili kılar (Gaikwad vd., 2019; Dobrucka vd., 2017).

Doğal Bileşikler: Uçucu yağlar ve bitki özleri etilen tutucu özellikleri açısından araştırılmıştır. Bazı esansiyel yağlar etilen üretimini engelleyebilir ve bozulmayı azaltabilir (Öztürk ve Ayhan, 2023; Mariah vd., 2022).

Metal-Organik Çerçeveler (MOF'lar): Bu gelişmiş malzemeler, ayarlanabilir gözeneklilikleri ve yüksek yüzey alanları nedeniyle etilen adsorpsiyonunda umut vaat etmektedir. MOF'lar, etileni seçici olarak yakalamak üzere tasarlanabilir ve bu da onları aktif paketleme uygulamaları için uygun hale getirir (Kolgesiz vd., 2023; Yani vd., 2023).

1.2.3. Akıllı Ambalaj

Akıllı ambalaj, paket içindeki sıcaklık, nem ve gaz bileşimi gibi çevresel koşulları izlemek için çeşitli teknolojilerden yararlanır. Bu sistemler, gıda ürününün tazeliği ve güvenliği hakkında gerçek zamanlı veriler sağlayabilir (Yousefi vd.,2019; Vasuki vd., 2023). Akıllı paketleme çözümleri, bir ürün güvenliğini tehlikeye atabilecek koşullara maruz kaldığında sinyal veren zaman-sıcaklık göstergeleri (TTI'ler) içerir (Kocetkovs ve Muizniece-Brasava, 2019)

1.2.3.1. Akıllı Ambalaj Türleri

Akıllı ambalajlar işlevselliklerine göre kategorize edilebilir:

Algılama Sistemleri: Bu sistemler çevresel koşullardaki değişiklikleri tespit eder ve geri bildirim sağlar. Örneğin nem sensörleri, bir ürünün aşırı nem nedeniyle bozulma riski altında olduğunu gösterebilir (Drago vd., 2020; Özcan, 2020).

Göstergeler: Renk değiştiren göstergeler gıda ürünlerinin tazeliğini işaret edebilir. Bu göstergeler, belirli gazlara veya pH seviyelerine yanıt olarak renk değiştirebilir ve

ürünün durumu hakkında görsel ipuçları sağlayabilir (Joshi vd., 2021; Alam vd., 2021).

İletişim Teknolojileri: Bazı akıllı paketlenme sistemleri, tüketicilerin saklama koşulları ve son kullanma tarihleri de dahil olmak üzere ürünün geçmişi hakkındaki bilgilere erişmesine olanak tanıyan RFID (Radyo Frekansı ile Tanımlama) veya NFC (Yakın Alan İletişimi) teknolojileriyle donatılmıştır (Li vd., 2022; Kaushani vd., 2022).

1.2.4. Yenilebilir Ambalaj

Gıda endüstrisinde gıdaların korunmasını geliştirirken çevresel etkiyi azaltmayı amaçlayan yenilikçi bir çözümdür. Bu tür ambalajlar, korudukları gıda ile birlikte tüketilebilen doğal, yenilebilir malzemelerden yapılır. Yenilebilir ambalaj, gıdayı nem, oksijen ve mikrobiyal kontaminasyon gibi çevresel faktörlerden koruyan bir bariyer oluşturarak işlev görür. Gıda kalitesini ve güvenliğini korumaya yardımcı olan antioksidanlar ve antimikrobiyal ajanlar gibi aktif bileşikler için bir taşıyıcı görevi görebilir (Dinika ve Lara, 2019; Zhao vd., 2021). İdeal yenilebilir film, yüksek su tutma kapasitesine sahip olmalı, gaz değişimlerini kontrol etmeli, çözünen madde taşınmasını engellemeli ve kullanımı kolaylaştırmak için mekanik özellikleri iyileştirmelidir (Dinika ve Lara, 2019; Dordevic, 2023).

Yenilebilir ambalajlar bileşimlerine göre kategorize edilebilir:

Polisakkarit Bazlı Filmler: Nişasta, selüloz ve aljinat gibi doğal kaynaklardan elde edilir. Mükemmel bariyer özellikleri ve biyolojik olarak parçalanabilirlikleri ile bilinirler (Zhao vd., 2021; Dordevic, 2023). Polisakkarit filmler, çeşitli gıda ürünleri için kaplamalar veya sargılar oluşturmak için kullanılabilir.

Protein Bazlı Filmler: Kazein, peynir altı suyu ve jelatin gibi proteinlerden yapılan filmler iyi mekanik mukavemet sağlar ve ayrıca nem ve gazlara karşı bariyer görevi görebilir (Neogi vd., 2022; Saha vd., 2021). Bu filmler özellikle et ve süt ürünlerinin kalitesinin korunmasında etkili olabilir.

Lipit Bazlı Filmler: Genellikle katı ve sıvı yağlardan yapılan lipit bazlı yenilebilir filmler, oksijen ve neme karşı bariyer özelliklerini geliştirebilir. Genel performansı artırmak için tipik olarak diğer malzemelerle birlikte kullanılırlar (Prakash ve Mishra, 2023; Meshram vd., 2023).

Kompozit Filmler: Her bir bileşenin güçlü yönlerinden yararlanmak için farklı biyopolimerleri bir araya getirir. Örneğin, polisakkaritlerin proteinlerle birleştirilmesi, ambalajın mekanik özelliklerini ve bariyer işlevlerini iyileştirebilir (Nair vd., 2023; Nair vd., 2023).

2. SONUÇ

Gıda ambalajındaki yenilikler, aktif, akıllı ve yenilebilir sistemler dâhil olmak üzere, gıda endüstrisinde umut verici bir ilerlemeyi temsil etmektedir. Bu teknolojiler, gıda güvenliğini artırma, raf ömrünü uzatma ve çevresel etkiyi azaltma konusunda önemli faydalar sunmaktadır. Sektör bu yeniliklerle ilgili zorlukları ele almaya ve gelişmeye devam ettikçe, daha taze ve daha güvenli gıda seçenekleri için tüketici taleplerini karşılayarak giderek daha yaygın hale gelmeleri sağlanacaktır.

3. KAYNAKÇA

- Acevedo-Puello, V. (2023). Gelatin-based hydrogels containing microcrystalline and nanocrystalline cellulose as moisture absorbers for food packaging applications. *Journal of Composites Science*, 7(8), 337. <https://doi.org/10.3390/jcs7080337>
- Achmadi, E. (2023). Strategies managing smart packaging for food application. *JFAP*, 3(1), 9. <https://doi.org/10.32585/jfap.v3i1.3593>
- Ahn, B., Gaikwad, K., & Lee, Y. (2016). Characterization and properties of ldpe film with gallic-acid-based oxygen scavenging system useful as a functional packaging material. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(43). <https://doi.org/10.1002/app.44138>
- Aider, M. (2010). Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry: review. *LWT*, 43(6), 837-842. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.01.021>
- Ajayi, O., Obadina, A., Idowu, M., Adegunwa, M., Kajihansa, O., Sanni, L., ... & Tomlins, K. (2015). Effect of packaging materials on the chemical composition and microbiological quality of edible mushroom (*pleurotus ostreatus*) grown on cassava peels. *Food Science & Nutrition*, 3(4), 284-291. <https://doi.org/10.1002/fsn3.216>
- Alam, A., Rathi, P., Beshai, H., Sarabha, G., & Deen, M. (2021). Fruit quality monitoring with smart packaging. *Sensors*, 21(4), 1509. <https://doi.org/10.3390/s21041509>

- Arena, M., Silvain, A., Normanno, G., Grieco, F., Drider, D., Spano, G., ... & Fiocco, D. (2016). Use of lactobacillus plantarum strains as a bio-control strategy against food-borne pathogenic microorganisms. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00464>
- Ashraf, S., Khan, M., Awadelkareem, A., Tajuddin, S., Ahmad, F., & Hussain, T. (2019). Gc-ms analysis of commercially available allium sativum and trigonella foenum-graecum essential oils and their antimicrobial activities. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 13(4), 2545-2552. <https://doi.org/10.22207/jpam.13.4.69>
- Baele, M., Vermeulen, A., Leloup, F., Adons, D., Peeters, R., Devlieghere, F., ... & Ragaert, P. (2020). Applicability of oxygen scavengers for shelf life extension during illuminated storage of cured cooked meat products packaged under modified atmosphere in materials with high and low oxygen permeability. *Packaging Technology and Science*, 34(3), 161-173. <https://doi.org/10.1002/pts.2549>
- Bastarrachea, L., Dhawan, S., & Sablani, S. (2011). Engineering properties of polymeric-based antimicrobial films for food packaging: a review. *Food Engineering Reviews*, 3(2), 79-93. <https://doi.org/10.1007/s12393-011-9034-8>
- Bilohan, M., Ramos, A., Domingues, F., & Luís, Â. (2022). Production and characterization of pullulan/paper/zein laminates as active food packaging materials. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(11). <https://doi.org/10.1111/jfpp.17083>

- Chi, K., He, J., Lin, W., Bokhari, S., & Catchmark, J. (2023). Electrostatically complexed natural polysaccharides as aqueous barrier coatings for sustainable and recyclable fiber-based packaging. *Acs Applied Materials & Interfaces*, 15(9), 12248-12260. <https://doi.org/10.1021/acsami.2c17886>
- Daniloski, D., Gjorgjijoski, D., & Petkoska, A. (2020). Advances in active packaging: perspectives in packaging of meat and dairy products. *Advanced Materials Letters*, 11(5), 1-10. <https://doi.org/10.5185/amlett.2020.051504>
- Dinika, I. and Lara, U. (2019). Cheese whey as potential resource for antimicrobial edible film and active packaging production. *Foods and Raw Materials*, 7(2), 229-239. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-229-239>
- Dobrucka, R. and Ankiel-Homa, M. (2018). Possible applications of metal nanoparticles in antimicrobial food packaging. *Journal of Food Safety*, 39(2). <https://doi.org/10.1111/jfs.12617>
- Dobrucka, R., Leonowicz, A., & Cierpiszewski, R. (2017). Preparation of ethylene scavenger based on kmno_4 to the extension of the storage time of tomatoes. *Studia Oeconomica Posnaniensia*, 5(7), 7-18. <https://doi.org/10.18559/soep.2017.7.1>
- Dordevic, S. (2023). Effect of trehalose/oEO/tween 80/tween 20 addition on physical stability of edible packaging during storage in different humidity conditions. *Foods*, 12(15), 2903. <https://doi.org/10.3390/foods12152903>
- Drago, E., Campardelli, R., Pettinato, M., & Perego, P. (2020). Innovations in smart packaging concepts for food: an

- extensive review. *Foods*, 9(11), 1628.
<https://doi.org/10.3390/foods9111628>
- Duque, L., Amador, M., Guzmán, M., Asensio, C., & Valenzuela, J. (2021). Development of a new essential oil-based technology to maintain fruit quality in tomato. *Horticulturae*, 7(9), 303.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae7090303>
- East, A., Samarakoon, H., Pranamornkith, T., & Bronlund, J. (2015). A review of ethylene permeability of films. *Packaging Technology and Science*, 28(8), 732-740.
<https://doi.org/10.1002/pts.2137>
- Fuertes, G., Soto, I., Carrasco, R., Vargas, M., Sabattin, J., & Lagos, C. (2016). Intelligent packaging systems: sensors and nanosensors to monitor food quality and safety. *Journal of Sensors*, 2016, 1-8.
<https://doi.org/10.1155/2016/4046061>
- Gaikwad, K., Singh, S., & Negi, Y. (2019). Ethylene scavengers for active packaging of fresh food produce. *Environmental Chemistry Letters*, 18(2), 269-284.
<https://doi.org/10.1007/s10311-019-00938-1>
- Gupta, V., Biswas, D., & Roy, S. (2022). A comprehensive review of biodegradable polymer-based films and coatings and their food packaging applications. *Materials*, 15(17), 5899. <https://doi.org/10.3390/ma15175899>
- Hasanah, U., Dewi, E., Santoso, U., & Supriyadi, S. (2021). Physical and chemical characteristic of young coconut leaves (*cocos nucifera* l.) as traditional packaging. *Indonesian Food and Nutrition Progress*, 17(2), 33.
<https://doi.org/10.22146/ifnp.46769>

- Jiang, Y., Fu, Y., Li, D., & Xu, W. (2012). Gas high permeability and ethylene adsorption active packaging for strawberry preservation. *Applied Mechanics and Materials*, 262, 586590.<https://doi.org/10.4028/>.
- Joshi, U., Bisht, T., Rawat, L., & Mamgain, A. (2021). Smart packaging : modern way for reducing post-harvest losses of horticultural produce. *International Journal of Agricultural Sciences*, 17(AAEBSSD), 331-339. <https://doi.org/10.15740/has/ijas/17-aaebssd/331-339>.
- Kaushani, K., Rathnasinghe, N., Katuwawila, N., Jayasinghe, R., Nilmini, A., & Priyadarshana, G. (2022). Trends in smart packaging technologies for sustainable monitoring of food quality and safety. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, 07(07), 07-30. <https://doi.org/10.51584/ijrias.2022.7702>.
- Kawahara, T., Tomono, T., Hamauzu, Y., Tanaka, K., & Yasui, H. (2014). Inhibitory effect of a hot-water extract of leaves of japanese big-leaf magnolia (*magnolia obovata*) on rotavirus-induced diarrhea in mouse pups. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2014(1). <https://doi.org/10.1155/2014/365831>.
- Kirse-Ozolina, A., Muizniece-Brasava, S., & Veipa, J. (2019). Effect of various packaging solutions on the quality of hazelnuts in nut-dried fruit mixes., 216-221. <https://doi.org/10.22616/foodbalt.2019.007>.
- Kocetkovs, V. and Muizniece-Brasava, S. (2019). Consumer awareness and attitudes towards active and intelligent packaging systems in the latvian market.. <https://doi.org/10.22616/foodbalt.2019.025>.

- Kolgesiz, S., Taş, C., Köken, D., Genc, M., Yalçın, İ., Kalender, K., ... & Ünal, H. (2023). Extending the shelf life of bananas with cinnamaldehyde-impregnated halloysite/polypropylene nanocomposite films. *Acs Food Science & Technology*, 3(2), 340-349. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.2c00371>.
- Kraszewska, J., Beckett, M., James, T., & Bond, U. (2016). Comparative analysis of the antimicrobial activities of plant defensin-like and ultrashort peptides against food-spoiling bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 82(14), 4288-4298. <https://doi.org/10.1128/aem.00558163390/foods11233820>
- Kuswandi, B., Wicaksono, Y., Jayus, J., Abdullah, A., Heng, L., & Ahmad, M. (2011). Smart packaging: sensors for monitoring of food quality and safety. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, 5(3-4), 137-146. <https://doi.org/10.1007/s11694-011-9120-x>
- Lee, J., Chang, Y., Lee, E., Song, H., Chang, P., & Han, J. (2018). Ascorbic acid-based oxygen scavenger in active food packaging system for raw meatloaf. *Journal of Food Science*, 83(3), 682-688. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14061>
- López-Gómez, A., Navarro-Martínez, A., & Martínez-Hernández, G. (2020). Active paper sheets including nanoencapsulated essential oils: a green packaging technique to control ethylene production and maintain quality in fresh horticultural products—a case study on flat peaches. *Foods*, 9(12), 1904. <https://doi.org/10.3390/foods9121904>

- Malhotra, B., Keshwani, A., & Kharkwal, H. (2015). Antimicrobial food packaging: potential and pitfalls. *Frontiers in Microbiology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00611>
- Mariah, M., Vonnice, J., Erna, K., Nur'Aqilah, N., Huda, N., Wahab, R., ... & Rovina, K. (2022). The emergence and impact of ethylene scavengers techniques in delaying the ripening of fruits and vegetables. *Membranes*, 12(2), 117. <https://doi.org/10.3390/membranes12020117>
- Meshram, B., Lule, V., Vyawahare, S., & Rani, R. (2023). Application of edible packaging in dairy and food industry.. <https://doi.org/10.5772/intechopen.107850>
- Muizniece-Brasava, S. and Kirse, A. (2018). Attitudes of latvian consumers to traditional and eco-friendly food packaging materials: comparison of 2007 and 2017.. <https://doi.org/10.22616/erdev2018.17.n560>
- Nair, S., Trafialek, J., & Kolanowski, W. (2023). Edible food packaging- an overview.. <https://doi.org/10.20944/preprints202306.0827.v1>
- Navarro-Martínez, A., López-Gómez, A., & Martínez-Hernández, G. (2021). Potential of essential oils from active packaging to highly reduce ethylene biosynthesis in broccoli and apples. *Acs Food Science & Technology*, 1(6), 1050-1058. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00071>
- Neogi, A., Upadhyaya, A., Manokaran, S., & Reddy, M. (2022). Edible packaging: food for thought and food for the future. *Ecs Transactions*, 107(1), 13757-13771. <https://doi.org/10.1149/10701.13757ecst>

- Oliveira, D., Lima, C., Clemente, E., Afonso, M., & Costa, J. (2015). Stability of bioactive compounds and quality parameters of grugru palm powder (*acrocomia aculeata*) in different drying conditions. *Journal of Food Quality*, 38(2), 94-102. <https://doi.org/10.1111/jfq.12126>
- Omerović, N., Djisalov, M., Živojević, K., Mladenović, M., Vunduk, J., Milenkovic, I., ... & Vidić, J. (2021). Antimicrobial nanoparticles and biodegradable polymer composites for active food packaging applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(3), 2428-2454. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12727>.
- Ozcan, A. (2020). New approaches in smart packaging technologies., 21-37. <https://doi.org/10.24867/grid-2020-p1>
- Öztürk, M. & Ayhan, Z. (2023). Combined effects of ethylene scavenging-active packaging system and modified atmosphere to reduce postharvest losses of ethylene sensitive produce: banana and kiwifruit. *Packaging Technology and Science*, 36(11), 951-967. <https://doi.org/10.1002/pts.2764>.
- Pant, A., Dorn, J., & Reinelt, M. (2018). Effect of temperature and relative humidity on the reaction kinetics of an oxygen scavenger based on gallic acid. *Frontiers in Chemistry*, 6. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00587>.
- Polyakov, V. & Miltz, J. (2015). Modeling of the temperature effect on oxygen absorption by iron-based oxygen scavengers. *Journal of Food Science*, 81(1). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13148>.

- Poonnakasem, N. (2021). Effect of foaming and drying conditions on physicochemical properties and moisture kinetics of foam mat dried chili sauce powder during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(4). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15329>.
- Prasad, P. & Kochhar, A. (2014). Active packaging in food industry: a review. *Iosr Journal of Environmental Science Toxicology and Food Technology*, 8(5), 01-07. <https://doi.org/10.9790/2402-08530107>
- Rai, M., Pandit, R., Gaikwad, S., & Kövics, G. (2016). Antimicrobial peptides as natural bio-preservative to enhance the shelf-life of food. *Journal of Food Science and Technology*, 53(9), 3381-3394. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2318-5>.
- Saha, S., Das, W., Banerjee, P., Sen, D., & Ganguly, S. (2021). A study on different types of edible packaging materials (plants based). *IJEAST*, 6(7), 219-226. <https://doi.org/10.33564/ijeast.2021.v06i07.036>.
- Sardabi, F., Mohtadinia, J., Shavakhi, F., & Jafari, A. (2013). The effects of 1-methylcyclopropen (1-mcp) and potassium permanganate coated zeolite nanoparticles on shelf life extension and quality loss of golden delicious apples. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(6), 2176-2182. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12197>.
- Schmid, P., Maitz, S., Plank, N., Knaipp, E., Pölzl, S., & Kittinger, C. (2023). Fiber-based food packaging materials in view of bacterial growth and survival capacities. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1099906>.

- Shakerardekani, A. and Karim, R. (2012). Effect of different types of plastic packaging films on the moisture and aflatoxin contents of pistachio nuts during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 50(2), 409-411. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0624-0>.
- Sharma, C., Dhiman, R., Rokana, N., & Panwar, H. (2017). Nanotechnology: an untapped resource for food packaging. *Frontiers in Microbiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01735>.
- Silva, A., Figueiredo, J., Tunes, L., Gadotti, G., Rodrigues, D., & Capilheira, A. (2022). Chickpea seed storage in different packagings, environments and periods. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*, 26(9), 649-654. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n9p649-654>.
- Song, D., Zhu, M., & Gu, Q. (2014). Purification and characterization of plantaricin zj5, a new bacteriocin produced by *Lactobacillus plantarum* zj5. *Plos One*, 9(8), e105549. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105549>.
- Taherimehr, M., YousefniaPasha, H., Tabatabaeekoloor, R., & Pesaranhajiabbas, E. (2021). Trends and challenges of biopolymer-based nanocomposites in food packaging. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(6), 5321-5344. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12832>.
- Tirgar, A., Han, D., & Steckl, A. (2018). Absorption of ethylene on membranes containing potassium permanganate loaded into alumina-nanoparticle-incorporated alumina/carbon nanofibers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*,

66(22), 5635-5643.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05037>.

Tulsyan, G., Richter, C., & Díaz, C. (2017). Oxygen scavengers based on titanium oxide nanotubes for packaging applications. *Packaging Technology and Science*, 30(6), 251-256. <https://doi.org/10.1002/pts.2296>.

Upasen, S. and Wattanachai, P. (2018). Packaging to prolong shelf life of preservative-free white bread. *Heliyon*, 4(9), e00802. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00802>.

Vasuki, M., Kadirvel, V., & Narayana, G. (2023). Smart packaging—an overview of concepts and applications in various food industries. *Food Bioengineering*, 2(1), 25-41. <https://doi.org/10.1002/fbe2.12038>.

Verghese, K., Lewis, H., Lockrey, S., & Williams, H. (2015). Packaging's role in minimizing food loss and waste across the supply chain. *Packaging Technology and Science*, 28(7), 603-620. <https://doi.org/10.1002/pts.2127>.

Wang, H., Jin, X., & Wu, H. (2013). Modified atmosphere packaging bags of peanuts with effect of inhibition of aflatoxin growth. *Journal of Applied Polymer Science*, 131(8). <https://doi.org/10.1002/app.40190>

Williams, H.& Wikström, F. (2011). Environmental impact of packaging and food losses in a life cycle perspective: a comparative analysis of five food items. *Journal of Cleaner Production*, 19(1), 43-48. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.08.008>

- Wyrwa, J. & Barska, A. (2017). Innovations in the food packaging market: active packaging. *European Food Research and Technology*, 243(10), 1681-1692. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2878-2>
- Yan, M., Hsieh, S., & Ricacho, N. (2022). Innovative food packaging, food quality and safety, and consumer perspectives. *Processes*, 10(4), 747. <https://doi.org/10.3390/pr10040747>
- Yani, A., Budi, D., Novitasari, E., Novita, D., & Asropi, N. (2023). Improving the shelf life of ambon bananas lampung using static transportation method. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1182(1), 012080. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1182/1/012080>
- Yousefi, H., Su, H., Imani, S., Alkhaldi, K., Filipe, C., & Didar, T. (2019). Intelligent food packaging: a review of smart sensing technologies for monitoring food quality. *Acs Sensors*, 4(4), 808-821. <https://doi.org/10.1021/acssensors.9b00440>
- Yuliana, T., Hayati, F., Rialita, T., & Cahyana, Y. (2022). Partial purification of bacteriocin from lactobacillus pentosus strain 124-2 isolated from "dadih". *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 25(9), 796-802. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2022.796.802>
- Zhao, Y., Li, B., Li, C., Xu, Y., Luo, Y., & Huang, C. (2021). Comprehensive review of polysaccharide-based materials in edible packaging: a sustainable approach. *Foods*, 10(8), 1845. <https://doi.org/10.3390/foods10081845>

PROBİYOTİKLERİN KAPSÜLLENMESİNDE KULLANILAN POLİMER SİSTEMLER

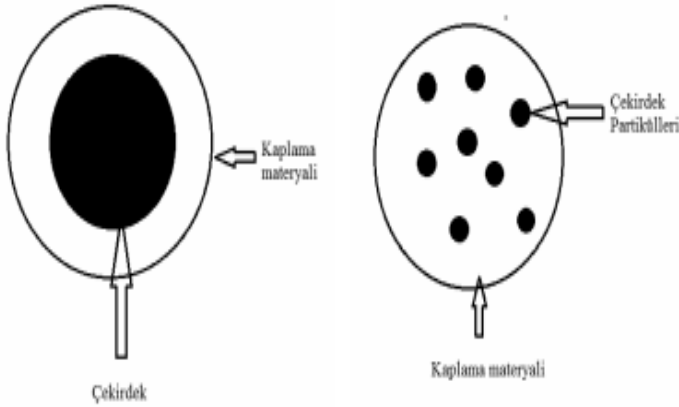
Eda Elgin KILIÇ¹

1. GİRİŞ

Kapsülleme, 1953 yılında B.K. Green ve L. Schleicher tarafından icat edilmiş ve ABD, Dayton'daki National Cash Register Company laboratuvarlarında kullanılmıştır. Katı, sıvı veya gaz halindeki maddelerin, belirli koşullar altında kontrollü hızlarda içeriklerini serbest bırakabilen minyatür, kapalı kapsüller halinde paketlenmesi teknolojisi olarak tanımlanır (Desai ve Park, 2005). Nanokapsüller (10-1000 nm), mikrokapsüller (1-1000 µm) ve milikapsüller (1 mm'den büyük) aktif bir madde (çekirdek, dolgu, iç faz) içeren ve bir kaplama veya kabukla çevrili parçacıklardır, (Şekil1). Kapsüllemenin ana amacı, çekirdek malzemeyi istenmeyen ışık, nem ve oksijen gibi olumsuz çevresel koşullardan korumak, böylece ürünün raf ömrünü artırmak ve kapsüllenmiş maddenin kontrollü bir şekilde serbest bırakılmasını teşvik etmektir (Shahidi ve Han, 1993) Gıda endüstrisinde, mikroenkapsülasyon süreci çeşitli nedenlerle uygulanabilir ve Desai ve Park, 2005) tarafından şu şekilde özetlenmiştir: (1) çekirdek malzemenin dış ortamla olan reaktivitesini azaltarak bozulmadan koruma; (2) çekirdek malzemenin dış ortama buharlaşma veya transfer oranını azaltma; (3) orijinal malzemenin fiziksel özelliklerini daha kolay işlenebilir hale getirmek için değiştirme; (4) çekirdek malzemenin zamanla yavaşça veya belirli bir zamanda

¹ Öğr. Gör. Dr., Gaziantep Üniversitesi, Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, edakilic@gantep.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9887-8377.

salınımını ayarlama; (5) çekirdek malzemenin istenmeyen bir tat veya lezzetini maskeleyme; (6) yalnızca küçük miktarlarda gerektiğinde çekirdek malzemeyi sulandırma, aynı zamanda ana malzemede homojen dağılım sağlama; (7) aksi takdirde birbirleriyle reaksiyona girecek olan karışım bileşenlerini ayırmaya yardımcı olma. Gıda ürünlerinde, aromalar, vitaminler, probiyotikler ve enzimler gibi farklı bileşenler kapsüllenmiştir. Çeşitli nano-, mikro- ve mili-kapsüllerin hazırlanması için birçok yöntem geliştirilmiştir (Giamberini vd., 2015)



Probiyotiklerin biyolojik olarak parçalanabilen bir polimer matris içinde kapsüllenmesinin bir dizi avantajı vardır. Hücreler matris boncuklara veya mikrokapsüllere hapsedildiğinde/ kapsüllendiğinde, süspansiyon veya bulamaç halinde olduğundan daha kolay işlenebilir. Boncuk veya mikropartiküllerdeki hücre sayısı ölçülebilir ve böylece dozaj kolayca kontrol edilebilir. Kriyo ve osmo-koruyucu bileşenler matrise dahil edilebilir, böylece işleme ve depolama sırasında hücrelerin hayatta kalması artırılabilir. Son olarak, matris boncuklar / mikrokapsüller kurutulduktan sonra, başka bir yüzey kaplaması uygulanabilir. Bu dış katman ürünün estetik ve duyuşal özelliklerini değiştirmek

için kullanılabileceği gibi hücrelere ekstra bir koruma düzeyi sağlayarak işlevsel de olabilir. Buna ek olarak, kaplama katmanı, hücrelerin gecikmeli olarak salınmasına veya örneğin pH'daki bir değişiklik üzerine salınmasına izin veren arzu edilen çözünme özelliklerine sahip olabilir.

Probiyotik mikroorganizmaları düşük pH ve yüksek safra konsantrasyonlarına karşı korumak ve sonraki işlemler sırasında fiziksel stabiliteyi arttırmak amacıyla kapsüllemek için çeşitli polimer sistemleri kullanılmıştır. Polimer sistemlerin seçimi, kapsüllenmiş ürünün stabilitesini, salım özelliklerini ve genel etkinliğini önemli ölçüde etkilediğinden, mikroenkapsülasyon işlemlerinin başarısı için esastır. Polimer sistemlerin mikroenkapsülasyon sürecinde birkaç temel işlev vardır.

Çekirdek malzemelerin korunmasını sağlayan duvar polimer sistemlerin birincil rolü hassas çekirdek malzemeleri (aktif bileşenler) nem, oksijen, ışık ve ısı gibi çevresel faktörlerden korumaktır. Bu koruma probiyotikler, aromalar ve besinler gibi hassas bileşiklerin stabilitesini ve etkinliğini korumak için çok önemlidir (Peanparkdee vd, 2016).

Kontrollü salım polimer sistemlerin, kapsüllenmiş çekirdek malzemelerin kontrollü salımına izin verecek şekilde tasarlanabilir. Bu, ilaç dağıtım sistemleri veya fonksiyonel gıdalar gibi salım zamanlaması ve hızının kritik olduğu uygulamalarda özellikle önemlidir (Laokuldilok ve Kanha, 2016). Belirli polimer sistemler, belirli koşullar altında çözünecek veya bozunacak şekilde tasarlanabilir ve çekirdek malzemeyi istenen yerde ve zamanda serbest bırakabilir.

Hoş olmayan tatları veya kokuları maskeleyen özelliği gıda uygulamalarında, kaplama materyalinin çekirdek malzemelerin istenmeyen tatlarını veya kokularını maskeleyen yardımcı olarak nihai ürünün duyu niteliklerini iyileştirebilir.

Bu özellikle uçucu yağlar gibi güçlü tatlara sahip bileşenlerin kapsüllenmesi için geçerlidir (Liu, 2023; Kagami vd., 2003).

Polimer sistemler, az çözünen bileşiklerin çözünürlüğünü ve biyoyararlanımını artırabilir. Bu bileşikler kapsüllenenek gıda matrislerine daha kolay dahil edilebilir veya farmasötik formülasyonlarda etkili bir şekilde iletilebilir (Braber vd., 2020; Li ve XuanRi, 2014).

Çeşitli biyopolimerler kullanan mikrokapsül veya boncuk sistemlerinin laboratuvar ölçeğinde hazırlanması çok kolaydır ve hidrofilik, hidrofobik, sıvı veya viskoz bir yağ, katı vb. herhangi bir bileşen kapsüllenebilir.

Ancak, sürecin ölçeklendirilmesi çok zordur ve işleme maliyetleri çok yüksektir. Ayrıca, geleneksel olarak üretilen mikrokapsüllerin çoğu (örneğin kalsiyum aljinat boncuklar/mikrokapsüller), suyun ve diğer sıvıların matrisin içine ve dışına hızlı ve kolay bir şekilde difüzyonuna izin veren çok gözenekli olma eğilimindedir. Çapları 0,3 ila 3,0 mm arasında değişen ve aktif biyokütleyi immobilize eden küresel polimer boncuklar, ekstrüzyon veya emülsifikasyon teknikleri kullanılarak, damlacıkların termal (k-carrageenan, gellan, agarose, jelatin) veya iyonotropik (aljinat, kitosan) jelleşmesi ile üretilir. Kabuk genellikle çözünmez ve çekirdek ile tepkimeye girmez; ve uygulamalarına bağlı olarak, sakızlar, proteinler, lipidler ve sentetik polimerlerden yapılabilir (Desai ve Park, 2005). Çekirdek malzemenin kaplanmasını sağlamak için, matris veya kabuk genellikle sıvı (çözelti, süspansiyon veya eritilmiş malzeme) olarak uygulanır; ve çekirdek malzemeyi korumak için oksijen, su, basınç, ısı ve/veya ışığa karşı mükemmel film oluşturma ve bariyer özelliklerine sahip olmalıdır (Shishir vd., 2018) (Çizelge 1).

Çizelge 1. Enkapsülasyonu için kullanılan kaplama materyalleri

Kategori	Kaplama Materyali	Yaygın Kullanılan Metotlar
Karbonhidratlar	Nişasta, maltodekstrin	Sprey kurutma, Ekstrüzyon, dondurarak kurutma, koaservasyon
Selüloz	Karboksimetilselüloz, matil selüloz, etilselüloz, selülozasetat-fitalet	Koaservasyon Sprey Kurutma
Gam	Gam akasya, agar, sodyum aljinat, karragenan	Sprey kurutma Şırınga metodu (jel boncukları)
Lipidler	Vaks, parafin, balmumu, diasilgliseroller, yağlar	Emülsiyon Lipozom
Protein	Gluten, kazein, jelatin, albumin, peptidler	Emülsiyon Sprey kurutma

Kaynak: Desai ve Park, 2005.

Bu sistemlerden bazıları aşağıdaki bölümlerde daha ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

1.1. Probiyotiklerin k-karragenan içinde enkapsülasyonu

Karragenan, deniz makroalglerinden elde edilen ve yaygın olarak gıda katkı maddesi olarak kullanılan doğal bir polisakkarittir. Polimerin %2 ile 5 arasında değişen konsantrasyonlarda çözünmesi için yüksek sıcaklıklara (60-80 C) ihtiyaç vardır (Klein ve Vorlop, 1985). K-karragenanın jelleşmesi genellikle sıcaklıktaki değişime bağlıdır. Hücre bulamacı 40-45 C'de ısı ile sterilize edilmiş karragenan çözeltisine eklenir ve oda sıcaklığına kadar soğutularak jelleşme

gerçekleşir. Boncuklar, polimer ve hücre karışımının bir potasyum klorür (KCl) çözeltisine damlatılmasından sonra oluşur. Audet, Paquin ve Lacroix (1988), KCl'nin *Streptococcus thermophilus* ve *L. bulgaricus* gibi bazı bakteriler üzerindeki inhibitör etkisini rapor etmiştir. Daha sonra, süt ürünlerinde biyokütle üretimi sırasında stabilitelerini artırmak amacıyla LAB'yi kapsüllemek için k-karragenan ve keçiyoynuzu sakızı kombinasyonunu kullanmışlardır (Audet, Paquin ve Lacroix, 1990, 1991). Jel boncuk mukavemeti keçiyoynuzu sakızı gibi başka bir polimer kullanılarak arttırılabilir. Karragenanın keçiyoynuzu sakızına oranının 2:1 olmasının, keçiyoynuzu sakızının galaktomannan zincirlerinin karragenan ile spesifik etkileşimi yoluyla sinerjik etkiler sağladığı ve güçlü jel boncukları oluşturduğu bulunmuştur. Ouellette, Chevalier ve Lacroix (1994) saf bir *B. infantis* kültürünü k-karragenan/keçiyoynuzu sakızı boncuklarına immobilize etmiş ve bu sistemi %1 maya özütü ile desteklenmiş yağsız sütü sürekli olarak ferment etmek için kullanmıştır. Son zamanlarda, Doleyres, Fliss ve Lacroix (2002, 2004) ve Doleyres, Paquin, LeRoy ve Lacroix (2002) probiyotik hücreleri, tekrarlanan partiler ve sürekli kültürler sırasında, karagenan ve keçiyoynuzu sakızı jel boncuklarında iyonotropik jelasyon yöntemiyle immobilize ederek, rekabetçi olmayan bir bifidobakteri suşu ve rekabetçi bir LAB suşu içeren karışık bir laktik kültür üretmişlerdir.

1.2. Probiyotiklerin aljinat sistemlerinde enkapsülasyonu

Aljinat, biyoyumluluğu, maliyet etkinliği, basitliği, toksik olmaması ve iyi bağırsak sindirilebilirliği nedeniyle probiyotiklerin kapsüllenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır (Mortazavian vd., 2007). Ancak aljinatın kullanımı, jelleşmeyi önleyici katyonların (örn. sodyum ve magnezyum iyonları) veya şelatlama maddelerinin (örn. fosfat)

varlığında düşük fiziksel stabilitesi nedeniyle sınırlıdır (Lee vd., 2004; Krasaekoopt vd., 2006). Ayrıca, düşük pH koşulları altında, çapraz bağlı aljinat matrisler aljinat molekülünün bozunmasına ve ardından moleküler ağırlığında azalmaya uğrayarak hapsedilen aktif bileşenlerin daha hızlı salınmasına neden olabilir. Alginik asit deniz yosunlarından elde edilen poliüronik bir asittir ve çeşitli oranlarda 1-4 bağlı β -D-mannuronik ve α -L-guluronik asitlerden oluşur (Mortazavian vd., 2007). Bir kalsiyum çözeltisine sodyum aljinat çözeltisi eklendiğinde, kalsiyum aljinatın çökmesi ve ardından kalsiyum iyonlarının aljinat sistemlerine nüfuz etmesiyle iç kısımda daha kademeli bir jelleşme ile ara yüzey polimerizasyonu anlık olarak gerçekleşir. Boncukların boyutu genellikle polimer çözeltisinin viskozitesine, deliğin çapına ve çıkış ile koagülasyon çözeltisi arasındaki mesafeye bağlıdır (Anal vd., 2003; Anal ve Stevens, 2005). Çeşitli araştırmacılar (Chandramouli, Kailasapathy, Peiris ve Jones, 2004; Lee, Cha ve Park, 2004) aljinat ve CaCl_2 konsantrasyonları, boncukların sertleşme zamanlaması ve probiyotiklerin enkapsülasyonu üzerindeki hücre konsantrasyonları gibi boncuk hazırlamayı etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Kalsiyum klorür (CaCl_2) içinde sodyum aljinat içeren geleneksel kapsülleme yöntemi, bu organizmayı mide sıvısındaki sert asidik koşullardan korumak amacıyla *L. acidophilus*'u kapsüllemek için kullanılmıştır. Çeşitli araştırmalar probiyotik bakterilerin aljinat veya peynir altı suyu proteinleri ile mikroenkapsülasyonunun onları asit stresine karşı koruduğunu, hücrelerin midede hayatta kalmasına ve bağırsaklara iletilmesine izin verdiğini göstermiştir (Gerez vd., 2012; Doherty vd., 2012).

1.3. Probiyotiklerin selüloz asetatftalat (CAP) içinde enkapsülasyonu

İyonize olabilen ftalat grupları nedeniyle, bu selüloz türevi polimer pH 5 ve altındaki asit ortamlarında çözünmez, ancak pH 6'dan yüksek olduğunda çözünür. Buna ek olarak, CAP in vivo olarak uygulandığında fizyolojik olarak inerttir ve bu nedenle bağırsak hedefli dağıtım sistemleri için çekirdek maddelerin salınımı için enterik bir kaplama malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Rao, Shiwnarain ve Maharaj (1989) bir emülsiyon tekniği kullanarak *B. pseudolongum*'un CAP içinde kapsüllendiğini bildirmiştir. Mikrokapsüllenmiş bakteriler asidik ortamda kapsüllenmemiş organizmalara kıyasla daha fazla sayıda (109 cfu/mL) hayatta kalmış ve 1 saat boyunca simüle edilmiş mide ortamına maruz bırakıldıklarında canlılıklarını koruyamamışlardır. Favaro-Trindale ve Grosso (2002) *B. lactis* ve *L. acidophilus*'u püskürtmeli kurutma yöntemi kullanarak CAP polimeri içinde kapsüllemiştir. Bu çalışmada, mikroenkapsüle mikroorganizmaların asit ve yüksek safra tuzu konsantrasyonlarındaki direnci değerlendirilmiştir. *B. lactis* ve *L. acidophilus* içeren spreyle kurutulmuş CAP mikrokapsülleri, insan midesindekine benzer pH değerlerine sahip ortamlara aşılandığında bu mikroorganizmaların her ikisini de korumada etkili olmuştur.

1.4. Probiyotiklerin nişasta içinde kapsüllenmesi

Bir diyet bileşeni olarak nişasta, glikozidik bağlarla birbirine bağlanmış D-glikoz birimlerinden oluşur ve kolorektal kansere karşı koruyucu role sahiptir (Cassidy vd., 1994). Dirençli nişasta, probiyotik bakterilerin kalın bağırsağa ulaşması için korunmasında kullanılmıştır. *L. rhamnosus* ve nişastalı bifidobakterilerin insan gastrointestinal sisteminden geçerken hayatta kaldığı gösterilmiştir (Lian vd., 2003). Hi-Maize

nişastasının dahil edilmesi, nişasta olmadan kapsüllenen bakterilere kıyasla canlı bakterilerin kapsüllenmesini geliştirmiştir (Iyer ve Kailasapathy, 2005; Sultana vd., 2000). Araştırmacılar, laktik asit bakterilerinin (LAB) nişasta (gözenekli yapı elde etmek için enzimatik olarak işlenmiş büyük patates nişastası granülleri) ile kapsüllenmesinin bu organizmaların hayatta kalma kabiliyetini artırabileceğini bulmuşlardır (Mattila-Sandholm vd., 2002) Talwalkar ve Kailasapathy (2003), *L. acidophilus* ve *B. lactis*'in aljinat-nişasta sistemlerinde kapsüllenmesinin (aljinat-nişasta-bakteri karışımının CaCl₂ koagülasyon banyosuna bırakılması) bakterileri oksijen toksisitesinden koruduğunu bildirmiştir. Sultana ve diğerleri, (2000) probiyotik bakterilerin aljinat-nişasta ile kapsüllenmesinin etkilerini simüle edilmiş gastrointestinal koşullarda ve yoğurtlarda değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, kapsüllenmiş *L. acidophilus* ve *Bifidobacterium* spp. kültürlerinin hayatta kalması, 8 haftalık bir süre boyunca canlı sayısında yaklaşık 0,5 log'luk bir düşüş gösterirken, yoğurtlara serbest hücre olarak dahil edilen kültürlerde yaklaşık 1 log'luk bir düşüş olmuştur.

1.5. Probiyotiklerin proteinler içinde kapsüllemesi ve polisakkarit karışımları

Jelatin, kapsülleme için termal olarak tersine çevrilebilir bir jelleştirme maddesi olarak kullanışlıdır. Amfoterik doğası nedeniyle, gellan sakızı gibi anyonik-jel oluşturuca polisakkaritlerle birleştirmek için de mükemmel bir adaydır. Bu hidrokolloidler pH >6'da karışabilir, çünkü her ikisi de net negatif yük taşır ve birbirlerini iterler. Bununla birlikte, pH izoelektrik noktasının altına ayarlandığında jelatinin net yükü pozitif hale gelir ve negatif yüklü jellan sakızı ile güçlü bir etkileşime neden olur (King, 1995). Hyndman, Groboillot, Poncelet, Champagne ve Neufeld (1993), biyokütle üretimi için toluen-2,4-diizosiyanat ile çapraz bağlama yoluyla *Lactobacillus*

lactis'i kapsüllemek için yüksek konsantrasyonlarda jelatin (%24 w/v) kullanmıştır. *Bifidobacterium* hücrelerinin aljinat, pektin ve peynir altı suyu proteinlerinden oluşan karışık bir jel içinde kapsüllemesi araştırılmıştır (Guerin vd., 2003). Sonuç olarak, kapsüllemiş hücreler, simüle edilmiş gastrik pH ve safra solüsyonlarında serbest hücrelerden daha iyi hayatta kalmıştır. Annan vd (2008) aljinat kaplı jelatin mikrokürelerdeki kapsüllemenin probiyotik *B. adolescentis* 15,703 T'nin simüle edilmiş gastrointestinal koşullara maruz kalması sırasında hayatta kalmasını iyileştirdiğini bildirmiştir.

1.6. Probiyotiklerin kitosan içinde enkapsülasyonu

Polisakkarit kitinin N-deasetillenmiş ürünü olan biyopolimer kitosan, benzersiz polimerik katyonik karakteri, iyi biyouyumluluğu, toksik olmaması ve biyolojik olarak parçalanabilirliği nedeniyle gıda ve ilaç alanında önem kazanmaktadır. Kitosan kabuklu deniz hayvanlarının kabuklarından, böcek kütiküllerinden ve mantarların zarlarından izole edilebilir. Kitosanın özellikleri kaynağına göre değişir. Kitin ve kitosan terimleri belirli bileşikler değil, sırasıyla anhidro-N-asetil-D-glukozamin ve anhidro-D-glukozamin monomer kalıntılarını içeren iki tür kopolimeri ifade eder. Kitin, b-(1-4)-2-asetamido-2- deoksi-D glukopiranoz polimeridir ve bakteriyel hücre duvarının ana yapısal polimeri olan selüloz ve mureinden sonra yeryüzünde en bol bulunan organik maddelerden biridir. Yeterli stabiliteyi elde etmek için kitosan jel boncuklar ve mikroküreler polifosfatlar (Anal ve Stevens, 2005) ve sodyum aljinat ile iyonik olarak çapraz bağlanabilir (Anal vd., 2003). Krasaekoopt, Bhandari ve Deeth (2003, 2004), depolama sırasında yoğurt ve UHT ile geleneksel olarak işlenmiş süt içinde kitosan kaplı aljinat boncuklarına kapsüllemiş probiyotiklerin hayatta kalmasını değerlendirdiler. Çalışmaları için model organizmalar olarak *L. acidophilus* 547,

L. casei 01 ve *B. bifidum* 1994 kullandılar. Kaplanmış bakterilerin hayatta kalma oranı, serbest hücrelerin hayatta kalma oranından yaklaşık 1 log daha yüksek olduğu belirlendi. Probiyotik bakterilerin sayısı, depolama süresi boyunca laktobasiller için önerilen terapötik minimumun (10^7 cfu/g) üzerinde tutuldu, ancak bifidobakteriler ise daha düşük olduğu tespit edildi. Lee vd., (2004), benzer bir çalışma gerçekleştirdi ve geleneksel aljinat boncuklarını kaplamak için çeşitli kitosanları (farklı moleküler ağırlıklar) karşılaştırdı. Chitosan aljinat mikropartiküllerinin *L. bulgaricus* KFRI763'ün simüle edilmiş mide asidinde ve simüle edilmiş bağırsak sıvısında hayatta kalması üzerindeki etkilerini ve 4 ve 22 °C'de depolama sırasında stabilitelelerini araştırdılar.

Aljinat mikro parçacıklarına yüklenen probiyotik, bir atomizasyon cihazı kullanarak sodyum aljinat ve hücre kültürü karışımını bir CaCl_2 -kitosan çözeltisine püskürterek hazırlandı. Mikroorganizma mide sıvısına (pH 2.0) 1 saat maruz kaldığında, hiçbirisi hayatta kalmadığı belirlendi. Buna karşılık, püskürtülen parçacıklar kitosan ile kaplandığında etkileyici ve yüksek bir hayatta kalma oranı elde edildi. LAB'nin aljinat ile mikroenkapsülasyonu ve kitosan kaplaması, canlı bakteri hücrelerini kolona ulaştırmanın ve bu hücrelerin buzdolabında saklanırken hayatta kalmalarını sağlamanın etkili bir yöntem olduğu bildirildi.

2. SONUÇ

Mikroenkapsülasyon, bakteri gibi aktif maddelerin koruyucu bir kaplama içine alınmasını içeren çok yönlü bir teknolojidir. Bu teknik gıda, ilaç, tarım ve kozmetik başta olmak üzere farklı sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Mikroenkapsülasyon, yoğurt, sütü içecekler ve fonksiyonel

gıdalar gibi gıda ürünlerinde probiyotik bakterileri korumak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknoloji, işleme ve depolama sırasında probiyotiklerin canlılığını artırarak yeterli sayıda canlı hücrenin gastrointestinal sisteme ulaşmasını sağlar. Sektör yenilikler yapmaya ve mikroenkapsülasyonla ilgili zorlukları ele almaya devam ettikçe, çözümlerin giderek yaygınlaşması ve tüketicilerin daha sağlıklı ve daha işlevsel ürünlere yönelik taleplerini karşılaması açısından önemlidir. Çekirdek malzemelerin korunmasını sağlayan duvar polimer sistemlerin seçimi probiyotiklerin nem, oksijen, ışık ve ısı gibi çevresel faktörlerden korunmasını sağlayarak, probiyotiklerin depolama, taşıma ve gastrointestinal sistemde canlılığını ve salınımını sağlaması açısından önemlidir. Gıda için uygun polimer sistemin seçilmesi besinsel ve duyusal olarak gıdaların bileşimi için gereklidir. Bu konuda çalışmalar son yıllarda önem kazanarak hızla artmaktadır.

3. KAYNAKÇA

- Anal, A. K., & Stevens, W. F. (2005). Chitosan-alginate multilayer beads for controlled release of ampicillin. *International Journal of Pharmaceutics*, 290, 45-54.
- Anal, A. K., Bhopatkar, D., Tokura, S., Tamura, H., & Stevens, W. F. (2003). Chitosan-alginate multilayer beads for gastric passage and controlled intestinal release of protein. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 29, 713-724.
- Annan N.T, Borza A.D, Hansen LT (2008) Encapsulation in alginatecoated gelatin microspheres improves survival of the probiotic *Bifidobacterium adolescentis* 15703T during exposure to simulated gastro-intestinal conditions. *Food Res Int* 41:184–193.
- Audet, P., Paquin, C., & Lacroix, C. (1988). Immobilized growing lactic acid bacteria with k-carrageenan-locust bean gum gel. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 29, 11-18.
- Audet, P., Paquin, C., & Lacroix, C. (1990). Batch fermentations with a mixed culture of lactic acid bacteria immobilized separately in k-carrageenan locust bean gum gel beads. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 32, 662-668.
- Audet, P., Paquin, C., & Lacroix, C. (1991). Effect of medium and temperature of storage on viability of LAB immobilized in k-carrageenan-locust bean gum gel beads. *Biotechnology Techniques*, 5, 307-312
- Braber, N. V., Vergara, L. D., Rossi, Y. E., Aminahuel, C. A., Mauri, A. N., Cavaglieri, L. R., & Montenegro, M. A. (2020). Effect of microencapsulation in whey protein and

water-soluble chitosan derivative on the viability of the probiotic *Kluyveromyces marxianus* VM004 during storage and in simulated gastrointestinal conditions. *LWT*, 118, 108844.

Cassidy, A., Bingham S.A., Cummings J. (1994) Starch intake and colorectal cancer risk: an international comparison. *Br J Cancer* 69:119–125.

Chandramouli, V., Kailasapathy, K., Peiris, P., & Jones, M. (2004). An improved method of microencapsulation and its evaluation to protect *Lactobacillus* spp. in simulated gastric conditions. *Journal of Microbiological Methods*, 56, 27-35.

Desai, K.G.H., Park, J. (2005). Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients, *Drying Technology*. 23 1361-1394.

Doherty., S.B, Auty, M.A, Stanton C, Ross R.P., Fitzgerald G.F., Brodkorb, A. (2012) Survival of entrapped *Lactobacillus rhamnosus* GG in whey protein microbeads during simulated ex vivo gastro-intestinal transit. *Int Dairy J* 22:31–4

Doleyres, Y., Fliss, I., & Lacroix, C. (2004). Continuous production of mixed lactic starters containing probiotics using immobilized cell technology. *Biotechnology Progress*, 20, 145-150.

Doleyres, Y., Paquin, C., LeRoy, M., & Lacroix, C. (2002). *Bifidobacterium longum* ATCC 15707 cell production during free- and immobilized-cell cultures in MRS-whey permeate medium. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 60, 168-173.

- Favaro-Trindale, C.S, Grosso C. (2002) Microencapsulation of *L. acidophilus* (La-05) and *B. lactis* (Bb-12) and evaluation of their survival at the pH values of the stomach and in bile. *J Microencapsul* 19:485–494
- Gerez, C.L, Font de Valdez G, Gigante M.L, Grosso CRF (2012) Whey protein coating bead improves the survival of the probiotic *Lactobacillus rhamnosus* CRL 1505 to low pH. *Lett Appl Microbiol* 54:552–556.
- Giamberini, M., Fernandez Prieto S., B. Tylkowski, B. Microencapsulation, Innovative Applications, DeGruyter, Berlin, 2015.
- Guerin, D., Vuilleumard J.C, Subirade M (2003) Protection of bifidobacteria encapsulated in polysaccharide-protein gel beads against juice and bile. *J Food Prot* 66:2076–2084.
- Hyndman, C.L, Groboillot AF, Poncelet D, Champagne CP, Neufeld R (1993) Microencapsulation of *Lactococcus lactis* within crosslinked gelatin membranes. *J Chem Technol Biotechnol* 56:259–263.
- Iyer, C., Kailasapathy, K. (2005) Effect of co-encapsulation of probiotics with prebiotics on increasing the viability of encapsulated bacteria under in vitro acidic and bile salt conditions and in yogurt. *J Food Sci* 70:18–23.
- Kagami, Y., Sugimura, S., Fujishima, N., Matsuda, K., Kometani, T., & Matsumura, Y. (2003). Oxidative stability, structure, and physical characteristics of microcapsules formed by spray drying of fish oil with protein and dextrin wall materials. *Journal of food science*, 68(7), 2248-2255.

- Klein, J., & Vorlop, D. K. (1985). Immobilization techniques: cells. In C. L. Cooney, & A. E. Humphrey (Eds.), *Comprehensive biotechnology* (pp. 542-550). Oxford, UK: Pergamon Press
- Krasaekoopt, W., Bhandari, B., & Deeth, H. (2003). Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. *International dairy journal*, 13(1), 3-13.
- Krasaekoopt, W., Bhandari, B., & Deeth, H. (2004). The influence of coating materials on some properties of alginate beads and survivability of microencapsulated probiotic bacteria. *International Dairy Journal*, 14, 737-743.
- Krasaekoopt, W., Bhandari, B., & Deeth, H. (2004). The influence of coating materials on some properties of alginate beads and survivability of microencapsulated probiotic bacteria. *International dairy journal*, 14(8), 737-743.
- Krasaekoopt, W., Bhandari, B., & Deeth, H. C. (2006). Survival of probiotics encapsulated in chitosan-coated alginate beads in yoghurt from UHT-and conventionally treated milk during storage. *LWT-Food Science and Technology*, 39(2), 177-183.
- Laokuldilok, N., Thakeow P., Kopermsub P., Utama-ang N (2016) Optimisation of microencapsulation of turmeric extract for mask- ing flavour. *Food Chem* 194:695–704. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.150>
- Lee, J. S., Cha, D. S., & Park, H. J. (2004). Survival of freeze-dried *Lactobacillus bulgaricus* KFRI 673 in chitosan-coated calcium alginate microparticles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 7300-7305

- Li Peng, L. P., & Shen XuanRi, S. X. (2014). Preparation and characterization of ascorbic acid microcapsules based on gelatin extracted from tilapia scale.
- Lian, W.C, Hsiao H.C, Chou CC (2003) Viability of microencapsulated bifidobacteria in simulated gastric juice and bile solution. *Int J Food Microbiol* 86:293–301.
- Liu, Y., McClements, D. J., Chen, X., Zhang, X., Liang, R., Zou, L., & Liu, W. Microencapsulation of Flaxseed Oil Through Gluten Coacervation at the Oil Droplet Surface for Controlling Oil Digestion and Improving Oxidation Stability. *Available at SSRN 4616431*.
- Mattila-Sandholm, T., Myllarinen, P., Crittenden, R.G.M., Fonden, R., Saarela, M. (2002) Technological challenges for future probiotic foods. *Int Dairy J* 12:173–182.
- Mortazavian, A.M, Razavi, S.H, Ehsani, M.R, Sohrabvandi, S., (2007) Principles and methods of microencapsulation of probiotic microorganisms. *Iranian. J Biotechnol* 5:1–18
- Ouellette, V., Chevalier, P., & Lacroix, C. (1994). Continuous fermentation of a supplemented milk with immobilized *Bifidobacterium infantis*. *Biotechnology Techniques*, 8, 45-50
- Peanparkdee, M., Iwamoto, S., & Yamauchi, R. (2016). Microencapsulation: a review of applications in the food and pharmaceutical industries. *Reviews in Agricultural Science*, 4, 56-65.
- Rao, A.V, Shivnarain N, Maharaj I (1989) Survival of microencapsulated *Bifidobacterium pseudolongum* in simulated gastric and intestinal juices. *Can Inst Food Sci Tech J* 22:345–349.

- Shahidi, Han., X.Q.. (1993) Encapsulation of food ingredients, Crit Rev Food Sci Nutr. 33 501-547.
- Shishir MRI, Xie L, Sun C& (2018) Advances in micro and nano-encapsulation of bioactive compounds using biopolymer and lipid-based transporters. Trends Food Sci Technol 78:34–60.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.018>
- Sultana. K., Godward, G., Reynolds, N., Arumugaswamy, R., Peiris, P., Kailasapathy, K. (2000) Encapsulation of probiotic bacteria with alginate-starch and evaluation of survival in simulated gastrointestinal conditions and in yogurt. Int J Food Microbiol 62:47–5.
- Talwalkar, A., Kailasapathy, K. (2003) Effect of microencapsulation on oxygen toxicity in probiotic bacteria. Aust J Dairy Technol 58:36– 39.

GELATIN

Ayşe SEVGİLİ¹

1. INTRODUCTION

1.1. Definition and Sources of Gelatin

The Latin word gelatos, which means "stiff/frozen," is where the term "gelatin" originates (Rather vd., 2022). Only animal tissues contain the unique substance known as gelatin (Said, 2020). The protein known as gelatin, which can be white or yellowish, is made soluble by hydrolyzing collagen found in animal bones, hides, skin, and connective tissue (Hartel vd., 2018; Lu et al., 2022). Gelatin is a high molecular weight polypeptide derived from collagen (Poppe, 1992).

Gelatin has been recognized as an anthropogenic product since very early times (Mikhailov, 2023). The earliest documentation of animal glues dates back to 4000 BC in ancient Egypt. In the following centuries, adhesive substances and rudimentary gelatin extracts with inferior organoleptic properties were produced by boiling fragments of bone and hide, followed by cooling the solution to achieve gelling. In the late seventeenth century, the initial commercial production of gelatin commenced. At the onset of the nineteenth century, advancements in commercial production techniques progressively enhanced the ability to produce high molecular weight collagen extracts that exhibited superior quality compared to traditional gelatin gels (Sebastian, 2024). The ability of gelatins to produce

¹ Lecturer Dr., Gaziantep University, Naci Topçuoğlu Vocational School, Food Processing Department, aysesevgili@gantep.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9579-5074

nonpermanent physical gels at room temperature is well established, alongside their extensive use in various sectors of the food industry (Joly-Duhamel et al., 2002).

There are generally three sources of gelatin: mammalian gelatin, fish gelatin and insect gelatin. Mammalian gelatins (porcine and bovine), are the most popular and widely used. Fish gelatin is derived from the skin and skeletal remains of fish. Notably, the byproducts generated during the fish filleting process can represent up to 75% of the overall weight of the catch. *Aspongopus viduatus* (melon bug) and *Agonoscelis pubescens* (sorghum bug), commonly known in Sudan as Umbugga and Dura andat, respectively. In certain regions of Sudan, the harvested insects were processed to extract oil, which was subsequently utilized for culinary purposes as well as for various medicinal applications (Mariod & Adam, 2013).

There are commercially two different types of gelatin that can be produced by manipulating the processing conditions: Type A and Type B as seen in Figure 1 (Noor vd., 2021). The production of Type A gelatin involves an acid pretreatment conducted before the extraction phase. This approach has a negligible effect on the amide groups of glutamine and asparagine, and it yields a molecular distribution profile that is more homogeneous, featuring increased levels of low molecular weight fractions. On the other hand, the extraction of type B gelatin involves an alkaline treatment that induces the hydrolysis of asparagine and glutamine, converting them into aspartate and glutamate, respectively. Different from type A, it has higher proportions of high molecular weight chains (Rigueto vd., 2021).

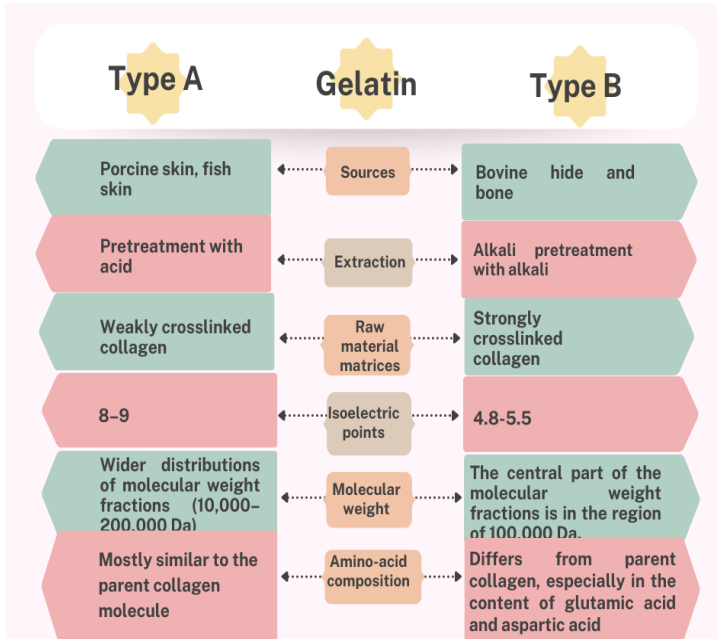


Figure 1. Types of gelatin

- Gelatin possesses a range of unique characteristics that are challenging to replicate with other hydrocolloids. Consequently, an optimal substitute for gelatin should ideally exhibit all or a subset of the following attributes:
- “Melt-in-the-mouth” property: Gelatin's physical attributes, particularly its melting point, which occurs slightly below the physiological temperature of the human body, create a notable "melt-in-mouth" sensation that enhances the release of flavors and aromas (Karim & Bhad, 2008). When subjected to temperatures ranging from 30°C to 40°C, the gel undergoes a conversion to a solution, resulting in the tendency of gelatin gels to melt upon contact with the mouth (Mariod & Adam, 2013).

- Thermally reversible gel: Gelatin creates thermally reversible gels in the presence of water, with a gel-melting temperature that is lower than body temperature (less than 35°C). This characteristic imparts distinctive organoleptic properties and enhances flavor release in gelatin-based products (Baziwane & He, 2003).
- The surface activity: The formation of surface-active gelatin occurred via the covalent linkage of hydrophobic groups to the gelatin molecules (Toledone & Magdassi, 1997).
- Versatile, multi-functional hydrocolloid: Gelatin is regarded as one of the most versatile hydrocolloids utilized within the food industry. Gelatin is characterized by its multifunctionality, serving as a gelling, thickening, water-binding, emulsifying, foaming, and film-forming agent. This unique combination of properties is unmatched by any other single hydrocolloid (Karim & Bhat, 2008).
- Tailor-made application: The presence of gelatin in multiple sizes and varying gel strengths facilitates its application in more specific contexts (such as 100, 150, 200, 250, 300 bloom).
- Gelatin is easy to used: The fact that gelatin does not require any substance for gelation makes it easy to use.

1.2. Gelatin Production Process

Gelatin is recognized as one of the most adaptable biopolymers, finding extensive use across various sectors, including food, confectionery, pharmaceuticals, cosmetics, and

technical applications. This is additionally demonstrated by the fact that more than 300,000 metric tonnes of gelatin are produced globally each year (Haug and Draget, 2009). The global production of gelatin is predominantly concentrated in Europe and America, which account for 78% of the total output, while the remaining 22% is produced in countries such as China, India, Russia, and Pakistan. In the production of gelatin, the raw materials are sourced from 55% porcine origins and 45% from bovine and fish sources. The Gelatin Manufacturers Institute of America (2019) reports that the distribution of gelatin usage is as follows: 63% is allocated to the food industry, 31% is utilized in the medical field, and 6% is applied in technical or other sectors. Additionally, from a marketing perspective, the kosher or halal certification serves as the principal criterion in a market that is sensitive to the use of mammalian gelatin (Alipal et. al., 2021).

Gelatin is not a protein that is found in nature (Jones, 2004). Figure 2 demonstrates that the manufacturing of gelatin is comprised of three essential phases. The initial phase involves the elimination of all contaminants, minerals, and substances that do not contain collagen. The subsequent phase involves conducting hydrolysis to transform collagen into gelatin, followed by the final phase of isolating the resultant product, which is gelatin (Noor et al., 2021). These steps:

- Pre-treatment (remove all impurities): The initial treatment phase is crucial for conditioning the collagenous matrices prior to hot-water hydrolysis, a process referred to as 'swelling' (Noor et al., 2021).
- Extraction (perform hydrolysis to convert the collagen into gelatin): The extraction phase, during which the expanded materials undergo hot-water

denaturation, requires careful oversight to ensure the release of gelatin that meets the desired specifications (Noor et al., 2021).

- Recovery (recover the final product): The extracts obtained are subsequently gathered and refined through a series of processes that include sequential filtration, clarification, deionisation, and drying (Noor et al., 2021).

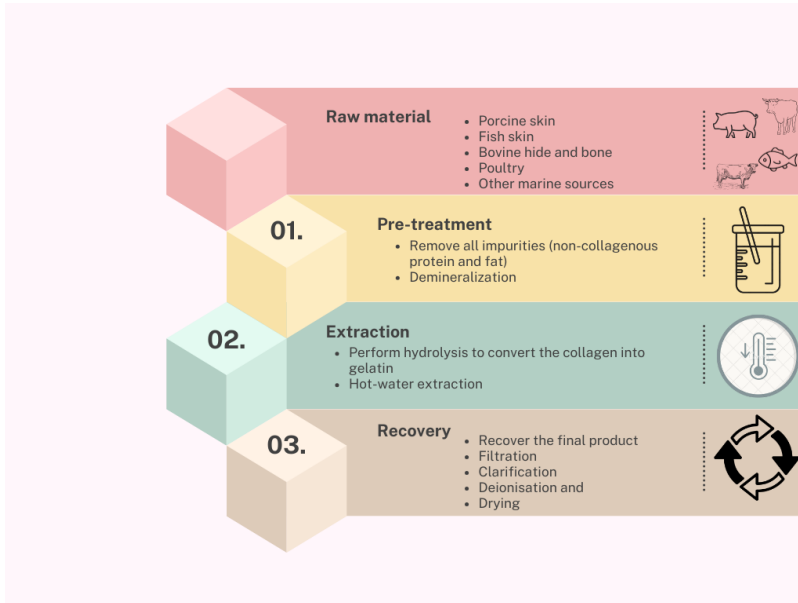


Figure 2. The procedure involved in conversion collagen into gelatin

1.3. Physical and Chemical Properties of Gelatin

Gelatin is made up of a combination of proteins, peptides, and nucleic acids (Hameed et al., 2018). The gelatin is composed of 18 distinct varieties of complex amino acids (Alipal vd., 2021). The composition of gelatin includes about

88% protein, 10% moisture, and a small percentage of salts, ranging from 1 to 2%. When assessed on a dry-weight basis, the protein concentration ranges from 98% to 99% (Rather et al., 2022).

Amino acid composition of gelatin shows in Table 2 the presence of amino acids from 0.2% tyrosine to 30.05% glycine. The five most common amino acids are glycine: 26.4-30.5%; proline: 14.8-18%; hydroxyproline 13.3-14.5%; glutamic acid: 11.1-11.7%; and alanine: 8.6-11.3%. The residual amino acids arranged from highest to lowest are arginine, aspartic acid, lysine, serine, leucine, valine, phenylamine, threonine, isoleucine, hydroxylysine, histidine, methionine and tyrosine (Sebastian, 2014).

Table 2. Amino acid composition of gelatin

Amino acid	Content (%)
Glycine	26.4-30.5
Proline	14.8-18
Hydroxyproline	13.3-14.5
Glutamic acid	11.1-11.7
Alanine	8.6-11.3

Investigations into the chemical composition of gelatin have indicated that it contains approximately 1% sugar. The specific types, characteristics, and quantities of sugars reported differ among various researchers, influenced by the gelatin's source and the analytical techniques employed. The sugars identified include galactose, glucose, mannose, lactose, and xylose (Djagny et al., 2001).

1.4. Gelatin Applications in the Food Industry

The food industry extensively employs gelatin as an ingredient, owing to its remarkable functional and technological properties (Ratnasari et al., 2013). In the context of the food industry, gelatin is one of the water-soluble polymer utilized for its properties as a gelling, thickening, or stabilizing agent (Baziane & He, 2003). Food applications (Ahmad et al., 2023):

- Muscle foods
- Dairy products
- Confectionary and desserts
- Beverages
- Bakery products

The bloom strength is a key factor in determining the grade of gelatine. In commercial, gelatines are available with bloom strengths ranging from 50 to 300. Various gel strengths are suited for specific applications. For instance, Type B gelatine, which has a gel strength between 125 and 250, is frequently utilized in confectionery products. Conversely, Type A gelatine, characterized by a lower gel strength of 70 to 90, is often employed in the fining processes of wine and juice (Mariod & Adam, 2013). It is possible to substitute a gelatin of one bloom strength with another gelatin that possesses a different bloom strength, thereby achieving equivalent gel firmness through the adjustment of gelatin concentration as seen in Table 3 (Hartel et al., 2018).

Table 3. The varying concentrations of gelatin with distinct inherent bloom strengths can be adjusted to produce a gel that exhibits a uniform bloom strength

Bloom	100	150	200	250	300
100	1	0.80	0.68	0.58	0.51
150	1.25	1	0.85	0.73	0.64
200	1.47	1.17	1	0.87	0.76
250	1.69	1.33	1.16	1	0.88
300	1.90	1.45	1.32	1.13	1

Kaynak: Hartel vd., 2018.

Gelatin serves a significant role in food packaging, offering various advantages. The functional use of gelatin-based edible composite films in food preservation includes minimizing weight loss, preserving nutrients and color, delaying browning, prolonging shelf life, and inhibiting microbial growth (Lu et al., 2022).

1.5. Gelatin Alternatives

Gelatin serves various functional purposes in the processing and formulation of food products. Several alternatives to gelatin that have been proposed for the food industry are polysaccharides, which create gels via cation-induced junction zones. Substances like gellan, alginate, and carrageenan-derived gels do not demonstrate the unique melt-set attributes that are typically found in gelatin. Polysaccharide-based alternatives to gelatin typically exhibit molecular backbones that are less flexible, resulting in higher viscosities when compared to gelatin (Karim & Bhat, 2008).

Alternative sources:

- Animal-based gelatin: Gelatin derived from animals is primarily sourced from pigs and cattle, although it can also be extracted from fish and poultry. The extensive utilization of pigs and cows in the production of gelatin is primarily due to the economic advantages they offer (Elyasi et al., 2020).
- Plant-based gelatin: The use of plant-based gelatin alternatives presents multiple benefits, including their acceptance as halal and their contribution to environmental sustainability by potentially decreasing carbon footprints (Mahamud et al., 2023).
- Aquatic animal-derived gelatin: Fish gelatin is obtained from the collagen-rich elements found in fish, including scales, skin, and bones. The methods used to extract gelatin from these fish sources are adapted to the specific qualities of fish collagen. This gelatin type is distinguished by its significant gel strength, minimal viscosity, and enhanced solubility, making it well-suited for a variety of applications (Reza & Annissa, 2023).
- Microbial and fungal sources: Microorganisms, such as bacteria and yeast, can be genetically modified to synthesize gelatin-like proteins via fermentation techniques. Xanthan gum, a hydrocolloid, is produced by the bacterium *Xanthomonas campestris*. Its applications include the formulation of frozen dairy desserts and jellies for food 3D printing (Mahamud et al., 2023).
- Synthetic and recombinant gelatins: Synthetic and recombinant gelatins are obtained from polypeptides

and the yeast *Komagataella phaffii*, which was formerly referred to as *Pichia pastoris* (Mahamud et al., 2023).

1.6. Gelatin and Innovative Food Technologies

Innovations in the food industry are made possible by new food technology (Siegrist, 2008). In the food industry, innovation encompasses both technological breakthroughs and advancements in social and cultural dimensions (Earle, 1997). Gelatin is used in the production of innovative food products and studies have been conducted on this. For example, according to Ramos et al., (2016), the application of gelatin-based edible films and coatings offers an innovative approach to the development of new food packaging materials. Instances of additional research regarding the application of gelatin in the development of innovative food products:

- **Using gelatin with 3D printing:** 3D printing is a manufacturing technique with great potential as it allows three-dimensional objects to be created layer by layer, with complete freedom in form and design (Herrada-Manchón et al., 2020). When we look at the literature, we see the use of gelatin with 3D printing in medicines, tablets and gummy candies.

Table 4. Some studies on the use of gelatin in 3D printing

Product	Methods	Gelling agents	References
Gummy oral dosages	Syringe-based extrusion 3D printing	Gelatin (from porcine skin)	(Herrada-Manchón et al., 2020)
Gummy drug formulations	Semi-solid extrusion	Gelatin	(Tagami et al., 2021)
Gummy candies	-	k-carrageenan	(Qiu et al., 2024)
Metformin paediatric gummies	Semi-solid extrusion	Gelatin, xanthan gum, and agar-agar	(antamaria et al., 2024)
Gummy chewable tablets	Semi-solid extrusion	Gelatin and carrageenan	(Zhu et al., 2022)
Isoniazid-Pyridoxine-loaded gummies	Semi-solid extrusion	Gelatin (from porcine skin)	(Holkunde, 2024) (Master's Thesis)
Children starch gummies with precise and special shape	-	Corn starch	(Niu et al., 2023)
Hybrid hydrogels	Self-built extrusion-based	Gelatin (Type B) and alginate	(Kuo et al., 2021)
Pellets and gummies	Semi-solid extrusion	Gelatin	(Rouaz-El Hajoui et al., 2023)

- **Gelatin in functional foods:** Gelatin is classified as a polyampholyte, possessing both positive and negative charges, and it is characterized as an amphiphilic molecule that includes both hydrophilic and hydrophobic groups. Consequently, gelatin can engage with biopolymers that carry opposite charges or can adsorb at the interface between oil and water. This characteristic positions gelatin as a flexible

encapsulating agent suitable for the development of various nanocarriers (Tan et al., 2023). Tan et al., (2023) were studied gelatin functions as a bioactive nanodelivery mechanism for the purposes of functional food utilization. As noted Tan et al., there has been a notable expansion in the area of gelatin-based nanocarriers in recent years. Another study on gelatin as an innovative food was done by Li et al., (2009). This study is related to the encapsulation of probiotic bacteria using alginate and gelatin, along with an examination of its properties.

- **Gelatin and sustainability in the food industry:** There has been a growing interest in the development and potential use of biodegradable films for food packaging as substitutes for conventional food packaging polymers. This trend is driven by their sustainable attributes, diverse and plentiful sources, compostability, positive environmental image, and compatibility with food items. Gelatin is one such material that has gained prominence, serving as a unique and frequently employed hydrocolloid in the food sector, owing to its inherent qualities, which may facilitate a broad spectrum of additional and innovative industrial applications (Hanani et al., 2014). Gelatin is one of the primary biopolymers utilized in the production of biodegradable films (Rigueto et al., 2022).

2. REFERENCES

- Ahmad, M. I., Li, Y., Pan, J., Liu, F., Dai, H., Fu, Y., & Zhang, H. (2023). Collagen and gelatin: Structure, properties, and applications in food industry. *International Journal of Biological Macromolecules*, 128037.
- Alipal, J., Mohd Pu'ad, N. A. S., Lee, T. C., Nayan, N. H. M., Sahari, N., Basri, H., Idris, M. I., & Abdullah, H. Z. (2021). A review of gelatin: Properties, sources, process, applications, and commercialisation. *Materials Today: Proceedings*, 42, 240-250. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.922>.
- Alipal, J., Pu'Ad, N. M., Lee, T. C., Nayan, N. H. M., Sahari, N., Basri, H., & Abdullah, H. Z. (2021). A review of gelatin: Properties, sources, process, applications, and commercialisation. *Materials Today: Proceedings*, 42, 240-250.
- Baziwane, D., & He, Q. (2003). Gelatin: the paramount food additive. *Food Reviews International*, 19(4), 423-435.
- Djagny, K. B., Wang, Z., & Xu, S. (2001). Gelatin: A Valuable Protein for Food and Pharmaceutical Industries: Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 41(6), 481-492. <https://doi.org/10.1080/20014091091904>.
- Earle, M. D. (1997). Innovation in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 8(5), 166-175.
- Elyasi, H., Rahimi, H., & Sepahvend, A. (2020). Gelatin: advantages and disadvantages of gelatin from plant and animal sources. *Plant Biotechnology Persa*, 2(1), 35-41.

- Hameed, A. M., Asiyanbi-H, T., Idris, M., Fadzillah, N., & Mirghani, M. E. S. (2018). A review of gelatin source authentication methods. *Tropical life sciences research*, 29(2), 213.
- Hanani, Z. N., Roos, Y. H., & Kerry, J. P. (2014). Use and application of gelatin as potential biodegradable packaging materials for food products. *International journal of biological macromolecules*, 71, 94-102.
- Hartel, R. W., Von Elbe, J. H., & Hofberger, R. (2018). *Confectionery Science and Technology*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61742-8>.
- Haug, I. J., & Draget, K. I. (2009). Gelatin. In *Handbook of hydrocolloids* (pp. 142-163). Woodhead Publishing.
- Herrada-Manchón, H., Rodríguez-González, D., Fernández, M. A., Suñé-Pou, M., Pérez-Lozano, P., García-Montoya, E., & Aguilar, E. (2020). 3D printed gummies: Personalized drug dosage in a safe and appealing way. *International Journal of Pharmaceutics*, 587, 119687.
- Holkunde, A. (2024). *Formulation Development and Characterization of Isoniazid-Pyridoxine Combination Gummies Using an Extrusion-Based 3D Printer* (Master's thesis, The University of Mississippi).
- Joly-Duhamel, C., Hellio, D., & Djabourov, M. (2002). All gelatin networks: 1. Biodiversity and physical chemistry. *Langmuir*, 18(19), 7208-7217.
- Jones, R. T. (2004). Gelatin: manufacture and physico chemical. *Pharmaceutical capsules*.

- Karim, A. A., & Bhat, R. (2008). Gelatin alternatives for the food industry: recent developments, challenges and prospects. *Trends in food science & technology*, 19(12), 644-656.
- Karim, A. A., & Bhat, R. (2008). Gelatin alternatives for the food industry: Recent developments, challenges and prospects. *Trends in Food Science & Technology*, 19(12), 644-656. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.08.001>.
- Kuo, C. C., Qin, H., Cheng, Y., Jiang, X., & Shi, X. (2021). An integrated manufacturing strategy to fabricate delivery system using gelatin/alginate hybrid hydrogels: 3D printing and freeze-drying. *Food Hydrocolloids*, 111, 106262.
- Li, X. Y., Chen, X. G., Cha, D. S., Park, H. J., & Liu, C. S. (2009). Microencapsulation of a probiotic bacteria with alginate–gelatin and its properties. *Journal of microencapsulation*, 26(4), 315-324.
- Lu, Y., Luo, Q., Chu, Y., Tao, N., Deng, S., Wang, L., & Li, L. (2022). Application of gelatin in food packaging: A review. *Polymers*, 14(3), 436.
- Mahamud, N., Santiworakun, N. Y., Chaovasuteeranon, S., & Boonmalert, F. (2023). Halal Alternative Sources of Gelatin: A Review. *Journal of Halal Science, Industry, and Business*, 1(2), 43-56.
- Mariod, A. A., & Fadul, H. (2013). Gelatin, source, extraction and industrial applications. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 12(2), 135-147.
- Mariod, A. A., & Fadul, H. (2013). Gelatin, source, extraction and industrial applications. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 12(2), 135-147.

- Mikhailov, O. V. (2023). Gelatin as It Is: History and Modernity. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(4), 3583. <https://doi.org/10.3390/ijms24043583>.
- Niu, D., Zhang, M., Tang, T., Mujumdar, A. S., & Li, J. (2023). Investigation of 3D printing of children starch gummies with precise and special shape based on change of model parameters. *Journal of Food Engineering*, 356, 111568.
- Noor, N. Q. I. M., Razali, R. S., Ismail, N. K., Ramli, R. A., Razali, U. H. M., Bahaiddin, A. R., Zaharudin, N., Rozzamri, A., Bakar, J., & Shaarani, S. Md. (2021). Application of Green Technology in Gelatin Extraction: A Review. *Processes*, 9(12), 2227. <https://doi.org/10.3390/pr9122227>.
- Poppe, J. (1992). Gelatin. In *Thickening and gelling agents for food* (pp. 98-123). Boston, MA: Springer US.
- Qiu, L., Zhang, M., Ghazal, A. F., Chu, Z., & Luo, Z. (2024). Development of 3D printed k-carrageenan-based gummy candies modified by fenugreek gum: Correlating 3D printing performance with sol-gel transition. *International Journal of Biological Macromolecules*, 265, 130865.
- Ramos, M., Valdés, A., Beltrán, A., & Garrigós, M. C. (2016). Gelatin-based films and coatings for food packaging applications. *Coatings*, 6(4), 41.
- Rather, J. A., Akhter, N., Ashraf, Q. S., Mir, S. A., Makroo, H. A., Majid, D., Barba, F. J., Khaneghah, A. M., & Dar, B. N. (2022). A comprehensive review on gelatin: Understanding impact of the sources, extraction methods, and modifications on potential packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 34, 100945. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100945>.

- Ratnasari, I., Yuwono, S. S., Nusyam, H., & Widjanarko, S. B. (2013). Extraction and characterization of gelatin from different fresh water fishes as alternative sources of gelatin. *International Food Research Journal*, 20(6).
- Reza, M., & Annissa, D. (2023). Fish-based gelatin: exploring a sustainable and halal alternative. *Journal of Halal Science and Research*, 4(2), 55-67.
- Rigueto, C. V. T., Nazari, M. T., Massuda, L. Á., Ostwald, B. E. P., Piccin, J. S., & Dettmer, A. (2021). Production and environmental applications of gelatin-based composite adsorbents for contaminants removal: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(3), 2465-2486. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01184-0>.
- Rigueto, C. V. T., Rosseto, M., Loss, R. A., Richards, N. S. P. D. S., Dettmer, A., & Pizzutti, I. R. (2022). Gelatin-based polymeric films for applications in food packaging: an overview of advances, challenges, and perspectives. *Ciência Rural*, 53(2), e20210679.
- Rouaz-El Hajoui, K., Herrada-Manchón, H., Rodríguez-González, D., Fernández, M. A., Aguilar, E., Suné-Pou, M., & García-Montoya, E. (2023). Pellets and gummies: Seeking a 3D printed gastro-resistant omeprazole dosage for paediatric administration. *International Journal of Pharmaceutics*, 643, 123289.
- Said, M. I. (2020). Role and function of gelatin in the development of the food and non-food industry: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 492(1), 012086. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/492/1/012086>.

- Santamaría, K. J., Anaya, B. J., Lalatsa, A., González-Barranco, P., Cantú-Cárdenas, L., & Serrano, D. R. (2024). Engineering 3D printed gummies loaded with metformin for paediatric use. *Gels*, 10(10), 620.
- Sebastian, M. (2014). Industrial gelatin manufacture–theory and practice.
- Siegrist, M. (2008). Factors influencing public acceptance of innovative food technologies and products. *Trends in Food Science & Technology*, 19(11), 603-608.
- Tagami, T., Ito, E., Kida, R., Hirose, K., Noda, T., & Ozeki, T. (2021). 3D printing of gummy drug formulations composed of gelatin and an HPMC-based hydrogel for pediatric use. *International Journal of Pharmaceutics*, 594, 120118.
- Tan, Y., Zi, Y., Peng, J., Shi, C., Zheng, Y., & Zhong, J. (2023). Gelatin as a bioactive nanodelivery system for functional food applications. *Food Chemistry*, 423, 136265.
- Toledano, O., & Magdassi, S. (1997). Formation of surface active gelatin by covalent attachment of hydrophobic chains. *Journal of colloid and interface science*, 193(2), 172-177.
- Zhu, C., Tian, Y., Zhang, E., Gao, X., Zhang, H., Liu, N., & Zheng, A. (2022). Semisolid extrusion 3D printing of propranolol hydrochloride gummy chewable tablets: an innovative approach to prepare personalized medicine for pediatrics. *AAPS PharmSciTech*, 23(5), 166.

GIDALARDA JELATİN KULLANIMI

Dilek BÜYÜKBEŞE YAYLA²

1. GİRİŞ

Jelatin, gıda endüstrisinde geniş uygulama alanına sahip, jelleştirici, kıvam artırıcı, emülsifiye edici ve stabilizatör özellikleriyle öne çıkan bir biyopolimerdir (Karim & Bhat, 2009). Kolajenin kısmi hidrolizi sonucu elde edilen bu protein bazlı madde, gıda ürünlerinin doku, stabilite ve duyuşsal özelliklerini iyileştirme potansiyeli sayesinde kritik bir role sahiptir (Gómez-Guillén vd., 2011). Şekerlemeler, süt ürünleri, et ürünleri ve içecekler gibi çeşitli ürünlerde kullanım alanı bulmaktadır.

Jelatinin gıda endüstrisindeki önemi yalnızca teknolojik işlevselliğiyle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda besleyici değeri ile de öne çıkmaktadır. Yüksek protein içeriği ve kolay sindirilebilir yapısı sayesinde özellikle düşük kalorili ve protein açısından zengin gıda formülasyonlarında tercih edilmektedir (Schrieber & Gareis, 2007). Bununla birlikte, jelatinin kaynağı ve üretim yöntemi, elde edilen ürünün özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Geleneksel olarak sığır, domuz ve balık gibi hayvansal kaynaklardan elde edilen jelatine ek olarak, son yıllarda bitkisel alternatiflere olan ilgi artış göstermektedir (Mariod & Adam, 2013). Jelatinin fizikokimyasal özellikleri, gıda uygulamalarındaki performansı üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Jel kuvveti (Bloom değeri), viskozite, erime noktası ve jelleşme sıcaklığı gibi parametreler, jelatinin

² Dr. Öğr. Üyesi, Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, buyukbese@gantep.edu.tr, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2344-8663>.

kalitesini ve uygunluğunu belirlemektedir (Muyonga vd., 2004). Bu özellikler, jelatinin amino asit kompozisyonu ve moleküler ağırlık dağılımı gibi yapısal faktörlerden etkilenir. Örneğin, balık jelatininin düşük erime sıcaklığı, soğuk ortamlarda jelleşme gerektiren uygulamalarda avantaj sağlarken, memeli jelatinlerinin yüksek jel kuvveti, şekerleme üretiminde daha uygun bir tercih olarak değerlendirilmektedir (Alfaro vd., 2015).

Gıda güvenliği ve kalite kontrolü açısından, jelatinin karakterizasyonu ve standartlaştırılması önemli bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Reolojik ölçümler, termal analiz teknikleri ve spektroskopik yöntemler, jelatinin fonksiyonel özelliklerini ve kalitesini değerlendirmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Gilsenan & Ross-Murphy, 2000). Ayrıca, jelatinin alerjenite potansiyeli ve dini/kültürel kısıtlamalar nedeniyle kaynağının doğru bir şekilde tanımlanması ve etiketlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, analitik yöntemlerin geliştirilmesi ve uygulanması, jelatinin güvenli ve etik kullanımını sağlamak açısından kritik bir öneme sahiptir (Nur Hanani vd., 2014). Gelecekte, jelatinin gıda uygulamalarındaki kullanımının daha da genişlemesi öngörülmektedir. Nanoteknoloji ve biyoteknoloji alanında kaydedilen gelişmeler, jelatinin fonksiyonel özelliklerinin iyileştirilmesine ve yeni uygulama alanlarının keşfine olanak sağlamaktadır (Gómez-Estaca vd., 2009). Buna ek olarak, sürdürülebilir ve çevre dostu üretim tekniklerine yönelik artan talep, alternatif jelatin kaynaklarının ve yenilikçi üretim yöntemlerinin araştırılmasını teşvik etmektedir.

2. JELATİN BİYOKAYNAK KARAKTERİZASYONU

Jelatin eldesinde en sık tercih edilenler sığır derisi ve kemiği, domuz derisi ve balık atıklarıdır (Karim & Bhat, 2009). Sığır ve domuz kaynaklı jelatinler, yüksek jel kuvveti ve termal stabilite gibi özellikleri sayesinde gıda uygulamalarında öncelikli olarak kullanılmaktadır. Ancak dini ve kültürel kısıtlamalar ile sağlık endişeleri, alternatif kaynakların araştırılmasını gerekli kılmaktadır (Gómez-Guillén vd., 2011). Balık jelatini, son yıllarda önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Balık derisi, pulları ve kemikleri gibi atık ürünlerden elde edilen jelatin, düşük erime sıcaklığı ve benzersiz reolojik özellikleri sayesinde özellikle soğuk ortamlarda jelleşme gerektiren uygulamalarda avantaj sağlamaktadır (Alfaro vd., 2015). Balık jelatininin amino asit kompozisyonu, memeli jelatinlerinden farklılık göstermekte ve genellikle daha düşük prolin ve hidroksprolin içermektedir. Bu durum, balık jelatininin jel kuvveti ve termal stabilitesini azaltmaktadır (Muyonga vd., 2004). Jelatinin karakterizasyonunda fizikokimyasal özellikler önemli bir yer tutmaktadır. Jel kuvveti (Bloom değeri), amino asit kompozisyonu, moleküler ağırlık dağılımı, izoelektrik noktası (pI), termal ve reolojik özellikleri jelatinin yapısıyla ilgili temel bilgi eldesini sağlayabilmektedir.

Jel kuvveti (Bloom değeri), jelatinin kalite göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir ve oluşturulan jelin sertliğini ifade etmektedir. Yüksek Bloom değerine sahip jelatinler genellikle şekerleme ve kapsül üretiminde tercih edilirken, düşük Bloom değerli jelatinler emülsifiye edici ve köpük stabilize edici özellikleri nedeniyle kullanılmaktadır (Schrieber & Gareis, 2007). Jelatinin amino asit kompozisyonu, fonksiyonel özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Prolin ve hidroksprolin içeriği, jel oluşturma kabiliyeti ve termal stabilite

üzerinde belirleyici bir etki göstermektedir. Memeli jelatinlerinde bu oran genellikle %20-25 arasında iken, balık jelatinlerinde %15-20 civarındadır. Bu farklılık, balık jelatininin daha düşük jelleşme sıcaklığı ve erime noktasına sahip olmasına yol açmaktadır (Gómez-Guillén vd., 2011). Jelatinin moleküler ağırlık dağılımı da önemli bir karakterizasyon parametresidir. Yüksek moleküler ağırlıklı fraksiyonlar, daha güçlü jeller oluşturma eğilimindedir. Jel elektroforezi ve boyut dışlama kromatografisi gibi teknikler, moleküler ağırlık dağılımını belirlemede kullanılmaktadır (Mariod & Adam, 2013). Jelatin moleküllerinin üçlü sarmal yapısı ise dairesel dikroizm spektroskopisi aracılığıyla karakterize edilebilmektedir. Jelatinin izoelektrik noktası (pI), çözünürlük ve emülsifiye edici özellikler üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Tip A jelatin, asit işlemleriyle üretildiğinde 7-9 arasında bir izoelektrik noktasına sahipken, alkali işlemlerle üretilen Tip B jelatin için bu değer 4.8-5.2 arasında değişmektedir (Schrieber & Gareis, 2007). Termal analiz teknikleri de, jelatinin erime sıcaklığı, termal stabilitesi ve bozunma özellikleri hakkında bilgi sağlamaktadır. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve termogravimetrik analiz (TGA), jelatinin termal davranışını değerlendirmede kullanılan başlıca tekniklerdir (Nur Hanani vd., 2014). Reolojik özellikler ise jelatinin gıda uygulamalarındaki performansını belirlemektedir. Dinamik reolojik testler, viskoelastik davranışın karakterize edilmesini sağlar. Depolama modülü (G') ve kayıp modülü (G'') ölçümleri, jel kuvveti ve jelleşme kinetiği hakkında önemli veriler sunmaktadır (Gilsenan & Ross-Murphy, 2000). Jelatinin biyolojik kaynaklarının ve fizikokimyasal özelliklerinin kapsamlı bir şekilde karakterize edilmesi, gıda endüstrisinde ürün geliştirme ve kalite kontrol açısından kritik bir rol oynamaktadır.

3. JELATİN KAYNAKLARINA ALTERNATİF

Jelatinler, gıda endüstrisinde kıvam artırıcı, jelleştirici ve stabilizatör olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Genel olarak ifade edilen jelatinler, hayvansal kaynaklı olup, kolajenin asit veya alkali hidrolizi sonucu elde edilmektedir. (Karim & Bhat, 2009; Gómez-Guillén vd., 2011). Domuz derisi, sığır derisi ve kemikleri gibi yan ürünlerden üretilmektedir ve yüksek protein içeriği ile dikkat çekmektedir. Termal geri dönüşümlü jelleşme özelliği sayesinde, gıda ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekerlemelerde ağızda erime hissi yaratması ve sütlü tatlılarda pürüzsüz bir yapı sağlaması, bu jelatin türünün tercih edilme nedenleri arasındadır (Schrieber & Gareis, 2007). Bununla birlikte, dini ve etik hassasiyetler, belirli tüketici gruplarında hayvansal kaynaklı jelatinlerin kullanılmasını sınırlamaktadır (Mariod & Adam, 2013). Bu nedenle son yıllarda “vejeteryan jelatin” olarakta isimlendirilen bitkisel kaynaklı jelatinlere olan talep artmaktadır. Hayvansal ve bitkisel kaynaklı jelatinler, üretim kaynakları, kimyasal yapıları ve fonksiyonel özellikleri bakımından belirgin farklılıklar göstermektedir. Hayvansal jelatin, kolajenin asit veya alkali hidrolizi sonucu elde edilmekteyken, bitkisel jelatin olarak tanımlanan maddeler genellikle deniz yosunlarından türetilen agar-agar, karragenan ve meyve-sebzelerden elde edilen pektin gibi hidrokolloidlerdir (Karim & Bhat, 2008; Gómez-Guillén vd., 2011). Agar-agar, kırmızı deniz yosunlarından elde edilen bir jelleştirici olarak öne çıkmakta ve yüksek jelleşme sıcaklığı ile sert jel yapısı ile karakterize edilmektedir. Bu özellikleri nedeniyle reçel, marmelat ve tatlılarda kullanımı yaygındır (Saha & Bhattacharya, 2010). Karragenan, özellikle sütlü tatlılar ve dondurma gibi ürünlerde kıvam artırıcı olarak işlev görmektedir; pektin ise meyve bazlı ürünlerde jelleştirici özellikleriyle dikkat çekmektedir (Imeson, 2010).

Hayvansal ve bitkisel jelatinler arasındaki en önemli farklılıklardan biri, jelleşme mekanizmalarıdır. Hayvansal jelatinler termal olarak geri dönüşümlü bir yapıya sahipken, bitkisel kaynaklı jelleştiriciler çoğunlukla termal olarak geri dönüşümsüzdür. Örneğin, agar-agar soğutulduktan sonra tekrar ısıtıldığında çözünmezken, hayvansal jelatin bu özelliği gösterebilmektedir (Gilsenan & Ross-Murphy, 2000). Bu durum, hayvansal jelatinlerin daha esnek kullanım olanakları sunmasını sağlamaktadır. Fonksiyonel özellikler açısından değerlendirildiğinde, hayvansal jelatinlerin su bağlama kapasitesi oldukça yüksektir. Bu özellik, et ürünlerinde nemin korunmasını sağlayarak raf ömrünün uzatılmasına katkıda bulunmaktadır (Muyonga vd., 2004). Buna karşılık, agar-agar gibi bitkisel alternatifler daha sert yapılı jeller oluşturmakta ve pastacılık ürünlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir (Imeson, 2010). Besin değerleri bakımından değerlendirildiğinde, hayvansal jelatinler protein açısından zengin bir yapıya sahiptir. Protein içeriği genellikle %85-92 arasında değişmekte iken, bitkisel alternatifler karbonhidrat ağırlıklıdır ve lif bakımından zengindir. Bu durum, hayvansal jelatini protein takviyesi gereken diyetler için daha uygun bir seçenek haline getirmektedir (Mariod & Adam, 2013).

Maliyet açısından ele alındığında, hayvansal jelatin üretimi genellikle daha düşük maliyetlidir. Üretim sürecinde yan ürünlerin değerlendirilmesi, maliyet avantajı sağlamaktadır. Buna karşın, agar-agar gibi bitkisel alternatiflerin üretimi daha karmaşık olup, hammadde temininin sınırlılığı nedeniyle maliyetler yükselmektedir (Karim & Bhat, 2009). Duyusal özellikler açısından da farklılıklar gözlenmektedir. Hayvansal jelatin, renksiz ve kokusuz yapısıyla gıda ürünlerinin doğal lezzet profilini bozmadan kullanılabilir. Buna karşılık, bazı bitkisel alternatifler hafif bir tat veya koku bırakabilmekte

ve bu durum, hassas tat profiline sahip ürünlerde kullanımını sınırlamaktadır (Schrieber & Gareis, 2007). Bu özellikleri doğrultusunda hayvansal ve bitkisel jelatinlerin, kendilerine özgü avantajlara sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Hayvansal jelatinler, çok yönlü kullanım imkânları ve yüksek protein içeriği sunarken, bitkisel alternatifler vegan diyetlere uygun çözümler sağlayarak etik ve kültürel hassasiyetleri karşılamaktadır. Gıda endüstrisinde hangi türün tercih edileceği, ürünün özellikleri, tüketici beklentileri ve maliyet faktörleri göz önünde bulundurularak belirlenmelidir.

4. JELATİN EKSTRAKSİYON YÖNTEMLERİ

Jelatin ekstraksiyonu için kullanılan yöntemler, hammaddenin türüne ve istenen son ürün özelliklerine bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Geleneksel yöntemler arasında asit ve alkali ekstraksiyon yöntemleri öne çıkmakta olup, bu yöntemler hammaddenin ön işleminden geçirilmesi ve ardından sıcak su ile ekstraksiyonunu içermektedir (Karim & Bhat, 2009). Asit yöntemi, daha az çapraz bağlı kollajen içeren domuz derisi gibi hammaddeler için uygun görülürken, alkali yöntem daha kompleks yapılı sığır derisi ve kemiklerinde etkili olmaktadır (Gómez-Guillén vd., 2011). Asit ekstraksiyonunda, hammadde genellikle 0.05-0.1 M hidroklorik asit çözeltisinde 24-48 saat işleme tabi tutulmaktadır. Bu işlem, kollajen yapısındaki çapraz bağların kısmi hidrolizini sağlayarak jelatinin ekstraksiyonunu kolaylaştırmaktadır (Schrieber & Gareis, 2007). Alkali ekstraksiyon yönteminde ise hammadde, 0.1-0.2 M sodyum hidroksit çözeltisinde 3-4 hafta süreyle muamele edilmekte ve bu uzun süreli alkali işlem, güçlü çapraz bağların daha etkili parçalanmasını sağlamaktadır (Muyonga vd., 2004).

Son yıllarda, geleneksel yöntemlere alternatif olarak enzimatik ekstraksiyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemde, kollajenaz veya pepsin gibi spesifik enzimler kullanılarak kollajen yapısının kontrollü parçalanması sağlanmaktadır (Rasli vd., 2018). Enzimatik ekstraksiyonun daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilebilmesi ve daha kısa sürede tamamlanabilmesi, enerji verimliliği açısından avantaj sunmaktadır. Ayrıca, bu yöntemle elde edilen jelatinin fonksiyonel özelliklerinin genellikle daha üstün olduğu bildirilmektedir (Gómez-Guillén vd., 2011). Ultrason destekli ekstraksiyon, son dönemde geliştirilen yenilikçi yöntemlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Yüksek frekanslı ses dalgaları kullanılarak hücre duvarlarının parçalanması ve kütle transferinin artırılması sağlanmakta, bu sayede ekstraksiyon süresi kısalmakta ve verim yükselmektedir. Ultrason uygulamasının, daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilebilmesi, jelatinin termal degradasyonunu minimize ederek kaliteyi korumaktadır (Usman vd., 2023). Mikrodalga destekli ekstraksiyon ise hızlı ve etkili bir alternatif olarak dikkat çekmektedir. Mikrodalga enerjisi ile hücre içi sıvının hızlı şekilde ısıtılması ve hücre duvarlarının parçalanması sağlanmaktadır (Sai-Ut vd., 2015). Bu yöntem, ekstraksiyon süresinin önemli ölçüde kısalmasına ve enerji tüketiminin azalmasına olanak tanımaktadır. Ancak, yüksek sıcaklıklara uzun süre maruz kalınması durumunda jelatinin yapısal bütünlüğü zarar görebilmektedir (Usman vd., 2023). Her bir yöntemin kendine özgü avantaj ve dezavantajları bulunmakta olup, hammaddenin türü, hedeflenen son ürün özellikleri ve üretim maliyetleri gibi faktörler göz önünde bulundurularak en uygun ekstraksiyon yöntemi seçilmelidir.

5. JELLEŞME TERMODİNAMIĞI VE REOLOJİSİ

Jelleşme termodinamiği ve reolojisi, jelatin gibi biyopolimerlerin gıda sistemlerindeki davranışını anlamada kritik bir rol oynamaktadır. Jelleşme süreci, jelatin moleküllerinin konformasyonel değişimleri ve intermoleküler etkileşimleri ile tanımlanan karmaşık bir olgu olarak değerlendirilmektedir (Schrieber & Gareis, 2007). Bu süreç, sıcaklık, konsantrasyon, pH ve iyonik kuvvet gibi çevresel faktörlerden doğrudan etkilenmektedir (Gilsenan & Ross-Murphy, 2000). Termodinamik açıdan, jelleşme entropik olarak yönlendirilen bir faz geçişi şeklinde tanımlanmakta olup, soğutma sırasında hidrojen bağları ve hidrofobik etkileşimlerin artması sonucunda üçlü sarmal yapıların oluşması ve jel ağının kurulmasıyla sonuçlanmaktadır (Gómez-Guillén vd., 2011). Jelleşme kinetiği, reolojik ölçümler aracılığıyla karakterize edilebilmektedir. Dinamik reolojik testler, jelatinin viskoelastik davranışı ile jel oluşum sürecini incelemede yaygın olarak kullanılmaktadır (Muyonga vd., 2004). Depolama modülü (G') ve kayıp modülü (G'') ölçümleri, jelleşme sürecinin farklı aşamalarının tanımlanmasına olanak sağlamakta; jelleşme noktası ise G' ve G'' değerlerinin kesiştiği nokta olarak belirlenmektedir. Bu nokta, jel ağının oluşumunun başladığı kritik aşamayı temsil etmektedir (Fonkwe vd., 2003). Jelleşme kinetiği, Avrami denklemi ve Power Law modeli gibi matematiksel modeller kullanılarak tanımlanmakta ve jelleşme hızı değerlendirilebilmektedir (Clark & Ross-Murphy, 1987).

Jelatinin termal özellikleri, diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve termogravimetrik analiz (TGA) gibi tekniklerle analiz edilmektedir. DSC analizleri, jelatinin erime sıcaklığı ve entalpi değerlerini belirlerken; TGA, termal stabilite ve bozunma kinetiği hakkında bilgi sunmaktadır (Nur Hanani

vd., 2014). Termal analizlerin kullanımı, farklı kaynaklardan elde edilen jelatinlerin özelliklerini karşılaştırmak ve bu jelatinlerin gıda uygulamalarındaki performanslarını tahmin etmek açısından büyük önem taşımaktadır. Örneğin, balık jelatinlerinin düşük erime sıcaklığı, soğuk ortamlarda jelleşme gerektiren uygulamalar için avantaj sağlarken; memeli jelatinlerinin yüksek erime sıcaklığı, sıcak ortamlarda stabilite gerektiren ürünler için daha uygun görülmektedir (Karim & Bhat, 2009). Reolojik özellikler açısından, jelatinin davranışı; konsantrasyon, moleküler ağırlık dağılımı ve amino asit kompozisyonu gibi faktörlerden etkilenmektedir. Daha yüksek moleküler ağırlıklı fraksiyonlar, daha güçlü jel yapıları oluşturmaktadır (Mariod & Adam, 2013). Ayrıca, prolin ve hidroksiprolin içeriği, jelatinin jel oluşturma kabiliyeti ve termal stabilitesi üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Memeli jelatinlerinde prolin ve hidroksiprolin oranı genellikle %20-25 arasında iken, balık jelatinlerinde bu oran %15-20 civarında seyretmektedir (Gómez-Guillén vd., 2011). Bu farklılık, balık jelatinlerinin daha düşük jelleşme sıcaklığı ve erime noktasına sahip olmasına neden olmaktadır. Reolojik ölçümler, jelatinin viskoelastik özelliklerini değerlendirme ve akış davranışını karakterize etmede kullanılmaktadır. Akış eğrileri, jelatinin kayma incelmesi davranışını ortaya koyarken, frekans tarama testleri jel kuvveti ve stabilite hakkında bilgi sağlamaktadır (Gilsenan & Ross-Murphy, 2000).

Jelleşme termodinamiği ve reolojisi üzerine yapılan çalışmalar, nanoteknoloji ve biyoteknoloji uygulamaları ile yeni boyutlar kazanmaktadır. Jelatin nanopartikülleri ve nanokompozitler, özellikle kontrollü salım sistemleri ve akıllı ambalajlama gibi uygulamalar için geliştirilmektedir (Gómez-Guillén vd., 2011). Bu yeni malzemelerin termodinamik ve reolojik özellikleri, geleneksel jelatinlerden farklılık

göstermekle birlikte, özel karakterizasyon tekniklerinin kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Ayrıca, rekombinant DNA teknolojisi ile spesifik fonksiyonel özelliklere sahip jelatinlerin üretilmesi, jelleşme davranışının kontrollü bir şekilde optimize edilmesine olanak sağlamaktadır (Olsen vd., 2003). Bu gelişmeler, jelatinin gıda sistemlerindeki performansını artırmakta ve yeni uygulama alanlarının keşfedilmesine olanak sunmaktadır.

6. JELATİNİN FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

Jelatin, gıda endüstrisinde çok yönlü işlevleri ve üstün teknolojik özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir katkı maddesidir. Hayvansal kolajenin kontrollü hidrolizi yoluyla elde edilen bu protein, jelleştirici, kıvam artırıcı, su bağlayıcı ve emülsifiye edici özellikleriyle dikkat çekmektedir (Boran, 2011; Gómez-Guillén vd., 2011). Jelatinin gıda ürünlerinde kullanımına yönelik tercih, sağladığı teknolojik ve duyuusal faydalarla doğrudan ilişkilidir.

Jelatinin benzersiz avantajlarından biri, termal olarak geri dönüşümlü bir jel oluşturabilmesidir. Bu özellik, üretim sürecinde ve tüketim sırasında esneklik sağlamaktadır (Schrieber & Gareis, 2007). Özellikle ağızda erime hissi gerektiren şekerlemeler ve sütlü tatlılar gibi ürünlerde, bu termal davranış tercih sebebi olmaktadır (Muyonga vd., 2004). Dokusal iyileştirme, jelatinin gıda ürünlerindeki en önemli katkılarından biridir. Jelatin molekülleri, üç boyutlu ağ yapısı oluşturarak ürünlere istenilen kıvam ve stabiliteyi kazandırmaktadır (Djabourov vd., 1988). Bu özellik, sütlü tatlılar, dondurmalar ve şekerlemeler gibi ürünlerde tüketici memnuniyetini artıran bir faktör olarak öne çıkmaktadır (Karim & Bhat, 2009). Su bağlama kapasitesi (SBK), jelatinin gıda kalitesi üzerindeki

etkisini belirleyen önemli bir özelliktir. Proteinler, SBK üzerinde en büyük etkiye sahip olan makromoleküller olarak öne çıkmaktadır. Proteinlerin su tutma kapasiteleri, amino asitlerin polar grupları ile su molekülleri arasında oluşan hidrojen bağlarına dayanmaktadır. Özellikle kollajen gibi yapısal proteinlerin yüksek SBK'ya sahip olduğu bilinmektedir. Kollajenin hidrolizi ile elde edilen jelatin, ağırlığının birkaç katı kadar suyu bağlama yeteneğine sahiptir ve bu özelliği ile gıda ürünlerinde nem kontrolünde etkili bir rol oynamaktadır (Schrieber & Gareis, 2007). Kollajen kökenli yapısı sayesinde, jelatin kendi ağırlığının birkaç katı suyu bağlayabilmekte ve bu durum ürünlerin nem içeriğini koruyarak raf ömrünü uzatmaktadır (Muyonga vd., 2004). Özellikle et ürünleri, çorbalar ve soslar gibi nem içeriği yüksek gıdalarda bu özelliğin etkisi belirgindir (Gómez-Guillén vd., 2011).-Berraklaştırıcı ajan olarak kullanımı da jelatinin önemli fonksiyonları arasında yer almaktadır. Meyve suları ve alkollü içeceklerde bulanıklığı gidermesi sayesinde, ürünün görsel kalitesi artırılmaktadır (Burey vd., 2008). Bu uygulama, özellikle şarap ve bira üretiminde yaygın olarak tercih edilmektedir (Schrieber & Gareis, 2007). Emülsifiye edici özellikler de jelatinin kullanım alanını genişleten faktörler arasındadır. Jelatin molekülleri, yağ ve su fazlarını stabilize ederek homojen bir yapı oluşturmakta ve bu özellik, kremalar, soslar ve süt bazlı içeceklerde önemli bir rol oynamaktadır (Muyonga vd., 2004; Karim & Bhat, 2009). Besinsel açıdan değerlendirildiğinde, jelatinin düşük kalorili bir protein kaynağı olduğu görülmektedir. Bu özelliği, diyet ürünlerinde yağ ve karbonhidrat içeriğini azaltırken protein miktarını artırmaya olanak tanımaktadır (Gómez-Guillén vd., 2011). Bu durum, obezite ve diyabet gibi sağlık sorunlarına yönelik özel gıda üretiminde jelatini önemli bir bileşen haline getirmektedir (Muyonga vd., 2004). Duyusal özellikler açısından bakıldığında, jelatinin renksiz ve kokusuz yapısı,

ürünlerin doğal lezzet profillerini bozmadan kullanılmasını sağlamaktadır (Boran, 2011). Ayrıca, ağızda kolayca çözünebilmesi tüketici deneyimini olumlu yönde etkileyen önemli bir avantajdır (Schrieber & Gareis, 2007).

Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde, jelatinin maliyet etkin bir katkı maddesi olduğu görülmektedir. Hayvansal yan ürünlerden elde edilmesi sayesinde, üretim maliyetlerinin düşük olması ve geniş ölçekte temin edilebilmesi gıda üreticileri için ekonomik bir çözüm sunmaktadır (Djabourov vd., 1988). Jelatinin çok yönlü kimyasal yapısı da farklı formülasyonlara kolayca adapte olabilmelerini sağlamaktadır. Farklı Bloom değerlerine sahip çeşitleri sayesinde, spesifik uygulamalara yönelik çözümler sunulmaktadır (Karim & Bhat, 2009). Bu esneklik, jelatini gıda endüstrisinin vazgeçilmez bileşenlerinden biri haline getirmiştir.

7. JELATİNİN ENDÜSTRİYEL KULLANIM

Jelatin, çok yönlü fonksiyonel özellikleri sayesinde gıda, ilaç, kozmetik ve fotoğrafçılık gibi çeşitli endüstrilerde yaygın şekilde kullanılan bir biyopolimerdir. Gıda endüstrisinde jelatin, jelleştirici, kıvam artırıcı, emülsifiye edici ve stabilizatör olarak önemli bir rol oynamaktadır (Karim & Bhat, 2009). Şekerleme ürünlerinde jelatin, yumuşak ve elastik bir doku sağlayarak ağızda erime hissi yaratmaktadır (Burey vd., 2008). Süt ürünlerinde, özellikle yoğurt ve dondurmalarda, su bağlama kapasitesi ve stabilizasyon özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir (Gómez-Guillén vd., 2011). Et ürünlerinde ise jelatin, su tutma kapasitesini artırarak doku iyileştirmeye katkıda bulunmaktadır (Schrieber & Gareis, 2007). İlaç endüstrisinde jelatin, kapsül üretimi, tablet kaplamaları ve mikrokapsülasyon uygulamalarında yaygın şekilde kullanılmaktadır (Olsen vd.,

2003). Yumuşak ve sert jelatin kapsüller, ilaç etken maddelerinin kontrollü salımını sağlayan ideal taşıyıcı sistemler olarak kabul edilmektedir (Mariod & Adam, 2013). Jelatin bazlı hidrojelers ise doku mühendisliği ve yara iyileşmesi gibi biyomedikal uygulamalarda kullanılmaktadır (Echave vd., 2017). Ayrıca, jelatin nanopartikülleri, hedefli ilaç salımı ve gen terapisi için umut verici taşıyıcılar olarak geliştirilmektedir (Elzoghby, 2013).

Kozmetik endüstrisinde jelatin, cilt bakım ürünlerinde nemlendirici ve film oluşturucu ajan olarak yer almaktadır (Schrieber & Gareis, 2007). Jelatin hidrolizatlarının, saç bakım ürünlerinde saç tellerini güçlendirme ve parlaklık sağlama amacıyla kullanıldığı bilinmektedir (Gómez-Guillén vd., 2011). Jelatin bazlı mikrokapsüller ise parfüm ve esansiyel yağların enkapsülasyonu için kullanılarak, ürünlerin raf ömrünü uzatmakta ve kontrollü koku salımı sağlamaktadır (Prata & Grosso, 2015). Fotoğrafçılık endüstrisinde jelatin, geleneksel olarak fotoğraf filmleri ve kağıtlarının üretiminde kullanılmaktadır (Schrieber & Gareis, 2007). Jelatin, gümüş halojenür kristallerini taşıyan ve koruyan bir matris görevi görmektedir. Dijital fotoğrafçılığın yaygınlaşması ile bu kullanım alanı azalmış olsa da, jelatin hâlâ özel fotoğrafçılık uygulamaları ve holografi üretiminde kullanılmaktadır (Bjelkhagen & Brotherton-Ratcliffe, 2013). Son yıllarda, jelatinin endüstriyel uygulamaları, sürdürülebilirlik ve biyouyumluluk talepleri doğrultusunda genişlemektedir. Jelatin bazlı biyoplastikler ve yenilebilir filmler, gıda ambalajlama sektöründe petrol bazlı plastiklere alternatif olarak geliştirilmektedir (Nur Hanani vd., 2014). Bu malzemelerin biyobozunur özellikleri ve gıdaların raf ömrünü uzatma potansiyelleri, onları cazip kılmaktadır. Jelatin bazlı akıllı ambalajlama sistemleri, pH ve sıcaklık değişimlerine duyarlı

indikatörler içererek gıda tazeliği ve güvenliğini izleme amaçlı kullanılmaktadır (Yam vd., 2005).

3D baskı teknolojisinin gelişimiyle birlikte, jelatin bazlı biyomürekkeplerin, doku mühendisliği ve kişiselleştirilmiş ilaç üretimi gibi alanlarda kullanımı yaygınlaşmaktadır (Gopinathan & Noh, 2018). Bu yenilikçi uygulamalar, jelatinin endüstriyel kullanımını dönüştürmekte ve yeni araştırma alanlarının ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Jelatin, çok yönlü işlevselliği, biyouyumluluğu ve sürdürülebilirliği ile birçok endüstriyel alanda kullanılabilmektedir.

8. JELATİN İNOVASYONU VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Jelatinin gıda endüstrisindeki geleceği, sürdürülebilirlik, tüketici tercihleri ve teknolojik yenilikler doğrultusunda şekillenmektedir. Geleneksel hayvansal kaynaklı jelatin üretiminin yanı sıra, alternatif kaynaklar ve yenilikçi üretim yöntemleri giderek önem kazanmaktadır. Bu bağlamda, balık jelatini dikkat çeken bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Düşük erime sıcaklığı ve benzersiz reolojik özellikleri sayesinde balık jelatini, özellikle soğuk ortamlarda jelleşme gerektiren uygulamalar için uygun bir seçenek sunmaktadır (Karim & Bhat, 2009). Ayrıca, dini ve kültürel açıdan daha geniş bir kabul görmesi, bu tür jelatinin önemini artırmaktadır. Biyoteknolojik yöntemler, jelatinin gelecekteki üretiminde önemli bir rol üstlenmektedir. Rekombinant DNA teknolojisi aracılığıyla üretilen jelatin, standart özelliklere sahip, hayvansal kaynaklardan bağımsız bir alternatif sunmaktadır (Olsen vd., 2003). Bu teknoloji, spesifik fonksiyonel özelliklere sahip jelatinlerin tasarlanmasını mümkün kılmakta ve gıda endüstrisinin özel ihtiyaçlarına cevap verebilmektedir. Bununla

birlikte, rekombinant jelatin üretiminin ticari ölçekli uygulanabilirliği ve maliyet etkinliği, üzerinde çalışılması gereken konular arasında yer almaktadır. Sürdürülebilirlik, jelatin üretiminde önemli bir odak noktası haline gelmiştir. Gıda endüstrisinden elde edilen yan ürünlerin ve atıkların jelatin üretiminde değerlendirilmesi, kaynak verimliliğini artırarak atık yönetimi açısından önemli faydalar sunmaktadır (Gómez-Guillén vd., 2011).

Nanoteknoloji, jelatinin gıda uygulamalarında yeni fırsatlar yaratmaktadır. Jelatin nanopartiküllerinin, biyoaktif bileşenlerin enkapsülasyonu ve kontrollü salımı için etkili taşıyıcı sistemler olarak kullanıldığı bilinmektedir (Gómez-Guillén vd., 2011). Bu uygulama, fonksiyonel gıdaların ve nutrasötiklerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, jelatin bazlı nano-yapılar, gıda ambalajlama teknolojilerinde yenilikçi çözümler sunarak raf ömrünün uzatılmasını ve gıda güvenliğinin sağlanmasını desteklemektedir. Jelatin hidrolizatları ve biyoaktif peptitler de gıda endüstrisinde giderek artan bir ilgi görmektedir. Antioksidan, antimikrobiyal ve antihipertansif özelliklere sahip bu ürünler, fonksiyonel gıda bileşenleri olarak kullanılmaktadır (Gómez-Estaca vd., 2009). Gelecekte, belirli biyoaktif özelliklere sahip jelatin peptitlerinin geliştirilmesi, kişiselleştirilmiş beslenme ve sağlık ürünlerinin üretimini destekleyecektir. Jelatin bazlı akıllı ambalajlama sistemleri, gıda güvenliği ve kalite kontrolünde önemli yenilikler sunmaktadır. pH ve sıcaklık değişimlerine duyarlı indikatörler, jelatin filmlerine entegre edilerek gıdaların tazeliğinin ve güvenliğinin gerçek zamanlı olarak izlenmesine olanak sağlamaktadır (Yam vd., 2005). Bu uygulamalar, gıda israfını azaltma ve tüketici güvenini artırma potansiyeline sahiptir. 3D baskı teknolojilerinin gıda üretiminde kullanımıyla birlikte, jelatin bazlı biyomürekkeplerin önemi artmaktadır.

Jelatinin biyouyumluluğu ve termal geri dönüşümlü jelleşme özelliği, bu teknolojiye ideal bir malzeme olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Godoi vd., 2016). Bu uygulama, kişiselleştirilmiş gıda üretimi ve yenilikçi gıda tasarımlarının geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Jelatin bazlı yenilebilir kaplamalar ve filmler, sürdürülebilir gıda ambalajlama çözümleri arasında yer almaktadır. Bu kaplamaların, gıdaların raf ömrünü uzatarak besin değerini koruduğu bilinmektedir (Nur Hanani vd., 2014). Gelecekte, antimikrobiyal ve antioksidan özelliklere sahip aktif jelatin kaplamalarının geliştirilmesi, gıda güvenliği ve kalitesinin artırılmasına katkı sağlayacaktır. Jelatinin gıda endüstrisindeki geleceği; sürdürülebilir üretim yöntemleri, biyoteknolojik yenilikler ve nanoteknoloji uygulamaları ile şekillenecektir. Bu gelişmeler, jelatinin fonksiyonel özelliklerinin çeşitlendirilmesine, yeni uygulama alanlarının keşfedilmesine ve daha sürdürülebilir gıda sistemlerinin oluşturulmasına olanak sağlayacaktır.

9. KAYNAKÇA

- Alfaro, A. T., Biluca, F. C., Marquetti, C., Tonial, I. B., & de Souza, N. E. (2015). African catfish (*Clarias gariepinus*) skin gelatin: Extraction optimization and physical–chemical properties. *Food Research International*, 65, 416-422. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.070>.
- Armisen, R., & Galatas, F. (2000). Agar. In G. O. Phillips & P. A. Williams (Eds.), *Handbook of Hydrocolloids* (pp. 21-40). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781855736603.1.21>
- Bjelkhagen, H. I., & Brotherton-Ratcliffe, D. (2016). Ultra-realistic imaging: Advanced techniques in analogue and digital colour holography. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b14060>.
- Boran, G. (2011). Bir gıda katkısı olarak jelatin: Yapısı, özellikleri, üretimi, kullanımı ve kalitesi. *Gıda*, 36(2), 97-104.
- Burey, P., Bhandari, B. R., Howes, T., & Gidley, M. J. (2008). Hydrocolloid Gel Particles: Formation, Characterization, and Application. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(5), 361–377. <https://doi.org/10.1080/10408390701347801>.
- Campo, V. L., Kawano, D. F., da Silva, D. B., & Carvalho, I. (2009). Carrageenans: Biological properties, chemical modifications and structural analysis – A review. *Carbohydrate Polymers*, 77(2), 167-180. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.01.020>

- Clark, A. H. & Ross-Murphy, S. B. (1987). Structural and mechanical properties of biopolymer gels. *Advances in Polymer Science*, 83, 57-192. <https://doi.org/10.1007/BFb0023332>
- Dickinson, E. (2003). Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids*, 17(1), 25-39.
- Djabourov, M., Leblond, J., & Papon, P. (1988). Gelation of aqueous gelatin solutions. I. Structural investigation. *Journal de Physique*, 49(2), 319-332. <https://doi.org/10.1051/jphys:01988004902031900>.
- Echave, M. C., Saenz del Burgo, L., Pedraz, J. L., & Orive, G. (2017). Gelatin as biomaterial for tissue engineering. *Current Pharmaceutical Design*, 23(24), 3567-3584. <https://doi.org/10.2174/0929867324666170511123101>.
- Elzoghby, A. O. (2013). Gelatin-based nanoparticles as drug and gene delivery systems: Reviewing three decades of research. *Journal of Controlled Release*, 172(3), 1075-1091. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2013.09.019>.
- Ferraro, V., Gaillard-Martinie, B., Sayd, T., Chambon, C., Anton, M., & Santé-Lhoutellier, V. (2017). Collagen type I from bovine bone. Effect of animal age, bone anatomy and drying methodology on extraction yield, self-assembly, thermal behaviour and electrokinetic potential. *International Journal of Biological Macromolecules*, 97, 55-66. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.12.068>

- Fonkwe, L. G., Narsimhan, G., & Cha, A. S. (2003). Characterization of gelation time and texture of gelatin and gelatin-polysaccharide mixed gels. *Food Hydrocolloids*, 17(6), 871-883. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(03\)00108-5](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(03)00108-5)
- Gilsenan, P. M., & Ross-Murphy, S. B. (2000). Rheological characterisation of gelatins from mammalian and marine sources. *Food Hydrocolloids*, 14(3), 191-195. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(99\)00050-8](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(99)00050-8).
- Godoi, F. C., Prakash, S., & Bhandari, B. R. (2016). 3d printing technologies applied for food design: Status and prospects. *Journal of Food Engineering*, 179, 44-54. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025>.
- Gómez-Estaca, J., Montero, P., Fernández-Martín, F., & Gómez-Guillén, M. C. (2009). Physico-chemical and film-forming properties of bovine-hide and tuna-skin gelatin: A comparative study. *Journal of Food Engineering*, 90(4), 480-486. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.07.022>.
- Gómez-Guillén, M. C., Giménez, B., López-Caballero, M. E., & Montero, M. P. (2011). Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1813-1827. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.02.007>.
- Gopinathan, J., & Noh, I. (2018). Recent trends in bioinks for 3D printing. *Biomaterials Research*, 22(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40824-018-0122-1>.

- Imeson, A. P. (2010). Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents: A Handbook for Food Technologists and Engineers. DOI:10.1002/9781444314724.
- Karim, A. A., & Bhat, R. (2008). Gelatin alternatives for the food industry: Recent developments, challenges and prospects. Trends in Food Science & Technology, 19(12), 644-656. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.08.001>.
- Karim, A. A., & Bhat, R. (2009). Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins. Food Hydrocolloids, 23(3), 563-576. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.07.002>.
- Mariod A.A., & Adam H.F. (2013) Review: Gelatin source extraction and industrial applications. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria.12(2):135–147.
- Muyonga, J. H., Cole, C. G. B., & Duodu, K. G. (2004). Extraction and physico-chemical characterisation of Nile perch (*Lates niloticus*) skin and bone gelatin. Food Hydrocolloids, 18(4), 581-592. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2003.08.009>.
- Nur Hanani, Z. A., Roos, Y. H., & Kerry, J. P. (2014). Use and application of gelatin as potential biodegradable packaging materials for food products. International Journal of Biological Macromolecules, 71, 94-102. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.04.027>.
- Olsen, D., Yang, C., Bodo, M., Chang, R., Leigh, S., Baez, J., ... & Polarek, J. (2003). Recombinant collagen and gelatin for drug delivery. Advanced Drug Delivery Reviews, 55(12), 1547-1567. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2003.08.008>.

- Prata, A. S., & Grosso, C. R. (2015). Production of microparticles with gelatin and chitosan. *Carbohydrate Polymers*, 116, 292-299. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.03.056>.
- Rasli, H. I. & Sarbon, N. M. (2018). Optimization of enzymatic hydrolysis conditions and characterization of Shortfin scad (*Decapterus Macrosoma*) skin gelatin hydrolysate using response surface methodology. *International Food Research Journal*. 25(4): 1541-1549.
- Saha D., Bhattacharya S. (2010) Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review *Journal of Food Science and Technology* 47(6):587–597 <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0162-6>.
- Sai-Ut, S., Benjakul, S., Sumpavapol, P., & Kishimura, H. (2015). Antioxidant activity of gelatin hydrolysate produced from fish skin gelatin using extracellular protease from *Bacillus amyloliquefaciens* H11. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(4), 394-403. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12244>.
- Schrieber, R., & Gareis, H. (2007). *Gelatine Handbook: Theory and Industrial Practice*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. <https://doi.org/10.1002/9783527610969>.
- Steele, C. M., Alsanei, W. A., Ayanikalath, S., Barbon, C. E., Chen, J., Cichero, J. A., ... & Wang, H. (2015). The influence of food texture and liquid consistency modification on swallowing physiology and function: A systematic review. *Dysphagia*, 30(1), 2-26.

- Usman, M., Ishaq, A., Regenstein, J.M. *et al.* Valorization of animal by-products for gelatin extraction using conventional and green technologies: a comprehensive review. *Biomass Conv. Bioref.* (2023). <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04547-5>.
- Yam, K. L., Takhistov, P. T., & Miltz, J. (2005). Intelligent packaging: Concepts and applications. *Journal of Food Science*, 70(1), R1-R10. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09052.x>.

APPLICATIONS OF GENOMIC EDITING IN FOOD SAFETY AND QUALITY: ANALYZING THE POTENTIAL AND ETHICAL CONSIDERATIONS

Yusuf ESEN¹

Pınar ŞEKERCİ KELEŞ²

1. INTRODUCTION

CRISPR/Cas and other genome editing technologies have become game-changing tools that are altering several industries, including food production and agriculture. The capacity to accurately alter genetic material has sparked a paradigm change in the development of disease-resistant crops, improved food safety, and higher nutritional quality. This review explores the related ethical issues and their societal ramifications while critically analysing the diverse applications of genome editing in the context of food safety and quality. Recent developments highlight the potential of genome editing to address global food concerns. Research has shown that CRISPR-based genome editing has enormous potential for eradicating nutrient deficits in crops, assuring food security for growing populations (Kumar et al., 2022). Simultaneously, Ray et al., (2023) studied about CRISPR-Cas9 and its use in

¹ Lecturer Doctor; Ardahan University, Technical Sciences Vocational School, Food Processing Departmen. yusufesen@ardahan.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-1173-0677>.

² Assistant Professor; Ardahan University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering. pinarssekerci@ardahan.edu.tr, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-6225-4781>

sustainable food production, stressing how unique it is from other gene editing technologies and how suitable it is for guaranteeing food sustainability in the long run.

The future trajectory of agriculture and food production hinges on embracing CRISPR-edited agriculture, as highlighted by Meyer & Dastgheib-Vinarov (2021). The study underscores the diverse trait modifications achieved through CRISPR technology in agricultural crops, emphasizing its versatility across various agricultural domains. Furthermore, Ahmad (2023) focus on the transformative potential of genome editing techniques, particularly CRISPR-Cas, in advancing plant breeding strategies. These studies accentuate how such techniques might significantly contribute to sustainable food production by 2050 through the development of climate-ready crops and improved crop quality parameters.

The potential of genome editing to improve food safety is a crucial aspect of agricultural innovation. The capacity to precisely alter genes has consequences for reducing pollutants and infections in food items. According to Kumar et al., (2022), CRISPR-Cas could correct nutrient shortages in crops, increasing the nutritious content and hence promoting food safety. In a similar vein, Nayak & Dutta (2023) studied about the antibacterial qualities of CRISPR-Cas and how it can improve food safety by specifically targeting vital genes and getting rid of bacteria that cause spoiling. Although genome editing technologies present encouraging prospects, moral issues dominate its use in the food sector. There is much discussion on the moral ramifications of changing an organism's genetic makeup. In his exploration of the range of trait modifications made possible by CRISPR technology, Meyer & Dastgheib-Vinarov, (2021) draws attention to the various ethical issues that are raised by these adjustments. Additionally, Fiaz et al., (2021)

address the development and use of genome editing methods, highlighting the necessity for a sophisticated strategy to guarantee food and nutritional security while resolving ethical issues. In addition to ethical considerations, regulatory frameworks and societal implications constitute significant pillars in assessing the adoption of genomic editing in food production. Ahmad, (2023), emphasize the importance of genomic editing regulations and the challenges in establishing comprehensive frameworks governing genetically modified foods. Tang et al., (2023), discuss the societal implications of CRISPR/Cas technology in crop breeding, highlighting the necessity of public engagement, education, and transparency to address consumer perceptions and choices.

In summary, the developing potential of genomic editing technologies, particularly CRISPR/Cas, presents unprecedented opportunities in enhancing food safety, nutritional quality, and crop development. However, ethical considerations, regulatory challenges, and societal implications warrant comprehensive scrutiny to ensure responsible and sustainable integration into the food industry. The main objective of this review article is to critically analyse the various applications of genomic editing in the context of food safety, nutritional quality, and crop development. It aims to focus on the multifaceted impacts of these technologies on enhancing the safety of food products, elevating their nutritional value, and the development of crops with improved traits. Owing to a comprehensive examination of relevant studies and case examples, this review seeks to provide a balanced assessment of the potentials and limitations of genomic editing in the food industry.

2. ADVANCEMENTS IN GENOMIC EDITING TECHNOLOGIES

The CRISPR/Cas (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats/CRISPR-associated proteins) system stands at the forefront of revolutionary genetic editing technology. It has transformed the landscape of genetic manipulation by offering precise, efficient, and versatile genome editing capabilities (Ray et al., 2023). The system's functionality, derived from microbial adaptive immunity mechanisms, provides researchers with a powerful tool for modifying DNA sequences across various organisms (Ahmad, 2023). CRISPR/Cas allows targeted alterations in genetic material, enhancing the precision of genome editing processes (F. Zhang et al., 2023). This technology's precision stems from its ability to specifically target desired sequences within the genome. The CRISPR/Cas system comprises two key components: the guide RNA (gRNA) and the Cas endonuclease. The gRNA guides the Cas enzyme to the target DNA sequence, enabling precise modifications by introducing deletions, insertions, or replacements (Cardi et al., 2023). This precision in gene editing minimizes off-target effects, reducing unintended alterations within the genome (Joshi et al., 2023).

Efficiency characterizes the CRISPR/Cas system, allowing rapid and straightforward alterations in genetic material. Its streamlined design facilitates ease of use and accessibility, contributing to its widespread adoption across diverse research fields. Additionally, its efficiency lies in its multipurpose nature, accommodating a wide range of modifications in various organisms, accelerating scientific advancements (Ahmad, 2023; Ray et al., 2023). Versatility remains a hallmark of CRISPR/Cas, offering diverse applications in genetic editing. This system's adaptability spans

beyond mere gene editing, enabling fundamental research, disease modelling, and potentially therapeutic interventions. In agriculture, CRISPR/Cas tools foster crop improvement strategies by targeting specific genes associated with desirable traits like disease resistance, yield enhancement, and nutritional quality improvement (F. Zhang et al., 2023).

With previously unobtainable levels of accuracy, effectiveness, and adaptability in genetic material modification, the CRISPR/Cas system has completely changed the field of genetic engineering (D. Zhang et al., 2020). Fundamentally, CRISPR/Cas functions as an exact molecular scissor that can accurately target DNA sequences. The Cas enzyme finds and cleaves the appropriate DNA sequence under the direction of a brief RNA molecule, enabling the insertion, deletion, or modification of genetic material (Montecillo et al., 2020). Because of its extreme precision, scientists can edit genes with previously unheard-of accuracy and prevent side effects that can result in unintentional genetic modifications (Chen et al., 2019). This precision, efficiency, and versatility in modifying genetic material using CRISPR/Cas have translated into numerous successful applications in various fields. For instance, CRISPR/Cas has been pivotal in crop breeding and agricultural practices, allowing for the development of disease-resistant crops, improved nutritional content, and increased yield potential (Liu et al., 2021). Additionally, its role in gene function studies and therapeutic applications holds promise for treating genetic disorders and advancing biomedical research (Chen et al., 2019; Montecillo et al., 2020). The precision, efficiency, and versatility of CRISPR/Cas and related genomic editing tools have transformed genetic engineering, offering unprecedented accuracy and speed in modifying genetic material. With ongoing advancements, these tools continue to

shape various fields, from agriculture to medicine, fostering innovation and advancements in science and technology.

The agricultural and food production industries have undergone substantial transformations due to the numerous and effective applications of CRISPR/Cas and related genomic editing techniques, which have resulted in remarkable breakthroughs. One noteworthy use is in crop improvement, where the development of disease-resistant crops has been made possible by CRISPR/Cas technology. Scientists have improved plant resilience to a variety of infections by precisely editing genes, which lessens the need for chemical pesticides and supports sustainable agriculture methods.(Chen et al., 2019; Montecillo et al., 2020; D. Zhang et al., 2020). Moreover, CRISPR/Cas has been pivotal in modifying crops to improve their nutritional content. Through targeted editing, scientists have enhanced the nutritional value of crops, increased their vitamin content, or altered fatty acid composition to improve health benefits. For example, rice fortified with increased iron and vitamin A aims to combat nutrient deficiencies in regions where these deficiencies are prevalent (Chen et al., 2019; Liu et al., 2021). Additionally, CRISPR/Cas technology has facilitated accelerated breeding programs, allowing for rapid crop development. Traditional breeding methods are time-consuming, but with genome editing tools, targeted modifications can be made within a significantly shorter timeframe, accelerating the introduction of new crop varieties with desired traits. This speed in crop development is crucial in addressing global food security challenges by producing resilient, high-yielding, and nutritious crops (Liu et al., 2021).

Furthermore, precision in genome editing has enabled the development of seedless fruits by modifying the genes responsible for seed formation, meeting consumer preferences

and potentially reducing post-harvest waste. Similarly, improvements in fruit ripening, flavor, and shelf life have been achieved through gene editing, leading to increased quality and longer storage durations. CRISPR/Cas has also found applications beyond crop improvement, notably in livestock breeding. Gene editing tools have been utilized to enhance disease resistance and productivity traits in livestock, potentially improving animal welfare and food quality (Chen et al., 2019; Montecillo et al., 2020; D. Zhang et al., 2020).

3. ENHANCING FOOD SAFETY AND NUTRITIONAL QUALITY

A possible method for improving food safety by reducing pollutants or pathogens in crops is targeted gene editing. Recent research has demonstrated how precise genetic alterations made possible by gene editing techniques can greatly improve food safety standards. Pixley et al., (2022) performed research that examines the advantages of gene editing, including decreased food waste and increased food safety. The purpose of the deliberate crop modifications is to confer disease resistance, which will lessen the demand for chemical pesticides and, in turn, minimize consumer health hazards. Another research by Sharma et al., (2023) emphasizes the significance of targeted gene editing to enhance food safety. By employing gene editing tools, researchers aim to fortify crops against spoilage and contamination, thus ensuring safer and healthier food products for consumers.

The potential of gene editing to decrease foodborne toxins and pathogens in multiple ways is highlighted by these studies. Genes that confer resistance to poisons or infections can be specifically changed or rendered inactive. With this method,

the danger of foodborne illnesses after intake is reduced since crops can fend off contamination from toxic or hazardous microbes. Gene editing technology is also offering a sustainable substitute for traditional pollutant reduction techniques in agriculture. Gene editing can produce crops with inherent defences against viruses or pollutants, negating the need for chemical treatments. Chemical residues and the hazards they pose are lessened thanks to this focused strategy that lessens dependency on outside agents. Furthermore, advances in gene editing may be able to solve issues provided by emerging pathogens or pollutants. The versatility of gene editing technologies allows for rapid changes in crop genetics, allowing farmers and scientists to respond effectively to emergent challenges in real time. To summarize, targeted gene editing is a viable method for improving food safety by eliminating pollutants or pathogens in crops. The findings listed highlight the potential of gene editing techniques to reinforce crops against spoilage, infections, or toxins, providing safer and healthier food products for customers. As this technology advances, it holds great promise for tackling food safety concerns and contributing to a more secure and sustainable food supply chain.

Crop improvement strategies via genetic modifications have garnered attention for enhancing nutritional content and mitigating allergens. Several studies focus on this area, revealing insights into the manipulation of specific genes to elevate nutrient levels or reduce allergenic factors in crops. Genetic engineering techniques enable the fortification of crops with increased nutrient content, addressing global malnutrition concerns. Hefferon et al. showcased the constitutive expression of invertase, elevating starch content in transgenic kernels, demonstrating the potential of gene modifications to enhance

nutritional aspects of crops (Hefferon, 2015). Additionally, Gaikwad et al., (2020) highlighted biofortification methods enriching crop content with vitamins and minerals through genetic and agronomic interventions, amplifying nutritional quality.

The studies explore strategies to reduce allergens, contributing to food safety. Ghimire et al., (2023) emphasized the use of biotechnology, breeding, and agronomic practices to diminish allergenic factors in crops, enhancing their nutritional values. Ku & Ha, (2020) discussed genome editing's role in improving crop quality, specifically targeting allergenic components, demonstrating potential advancements in reducing allergens. An essential aspect of genetic modifications in crops is their impact on global food security and sustainability. Abdul Aziz et al., (2022) highlighted genome editing's impact on quality traits such as nutrition, starch content, and storage quality of crops, signifying potential contributions to sustainable agriculture. Recent advancements also address ethical concerns associated with genetically modified crops. Farre et al., (2011) discussed genetically modified techniques aiming to improve nutrition and health content in foods while considering ethical dilemmas. The assessment of benefits and risks is crucial to the acceptance and ethical implementation of these technologies. The alteration of specific genes in crops holds promise for enhancing nutritional content and reducing allergenic factors. These studies highlight the potential to increase essential nutrients, decrease allergens, and contribute to global food security and sustainability. Nevertheless, ethical considerations, risk assessments, and public acceptance are integral for responsible and widespread implementation of genetic modifications in crop improvement.

Genetic engineering has revolutionized food biotechnology, yielding successful outcomes in industrial settings. Oba İlter & Yildirim, (2021) highlight the effective results of genetic engineering in various biotechnologies, although specific case studies in food safety or nutritional quality enhancement are not provided. de Santis et al., (2018) emphasize the strict authorization process for genetically modified organisms (GMOs), ensuring their safety for human health, animal health, and the environment. While lacking specific case studies, this underscores the importance of stringent safety protocols in successful applications of genetic modification. Progress in biotechnology has led to significant strides in generating nutritionally improved food. Hefferon, (2015) discuss the progress made in biotechnology, particularly in generating nutritionally improved food. However, specific case studies illustrating the practical outcomes are not presented.

Ghimire et al., (2023), summarize the risks and benefits of genetically modified plants and products, highlighting potential case studies related to health hazards from transformed products. Understanding these risks is crucial in successful applications of genetic modification to ensure food safety. Genetic manipulation has been successful in enhancing the nutritional quality of crops. Das et al., (2020) discuss the success achieved in enriching crucial crop plants through genetic engineering. Although specific case studies are not detailed, this showcases the potential for improving nutritional quality. While the cited literature provides comprehensive insights into the advancements and potential of genetic modification in food safety and nutritional quality enhancement, specific case studies illustrating successful applications are limited. Nevertheless, these publications collectively emphasize the strides made in biotechnology, underlining the importance of stringent safety

protocols and the promising potential for future advancements in food safety and nutritional quality through genetic modifications.

4. DEVELOPMENT OF DISEASE-RESISTANT CROPS

Genomic editing has emerged as a revolutionary tool in agricultural biotechnology, offering promising avenues for creating disease-resistant crops. This technology provides a range of options, enabling precise alterations in plant genomes to confer resistance against prevalent diseases. Abdallah et al., (2015) highlight the potential of genome editing by emphasizing the alteration of a few nucleotides among billions within living genomes, demonstrating its precision in modifying plant DNA to enhance disease resistance. The application of genetic modification techniques, including CRISPR/Cas and other editing tools, offers immense possibilities in engineering crops with enhanced disease resistance. van Esse et al., (2020) underscore the urgency of increasing food production while maintaining sustainability. Genomic editing presents itself as an essential strategy to address this challenge by providing the means to create disease-resistant crops.

Genetic modifications in crops present an innovative approach to combatting diseases while maintaining nutritional integrity. A study illustrates that genetic engineering allows for biofortification without compromising nutritional quality, enabling crops to be fortified with essential nutrients. These modifications can serve a dual purpose by enhancing resistance to diseases while ensuring crops retain their nutritional value (Hefferon, 2015). One prime example of genetic modification preventing crop diseases is the development of disease-resistant

plants without altering their nutritional content. Through genetic engineering techniques, crops can acquire resistance against diseases such as bacterial blight or fungal infections while maintaining their nutritional profiles. This ensures that the crops remain healthy and nutritious for consumption (Hirschi, 2020).

Moreover, genetic modifications focus on fortifying plants against pests and pathogens without compromising their nutritional value. Genetic engineering techniques enable the introduction of resistance genes that confer robust protection against diseases without influencing the nutritional attributes of the crops. This ensures that the crops remain both resistant to diseases and nutritionally beneficial. Transgenic crops serve as another exemplar in preventing diseases without compromising nutritional value. These crops are engineered to resist pests or diseases through genetic modifications while preserving their essential nutritional composition. This highlights the ability of genetic engineering to create resilient crops that remain nutritionally valuable for consumption (Devos et al., 2008). In essence, genetic modifications in crops play a pivotal role in enhancing disease resistance without altering their nutritional content. These advancements allow for the development of resilient crops that can withstand diseases while providing essential nutrients for human consumption. Through targeted genetic engineering techniques, it becomes feasible to fortify crops against diseases without compromising their nutritional value, paving the way for a sustainable and healthy food supply.

Crops that are resistant to disease are an essential component of sustainable agriculture; they present several advantages as well as challenges. In addition to greatly advancing sustainable agriculture, Ghimire et al., (2023) emphasize the significance of disease-resistant crops in increasing yields and enhancing environmental stress tolerance.

Their resistance to several diseases, which boosts agricultural output and guarantees food safety, is their main advantage. By lowering the need for chemical pesticides, these crops protect the environment and maintain its ecosystem (S. Das et al., 2023). Disease-resistant crops play a primary role in making agricultural systems more sustainable, as they allow for greater efficiency in resource utilization. Through reducing crop loss caused by diseases, these crops help conserve valuable resources such as water, energy, and land. Furthermore, they help sustainable pest management by reducing the need for excessive pesticide use, in this way minimizing potential harm to the environment. These crops promote the development of healthier soils by decreasing assurance on synthetic chemicals, leading to a more sustainable and resilient agricultural ecosystem (Abdul Aziz et al., 2022; Nadarajah & Abdul Rahman, 2023; Rani et al., 2023).

However, challenges persist in the adoption and implementation of disease-resistant crops. S. Das et al., (2023) highlights the need for continual research and innovation to address emerging diseases and evolving pathogens that might overcome plant resistance. In addition, ensuring genetic diversity in these crops is crucial to prevent the risk of widespread susceptibility to new diseases (Ghimire et al., 2023). The socio-economic aspect also presents challenges. Farmers require access to affordable disease-resistant seeds and adequate knowledge and training for their proper utilization. Additionally, addressing public concerns and regulatory hurdles surrounding genetically modified disease-resistant crops remains a challenge, impacting their widespread adoption (Abdul Aziz et al., 2022). In summary, disease-resistant crops offer immense benefits to sustainable agriculture, including increased yield, reduced chemical usage, and improved resource efficiency. However,

challenges related to evolving pathogens, genetic diversity, socio-economic factors, and public perception need consideration for their widespread adoption.

5. ETHICAL CONSIDERATIONS

Genomic editing, notably CRISPR-Cas9 technology, presents a revolution in agriculture, enabling precise modifications in crops to enhance traits like yield, nutritional value, and disease resistance. However, it evokes profound ethical dilemmas that require careful examination. Firstly, ethical concerns arise concerning the unintended consequences of altering the genome. The potential for off-target effects and genetic alterations, unintended in the original editing objective, raises significant concerns about the safety of edited crops for consumption (Lorenzo et al., 2022). Moreover, questions arise regarding equity and access to genetically modified foods. Although gene editing can improve crop quality, concerns remain about equitable distribution and access to these foods. In addition, social acceptance of genetically modified organisms in the food supply chain is an important ethical consideration. Public perception and trust to take up seriously genetically modified organisms play a crucial role in their successful integration into the market. The ethical implications of using genome editing technologies in farmed animal breeding also warrant attention (Ayanoğlu et al., 2020; Niemiec & Howard, 2020).

Ethical issues also extend to the moral responsibility surrounding the potential uses of CRISPR-Cas9 in food production. The ethical dimension of "playing God" by altering the genetic makeup of organisms raises ethical concerns, particularly related to the moral agency and stewardship of the

environment and nature. Besides, there are concerns about the potential misuse of genomic editing techniques for profit or unethical practices, emphasizing the need for responsible and transparent applications of this technology in agriculture (Bechtold, 2018; Lorenzo et al., 2022). Ethical frameworks around the regulation and governance of genomic editing techniques require refinement. Establishing more effective policies and regulations is very important to address ethical concerns, ensuring the safe and ethical use of genomic editing in food production. Ethical considerations should be integrated into the regulatory processes, encompassing risk assessment, public engagement, and ethical oversight (Niemi & Howard, 2020). The implementation of genomic editing in food production is accompanied by multidirectional ethical concerns. It is important to balance the benefits of technological advances with ethical considerations surrounding safety, equity, social acceptance, and environmental management. Ethical debates and regulatory frameworks should evolve alongside technological advancements to ensure responsible and ethical applications of genomic editing in agriculture.

Genome editing technologies have emerged as powerful tools in agricultural biotechnology, offering immense potential for enhancing crop traits, increasing yield, and improving resistance to diseases and environmental stressors. While these innovations hold promise, they raise pertinent concerns regarding potential environmental impacts and unforeseen consequences that necessitate careful evaluation and management. One of the primary considerations when employing genome editing in agriculture is the environmental impact of these modifications. The safety and sustainability of such technologies hinge on the specificity and precision of the alterations introduced into the plant genome. Efforts aimed at

directing changes to predetermined sites hold the potential to minimize or even eliminate unintended alterations, thereby significantly reducing environmental risks (Lassoued et al., 2019). However, contrasting perspectives exist concerning the extent of unintended changes introduced through genome editing compared to conventional breeding methods. Some studies propose that genome editing may result in fewer unintended modifications than conventional breeding, suggesting a potential advantage in terms of precision and specificity. Nevertheless, continuous, and rigorous risk assessments remain imperative to discern and address any unintended consequences effectively (Eckerstorfer et al., 2023).

An essential aspect of evaluating genome editing techniques involves examining potential unintended effects. These assessments are fundamental and should mirror the scrutiny applied to traditional plant breeding methodologies. A comprehensive appraisal aids in understanding and managing any unanticipated alterations or consequences that may arise due to genetic modifications (Troader & Pagès, 2019). Moreover, the post-release monitoring of genetically modified crops becomes crucial. Strategies must be devised to detect and assess unforeseen effects that might surface over time. Monitoring the long-term stability and behaviour of modified plants within the ecosystem is essential to ensure minimal ecological disturbance and to safeguard biodiversity. Challenges persist in the precise integration of editing reagents into the plant genome, especially when using approaches involving random integration. This random integration may yield undesirable genetic changes, emphasizing the need for refined techniques that ensure precision and specificity to prevent unintended outcomes (Gómez et al., 2023; Tripathi et al., 2022). Furthermore, discussions on regulatory frameworks underscore the

importance of addressing unintended effects in genome editing applications. Regulatory sessions emphasize the need for comprehensive and meticulous consideration and management of potential unintended consequences, especially concerning environmental safety and sustainability. The adoption of genome editing technologies in agriculture requires a comprehensive and rigorous approach to address potential environmental impacts and unintended consequences. Precise editing methodologies, continuous risk assessments, post-release monitoring, and robust regulatory frameworks play pivotal roles in ensuring the safe, ethical, and sustainable application of genome editing in agriculture.

Access to genetically modified (GM) foods presents a complex interplay of social, economic, and ethical considerations. Equity, particularly in the context of GM foods, revolves around ensuring fair access to these products across different societal strata and geographic regions. It involves providing equal opportunities and benefits to diverse populations while addressing potential disparities and ensuring social justice. Research indicates that the adoption of GM crops could influence farmers' income, potentially impacting their access to food resources. Smallholder farmers, constituting a significant portion of agriculture, might face economic implications affecting their food access, highlighting the importance of equitable distribution mechanisms (Qaim & Kouser, 2013). However, societal acceptance of GM foods plays a crucial role in determining equitable access. Acceptance is multifaceted, influenced by a myriad of factors, including consumer perceptions, cultural beliefs, environmental concerns, and perceived risks and benefits. A study emphasized that societal acceptance of GM foods is not solely dependent on scientific evidence but is influenced by broader social, cultural,

and economic contexts (Wolsink, 2018). Understanding and addressing concerns about GM foods' safety, environmental impact, and the role of multinational corporations in their production are integral to fostering societal acceptance. Efforts to engage diverse stakeholders, including consumers, policymakers, farmers, and scientists, are pivotal in enhancing transparency, trust, and informed decision-making (Yali, 2022).

Equitable access to information about GM foods is also essential. Ensuring that individuals have accurate information enables them to make conscious choices regarding their consumption. Educational attempts and public dialogues help spread knowledge and better understanding of GM foods. Addressing equity in access to GM foods requires balancing financial considerations, social acceptance, and ethical responsibilities. Establishing this balance involves not only providing fair access but also respecting individual preferences, environmental sustainability, and cultural diversity. Regulatory frameworks need to develop to address these complexities, ensuring that equitable access to GM foods aligns with social values and ethics (Friedrichs et al., 2019). Achieving equity in GM food access involves reconciling economic considerations with societal acceptance while respecting ethical norms and individual choices. Stakeholder engagement, transparent communication, and evolving regulatory frameworks are key to fostering equitable access to GM foods while navigating diverse societal perspectives and concerns.

6. REGULATORY CHALLENGES

Genomic editing has spurred discussions globally regarding regulatory frameworks to ensure its safe and responsible application. Current regulations governing genomic

editing in agriculture and food production vary across regions and countries, shaping the development and deployment of edited crops. These regulations encompass diverse aspects, including risk assessment, approval processes, labelling, and oversight mechanisms. Regulatory approaches often differ based on the jurisdictional context and the nature of the edited organisms. For instance, in the United States, gene editing in agriculture involves federal agencies such as the U.S. Department of Agriculture (USDA), the Environmental Protection Agency (EPA), and the Food and Drug Administration (FDA). These agencies collaboratively oversee the safety, environmental impact, and food safety aspects of genome-edited crops. Europe has a stringent regulatory landscape, where genome-edited crops generally undergo strict assessments similar to genetically modified organisms (GMOs). The European Union's approach emphasizes a case-by-case evaluation, considering the method employed, potential risks, and benefits associated with the edited crop. In many regions, including some Asian countries, regulations often focus on the final product's characteristics rather than the process used for genome editing. This approach aims to ensure safety while also promoting innovation in agriculture (Entine et al., 2021).

However, challenges persist in harmonizing these regulatory frameworks globally. Discrepancies among regulations across countries can create trade barriers and hinder international collaboration in agricultural research and development. Additionally, the evolving nature of genomic editing technologies demands adaptable and responsive regulatory systems that balance innovation and safety. Ethical considerations are integral to regulatory discussions concerning genomic editing. Ensuring that regulations are not only effective but also ethically sound poses significant challenges. Questions

about societal values, equity in access to benefits, and environmental impact assessments often intersect with regulatory decisions (Mbaya et al., 2022; Pixley et al., 2022). Going forward, there appears to be increasing recognition of the need for more comprehensive and agile regulatory frameworks. These frameworks should facilitate scientific progress while assuring safety, promoting equitable access to beneficial technologies, and addressing societal concerns. International cooperation and dialogue among stakeholders are crucial for establishing harmonized and ethical regulations that ensure the responsible use of genomic editing in agriculture and food production (Mbaya et al., 2022). The current regulatory landscape governing genomic editing in agriculture and food production is diverse and evolving. It reflects varying approaches across regions, balancing safety, innovation, and societal considerations. Harmonizing these regulations globally while addressing ethical concerns remains a significant challenge in enabling the safe and responsible application of genomic editing technologies in agriculture.

Establishing comprehensive and ethical regulatory frameworks for emerging technologies such as genomic editing presents multifaceted challenges. One prominent challenge lies in the rapid evolution of technology outpacing regulatory adaptation. Novel editing techniques and their diverse applications necessitate adaptive regulations that stay abreast of scientific advancements (Entine et al., 2021). The complexity of genome editing presents considerable hurdles for regulatory authorities. The distinction between various editing procedures and the diverse range of modified species hampers the development of universally applicable regulatory standards. Balancing innovation and safety remain a major problem for authorities. Ethical factors complicate the regulatory landscape.

Equitable access to benefits, potential environmental consequences, and public acceptability of modified items all present ethical concerns that must be addressed in regulatory frameworks. Crafting policies that meet these concerns while allowing for scientific breakthroughs is a huge problem (Amini et al., 2023; Sprink et al., 2022). Additionally, harmonizing regulations across different regions and countries poses a major obstacle. Different regulatory approaches and disparate social values among nations hinder the development of unified global standards. These discrepancies create trade barriers and impede international collaboration in research and development. Moreover, public perception and acceptance significantly influence regulatory decisions. Bridging the gap between public perception and regulatory decisions is challenging and requires addressing concerns, ensuring transparency, and engaging stakeholders in meaningful dialogue (Entine et al., 2021; Gerke et al., 2020). Furthermore, resource constraints and limited expertise within regulatory agencies pose challenges in evaluating the safety and environmental impact of edited organisms. Specialized knowledge and infrastructure are needed for rigorous risk assessments, adding complexity to the regulatory process (Cavazza et al., 2023).

International perspectives on regulatory frameworks for emerging technologies like genomic editing underscore the need for standard and harmonic guidelines. The governance of research and clinical trials involving human genome editing emphasizes the importance of an international foundation for ethical and regulatory oversight. A growing consensus advocates for a global approach to address the ethical, legal, and safety concerns associated with genomic editing technologies (Kong, 2004). Several challenges exist due to divergent regulations across nations. The patchwork of international

regulations related to genome editing is complex and challenging to harmonize. This lack of harmonization poses obstacles to scientific collaboration, trade, and the application of innovative technologies across borders. Therefore, there is a clear need for a cohesive regulatory framework that transcends geographical boundaries. Moreover, the development of standardized criteria and definitions for key concepts related to genomic editing is imperative. Clear and uniform definitions for terms like disease, susceptibility, and safety parameters are crucial for effective and consistent regulations worldwide. Standardization aids in promoting a common understanding among stakeholders and streamlines the assessment of risks and benefits associated with genomic editing applications (Ramos et al., 2023; Tachikawa & Matsuo, 2023).

7. CONCLUSION

Unquestionably, the introduction of CRISPR/Cas9 and associated genome editing technologies has transformed food safety, agriculture, and nutritional quality. Precision agriculture has entered a new era thanks to these developments, which have made it possible to create crops with better nutritional profiles, increased disease resistance, and environmental flexibility. The critical need for sustainable food systems that can sustain expanding populations and lessen the effects of climate change is addressed by such technical advancements.

A prime example of the revolutionary potential of contemporary biotechnology is CRISPR/Cas9. This approach has proven effective in creating disease-resistant crops and fortifying staple crops with vital nutrients by enabling precise gene modifications. For example, rice that has been biofortified with more iron and vitamin A shows how genome editing can be

used to fight malnutrition in areas where nutrient deficiencies are severe. Furthermore, CRISPR technology shortens the time needed to create and launch new crop types into the agricultural environment by speeding up breeding cycles. By lowering the amount of pollutants and pathogens in agricultural products, genome editing has been crucial in improving food safety in addition to crop enhancement. CRISPR/Cas9 contributes to a more sustainable food supply chain by reducing foodborne risks and extending the shelf life of perishables by targeting particular bacteria genes. Its use in livestock breeding emphasizes its adaptability even more, as it may lead to better animal welfare and disease resistance.

Although genome editing has incredible potential benefits, there are significant ethical concerns. The ability to change an organism's genetic composition raises ethical concerns over humanity's role in tampering with nature. A cautious approach is required due to concerns about "playing God" and the unforeseen ecological repercussions of introducing genetically modified organisms into the ecosystem. Important consideration must also be given to equity and access to genome editing technology. There is a chance that these breakthroughs will only be available to more affluent countries or businesses, which could worsen already-existing inequalities in global food security. Future research and policy initiatives must be centered on ensuring that these developments help underserved areas and smallholder farmers. Public perception of genome-edited foods significantly influences their adoption. Transparent communication and public engagement are imperative to build trust and address misconceptions surrounding the safety and ethics of genetically modified foods. Educational initiatives and participatory governance can bridge the gap between scientific innovation and societal acceptance.

Robust regulatory frameworks are essential for balancing innovation and safety in the application of genome editing technologies. Regulatory systems must evolve to address the unique challenges posed by CRISPR and similar tools, including off-target effects, potential ecological impacts, and the need for equitable access. Harmonizing international regulations is particularly critical to facilitate trade, foster collaboration, and prevent fragmented adoption of these technologies across borders.

Moreover, post-release monitoring of genome-edited crops is vital for detecting long-term ecological and health effects. Regulatory agencies must work closely with scientists, policymakers, and industry stakeholders to create adaptive and inclusive frameworks that promote responsible use of genome editing. The integration of CRISPR/Cas9 into agriculture offers a glimpse of what the future holds for food systems. Continued investment in research and development is needed to enhance the precision, efficiency, and affordability of genome editing tools. Addressing ethical concerns and fostering global cooperation will be critical in ensuring the equitable distribution of benefits. Additionally, interdisciplinary collaboration across fields such as genomics, agronomy, bioethics, and public policy will be pivotal in maximizing the positive impact of genome editing technologies. Future efforts should focus on expanding the scope of applications, from mitigating allergenic compounds in food to developing crops tailored to specific regional climatic conditions.

Genome editing represents a paradigm shift in the way humanity approaches food production and sustainability. By unlocking the potential to address some of the most pressing challenges in agriculture, this technology has the power to transform global food systems. However, its responsible

implementation requires a careful balance of innovation, ethics, and equity. Through transparent communication, rigorous regulation, and inclusive collaboration, the promise of genome editing can be realized for the benefit of all.

8. REFERENCES

- Abdallah, N. A., Prakash, C. S., & McHughen, A. G. (2015). Genome editing for crop improvement: Challenges and opportunities. *GM Crops & Food*, 6(4), 183. <https://doi.org/10.1080/21645698.2015.1129937>
- Abdul Aziz, M., Brini, F., Rouached, H., & Masmoudi, K. (2022a). Genetically engineered crops for sustainably enhanced food production systems. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2022.1027828>
- Abdul Aziz, M., Brini, F., Rouached, H., & Masmoudi, K. (2022b). Genetically engineered crops for sustainably enhanced food production systems. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1027828. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2022.1027828/BIBTEX>
- Ahmad, M. (2023). Plant breeding advancements with “CRISPR-Cas” genome editing technologies will assist future food security. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1133036. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2023.1133036/BIBTEX>
- Amini, M., Jesus, M. ;, Sheikholeslami, F., Alves, D. ;, Benam, H., Amini, M. M., Jesus, M., Sheikholeslami, D. F., Alves, P., Benam, A. H., & Hariri, F. (2023). Artificial Intelligence Ethics and Challenges in Healthcare Applications: A Comprehensive Review in the Context of the European GDPR Mandate. *Machine Learning and Knowledge Extraction 2023*, Vol. 5, Pages 1023-1035, 5(3), 1023–1035. <https://doi.org/10.3390/MAKE5030053>
- Ayanoğlu, F. B., Elçin, A. E., & Elçin, Y. M. (2020). Bioethical issues in genome editing by CRISPR-Cas9 technology. *Turkish Journal of Biology*, 44(2), 110. <https://doi.org/10.3906/BIY-1912-52>

- Bechtold, S. (2018). Beyond risk considerations: Where and how can a debate about non-safety related issues of genome editing in agriculture take place? *Frontiers in Plant Science*, 871, 421145. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2018.01724/BIBTEX>
- Cardi, T., Murovec, J., Bakhsh, A., Boniecka, J., Bruegmann, T., Bull, S. E., Eeckhaut, T., Fladung, M., Galovic, V., Linkiewicz, A., Lukan, T., Mafra, I., Michalski, K., Kavas, M., Nicolai, A., Nowakowska, J., Sági, L., Sarmiento, C., Yıldırım, K., ... Van Laere, K. (2023). CRISPR/Cas-mediated plant genome editing: outstanding challenges a decade after implementation. *Trends in Plant Science*, 28(10), 1144–1165. <https://doi.org/10.1016/J.TPLANTS.2023.05.012>
- Cavazza, A., Hendel, A., Bak, R. O., Rio, P., Güell, M., Lainšček, D., Arechavala-Gomez, V., Peng, L., Hapil, F. Z., Harvey, J., Ortega, F. G., Gonzalez-Martinez, C., Lederer, C. W., Mikkelsen, K., Gasiunas, G., Kalter, N., Gonçalves, M. A. F. V., Petersen, J., Garanto, A., ... Benabdellah, K. (2023). Progress and harmonization of gene editing to treat human diseases: Proceeding of COST Action CA21113 GenE-HumDi. *Molecular Therapy - Nucleic Acids*, 34, 102066. <https://doi.org/10.1016/J.OMTN.2023.102066>
- Chen, K., Wang, Y., Zhang, R., Zhang, H., & Gao, C. (2019). CRISPR/Cas Genome Editing and Precision Plant Breeding in Agriculture. *Https://Doi.Org/10.1146/Annurev-Arplant-050718-100049*, 70, 667–697. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-ARPLANT-050718-100049>

- Das, P., Adak, S., & Lahiri Majumder, A. (2020). Genetic Manipulation for Improved Nutritional Quality in Rice. *Frontiers in Genetics*, 11. <https://doi.org/10.3389/FGENE.2020.00776>
- Das, S., Ray, M. K., Panday, D., & Mishra, P. K. (2023). Role of biotechnology in creating sustainable agriculture. *PLOS Sustainability and Transformation*, 2(7), e0000069. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PSTR.0000069>
- de Santis, B., Stockhofe, N., Wal, J. M., Weesendorp, E., Lallès, J. P., van Dijk, J., Kok, E., De Giacomo, M., Einspanier, R., Onori, R., Brera, C., Bikker, P., van der Meulen, J., & Kleter, G. (2018). Case studies on genetically modified organisms (GMOs): Potential risk scenarios and associated health indicators. *Food and Chemical Toxicology*, 117, 36–65. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2017.08.033>
- Devos, Y., Maesele, P., Reheul, D., Speybroeck, L., & Waele, D. (2008). Ethics in the societal debate on genetically modified organisms: A (Re)quest for sense and sensibility. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 21(1), 29–61. <https://doi.org/10.1007/S10806-007-9057-6>
- Eckerstorfer, M. F., Dolezel, M., Engelhard, M., Giovannelli, V., Grabowski, M., Heissenberger, A., Lener, M., Reichenbecher, W., Simon, S., Staiano, G., Wüst Saucy, A. G., Zünd, J., & Lüthi, C. (2023). Recommendations for the Assessment of Potential Environmental Effects of Genome-Editing Applications in Plants in the EU. *Plants*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/PLANTS12091764>

- Entine, J., Felipe, M. S. S., Groenewald, J. H., Kershen, D. L., Lema, M., McHughen, A., Nepomuceno, A. L., Ohsawa, R., Ordonio, R. L., Parrott, W. A., Quemada, H., Ramage, C., Slamet-Loedin, I., Smyth, S. J., & Wray-Cahen, D. (2021). Regulatory approaches for genome edited agricultural plants in select countries and jurisdictions around the world. *Transgenic Research*, 30(4), 551–584. <https://doi.org/10.1007/S11248-021-00257-8/FIGURES/1>
- Farre, G., Twyman, R. M., Zhu, C., Capell, T., & Christou, P. (2011). Nutritionally enhanced crops and food security: scientific achievements versus political expediency. *Current Opinion in Biotechnology*, 22(2), 245–251. <https://doi.org/10.1016/J.COPBIO.2010.11.002>
- Fiaz, S., Ahmar, S., Saeed, S., Riaz, A., Mora-Poblete, F., & Jung, K. H. (2021). Evolution and Application of Genome Editing Techniques for Achieving Food and Nutritional Security. *International Journal of Molecular Sciences* 2021, Vol. 22, Page 5585, 22(11), 5585. <https://doi.org/10.3390/IJMS22115585>
- Friedrichs, S., Takasu, Y., Kearns, P., Dagallier, B., Oshima, R., Schofield, J., & Moreddu, C. (2019). Meeting report of the OECD conference on “Genome Editing: Applications in Agriculture—Implications for Health, Environment and Regulation.” *Transgenic Research*, 28(3–4), 419–463. <https://doi.org/10.1007/S11248-019-00154-1>
- Gaikwad, K. B., Rani, S., Kumar, M., Gupta, V., Babu, P. H., Bainsla, N. K., & Yadav, R. (2020). Enhancing the Nutritional Quality of Major Food Crops Through Conventional and Genomics-Assisted Breeding. *Frontiers in Nutrition*, 7, 533453. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2020.533453/BIBTEX>

- Gerke, S., Minssen, T., & Cohen, G. (2020). Ethical and legal challenges of artificial intelligence-driven healthcare. *Artificial Intelligence in Healthcare*, 295. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818438-7.00012-5>
- Ghimire, B. K., Yu, C. Y., Kim, W.-R., Moon, H.-S., Lee, J., Kim, S. H., & Chung, I. M. (2023). Assessment of Benefits and Risk of Genetically Modified Plants and Products: Current Controversies and Perspective. *Sustainability* 2023, Vol. 15, Page 1722, 15(2), 1722. <https://doi.org/10.3390/SU15021722>
- Gómez, M., Chung, Y. S., Movahedi, A., Aghaei-Dargiri, S., Li, H., Zhuge, Q., & Sun, W. (2023). CRISPR Variants for Gene Editing in Plants: Biosafety Risks and Future Directions. *International Journal of Molecular Sciences* 2023, Vol. 24, Page 16241, 24(22), 16241. <https://doi.org/10.3390/IJMS242216241>
- Hefferon, K. L. (2015). Nutritionally Enhanced Food Crops; Progress and Perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(2), 3895. <https://doi.org/10.3390/IJMS16023895>
- Hirschi, K. D. (2020). Genetically Modified Plants: Nutritious, Sustainable, yet Underrated. *The Journal of Nutrition*, 150(10), 2628. <https://doi.org/10.1093/JN/NXAA220>
- Joshi, A., Yang, S.-Y., Song, H.-G., Min, J., & Lee, J.-H. (2023). Genetic Databases and Gene Editing Tools for Enhancing Crop Resistance against Abiotic Stress. *Biology*, 12(11), 1400. <https://doi.org/10.3390/biology12111400>

- Kong, W. M. (2004). The regulation of gene therapy research in competent adult patients, today and tomorrow: implications of EU Directive 2001/20/EC. *Medical Law Review*, 12(2), 164–180. <https://doi.org/10.1093/MEDLAW/12.2.164>
- Ku, H. K., & Ha, S. H. (2020). Improving Nutritional and Functional Quality by Genome Editing of Crops: Status and Perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 11, 577313. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.577313/BIBTEX>
- Kumar, D., Yadav, A., Ahmad, R., Dwivedi, U. N., & Yadav, K. (2022). CRISPR-Based Genome Editing for Nutrient Enrichment in Crops: A Promising Approach Toward Global Food Security. *Frontiers in Genetics*, 13, 932859. <https://doi.org/10.3389/FGENE.2022.932859/BIBTEX>
- Lassoued, R., Macall, D. M., Smyth, S. J., Phillips, P. W. B., & Hessel, H. (2019). Risk and safety considerations of genome edited crops: Expert opinion. *Current Research in Biotechnology*, 1, 11–21. <https://doi.org/10.1016/J.CRBIOT.2019.08.001>
- Liu, Q., Yang, F., Zhang, J., Liu, H., Rahman, S., Islam, S., Ma, W., & She, M. (2021). Application of CRISPR/Cas9 in Crop Quality Improvement. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(8). <https://doi.org/10.3390/ijms22084206>
- Lorenzo, D., Esquerda, M., Palau, F., Cambra, F. J., & Bioética, G. I. en. (2022). Ethics and Genomic Editing Using the Crispr-Cas9 Technique: Challenges and Conflicts. *NanoEthics*, 16(3), 313–321. <https://doi.org/10.1007/S11569-022-00425-Y/METRICS>

- Mbaya, H., Lillico, S., Kemp, S., Simm, G., & Raybould, A. (2022). Regulatory frameworks can facilitate or hinder the potential for genome editing to contribute to sustainable agricultural development. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 959236. <https://doi.org/10.3389/FBIOE.2022.959236/BIBTEX>
- Meyer, A., & Dastgheib-Vinarov, S. (2021). *The Future of Food? CRISPR-Edited Agriculture - Food and Drug Law Institute (FDLI)*. Food and Drug Law Institute. <https://www.fdpi.org/2021/11/the-future-of-food-crispr-edited-agriculture/>
- Montecillo, J. A. V., Chu, L. L., & Bae, H. (2020). CRISPR-Cas9 System for Plant Genome Editing: Current Approaches and Emerging Developments. *Agronomy*, 10(7), 1033. <https://doi.org/10.3390/agronomy10071033>
- Nadarajah, K., & Abdul Rahman, N. S. N. (2023). The Microbial Connection to Sustainable Agriculture. *Plants* 2023, Vol. 12, Page 2307, 12(12), 2307. <https://doi.org/10.3390/PLANTS12122307>
- Nayak, A., & Dutta, D. (2023). *A comprehensive review on CRISPR and artificial intelligence based emerging food packaging technology to ensure “safe food.”* <https://doi.org/10.1039/d3fb00059a>
- Niemiec, E., & Howard, H. C. (2020). Ethical issues related to research on genome editing in human embryos. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 18, 887–896. <https://doi.org/10.1016/J.CSBJ.2020.03.014>
- OBA, Ş., & YILDIRIM, T. (2021). Food biotechnology and food safety. *International Journal of Science Letters*, 3(1), 52–64. <https://doi.org/10.38058/ijsl.855920>

- Pixley, K. V, Falck-Zepeda, J. B., Paarlberg, R. L., Phillips, P. W. B., Slamet-Loedin, I. H., Dhugga, K. S., Campos, H., & Gutterson, N. (2022). Genome-edited crops for improved food security of smallholder farmers. *Nature Genetics*, 54(4), 364–367. <https://doi.org/10.1038/s41588-022-01046-7>
- Qaim, M., & Kouser, S. (2013). Genetically Modified Crops and Food Security. *PLoS ONE*, 8(6), 64879. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0064879>
- Ramos, P. D., Almeida, M. S., & Olsson, I. A. S. (2023). Safe and purposeful genome editing under harmonized regulation for responsible use: views of research experts. *New Genetics and Society*, 42(1). <https://doi.org/10.1080/14636778.2023.2237177>
- Rani, M., Kaushik, P., Bhayana, S., & Kapoor, S. (2023). Impact of organic farming on soil health and nutritional quality of crops. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 22(8), 560–569. <https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2023.07.002>
- Ray, S., K, S., & Jangid, C. (2023a). CRISPR-Cas9 for sustainable food production: Impacts, recent advancements and future perspectives. *Food and Humanity*, 1, 1458–1471. <https://doi.org/10.1016/J.FOOHUM.2023.10.014>
- Ray, S., K, S., & Jangid, C. (2023b). CRISPR-Cas9 for sustainable food production: Impacts, recent advancements and future perspectives. *Food and Humanity*, 1, 1458–1471. <https://doi.org/10.1016/J.FOOHUM.2023.10.014>

- Sharma, P., Pandey, A., Malviya, R., Dey, S., Karmakar, S., & Gayen, D. (2023). Genome editing for improving nutritional quality, post-harvest shelf life and stress tolerance of fruits, vegetables, and ornamentals. *Frontiers in Genome Editing*, 5, 1094965. <https://doi.org/10.3389/FGEED.2023.1094965/BIBTEX>
- Sprink, T., Wilhelm, R., & Hartung, F. (2022). Genome editing around the globe: An update on policies and perceptions. *Plant Physiology*, 190(3), 1579. <https://doi.org/10.1093/PLPHYS/KIAC359>
- Tachikawa, M., & Matsuo, M. (2023). Divergence and convergence in international regulatory policies regarding genome-edited food: How to find a middle ground. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1105426. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2023.1105426/BIBTEX>
- Tang, Q., Wang, X., Jin, X., Peng, J., Zhang, H., & Wang, Y. (2023). CRISPR/Cas Technology Revolutionizes Crop Breeding. *Plants*, 12(17), 3119. <https://doi.org/10.3390/plants12173119>
- Tripathi, L., Dhugga, K. S., Ntui, V. O., Runo, S., Syombua, E. D., Muiruri, S., Wen, Z., & Tripathi, J. N. (2022). Genome Editing for Sustainable Agriculture in Africa. *Frontiers in Genome Editing*, 4, 876697. <https://doi.org/10.3389/FGEED.2022.876697/BIBTEX>
- Troadec, M. B., & Pagès, J. C. (2019). Where are we with unintended effects in genome editing applications from DNA to phenotype: focus on plant applications. *Transgenic Research*, 28(2), 125–133. <https://doi.org/10.1007/S11248-019-00146-1/FIGURES/9>

- van Esse, H. P., Reuber, T. L., & van der Does, D. (2020). Genetic modification to improve disease resistance in crops. *New Phytologist*, 225(1), 70–86. <https://doi.org/10.1111/NPH.15967>
- Wolsink, M. (2018). Social acceptance revisited: gaps, questionable trends, and an auspicious perspective. *Energy Research & Social Science*, 46, 287–295. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2018.07.034>
- Yali, W. (2022). *Application of Genetically Modified Organism (GMO) crop technology and its implications in modern agriculture*. <https://doi.org/10.17352/2455-815X.000139>
- Zhang, D., Hussain, A., Manghwar, H., Xie, K., Xie, S., Zhao, S., Larkin, R. M., Qing, P., Jin, S., & Ding, F. (2020). Genome editing with the CRISPR-Cas system: an art, ethics and global regulatory perspective. *Plant Biotechnology Journal*, 18(8), 1651–1669. <https://doi.org/10.1111/pbi.13383>
- Zhang, F., Neik, T. X., Thomas, W. J. W., & Batley, J. (2023). CRISPR-Based Genome Editing Tools: An Accelerator in Crop Breeding for a Changing Future. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(10), 8623. <https://doi.org/10.3390/ijms24108623>

ÇOCUK VE ERGEN BESLENMESİNDE DİYET LİFİN ÖNEMİ VE ALIM ÖNERİLERİ

Cavidan DEMİR GÖKİŞİK¹

1. GİRİŞ

Diyet lifi, insan sağlığı için hayati önem taşıyan insan diyetinde olması gereken temel bir besin bileşenidir. Çok çeşitli sağlık yaraları ile ilgili çok fazla kanıt bulunmaktadır. Dışkı hacmini artırma gibi bir dizi işlevsel fayda ve bağırsak mikrobiyomu tarafından çeşitli lif tiplerinin fermente edilmesiyle kolesterol düşürme, glisemik kontrol ve kilo kontrolü gibi fizyolojik faydalar sağlar. Lifin bağırsakta fermente edilmesinin yan ürünleri, bağırsakların ötesine uzanan bağışıklık sistemi, karaciğer, böbrekler ve beyin gibi organlara kadar uzanan sağlığa yararları vardır. Diyetle lif eksikliği, fonksiyonel çocukluk çağı kabızlığı, irritabil bağırsak sendromu (İBS), alerjiler ve bağışıklık ile ilgili bozukluklar dahil olmak üzere çocuklarda çeşitli bozukluklarla ilişkilendirilmiştir. Pediatrik uygulamada, özellikle beslenme desteği alan çocuklar için gereksiz kısıtlamalara yol açabilen diyet lifi toleransı konusunda endişeler bulunmaktadır. Bunun bir nedeni, tarihsel olarak kullanılan terminoloji olabilir. Diyet Lif, genellikle fizyolojik etkileri/işlevselliği (fermente edilebilirlik, hacim oluşturma etkileri) yerine fiziko-kimyasal özellikleri (çözünürlük, viskozite) açısından tanımlanır. Diyet lifi bu son terimlerle tanımlamak, oynadığı önemli rolü daha açık bir şekilde gösterir. Çoğu uluslararası kılavuz, sağlık için gerekli olan lifin kalite yönünden bahsetmeden günlük lif miktarını

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, cavidan.gokisik@giresun.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-7273-3156.

önermektedir (Hojsak ve ark., 2022). Bu bölümde, sağlıklı çocuklar, beslenme desteğine ihtiyaç duyanlar ve fonksiyonel gastrointestinal bozuklukları olanlar için günlük lif alımlarına ilişkin mevcut önerilere ve verilere dayanarak, çocuklarda lif tüketiminin önemini ele alınıyor. Ayrıca bağırsak mikrobiyasının önemini ve diyet lifin bağırsak mikrobiyal sağlığını korumadaki rolü ve bağırsak ötesinde sağlığa faydalarından bahsediyoruz.

Diyet lifi alımının kronik hastalıklar üzerindeki etkisi yetişkinlerde araştırılmıştır ancak çocuklarda büyük ölçüde bilinmemektedir. Çoğunlukla yetişkinlere yönelik çalışmalardan elde edilen mevcut veriler, daha yüksek diyet lifi tüketimiyle obezite, diyabet ve kabızlık için önemli ölçüde daha düşük risklerin beklenebileceğini göstermektedir. Mevcut alım çalışmaları, çocukların diyet lifi tüketimini artırmaya yönelik tüm çabaların teşvik edilmesi gerektiğini ileri sürmektedir. Ancak, bu varsayımları desteklemek için farklı seviyelerde diyet lifi tüketen çeşitli yaşlardaki çocuklarda yapılan klinik çalışmalardan elde edilen veri eksikliği vardır. Çocuklar için mevcut lif önerileri çelişkilidir, şaşırtıcı bir durumdur çünkü daha yüksek diyet lifi alımıyla ilişkili sağlık yararları yetişkinlerde iyi bilinmektedir. Mevcut pediatrik lif alımı önerilerinin bir kısmını veya tamamını desteklemek veya çürütmek için kesin kanıt sağlayan veriler eksiktir. Çocukların sağlığını iyileştirme fırsatı bir öncelik olmalıdır çünkü bu aynı zamanda yaşamlarının ilerleyen dönemlerindeki sağlıklarıyla da ilgilidir. Bu bölümde özetlendiği gibi, diyet lifi alımının bilinen sağlık yararları, artan diyet lifi yoluyla çocuk sağlığına yönelik potansiyel yararların incelenmesi ihtiyacının daha fazla farkında olunmasını gerektirmektedir (Kranz ve ark., 2012). Diyet lifinin sürdürülebilir sağlığı desteklemedeki rolü onlarca yıldır incelenmektedir ve yetişkinlerde yüksek lifli gıdalar açısından zengin diyetlerin kalp-damar hastalıkları ve kanser dahil olmak üzere kronik hastalık

riskini azalttığına dair çok sayıda iyi kanıtlar vardır. Yüksek ²lifli bir diyetin kalp hastalığı, diyabet, divertiküler hastalık, kabızlık ve kolon kanseri dahil olmak üzere çeşitli rahatsızlıkların gelişme riskini azalttığı bilinmektedir. Diyet lifin, sindirim sisteminin sağlığı ve kolesterolü düşürmek için tüketilmesi gerektiğini hemen bütün çalışmalar bildirmektedir. <https://www.ucsfhealth.org/education/increasing-fiber-> (erişim tarihi: Aralık 2024).

Çocukluk çağındaki diyet lifi araştırmaları, yürütülen çalışmaların sayısını ve türünü ve dolayısıyla diyet yönergeleri ve tavsiyelerinin dayandırılacağı kanıtları kısıtlayan sorunlarla doludur. Diyet lifinin tanımı, bazı ülkelerde kullanılan farklı yaklaşımlarla onlarca yıldır büyük bir tartışma konusudur ve bu da çalışmaların karşılaştırılmasını çok zorlaştırır. Ayrıca etik ve pratik nedenlerle çocuklarda ve ergenlerde diyeti incelemek zordur. Bu, gözlemsel çalışmaların az ve müdahale çalışmalarının sayısının çok sınırlı olduğu anlamına gelir. Diyet lifi için diyet önerileri de çoğunlukla yetişkin verilerinin kaynağına veya enerji alımlarına dayanmaktadır. Başlangıçta yüksek lifli bir diyetin yetersiz enerji alımına ve mikro besin emiliminin engellenmesine neden olabileceği korkusu vardı. Bu, sindirilebilirliği düşük yiyeceklerle çok zayıf diyet yapanlarda hala geçerli olabilir. Ancak, çocukluk çağında obezitenin arttığı bir dünyada, bu faktörler daha az önemlidir ve diyetin enerji yoğunluğunu azaltmanın ve kronik hastalıkları önlemenin yollarını bulmak daha önemli hale gelir. Bu, çocuklar için diyet lifi önerilerinin yeniden değerlendirilmesine yol açmıştır ancak çoğu şey hala sağlam kanıtlardan ziyade çıkarımlara dayanmaktadır. Buna paralel olarak, diyet lifi tanımı ve akut ve kronik rahatsızlıkların

2 Dr. Öğr. Üyesi Cavidan DEMİR GÖKİŞİK, Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, ORCID ID: 0000-0001-7273-3156, cavidan.gokisik@giresun.edu.tr, 05355550601.

bir dizisinde bağırsak mikrobiyomunun önemi konusunda artan farkındalık hakkındaki devam eden tartışmalar, çocuklukta diyet lifinin sürdürülebilir sağlık oluşturma ve kronik hastalıkların önlenmesindeki rolünün anlaşılmasına ivme kazandırmıştır (Edwards 2015). Diyet lifi, yetişkinlerde olduğu gibi sağlıklı bir çocuğun diyetinin temel bir bileşeni olarak kabul edilir. Yeterli diyet lifi alımına sahip sağlıklı çocukların diyetleri, düşük diyet lifi alımına sahip çocukların diyetlerine kıyasla daha yüksek diyet kalitesi, daha yüksek besin yoğunluğu ve daha yüksek vitamin ve mineral alımı ile karakterize edilir. Bununla birlikte, çocukların önemli bir kısmı önerilen diyet lifi alımını karşılamaz. Bu özellikle böbrek hastalığı olan çocuklarda geçerlidir, çünkü böbrek hastalıklarındaki geleneksel diyet önerileri ağırlıklı olarak enerji ve protein miktarlarına odaklanmış ve genellikle potasyum ve fosfatı kısıtlarken diyetin kalitesini ve çeşitliliğini göz ardı etmiştir. Ortaya çıkan kanıtlar, diyet lifinin ve buna bağlı olarak tipik olarak daha yüksek diyet lifi içeriğine sahip bitki bazlı bir diyetin böbrek hastalığı olan çocuklar için sağlıklı çocuklar kadar önemli olduğunu göstermektedir. Diyet lifi, kabızlığın önlenmesi ve daha az gastrointestinal semptom, azalmış inflamatuvar durum ve bağırsaktan kaynaklanan üremik toksinlerin üretimini azalması gibi çeşitli sağlık yararları sağlar. Son çalışmalar, yüksek diyet lifi alımının böbrek hastalığı olan çocuklarda hiperkalemi veya beslenme eksiklikleri riskini artırdığı düşüncesine meydan okumuştur (Snauwaert ve ark., 2023).

Diyet lifi tanımı, diyet lifinin neyi oluşturduğuna dair çeşitli tanımlar kullanılmaktadır. Tıp Enstitüsü, Gıda ve Beslenme Kurulu, diyet lifini ‘bitkilerde doğal ve bozulmamış olarak bulunan sindirilemeyen karbonhidratlar ve lignin’ olarak tanımlar. WHO ve Codex Alimentarius Komisyonu, diyet lifi tanımını ‘insanların ince bağırsağının endojen enzimleri tarafından hidrolize edilmeyen, on veya daha fazla monomerik

üniteye sahip karbonhidrat polimerleri' olarak, son olarak, Uluslararası Karbonhidrat Kalite Konsorsiyumu diyet lifini 'emilmeyen bitki karbonhidratları' olarak tanımladı. Bu tanımlar, günlük önerilen diyet alımını tanımlamak ve gıda etiketleme gerekliliklerine rehberlik etmek için kullanılır. Ancak yaygın olarak kabul görmesine rağmen, bu tanımlar potansiyel diyet lifi kaynaklarının çeşitliliğini ve faydalarını dikkate almaz (Hojsak ve ark., 2022).

Diyet lifinin genel ve kapsamlı tanımı ise; bitkilerin destek dokusunu oluşturan, insanlarda diyet lifi sindirecek enzimlerinin eksikliği nedeniyle insan ince bağırsağında sindirilemeyen ancak bazıları kalın bağırsakta bağırsak bakterileri tarafından fermente edilebilen karbonhidratlar grubudur (Dai ve Chau, 2017). Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), diyet lifini "sindirilemeyen karbonhidratlar artı lignin" olarak tanımlar. Bunlara nişasta dışı polisakkaritler selüloz, hemiselülozlar, pektinler, hidrokolloidler (yani zamlar, müsilaajlar ve β -glukanlar), dirençli oligosakkaritler, dirençli nişasta (fiziksel olarak kapalı nişasta, bazı ham nişasta granül tipleri, retrograd amiloz, kimyasal ve/veya fiziksel olarak modifiye edilmiş nişastalardan oluşur) ve diyet lifi polisakkaritleriyle ilişkili lignin dahildir (Venter ve ark., 2022). Diyet lifi, bitkilere özgüdür ve suda çözünürlük özelliklerine göre çözünür veya çözünmez lifler olarak sınıflandırılır. Her biri farklı özelliklere ve karakteristik yapıya sahiptir. Suda çözünen lifler arasında pektin, zamlar, müsilaaj, fruktanlar ve bazı dirençli nişastaların çeşitli mekanizmalarla kan kolesterolünü düşürdüğü gösterilmiştir (Lairon ve ark., 2005). Suda çözünen lifler sindirim sırasında suyu emerek dışkı hacmini artırır, kolesterol emilimini azaltarak toplam kan kolesterol seviyelerini düşürdüğü ve diyabetli kişilerde kan şekeri seviyelerini iyileştirdiği gösterilmiştir. Çözünür lif meyvelerde (elma,

portakal ve greyfurt gibi), sebzelerde, baklagillerde (kuru fasulye, mercimek ve bezelye gibi), arpada, yulafta ve yulaf kepeğinde bulunabilir. (Kranz et al., 2012). Suda çözünmeyen lifler sindirim sırasında değişmeden kalır. Suda çözünmeyen lifler, lignin, selüloz ve hemiselüloz, hızlı mide boşalmasına sahiptir ve bu nedenle bağırsak geçiş süresini kısaltır ve dışkı hacmini artırarak kalın bağırsaktan bozulmadan atılarak sindirimi düzenler (Abutair ve ark., 2016; Soliman, 2019). Selüloz gibi fermente edilemeyen kısım, bağırsak işini ve boşalmasını hızlandırarak bağırsak sağlığı, özellikle bağırsak kanseri için önemli bir bileşendir. Çözünmeyen lifler yenilebilir kabuklu veya çekirdekli meyvelerde, sebzelerde, tam tahıllı ürünlerde (tam buğday ekmeği, makarna ve kraker gibi), bulgur buğdayında, tahta öğütülmüş mısır unu, tahıllarda, kepekte, yulaf ezmesinde, karabuğdayda ve esmer pirinçte bulunabilir (Wegermann ve Roper, 2020). Bitkilerde bulunan diyet lif çeşitleri ve vücudun faydalanma oranları ile beraber diyet lifin sınıflandırılması Tablo 1’ de verilmiştir.

Çocuklarda, özellikle 5 yaş altı çocuklarda diyet lifi ile ilgili endişe ve tartışmalardan çıkarılan sonuç, diyet lifi sağlıklı bir çocuğun diyetinin temel bir bileşeni olarak kabul edilir. Yeterli diyet lifi alımına sahip sağlıklı çocukların diyetleri, düşük diyet lifi alımına sahip çocukların diyetlerine kıyasla daha yüksek diyet kalitesi, daha yüksek besin yoğunluğu ve daha yüksek vitamin ve mineral alımı ile karakterize edilir. Bununla birlikte, çocukların önemli bir kısmı, genellikle gelişmiş ülkelerde, önerilen diyet lifi alımını karşılamaz. Bu özellikle böbrek hastalığı olan çocuklarda da geçerlidir, çünkü böbrek hastalıklarındaki geleneksel diyet önerileri ağırlıklı olarak enerji ve protein miktarlarına odaklanmış ve genellikle potasyum ve fosfatı kısıtlarken diyetin kalitesini ve çeşitliliğini göz ardı etmiştir. Ortaya çıkan kanıtlar, diyet lifinin ve buna bağlı olarak

tipik olarak daha yüksek diyet lifi içeriğine sahip bitki bazlı bir diyetin böbrek hastalığı olan çocuklar için sağlıklı çocuklar kadar önemli olduğunu göstermektedir (Dai ve Chau, 2017).

Tablo 1. Diyet lifin sınıflandırılması

Sınıfı	Lif ve yapı	Bağırsak bakterisi tarafından fermente edilebilirlik	Gıda kaynakları
Nişastasız polisakkaritler	Selüloz (doğrusal) $\beta(1 \rightarrow 4)$ bağlı D-glikoz birimleri	%10–%30	Tahıllar, meyveler, sebzeler ve kuruyemişler.
	Hemiselülozlar (Dallanmış) $\beta(1 \rightarrow 4)$ -bağlı Ksilanlar	%50–%70	Hububat
	Pektinler, $\alpha(1 \rightarrow 4)$ -bağlı galakturonik asit	~%100	Meyve ve sebzeler
	Hidrokolloidler, yani zamklar, müsilaajlar, β -glukanlar	~%100	Zamklar: bitki salgıları, tohumlar ve deniz yosunları Musilaj: Doğal sakızlar Tahıllar
Direncili oligosakkaritler	Fruktooligosakkaritler (FOS)	%100	FOS: meyve, sebze ve tahıllar
	Galakto-oligosakkaritler (GOS)	%100	GOS: Meyve ve sebzeler
	Ksilo-oligosakkaritler (XOS)	%100	XOS: Bambu filizleri, meyveler, sebzeler, süt ve bal
	Diğer direncili oligosakkaritler)	%100	Rafinoz oligosakkaritleri: Baklagiller, ebeğümeci ve hardal tohumları
Dirençli nişasta	Fiziksel olarak kapalı nişasta ($\alpha(1 \rightarrow 4)$ -bağlı glikoz monomerleri), modifiye edilmiş nişastalar	~%100	Tam tahıllar, baklagiller, pişmiş ve soğutulmuş makarna, patates ve pirinç, olgunlaşmamış muz.
Lignin	Karmaşık ve değişken yapılara sahip, yüksek molekül ağırlıklı, çözünmeyen bitki polimerleri	%0	Kereviz ve tahıllar

Kaynak: Venter ve ark., 2022.

Diyet lifi, kabızlığın önlenmesi ve daha az gastrointestinal semptom, azalmış inflamatuvar durum ve bağırsaktan kaynaklanan üremik toksinlerin üretiminin azalması gibi çeşitli sağlık yararları sağlar. Son çalışmalar, yüksek diyet lifi alımının böbrek hastalığı olan çocuklarda hiperkalemi veya beslenme eksiklikleri riskini artırdığı fikrine meydan okumuştur. Böbrek hastalığı olan çocuklarda diyet lifi alımını ele alan yeni çalışmalara ve revize edilmiş kılavuzlara acil ihtiyaç vardır (Snauwaert ve ark., 2023).

2. ÇOCUK VE ERGENLER İÇİN DİYET LİF ALIM ÖNERİLERİ

Çocuklar için diyet lifi alımına dair öneriler, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) gibi uluslararası sağlık ve gıda güvenliği kuruluşları tarafından yapılmaktadır. Bunu yanında birçok ülke kendi alım önerilerini oluşturmuştur. Bu öneriler, çocukların sağlıklı büyüme ve gelişimi için önemli bir rehber sunar. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), sağlıklı bir diyetin parçası olarak, çocukların yeterli miktarda lif almasını önermektedir. Diyet lifi için diyet alımı önerileri çeşitli yetkili kuruluşlar arasında büyük farklılıklar göstermektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Çocuklar ve ergenler için günlük lif alımına ilişkin öneriler (Hojsak ve ark., 2022).

Ülke	Kaynak	Öneri yılı	Günlük diyet lif önerisi
İngiltere	İngiltere Beslenme Bilim Danışma Komitesi (SACN, 2015)	2015	2-5yaş arası: 15 g/gün 5-11yaş arası: 20 g/gün 11-16 yaş arası: 25 g/gün 16-18 yaş arası: 30 g/gün
Avrupa Birliği	Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi	2019	1-3 yaş: 10 g/gün 4-6 yaş: 14 g/gün 7-10 yaş: 16 g/gün 11-14 yaş: 19 g/gün
Amerika	Williams ve ark. (1995) Stephen ve ark. (2017)	1995 2005	Yaş artı 2 yaş üstü için günde 5 gr (minimum) ve günde 10 gr'a kadar (maksimum) 1-3 yaş: 1000 kcal başına 19 g 4-8 yaş: 1000 kcal başına 25 g

WHO (2015), 5 yaş ve üzeri çocuklar için günlük 15-25 gram arasında lif alınmasını önermektedir. WHO'nun önerilerine göre, diyet lifi alımının artırılması, kalp-damar hastalıkları, obezite, diyabet ve sindirim sistemi hastalıkları gibi kronik hastalıkların riskini azaltabilir.

Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), çocukların sağlıklarını desteklemek için diyet lifi alımını önemli bir faktör olarak kabul etmektedir. EFSA'nın önerileri, çocukların sağlıklı büyümelerini ve gelişimlerini desteklemek için lif alımını doğru seviyelerde tutmayı amaçlamaktadır. EFSA (2010), özellikle çocuklar ve ergenler için aşağıdaki diyet lifi alım miktarlarını önermektedir:

1-3 yaş: Günlük 12-15 gram

4-6 yaş: Günlük 15-20 gram

7-10 yaş: Günlük 20-25 gram

11-14 yaş: Günlük 25-30 gram

EFSA, lif alımının gıda çeşitliliği ile sağlanmasını, özellikle meyve, sebze, tam tahıllar, baklagiller ve kuruyemişlerin beslenmede yer almasını önermektedir. Çocukların sağlıklı büyüme ve gelişimi için yeterli diyet lifi alması önemlidir. WHO ve EFSA, çocukların yaşlarına uygun günlük lif alım miktarlarını belirleyerek, diyetin çeşitlendirilmesi ve doğal lif kaynaklarının tüketilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Lifin bol miktarda bulunduğu gıdaların diyetinize dahil edilmesi, çocuğunuzun genel sağlığını iyileştirebilir ve uzun vadeli sağlık sorunlarını engellemeye yardımcı olabilir.

Amerikan Pediatri Akademisi (AAP) ise 3 yaş üzeri çocuklarda, çocuğun yaşı + 5 g ek diyet lif önermektedir. Diyet lifi için diyet alım önerileri çeşitli otoriter bedenler arasında yaygın olarak farklılık gösterir. Bu önerilere rağmen, birçok çocuğun önerilen lif alımını karşılayamadığı belirtilmektedir. Örneğin, Birleşik Krallık Ulusal Diyet ve Beslenme Anketi, 4-10 yaş arasındaki çocukların sadece %14'ünün SACN'in 20 g/gün önerisini karşıladığını ortaya koymuştur. Tüm yaş gruplarında ortalama lif alımı, önerilen seviyelerin altında kalmaktadır. Ancak, çocuklar için diyet lif önerileri için sorulması gereken soru; Kalite mi, Miktar mı? (Hojsak ve ark., 2022), bu sorunun cevabı henüz net değildir, bunun için daha çok veriye ihtiyaç vardır. Hojsak ve ark. (2022) göre çocuklarda diyet lif kalitesi önemlidir. Çünkü, çocuklarda diyet lif şekli suda çözünen yani kalın bağırsak bakterileri tarafından fermente edilebilen diyet lif (prebiyotik) olması, çocukların bağırsak bakteri florasının gelişmesi ve sağlıklı olması için gereklidir. Hem fermente edilebilir hem de hacim kazandırıcı lifler, sağlıklı

bir bağırsak (veya sağlıklı kolon) sağlamaya yardımcı olur ve bağırsakların ötesinde sağlık yararları sağlar, bu nedenle diyetle her ikisinin bir kombinasyonuna ihtiyaç vardır. Yeterli lif alımı önemli olsa da, çok yüksek lifli diyetler konusunda genç çocuklar için bazı endişeler vardır. Bu çocuklar, diyetlerinin büyük ölçüde lif açısından zengin gıdalar (sebzeler, baklagiller, tam tahıllar) ile dolu olması durumunda yeterli enerji alımında zorluk yaşayabilirler. Bu durum, kalori alımının sınırlı olması nedeniyle optimal büyümeyi engelleyebilir.

3. DİYET LİFİN ÇOCUK VE ERGENLERDE SAĞLIĞA FAYDALARI

Yaşamın ilk yılları sağlıklı bir kolon mikroflorasının ve iyi beslenme alışkanlıklarının oluşturulması için kritik olabilir. Çocukluk çağında diyet lifi alımına dair net ve sağlam temellere dayanan kılavuzların olmaması her iki faktörü de engelleyebilir. 5 yaşından küçük çocuklarda yüksek lifli bir diyetin büyüme geriliğine ve mineral dengesizliğine yol açacağı yönündeki korkular, özellikle gelişmiş ülkelerdeki çocuklar için, literatürde yeterince desteklenmemektedir. Gerçekten de, artan obezite seviyeleriyle birlikte, lif alımı enerji alımını azaltmada faydalı olabilir. Düşük lifli bir diyet ayrıca çocukluk çağı kabızlığı ve apandisit etiolojisinde de rol oynayabilir. Diyet lifinin tanımı için en son öneriler, prebiyotik görevi görebilen oligosakkaritleri içerir. Bebeklerin ve çocukların diyetlerine oligosakkaritleri dahil etmenin potansiyel sağlık yararları vardır, ancak uzun vadeli etkileri değerlendirmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Bebeğin olgunlaşmamış bağırsağı ayrıca süten kesme sırasında daha fazla nişastanın kolona girmesine neden olabilir ve bu nişasta artık yeni tanımlara göre diyet lifi olarak kabul edilecektir. Uygun yaş grubunda toplanan verilere dayanarak çocuklukta diyet lifi alımına ilişkin yeterli önerilere

izin vermek için çok sayıda yeni araştırmaya ihtiyaç vardır (Edwards ve Parrett, 2003).

Diyet lifin kronik hastalıklar üzerindeki etkileri yetişkinlerde iyi belgelenmiştir, ancak lif ve çocukluk sağlığı arasındaki ilişki konusunda muazzam boşluklar vardır. Obezite ve diyabet çocuklarda ciddi halk sağlığı sorunları olarak kabul edilir; ancak lif alımıyla ilişkili başka bir durum olan kabızlık, Batı ülkelerindeki birçok çocuğu etkiler ve bir çocuğun refahı ve akademik performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Kronik kabızlığı olan çocukların, inflamatuvar bağırsak hastalığı veya gastrik reflü olan çocuklardan bile daha düşük yaşam kalitesi puanlarına sahip olduğu bildirilmektedir (Kranz ve ark., 2012).Çocuklarda lifin çoklu sistem yararları hakkında benzer veriler eksik olsa da, daha yüksek diyet lifi alımına sahip sağlıklı çocukların, büyüme ve sağlıklı ve aktif bir yaşam için enerji ve tüm temel besinleri sağlayan çeşitlendirilmiş, dengeli ve sağlıklı bir diyet olarak tanımlanan gelişmiş bir diyet kalitesine sahip olduğu gösterilmiştir (Snauwaert ve ark.,2023

3.1. Kabızlık Üzerindeki Etkileri

Çocuklarda diyet lifi ve kabızlık konusu, pediatrik sağlık alanında önemli bir yer tutmaktadır. Diyet lifi, sindirim sisteminin sağlıklı çalışmasını destekleyen, vücutta sindirilmeyen karbonhidratlar ve bitkisel bileşiklerdir. Çocuklarda yeterli diyet lifi alımı, kabızlık gibi sindirim sorunlarını önlemeye yardımcı olabilir. Kabızlık, çocuklarda yaygın görülen bir sindirim problemi olup, genellikle zayıf diyet lifi alımı, sıvı yetersizliği veya hareketsiz yaşam tarzı ile ilişkilidir (Liu ve ark., 2014).

Amerikan Gastroenteroloji Derneği, kabızlığı “tatmin edici olmayan bir dışkılama olarak tanımlanan ve seyrek bağırsak hareketi, zor dışkı geçişi veya her ikisi ile karakterize

edilen semptom bazlı bir bozukluk” olarak tanımlar. Dünya Gastroenteroloji Örgütü, fonksiyonel kabızlığın yönetimi için müshil ve davranışsal müdahalelerle birlikte tam lifli gıdalara odaklanarak günlük lif tüketiminde kademeli bir artışın (birkaç hafta boyunca) teşvik edilmesini önermektedir (Sharma, 2020; Włodarczyk ve ark., 2021). Avrupa Pediatrik Gastroenteroloji, Hepatoloji ve Beslenme Derneği (ESPGHAN) ve Kuzey Amerika Pediatrik Gastroenteroloji, Hepatoloji ve Beslenme Derneği'nin (NASP-GHAN) önerileri, fonksiyonel kabızlığı olan çocuklar için normal bir lif alımını önermektedir. Ancak bu çocuklar için en faydalı olabilecek lif türü veya kaynağı hakkında herhangi bir özel kılavuz bulunmamaktadır. Dahası, çocuklarda bu bozukluğun fonksiyonel bileşenini ele alma alma açısından faydalı olabilecek lif türleri için sistematik veri eksikliği bulunmaktadır (Hojsak ve ark., 2022).

Birçok çalışma, diyet lifinin çocuklarda kabızlık üzerinde olumlu etkiler sağladığını göstermektedir. Örneğin, He ve ark., (2015), diyet lifi alımının artmasının kabızlık belirtilerini azalttığını bulmuşlardır. Çalışmada, yüksek lifli gıdaların (özellikle sebzeler, meyveler ve tam tahıllar) sindirim sistemini düzenlediği ve dışkılamayı iyileştirdiği vurgulanmıştır.

Diyet lifi, suyu emerek dışkının hacmini artırır ve bağırsak hareketliliğini teşvik eder. Bu mekanizma, kabızlık tedavisinde önemli bir rol oynar. Slavin (2013), diyet lifinin çocuklarda bağırsak sağlığı için kritik öneme sahip olduğunu belirtmiştir. Lif, dışkının daha yumuşak olmasını sağlayarak, dışkılama sırasında ağrıyı ve zorlukları azaltabilir. Bu, çocukların kabızlıkla ilgili şikayetlerini azaltan bir faktördür. Bazı araştırmalar, düşük lifli diyetlerin kabızlık gelişimini tetikleyebileceğini öne sürmektedir. Parr ve ark., (2020) tarafından yapılan bir çalışmada, çocukların diyetlerinde düşük lif alımının kabızlık ile ilişkili olduğu bulunmuştur. Ayrıca,

çalışmada lifli gıdaların kabızlık tedavisindeki etkinliği de vurgulanmıştır. Lif, özellikle pektin ve selüloz gibi çözünmeyen lifler, bağırsak hareketlerini arttırarak kabızlık belirtilerinin hafiflemesine yardımcı olur. Diyet lifi tüketiminin çocuklarda sadece kabızlığı önlemekle kalmadığı, aynı zamanda sindirim sisteminin genel sağlığını iyileştirdiği de rapor edilmiştir. Hoffman ve ark., (2021), lifin sindirim sistemini düzenlemeye yardımcı olduğunu ve bağırsak florasını dengede tutarak sindirim sorunlarını önlediğini vurgulamaktadır. Bu da uzun vadede kabızlık gibi sorunların önlenmesinde önemli bir faktör olabilir. Kansu ve ark.,(2018), protein- enerji yetersizliğine bağlı yetersiz beslenen çocukların tedavisinde diyet lif kullanımının bağırsak fonksiyonlarını düzelttiğini bildirmişlerdir. Bazı çalışmalara göre, çocukluk çağı kabızlığının tedavisinde lif takviyesinin rolü belirsizliğini korumaktadır ve bu çocuklar için en faydalı lif kaynaklarını ve günlük toplam lif alımlarındaki oranlarını daha iyi tanımlamak için daha iyi tasarlanmış, yüksek kaliteli randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür çalışmalardan elde edilen veriler mevcut olana kadar, diyet müdahaleleri tek başına çocuklarda kronik kabızlık için tek veya birinci basamak tedavi olarak kullanılmamalıdır. Ancak, normal lif alımının sağlanması tavsiye edilir (Tabbers ve ark., 2014). Bunun dışında son yıllarda, çocuklarda diyet lif ve kabızlık konusunda daha fazla çalışma yayınlanmıştır. Genel olarak fonksiyonel kabızlık teşhisi konulan çocuklarda diyet lif tüketimi, önerilen miktarların çok altında bulunmuştur. Bu çalışmalar çocukluk çağı fonksiyonel kabızlık tedavisinde diyet lifi alımının olumlu bir etkisi olduğunu göstermiştir (Kranz ve ark., 2012; Hojsak ve ark., 2022). Tüm araştırmalar, düşük lif alımı ve kabızlık arasında pozitif bir korelasyon olduğunu göstermemektedir. Bugüne kadar, kanıtların çoğunluğu çocuklarda kabızlığın gelişiminde önemli bir faktör olarak lif alımını desteklemektedir. Ancak bazıları, mevcut çalışmaların,

kabızlığın tedavisinde lif takviyesi için kesin bir öneriyi desteklemek için çok zayıf olduğunu bildirmektedir. Ancak pediatri uzmanları kabızlık teşhisi koydukları çocuklarda, diyet lif alımı ve su miktarlarının artırılmasını önermektedir (Kranz ve ark., 2022). Önerilen lif miktarı ve çocuklar için en faydalı olabilecek lif türü üzerinde belirlenmiş bir anlaşma olmamasına rağmen, kanıtlar lifin sağlıklı bir gastro-tatlı fonksiyonun korunmasına katkıda bulunduğunu ve çocukluk kabızlaşmayı önlediği ve tedavi etmelerini destekler. Çocukluk kabızlaşmayı tedavi etmek için birçok kılavuz, diyet lifi tüketimini yavaşça artırmak için birden fazla aşamayı içerir. Yazarlar, en az yaş + 10 g / d lif alımının iyileşme veya kabızlığın iyileştirilmesi ile ilişkili olduğu sonucuna vardılar (Maffei ve Vicentini, 2011).

Sindirimde sağlık, lif gibi gıda bileşenlerinin gastrointestinal toleransı, dışkı formu, dışkılama sıklığı, geçiş süresi ve bağırsak mikrobiyal bileşimi ve metabolik aktiviteyi nasıl etkilediğine olan ilgi nedeniyle beslenme araştırmalarında genişleyen bir alandır. Bununla birlikte, çocuklarda, diyet lifi ile müdahale eden sindirim sağlığı çalışmaları yasal ve etik kaygılar nedeniyle sınırlıdır. Bununla birlikte, mevcut kanıtlar kesin değildir. Ayrıca, yulaf gibi tüm tahıllı diyet lifi kaynaklarının etkisi üzerinde sınırlı veriler vardır. Dışkı formu, gastrointestinal tolerans ve dışkı frekansı gibi sindirim sağlığı sonuçlarının, tam tahıllı kaynaklarla çocuk diyetlerinin lif içeriğini artırarak iyileştirilip iyileştirilmediğini belirlemek için ek iyi tasarlanmış müdahale denemelerine ihtiyaç vardır (Renee ve ark., 2017). Birçok çalışma, çocuklarda kabızlık tedavisinde diyet lifi alımının olumlu bir etkisi olduğunu göstermiştir ve lif tüketimini artırmak sağlıklı çocuklarda kronik kabızlık için ilk tedavi seçeneğidir.

3.2. Lif ve Bağırsak Mikrobiyomu

İnsan bağırsak mikroflorası, yaklaşık 1000 farklı türü temsil eden milyarlarca bakteri, virüs ve mantardan oluşan bir ekosistemdir. Mikroorganizmaların tür ve suş bileşimi, bireyler arasında ve bireylerin sağlıklı veya hasta oldukları dönemlerde değişkenlik göstermektedir. Bağırsak kolonizasyonunun en erken aşamalarından itibaren, karbonhidratlar bağırsak mikrobiyotasının bileşimini, gelişimini ve metabolik aktivitelerini şekillendirir (Hojsak ve ark., 2022). Kolon florası doğumdan itibaren gelişir ve kolonizasyonun ilk aşamaları yalnızca bebeğin sağlığı için değil aynı zamanda yetişkinlik florasını oluşturmak için de önemli olabilir ve bu da daha sonraki yaşamda sağlık üzerinde etkili olabilir. Bebek bağırsağının kolonizasyonunda iki kritik aşama olduğu düşünülmektedir: (1) doğumdan hemen sonra; (2) sütten kesme sırasında. Doğumda bebek kolonu sterildir, ancak doğumdan sonra hem anneden hem de çevreden gelen mikroplar tarafından hızla kolonize edilir (Yang ve ark., 2024).

İnsan sütü oligosakkaritleri, anne sütündeki en bol üçüncü bileşen olup, insan enzimleri tarafından sindirilmez ve bağırsak bakterileri için substrat olarak işlev görür. Bu oligosakkaritler, anne sütüyle beslenen bebeklerde baskın mikrobiyotayı oluşturan bifidobakterileri seçici olarak uyarır. Daha sonra, katı gıdalarda çeşitli diyet liflerinin eklenmesiyle tamamlayıcı beslenme döneminde daha karmaşık ve çeşitli bir mikrobiyota gelişir. Bu süreç, lifin fizikokimyasal özellikleri ile farklı bağırsak bakterilerinin enzimatik yetenekleri arasındaki etkileşimlerle yönlendirilir. Diyet lifinin fermentasyonu sırasında farklı bakteriler arasında yüksek düzeyde işbirliği ve karşılıklı yarar sağlayan davranışlar görülmektedir. Farklı bakteri popülasyonları, farklı fermentasyon yan ürünlerini ana enerji kaynağı olarak kullanır. Bu şekilde, karşılıklı beslenme

(cross-feeding), yaklaşık 3 yaşından itibaren bağırsak mikrobiyomu topluluğundaki yapı ve yüksek düzeyde öz düzenleme ile homeostazdan sorumludur (Axelrod ve Saps, (2018).

Kısa zincirli yağ asitleri (SCFA'lar), asetat, propionat ve bütirat, bağırsak mikrobiyotasının lif fermentasyonu ile oluşan ana son ürünlerdir ve yaklaşık 60:20:20 oranında bulunur. Bu organik asitler, hem bağırsak içinde hem de sistemik olarak önemli fizyolojik etkilere sahiptir. Bütirat, bağırsak mukozası için gereken günlük enerji gereksiniminin yaklaşık %50'sini sağlar. Bağırsak mikrobiyomunun bozulması veya disbiyozisi, SCFA oranı ve konsantrasyonundaki azalma da dahil olmak üzere, metabolik ve bağışıklık ile ilişkili hastalıklarla ilişkilendirilmiştir. Bağırsak mikrobiyotasının bileşimi ve metabolik aktivitesi, büyük ölçüde lif fermentasyonu tarafından yönlendirilerek, hem kronik bulaşıcı olmayan hastalıkların gelişiminde hem de enfeksiyon sıklığı ve şiddetinde önemli rol oynamaktadır (Borthakur ve ark., 2012). Ancak, sağlıklı bir bağırsak mikrobiyomunun bileşimini tanımlamak ve bu tür bir sağlıklı bağırsak mikrobiyomunu desteklemek için gereken diyet lifinin miktarı, kaynağı ve bileşimi konusunda önemli bir araştırma zorluğu devam etmektedir. Ancak beslenme desteğine, ishal ihtiyaç duyan çocuklarda diyet lif kullanımı yararlar sağlamaktadır. Lif içeren enteral formüller, normal bağırsak fonksiyonuna sahip olan ve beslenme desteği gerektiren çocuklar için genellikle rutin olarak kullanılmamaktadır; bu formüller genellikle belirli gastrointestinal durumların yönetimi için ayrılmıştır. Ancak klinik çalışmalar, enteral beslenme formüllerinde lif kullanımını desteklemektedir. Bu çalışmalarda, beslenme desteğine ihtiyaç duyan çocuklar için sağlanan faydalar arasında şunlar bulunmaktadır: Lif, bağırsak hareketlerini düzenleyerek ishalin azalmasına yardımcı olabilir,

Lifin sindirimi, dışkı pH'ını dengeleyerek bağırsak sağlığını iyileştirebilir, lif alımının artması, bağırsak hareketlerinin düzenlenmesine yardımcı olur. Dışkı örneklerinde bifidobakterilerin oranının artması, bağırsak mikrobiyotasının sağlıklı bir yapıya kavuşmasına işaret eder (Holscher 2017). Düşük lifli diyetler tüketen ve beslenme desteğine başlanan çocuklarda, günlük lif alımının ağız yoluyla ve enteral formüllerle kademeli olarak artırılması, tolerans oluşturmak için gerekli olabilir. Tüm çocuklar, beslenme desteği alanlar da dahil olmak üzere, çeşitli kaynaklardan lif alımından fayda sağlayacaktır (Williams, 2006; Kranz ve ark., 2012; Naiman ve ark., 2015; Durack ve Lynch, 2019).

3.3. Çocukluk Çağı Obezitesi ve Diyet Lif İlişkisi

Çocukluk çağı obezitesi ve diğer diyetle ilişkili kronik hastalıklar ve durumlar ABD'deki ve gelişmiş ülkelerdeki birçok çocuğu etkilemektedir. Sağlık hizmetleri maliyetleri ve bunlarla ilişkili düşük yaşam kalitesi nedeniyle, çocukların sağlıklı kalmasına yardımcı olmak için etkili araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Obezite ve diyabet çocuklarda ciddi halk sağlığı sorunları olarak kabul edilmektedir (Hojsak ve ark., 2012). Çocukluk çağı obezitesi ve yetişkin obezitesi ile ilişkisi, halk sağlığı ve ulusun refahı için bir tehdittir. Diyet lifi, çocuklarda tokluk hissini artırarak aşırı yemek yeme davranışlarını engelleyebilir ve böylece obezite riskini azaltabilir. Slavin (2013), diyet lifi alımının artırılmasının, özellikle çocuklarda daha düşük vücut kitle indeksi (VKİ) ile ilişkili olduğunu bildirmiştir. Lif, mideyi doldurarak daha uzun süre tok kalmayı sağlar, bu da yemek yeme sıklığının ve porsiyonların kontrol altına alınmasına yardımcı olabilir. Park ve ark.(2017), yüksek lifli diyetlerin, çocuklarda kilo alımını sınırlayarak obezite riskini önemli ölçüde azalttığını bulmuştur. Lifli gıdalar, enerji yoğunluğu düşük olup, kalori alımını kısıtlamaya yardımcı olur.

Çocuklarda diyet lifi ve obezite arasındaki ilişki, son yıllarda yapılan pek çok araştırmanın konusu olmuştur. Diyet lifi, sindirim sistemini düzenlemeye yardımcı olmasının yanı sıra, kilo kontrolü üzerinde de önemli bir rol oynayabilir. Çocuklarda obezite, dünya genelinde artan bir sağlık sorunu olup, bu sorunun çözülmesinde diyetin rolü büyüktür. Diyet lifi, hem tokluk hissini artırarak kalori alımını sınırlamakta hem de bağırsak florasını düzenleyerek metabolizmayı olumlu yönde etkileyebilmektedir (Christine, 2006). Birçok çalışma, diyet lifi alımının artırılmasının çocuklarda obezite riskini azaltabileceğini göstermektedir. Slavin (2013), diyet lifi tüketiminin vücut ağırlığını düzenlemeye yardımcı olabileceğini belirterek, lifli gıdaların mideyi doldurarak daha az kalori alımına yol açtığını ifade etmiştir. Lif, aynı zamanda glisemik indeksi düşürerek, kan şekerinin hızlı bir şekilde yükselmesini engeller ve insülin seviyelerinin kontrolünü sağlar. Bu da, obeziteyi tetikleyen insülin direncinin önlenmesine yardımcı olabilir. Diyet lifi eksikliği, İngiliz çocuklardan oluşan bir örnekleme daha yüksek vücut yağlanması ile ilişkilendirilmiştir ve enerjisi kısıtlı bir diyetle birlikte 15 g takviye lifin 2 kg daha fazla kilo kaybıyla sonuçlandığı bulunmuştur. Diğerleri diyet lifi ile şişmanlık arasında bir ilişki bulamamıştır. Alman çocuklardan oluşan bir örnekleme yapılan uzunlamasına bir çalışmada, daha fazla lif yoğunluğunun aslında daha yüksek aşırı kilo/obezite riski ile ilişkilendirildiği görülmüştür (Yang ve ark., 2024). Çocuklar arasında dünya çapında aşırı kilolu ve obezite salgını göz önüne alındığında, kanıta dayalı diyet önerileri obezitenin önlenmesi için temelde önemlidir. İnsan bağırsak mikrobiyomunun diyet ve obezitenin fizyolojik etkilerini şekillendirmedeki önemi, kesin kanıtlar olmasada, yaygın olarak kabul görmeye başlamıştır. DF'ler obezitesi olan çocuklarda bağırsak mikrobiyotasının bileşimi, çeşitliliği, bolluğu ve işlevi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir, ancak

kanıtların gücü yetersiz kalır (Zhao ve ark., 2019). Yüksek bir diyet lif alımını takiben, obezitesi olan çocuklardaki tüm bu bakteriler olumlu yönde hareket ettiği bulunmuştur (Yang ve ark., 2024). Kolon mikrobiyotası ve obezite diyet lif alımı ile sağlıklı yönde değişmiştir. Ayrıca obeziteye bağlı insülin direnci ve diyabet, lif alımı ile azaltılabilir (Kanz ve ark., 2012).

3.4. Çocukluk çağında diyet lifi ve kan kolesterolü

Çocukluk çağında hiperkolesterolemi başlıca diyet değişikliği ile tedavi edilir ve ilaç tedavisi, düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) kolesterol seviyeleri tek başına 190 mg olan veya diğer koroner kalp hastalığı risk faktörleriyle birlikte daha düşük LDL seviyeleri olan 10 yaş üstü çok yüksek riskli çocuklara saklıdır. Önerilen diyet, doymuş yağ ve kolesterol tüketiminin azaltılmasını ve birçoğu DF açısından zengin olan kompleks karbonhidrat alımının artırılmasını vurgular. Diyetle viskoz DF eklenmesinin, ilaç tedavisine gerek kalmadan çocuklarda LDL kolesterolü daha da düşürdüğü gösterilmiştir. Genel olarak, bu çalışmalar günde yaklaşık 6 g viskoz lif (örneğin yulaf kepeği veya psyllium) eklemenin, düşük doymuş yağ ve düşük kolesterol içeren bir diyetle elde edilenin üzerinde yaklaşık %6'lık bir LDL kolesterol düşüşü sağladığını göstermektedir. Ancak bir çalışma hiçbir etki göstermemiştir (Christine, 2006).

3.5. Lifin Bağırsak Sağlığının Ötesindeki Faydaları

Epidemiyolojik ve müdahale çalışmaları, diyet lifinin kolesterol düşürme, glisemik kontrol, kabızlık, kolon kanseri ve divertiküler hastalıkların önlenmesi, kilo kontrolü ve son zamanlarda ergenlik öncesi çocuklarda bilişsel gelişim gibi geniş ve uzun vadeli sağlık yararlarını tutarlı bir şekilde göstermiştir. Kısa zincirli yağ asitleri (SCFA'lar), özellikle asetat ve propionat, kan dolaşımına girerken, bağışıklık sistemi

üzerinde faydalı sistemik etkiler sağlamakta; T hücrelerinin farklılaşmasını ve ilişkili bağışıklık ile bağışıklık toleransını teşvik etmektedir. SCFA'ların alerji gelişimine karşı koruyucu olabileceği ve otoimmün hastalıkların, diyabet, inflamatuvar artrit, inflamatuvar gastrointestinal bozukluklar ve alerjik hastalıklar gibi, önlenmesi veya hafifletilmesi açısından daha geniş anti-inflamatuvar etkiler sağladığı da düşünülmektedir. Ayrıca, obezite ve ilişkili patolojiler ile kanser gibi inflamatuvar doğaya sahip diğer kronik hastalıklara karşı da koruma sağlayabilirler. Asetat, karaciğerde ve sistemik olarak önemli roller oynar; kolesterol biyosentezinde, enerji kaynağı olarak, epigenetik bir ajan olarak ve adiposit farklılaşması ve termojenezinin düzenlenmesinde işlev görür. Propionat, büyük ölçüde karaciğer tarafından temizlenir ve karaciğer kolesterol biyosentezi ile glukoneogenezi düzenlemede önemli bir rol oynar (Hojsak ve ark., 2022).

Güncel Tüketim Eğilimleri: Bu önerilere rağmen, birçok çocuğun önerilen lif alımını karşılayamadığı belirtilmektedir. Örneğin, Birleşik Krallık Ulusal Diyet ve Beslenme Anketi, 4-10 yaş arasındaki çocukların sadece %14'ünün SACN'in 20 g/gün önerisini karşıladığını ortaya koymuştur. Tüm yaş gruplarında ortalama lif alımı, önerilen seviyelerin altında kalmaktadır.

Yüksek Lifli Diyetler Hakkında Endişeler: Yeterli lif alımı önemli olsa da, çok yüksek lifli diyetler konusunda genç çocuklar için bazı endişeler vardır. Bu çocuklar, diyetlerinin büyük ölçüde lif açısından zengin gıdalar (sebzeler, baklagiller, tam tahıllar) ile dolu olması durumunda yeterli enerji alımında zorluk yaşayabilirler. Bu durum, kalori alımının sınırlı olması nedeniyle optimal büyümeyi engelleyebilir. Çocuklar büyüme dönemindeyken yeterli kalori alımına ihtiyaç duyarlar. Aşırı lifli gıdaların tüketimi, tokluk hissini artırarak çocukların yeterli

miktarda kalori alımını engelleyebilir. Lifli gıdaların fazla tüketilmesi, özellikle düşük kalorili gıdaların fazla miktarda tüketilmesi, çocukların büyüme için gerekli olan enerji ve besin öğelerinin alımını sınırlandırabilir. Bu durum, özellikle iştah kaybı ve yetersiz beslenme riski taşıyan çocuklar için endişe verici olabilir (He ve ark., 2015).

4. SONUÇ

Diyet lifi, sağlıklı bir çocuğun diyetinin temel bir bileşeni olarak kabul edilir. Yeterli diyet lifi alımına sahip sağlıklı çocukların diyetleri, düşük diyet lifi alımına sahip çocukların diyetlerine kıyasla daha yüksek diyet kalitesi, daha yüksek besin yoğunluğu ve daha yüksek vitamin ve mineral alımı ile karakterize edilir. Bununla birlikte, çocukların önemli bir kısmı önerilen diyet lifi alımını karşılamaz. Bu özellikle böbrek hastalığı olan çocuklarda geçerlidir, çünkü böbrek hastalıklarındaki geleneksel diyet önerileri ağırlıklı olarak enerji ve protein miktarlarına odaklanmış ve genellikle potasyum ve fosfatı kısıtlarken diyetin kalitesini ve çeşitliliğini göz ardı etmiştir. Ortaya çıkan kanıtlar, diyet lifinin ve buna bağlı olarak tipik olarak daha yüksek diyet lifi içeriğine sahip bitki bazlı bir diyetin böbrek hastalığı olan çocuklar için sağlıklı çocuklar kadar önemli olduğunu göstermektedir. Diyet lifi, kabızlığın önlenmesi ve daha az gastrointestinal semptom, azalmış inflamatuvar durum ve bağırsaktan kaynaklanan üremik toksinlerin üretiminin azalması gibi çeşitli sağlık yararları sağlar. diyetle lif eksikliği çocuklarda kabızlık, irritabl bağırsak sendromu, alerjiler ve diğer bağırsıklık ile ilgili bozukluklar dahil olmak üzere çeşitli bozukluklarla ilişkilendirilmiştir. Diyet lifi, özellikle normal gevşekliği teşvik etmede çocuklukta önemli sağlık yararlarına sahiptir. Çalışmalar ayrıca, çocukluk çağındaki diyet lifin obeziteyi önlemede ve tedavi etmede ve

ayrıca kan kolesterol seviyelerini düşürmede yararlı olabileceğini ve bunun her ikisinin de gelecekteki kardiyovasküler hastalık riskini azaltmaya yardımcı olabileceğini göstermektedir. Yetişkinlerde, yüksek lifli, düşük yağlı bir diyet, kolon ve diğer insan kanserlerinin oranlarının azalmasıyla ilişkilendirilmiştir ve bu rejimin çocuklukta başlatılmış olsaydı, bu faydanın daha da büyük olması muhtemel görünse de, epidemiyolojik ve deneysel onay şu anda eksiktir. Çocukların tipik diyet lif tüketimi iyi sağlığı korumak ve hastalıkları önlemek için yeterli olmayabilir. Bu nedenle, çocukların ve ergenlerin meyve, sebze, tahıl ve diğer tahıl ürünlerinin tüketimini artırarak diyet lif alımını artırmalarını önermek ihtiyatlı olacaktır.

Sonuç olarak, çocuklar için diyet lifleri konusundaki tartışmalar, miktar ve kalite dengesinin sağlanması gerektiği önemli soruları gündeme getiriyor. Çocukların önerilen alımı karşılaması kritik öneme sahiptir, ancak bu, genel büyüme ve gelişimlerini destekleyecek şekilde yapılmalıdır. Bu endişeleri kapsamlı bir şekilde ele almak için daha fazla araştırma ve kılavuzlara ihtiyaç duyulduğu bildirilmektedir. Çocuklar için diyet lifleri konusundaki tartışmalar, miktar ve kalite dengesinin sağlanması gerektiği önemli soruları gündeme getiriyor. Çocukların önerilen alımı karşılaması kritik öneme sahiptir, ancak bu, genel büyüme ve gelişimlerini destekleyecek şekilde yapılmalıdır. Bu endişeleri kapsamlı bir şekilde ele almak için daha fazla araştırma ve kılavuzlara ihtiyaç vardır.

5. KAYNAKLAR

- Abutair, A. S., Naser, I. A., & Hamed, A. T. (2016). Soluble fibers from psyllium improve glycemic response and body weight among diabetes type 2 patients (randomized control trial). *Nutrition Journal*, 15(1), 86. <https://doi.org/10.1186/s12937-016-0207-4>.
- Axelrod, C. H., & Saps, M. (2018). The Role of Fiber in the Treatment of Functional Gastrointestinal Disorders in Children. *Nutrients*, 10(11), 1650. <https://doi.org/10.3390/nu10111650>.
- Bailey, M. A., & Holscher, H. D. (2018). Microbiome-mediated effects of the Mediterranean diet on inflammation. *Advances in Nutrition*, 9(3), 193–206. <https://doi.org/10.1093/advances/nmy013>.
- Borthakur A, Priyamvada S, Kumar A, et al.(2012). A novel nutrient sensing mechanism underlies substrate- induced regulation of monocarboxylate transporter- 1. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol*, 303:G1126–33.
- children with functional constipation: a systematic review and meta-analysis. *J Pediatr*.
- children with growth failure. *Acta Paediatr* 2018;107:1036–42.
- Christine L. Williams (2006). Dietary fiber in childhood, *The Journal of Pediatrics*, Volume 149, Issue 5, Supplement, S121-S130, ISSN 0022-3476, <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2006.06.066>.
- Dai, F. J., & Chau, C. F. (2017). Classification and regulatory perspectives of dietary fiber. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(1), 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.09.006>.

- Durack, J., Lynch S.V. (2019). The gut microbiome: relationships with disease and opportunities for therapy. *J Exp Med* 2019;216:20–40.
- Edwards CA, Xie C, Garcia AL. (2015). Dietary fibre and health in children and adolescents. *Proceedings of the Nutrition Society*. 74(3):292-302. doi:10.1017/S0029665115002335.
- European Food Safety Authority (EFSA) (2010). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for Nutrients. *EFSA Journal*, 8(3): 1458.
- European Food Safety Authority (EFSA). Dietary reference values for the EU, 2019.
- Available: <https://efsa.gitlab.io/multimedia/drvs/index.htm> (Erişim Aralık 2024).
- He, Y., Wang, Y., & Zhang, Y. (2015). The Effect of Dietary Fiber on Constipation in Children: A Systematic Review. *Pediatrics*, 135(4), e971-e980.
- He, Y., Wang, Y., & Zhang, Y. (2015). The relationship between high-fiber diets and gastrointestinal discomfort in children. *Pediatrics*, 136(1), 102-108.
- Hoffman, J., Smith, M., & Johnson, T. (2021). The Role of Dietary Fiber in Gut Health in Children. *Pediatric Clinics of North America*, 68(5), 917-929.
- Hojdak I, Benninga MA, Hauser B, et al. (2022). Benefits of dietary fibre for children in health and disease *Archives of Disease in Childhood*, 107:973-979.
- Holscher H. D. (2017). Dietary fiber and prebiotics and the gastrointestinal microbiota. *Gut Microbes*, 8(2), 172–184. <https://doi.org/10.1080/19490976.2017.1290756>.

Khan, N.A., Lauren B Raine, Eric S Drollette, Mark R Scudder, Arthur F Kramer, Charles H Hillman, (2015). Dietary Fiber Is Positively Associated with Cognitive Control among Prepubertal Children^{1,2}, *The Journal of Nutrition*, 145 (1), 143-149.

<https://doi.org/10.3945/jn.114.198457>.

Kranz, S., Brauchla, M., Slavin, J. L., & Miller, K. B. (2012). What do we know about dietary fiber intake in children and health? The effects of fiber intake on constipation, obesity, and diabetes in children. *Advances in Nutrition*, 3(1), 47–53. <https://doi.org/10.3945/an.111.001362>.

Liu, Y., Zhang, H., & Wang, L. (2014). Increased Dietary Fiber and its Impact on Constipation in Children: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Pediatric Nutrition*, 56(2), 303-310.

Maffei HV, Vicentini AP.(2011). Prospective evaluation of dietary treatment in childhood constipation: high dietary fiber and wheat bran intake are associated with constipation amelioration. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*. 52:55–9.

Park, S., Yoon, Y., & Choi, J. (2017). Dietary fiber intake and obesity in children: A review. *Nutrition Reviews*, 75(3), 177-185.

Parr, M., Fagan, M., & McFadden, J. (2020). Dietary Fiber and its Effect on Constipation in Pediatric Patients. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 68(4), 481-486.

Renee Korczak, Alison Kamil, Lisa Fleige, Sharon M. Donovan, Joanne L. Slavin, Dietary fiber and digestive health in children, *Nutrition Reviews*, Volume 75, Issue 4, April 2017, Pages 241–259, <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuw068>.

- SACN (2015): The report "Carbohydrates and Health" (2015), published by the Scientific Advisory Committee on Nutrition (SACN) in the UK, sets out the UK's dietary fibre recommendations.
- Sharma, Hemraj, Pudasaini, Puja, Dhungana, Saraswati, Pokharel, Manisha, Subedi, Punam, Sharma, Bedraj,(2020). Evaluating the Effect of Flame for the Determination of Carbohydrate, Protein, and Dietary Fiber in Nepali Food Dhindo-Novel Food for Diabetic, International Journal of Food Science, 8832151, 5. <https://doi.org/10.1155/2020/8832151>
- Slavin, J. L. (2013). Dietary fiber and body weight. Nutrition, 29(3), 473-481.
- Snauwaert, E., Paglialonga, F., Vande Walle, J. et al. (2023). The benefits of dietary fiber: the gastrointestinal tract and beyond. Pediatr Nephrol 38, 2929–2938. <https://doi.org/10.1007/s00467-022-05837-2>
- Soliman G. A. (2019). Dietary Fiber, atherosclerosis, and cardiovascular disease. Nutrients, 11(5), 1155. <https://doi.org/10.3390/nu11051155>.
- Stephen AM , Şampiyon MM-J , Cloran SJ ve diğerleri . Avrupa'da diyet lifi: tanımlar, kaynaklar, öneriler, alımlar ve sağlıkla ilişkiler hakkında güncel bilgi durumu . Nutr Res Rev 2017 ; 30 : 149 – 90 . doi:10.1017/S095442241700004X.
- Tabbers MM, DiLorenzo C, Berger MY, et al. Evaluation and treatment of functional constipation in infants and children: evidence-based recommendations from ESPGHAN and NASPGHAN. J Pediatr Gastroenterol Nutr 2014;58:258–74.

- U.S. Department of Health and Human Services. (2020). Dietary Guidelines for Americans, 2020–2025 (9th ed.). U.S. Department of Agriculture. <https://www.dietaryguidelines.gov/>
- Venter C, Meyer RW, Greenhawt M, et al. (2022). Role of dietary fiber in promoting immune health—An EAACI position paper. *Allergy*; 77: 3185-3198. doi: 10.1111/all.15430.
- Wegermann, K., & Roper, J. (2020). An insoluble mystery: Fiber and diverticulitis. *Gastroenterology*, 158(4), 1167–1168. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2020.01.020>
- Wegh, C. A. M., Schoterman, M. H. C., Vaughan, E. E., Belzer, C., & Benninga, M. A. (2017). The effect of fiber and prebiotics on children's gastrointestinal disorders and microbiome. *Expert Review of Gastroenterology & Hepatology*, 11(11), 1031–1045. <https://doi.org/10.1080/17474124.2017.1359539>.
- Włodarczyk J, Waśniewska A, Fichna J, Dziki A, Dziki Ł, Włodarczyk M. Current Overview on Clinical Management of Chronic Constipation. *J Clin Med*. 2021 Apr 16;10(8):1738. doi: 10.3390/jcm10081738.
- World Gastroenterology Organisation. WGO practice guideline – diet and the gut, 2018. Available: <https://www.worldgastroenterology.org/guidelines/global-guidelines/diet-and-the-gut> [Accessed Oct 2021].
- World Health Organization (WHO) (2015). Healthy diet. Fact sheet No. 394.

- Yang, Z., Yang, M., Deehan, E. C., Cai, C., Madsen, K. L., Wine, E., ... Zhang, Z. (2024). Dietary fiber for the prevention of childhood obesity: a focus on the involvement of the gut microbiota. *Gut Microbes*, 16(1). <https://doi.org/10.1080/19490976.2024.2387796>.
- Zhao, X., He, Y., & Zhang, Y. (2019). Increased dietary fiber and reduced risk of childhood obesity. *Journal of Pediatric Nutrition*, 55(2), 232-240.

SHELF LIFE DATING OF FOODS

Gülten ŞEKEROĞLU¹

1. INTRODUCTION

The Codex Alimentarius defines shelf life of foods as the time during which a food product retains its microbiological safety and suitability at a specified storage temperature and, where applicable, storage and handling conditions (Codex Alimentarius, 2018).

The emergence of shelf life is related to storing foods for a long time without spoilage. Because they could not consume the food obtained at once, they searched for ways to store it. Each civilization has developed various methods to protect its local food resources (Shephard, 2001).

Humans have consistently prioritized food preservation. Since the prehistoric era, outdoor drying has been employed to preserve meat from hunted animals, as well as collected plants and roots. In antiquity, the sun and wind would have inherently dried foods. Evidence indicates that Middle Eastern and Oriental cultures involved in food drying as early as 12,000 B.C. utilizing the intense sunlight. In addition, the Egyptians pioneered the initial methods of salting and smoking. It was subsequently discovered that ingredients like honey, vinegar, oil and fats preserved food effectively, resulting in the development of jams, pickled foods, and condiments. In other words, food processing dates back to the prehistoric age when crude processing including various types of cooking, such as over fire, smoking,

1 Dr. Öğr. Üyesi, Gaziantep Üniversitesi, Naci Topçuoğlu Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Gaziantep/Türkiye, sekeroglu@gantep.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5499-1028.

steaming, fermenting, sun drying and preserving with salt were in practice. In fact, since ancient times, mankind has started to develop different food processing methods in order to extend the shelf life of foods and to store foods in a safe, nutritious and healthy way.

The shelf life is determined by factors including usage, storage, code dating, and the storage conditions specified on the labels of most prepackaged foods. A consumer's assessment of shelf life can be significantly influenced by factors including packaging, as well as environmental and design elements both within the store and beyond its control (Jafarzadeh, 2021).

2. SHELF LIFE

The concept of shelf life is often a source of significant concern and misunderstanding. A perceived necessity to maintain competitive parity and to create the most appealing products for the upcoming year, coupled with extended and intricate distribution networks, may yield a detrimental impact. Thus, the maximum shelf life of products, coupled with consumer demand for extended longevity, may result in irrational behavior, as the interplay of prolonged shelf life, superior food quality, and low cost cannot consistently function harmoniously, and there may be instances when it fails to operate entirely (Trubetskaya, et.al, 2022; Visciano & Schirone, 2021).

Moreover, shelf life encompasses various legal considerations, especially given the growing significance of the terminology used to describe our products for sale. Nonetheless, a perception persists that the implications of terms and definitions pertaining to shelf life are not entirely comprehended, that some may stem from marketing rather than scientific rigor, and that the terminology used to denote quality degradation has become

susceptible to facile critique. While consumers predominantly assess quality based on the visual aesthetics and functionality of the packaging, internal factors significantly influence quality, as it can diminish even when the package's integrity is preserved. Meeting consumer demand for premium products with an extended shelf life remains a challenge (De Corato, 2019; Ahmed et al., 2022; Soltani Firouz et al., 2021)

Shelf life is defined as the duration during which a product remains suitable for consumption. Product quality, which includes sensory and aesthetic characteristics, nutritional value, and the absence of pathogens, is a crucial element of acceptability that should be incorporated into the definition. The permissible shelf life of a specific product is dictated by physical, chemical, or microbiological factors related to the rate of degradation of the product's characteristics. Storage and handling conditions of the product are frequently incorporated in shelf life assessments (Soltani Firouz et al., 2021; De Corato, 2019; (Díaz-Montes & Castro-Muñoz, 2021).

2.1. The Relationship Between Shelf Life and Food Waste

Shelf life denotes the period during which a food product retains its safety, quality, and nutritional characteristics under designated storage conditions. This interval includes the duration in which the food item is suitable for consumption and maintains its intended sensory, physical, chemical, and microbiological characteristics, in accordance with the manufacturer's specifications (Piergiovanni & Limbo, 2019) Food loss and food waste represent significant challenges for contemporary society. Shelf life is a crucial factor in determining the extent of food waste and loss (Santeramo & Lamonaca, 2021). Annually in Europe, a growing quantity of food in satisfactory hygienic and consumable conditions is wasted throughout the agri-food chain

(approximately 89 million tons - 179 kg per capita), predominantly during distribution, retail, and consumption.

Only 6.4% of surplus food is allocated to non-profit organizations (food banks, charities), 1.1% is directed to secondary markets (discount stores), 11.5% is converted into fertilizer or animal feed, and the remainder is discarded. Approximately 10% of the 88 million tons of food waste produced annually in the European Union is associated with labeling dates (European Commission, 2018). Furthermore, 18% of individuals in Europe lack a comprehensive understanding of the terms "best before" and "use by," which differ significantly, thereby reinforcing the suggestion to implement a dual shelf-life labeling system (best before and use by) (Micheli et al, 2023)

The assessment of food shelf life entails analyzing factors such as microbial proliferation, chemical reactions, physical alterations, and sensory degradation, thereby ensuring the product's continued safety and acceptable qualities for consumers. The precise assessment and efficient management of shelf life are essential to guarantee consumer safety, reduce food waste, and maintain economic viability in the food industry (Ucherek, 2004).

Open dating is compulsory in Europe. In the United States, dating is not mandatory, except for infant formula and baby foods; however, currently, US states mandate dating for certain food categories. According to EU law, Regulation 1169/2011 (EC, 2011) stipulates that the date of minimum durability of a food product is the date by which the food maintains its specific characteristics when stored appropriately. For highly perishable foods susceptible to microbial spoilage during storage, which poses safety risks, the minimum durability date is substituted with a "use by" date (EC, 2011).

2.2. Shelf Life and Food Legislation

An expiration date denotes the duration required for a selected quality attribute to deteriorate to an unacceptable level under designated storage conditions (Corradini, 2018).

The shelf-life of a food product is the duration commencing from the date of production and/or packaging, concluding with either the 'use by date' or the 'best before' date. In other words; the expiration date, often incorporating an arbitrarily determined safety margin, is indicated on product packaging to inform retailers and consumers through "use by date" or "best before" labels for perishable or shelf-stable food items (Wang & Li 2012).

The 'use by date' (i.e., the final day the food product should be utilized). This pertains to food products that may, after a brief duration, pose an immediate risk to human health from a microbiological perspective (e.g., raw meat and fish, chilled ready-to-eat foods, processed fruits and vegetables, fresh fruit juices, etc.). Shelf-life refers to food safety in this situation (Singh, 2000; Corradini, 2018; Ellis, 1994).

The 'best before' date, or 'date of minimum durability' as defined in Regulation (EU) No 1169/2011 regarding food information to consumers, is the date until which the food maintains its specific characteristics when stored appropriately. This pertains to food items including canned, dried, shelf-stable, and frozen products where quality is a concern rather than safety. In this context, shelf-life pertains to the quality of food (for example; textural and sensorial properties) (EC, European Commission, 2011).

The 'best before' date is the standard date mark mandated by current legislation for the labeling of prepacked foods. However, this must be substituted with a 'use by' date for foods

that are microbiologically highly perishable and may pose an immediate risk to human health after a brief period. Selling any food past its 'use by' date constitutes an offense (Corradini, 2018; Singh, 2000; Ellis, 1994).

3. FACTORS AFFECTING SHELF LIFE OF FOODS

Every food item possesses a shelf life, regardless of whether it is fresh, perishable, or non-perishable. Shelf life is the duration post-production during which food remains safe for consumption or the timeframe in which food can be utilized while preserving its quality. Various factors influence the rate of degradation or loss of the original quality of food (Table 2.1). These factors can be categorized into two types: intrinsic (innate to the food's nature) and extrinsic (external conditions affecting the food) factors belonging to the structure of the food itself (Jay et al., 2005; Food & Drug Administration, 2003).

Table 2. Factors affecting the shelf life of foods

Intrinsic factors	Extrinsic factors
pH	Storage temperature
Water activity	Time-temperature profile of food processing
Redox potential	Relative humidity
Food composition	Procedures based on HACCP
Nutrients	Risk of microbial contamination
Total viable cell and microflora of food	Packaging atmosphere
Food additives	Heat treatment
Microbiological quality of foods and microflora	Good manufacturing and hygiene practices

Intrinsic factors are those that are inherent to the food product or a direct result of the product and/or the reactions that are part of the food product (texture, conformation, etc.). Product composition, pH, water activity, oxidation potential, presence of antimicrobials, presence of inhibitors, competitive microbiota, and biological structure are some of the important factors. Relatively homogeneous matrices are considered to be easier to characterize, and microbial growth is more predictable (Singh, 2000).

The type and form of food, packaging type, storage conditions, distribution conditions, and marketing systems are all determinants that influence the shelf life of perishable food items. These factors pertain to the physical, chemical, and biological transformations that transpire during food processing, storage, and distribution. Ready-to-eat foods may frequently become contaminated by factors such as exposure to various materials, temperature, light, radiation, enzymes, active substances, residual toxins, and pathogenic microorganisms. It is essential to consider these materials when designing packages intended to extend shelf life, thereby assessing the food environment within the package that includes the food itself. Consequently, it is essential to analyze the extrinsic factors that encompass two significant environmental control elements influencing the selection of both the type of food packaged and the packaging itself. (Teixidó, 2022; Singh, 2000).

The primary factors contributing to the degradation and reduction of shelf life in food are active microorganisms. The primary microorganisms responsible for spoilage in products include molds and yeasts, lactic acid bacteria, aerobic and spore-forming bacteria, *Enterobacteriaceae*, and significant intermediates that contribute to the development of spoilage and pathogenic microorganisms. The control of mechanical damage

in products has been facilitated by the advancement of packaging structures and systems designed for microbial growth through the development of antimicrobial packaging systems. The determination of shelf life begins with various stress factors; specifically, it is essential to understand the required temperature and duration of processing or storage conditions, rather than merely considering sweating and fluctuations. The storage and processing parameters should be modeled alongside other physicochemical parameters and biochemical changes in microorganisms to facilitate effective shelf-life storage (Agriopoulou et al.2020; Qian et al.2021; Deak, 2004; Singh, 2000).

4. METHODS OF SHELF LIFE DETERMINATION

To determine a food's predicted shelf-life, one must comprehend the coordinated series of biochemical and physicochemical reactions occurring in the food, and recognize the mechanisms that lead to spoilage or degradation of desirable attributes such as texture, flavor, aroma, and nutrients (Singh & Cadwallader, 2004).

The shelf life of a product is determined using Hazard Analysis Critical Control Points (HACCP) principles, following the food safety management procedures required by law. Shelf life tests are tests in which product quality, durability, and reliability are tested under specific conditions. The defined shelf life is expressed as 'expiry date or 'best before test' as required by EU food law (Man, 2016).

To obtain a swift estimation of the anticipated shelf-life of the product, an Accelerated Shelf-Life Test (ASLT) may be employed within the relevant range. Considering the constraints

or potential deviations from the Arrhenius law, the test employs the Arrhenius equation at elevated testing temperatures during a comprehensive shelf-life analysis and extrapolates the kinetic findings to standard, non-abusive storage conditions (Taoukis, & Giannakourou, 2004).

ASLT states that the duration required to forecast a standard storage time from a storage condition is ascertained through the integral equation or the exponential model. The shelf life and storage temperature are critical factors in accelerated shelf life testing. Elevated temperatures over a brief duration significantly enhance spoilage effects. The assessment of chemical and physical changes may be more challenging than microbiological tests. Tests should correlate with the temperature at which spoilage occurs. Products are optimally evaluated in their original form intended for storage and sale. Enveloping the product in a moisture-vapor-impermeable film can preserve humidity. Disregarding the influence of temperature on moisture content in a product may undermine the results of an accelerated shelf life assessment. Heat shock adversely affects the abbreviated surface longevity of fruit. This is due to enzymes being active and sensitive to fluctuations in temperature. The optimal performance of the demand-controlled ventilation system may necessitate a specific range of moisture loss (Taoukis, & Giannakourou, 2004).

Real-time, dynamic shelf-life labeling and monitoring exists; however, its implementation has not extensively reached the consumer level. This testing has the advantage of mimicking actual consumer use of the product. However, real-time shelf life testing requires a substantial amount of time, especially if a long shelf life is being claimed (Corradini, 2018).

5. REFERENCES

- Agriopoulou, S., Stamatelopoulou, E., Sachadyn-Król, M. & Varzakas, T. (2020) Lactic Acid Bacteria as Antibacterial Agents to Extend the Shelf Life of Fresh and Minimally Processed Fruits and Vegetables: Quality and Safety Aspects. *Microorganisms*, 8, Article No. 952.
<https://doi.org/10.3390/microorganisms8060952>
- Ahmed, Md. W., Haque, Md. A., Mohibbullah, Md., Khan, Md. S. I., Islam, M. A., Mondal, Md. H. T., & Ahmmed, R. (2022). A review on active packaging for quality and safety of foods: Current trends, applications, prospects and challenges. In *Food Packaging and Shelf Life* (Vol. 33, p. 100913). Elsevier BV.
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100913>
- Corradini, M. G. (2018). Shelf Life of Food Products: From Open Labeling to Real-Time Measurements. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.* 9:251–269.
<https://doi.org/10.1146/annurev-food-030117-012433>
- Codex Alimentarius Commission. (2018). General Standard for The Labelling of Prepackaged Foods. Codex Stan. CXS 1-1985. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations.
- De Corato, U. (2019). Improving the shelf-life and quality of fresh and minimally-processed fruits and vegetables foradvancements. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Vol. 60, Issue 6, pp. 940–975. Informa UK Limited.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1553025>

- Deak, T. (2004). Spoilage yeasts, In Understanding and measuring the shelf-life of food, Edited by R. Steele. Published by Woodhead Publishing Limited Abington Hall, Abington Cambridge, England.
- Díaz-Montes, E., & Castro-Muñoz, R. (2021). Edible Films and Coatings as Food-Quality Preservers: An Overview. Foods (Vol. 10, Issue 2, p. 249). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/foods10020249>
- EC (European Commission), 2011. Regulation no. 1169/2011 of the European Parliament and of the council of 28 January 2002. Off. J. Eur. Communities, L304/18, 22/11/2011, 1–46.
- Ellis, M.J. (1994). The methodology of shelf life determination. In Shelf Life Evaluation of Foods. Man, C. M. D., & Jones, A. A. (Eds.). Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2095-5>
- Food & Drug Administration (2003) Evaluation and definition of potentially hazardous foods. Comp Rev Food Sci., 2 (Supplement), pp. 1-109.
- Jafarzadeh, S., Mohammadi Nafchi, A., Salehabadi, A., Oladzaad-abbasabadi, N., & Jafari, S. M. (2021). Application of bio-nanocomposite films and edible coatings for extending the shelf life of fresh fruits and vegetables. In Advances in Colloid and Interface Science (Vol. 291, p. 102405). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102405>
- Jay, J.M., Loessner, M.J. & Golden, D.A. (2005) Intrinsic and extrinsic parameters of foods that affect microbial growth. In: Jay, J.M., Loessner, M.J., Golden, D.A. (Eds), Modern food microbiology, 7th Edition, (pp. 39 – 60). New York: Springer Science & Business Med Inc

- Karant, S., Feng, S., Patra, D., & Pradhan, A. K. (2023). Linking microbial contamination to food spoilage and food waste: the role of smart packaging, spoilage risk assessments, and date labeling. *Frontiers in Microbiology* Vol. 14. Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1198124>.
- Man, C. M. D. Food Storage Trials. The Stability and Shelf Life of Food, 2nd Edition. 171-198. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12492>
- Micheli, M. R., Carosielli, L., Guarnieri, C., & Rosamilia, A. (2023). Re-determination of the primary shelf-life of food products: what are the guarantees for the consumer? *Italian Journal of Food Safety*. Vol. 12, Issue 2. PAGE Press Publications. doi.org/10.4081/ijfs.2023.11325
- Piergiovanni, L.; Limbo, S. Food shelf-life models. Sustainable Food Supply Chains; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2019; pp. 49–60.
- Qian, M., Liu, D., Zhang, X., Yin, Z., Ismail, B.B., Ye, X., & Guo, M. (2021). A review of active packaging in bakery products: Applications and future trends. *Trends in Food Science and Technology*, 114, 459-471. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.06.009>
- Santeramo, F.G. & Lamonaca, E. (2021). Food Loss–FoodWaste – Food Security: A New Research Agenda. *Sustainability*, 13, 4642. <https://doi.org/10.3390/su13094642>
- Shephard, S. 2001. Pickled, Potted, and Canned: How the Art and Science of Food Preserving Changed the World. Simon & Schuster. 366pp

- Singh, R. P. (2000). Scientific principles of shelf-life evaluation. In *Shelf-Life Evaluation of Foods*, Second Edition, Edited by D. Man, D. and A. Jones. Chapter 1, pp. 3-22.
- Singh, T. K., & Cadwallader, K. R. (2004). Ways of measuring shelf-life and spoilage. In *Understanding and Measuring the Shelf-Life of Food* (pp. 165-183). Elsevier Inc.. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85573-732-7.50013-5>
- Soltani Firouz, M., Mohi-Alden, K., & Omid, M. (2021). A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development. *Food Research International* (Vol. 141, p. 110113). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110113>
- Taoukis, P. S. & Giannakourou, M. C. (2004). Temperature and food stability: analysis and control. In *Understanding and measuring the shelf-life of food*, Edited by R. Steele. Published by Woodhead Publishing Limited Abington Hall, Abington Cambridge, England.
- Teixidó, N.; Usall, J.; Torres, R. (2022). Insight into a Successful Development of Biocontrol Agents: Production, Formulation, Packaging, and Shelf Life as Key Aspects. *Horticulturae*, 8, 305. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040305>
- Trubetskaya, A., Scholten, P. B. V., & Corredig, M. (2022). Changes towards more sustainable food packaging legislation and practices. A survey of policy makers and stakeholders in Europe. *Food Packaging and Shelf Life* (Vol. 32, p. 100856). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100856>

- Ucherek, M. (2004). An Integrated Approach to Factors Affecting the Shelf Life of Products in Modified Atmosphere Packaging (MAP). *Food Reviews International* (Vol. 20, Issue 3, pp. 297–307). Informa UK Limited. <https://doi.org/10.1081/fri-200029435>
- Wang X.J., Li, D. (2012). A dynamic product quality evaluation based pricing model for perishable food supply chains. *Omega* 40:906–917.
- Visciano, P., & Schirone, M. (2021). Food frauds: Global incidents and misleading situations. *Trends in Food Science & Technology* Vol. 114, pp. 424–442. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.010>

GIDA BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİNDE İLERİ
ARAŞTIRMALAR

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com