

GIDA BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ ÇALIŞMALARI

Editör: Doç.Dr. Songül KESEN

yaz
yayınları

GIDA BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ ÇALIŞMALARI

Editör

Doç.Dr. Songül KESEN

yaz
yayınları

2024

GIDA BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ ÇALIŞMALARI

Editör: Doç.Dr. Songül KESEN

© 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, yayımlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-6642-90-4

Temmuz 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

Fermente Gıda Ürünleri ve Sağlık.....	1
<i>Eda ELGİN KILIÇ</i>	
Oxidation Mechanism of Ozone with Food Lipids.....	28
<i>Hicran UZUN KARKA</i>	
Aroma and Aroma-Active Compounds of Olive Oil.....	52
<i>Hicran UZUN KARKA, Songül KESEN</i>	
Aroma Extraction Methods.....	74
<i>Songül KESEN</i>	
Contamination in Fresh Fruits and Vegetables.....	95
<i>Zeynep Şebnem YAKAR</i>	
Gıdalarda Reolojik Özellikler	109
<i>Dilek BÜYÜKBEŞE YAYLA</i>	
Genetiği Değiştirilmiş Organizmalar (GDO'lar): Tarım ve Hayvancılık Uygulamaları, Potansiyel Faydalar ve Olası Riskler	135
<i>Özen SÖKMEN, Ayşe Neslihan DÜNDAR</i>	
Nanoyapılar: Mevcut Kullanımları ve Gıda Bilimindeki Gelecek Uygulamaları.....	157
<i>Özen SÖKMEN, Ayşe Neslihan DÜNDAR</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."

FERMENTE GIDA ÜRÜNLERİ VE SAĞLIK

Eda Elgin KILIÇ¹

1. GİRİŞ

Son yıllarda fermente gıdalar, probiyotik bakteri, sağlık ve sağlığı teşvik eden bileşikler dikkat çekmektedir. Fermente gıdalar genellikle istenen mikrobiyal büyüme ve gıda bileşenlerinin enzimatik dönüşümü ile üretilen yiyecek ve içecekler olarak tanımlanır (Dębińska ve Sozańska, 2022). Fermente gıdalar binlerce yıldır çeşitli kültürlerde tüketilmektedir ve milyonlarca yıldır insan diyetinin bir parçası olmuştur (Spencer vd., 2022). Fermente gıdaların üretimi genellikle mikrobiyal reaksiyonlardan kaynaklanır ve yerel çevresel koşullara, fermantasyon uygulamalarına ve gıdaların hazırlanma ve tüketilme şekline bağlıdır (Flachs ve Orkin, 2021). Bu süreçte, fermantasyon, gıdaların kalitesini artırmak ve korumak için kullanılan bir yöntemdir (Sivamaruthi vd., 2018). Eski zamanlarda var olan etkili bir koruma yöntemi olan fermantasyon, besin maddelerinin tüketimi ve genellikle organik asitler veya etanol gibi inhibitör bileşiklerin ve kısa zincirli yağ asitleri veya bakteriyosinler gibi diğer bileşiklerin üretimi yoluyla ürünleri korur (Hu vd., 2020). Duyusal özelliklerin, raf ömrünün ve besin değerinin iyileştirilmesinin yanı sıra toksik ve antinutrisyonel gıda faktörlerinin azaltılmasında önemli bir rol oynar. Fermantasyon, mikroorganizmaların etkisiyle büyük organik moleküllerin daha basit moleküllere parçalanmasına yardımcı olan bir süreçtir. Gıda bileşenleri üzerindeki mikrobiyal veya enzimatik değişimler gıdayı fermente etme

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

eğilimindedir ve gıdada önemli değişikliklerden sorumlu arzu edilen biyokimyasal değişikliklere yol açar. Fermantasyon, vitaminleri, temel amino asitleri, proteinleri, gıda görünümünü, tatları ve gelişmiş aromayı iyileştirmenin doğal bir yoludur. Fermantasyon ayrıca pişirme için gereken enerjinin azaltılmasına ve daha güvenli bir ürün elde edilmesine yardımcı olur (Nkhata vd., 2018). Fermente gıdaların çeşitli avantajları vardır (1) Fermente gıdalar orijinal gıdalara göre daha uzun raf ömrüne sahiptir. (2) Organoleptik özelliklerin geliştirilmesi; örneğin, peynir tat açısından substratı olan süttten daha gelişmiş organoleptik özelliklere sahiptir. (3) Zararlı/istenmeyen bileşenlerin hammaddelerden uzaklaştırılması (4) Fermantasyonda etkili olan mikroorganizmaların varlığı nedeniyle besinsel özelliklerin geliştirilmesi. (5) Fermantasyon sürecinin gıdanın pişme süresini kısaltması. (6) Fermente ürünlerin daha yüksek in vitro antioksidan kapasiteye sahip olması. Örneğin fermente süt ve yoğurt, süt proteinlerinin, özellikle α -kazein, α -laktalbumin ve β -laktoglobulinin proteolizini takip eden biyopeptitlerin salınımı söz konusu olduğundan, süte kıyasla daha yüksek antioksidan özelliklere sahiptir (Meline vd., 2019).

Kullanılan substratların bileşimi ve fermente mikroorganizmalar fermente gıdayı etkileyen başlıca faktörlerdir. Ayrıca, gıda işleme ve işleme sırasındaki fermantasyon süresi de gıda fermantasyonunu etkiler (Okafor, 2009). Tanımlanan tüm fermente gıda ve içecekler için laktik asit bakterileri (LAB) baskın mikrobiyotadır ve fermente gıda/içeceklerde faydalı etkilere sahip olduğu kabul edilmiştir. Fermentasyonu sağlayan mikroorganizmalar çoğunlukla *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Lactobacillus* ve *Pediococcus* gibi LAB. (Mokoena,2017) ve *Debaryomyces*, *Kluyveromyces*, *Saccharomyces*, *Geotrichium*, *Mucor*, *Penicillium* ve *Rhizopus* türleri gibi maya ve küfleri içerir

(Anukom, 2017). Gıdalardaki mikroorganizmalar, fermantasyon sırasında faydalı etkiler yaratmalarının yanı sıra, fermantasyon sürecinde birçok zararlı kimyasalın ve mikroorganizmanın önlenmesine de yardımcı olurlar. Bu mikroorganizmalar aynı zamanda sindirime yardımcı olan yeni enzimlerin üretiminden de sorumludur. Mikroorganizmalar, gıdanın raf ömrünü artırmak için organik asitler, antimikrobiyal maddeler ve alkoller gibi çeşitli biyolojik ürünler üretir (Sharma vd., 2020). Mikroorganizmalar, enzimlerin etkisiyle büyük organik molekülleri daha basit moleküllere parçalar. Bu nedenle, mikroorganizma aktivitesi, fiziksel ve kimyasal özelliklerdeki değişiklikler nedeniyle gıdanın modifikasyonunda önemli bir rol oynar (Dimidi vd., 2019). Fermantasyon süreci, vitaminler, esansiyel amino asitler, enzimler, proteinler, aromalar üreterek gıda ürünlerinin besleyici değerini artırır (Elhalis vd., 2021). Bu nedenle fermente gıdaların düzenli olarak tüketilmesi, homeostaz ve organizma fonksiyonlarına birçok yönden katkıda bulunabilir. LAB ile fermente edilmiş gıdaların tüketilmesi ile sağlık arasında bir bağlantı olduğu, Metchnikov'un Balkan nüfusun ortalama yaşam süresindeki artışın laktik fermente süt tüketiminden kaynaklandığı yönündeki sezgisinden bu yana varsayılmaktadır. Günümüze kadar, birçok çalışma, sıklıkla sağlık yararları ile ilişkilendirilen gıdaların fermantasyonundan sorumlu farklı LAB'ye probiyotik statüsü verilmesine yol açmıştır (Liceaga vd., 2020). Birçok fermente gıda, tüketicilerin genel sağlık düzeyini artıran mikroorganizmalar içerdiğinden fonksiyonel gıdalar olarak kabul edilmektedir (Orisakwe vd., 2020).

Probiyotik bakteriler ise, yeterli miktarda tüketildiklerinde konakçıya sağlık açısından fayda sağlayan canlı mikroorganizmalar olarak tanımlanmaktadır (Wong vd., 2015). Bu bakteriler sindirim sağlığının, bağışıklık fonksiyonunun ve genel refahın iyileştirilmesinde önemli bir rol

oynamaktadır (Kailasapathy, 2006). Probiyotiklerin gastrointestinal sistemden geçerek bağırsak mikrobiyotasını olumlu yönde etkilediği ve patojenik bakterilerin büyümesini engellediği bilinmektedir (Oberoi vd., 2021). Ayrıca bağırsak iltihabını önlemeye, bağışıklık sistemini modüle etmeye ve potansiyel olarak antikanserojenik özellikler sergilemeye yardımcı olabilmektedir. Laktik asit bakterileri, çeşitli süt ürünlerinde bulunan yaygın bir probiyotik grubudur ve sağlığı geliştirici etkileriyle bilinirler (Hossain vd., 2021). Birçok fermente gıda uzun süredir probiyotiklerle desteklenmektedir ve artık probiyotiklerin ağız yoluyla alındığında insanlara sağlık açısından fayda sağladığı bilinmektedir (Mota de Carvalho vd., 2018). Nem ve sıcaklık gibi mikrobiyal büyüme değişkenlerinin düzenlenmesi, çeşitli peynir, ekmek, şarap, bira, ekşi maya, fermente sosis ve kimchi dahil olmak üzere geniş bir fermente gıda yelpazesi üretir.

2. FERMENTE GIDA ÜRÜNLERİ

Fermantasyon süreci neredeyse farklı topluluklar tarafından kullanılmış ve farklı bölgelerde mevcut temel gıdaları yansıtacak şekilde bitkisel (meyveler, tohumlar ve diğer bitkisel ve bitkisel olmayan gıdalar dahil) ve hayvansal (et, süt, balık ve yumurta dahil) gıdalar üzerinde uygulanmıştır. Temel olarak fermente gıdaları; fermente sebze ürünleri, fermente et ürünleri, fermente süt ürünleri, fermente tahıl ürünleri ve fermente alkollü içecekler olarak sınıflandırmak mümkündür. Süt, tahıl, et ve diğer substratların sağlığı geliştirici özelliklere sahip fermente gıdalar üretmek üzere fermentasyonu Asya, Afrika, Avrupa, Orta Doğu ve Güney Amerika'nın birçok bölgesine özgüdür (Marsh vd., 2014).

2.1.Fermente Süt Ürünleri

2.1.1. Yoğurt

Yoğurt, dünya çapında geniş bir kabul gören en popüler fermente süt ürünlerinden biri olup, besinsel ve sağlık açısından faydaları yüzyıllardır bilinmektedir. Yoğurdun kökeni, Orta Asya'daki Neolitik insanların besin toplayıcılığından besin üreticiliğine geçtikleri ve hayvanlarını sağmaya başladıkları M.Ö. 6000'li yıllara kadar uzanmaktadır. Yoğurt da dahil olmak üzere fermente süt ürünlerinin, sütü koyun derisi torbalarda saklarken tesadüfen keşfedildiği ve yüzyıllar içinde ticari yoğurt yapımına dönüşerek çeşitli tat, biçim ve dokulara sahip ticari olarak mevcut farklı çeşitlerin önünü açtığı genel olarak kabul edilmektedir. Yoğurt, laktik asit üreten bakteriler, *Lactobacillus bulgaricus* ve *Streptococcus thermophilus* içeren karakteristik bir bakteri kültürü ile tek başına veya kombinasyon halinde kullanılan krema, süt, kısmen yağsız süt ve yağsız süt gibi isteğe bağlı süt bileşenlerinden bir veya daha fazlasının kültürlenmesiyle üretilen bir gıda olarak tanımlanabilir (FDA, 2013). Geleneksel olarak yoğurt inek, manda, keçi ve koyun sütünden yapılır (Weerathilake vd., 2014)

2.1.2. Kefir

Kefir, sütün kefir taneleri ile fermente edilmesiyle üretilir. Süt kefir geleneksel bir Kafkas fermente süt içeceğidir. Sağlığı geliştirici nitelikleri nedeniyle insan beslenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kefir geleneksel olarak sütün çeşitli mikrobiyal türlerden oluşan kefir taneleri ile fermente edilmesiyle yapılır. Süt kefir danelerinin sahipleri çoğunlukla laktik asit bakterileridir (LAB), ancak kefirde mayalar ve asetik asit bakterileri (AAB) de bulunur. Kefirin onlarca yıldır sağlığa birçok faydası olduğu düşünülmektedir ve doğal bir ilaç olarak da kullanılmıştır (Nejati vd., 2020) Kefir içeceği inek, keçi, manda gibi farklı süt kaynaklarından yapılır (Farak vd., 2020).

Kefirde bulunan bakteri cinsleri arasında *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Lactobacillus* ve *Streptococcus* bulunur (Bourrie vd., 2016).

2.1.3. Ayran

Ayran, yoğurda su eklenerek (ev yapımı) veya *Streptococcus thermophilus* ve *L. delbrueckii subsp. bulgaricus*'un fermantasyon için standartlaştırılmış süte eklenmesiyle (endüstriyel olarak üretilen) üretilen içilebilir fermente bir süt ürünüdür (TFC, 2009). Ayran Türkiye'de özellikle yaz mevsiminde yaygın olarak tüketilmektedir. Ayranın kimyasal bileşimi, kullanılan sütün türüne, yağ uzaklaştırma verimliliğine ve seyreltme oranına bağlıdır (Kabak ve Dobson, 2011). Ayran kolay sindirilebilir ve yüksek vitamin ve kalsiyum içeriği ile oldukça değerli bir içecektir. Kefir ve yoğurt gibi diğer fermente gıdalarla birlikte ayran da içerdiği canlı yararlı bakteriler nedeniyle sağlıklı bir gıda olarak kullanılmaktadır (Celekli vd., 2019).

2.1.4. Yakult

Dünyada özellikle Japonya'da çok yüksek tüketimi olan Yakult, *Lactobacillus paracasei subsp. paracasei* Shirota bakteri kültürü kullanılarak üretilen fermente bir içecektir. Yakult, 1935 yılında Dr. Minoru Shirota tarafından geliştirilen ve Yakult adı altında piyasaya sürülen uygun fiyatlı ve lezzetli bir probiyotik süt içeceğidir (Chonan, 2021). Yakult içeceği ingredientleri; su, rekonstitüe yağsız süt, glukoz şurubu ve çeşitli aromalardır. Bu ingredientler karıştırılarak ve 37°C'de *L. paracasei subsp. paracasei Shirota* bakteri kültürü inokülasyonu ile 16-18 saat fermente edilerek üretilmektedir (Koçak ve Tas, 2013). Yakult tüketimi, yüksek konsantrasyondaki kısa zincirli yağ asidi seviyeleri nedeniyle sindirime fayda sağlar ve bağışıklık sistemini güçlendirir (Chen vd., 2019).

2.1.5. Kımız

Kımız, Moğol bozkırlarında uzun bir tüketim geçmişine sahip, doğal olarak fermente edilmiş bir kısrak sütüdür. Adını, 1235 yılına kadar Orta Asya bozkırlarında bir Kumane Nehri kabilesi olarak varlığını sürdüren Kumanlardan almıştır. Kımız, Moğol geleneksel tıbbında bazı hastalıkların tedavisinde kullanılmıştır (Bilige vd., 2004). Kımızın, belirli laktik asit bakteri (LAB) ve maya türleriyle sindirim sağlığını iyileştiren ve tüberküloz, bronşit ve anemi gibi çeşitli kronik hastalıkları tedavi etmek için kullanılan çok çeşitli sağlık yararları olduğu söylenmektedir (Kondybayev vd., 2021). Kımız iki aşamalı bir fermantasyon süreci ile üretilir. Bu içeceğin hazırlanması için, laktik asit fermantasyonu için LAB kullanılır ve daha sonra alkolik fermantasyon için maya kullanılır (Afzaal vd., 2021).

2.2.Fermente Tahıl Ürünleri

2.2.1. Tarhana

Tarhananın uzun bir geçmişi vardır. Tarihi kayıtlara göre ilk olarak Orta Asya'da Türkler tarafından üretilmiş ve daha sonra dünyanın farklı bölgelerine yayılmıştır. Fermente edilmiş tahıl bazlı bir gıdadır ve basitçe yoğurt, tahıl unları, maya, farklı sebzeler, otlar ve baharatların karışımı olarak tanımlanabilir. Tarhana üretimi sırasında hem laktik asit bakterileri (LAB) hem de maya fermantasyonu aynı anda gerçekleşir. Bu nedenle tarhana, maya aromasıyla birlikte ekşi ve asidik bir tada sahiptir. Ev yapımı düzeyinde güneşte kurutulur veya ticari düzeyde fırında kurutulur. İşleme yöntemine veya kullanılan hammaddelere bağlı olarak çeşitli tarhana türleri sınıflandırılabilir (Özdemir vd., 2007).

2.2.2. Boza

Boza, Balkan Yarımadası'nda üretilen düşük pH'lı ve düşük alkollü tahıl bazlı bir içecektir. Arnavutluk'ta mısır ve

buğdaydan, Türkiye'de fermente buğdaydan, Bulgaristan ve Romanya'da ise buğday veya darıdan yapılan malt bir içecektir. Koyu kıvamlı, düşük alkol içerikli (genellikle %1 civarında) ve hafif asidik tatlı bir tadı vardır. Boza tüketiminin kanıtlanmış probiyotik etkileri, fermantasyonunda rol alan mikroorganizmalara olan ilginin artmasına neden olmuştur. Boza, gastrointestinal koşullarda hayatta kalan ve bir dizi patojene karşı aktif bakteriyosinler üreten zengin bir probiyotik LAB kaynağıdır (Todorov vd., 2008). Bozadan izole edilen *Lactobacillus* suşlarının tür çeşitliliği arasında *L. sanfrancisco*, *L. coryniformis*, *L. fermentum*, *L. confusus* (Hancıoğlu ve Karapınar, 1997), *L. plantarum* (Gotcheva vd., 2000), *L. paracasei*, *L. pentosus*, *L. brevis* ve *L. rham-nosus* bulunmaktadır (Botes vd., 2007; Petrova vd., 2010). Hazırlanması altı aşamadan oluşur: Hammaddelerin hazırlanması, kaynatma, soğutma, süzme, şeker ekleme ve LAB ve maya ile fermantasyon. Boza'daki probiyotik bakterilere bağlı olarak üretilen çeşitli metabolitler: B vitamini, laktik asit, lipidler, proteinler, amino asitler, ferulik asit, fenolik asit ve inositoldir (Cavas-Limon vd., 2021).

2.3.Fermente İçecekler

2.3.1.Sake

Sake, pirinçten yapılan geleneksel bir Japon alkollü içeceğidir (Okuda, 2019). Mikroorganizmaların ve pastörizasyon işleminin keşfinden önce bile Sake, Japon halkı tarafından hazırlanmakta ve tüketilmektedir (Nishida, 2021). Sake, bira gibi içeceklere kıyasla daha yüksek alkol oranına sahiptir (Anal, 2019). Kalite, pirincin parlatma derecesine bağlıdır. Demleme işlemi, pirinç nişastasını şekere dönüştüren ve daha sonra aynı maya tarafından sırasıyla etanole dönüşen koji ve maya eklenerek yapılır (Akaike vd., 2020). Pirinci mayalamak için en yaygın kullanılan mikroorganizmalar

Saccharomyces cerevisiae ve *Aspergillus oryzae*'dir (Zhang vd., 2020). Fermantasyon sürecine farklı koji türlerinin eklenmesi nedeniyle farklı sakeler ve farklı tatlar üretilmektedir (Akaike vd., 2020)

2.3.2. Kvas

Kvas, Doğu Avrupa ülkelerinde geleneksel olarak çavdar ve arpa maltı, çavdar ve bayat çavdar ekmeğinden üretilen alkolsüz bir tahıl içeceğidir. Ana hammadde olarak bayat ekşi mayalı ekmekek veya malt kullanan iki ana kvas yapım tekniği mevcuttur. Bayat ekşi mayalı ekmekten kvas fermentasyonunda, maya fermentasyonu için gereken tüm şekerler ekmekek yapım sürecinden elde edilir, ikinci teknikte ise jelatinleşmiş nişasta malt enzimleri tarafından parçalanır. Fermantasyondan önce, kvas hamuru kaynar suda seyreltilir ve çökeltme yoluyla berraklaştırılır (Korolev, 1963). Kvas mayasına sakkaroz eklenir ve fırıncı mayası veya önceki bir kvas hamuru eklenerek fermentasyon başlatılır. Fermantasyon, besinler tükenmeden önce ürünün 4°C'ye soğutulmasıyla sonlandırılır. Son ürün, hammaddeden kaynaklanan veya mikrobiyal faaliyet sonucu oluşan karbonhidratlar, proteinler ve amino asitler, laktik ve asetik asitler ve vitaminler içerir. Baskın karbonhidratlar maltoz, maltotrioz, glukoz ve fruktozdur.

Ekşi mayalı ekmekek ve ilgili fermente tahıl ürünlerinin aksine, kvas fermentasyondan sonra hiçbir ısıl işleme tabi tutulmaz ve bu nedenle canlı maya ve laktik asit bakterilerinin yüksek hücre sayılarını içerir. Kvas fermentasyonunun mikro florasını laktik asit bakterileri ve *Saccharomyces cerevisiae*'dan oluşmaktadır (Dlusskaya vd., 2008) ancak fermentasyon tekniklerindeki ve hammaddedeki farklılıklar nedeniyle tür düzeyindeki bileşimin oldukça değişken olması beklenmektedir.

2.3.3. Bira

Bu fermente içecek büyük olasılıkla binlerce yıl önce tesadüfen yaratılmıştır. Eski bira üretimini günümüzün yüksek teknoloji bira fabrikalarından ayıran muazzam teknolojik gelişmeye rağmen, geleneksel üretimindeki süreç tamamen değişmeden kalmıştır. Bununla birlikte, atalarımız hamur ve tahıllardan ilkel biralar yapabilseler de, sürece dahil olan biyokimyasal adımları bilmiyorlardı. Bazı tarihçiler Çin'de bira benzeri içeceklerin M.Ö. 7000 gibi erken bir tarihte üretildiğini öne sürmektedir (Bai ve ark. 2012), ancak bira tüketimine ilişkin ilk yazılı kayıtlar Mezopotamya'da M.Ö. 2800 yılına aittir. Bununla birlikte, "bira"nın insanoğlunun daha yerleşik bir yaşam için göçebeliği bıraktığı Neolitik Devrim (Pires ve Branyik, 2015) sırasında MÖ 9000 gibi erken bir tarihte doğduğuna dair güçlü kanıtlar vardır. Bira geleneksel olarak maltlık arpa, su ve şerbetçiotundan *Saccharomyces cerevisiae* kullanılarak mayalanır ve mayşe fermantasyonu sırasında aroma-aktif maddeler üreterek biraya aromatik özelliğini kazandırır. Türk Gıda Kodeksi Bira Tebliği'ne göre bira, sadece maltın veya malt ve ekstrakt maddelerinin öğütülüp, sıcak su ile belirli yöntemlerle işlenmesi ile elde edilen şıranın, şerbetçiotu ile kaynatılması ve daha sonra soğutulması, bira mayası ile fermente edilmesi ve dinlendirilmesinden sonra, filtre edilerek veya edilmeyerek, pastörize edilerek veya edilmeyerek üretilen içinde çözünmüş karbondioksit bulunan bulanık veya berrak içkiyi ifade etmektedir (Kocaadam ve Tek, 2016).

2.4. Fermente Et Ürünleri

Kürlenmiş ve fermente edilmiş et ürünlerinin hazırlanması ve tüketimi binlerce yıldır Avrupa'da köklü bir kültürün parçası olmuştur. Tarihsel olarak Babilliler M.Ö. 1500'lerde kıyılmış hayvan etini bağırsaklara doldurarak sosis hazırlamışlardır (Pederson, 1979). "Salam" Kıbrıs'ın doğu

kıyısında bulunan Salamis'ten gelmiş olabilir (Lücke, 1988). Sosis benzeri ürünlerin üretimi Roma döneminde Güney Avrupa ve Akdeniz'e yakın diğer bölgelere yayılmıştır (Hutkins, 2019). Doğuda, yaklaşık aynı zamanlarda Asya'da da benzer ürünler ortaya çıkmıştır. Çeşitli evcilleştirilmiş hayvanların etlerinin bütün parçaları veya dilimleri geleneksel olarak tütsüleme/güneşte kurutma veya diğer kurutma yöntemleriyle muhafaza edilir. Bazı etler sosis yapmak için hayvan bağırsağına doldurulur ve bu ürünlerin çoğu organoleptik ve muhafaza özelliklerini geliştirmek için fermente edilir (Plavsic vd., 2015; Zakpaa vd., 2009). Parçalanmış, doğranmış veya kıyılmış etlerin muhafaza malzemesi (genellikle hayvan bağırsakları) içine doldurulması ve ardından fermantasyon, Batı'da işlenmiş et ürünlerinin tüketildiği en popüler yöntemdir (Adams,1998; Franciosa vd., 2018) Et fermantasyonlarında bulunan baskın mikrobiyal grup laktik asit bakterileridir, *Lactobacillus sakei*, *Lb. curvatus*, *Lb. plantarum*, *Pediococcus pentosaceus*, *Enterococcus faecium*, *Leuc. carnosum*, *Leuc. gelidum*, *Leuc. pseudomesenteroides* ve *Weissella* suşlarıdır (Dias vd., 2015; Laranjo vd., 2017). Diğer ana bakteri grubu ise Kocuria, micrococci ve koagülaz-negatif stafilkoklardır (Sánchez vd., 2017). Bu mikroplar özellikle nitratı nitrite indirgemekte ve fermente sosislere lezzet katmaktadır.

2.5.Fermente Sebzeler

2.5.1.Fermente Turşu

Geleneksel olarak, sebzeler gibi fermente gıda ürünleri tuz, alkol, laktik asit ve laktik asit bakterileri (LAB) ile bir fermantasyon süreci ile stabilize edilerek fermente turşu üretilir (El Sheikha, 2018; Nuraida, 2015). Tursu, sebzelerden yapılan geleneksel fermente bir Türk ürünüdür. Lahana, salatalık, havuç, pancar, biber, şalgam, patlıcan ve fasulye gibi ürünlerin fermantasyon sürecinde en çok karşılaşılan mikroorganizmalar

Lb. plantarum, *Lb. brevis*, *Ln. mesenteroides* ve *Pediococcus pentosaceus*'tur (Çetin, 2011; Irkin ve Songun, 2012). Örneğin, *Lb. plantarum* NCULI005, diğer probiyotik mikroorganizmalara ek olarak geliştirilmiş kalite, tat ve aroma özellikleri ile turşu için değerli bir starter kültür olarak kabul edilmiştir. Turşu, gıdaları korumak, lezzeti artırmak ve raf ömrünü uzatmak için hazırlanır (Behera vd., 2020) .

2.5.2. Kimchi

Kimchi Kore, Çin ve Japonya'da iyi bilinen ve yaygın olarak tüketilen fermente edilmiş geleneksel bir gıdadır (Patra vd., 2016). Kimchi, tuzlanmış lahana, turp ve salatalık gibi sebzelerin kırmızı biber tozu, sarımsak, zencefil ve diğer malzemeler de dahil olmak üzere çeşitli baharatlarla fermente edilmesiyle yapılan geleneksel bir Kore gıda ürünüdür. Tuzlanmış ve fermente edilmiş deniz ürünleri ve diğer baharatların eklenmesi isteğe bağlıdır (Lee vd., 2015). Kimchi, laktik asit bakterileri (LAB) tarafından düşük sıcaklıklarda fermente edilerek uygun olgunlaşma ve koruma sağlanır (CAC., 2001). Karbonhidratlardan organik asitlerin üretimi ve bunun sonucunda pH'ın düşmesi, depolama sırasında sebzelerin tazeliğini korur.

2.5.3. Şarap

Şarap fermentasyonu, insanoğlunun en eski teknolojilerinden biridir ve günümüzde ticari açıdan en başarılı biyoteknolojik süreçlerden biridir. Şarap yapım tekniği, medeniyetin başlangıcından beri bilinmektedir ve insan ve tarımsal ilerlemeyi takip etmiştir. Fermente içeceklerde bitki katkı maddelerine ilişkin en eski biyomoleküler arkeolojik kanıtlar, ilk bitki ve hayvanların evcilleştirildiği ve karmaşık bir toplum ve kalıcı yerleşimlerin temelini oluşturduğu Çin ve Orta Doğu'daki erken Neolitik döneme dayanmaktadır. Şarap, üzüm suyunun fermente edilmesiyle elde edilen alkollü bir içecektir.

Meyve suları fermente edilerek alkollü bir içecek olan şarap elde edilir. Üzümler genellikle üzüm suyunun doğal kimyasal dengesi nedeniyle tercih edilir, bu da şeker, asit, enzim veya diğer besin maddeleri eklenmeden fermantasyon sürecine yardımcı olur (Saranraj vd., 2017). Ancak muz, salatalık, ananas ve diğer meyveler de şarap üretiminde kullanılmaktadır (Obaedo, 2015). Ev yapımı şarap üretimi elma, armut ve çilek, kiraz, erik, muz, ananas, portakal, salatalık, karpuz gibi çeşitli meyvelerle gerçekleştirilmektedir. Meyve sularındaki şekeri alkole ve organik asitlere dönüştüren *S. cerevisiae* türleri kullanılarak, bunlar daha sonra aldehitler, esterler ve şarabın korunmasına yardımcı olan diğer kimyasal bileşikler oluşturmak üzere reaksiyona girmektedir (Fleet, 2013; Duarte vd., 2014). Şarap yapılabilen meyveler bilindik meyvelerden (böğürtlen ve ananas) egzotik meyvelere (durian ve mangostan) kadar uzanmaktadır. En yaygın olarak üretilen üzüm dışı meyve şaraplarından biri, fermente elmalardan yapılan elma şarabıdır. Elma şarapları İngiltere ve Birleşik Krallık'ın geri kalanının yanı sıra Almanya, Fransa (Brittany ve Normandiya), İspanya (Asturias, Bask Bölgesi ve Galiçya), İrlanda, Arjantin (Patagonya ve Mendoza) ve Avustralya'da (Tazmany) üretilmektedir.

2.5.4. Şalgam

Şalgam, üretiminde siyah havuç, bulgur unu, ekşi maya, tuz, şalgam ve su kullanılan geleneksel bir laktik asit fermente içeceğidir. Kırmızı renkli, bulanık ve ekşi bir meşrubattır ve çoğunlukla Türkiye'nin güney bölgelerinde tüketilir, ancak diğer bölgelerde de tüketimi artmaktadır. Şalgam endüstriyel ölçekte üretilmektedir. Endüstride standart bir üretim tekniği olmamasına rağmen, şalgam üretimi için iki yöntem olduğu söylenebilir: Geleneksel yöntem ve doğrudan yöntem. Geleneksel yöntem ekşi maya fermantasyonu ve havuç fermantasyonundan oluşmaktadır. Doğrudan yöntemde ise ekşi

maya fermantasyonu atlanmakta ve sadece havuç fermantasyonu uygulanmaktadır. Fermantasyon sırasında, esas olarak laktik asit bakterileri laktik asit, etanol ve diğer bazı organik bileşikler üreterek şalgama tipik tadını ve lezzetini verir (Erten vd., 2008; Kabak vd., 2011).

2.6.Fermente Baklagiller

Fermente gıdaların üretiminde kullanılan başlıca baklagil soya fasulyesidir. Bu ürünler Asya kültürünün, diyetinin ve mutfağının önemli bir bileşenini oluşturmaktadır. Siyah fasulye ve keçiboynuzu fasulyesi de dahil olmak üzere diğer fasulyeler sırasıyla Hint kıtasında ve Afrika'da daha yaygındır. Yerel veya bölgesel halkların etnik ve mutfak uygulamalarına bağlı olarak, üç genel fermente soya fasulyesi gıdası türü üretilmektedir

2.6.1. Tempeh

Tempeh (tempe olarak da bilinir), *Rhizopus* türleri kullanılarak soya fasulyesinin fermantasyonu ile üretilen geleneksel bir Endonezya fermente gıdasıdır. (Romulo ve Surya, 2021). Tempeh, soya fasulyesinin katı kültür fermantasyonu ile üretilen besleyici bir fermente gıdadır. Katı kültür fermantasyonu (KKF), besin kalitesini artırmak ve lezzetli duyu özelliklere sahip yenilebilir ürünler elde etmek amacıyla çok çeşitli baklagillerin ve/veya tahılların işlenmesi için teknolojik bir alternatiftir. Tempeh, soya fasulyesinin KKF'si ile üretilen besleyici bir fermente gıdadır. Tempeh hazırlamak için diğer bazı substratlar da (fasulye, nohut, kolza tohumu, acı bakla, ev fasulyesi, yer fıstığı, buğday, mısır/soya fasulyesi) yaygın olarak kullanılmaktadır (Angulo-Bejarano vd., 2008). Genel olarak KKF, *Rhizopus sp.* mantarları ile gerçekleştirilebilir. Fermantasyon sırasında mantarın önemli bir işlevi, substrat bileşenlerinin bazılarını hidrolize eden ve ürünün arzu edilen doku, lezzet ve aromasının gelişimine katkıda bulunan enzimlerin sentezlenmesidir.

2.6.2. Miso

Çin veya Japon kökenli kokusho olarak bilinen miso yaklaşık 1000 yıldır kullanılmaktadır. Bu miso temel olarak soya fasulyesinden soya sosu eklenerek yapılan fermente bir gıdadır (Kusumoto vd., 2021). Pirinç misosu ve soya fasulyesi misosu en yaygın tüketilen miso çeşitleridir. Başlangıçta, tüm malzemeler suda ıslatılır, daha sonra buharda pişirilir, su ve tuzla karıştırılır ve son olarak, nihai ürünü elde etmek için tuza toleranslı maya veya laktik asit bakterisi eklenir. Fermantasyon sırasında mikroorganizmalar ürüne benzersiz bir doku, lezzet ve besin bileşimi katar. Ürün protein, yüksek amino asit içeriği, izoflavonlar ve E ve K vitaminleri ile zenginleştirilmiştir (Saeed vd., 2022).

2.7. Fermente Çay ürünleri

2.7.1. Kombuça

Kombuça, maya ve asetik asit bakterileri (AAB) tarafından fermente edilen yeşil çaydan yapılan Asya kökenli fermente bir içecektir (Gaggia vd., 2018). Kombucha, antimikrobiyal, antioksidan, antikarsinogenik, antidiyabetik, mide ülseri tedavisi ve yüksek kolesterol gibi tedavi edici etkileri nedeniyle Batı'da popülerlik kazanmıştır. Ayrıca bağışıklık tepkisi ve karaciğer detoksifikasyonu üzerinde de etkisi olduğu gösterilmiştir (Chakravorty vd., 2016). Geleneksel içecek, orijinal olarak tatlandırılmış siyah çayın (*Camellia sinensis*) fermantasyonundan yapılır. Bununla birlikte, diğer çayların da hazırlanması için kullanılabilir. Çayın fermantasyonu, bir selüloz film içine yerleştirilmiş simbiyotik bir bakteri ve maya kolonisinin ürünüdür. Bu selüloz film SCOBY (Simbiyotik Bakteri ve Maya Kolonisi) olarak adlandırılır. Bununla birlikte, çay mantarı veya kombuça anası olarak da bilinir (De Filippis vd., 2018; Santos, 2016). Ozmofilik mayalar çaydaki şekeri fermente ederek etanol

üretirken, bakteriler alkolü oksitleyerek asetik asit oluşturur (Teoh vd., 2004). Asetik aside ek olarak glukonik, laktik, malik, sitrik ve tartarik gibi diğer organik asitler de oluşur ve bunlar antibakteriyel aktiviteye sahiptir ve kombu çayın patojenik bakteriler tarafından kontaminasyonunu önler (Neffe-Skocinska vd., 2017). Kombucha'nın faydalı etkileri probiyotik mikroorganizmaların (asetik ve laktik bakteriler), antibiyotiklerin, amino asitlerin, çaydan elde edilen polifenollerin, şekerlerin, organik asitlerin, etanolün, suda çözünen vitaminlerin ve fermantasyon sırasında üretilen çeşitli mikro besinlerin varlığına bağlanmaktadır (Fu vd., 2014).

KAYNAKÇA

- Adams, M. R. (1998). Fermented fish. In R. A. Lawley & P. Gibbs (Eds.), *Microbiology handbook fish and seafood* (Vol. 3, pp. 157–177). Sur-rey, UK: Leatherhea
- Afzaal, M., Saeed, F., Anjum, F., Waris, N., Husaain, M., Ikram, A., . . . Suleria, H. (2021). Nutritional and ethnomedicinal scenario of koumiss: a concurrent review. *Food Science & Nutrition*, 9(11), 6421–6428.
- Akaike, M., Miyagawa, H., Kimura, Y., Terasaki, M., Kusaba, Y., Kitagaki, H., & Nishida, H. (2020). Chemical and bacterial components in sake and sake production process. *Current Microbiology*, 77, 632–637
- Anal, A. K. (2019). Quality ingredients and safety concerns for traditional fermented foods and beverages from Asia: A review. *Fermentation*, 5(1), 8.
- Angulo-Bejarano, P. I., Verdugo-Montoya, N. M., Cuevas-Rodríguez, E. O., Milán-Carrillo, J., Mora-Escobedo, R., Lopez-Valenzuela, J. A., ... & Reyes-Moreno, C. (2008). Tempeh flour from chickpea (*Cicer arietinum* L.) nutritional and physicochemical properties. *Food Chemistry*, 106(1), 106-112.
- Anukam, K.C.; Reid, G. (2009). African traditional fermented foods and probiotics. *J. Med. Food*, 2009, 12, 1177–1184.
- Behera, S. S., El Sheikha, A. F., Hammami, R., & Kumar, A. (2020). Traditionally fermented pickles: How the microbial diversity associated with their nutritional and health benefits?. *Journal of Functional Foods*, 70, 103971.
- Bilige M, Ri-na W, Zhi-hong S, Zhang H. (2004). Isolation and identification of *Lactobacillus* from koumiss collected in

- Inner Mongolia and People's republic of Mongolia. *Chin Dairy Indust.* 32(11):6–11.
- Bourrie, B. C., Willing, B. P., & Cotter, P. D. (2016). The microbiota and health promoting characteristics of the fermented beverage kefir. *Frontiers in microbiology*, 7, 647.
- CAC. (2001). Codex Standard for kimchi (CODEX STAN 223-2001), pp. 1-3. *Codex Alimentarius Commission*, Rome, Italy
- Celekli, A., Alslibi, Z. A., & Bozkurt, H. (2019). Influence of incorporated *Spirulina platensis* on the growth of microflora and physicochemical properties of ayran as a functional food. *Algal Research*, 44, 101710
- Chakravorty, S., Bhattacharya, S., Chatzinotas, A., Chakraborty, W., Bhattacharya, D., Gachhui, R., 2016. Kombucha tea fermentation: microbial and biochemical dynamics. *Int. J. Food Microbiol.* 220, 63–72.
- Chen, M., Ye, X., Shen, D., & Ma, C. (2019). Modulatory effects of gut microbiota on constipation: The commercial beverage Yakult shapes stool consistency. *Journal of Neuro Gastroenterology and Motility*, 25(3), 475
- Chonan, O. (2021). Yakult's research activities: inheritance and practice of Shirota-ism. *Nature Portf*
- Cuvas-Limon, R. B., Nobre, C., Cruz, M., Rodriguez-Jasso, R. M., Ruíz, H. A., Loredó-Treviño, A., . . . Belmares, R. (2021). Spontaneously fermented traditional beverages as a source of bioactive compounds: an overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(18), 2984–3006.

- Çetin, B. (2011). Production of probiotic mixed pickles (Tursu) and microbiological properties. *African Journal of Biotechnology*, 10(66), 14926-14931.
- De Filippis, F., Troise, A. D., Vitaglione, P., Ercolini, D. (2018). Different temperatures select distinctive acetic acid bacteria species and promotes organic acids production during Kombucha tea fermentation. *Food Microbiol.* 17, 11–16.
- Dębińska, A. & Sozańska, B. (2022). Fermented food in asthma and respiratory allergies—chance or failure?. *Nutrients*, 14(7), 1420.
- Dias, F. S., Santos, M. R. R. M., & Schwan, R. F. (2015). Enumeration, identification and safety proprieties of lactic acid bacteria isolated from pork sausage. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 67, 918–926.
- Dimidi, E., Cox, S. R., Rossi, M., & Whelan, K. (2019). Fermented foods: Definitions and characteristics, impact on the gut microbiota and effects on gastrointestinal health and disease. *Nutrients*, 11(8), 1806.
- Dlusskaya, E., Jänsch, A., Schwab, C., & Gänzle, M. G. (2008). Microbial and chemical analysis of a kvass fermentation. *European Food Research and Technology*, 227, 261-266.
- Duarte W. F, Dias D. R, Oliveira M. J, Teixeira J. A, Silva J. D, Schwan R. F. (2014). Characterization of different fruit wines made from Cocoa, Cupuassu, Gabiroba, Jaboticaba and Umbu. *Food Sci Technol*, 30:1-9
- El Sheikha, A. F. (2018). Molecular techniques and lactic acidfermented fruits and vegetables. *Molecular*

Techniques in Food Biology: Safety, Biotechnology, Authenticity and Traceability, 12, 285–308.

- Elhalis, H., Cox, J., Frank, D., & Zhao, J. (2021). The role of wet fermentation in enhancing coffee flavor, aroma and sensory quality. *European Food Research and Technology*, 247, 485–498.
- Erten, H., Tanguer, H., & Canbaş, A. (2008). A traditional Turkish lactic acid fermented beverage: Shalgam (Salgam). *Food Reviews International*, 24(3), 352-359.
- Farag, M. A., Jomaa, S. A., Abd El-Wahed, A., El-Seedi, R., & H. (2020). The many faces of kefir fermented dairy products: Quality characteristics, flavour chemistry, nutritional value, health benefits, and safety. *Nutrients*, 12(2), 346
- FDA. 2013. Yogurt. 21 CFR 131.200, Code of Federal Regulations. *U. S. Dept. of Health and Human Services*, Washington, DC.
- Flachs, A. and Orkin, J. D. (2021). On pickles: biological and sociocultural links between fermented foods and the human gut microbiome. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 17(1).
- Fleet G. H. (2013). Yeast interaction and wine flavour. *Int J Food Microbiol*;86:11-22. 28.
- Franciosa, I., Alessandria, V., Dolci, P., Rantsiou, K., & Cocolin, L. (2018). Sausage fermentation and starter cultures in the era of molecular biology methods. *International Journal of Food Microbiology*, 279, 26–32.
- Fu, C., Yan, F., Cao, Z., Xie, F., Lin, J. (2014). Antioxidant activities of kombucha prepared from three different substrates and changes in content of probiotics during storage. *Food Sci. Technol. (Zur.)* 34 (1), 123–126.

- Gaggia, F., Baffoni, L., Galiano, M., Nielsen, D. S., Jakobsen, R. R., Castro-Mejía, J. L., . . . Di Gioia, D. (2018). Kombucha beverage from green, black and rooibos teas: a comparative study looking at microbiology, chemistry and antioxidant activity. *Nutrients*, 11(1), 1
- Hossain, K. M., Mazumder, B., Rahman, S. A., & Hamid, M. (2021). Genetic diversity analysis of lactic acid bacteria isolated from regional yogurt samples. *Bangladesh Journal of Livestock Research*, 55-63.
- Hu, Y., L. Zhang, R. Wen, Q. Chen, and B. Kong. (2020). Role of lactic acid bacteria in flavor development in traditional Chinese fermented foods: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*:1–15.
- Hutkins, R. (2019). *Microbiology and technology of fermented foods*. London, UK: Wiley Press
- Irkin, R., & Songun, G. E. (2012). Applications of probiotic bacteria to the vegetable pickle products. *Sci. Rev. Chem. Commun*, 2(4), 562-567.
- Kabak, B., & Dobson, A. D. (2011). An introduction to the traditional fermented foods and beverages of Turkey. *Critical reviews in food science and nutrition*, 51(3), 248-260.
- Kabak, B., Dobson, A. D. W. (2011). An introduction to the traditional fermented foods and beverages of Turkey. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51, 248–260.
- Kailasapathy, K. (2006). Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yoghurt. *LWT - Food Science and Technology*, 39(10), 1221-1227.

- Kocaadam, B., & Tek, N. A. (2016). Ekmek, bira, şarap ve yoğurdun orijinleri ve tarihsel süreçleri. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 44(3), 272-279.
- Koçak, Ç., & Taş, T. K. (2013). Fonksiyonel süt ürünlerinin bağışıklık sistemi üzerine etkisi ve yakult örneği. *Akademik Gıda*, 11(3-4), 114-118.
- Kondybayev, A., Loiseau, G., Achir, N., Mestres, C., & Konuspayeva, G. (2021). Fermented mare milk product (Qymyz, Koumiss). *International Dairy Journal*, 119, 105065.
- Korolev DA (1963) Russkii kvas (Russian kvass) Moscow, Pishchepromizdat.
- Kusumoto, K. I., Yamagata, Y., Tazawa, R., Kitagawa, M., Kato, T., Isobe, K., & Kashiwagi, Y. (2021). Japanese traditional miso and koji making. *Journal of Fungi*, 7(7), 579.
- Laranjo, M., Elias, M., & Fraqueza, M. J. (2017). The use of starter cultures in traditional meat products. *Journal of Food Quality*, 2017, 9546026.
- Lee, M. E., Jang, J. Y., Lee, J. H., Park, H. W., Choi, H. J., & Kim, T. W. (2015). Starter cultures for kimchi fermentation. *Journal of microbiology and biotechnology*, 25(5), 559-568.
- Liceaga, A. M. (2020). Postbiotics and paraprobiotics: From concepts to applications. *Food Res. Int.*, 136, 109502.
- Lücke, F. K. (1988). Fermented sausages. In B. J. B. Wood (Ed.), *Micro-biology of fermented foods* (2nd Ed., Vol. 2, pp. 441-483). London: Blackie Academic and Professionail.

- Marsh, A. J., Hill, C., Ross, R. P., & Cotter, P. D. (2014). Fermented beverages with health-promoting potential: Past and future perspectives. *Trends in food science & technology*, 38(2), 113-124.
- Melini, F., Melini, V., Luziatelli, F., Ficca, A. G., Ruzzi, M. (2019). Health-promoting components in fermented foods: An up-to-date systematic review. *Nutrients*, 11, 1189.
- Mokoena, M. P. (2017). Lactic acid bacteria and their bacteriocins: Classification, biosynthesis, and applications against uropathogens: A mini-review. *Molecules*, 22, 1255.
- Mota de Carvalho, N., Costa, E. M., Silva, S., Pimentel, L., Fernandes, T. H., & Pintado, M. E. (2018). Fermented foods and beverages in human diet and their influence on gut microbiota and health. *Fermentation*, 4(4), 90.
- Neffe-Skocinska, K., Sionek, B., Scibisz, I., Kolozyn-krajewska, D. (2017). Acid contents and the effect of fermentation condition of Kombucha tea beverages on physicochemical, microbiological and sensory properties. *CyTA - J. Food*, 15 (4), 601–607.
- Nejati, F., Junne, S., & Neubauer, P. (2020). A big world in small grain: A review of natural milk Kefir starters. *Microorganisms*, 8(2), 192
- Nishida, H. (2021). Sake brewing and bacteria inhabiting sake breweries. *Frontiers in Microbiology*, 12, 602380
- Nkhata, S. G., Ayua, E., Kamau, E. H., Shingiro, J.B. (2018). Fermentation and germination improve nutritional value of cereals and legumes through activation of endogenous enzymes. *Food Sci. Nutr.* 6, 2446–2458.

- Nuraida, L. (2015). A review: Health promoting lactic acid bacteria in traditional Indonesian fermented foods. *Food Science and Human Wellness*, 4(2), 47–55.
- Obaedo M E, Ikenebomeh M. J. (2015). Microbiology and production of banana (*Musa sapientum*) wine. *Niger J Microbiol.* 23:1886-91
- Oberoi, K., Tolun, A., Altıntaş, Z., & Sharma, S. (2021). Effect of alginate-microencapsulated hydrogels on the survival of lactobacillus rhamnosus under simulated gastrointestinal conditions. *Foods*, 10(9), 1999.
- Okafor, N. Fermented foods and their processing. (2009). In *Biotechnology-Volume VIII: Fundamentals in Biotechnology*; Eolss Publishers: Oxford, UK. Volume 8, p. 19.
- Okuda, M. (2019). Rice used for Japanese sake making. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 83(8), 1428–1441.
- Orisakwe, O. E.; Amadi, C. N.; Frazzoli, C.; Dokubo, A. (2020). Nigerian foods of probiotics relevance and chronic metal exposure: A systematic review. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 27, 19285–19297.
- Ozdemir, S., Gocmen, D., & Yildirim Kumral, A. (2007). A traditional Turkish fermented cereal food: Tarhana. *Food Reviews International*, 23(2), 107-121.
- Patra, J. K., Das, G., Paramithiotis, S., & Shin, H. S. (2016). Kimchi and other widely consumed traditional fermented foods of Korea: A review. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1493.
- Pederson, C. S., & Albury, M. N. (1969). The sauerkraut fermentation. *Food Technology*, 8,

- Petrova, P., Emanuilova, M., & Petrov, K. (2010). Amylolytic Lactobacillus strains from Bulgarian fermented beverage boza. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 65(3-4), 218-224.
- Pires, E., & Brányik, T. (2015). Biochemistry of beer fermentation (pp. 4-7). AG Switzerland: *Springer International Publishing*.
- Plavsic, D., Okanovic, D., Gubic, J., & Njezic, Z. (2015). Microbiological and chemical evaluation of dried smoked meat product. *Procedia Food Science*, 5, 239–242.
- Romulo, A., & Surya, R. (2021). Tempe: A traditional fermented food of Indonesia and its health benefits. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 26, 100413
- Saeed, F., Afzaal, M., Shah, Y. A., Khan, M. H., Hussain, M., Ikram, A., . . . Khashroum, A. O. (2022). Miso: A traditional nutritious & health-endorsing fermented product. *Food Science & Nutrition*, 10(12), 4103–4111.
- Sánchez, M. M., Stavropoulou, D. A., & Leroy, F. (2017). Explor-ing the metabolic heterogeneity of coagulase-negative staphylo-cocci to improve the quality and safety of fermented meats: Areview. *International Journal of Food Microbiology*, 247, 24–37.
- Saranraj, P., Sivasakthivelan, P., & Naveen, M. (2017). Fermentation of fruit wine and its quality analysis: A review. *Australian Journal of Science and Technology*, 1(2), 85-97.
- Sharma, R., Garg, P., Kumar, P., Bhatia, S. K., & Kulshrestha, S. (2020). Microbial fermentation and its role in quality improvement of fermented foods. *Fermentation*, 6(4), 106.

- Sivamaruthi, B. S., Kesika, P., & Chaiyasut, C. (2018). Impact of fermented foods on human cognitive function—a review of outcome of clinical trials. *Scientia Pharmaceutica*, 86(2), 22.
- Spencer, S. P., Silva, E. G. L., Caffery, E. B., Carter, M. M., Culver, R. N., Wang, M., ... & Sonnenburg, J. L. (2022). Fermented foods restructure gut microbiota and promote immune regulation via microbial metabolites. *bioRxiv*, 2022-05.
- Teoh, A.L., Heard, G., Cox, J. (2004). Yeast ecology of Kombucha fermentation. *Int. J. Food Microbiol.* 95 (2), 119–126.
- TFC, (2009). Turkish Food Codex, fermented milk products. Turkish Food Codex Regulations, Regulation No: 2009/25. *Republic of Turkey Ministry of Food, Agriculture and Livestock*, Ankara, Turkey
- Todorov S. D., Botes M., Guigas C., Schillinger U., Wiid I., Wachsman M. B., Holzapfel W. H., and Dicks L. (2008), Boza, a natural source of probiotic lactic acid bacteria. *J. Appl. Microbiol.* 104, 465 – 477
- Weerathilake, W. A. D. V., Rasika, D. M. D., Ruwanmali, J. K. U., & Munasinghe, M. A. D. D. (2014). The evolution, processing, varieties and health benefits of yogurt. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(4), 1-10.
- Wong, A., Ngu, D. Y. S., Dan, L., Ooi, A. S. L., & Lim, R. L. H. (2015). Detection of antibiotic resistance in probiotics of dietary supplements. *Nutrition Journal*, 14(1).
- Zakpaa, H. D., Imbeah, C. M., & Mak-Mensah, E. E. (2009). Microbial characterization of fermented meat products on some selected markets in the Kumasi metropolis,

Ghana:. *African Journal of Food Science*, 3(11), 340–346

Zhang, K., Wu, W., & Yan, Q. (2020). Research advances on sake rice, koji, and sake yeast: A review. *Food Science & Nutrition*, 8(7), 2995-3003.

OXIDATION MECHANISM OF OZONE WITH FOOD LIPIDS

Hicran UZUN KARKA¹

1. INTRODUCTION

Ozone, a tri-atomic oxygen molecule, is a crucial component present in the stratosphere (Basudan et al., 2022). It is formed through various processes, such as ozone synthesis from oxygen in dielectric barrier discharges, where physical processes in micro-discharges interact with the chemistry of ozone formation (Eliasson et al., 1987). Ozone can be applied in gaseous form or as an aqueous solution, making it versatile in different applications (Cahyana et al., 2018). Ozone's interaction with pollutants in swimming pool water, for instance, affects the formation of volatile disinfection by-products, highlighting its impact on water quality (Hansen et al., 2016). Furthermore, ozone's role as an oxidizing agent in treating carbon-based materials like graphene oxide demonstrates its versatility in various chemical processes (Yang et al., 2014).

Ozone's application in modifying the properties of starch and other food materials showcases its potential in food science and processing (Handarini et al., 2020). Additionally, ozone's involvement in reactions leading to the formation of radical species like hydroxyl radicals highlights its significance in water purification processes (Padhye et al., 2011). Overall, application

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

² Bu çalışma yazarın 518994 nolu doktora tezinden üretilmiştir.

of ozone in chemistry, food processing, environmental science, and materials science underscore its importance in various fields. Its unique properties especially as oxidizing agent and reactivity make it a valuable tool in different industrial processes.

2. OZONE

Ozone, a molecule composed of three oxygen atoms (O₃), plays a crucial role in various chemical and environmental processes (Basudan et al., 2022). Ozone is formed in the Earth's atmosphere through the interaction of oxygen molecules (O₂) with ultraviolet (UV) radiation. This process leads to the dissociation of oxygen molecules into oxygen atoms, which can then react with additional oxygen molecules to form ozone (Eliasson et al., 1987). Ozone is a powerful oxidizing agent and is commonly used in water treatment, air purification, and industrial processes due to its ability to react with and neutralize contaminants (Hansen et al., 2016). The reactivity of ozone makes it a valuable tool in various chemical processes. Ozone can be used for the oxidation of organic compounds, water disinfection, and the removal of odors and colorants in industrial applications (Yang et al., 2014). Ozone's ability to react with a wide range of substances, breaking down complex molecules into simpler compounds, makes it a versatile agent in chemical synthesis and environmental remediation.

3. APPLICATION OF OZONE IN FOOD INDUSTRY

Ozone plays a significant role in the food industry due to its versatile applications in food processing, preservation, and safety. Ozone is a potent oxidizing agent that is commonly used in the food industry for various purposes, including food

preservation, equipment sterilization, and deodorization. Ozone is considered a safe antimicrobial agent and is widely used for sanitizing, deodorizing, and preserving food commodities (Güzel-Seydim et al., 2004; Sroy et al., 2019). Its strong antimicrobial properties make it effective in controlling spoilage and pathogenic microorganisms, contributing to the overall quality retention of food products (Wani et al., 2015). In the food industry, ozone is utilized for extending the shelf life of products, preserving food quality, and ensuring food safety. Ozone treatments have been applied to a wide range of food items, including fruits, vegetables, meat products, and beverages, to reduce contamination and enhance microbiological safety (Patil et al., 2010; Cullen et al., 2010). Moreover, ozone technology has been employed in food surface hygiene, sanitation of food plant equipment, and the reuse of wastewater in food processing facilities. Ozone treatments have been shown to lower the biological oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD) of food plant waste, contributing to environmental sustainability in the food industry (Sroy et al., 2019). Ozone's ability to decompose into oxygen makes it an environmentally friendly tool for food processing, minimizing the accumulation of inorganic compounds on food surfaces and reducing potential risks to human health. In conclusion, ozone's applications in the food industry are diverse and essential for ensuring food safety, quality, and sustainability. Its antimicrobial properties, effectiveness in food preservation, and environmentally friendly nature make ozone a valuable technology for various food processing and preservation applications. Ozone's role in enhancing food safety, extending shelf life, and maintaining product quality underscores its importance in modern food processing practices.

4. OVERVIEW OF FOOD LIPIDS: TYPES, SOURCES, AND FUNCTIONS

Food lipids are a wide range of molecules that have critical functions in nutrition, flavour, texture, and overall food quality. Below is an overview of food lipids, including their kinds, sources, and functions.

4.1.Types of Food Lipids

Triglycerides are the most common type of lipid found in foods. They consist of three fatty acids attached to a glycerol molecule. Triglycerides can be classified based on the types of fatty acids (Piispa et al., 1996). Saturated fats are solid at room temperature and are primarily found in animal products such as butter, cheese, and fatty cuts of meat. They are also present in some plant-based oils like coconut oil and palm oil. Monounsaturated fats are liquid at room temperature but may solidify when refrigerated. They are found in foods like olive oil, avocados, and nuts (e.g., almonds, peanuts). Polyunsaturated fats are also liquid at room temperature and include omega-3 and omega-6 fatty acids. Sources of polyunsaturated fats include fish (e.g., salmon, mackerel), flaxseeds, soybean oil, and sunflower oil (Simopoulos, 2008). Phospholipids are a type of lipid that forms the structural components of cell membranes. They are found in foods like egg yolks, soybeans, and peanuts. Sterols are another type of lipid, with cholesterol being the most well-known sterol. While cholesterol is primarily synthesized in the body, it is also found in animal-based foods such as eggs, meat, and dairy products.

4.2. Sources of Food Lipids

Vegetable oils (olive oil, canola oil, sunflower oil), nuts and seeds (almonds, walnuts, chia seeds), avocados, and olives are rich sources of plant-based lipids. Fats which are obtained from meat and poultry, dairy products (butter, cheese, milk), and

seafood (fish oils, omega-3 fatty acids from salmon and trout) are animal-based fats.

4.3. Functions of Food Lipids

Lipids serve as a concentrated source of energy, providing more than twice the energy per gram compared to carbohydrates and proteins. They are crucial for building cell membranes and maintaining cell integrity and function (Meer et al., 2008). Fat-soluble vitamins (A, D, E, K) require lipids for absorption in the digestive system. Lipids serve as precursors for the synthesis of various hormones, including steroid hormones like testosterone and estrogen. Moreover, they contribute to the flavor, aroma, and texture of foods, enhancing their palatability (Piispa et al., 1996).

4.4. Oxidation Mechanism of Food Lipids

The oxidation of food lipids is a significant concern in the food industry because it can lead to rancidity, off-flavors, and a decrease in the nutritional quality of food products. The oxidation process in food lipids involves several steps and can be influenced by factors such as temperature, light exposure, oxygen levels, and the presence of pro-oxidants (Amaral et al., 2018). Lipid oxidation is a complex process that can be divided into three main stages: initiation, propagation, and termination (Dai et al., 2021; Watanabe, 2015).

Initiation: The oxidation of food lipids often begins with the initiation step, where reactive oxygen species (ROS) or free radicals are generated. This can occur through various mechanisms, such as exposure to oxygen in the air, heat, light, or the presence of metal ions (pro-oxidants). During the initiation stage, free radicals or other oxidants attack lipids containing carbon-carbon double bonds, particularly polyunsaturated fatty acids (PUFAs) (Ayala et al., 2014). This attack leads to the formation of lipid radicals, which are highly reactive and can initiate a chain reaction of lipid oxidation.

Propagation: Once initiated, lipid oxidation enters the propagation phase. During this phase, lipid radicals react with oxygen molecules to form peroxy radicals. These peroxy radicals can then react with other lipids, creating a chain reaction that leads to the formation of lipid hydroperoxides and aldehydes (Watanabe, 2015). Lipid hydroperoxides are primary oxidation products that are formed during the propagation phase. They are unstable and can further decompose into secondary products such as aldehydes, ketones, and other volatile compounds. These secondary products contribute to the development of off-flavors and rancidity in food.

Termination: The oxidation chain reaction can be terminated by various mechanisms. Antioxidants, either naturally present in food or added as preservatives, can act as scavengers of free radicals, preventing further oxidation. Additionally, the formation of non-reactive end products through reactions between radicals can also terminate the oxidation process (Watanabe, 2015).

4.5. Effects of Lipid Oxidation in Food

The oxidation of food lipids can have several undesirable effects,

Off-Flavors and Odors: Oxidation products contribute to the development of off-flavors and odors, often described as rancid or stale.

Nutritional Loss: Essential nutrients such as vitamins (e.g., vitamin E) and polyunsaturated fatty acids can be degraded during lipid oxidation, leading to a decrease in nutritional quality.

Texture Changes: Oxidation can also affect the texture and mouthfeel of food products, leading to changes in texture, crispness, or softness.

Health Concerns: Some oxidation products, such as lipid hydroperoxides and aldehydes, may have negative health effects and contribute to oxidative stress in the body.

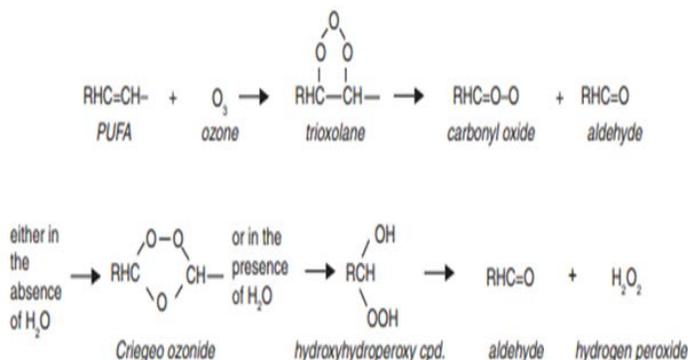
To prevent or slow down lipid oxidation in food products, various strategies are employed in the food industry, including the use of antioxidants, packaging techniques that minimize oxygen exposure, storage at appropriate temperatures, and the selection of stable lipid sources. The antioxidants have important role in inhibiting lipid oxidation and maintaining the oxidative stability of lipid-containing foods (Shahidi & Zhong, 2010). Natural and synthetic antioxidants can act as free radical scavengers, retarding the oxidation process and preserving the quality of the food (McClements & Decker, 2017). The location and effectiveness of antioxidants within the food matrix are critical factors in their ability to inhibit lipid oxidation (Decker et al., 2017).

4.6. Mechanisms of Lipid Oxidation by Ozone

The reaction of ozone (O₃) with unsaturated fatty acids involves a chemical reaction in which ozone reacts with a double bond in an unsaturated compound, such as an unsaturated fatty acid, to form ozonides and other products. The reaction mechanism is described by Criegee (1975). The initial pathway of formation of the primary ozonide is a 1,2,3 trioxolane. Pryor, (1994) suggests that a diradical intermediate is produced from the primary trioxolane by a O-O bond scission. The diradical can decompose into an aldehyde and a carbonyl oxide. In an aqueous environment, the carbonyl oxide can form a hydroxyhydroperoxide, which breaks down to an aldehyde and hydrogen peroxide. In the relatively anhydrous environment, the primary ozonide rearranges to form the secondary ozonide (1,2,4 trioxolane), which can decompose to a hydroperoxide and an aldehyde. The hydroperoxide can initiate lipid peroxidation (Figure 1). Several oxygenated compounds such as

hydroperoxides, ozonides, aldehydes, peroxides, and polyperoxides are produced by the Criegee mechanism.

Figure 1. Classic Ozone Additions to Carbon-Carbon Double Bond of Polyunsaturated Fatty Acids



Research has shown that ozone reacts with unsaturated fatty acids in both free and esterified forms, such as those found in skin lipids and vegetable oils, resulting in the generation of carbonyls, dicarbonyls, and hydroxycarbonyls (Wisthaler & Weschler, 2010). This reaction has been investigated in various contexts, including the heterogeneous reaction of ozone with liquid unsaturated fatty acids like oleic and linoleic acids, which are common components of organic aerosols (Moise & Rudich, 2002). The reaction between ozone and unsaturated fatty acids has been found to produce reactive oxygen species, hydrogen peroxide, ozonides, and lipid peroxides, impacting the oxidative stability of lipid-containing products. Moreover, studies have demonstrated that the ozonation of unsaturated fatty acids yields aldehydes and hydrogen peroxide as products, which may have implications for ozone toxicity (Pryor et al., 1991). The oxidative cleavage of the C=C double bond in unsaturated fatty acids into aldehydes or carboxylic acids has been explored for biomass valorization (Spannring et al., 2014). Additionally, the ozonation of oils containing unsaturated fatty acids has been investigated for

its antibacterial properties, suggesting potential applications of ozonated oils in various fields (Beşen et al., 2017).

4.7. Analytical Techniques for Determination of Lipid Oxidation by Ozone

Assessing lipid oxidation in food is crucial for determining product quality, safety, and shelf life. Several methods are commonly used for this purpose, each offering unique advantages and insights into the extent of lipid oxidation.

4.7.1. Peroxide Value (PV)

PV measures the concentration of peroxides, which are primary oxidation products formed during the initial stages of lipid oxidation. It involves the reaction of peroxides with an iodide ion, followed by titration with a standard thiosulfate solution to determine the peroxide concentration. PV provides information about the early stages of lipid oxidation but may not capture later oxidation products (Skinner et al., 2021).

4.7.2. Anisidine Value (AV)

AV measures secondary oxidation products, primarily aldehydes (e.g., malondialdehyde), which are formed during the later stages of lipid oxidation. It involves the reaction of aldehydes with p-anisidine in acidic conditions, followed by spectrophotometric measurement of the absorbance at specific wavelengths. AV provides information about the extent of lipid oxidation and the development of off-flavors and odors in food products (Kerr et al., 2015).

4.7.3. Thiobarbituric Acid Reactive Substances (TBARS)

TBARS assay quantifies the concentration of malondialdehyde (MDA) and other thiobarbituric acid reactive substances, which are secondary oxidation products. It involves the reaction of MDA with thiobarbituric acid (TBA) under acidic

conditions to form a colored complex, which is measured spectrophotometrically. TBARS assay is widely used for assessing lipid oxidation in various food products, particularly those containing high levels of polyunsaturated fatty acids (Kerr et al., 2015).

4.7.4. Conjugated Dienes and Trienes

Measurement of conjugated dienes and trienes involves detecting the formation of conjugated double bonds during lipid oxidation. UV-visible spectroscopy is commonly used to monitor changes in absorbance at specific wavelengths corresponding to the formation of conjugated dienes and trienes. This method provides qualitative and semi-quantitative information about the progress of lipid oxidation Skinner et al. (2021).

4.7.5. Antioxidant Capacity Assays

Antioxidant capacity assays, such as oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC), assess the ability of food components to inhibit lipid oxidation. These assays measure the scavenging activity of antioxidants against free radicals generated during lipid oxidation, providing insights into the overall antioxidant potential of food products (Tafulo et al., 2010).

4.8. Spectroscopic and Chromatographic Approaches for Lipid Oxidation Analysis

Various instrumental methods are used for studying the characterization of ozonated vegetable oils e.g. ^1H and ^{13}C NMR, FT-IR, GC.

4.8.1. Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Spectroscopy

NMR is a powerful technique used for the characterization of organic compounds, including ozonated vegetable oils. Both proton (^1H) and carbon-13 (^{13}C) NMR spectroscopy can provide

valuable information about the structure and composition of these oils after ozonation (Uzun et al., 2018). ^1H and carbon-13 (^{13}C) NMR spectroscopy can be used in the characterization of ozonated vegetable oils for following purposes;

Double Bond Analysis: Ozonation often leads to the cleavage of double bonds in unsaturated fatty acids. ^1H NMR can be used to determine the degree of unsaturation before and after ozonation by analyzing changes in the chemical shifts and integration of signals corresponding to hydrogen atoms in the vicinity of double bonds.

Oxidation Products: ^1H NMR can detect the presence of oxidation products such as aldehydes and ketones formed during ozonation. These products typically appear as characteristic peaks in the NMR spectrum.

Identification of Functional Groups: Hydrogen atoms attached to different functional groups (e.g., hydroxyl groups, ester groups) can be identified based on their chemical shifts in the ^1H NMR spectrum, aiding in the determination of the types of reactions occurring during ozonation.

Degree of Unsaturation: Similar to ^1H NMR, ^{13}C NMR can provide information about the degree of unsaturation in the vegetable oils before and after ozonation. Changes in the chemical shifts of carbon atoms in the vicinity of double bonds can indicate the cleavage of double bonds during ozonation.

Identification of Carbon Types: Different carbon types (e.g., carbonyl carbons, alkyl carbons, carbon-carbon double bond carbons) have characteristic chemical shifts in the ^{13}C NMR spectrum. Analysis of these shifts can help identify the presence of oxidation products and other structural changes induced by ozonation.

Quantitative Analysis: Integration of peaks in the ^{13}C NMR spectrum can provide quantitative information about the relative abundance of different carbon types in the ozonated vegetable oils, aiding in the characterization of the ozonation products.

4.8.2. Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy

FT-IR is another valuable technique for characterizing ozonated vegetable oils. It provides information about the functional groups present in the molecules by measuring the absorption of infrared radiation as a function of frequency. FT-IR spectroscopy can be used in the characterization of ozonated vegetable oils for following purposes;

Identification of Functional Groups: FT-IR spectroscopy can identify various functional groups present in ozonated vegetable oils. For example:

O-H Stretching: Peaks in the region of $3200\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ indicate the presence of hydroxyl (O-H) groups, which may be formed as a result of ozonation-induced oxidation.

C=O Stretching: Peaks around $1700\text{-}1800\text{ cm}^{-1}$ are characteristic of carbonyl (C=O) groups, which can be indicative of the formation of aldehydes or ketones during ozonation.

C-H Stretching: Peaks in the region of $2800\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$ correspond to stretching vibrations of carbon-hydrogen (C-H) bonds, providing information about the types of hydrocarbon chains present in the oils.

Ozone Absorption Bands: In some cases, specific absorption bands associated with ozone itself (such as the O=O stretching vibration around 1100 cm^{-1}) may be observed, providing evidence of ozonation.

Degree of Oxidation: Changes in the intensity or position of absorption bands corresponding to functional groups can provide insights into the degree of oxidation undergone by the vegetable oils during ozonation. Increased intensity of carbonyl peaks, for example, may indicate higher levels of oxidation.

Comparative Analysis: FT-IR spectra of ozonated vegetable oils can be compared with those of untreated oils to identify spectral differences induced by ozonation. This comparative analysis helps in understanding the chemical modifications occurring in the oils upon ozonation.

Quantitative Analysis: FT-IR spectroscopy can also be used for quantitative analysis, allowing researchers to quantify the extent of certain functional groups (e.g., carbonyl groups) present in the ozonated oils.

FT-IR spectroscopy provides valuable information about the chemical changes occurring in ozonated vegetable oils, including the formation of oxidation products and modifications to functional groups. This characterization is essential for assessing the suitability of ozonated oils for various applications, such as in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries (Uzun et al., 2018).

4.8.3. Gas Chromatography (GC)

GC is a powerful tool for characterizing ozonated vegetable oils, providing detailed information about their fatty acid composition, oxidation products, and other volatile components. This characterization is essential for understanding the chemical changes induced by ozonation and evaluating the suitability of ozonated oils for various applications (Uzun et al., 2018).

GC can be used in the characterization of ozonated vegetable oils for following purposes;

Fatty Acid Composition Analysis: GC can determine the fatty acid composition of ozonated vegetable oils by converting the fatty acids into volatile derivatives (such as fatty acid methyl esters, FAMES) through derivatization prior to analysis. Each fatty acid methyl ester has a characteristic retention time, allowing for identification and quantification of individual fatty acids present in the oils.

Detection of Oxidation Products: GC can detect oxidation products formed during ozonation, such as aldehydes, ketones, and hydroperoxides. These oxidation products can be volatile and are amenable to analysis by GC. By comparing the chromatographic profiles of ozonated oils with those of untreated oils, researchers can identify and quantify the extent of oxidation induced by ozonation.

Quantitative Analysis: GC is highly quantitative, allowing for precise quantification of individual compounds present in the ozonated oils. Calibration curves prepared using standard compounds can be used to determine the concentrations of specific components, providing quantitative information about the composition of the oils.

Characterization of Volatile Components: In addition to fatty acids and oxidation products, GC can also identify and quantify other volatile compounds present in the ozonated oils, such as terpenes, sterols, and aroma compounds. This information is valuable for assessing changes in the flavor and aroma profiles of the oils due to ozonation.

4.9. Ozone Treatment in Food Preservation

4.9.1. Applications of Ozone in Food Preservation and Safety

Ozone, with its powerful oxidative properties, finds several applications in food preservation and safety. Ozone is

used to disinfect water used in food processing, ensuring that the water used for washing fruits and vegetables or in food production is free from harmful microorganisms. It can be applied to the surfaces of fruits, vegetables, and meat products to kill bacteria, viruses, molds, and yeasts, thereby extending their shelf life and reducing the risk of foodborne illnesses. Ozone treatment can be used to disinfect the air inside food storage facilities or refrigerators, inhibiting the growth of spoilage microorganisms and extending the shelf life of perishable foods (Kim et al., 1999).

Ozone can be dissolved in water and used to wash fruits, vegetables, and seafood. This helps to remove pesticides, herbicides, and pathogens present on the surface of the produce, thereby improving food safety. It can be used to sanitize food processing equipment, such as conveyor belts, cutting tools, and containers, reducing the risk of cross contamination during food production (Dubey et al., 2022).

Also, ozone treatment can be effective in reducing or eliminating mycotoxins, which are toxic compounds produced by molds that can contaminate food products such as grains, nuts, and spices (Temba et al., 2016). By controlling microbial growth and oxidation reactions, ozone can extend the shelf life of various food products, including fruits, vegetables, meats, and seafood, reducing food waste and improving economic efficiency. Further, applications of ozone in cold storage rooms control ethylene production, which is responsible for ripening and spoilage in fruits and vegetables, thereby prolonging their freshness and shelf life. In food processing plants, ozone can be used to treat wastewater, eliminating organic contaminants and pathogens before discharge, thereby reducing environmental pollution and ensuring compliance with regulatory standards. In addition, ozone can be used to sterilize food packaging materials, such as containers, films, and wraps, ensuring that they are free from

microbial contamination before coming into contact with food (Guo et al., 2020; Dubey et al., 2022).

4.9.2. Effects of Ozone Treatment on Lipid Oxidation and Nutritional Quality

Ozone treatment has been extensively studied for its effects on lipid oxidation and nutritional quality in various food products. Ozone is a powerful oxidizing agent, and prolonged or excessive exposure to ozone can promote lipid oxidation in foods. Lipid oxidation can lead to the formation of off-flavors, off-odors, and the degradation of essential fatty acids, vitamins, and other nutrients, thereby reducing the nutritional quality of the food. Some fat-soluble vitamins and antioxidants may be sensitive to oxidation induced by ozone treatment. Prolonged exposure to ozone can lead to the degradation of these nutrients, reducing the overall nutritional value of the food (Ianni et al., 2019). The concentration of ozone used and the duration of treatment significantly influence its effects on lipid oxidation and nutritional quality. Higher concentrations and longer exposure times are more likely to induce lipid oxidation and nutrient degradation. The composition and characteristics of the food matrix can affect its susceptibility to ozone treatment. Foods with higher lipid content may be more prone to lipid oxidation, while the presence of antioxidants and other protective compounds can mitigate oxidative damage. Research indicates that ozone treatment can lead to an increase in lipid oxidation, which is influenced by factors such as the type of fats in the diet. For instance, meat samples obtained from animals fed with vegetable fats showed higher lipid oxidation compared to those fed with animal fats, likely due to the increase in polyunsaturated fatty acids, which are more susceptible to peroxidation (Ianni et al., 2019). Additionally, ozone exposure has been found to promote lipid oxidation in chicken and duck breast meat, further

highlighting its impact on lipid quality in food products (Muhlisin et al., 2016).

Ozone treatment can result in the formation of oxidation byproducts, such as aldehydes and ketones, which may have negative health implications. Studies have shown that ozone treatment can induce lipid peroxidation by generating reactive oxygen species and lipid oxidation products, such as hydrogen peroxide and lipid peroxides (Tizaoui, 2020). This oxidative effect of ozone on lipids has been observed in various food items, including fresh-cut lettuce and Nile tilapia, where ozone treatment led to the oxidation of lipids rich in unsaturated fatty acids (Beltrán et al., 2005). Furthermore, the exposure time of ozone treatment has been found to influence the oxidative stability of lipid-containing products, such as milk cream, emphasizing the importance of optimizing ozone treatment parameters to minimize lipid oxidation (Perna et al., 2022). Consequently, the research suggests that while ozone treatment can be effective in extending the shelf life of food products and improving food safety by reducing microbial contamination, it also has implications for lipid oxidation and nutritional quality.

REFERENCES

- Amaral, A., Silva, M., & Lannes, S. (2018). Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors – a review. *Food Science and Technology*, 38(suppl 1), 1-15. <https://doi.org/10.1590/fst.32518>
- Andoyo, R., ... & Handarini, K. (2018). Non-starch contents affect the susceptibility of banana starch and flour to ozonation. *Journal of Food Science and Technology*, 55(5), 1726-1733. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3085-2>
- Ayala, A., Muñoz, M., & Argüelles, S. (2014). Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2014, 1-31. <https://doi.org/10.1155/2014/360438>
- Basudan, T., Alzurqi, N., Alzahrani, N., Bormah, D., Alharbi, R., Bukhamsin, F., ... & Aldrees, S. (2022). Application of ozone therapy in dentistry. *Journal of Healthcare Sciences*, 02(08), 144-148. <https://doi.org/10.52533/johs.2022.2801>
- Beltrán, D., Selma, M., Marín, A., & Gil, M. (2005). Ozonated water extends the shelf life of fresh-cut lettuce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(14), 5654-5663. <https://doi.org/10.1021/jf050359c>
- Beşen, B. S., Balcı, O., Güneşoğlu, C., Orhan, M., İnci Somuncuoğlu, E., & İrem Tatlı, İ. (2017). Obtaining medical textiles including microcapsules of the ozonated vegetable oils. *Fibers and Polymers*, 18, 1079-1090.
- Cahyana, Y., Titipanillah, R., Mardawati, E., Sukarminah, E., Rialita, T., Andoyo, R., ... & Handarini, K. (2018). Non-starch contents affect the susceptibility of banana starch

and flour to ozonation. *Journal of food science and technology*, 55, 1726-1733.

Cullen, P., Valdramidis, V., Tiwari, B., Patil, S., Bourke, P., & O'Donnell, C. (2010). Ozone processing for food preservation: an overview on fruit juice treatments. *Ozone Science and Engineering*, 32(3), 166-179. <https://doi.org/10.1080/01919511003785361>

Dai, Y., Han, W., Liu, X., Liu, H., Yin, L., Wang, Z., ... & Zhou, J. (2021). Antioxidant activities and inhibitory effects of blueberry pomace and wine pomace crude extracts on oxidation of oil in water emulsion and fish mince. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(6). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15509>

Decker, E., McClements, D., Bourlieu-Lacanal, C., Durand, E., Figueroa-Espinoza, M., Lecomte, J., ... & Villeneuve, P. (2017). Hurdles in predicting antioxidant efficacy in oil-in-water emulsions. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 183-194. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.001>

Dubey, P., Singh, A., & Yousuf, O. (2022). Ozonation: an evolving disinfectant technology for the food industry. *Food and Bioprocess Technology*, 15(9), 2102-2113. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02876-3>

Eliasson, B., Hirth, M., & Kogelschatz, U. (1987). Ozone synthesis from oxygen in dielectric barrier discharges. *Journal of Physics D Applied Physics*, 20(11), 1421-1437. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/20/11/010>

Güzel-Seydim, Z., Greene, A., & Seydim, A. (2004). Use of ozone in the food industry. *LWT*, 37(4), 453-460. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.10.014>

- Guo, X., Jiang, Y., Xing, J., & Zhu, K. (2020). Effect of ozonated water on physicochemical, microbiological, and textural properties of semi-dried noodles. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(4). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14404>
- Handarini, K., Hamdani, J., Cahyana, Y., & Setiasih, I. (2020). Gaseous ozonation at low concentration modifies functional, pasting, and thermal properties of arrowroot starch (*maranta arundinaceae*). *Starch- Stärke*, 72(5-6). <https://doi.org/10.1002/star.201900106>
- Hansen, K., Spiliotopoulou, A., Cheema, W., & Andersen, H. (2016). Effect of ozonation of swimming pool water on formation of volatile disinfection by-products – a laboratory study. *Chemical Engineering Journal*, 289, 277-285. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.12.052>
- Ianni, A., Grotta, L., & Martino, G. (2019). Feeding influences the oxidative stability of poultry meat treated with ozone. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 32(6), 874-880. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0520>
- Kerr, B., Kellner, T., & Shurson, G. (2015). Characteristics of lipids and their feeding value in swine diets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40104-015-0028-x>
- Kim, J., Yousef, A., & Dave, S. (1999). Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review. *Journal of Food Protection*, 62(9), 1071-1087. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-62.9.1071>
- McClements, D., & Decker, E. (2000). Lipid oxidation in oil-in-water emulsions: impact of molecular environment on chemical reactions in heterogeneous food systems.

- Journal of Food Science, 65(8), 1270-1282.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb10596.x>
- Meer, G. v., Voelker, D. R., & Feigenson, G. W. (2008). Membrane lipids: where they are and how they behave. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 9(2), 112-124.
<https://doi.org/10.1038/nrm2330>
- Moise, T., & Rudich, Y. (2002). Reactive Uptake of Ozone by Aerosol-Associated Unsaturated Fatty Acids: Kinetics, Mechanism, and Products. *The Journal of Physical Chemistry*, 106 (27), 6469-6476.
<https://doi.org/10.1021/jp025597e>
- Muhlisin, M., Utama, D., Lee, J., & Choi, J. (2016). Effects of gaseous ozone exposure on bacterial counts and oxidative properties in chicken and duck breast meat. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 36(3), 405-411. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2016.36.3.405>
- Padhye, L., Luzinova, Y., Cho, M., Mizaikoff, B., Kim, J., & Huang, C. (2011). Polydadmec and dimethylamine as precursors of n-nitrosodimethylamine during ozonation: reaction kinetics and mechanisms. *Environmental Science & Technology*, 45(10), 4353-4359.
<https://doi.org/10.1021/es104255e>
- Yang, F., Zhao, M., Wang, Z., Ji, H., Zheng, B., Xiao, D., ... & Guo, Y. (2014). The role of ozone in the ozonation process of graphene oxide: oxidation or decomposition?. *RSC Advances*, 4(102), 58325-58328.
<https://doi.org/10.1039/c4ra08750j>
- Patil, S., Torres, B., Tiwari, B., Wijngaard, H., Bourke, P., Cullen, P., ... & Valdramidis, V. (2010). Safety and quality assessment during the ozonation of cloudy apple juice.

Journal of Food Science, 75(7).
<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01750.x>

- Perna, A., Gambacorta, E., Simonetti, A., Grassi, G., & Scopa, A. (2022). Effect of ozone treatment exposure time on oxidative stability of cream milk. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 124(8).
<https://doi.org/10.1002/ejlt.202100238>
- Piispa, E., Hopia, A., & Hyvönen, L. (1996). Characterization of quality of fat in processed foods by fatty acid analysis and high-performance size-exclusion chromatography. *Lipid / Fett*, 98(7-8), 257-260.
<https://doi.org/10.1002/lipi.19960980707>
- Pryor, W. A. (1994). Mechanisms of radical formation from reactions of ozone with target molecules in the lung. *Free Radicals in Biology and Medicine*, 17, 451-465.
[https://doi.org/10.1016/0891-5849\(94\)90172-4](https://doi.org/10.1016/0891-5849(94)90172-4)
- Pryor, W. A., Das, B., & Church, D. F. (1991). The ozonation of unsaturated fatty acids: aldehydes and hydrogen peroxide as products and possible mediators of ozone toxicity. *Chemical Research in Toxicology*, 4(3), 341-348.
- Shahidi, F., & Zhong, Y. (2010). Lipid oxidation and improving the oxidative stability. *Chemical Society Reviews*, 39(11), 4067. <https://doi.org/10.1039/b922183m>
- Simopoulos, A. P. (2008). The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. *Experimental Biology and Medicine*, 233(6), 674-688. <https://doi.org/10.3181/0711-mr-311>
- Skinner, J., Arora, P., McMath, N., & Penumetcha, M. (2021). Determination of oxidized lipids in commonly consumed foods and a preliminary analysis of their binding affinity

to pparry. Foods, 10(8), 1702.
<https://doi.org/10.3390/foods10081702>

- Spannring, P., Bruijninx, P. C., Weckhuysen, B. M., & Gebbink, R. J. K. (2014). Transition metal-catalyzed oxidative double bond cleavage of simple and bio-derived alkenes and unsaturated fatty acids. *Catalysis Science & Technology*, 4(8), 2182-2209.
- Sroy, S., Fundo, J., Miller, F., Brandão, T., & Silva, C. (2019). Impact of ozone processing on microbiological, physicochemical, and bioactive characteristics of refrigerated stored cantaloupe melon juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(12).
<https://doi.org/10.1111/jfpp.14276>
- Tafulo, P., Queirós, R., Delerue-Matos, C., & Sales, M. (2010). Control and comparison of the antioxidant capacity of beers. *Food Research International*, 43(6), 1702-1709.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.05.014>
- Temba, B., Sultanbawa, Y., Kriticos, D., Fox, G., Harvey, J., & Fletcher, M. (2016). Tools for defusing a major global food and feed safety risk: nonbiological postharvest procedures to decontaminate mycotoxins in foods and feeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(47), 8959-8972.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03777>
- Tizaoui, C. (2020). Ozone: a potential oxidant for covid-19 virus (sars-cov-2). *Ozone Science and Engineering*, 42(5), 378-385. <https://doi.org/10.1080/01919512.2020.1795614>
- Uzun, H., Kaynak, E. G., Ibanoglu, E., & Ibanoglu, S. (2018). Chemical and structural variations in hazelnut and soybean oils after ozone treatments. *Grasas y Aceites*, 69(2), e253-e253.

- Wani, S., Maker, J., Thompson, J., Barnes, J., & Singleton, I. (2015). Effect of ozone treatment on inactivation of escherichia coli and listeria sp. on spinach. *Agriculture*, 5(2), 155-169. <https://doi.org/10.3390/agriculture5020155>
- Watanabe, Y. (2015). Antioxidative properties of acyl ascorbates on lipid oxidation in bulk, disperse and microcapsule systems. *Food Science and Technology Research*, 21(5), 639-647. <https://doi.org/10.3136/fstr.21.639>
- Wisthaler, A., & Weschler, C. (2010). Reactions of ozone with human skin lipids: sources of carbonyls, dicarbonyls, and hydroxycarbonyls in indoor air. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(15), 6568-6575. <https://doi.org/10.1073/pnas.0904498106>

AROMA AND AROMA-ACTIVE COMPOUNDS OF OLIVE OIL

Hicran UZUN KARKA¹

Songül KESEN²

1. INTRODUCTION

The components of aroma in olive oils play a crucial role in determining their sensory characteristics and overall quality. These compounds are essential for creating the distinctive aroma and flavor profiles that differentiate various olive oil varieties. The importance of aroma components in olive oils is multifaceted and influences consumer preferences, culinary applications, and the overall perception of olive oil products. The flavor components of olive oil, including aroma compounds, are influenced by factors such as cultivation of olives, origin, ripening of fruit, storage status, and processing methods of fruit. These aroma compounds are key determinants of the taste and aroma of olive oil, making them essential for consumer acceptance and choice.

2. AROMA COMPOUNDS IN OLIVE OILS

Aroma compounds in olive oils are crucial in determining their sensory characteristics and overall quality especially their

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

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

distinctive scent and taste. Among these, aldehydes such as hexanal, trans-2-hexenal, and trans-2-hexen-1-ol are notable compounds which are lending a fruity essence. Alcohols, including ethanol, impart an aromatic character, giving fruity and floral odor. Esters, such as hexyl acetate and ethyl acetate, add to the fruity odor, enriching the olfactory experience. Lactones contribute a creamy undertone, enhancing the oil's sensory profile. Ketones, like 6-methyl-5-hepten-2-one and 1-penten-3-one, play a role in shaping the overall aroma complexity. Terpenes, exemplified by α -terpineol and β -sitosterol, gives herbal and floral odors. Meanwhile, phenols, including tyrosol and hydroxytyrosol, underscore the oil's bitterness and pungency. The concentration of these compounds varies depending on some factors such as olive variety, maturity at harvest, and processing techniques. The aroma profile of olive oils is firstly affected by volatile organic compounds, with C6 and C5 volatile components being highlighted as major contributors to the positive green sensory attributes in extra virgin olive oil (Brahim et al., 2018). These compounds, derived from linolenic acid, play an important role in shaping the aroma of olive oils, with some of them having high odor activity values that significantly impact the overall aroma (García-Vico et al., 2017). Aldehydes and alcohols have also been identified as significant compounds which are known aroma active in olive oils (Kesen et al., 2014). Z-3-hexenal, E-2-hexenal, Z-3-hexenyl acetate, and Z-3-hexenol are responsible specific green-smell in olive oils, particularly extra virgin olive oil (Dierkes et al., 2011). These compounds, along with others identified through gas chromatography-mass spectrometry analyses. The olive oil extraction process, particularly the crushing of olives, triggers the lipoxygenase (LOX) pathway, leading to the production of volatile compounds that conducted to the characteristic aromas of olive oils (Jiménez et al., 2017). The enzymatic reactions involved in this pathway, stimulated during the processing of olives, are essential for generating the aroma

compounds that are retained in the oil (Blatchly et al., 2014). Additionally, the aroma and flavor of olive oils are influenced by some parameters such as the olive variety, maturity index, and the oil production process, all of which impact the formation of volatile organic components responsible for the aroma (Olmo-Cunillera et al., 2022). Furthermore, the ripening process of olives plays a crucial role in the development of aroma components in olive oils. Studies have shown that aroma components are formed during the ripening stage, with enzymatic reactions converting linoleic and α -linolenic acids through the lipoxygenase pathway, ultimately influencing the flavor profile of the resulting olive oil (Blatchly et al., 2014). The presence of chlorophylls extracted into oil, as observed when olive leaves are added during oil production, can lead to the generation of specific odoriferous C6 and C5 volatile components that contribute to the fruity and green characteristics of olive oil aroma (Novoselić et al., 2021). In addition to volatile components, phenolic compounds also play a significant role in shaping the aroma and taste of olive oils. While volatile compounds are primarily responsible for the typical aroma characteristics of olive oil, phenolic compounds influence both taste, particularly bitterness and pungency, and the oil oxidation stability (González-Gamallo et al., 2021). The presence of phenolic compounds in extra virgin olive oil contributes to its positive attributes, such as bitterness and pungency, which are highly valued in high-quality olive oils (Asensio et al., 2012).

3. EXTRACTION METHODS OF AROMA COMPOUNDS IN OLIVE OIL

To extract aroma components from olive oil, various methods have been employed in research to isolate and analyze these volatile components. Aroma extract dilution analysis (AEDA) has been a commonly used technique to determine the

compounds which known as aroma active present in olive oils (Kesen et al., 2014). This method involves isolating aroma extracts from the oil samples to identify the key compounds responsible for the characteristic aromas. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) coupled with olfactometry has also been utilized to analyze the volatile compounds, providing insights into the specific active aroma compounds present (Amanpour et al., 2016). Solid-phase microextraction (SPME) and dynamic headspace coupled to GC-MS have been employed to quantify aroma active components in olive oil samples, allowing to identify and quantify of these compounds (Dierkes et al., 2011). Additionally, solvent-assisted flavor evaporation (SAFE) and SPME have been used to isolate aroma compounds from olive oils for analysis by GC-MS/olfactometry, providing a comprehensive understanding of the volatile profile of the oils (Zhou et al., 2019). The lipoxygenase (LOX) pathway, which is involved in the biosynthesis of aroma components in olive oil, has been a focal point in extraction methods. Enzymatic extracts from olive pulp have been used to characterize LOX activity which has important role in the formation of volatile compounds that contribute to the aroma compounds of extra virgin olive oil (Ridolfi et al., 2002). Furthermore, the attendance of the LOX pathway in the biosynthesis of C6 and C5 compounds, which significantly impact the aroma of olive oil, has been established through various extraction and analysis techniques (Padilla et al., 2009; Luaces et al., 2007). In the extraction process of olive oil, the accumulation of aroma compounds begins at the processing of olive fruits and continues throughout the extraction, highlighting the importance of extraction methods in retaining these volatile compounds (Sakouhi et al., 2019). The use of purge and trap extraction systems, as well as gas chromatography-olfactometry mass spectrometry (GC-MS/O), has been effective in characterizing key odorants in olive oils, providing valuable insights into the aroma components present (Sevindik et al.,

2019). Moreover, the interaction of olive oil phenolic compounds with whey proteins has been studied to understand their influence on aroma release, emphasizing the importance of considering various components in the extraction and analysis of aroma components in olive oils (Genovese et al., 2015).

3.1. Aroma Extract Dilution Analysis (AEDA) of The Aroma-Active Compounds Present in Olive Oils

AEDA is a technique used to identify and characterize aroma-active components present in various substances, including olive oils. This method involves the isolation of aroma extracts from the sample of interest, followed by a series of dilutions for determination the flavor dilution (FD) factors of the components present Kesen et al. (2014). By subjecting these diluted samples to sensory evaluation, the most potent odorants can be identified based on their aroma intensity, allowing for the determination of key aroma components contributing to the overall sensory profile of the sample (Ferreira et al., 2003). Aroma Extract Dilution Analysis (AEDA) is a powerful tool in chemistry related with flavor for assessing the sensory properties of food products.

In AEDA method following steps apply;

Sample Preparation: The olive oil sample is first diluted with a solvent to create an extract. This extract contains the volatile aroma components responsible for the oil's aroma.

Gas Chromatography-Olfactometry (GC-O): The extract is then analyzed using gas chromatography coupled with olfactometry (GC-O). In GC-O, the volatile compounds are separated by their chemical properties as they pass through a chromatographic column. The eluting compounds are then presented to a trained panel of sensory assessors who sniff and identify the aroma compounds based on their perception.

Dilution Series: AEDA involves creating a dilution series of the extract. The extract is successively diluted with the solvent to create a range of dilutions with decreasing concentrations of aroma compounds.

Sensory Evaluation: The diluted extracts are then subjected to sensory evaluation using GC-O. The panel of assessors smells each dilution and identifies the aroma compounds that they perceive at each dilution level.

Odor Dilution Factor (ODF): The highest dilution at which an aroma compound can still be perceived is recorded as its Odor Dilution Factor (ODF). Compounds with higher ODF values are considered to have greater sensory impact.

Identification and Quantification: Based on the ODF values, the aroma-active components are identified and graded according to their perceived intensity. Further quantitative analysis can be performed using techniques like gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) to quantify the amount of each component.

AEDA allows for the determination of aroma components that conduced significantly to the overall aroma profile of olive oils. By combining sensory evaluation with analytical techniques, AEDA provides valuable comprehension into the flavor chemistry of olive oils, helping to understand their sensory characteristics and optimize their production processes. In the context of olive oils, AEDA has been instrumental in elucidating the key aroma compounds that define the characteristic aromas of different types of olive oils. By applying AEDA to olive oil samples, researchers have been able to identify and quantify the aroma-active components responsible for the distinct sensory attributes of these oils (Yang et al., 2019). Through this analysis, compounds such as vanillin, wine lactone, and linalool have been identified as significant contributors to the aroma profile of olive

oils, with varying flavor dilution factors indicating their relative importance in the overall aroma (Sellami et al., 2018). By conducting AEDA on olive oil samples, researchers have been able to differentiate between cultivars and harvest times based on the presence and intensity of specific aroma compounds, highlighting the utility of this technique in quality control and flavor profiling of olive oils (Sun et al., 2020). The application of AEDA in the analysis of olive oils has also enabled the characterization of volatile components derived from the lipoxygenase (LOX) pathway, which play a crucial role in shaping the aroma of these oils (Brahim et al., 2018). By characterizing the aroma-active compounds using AEDA, researchers have gained a valuable information related to the biochemical pathways involved in the formation of key odorants in olive oils, contributing to the overall sensory experience of these products (Amanpour et al., 2016). By conducting AEDA on oils obtained through different extraction methods, researchers have been able to assess the influence of processing parameters on the retention of aroma compounds, providing valuable insights into optimizing extraction processes to preserve the desired sensory attributes of olive oils (Schuh & Schieberle, 2005).

3.2. Biosynthesis of Aroma Compounds in Olive Oil by Lipoxygenase (LOX) Pathway

Lipoxygenase (LOX) pathway is a significant biochemical route involved in the fatty acids metabolism and the production of various bioactive compounds in plants and animals. The LOX pathway is catalyzed by lipoxygenase enzymes that initiate the degradation of free fatty acids and esterified lipids through of the pathway (Farahani & Taghavi, 2015). These enzymes play a crucial role in the oxidation of polyunsaturated fatty acids, leading to the generation of oxylipins, which are important molecules involved in plant defense responses (Farmaki et al., 2006). In plants, lipoxygenases (LOXs) are

widely distributed and abundant in various plant cells, including legumes, cucumbers, bananas, and soybeans (Shi et al., 2020). These enzymes are involved in diverse functions, such as resistance to biotic and abiotic stress, as well as in the regulation of plant-pathogen interactions (Song et al., 2016). The LOX pathway in plants is essential for the biosynthesis of volatile compounds that influence the aroma of fruits and oils, such as extra virgin olive oil (Luaces et al., 2007). Additionally, LOX genes are expressed in response to various stimuli, including powdery mildew infection and defense-related signal molecules, highlighting their role in plant defense mechanisms (Oh et al., 2014).

The lipoxygenase (LOX) pathway is crucial in the biosynthesis of aroma components in olive oil. This pathway leads to the production of volatile compounds that related to the unique aroma profile of olive oils. Specifically, C6 and C5 compounds are enzymatically generated from polyunsaturated fatty acids during the LOX pathway (Brahim et al., 2018). Enzymes within the LOX pathway catalyze the oxygenation reaction of polyunsaturated fatty acids, generating signaling and defense molecules known as phytooxylipins, which contribute to aroma development. The LOX pathway is activated during olive oil extraction, releasing enzymes involved in volatile compound synthesis (Morales et al., 1997). The level of LOX activity and substrate availability influence the generation of aroma components in olive oil during the extraction process (Muzzalupo et al., 2012). The enzymatic activities within the LOX pathway are linked to fruit ripening and play a critical role in determining the aromatic structure of olive oils (Muzzalupo et al., 2012). The formation of C6 compounds in olive oil aroma is initiated by cell disruption during fruit milling and continues throughout the extraction process. Understanding the LOX pathway is essential

for unraveling the chemistry behind the sensory attributes of olive oils.

4. ALDEHYDIC COMPOUNDS IN OLIVE OILS

Aldehydic compounds are crucial in shaping the aroma and flavor profile of olive oils. Various aldehydes have been identified as significant contributors to the sensory characteristics of olive oils. For example, compounds like (E)-2-heptenal and (E,Z)-2,4-decadienal have been recognized for their high odor activity values in olive oil (Kesen et al., 2013). Additionally, hexanal, (E)-2-hexenal, nonanal, (E)-2-nonenal, and (E,E)-2,4-decadienal are most known aroma components in olive oils harvested from different geographic origins (Kesen et al., 2014). These aldehydes impart distinct sensory notes such as green, citrus, apple, and paper-like, also, fatty characteristics to the oils. Hexanal, a C6 compound known as a "green volatile," is particularly notable for its prevalence and importance in olive oil, serving as a marker of fresh quality (Harzalli et al., 2022). Furthermore, the dialdehydic form of elenolic acid linked to hydroxytyrosol, specifically 3,4-DHPEA-EDA, is a major phenolic compound in olive paste, playing a significant role during the oil extraction process (Gómez-Rico et al., 2009). In the realm of aroma, aldehydes have been extensively studied for their influence on the sensory perception of olive oils. For instance, (E)-2-hexenal is known as a significant aroma-active compound in various olive oils (Amanpour et al., 2016). Monovarietal virgin olive oils can be differentiated based on specific compounds like (E)-2-hexenal, contributing to their unique aroma profiles (Žanetić et al., 2021). The emission of volatile aldehydes during the heating of cooking oils, including olive oil, underscores the role of temperature in generating these compounds (Fullana et al., 2004). The aroma fingerprint of extra virgin olive oil has been

analyzed by using gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry, with compounds like hexanal identified as potent aromatic active compounds (Brahim et al., 2018). Additionally, volatile compounds emitted by different olive oil varieties have been characterized, showcasing the diversity in aroma profiles based on geographic origins and cultivars (Oğraş et al., 2018). Aldehydes like trans-2-hexenal are highlighted in the volatile component profiles of olive oils, contributing to their distinct sensory characteristics (Oğraş et al., 2018). Furthermore, research has explored the impact of blending proportions on the phenolic of olive oils, revealing variations in the levels of aldehydic forms of oleuropein aglycon based on blending ratios of different olive oil varieties (Ouni et al., 2014). The importance of olive seeds in the aroma of virgin olive oil has also been investigated, emphasizing the importance of aldehydes and alcohols in creating the aroma characteristic of the oil (Luaces et al., 2003). Aldehydes and alcohols with six straight-chain carbons are identified as crucial components in the aroma of virgin olive oil (Pérez et al., 2003).

Table 1. Some Aldehydic Compounds Commonly Found in Olive Oil

Aldehydic compounds	Aroma characteristics	Research
hexanal	fresh, green aroma	Kesen et al., 2014; Žanetić et al., 2021
(E)-2-hexenal	green, grassy scent	Amanpour et al., 2016
nonanal	floral, waxy scent.	Oğraş et al., 2018
octanal	a fruity, citrus-like aroma.	Oğraş et al., 2018
(E,E)-2,4-decadienal	deep, fatty, and slightly spicy aroma	Kesen et al., 2013; Kesen et al., 2014
decanal	a sweet, orange-like aroma	Oğraş et al., 2018
benzaldehyde	sweet, almond-like aroma	Oğraş et al., 2018

4.1. Formation Mechanisms of Aldehydic Compounds in Olive Oil

Aldehydic compounds in olive oil derive primarily from two distinct pathways; lipid oxidation and enzymatic reactions.

Lipid Oxidation: The breakdown of unsaturated fatty acids, notably linoleic and linolenic acids, instigates the production of volatile aldehydes. This oxidative process is triggered by various environmental factors such as exposure to light, elevated temperatures, and contact with atmospheric oxygen.

Enzymatic Reactions: The activity of enzymes, particularly lipoxygenase, facilitates polyunsaturated fatty acids oxidation, leading to the formation of aldehydic compounds. This enzymatic pathway is particularly pronounced during the stages of olive crushing and malaxation.

4.2. Effects of Aroma Compounds on Quality of Olive Oil

Aroma and Flavor: Aldehydic compounds play a pivotal role in shaping the sensory attributes of olive oil, contributing significantly to its perceived freshness, fruitiness, and overall flavor complexity.

Oxidative Stability: While certain aldehydes enhance the desirable flavor profile of olive oil, excessive oxidation can result in the development of off-flavors and rancidity, indicative of diminished oil quality.

Health Implications: The presence of aldehydic compounds, particularly those arising from oxidative processes, may pose potential health concerns at elevated concentrations. However, in the context of high-quality olive oils, where these compounds are present in moderate amounts, their health impact remains negligible and is overshadowed by the overall nutritional benefits of the oil.

4.3. Alcoholic Compounds in Olive Oils

Some alcoholic compounds commonly found in olive oils include propanol, amyl alcohols, 2-hexenol, hexanol, and

heptanol, which are known to characterize the aroma of olive cultivars (Kiritsakis, 1998). Additionally, 2-phenylethanol has been characterized as a potent alcohol present in olive oils, contributing to their aroma profile (Kesen et al., 2014). Phenethyl alcohols such as hydroxytyrosol and tyrosol are among the most plentiful phenolic component in olive oils, known for their aromatic and antioxidant properties (Romero & Brenes, 2012). Furthermore, long-chain fatty alcohols like tetracosanol, hexacosanol, octacosanol, and docosanol are significant constituents of olive oil, particularly in pomace olive oil (Fernández-Arche et al., 2009). The research has revealed that the presence of aliphatic alcohols derived from waxes, with compounds such as C24 alcohol from lignoceryl palmitate being predominant in high-quality extra-virgin olive oils (Mariani et al., 2018). Alcohols like hexanol, cis-3-hexenol, and trans-2-hexenol have been identified as an important compounds in French and Spanish olive oils, contributing to their aroma profiles (Oğraş et al., 2018). Additionally, the presence of triterpene alcohols like 24-methylene cycloarenol and cycloarenol has been reported in olive oils from different varieties and regions (Benrachou et al., 2016). The transformation of minor components during olive oil processing can lead to changes in fatty alcohols, sterols, and waxes, with trends observed in the levels of hexacosanol, tetracosanol, and octacosanol during processing (López-López et al., 2018). Ethyl esters, which can form due to the esterification of free fatty acids with alcohols, are also monitored in olive oils to assess quality and shelf life. The waxy fraction of olive oils contains long-chain aliphatic aldehydes and alcohols, which contribute to the overall composition and characteristics of the oils (Pérez-Camino et al., 2012).

Table 2. Some Alcoholic Compounds Commonly Found in Olive Oils

Alcoholic compounds	Aroma characteristics	Research
1-Pentanol	mild, balsamic aroma	(Kiritsakis (1998).
1-Hexanol	green, woody, and grassy aroma	(Oğraş et al., 2018).
(E)-2-Hexen-1-ol	freshly cut grass aroma	(Oğraş et al., 2018).
Octanol	a fruity, citrus-like aroma	(López-López et al., 2018).
1-Octen-3-ol	mushroom-like, earthy aroma	(López-López et al., 2018).
2-Phenylethanol	floral, rose-like aroma	(Kesen et al., 2014).

4.4. Formation of Alcoholic Compounds in Olive Oils

Alcoholic compounds in olive oil are formed through various biochemical pathways:

Lipoxygenase Pathway: During the crushing and malaxation of olives, the lipoxygenase enzyme catalyzes the oxidation of polyunsaturated fatty acids, leading to the generation of hydroperoxides, which are subsequently converted into alcohols by hydroperoxide lyase and alcohol dehydrogenase enzymes.

Fermentation: Some alcohols can be produced through the fermentation processes that occur during the storage of olives before oil extraction, involving the activity of yeast and other microorganisms.

Thermal Degradation: Heat applied during processing can also lead to the formation of alcoholic compounds, although this is less desirable as it may indicate over-processing.

4.5. Effects of Alcoholic Compounds on Olive Oil Quality

Aroma and Flavor: Alcoholic compounds are key contributors to the complex and desirable sensory characteristics

of olive oil. They can enhance the freshness, fruitiness, and overall aromatic profile of the oil.

Oxidative Stability: While alcohols themselves do not significantly impact oxidative stability, they can be indicative of the freshness and proper handling of olives and oil. Higher alcohol content can signal good quality processing and storage conditions.

Health Implications: Alcoholic compounds in olive oil are typically present in small amounts and are not considered harmful. They are natural components of the oil's flavor and aroma profile and contribute to the overall sensory experience without adverse health effects.

5. CONCLUSION

The extraction of aroma components from olive oil involves a combination of sophisticated techniques such as AEDA, GC-MS, SPME, and LOX pathway characterization to isolate and identify the volatile components related with the characteristic aromas of olive oils. These methods provide valuable insights into the characterization and quality of olive oils, contributing to a good understanding of the sensory attributes of these products. By utilizing AEDA, researchers can identify and quantify the key odorants that contribute to the unique aroma profiles of different olive oil varieties. This technique allows for a detailed examination of the volatile components of olive oils, shedding light on the specific compounds responsible for their sensory attributes. LOX pathway is essential for the synthesis of volatiles in olive oil, influencing its aroma and flavor profile. Understanding the role of lipoxygenase enzymes in the production of volatile organic compounds is crucial for assessing the quality and sensory attributes of olive oil products.

REFERENCES

- Amanpour, A., Kelebek, H., Kesen, S., & Selli, S. (2016). Characterization of aroma-active compounds in iranian cv. mari olive oil by aroma extract dilution analysis and gc–ms-olfactometry. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 93(12), 1595-1603. <https://doi.org/10.1007/s11746-016-2906-6>
- Asensio, C., Nepote, V., & Grosso, N. (2012). Sensory attribute preservation in extra virgin olive oil with addition of oregano essential oil as natural antioxidant. *Journal of Food Science*, 77(9). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02841.x>
- Benrachou, N., lynda, R., & Henchiri, C. (2016). Analysis of bioactive minor compounds in three olive oils from varieties of olive tree eastern algerian (bouricha, limli and blanquette).. *Journal of Natural Remedies*, 16(4), 153. <https://doi.org/10.18311/jnr/2016/14725>
- Blatchly, R., Delen, Z., & O'Hara, P. (2014). Making sense of olive oil: simple experiments to connect sensory observations with the underlying chemistry. *Journal of Chemical Education*, 91(10), 1623-1630. <https://doi.org/10.1021/ed300557r>
- Brahim, S., Amanpour, A., Chtourou, F., Kelebek, H., Selli, S., & Bouaziz, M. (2018). Gas chromatography–mass spectrometry–olfactometry to control the aroma fingerprint of extra virgin olive oil from three tunisian cultivars at three harvest times. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(11), 2851-2861. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b06090>
- Dierkes, G., Bongartz, A., Guth, H., & Hayen, H. (2011). Quality evaluation of olive oil by statistical analysis of

multicomponent stable isotope dilution assay data of aroma active compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(1), 394-401. <https://doi.org/10.1021/jf203406s>

Farahani, A. S. and Taghavi, S. M. (2015). Profiling expression of lipoxygenase in cucumber during compatible and incompatible plant-pathogen interactions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 22(1), 175-177. <https://doi.org/10.1007/s12298-015-0332-0>

Farmaki, T., Sanmartín, M., Jiménez, P., Paneque, M., Sanz, C., Vancanneyt, G., ... & Sánchez-Serrano, J. J. (2006). Differential distribution of the lipoxygenase pathway enzymes within potato chloroplasts. *Journal of Experimental Botany*, 58(3), 555-568. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl230>

Fernández-Arche, Á., Márquez-Martín, A., Vázquez, R., Perona, J. S., Terencio, M. C., Perez-Camino, C., ... & Ruíz-Gutiérrez, V. (2009). Long-chain fatty alcohols from pomace olive oil modulate the release of proinflammatory mediators. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 20(3), 155-162. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2008.01.007>

Ferreira, A., Barbe, J., & Bertrand, A. (2003). 3-hydroxy-4,5-dimethyl-2(5h)-furanone: a key odorant of the typical aroma of oxidative aged port wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(15), 4356-4363. <https://doi.org/10.1021/jf0342932>

Fullana, A., Carbonell-Barrachina, Á., & Sidhu, S. (2004). Volatile aldehyde emissions from heated cooking oils. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(15), 2015-2021. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1904>

- García-Vico, L., Belaj, A., Sánchez-Ortíz, A., Martínez-Rivas, J., Pérez, A., & Sanz, C. (2017). Volatile compound profiling by hs-spme/gc-ms-fid of a core olive cultivar collection as a tool for aroma improvement of virgin olive oil. *Molecules*, 22(1), 141. <https://doi.org/10.3390/molecules22010141>
- Genovese, A., Caporaso, N., Luca, L., Paduano, A., & Sacchi, R. (2015). Influence of olive oil phenolic compounds on headspace aroma release by interaction with whey proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(15), 3838-3850. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00148>
- Gómez-Rico, A. and Inarejos-García, A. (2009). Effect of malaxation conditions on phenol and volatile profiles in olive paste and the corresponding virgin olive oils (*olea europaea* l. cv. *cornicabra*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(9), 3587-3595. <https://doi.org/10.1021/jf803505w>
- González-Gamallo, S., Salvador, M., & Fregapane, G. (2021). Design and characteristics of novel sensory and nutritionally oriented olive, seed, and nut virgin oils' blendings. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 123(8). <https://doi.org/10.1002/ejlt.202100008>
- Harzalli, Z., Willenberg, I., Medfai, W., Matthäus, B., Mhamdi, R., & Oueslati, I. (2022). Potential use of the bioactive compounds of the olive mill wastewater: monitoring the aldehydes, phenolic compounds, and polymerized triacylglycerols in sunflower and olive oil during frying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(11). <https://doi.org/10.1111/jfpp.17006>

- Jiménez, B., Rivas, A., Lorenzo, M., & Sánchez-Ortíz, A. (2017). Chemosensory characterization of virgin olive oils obtained from organic and conventional practices during fruit ripening. *Flavour and Fragrance Journal*, 32(4), 294-304. <https://doi.org/10.1002/ffj.3387>
- Kesen, S., Kelebek, H., & Selli, S. (2013). Characterization of the volatile, phenolic and antioxidant properties of monovarietal olive oil obtained from cv. halhali. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 90(11), 1685-1696. <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2327-8>
- Kesen, S., Kelebek, H., & Selli, S. (2014). Characterization of the key aroma compounds in turkish olive oils from different geographic origins by application of aroma extract dilution analysis (aeda). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(2), 391-401. <https://doi.org/10.1021/jf4045167>
- López-López, A., Cortés-Delgado, A., & Garrido-Fernández, A. (2018). Assessment of the minor-component transformations in fat during the green spanish-style table olive processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(17), 4481-4489. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b00927>
- Luaces, P., Pérez, A., & Sanz, C. (2003). Role of olive seed in the biogenesis of virgin olive oil aroma. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(16), 4741-4745. <https://doi.org/10.1021/jf034200g>
- Luaces, P., Sanz, C., & Pérez, A. (2007). Thermal stability of lipoxygenase and hydroperoxide lyase from olive fruit and repercussion on olive oil aroma biosynthesis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(15), 6309-6313. <https://doi.org/10.1021/jf070326s>

- Mariani, C., Lucci, P., & Conte, L. S. (2018). Identification of phytyl vaccinate as a major component of wax ester fraction of extra virgin olive oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 120(8). <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800154>
- Morales, M. T., Ríos, J. J., & Aparicio, R. (1997). Changes in the volatile composition of virgin olive oil during oxidation: flavors and off-flavors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(7), 2666-2673. <https://doi.org/10.1021/jf960585+>
- Muzzalupo, I. (2012). *Olive Germplasm - The Olive Cultivation, Table Olive and Olive Oil Industry in Italy*.
- Novoselić, A., Klisović, D., Lukić, I., Lukic, M., & Bubola, K. (2021). The use of olive leaves in buža olive cultivar oil production: exploring the impact on oil yield and chemical composition. *Agriculture*, 11(10), 917. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100917>
- Oğraş, Ş., Kaban, G., & Kaya, M. (2018). Volatile compounds of olive oils from different geographic regions in turkey. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 1833-1843. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1508159>
- Oh, S., Jang, H. A., Kim, J., Choi, D., Park, Y., & Kwon, S. (2014). Expression of cucumber lox genes in response to powdery mildew and defense-related signal molecules. *Canadian Journal of Plant Science*, 94(5), 845-850. <https://doi.org/10.4141/cjps-2014-013>
- Olmo-Cunillera, A., Casadei, E., Valli, E., Lozano-Castellón, J., Miliarakis, E., Domínguez-López, I., ... & Bendini, A. (2022). Aromatic, sensory, and fatty acid profiles of arbequina extra virgin olive oils produced using different

- malaxation conditions. *Foods*, 11(21), 3446.
<https://doi.org/10.3390/foods11213446>
- Ouni, Y., Guerfel, M., Yahia, L., & Zarrouk, M. (2014). Characterization and quantification of phenolic compounds of extra-virgin olive oils according to their blending proportions. *African Journal of Biotechnology*, 13(12), 1386-1392. <https://doi.org/10.5897/ajb12.1763>
- Padilla, M., Hernández, M., Sanz, C., & Martínez-Rivas, J. (2009). Functional characterization of two 13-lipoxygenase genes from olive fruit in relation to the biosynthesis of volatile compounds of virgin olive oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(19), 9097-9107. <https://doi.org/10.1021/jf901777j>
- Pérez, A., Luaces, è., Ríos, J., García, J., & Sanz, C. (2003). Modification of volatile compound profile of virgin olive oil due to hot-water treatment of olive fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(22), 6544-6549. <https://doi.org/10.1021/jf0346253>
- Pérez-Camino, M. d. C., Gómez-Coca, R. B., & Moreda, W. (2012). Waxy fraction containing long-chain aliphatic aldehydes in virgin olive oils. *Food Chemistry*, 132(3), 1451-1456.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.12.001>
- Ridolfi, M., Terenziani, S., Patumi, M., & Fontanazza, G. (2002). Characterization of the lipoxygenases in some olive cultivars and determination of their role in volatile compounds formation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(4), 835-839.
<https://doi.org/10.1021/jf0109118>
- Romero, C. and Brenes, M. (2012). Analysis of total contents of hydroxytyrosol and tyrosol in olive oils. *Journal of*

Agricultural and Food Chemistry, 60(36), 9017-9022.
<https://doi.org/10.1021/jf3026666>

- Sakouhi, F., Saadi, C., Luigi, C., & Boukhchina, S. (2019). Dynamic accumulation of volatile compounds between olive pulps and stones and its relation with the fatty acids content during the oil extraction process of ouslati and chemlali olive fruits. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 122(2).
<https://doi.org/10.1002/ejlt.201900197>
- Schuh, C. and Schieberle, P. (2005). Characterization of (e,e,z)-2,4,6-nonatrienal as a character impact aroma compound of oat flakes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(22), 8699-8705. <https://doi.org/10.1021/jf051601i>
- Sellami, I., Mall, V., & Schieberle, P. (2018). Changes in the key odorants and aroma profiles of hamlin and valencia orange juices not from concentrate (nfc) during chilled storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(28), 7428-7440.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b02257>
- Sevindik, O., Amanpour, A., Sarhir, S., Kelebek, H., & Selli, S. (2019). Characterization of key odorants in moroccan argan oil by aroma extract dilution analysis. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121(5).
<https://doi.org/10.1002/ejlt.201800437>
- Shi, Y., Mandal, R., Singh, A., & Pratap-Singh, A. (2020). Legume lipoxygenase: strategies for application in food industry. *Legume Science*, 2(3).
<https://doi.org/10.1002/leg3.44>
- Song, H., Wang, P., Li, C., Han, S., López-Baltazar, J., Zhang, X., ... & Wang, X. (2016). Identification of lipoxygenase (lox) genes from legumes and their responses in wild type

- and cultivated peanut upon aspergillus flavus infection. Scientific Reports, 6(1). <https://doi.org/10.1038/srep35245>
- Sun, J., Sun, B., Ren, F., Chen, H., Zhang, N., & Zhang, Y. (2020). Characterization of key odorants in hanyuan and hancheng fried pepper (*zanthoxylum bungeanum*) oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(23), 6403-6411. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c02026>
- Vidal, A., Alcalá, S., Torres, A., Moya, M., & Cara, C. (2019). Centrifugation, storage, and filtration of olive oil in an oil mill: effect on the quality and content of minority compounds. *Journal of Food Quality*, 2019, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2019/7381761>
- Yang, P., Song, H., Wang, L., & Hao, J. (2019). Characterization of key aroma-active compounds in black garlic by sensory-directed flavor analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(28), 7926-7934. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b03269>
- Žanetić, M., Špika, M., Ožić, M., & Bubola, K. (2021). Comparative study of volatile compounds and sensory characteristics of dalmatian monovarietal virgin olive oils. *Plants*, 10(10), 1995. <https://doi.org/10.3390/plants10101995>
- Zhou, Q., Liu, S., Liu, Y., & Song, H. (2019). Comparative analysis of volatiles of 15 brands of extra-virgin olive oils using solid-phase micro-extraction and solvent-assisted flavor evaporation. *Molecules*, 24(8), 1512. <https://doi.org/10.3390/molecules24081512>

AROMA EXTRACTION METHODS

Songül KESEN¹

1. INTRODUCTION

Extraction is the process of separating or extracting one substance from another substance using chemical or physical methods. This process is usually carried out for the purpose of obtaining the desired components of the primary material or to remove unwanted components from it. Extraction is widely used to isolate useful components from raw materials derived from nature, chemical reaction products or industrial residues. A solvent is usually used in this process because it can dissolve and separate the target component. For example, vegetable materials are processed by extraction to obtain vegetable oils. Depending on the nature of the target components and the properties of the source material, various extraction procedures are used. For instance, in the realm of analytical sciences, extraction methods play a crucial role in isolating specific compounds or substances from complex mixtures (Dean, 2010).

The characteristics of the material being extracted, the type of solvent used, and the extraction period are some of the variables that might affect the extraction process. Researchers have explored the impact of solvent types on extraction processes, highlighting that the choice of solvent, whether water, organic solvents, or supercritical CO₂, can significantly influence the efficiency and yield of the extraction process. The duration of the extraction process has been shown to affect the outcome, with

¹ Assoc. Prof. Dr., Gaziantep University, Naci Topcuoglu Vocational High School, Food Processing Department, songulkesen27@hotmail.com, ORCID: 0000-0003-0587-1721.

longer extraction times often leading to increased yields of the desired components (Kusumaningrum et al., 2023).

Extraction is a widely used technique in many different areas of chemistry. It is used, for instance, in the food sector to extract flavors or oils, in the petroleum industry to refine crude oil, in the pharmaceutical industry to isolate active substances, and in numerous other fields.

1.1. Aroma Extraction

Aroma extraction is a critical process in the analysis of various products to identify and characterize key aroma compounds. Researchers have employed various extraction methods like Solvent Assisted Flavor Evaporation (SAFE), Purge and Trap (P&T), and Simultaneous Distillation Extraction (SDE) and to obtain representative aroma extracts from different food products (Sönmezdağ et al., 2019). These extraction methods are highly popular for isolating the volatile chemicals giving samples their distinct scents.

The quantitative and qualitative identification of aroma compounds are essential for determining the aroma profiles of products such as Chinese rice wine and black garlic. Studies have utilized a combination of gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and some aroma extraction methods (such as solid phase micro extraction, flavour dilution) were used to determine aroma-active compounds. (Chen et al., 2013; Yang et al., 2019).

Similarly, other researchers have extracted aroma compounds from green tea and lime using techniques such as Porapak Q sorbent and headspace solid phase micro extraction (HS/SPME) and determined a wide range of aroma compounds that contribute to the characteristic flavours of these products. (Baldermann et al., 2014; Xiao et al., 2021).

Aroma extraction plays an important role in sensory evaluation and quality assessment of various food products. By employing advanced extraction techniques and analytical methods, researchers can identify, quantify, and understand the key aroma compounds that define the unique sensory characteristics of different food items.

1.1.1. Important Points in Aroma Extraction

The description of volatile chemicals that contribute to the distinctive scents of samples depends critically on the use of suitable extraction techniques. These techniques such as solvent assisted flavour evaporation (SAFE) and solid phase micro extraction (SPME) and are vital in obtaining representative flavour extracts from different products and ensure that a comprehensive profile of aroma active compounds is defined (Munafo et al., 2014).

The significance of aroma extraction lies in the utilization of advanced analytical techniques, quantitative measurements, careful selection of extraction methods, and sensory evaluations. All of these factors contribute to a clear and accurate understanding and identification and quantification of volatile compounds in various products, enabling researchers to unravel the complex sensory characteristics that define the unique flavours of different food and beverage ingredients.

1.1.2. Aroma Extraction Methods

Aroma extraction methods are essential for isolating and identifying key odorants in various products. Several techniques are employed to extract aroma compounds effectively. When analyzing the aroma components in different products, extraction methods—from conventional ones like SDE to more recent ones like SPME and SAFE—are crucial because they allow researchers to pinpoint and measure the main odorants that contribute to the overall aroma profile.

Based on the data provided in the references, SPME emerges as a preferred aroma extraction method due to its efficiency, simplicity, and widespread application in aroma analysis. SPME method has been mentioned in many studies (Wada et al., 2018; Wieczorek et al., 2020; Xu et al., 2007) as a solvent-free, efficient, and widely used technique for aroma extraction. It offers advantages such as speediness, simplicity, little sample request, and effectiveness in isolating aroma compounds from various samples. The references emphasize the suitability of SPME for obtaining representative extracts of aroma compounds in different products, including liquors, apple cider, broccoli, and essential oils. While Gas Chromatography-Olfactometry (GC-O) and SAFE method are also mentioned in the references, SPME stands out as the most preferred method due to its versatility, ease of use, and effectiveness in capturing aroma compounds from a wide range of samples.

The most commonly used aroma extraction methods are;

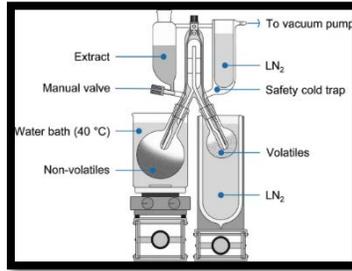
1- Solvent-Assisted Flavor Evaporation (SAFE)

Solvent-Assisted Flavor Evaporation (SAFE) is a method commonly used for aroma extraction in various studies (figure 1). This method involves the use of solvents to extract volatile compounds, ensuring a comprehensive profile of aroma-active compounds is captured (Sönmezdağ et al., 2019). The references highlight the effectiveness of SAFE in capturing aroma compounds from different products, such as olive oil (Suzuki et al., 2021), hazelnut oil (Kesen et al., 2022), litsea pungens fruit (Pu et al., 2021), pistachios (Sönmezdağ et al., 2019), peanuts (Schirack et al., 2006), pomegranates (Mayuoni-Kirshinbaum et al., 2012), and goat milk (Siefarth & Buettner, 2014).

The SAFE approach is recommended for identifying aroma components and the overall scent profile in lipid-rich products, and it is especially appropriate for samples with high

lipid content. It is notable for its ability to remove non-volatiles from extracts, but there may be a matrix effect during distillation that may affect its performance (Suzuki et al., 2021). In the studies, the SAFE method has been used in combination with techniques such as GC-O and GC-MS to determine aroma-active compounds in different samples (Mayuoni-Kirshinbaum et al., 2012).

Figure 1. Apparatus of SAFE Method



Source: Schlumpberger et al. (2022)

2- Simultaneous Distillation Extraction (SDE)

For the extraction of aromatic chemicals, other volatile compounds, and essential oils from diverse matrices, the SDE method (figure 2) is frequently utilized (Sönmezdağ et al., 2019). This technique, first discovered in 1964 by Likens and Nickerson, is also known as the Likens and Nickerson method. This method is a continuous solvent extraction by hydrodistillation of volatile compounds from a sample and accumulates the compounds dissolved in the aqueous distillate (Ribeiro et al., 2021). SDE is a practical method for aroma analysis since it is very good at separating volatile chemicals from intricate liquid matrices (Liao et al., 2019).

Aroma-active compounds can be effectively separated from samples using the SDE method, which combines simultaneous extraction of volatile compounds with distillation.

Prior research has effectively employed this technique to extract volatile compounds from various foods such as Pu-erh tea (Gu et al., 2009), garlic (Lee et al., 2003) and olive oil (Kesen et al., 2013). The simultaneous performance of distillation and extraction makes SDE a versatile and practical technique for the analysis of volatile compounds in different samples.

In previous, SDE has been used in combination with GC-MS and GC-O to determine and analyse aroma-active compounds in various products, such as Pu-erh tea, garlic, and French beans (Barra et al., 2007). The method's ability to efficiently extract and analyze volatile compounds makes it a valuable tool in aroma research and flavor analysis. Microwave-assisted (figure 3) and modified versions (figure 4) of this method are also available.

Figure 2. Schematic Diagram of Simultaneous Distillation Extraction

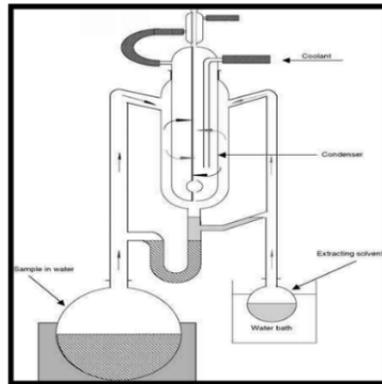
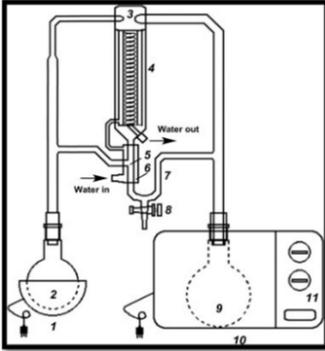
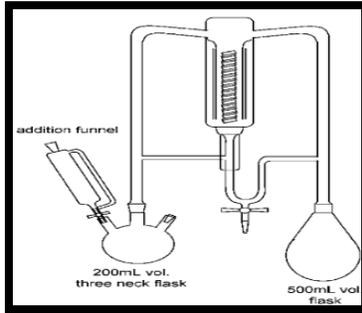


Figure 3. Microwave Assisted Simultaneous Distillation and Extraction



The parts are: 1. Water bath; 2. Extract; 3. Meeting part of water vapour and sample vapour; 4. Intensifier; 5. Section of extraction; 6. Cooling part; 7. Phase separation chamber; 8. Valve; 9. Vessel of reaction; 10. Microwave oven; 11. Control screen. (Chen et al., 2015)

Figure 4. Modified Simultaneous Distillation Extraction Apparatus



Source: Kobayashi et al. (2008)

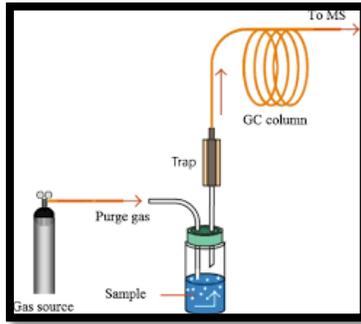
3- Purge and Trap (P&T)

This method is a well-established extraction method that offers high sensitivity and reproducibility, making it a preferred choice for the volatile compounds analysis in various food matrices (figure 5). P&T extraction method involves purging volatile compounds from a sample and trapping them for further analysis, aiding in the identification of key odorants (Zhang et al., 2016; Sarhir et al., 2022). One popular extraction technique for quantifying volatile compounds at trace quantities is the "purge

and trap" method. In order to liberate the volatile components from the sample and trap them on an adsorbent material for concentration and further analysis, this procedure requires purging the sample with an inert gas. The references highlight the effectiveness of P&T in preconcentrating VOCs for various applications, including the identification of odors in water, the analysis of gasoline components in groundwater, and the extraction of volatile compounds from biota.

Purge and Trap is known for its high sensitivity and ability to preconcentrate volatile compounds, making it a valuable tool in environmental monitoring, water analysis, and the assessment of odorants. The method has been used in conjunction with GC - MS for the accurate determination of VOCs in different matrices, demonstrating its versatility and reliability in capturing and analyzing volatile compounds.

Figure 5. Purge and Trap Apparatus



Source: Agilent

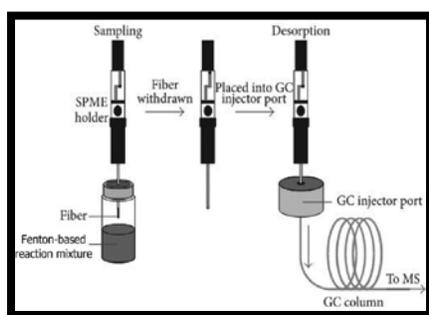
4- Headspace Solid Phase Microextraction (HS-SPME)

In HS-SPME method (figure 6) aroma compounds are isolated from the headspace of a sample using a fiber, enabling the capture of aroma-active compounds (Gracka et al., 2018; Lü et al., 2011). This method is a widely preferred sample preparation technique because it does not use solvents. It involves

introducing a fused silica fiber coated with a polymeric organic liquid into the headspace above a sample, allowing the volatile compounds to partition between the sample matrix and the fiber coating. The references highlight the simplicity, speed, and non-destructive nature of HS-SPME, making it a valuable tool in various fields for the analysis of aromatic compounds.

HS-SPME is known for its efficiency in extracting volatile compounds from a wide range of samples, including grape and wine (Panighel & Flamini, 2014), *Platostoma palustre* (Kung et al., 2019), and *Schizonepetae Spica* (Li et al., 2022). The technique is non-destructive, avoiding artifact formation and solvent impurity contamination, which is advantageous for preserving the integrity of the sample (Kung et al., 2019). HS-SPME has been widely used for the extraction of essential oils from plants, the analysis of aroma compounds in foods, and the determination of volatile components in various matrices. The method has been applied in geographical discrimination studies, metabolomic profiling, and the analysis of volatile compounds in various plant species, demonstrating its versatility and effectiveness in determining aroma profile.

Figure 6. Headspace Solid Phase Microextraction Apparatus



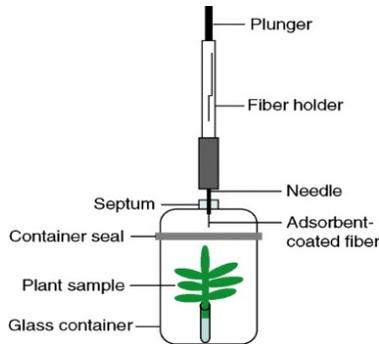
Source: Mishra et al. (2021)

5- Solid Phase Microextraction (SPME)

SPME is a method (figure 7) where volatile compounds are extracted using a fiber coated with an adsorbent material, facilitating the capture of aroma compounds (Hu et al., 2019). This method is a sample preparation technique that uses sorbents dispersed on the surface of small fibres to separate and concentrate analytes solvent-free from a sample matrix. SPME is a simple, sensitive, rapid, and efficient method that was invented by Pawliszyn in 1989 (Vas & Vékey, 2004). This method involves exposing an immobilized stationary phase to a sample matrix that may contain solid, liquid, or gaseous analytes. The analytes are then thermally desorbable in the gas chromatograph injector (Pérez et al., 2002).

SPME is widely utilized across several industries, including food and environmental analysis, and pharmaceutical preparations. The method is known for its versatility and wide scope, offering advantages such as low cost, high enrichment factor, rapidness, and the removal of potentially interfering matrices.

Figure 7. Solid Phase Microextraction Apparatus



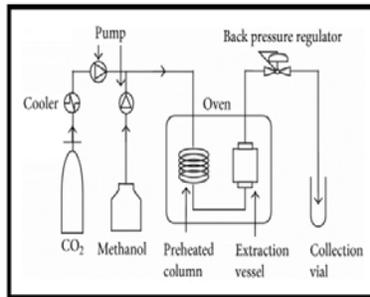
Source: Tholl et al. (2006)

6- Supercritical Fluid Extraction (SFE)

SFE method (figure 8) involves using supercritical fluids to extract aroma compounds, offering a rapid and efficient extraction process (Lü et al., 2011). This method utilizes supercritical fluids, such as carbon dioxide (CO₂) above its critical temperature and pressure, as a solvent for extracting compounds from various matrices. Low toxicity, great selectivity, and the capacity to extract a variety of substances without leaving behind solvent residues are just a few benefits of this approach. The supercritical fluid behaves both as a gas and a liquid, allowing it to penetrate the sample matrix and dissolve the target compounds effectively.

SFE is widely employed in many different sectors, such as extracting perfumes and flavors from plants (Capuzzo et al., 2013), determination of carotenoids in various matrices (Giuffrida et al., 2018), and extraction of uranium and thorium from solutions (Lin et al., 1995). The technique has also been used to extract fatty acids, phenolic compounds, and bioactive substances from different materials, supplying premium extracts for a range of uses in the food, cosmetic, and pharmaceutical industries.

Figure 8. Schematic Diagram of SFE Method



Source: Juliasih et al. (2015)

1.1.3. Features that Distinguish Aroma Extraction Methods from Each Other

Some of the distinguishing features of aroma extraction methods include:

Extraction Efficiency: Different aroma extraction methods vary in their efficiency in isolating volatile compounds from samples. Methods like SPME are known for their high efficiency in capturing aroma compounds due to the direct extraction of volatiles from the headspace of a sample (Hu et al., 2019; Zhang et al., 2016).

Selectivity: The selectivity of an extraction method refers to its ability to target specific compounds or classes of compounds. Techniques like GC-O coupled with AEDA are selective in identifying aroma-active compounds based on their odor characteristics (Sevindik et al., 2019; Xiao et al., 2021).

Sample Matrix Compatibility: Certain sample matrices are better suited for particular extraction techniques. For example, SDE is appropriate for extracting essential oils from plant materials, whereas SAFE works well with samples that are high in lipids (Mayuoni-Kirshinbaum et al., 2012).

Sensitivity: The sensitivity of an extraction method determines its ability to detect trace levels of aroma compounds. Purge and Trap is known for its high sensitivity in preconcentrating volatile compounds for analysis (Sönmezdağ et al., 2019).

Complexity of Operation: The complexity of the extraction method can also distinguish one technique from another. Methods like HS-SPME are relatively simple and easy to operate compared to techniques like SDE (Zhang et al., 2016).

Quantitative vs. Qualitative Analysis: Certain techniques are better suited for quantitative analysis of aroma components,

while others are better for qualitative analysis. For example, AEDA is commonly used for qualitative assessment of key odorants based on their odor activity values (Chen et al., 2022).

Thermal Stability: The thermal stability of aroma compounds can influence the choice of extraction method. Techniques like Supercritical CO₂ extraction are preferred for heat-labile compounds to prevent thermal degradation during extraction (Moreira et al., 2023).

2. CONCLUSION

Based on the characteristics of the intended components and the properties of the source material, various extraction procedures are used. In order to detect and describe important aroma molecules in a variety of products, aroma extraction is an essential step in the analytical process. There are a number of important characteristics that set apart different aroma extraction techniques and influence their effectiveness, suitability, and results. By taking into account these differentiating characteristics, researchers can choose the best aroma extraction technique for their particular needs, sample type, and target molecules.

REFERENCES

- Agilent, Chrome extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/
https://www.agilent.com/cs/library/eseminars/public/Slides_SepSciWeb_091220.pdf
- Barra, A., Baldovini, N., Loiseau, A. M., Albino, L., Lesecq, C., & Cuvelier, L. L. (2007). Chemical analysis of French beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by headspace solid phase microextraction (HS-SPME) and simultaneous distillation/extraction (SDE). *Food Chemistry*, *101*(3), 1279-1284.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.027>
- Baldermann, S., Yang, Z., Katsuno, T., Tu, V. A., Mase, N., Nakamura, Y., & Watanabe, N. (2014). Discrimination of green, oolong, and black teas by GC-MS analysis of characteristic volatile flavor compounds. *American Journal of Analytical Chemistry*, *2014*.
<https://doi.org/10.4236/ajac.2014.59070>
- Capuzzo, A., Maffei, M. E., & Occhipinti, A. (2013). Supercritical fluid extraction of plant flavors and fragrances. *Molecules*, *18*(6), 7194-7238.
<https://doi.org/10.3390/molecules18067194>
- Chen, S., Wang, D., & Xu, Y. (2013). Characterization of odor-active compounds in sweet-type chinese rice wine by aroma extract dilution analysis with special emphasis on sotolon. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *61*(40), 9712-9718. <https://doi.org/10.1021/jf402867m>
- Chen, F., Zu, Y., & Yang, L. (2015). A novel approach for isolation of essential oil from fresh leaves of *Magnolia sieboldii* using microwave-assisted simultaneous distillation and extraction. *Separation and Purification*

Technology, 154, Pages 271-280, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.09.066>.

- Chen, H., Wu, Y., Wang, J., Hong, J., Tian, W., Zhao, D., ... & Sun, B. (2022). Uncover the flavor code of roasted sesame for sesame flavor baijiu: advance on the revelation of aroma compounds in sesame flavor baijiu by means of modern separation technology and molecular sensory evaluation. *Foods*, 11(7), 998. <https://doi.org/10.3390/foods11070998>
- Dean, J. R. (2010). *Extraction techniques in analytical sciences*. John Wiley & Sons.
- Giuffrida, D., Donato, P., Dugo, P., & Mondello, L. (2018). Recent analytical techniques advances in the carotenoids and their derivatives determination in various matrixes. *Journal of agricultural and food chemistry*, 66(13), 3302-3307. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b00309>
- Gracka, A., Majcher, M., Kludská, E., Hradecký, J., Hajšlová, J., & Jeleń, H. H. (2018). Storage-Induced Changes in Volatile Compounds in Argan Oils Obtained from Raw and Roasted Kernels. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 95(12), 1475-1485. <https://doi.org/10.1002/aocs.12148>
- Gu, X., Zhang, Z., Wan, X., Ning, J., Yao, C., & Shao, W. (2009). Simultaneous distillation extraction of some volatile flavor components from Pu-erh tea samples—comparison with steam distillation-liquid/liquid extraction and soxhlet extraction. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2009, 276713. <https://doi.org/10.1155/2009/276713>

- Hu, D., Guo, J., Li, T., Zhao, M., Zou, T., Song, H., ... & Alim, A. (2019). Comparison and identification of the aroma-active compounds in the root of angelica dahurica. *Molecules*, 24(23), 4352. <https://doi.org/10.3390/molecules24234352>
- Juliasih, N. L. G. R., Yuan, L. C., Sago, Y., Atsuta, Y., & Daimon, H. (2015). Supercritical fluid extraction of quinones from compost for microbial community analysis. *Journal of Chemistry*, 2015(1), 717616. <https://doi.org/10.1155/2015/717616>
- Kesen, S., Kelebek, H., Sen, K., Ulas, M., & Selli, S. (2013). GC–MS–olfactometric characterization of the key aroma compounds in Turkish olive oils by application of the aroma extract dilution analysis. *Food Research International*, 54(2), 1987-1994. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.09.005>
- Kesen, S., Sonmezdag, A. S., Kelebek, H., & Selli, S. (2022). Comparison of aroma, aroma-active, and phenolic compounds of crude and refined hazelnut oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 99(3), 265-275. <https://doi.org/10.1002/aocs.12568>
- Kobayashi, N., Mizota, Y., Kumazawa, K., & Nishimura, O. (2008). Character impact odorants of high-heat skim milk powder isolated by simultaneous distillation–extraction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(7), 2469–2476. <https://doi.org/10.1021/jf072776q>
- Kung, T. L., Chen, Y. J., Chao, L. K., Wu, C. S., Lin, L. Y., & Chen, H. C. (2019). Analysis of volatile constituents in *Platostoma palustre* (Blume) using headspace solid-phase microextraction and simultaneous distillation-extraction. *Foods*, 8(9), 415. <https://doi.org/10.3390/foods8090415>

- Kusumaningrum, M., Fardhyanti, D. S., Jai, J., Yulianto, D. N., & Suminar, I. S. (2023, June). Effect of Solvent Type and Extraction Time on Binahong Leaf Extraction Process. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1203, No. 1, p. 012043). IOP Publishing. <https://doi.org/0.1088/1755-1315/1203/1/012043>
- Lee, S. N., Kim, N. S., & Lee, D. S. (2003). Comparative study of extraction techniques for determination of garlic flavor components by gas chromatography–mass spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 377, 749-756. <https://doi.org/10.1007/s00216-003-2163-z>
- Li, C., Wan, H., Wu, X., Yin, J., Zhu, L., Chen, H., ... & Li, Z. (2022). Discrimination and characterization of the volatile organic compounds in *Schizonepetae spica* from six regions of China using HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS. *Molecules*, 27(14), 4393. <https://doi.org/10.3390/molecules27144393>
- Liao, P. H., Yang, H. H., Wu, P. C., Abu Bakar, N. H., & Urban, P. L. (2019). On-line coupling of simultaneous distillation–extraction using the Likens–Nickerson apparatus with gas chromatography. *Analytical chemistry*, 92(1), 1228-1235. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.9b04380>
- Lin, Y., Smart, N. G., & Wai, C. M. (1995). Supercritical fluid extraction of uranium and thorium from nitric acid solutions with organophosphorus reagents. *Environmental Science & Technology*, 29(10), 2706-2708. <https://doi.org/10.1021/es00010a036>
- Lü, Z., Xu, W., Yu, N., Zhou, T., Li, G., Shi, J., ... & Xu, Z. (2011). Recovery of aroma compounds from zhenjiang aromatic vinegar by supercritical fluid extraction.

International Journal of Food Science & Technology, 46(7), 1508-1514. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02649.x>

- Mayuoni-Kirshinbaum, L., Tietel, Z., Porat, R., & Ulrich, D. (2012). Identification of aroma-active compounds in 'wonderful' pomegranate fruit using solvent-assisted flavour evaporation and headspace solid-phase micro-extraction methods. *European Food Research and Technology*, 235(2), 277-283. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1757-0>
- Mishra, S. S., Manzoor, K., Zafar, M., & Podmore, I. D. (2021). A novel approach to the analysis of spin-trapped free radicals using dimethyl sulfoxide and gas chromatography – mass spectrometry (GC-MS) with both solvent extraction and headspace solid phase microextraction (HS-SPME). *Free Radical Research*, 55(5), 569–578. <https://doi.org/10.1080/10715762.2021.1980563>
- Moreira, R., Melo, R., Martínez, J., Maróstica, M., Pastore, G., Zorn, H., ... & Bicas, J. (2023). Supercritical CO₂ as a valuable tool for aroma technology. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(24), 9201-9212. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c01023>
- Munafó, J., Didzbalis, J., Schnell, R., Schieberle, P., & Steinhaus, M. (2014). Characterization of the major aroma-active compounds in mango (*mangifera indica* l.) cultivars haden, white alfonso, praya sowoy, royal special, and malindi by application of a comparative aroma extract dilution analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(20), 4544-4551. <https://doi.org/10.1021/jf5008743>
- Panighel, A., & Flamini, R. (2014). Applications of solid-phase microextraction and gas chromatography/mass

- spectrometry (SPME-GC/MS) in the study of grape and wine volatile compounds. *Molecules*, 19(12), 21291-21309. <https://doi.org/10.3390/molecules191221291>
- Pérez-Trujillo, J. P., Frías, S., Sáchez, M. J., Conde, J. E., & Rodríguez-Delgado, M. A. (2002). Determination of organochlorine pesticides by gas chromatography with solid-phase microextraction. *Chromatographia*, 56, 191-197. <https://doi.org/10.1007/BF02493211>
- Pu, D., Shan, Y., Duan, W., Huang, Y., Liang, L., Yan, Y., ... & Hu, G. (2021). Characterization of the key aroma compounds in the fruit of *litsea pungens* hemsl. (LPH) by GC-MS/O, OAV, and sensory techniques. *Journal of Food Quality*, 2021(1), 6668606. <https://doi.org/10.1155/2021/6668606>
- Ribeiro, B. S., Ferreira, M. D. F., Moreira, J. L., & Santos, L. (2021). Simultaneous distillation–extraction of essential oils from *Rosmarinus officinalis* L. *Cosmetics*, 8(4), 117. <https://doi.org/10.3390/cosmetics8040117>
- Sarhir, S., Amanpour, A., Bouseta, A., & Selli, S. (2022). Potent odorants and sensory characteristics of the soft white cheese “jben”: effect of salt content. *Flavour and Fragrance Journal*, 37(4), 243-253. <https://doi.org/10.1002/ffj.3696>
- Sevindik, O., Amanpour, A., Sarhir, S., Kelebek, H., & Selli, S. (2019). Characterization of key odorants in moroccan argan oil by aroma extract dilution analysis. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121(5). <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800437>
- Schirack, A. V., Drake, M. A., Sanders, T. H., & Sandeep, K. P. (2006). Characterization of aroma-active compounds in microwave blanched peanuts. *Journal of Food*

Science, 71(9), C513-C520.
<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00173.x>

Schlumpberger, P., Stübner, C. A., & Steinhaus, M. (2022). Development and evaluation of an automated solvent-assisted flavour evaporation (aSAFE). *European Food Research and Technology*, 248(10), 2591-2602.
<https://doi.org/10.1007/s00217-022-04072-1>

Siefarth, C., & Buettner, A. (2014). The aroma of goat milk: Seasonal effects and changes through heat treatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(49), 11805-11817.
<https://doi.org/10.1021/jf5040724>

Sönmezdağ, A., Kelebek, H., & Selli, S. (2019). Elucidation of hulling-induced changes in the aroma and aroma-active compounds of cv. uzun pistachio (*pistacia vera*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(10), 4702-4711. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9711>

Suzuki, D., Sato, Y., Mori, A., & Tamura, H. (2021). A method for gaining a deeper insight into the aroma profile of olive oil. *npj Science of Food*, 5(16), 1-8.
<https://doi.org/10.1038/s41538-021-00098-z>

Tholl, D., Boland, W., Hansel, A., & Loreto, F. (2006). Practical approaches to plant volatile analysis. *The Plant Journal*, 45(4), 540-60. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2005.02612.x>

Vas, G., & Vekey, K. (2004). Solid-phase microextraction: a powerful sample preparation tool prior to mass spectrometric analysis. *Journal of Mass Spectrometry*, 39(3), 233-254.
<https://doi.org/10.1002/jms.606>

- Wada, K., Kawahira, S., Maeda, G., Hirose, N., & Kyoda, S. (2018). Extended aroma extract dilution analysis profile of shiikuwasha (citrus depressa hayata) pulp essential oil. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(1), 268-276. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2017.04.002>
- Wieczorek, M. N., Majcher, M., Jelen, H. (2020). Comparison of three extraction techniques for the determination of volatile flavor components in broccoli. *Foods*, 9(4), 1-11. <https://doi.org/10.3390/foods9040398>.
- Xiao, M., Zheng, F., Xiao, M., An, Q., Wang, H., & Dai, Q. (2021). Contribution of aroma-active compounds to the aroma of lu'an guapian tea. *Flavour and Fragrance Journal*, 37(2), 83-95. <https://doi.org/10.1002/ffj.3688>
- Xu, Y., Fan, W., & Qian, M. (2007). Characterization of aroma compounds in apple cider using solvent-assisted flavor evaporation and headspace solid-phase microextraction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(8), 3051-3057. <https://doi.org/10.1021/jf0631732>
- Yang, P., Song, H., Wang, L., & Hao, J. (2019). Characterization of key aroma-active compounds in black garlic by sensory-directed flavor analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(28), 7926-7934. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b03269>
- Zhang, G., Wu, T., Sadiq, F., Yang, H., Liu, T., Ruan, H., ... & He, G. (2016). A study revealing the key aroma compounds of steamed bread made by chinese traditional sourdough. *Journal of Zhejiang University Science B*, 17(10), 787-797. <https://doi.org/10.1631/jzus.b1600130>

CONTAMINATION IN FRESH FRUITS AND VEGETABLES

Zeynep Şebnem YAKAR¹

1. INTRODUCTION

Fruits and vegetables are significant for body health. Because they contain high amount of mineral, vitamin, water and nutrition. They are usually bought from greengrocers or cultivators and are rarely cultivated in your garden. With adequate fruit and vegetable consumption, the risk of many chronic diseases such as carcinoma, digestive illnesses, heart diseases and hypertension can be decreased. The issue is consuming food safely. It is possible for raw gardenstuff to become dirty pending harvesting, transportation processes and in warehouses. Generally these food kinds are consumed fresh. There isn't any heat operation to destroy m/o's at the production steps. When a gardenstuff has microbe on its outer surface, it becomes contaminated and can cause food poisoning. "The majority of diseases associated with these products are firstly fecal-oral transferred diseases and they were contaminated at any point in production" (DeRoever, 1998).

Sources of contamination:

- 1- Presence of heavy metals, toxic substances or animal manure in the soil if they are grown near any industrial establishment. Chemical risks are important causes of foodborne diseases. "They include natural toxins such as

¹ Lecturer., Gaziantep University, Naci Topçuoğlu Vocational School, Food Processing Department, Gaziantep/Turkey, syakar@gantep.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7280-6829.

mycotoxins, environmental metals such as mercury, lead, dioxin, and cadmium in foods, natural chemicals in plants such as the glycoalkaloid found in potatoes, residues of pesticides and veterinary drugs, and food additives” (WHO, 2002).

- 2- Pollution of water due to sewage mixing with irrigation water
- 3- Contamination from harvest equipment
- 4- Contamination from patient or carrier personnel
- 5- Coexistence with the defective product in storage and cross contamination
- 6- Inappropriate warehouse temperature and humidity conditions
- 7- Biological pollution due to unpackaged storage
- 8- Inappropriate or dirty packaging material
- 9- Pollution occurring during retail sales

To prevent contamination, hygiene rules must be followed at every stage from field to table. This is primarily achieved through the use of good manufacturing practices (GMP). The main purpose of GMP is to ensure that products are effective and safe as labeled, without harming human health. These standards include the design of production facilities, hygiene standards, procedures, quality control and certification processes. GMP rules cover every stage of production processes. These include steps such as raw material procurement, preparation, production, packaging, storage and transportation. GMP helps to advance the quality and security of products by imposing certain requirements on manufacturers. The implementation of GMP is closely tied to legal regulations in relevant industries. In many countries, it is a

legal obligation for businesses operating in relevant industries to comply with GMP standards.

Factors such as training personnel on personal hygiene and hygienic production, ensuring appropriate storage conditions, maintaining hygiene standards at retail sales points and raising consumers' awareness on this issue are also taken into consideration when taking precautions.

2. DEVELOPMENT OF M/O IN FRESH FRUIT AND VEGETABLE PRODUCTS

When microorganisms contaminate fresh products, it is difficult to remove them by washing. Because of this, it is substantial to prohibit dirt initially. Laving with clean water may decrease the amount of microbes, but this does not certify that pathogens are absent. Pathogens can cause disease even in subdued amount. To reduce foodborne diseases, control of the soil in which they are cultivated, water and atmosphere conditions, handling, hiding, transportation, wrapping processes and equipment, personal hygiene, appropriate heat practices and purifying/sanitization methods are very significant.

Food poisoning caused by microbes can occur in two different ways. Some influence the intestines, inducing fester, difficulty of sucking nourishment and water, and leading to diarrhea. Others generate toxins in sustenance that are toxic to the human digestive tract. Nausea and vomiting, kidney illnesses, and even death can be seen. Intercalarly to microbes, pesticide and herbicide residuals can also have toxic effects on humans.

2.1.Bacterias

The plurality of sicknesses relating to fresh fruits and vegetables are diseases, transmitted mainly through the fecal-oral way. Since fruits and vegetables cultivated in the plantation are

constantly in contact with soil, air and water, there are many bacteria and pollutants on their outer surfaces. Soil and bacteria can be removed from food when washed with plenty of water. If deformation occurs in some products during transportation, filling, transportation and storage, bacteria can accumulate in these damaged areas and begin to live and multiply. Eventually degradation and toxin production occur. Pre-treatments such as washing of fruits and vegetables may cause bacteria to extend throughout the crop. Radiated or reused water will rise the microorganism charge. In addition, through the washing process, the product surface reaches the moisture level suitable for the improvement of m/o.

Separating decayed fruits or vegetables or shearing the rotten parts removes microbes, but these manual operations harm the product and make it more susceptible to spoilage. If they are marketed instantly without processing, no more contamination will come off. Nevertheless, keeping in dirty utensils or other carriers, mechanical damage, washing, sorting, classification, packaging and contact with the hands of sellers and customers cause the spread of m/o. Spraying pesticides, especially to give vegetables a fresh appearance, may increase the number of microorganisms. In addition, every piece of the hardware that comes into touch with food is a significant resource of microorganisms if it is not pured and sterilized. Pathogenic microorganisms, viruses and parasites can survive for months in soil or vegetables contaminated with sewage.

Toxin formation in fresh fruits and vegetables can occur because of various situations:

- 1- Development of microorganisms: Some microorganisms found in fresh gardenstuff can produce toxins throughout unhygienic processing as well inappropriate keeping temperature and humidity conditions. For example, some

pathogens, such as Salmonella or Escherichia coli, can multiply and produce their toxins under certain conditions of temperature, humidity and nutrients.

- 2- Natural toxic compounds: For example, natural compounds such as cyanide found in some fruits and vegetables can become toxic under certain conditions and when consumed in high amounts.
- 3- Pesticides and Chemicals: Agricultural pesticides can leave residues on fruits and vegetables in some cases. These residues can cause health problems when consumed.
- 4- Unnatural Sources: In the processing of fresh fruits and vegetables, it is possible to come into contact with other substances that are not caused by contamination, but can create toxins. For example, some chemicals found in packaging materials can pass into food and cause toxic effects.

Pathogens can be found in fruits and vegetables. Pathogens are microorganisms that can cause disease, and pathogens found in fresh fruits and vegetables can pose health risks commonly associated with human consumption.

Here are the pathogens and types of spoilage found in some common fruits and vegetables:

- 1- Salmonella: Can be found in raw or contaminated fruits and vegetables. Salmonella can cause infections, especially in products such as tomatoes, green leafy vegetables (such as lettuce, spinach), and cucumber. Drainage or plant wastes and watering of field with dirty water also cause its development. Tomatoes, bean seeds, watermelon, unpasteurized orange and apple juice are instances of this group.
- 2- Escherichia coli (E. coli): Some E. coli strains can cause disease in humans. E. coli may be present in fruits and

vegetables that come into contact with contaminated water or fertilizer. Escherichia coli is normally found in the skin of humans and some animals. Fruits and vegetables can be contaminated with E. coli species in the land or the next step picking. This causes intestinal illnesses. Dust particles from contaminated manure can pose airborne risks to fruit on trees. Workers working in the land or in wrapping units can also be a source of E. coli. Contaminated unripe vegetables like carrots, lettuce, red radishes, melons and watermelons are considered to cause such ailments.

- 3- *Listeria monocytogenes*: These bacteria can be found especially in unpasteurized dairy products and fresh fruits and vegetables. Raw fruits as well vegetables may carry a risk of *Listeria* infection, especially for high-risk groups (pregnant women, the elderly, individuals with weakened immune systems).
- 4- *Norovirus*: *Norovirus* can be found in fruits and vegetables contaminated with the feces of infected people. It can cause *norovirus* infections, especially in fruits and vegetables irrigated with contaminated water.
- 5- *Shigella* species: It is found in drain and human intestines and causes infection by consuming green vegetables and fruits polluted with feces. *Shigella* infection is transmitted through straight touch by humans, fecal-oral contamination because of green salad, water, and food.
- 6- *Bacillus cereus*: Present in most soil kinds. Some *Bacillus* species can grow at fridge temperatures. It has been observed in soybean and cress exiles.
- 7- *Vibrio cholerae*: It is the basic reason of cholera. The most significant way of diffusion is by contaminated people. Water dirtied with manure and greens that are cleaned and disinfected with this water are different route for cholera to spread.

- 8- Enteric viruses: They can survive in fresh gardenstuff for days at fridge temperature. Therefore, if contamination has comprised before buying, there is always a danger of infection for the user.
- 9- Clostridium botulinum and its toxin: If mold formation occurs in stored tomatoes, it can be seen. Bacterial soft rot may occur. A wet appearance occurs, the softening is mushy. A bad odor occurs in the product.
- 10- Anthracnose: It is caused by Colletotrichum lindemuthianu, C. coccodes and other species. Deterioration occurs in leaves, fruit or seed coats. It is mostly seen in tomatoes.
- 11- Wet soft rot: Its main source is Sclerotinia sclerotiorum and is mostly seen in vegetables.
- 12- Saprophytic microorganisms: Microbial spoilage can occur in stems, leaves, flowers or roots through plant pathogens. They spread to the environment secondarily after the plant pathogen, or these types of microorganisms can infect healthy fruits and vegetables, can grow on the surface and even increase in number by developing in a moist environment.

2.2.Mycotoxins

Molds have become increasingly important, especially in recent years, due to the toxic substances they create. These substances created by molds that have a poisonous effect on developed living things are called "mycotoxins". Mycotoxins formed in herbal products as a result of mold growth; While it can be transmitted to animals and humans through animal products from this source, it can also be transmitted directly to humans through plant products. Today, there are more than 300 types of mycotoxins. Most of the important mycotoxins are caused by Aspergillus, Penicillium and Fusarium molds. Mycotoxins occurring in food and feed pose a significant danger to food safety

in most of the food producing regions of the world today. It has been determined that some mycotoxins cause poisoning in humans, liver cancer and changes in the heredity structure, disrupt the body's hormone balance, cause infertility and birth defects, weaken bones, reduce body resistance and make the body vulnerable to diseases. Different mycotoxins are produced by different molds. One of the most common and dangerous of these is aflotoxins.

Aflatoxins; It occurs when molds develop in appropriate temperature, moisture and nutrient environments. Hard-shelled oily-dried fruits (hazelnuts, peanuts, pistachios, etc.), some dried fruits (dried figs, raisins, etc.), oily seeds (cotton seeds), grains, especially corn, sesame, and spices (red pepper, black pepper, coconut, etc.) are risky products in terms of aflatoxin.

Table 1. Spoilage in Fruits

Distortion Type	Factor	Affected
Alternaria decay	Alternaria	Citrus
Bitterdecay (anthracnose)	Colletotrichum musae	Banana
Black decay	Aspergillus niger Ceratoctystis fimriata	Onion, Sweetpotatoe
Brown decay	Monilinia fructicola	Peach
Self decay (crown rot)	Collectotrichum musae Fusarium roseum Verticillium theobromae Ceratoctystis paradoxa	Banana
Grey mold decay	Botyris cinerea	Grape
Pineapple black decay	Ceratoctystis paradoxa	Pineapple
Sour decay	Geotrichum candidum	Tomatoe Citrus
Repellent decay	Cryptosporiopsis malicorticus Phylctaena vagabunda	Apple Pear
Green mold decay	Penicillium digitatum	Citrus
Blue decay	Penicillium	Orange
Cladosporium decay	Cladosporium herbarum	Peach Cherry

Source: Spoilage of Vegetables and Fruits (2024) (Accessed on 16/06/2024 from http://docs.neu.edu.tr/staff/serdar.susever/8Sebze%20ve%20meyvelerin%20bozulmas_189.pdf).

Table 2. Spoilage in Vegetables

Distortion Type	Factor	Affected
Black mold decay	Aspergillus	Onion
Black decay	Alternaria	Carrot Cauliflower
Hairy mold decay (downy mildew)	Bremia Phytophthora	Lettuce Spinach
Fusarium decay	Fusarium	Asparagus
Grey mold decay	Botrytis	Cabbage
Rhizopus soft decay	Rhizopus	Green beans
Spotted decay (Anthracnose)	Colletotrichum	Onion
Tuber decay	Fusarium	Potatoe
Juicy soft decay	Sclerotinia	Celery
Discoloration (wilt)	Pythium	Green beans
Drying decay (blight)	Phomopsis	Aubergine

Source: Spoilage of Vegetables and Fruits (2024) (Accessed on 16/06/2024 from http://docs.neu.edu.tr/staff/serdar.susever/8Sebze%20ve%20meyvelerin%20bozulmas_189.pdf).

Precautions That Can Be Taken

1. Production should be started by using seeds that are not contaminated with molds and that are resistant to mold growth.
2. Care should be taken to avoid mechanical injury during harvest, and appropriate harvesting methods should be used.
3. Harvested products should be transported with equipment that is free of mold contamination and prevents contamination from the environment.
4. Care should be taken to ensure that the places to be used as storage are cool, dry and ventilated. The maximum humidity limit should be 14% to prevent mold growth. If the water content of the raw material exceeds this value, it becomes difficult to prevent mold growth. Molds generally develop best at temperatures between 20-35°C.
5. For drying products, the drying process should be carried out in closed systems instead of natural drying in the sun.

6. One way to prevent molds in foods is to use chemical preservatives. However, their doses must be used consciously.
7. In order to be protected from the damage caused by mold and toxins, consumers incorrect practices such as cutting off the moldy parts of the food and throwing it away, giving it to animals, or consuming parts that are considered healthy. The right thing to do is not to consume food that has mold on it, if possible (Gürgen, 2005).

2.3.Pesticides

Another pollution is the excessive use of pesticides. They are widely used in agriculture to rise efficiency, develop quality and extend the storage life of food products. Pesticides preserve food crops against pests and illnesses. The goal is positive, but from time to time the outcomes are negative. Pesticide ruins can cause acute or chronic toxicity in humans after usage. It can cause toxic effects, especially when fresh product consumption exceeds the maximum allowed grade. “Sometimes home processing ways such as cleaning and boiling lift pesticide ruins, but this is not the case. Washing and boiling may not completely remove pesticides” (Barnett, 1997).

It is reported that least exposure to pesticides in the surrounding and pesticide residues eaten by food and water tend to cause chronic health diseases years later. “Other researchers have reported a wide range of human health hazards, from short-term effects such as headaches and nausea to chronic effects such as cancer, reproductive damage, and endocrine disruption” (Nollet, 2004). Pre-harvest processing is the most significant stage in pesticide use. The kind of plant on which the practice is made, the chemical construction and properties, the dosage and the formulation of the active substance, the time between application and harvest. Tap water, chlorine dioxide solution,

sodium carbonate solution, acetic acid solution, sodium hypochlorite solution and glycerol solutions can be handled to remove pesticide residues.

3. RESULT

Raw fruits and vegetables bought from the market may be related to pathogenic microbial charge that must be healed before usage. FDA, India (Food and Drug Association) does not recommend using any soap, cleaning agent or detergent to clean fruits and vegetables, but washing thoroughly with fresh water can help to decrease the number of microbial groups. It can also help to increase the shelf life of gardenstuff in the refrigerator. Greens that are kept without any special processing are quickly cooled and stored at nominal temperatures. Like vegetables, fruits may become contaminated from transporters and faulty decayed fruit between harvest and processing, and should be avoided from contamination as much as possible. Most vegetables and fruits have some degree of acidity and skin-deep dryness, are also deficient in B vitamins, and more mold growth in these products causes spoilage. Another factor is the structure of the food. Tubers such as carrots, radishes, potatoes and beets come into direct contact with the soil when they are moist and become contaminated from there.

Fruits are often treated with pesticides and fungicides before harvest, and such treatments can change the flora on the fruit. There is widespread use of pesticides on plants. However, unconscious use causes residues. To protect the consumer from health problems, pesticide residues must be removed or destroyed. In order to avoid pesticide ruins formation, necessary precautions should be taken before application, practitioners should be trained and senseless usage should be prevented.

Because there are not many ways to eliminate residues from fresh fruits and vegetables.

REFERENCES

- Ankita M., Akshay J., Dharmesh H., Microbial Contamination of Raw Fruits and Vegetables. Internet Journal of Food Safety, Vol.16, 2014, p.26-28
- Asiedu, E. R. I. C. (2013). Pesticide contamination of fruits and vegetables-A market basket survey from selected regions in Ghana.
- Barnett, J.B, Rodgers, K.E. (1997). Pesticides. In; Dean, J.H, Luster, M.I,Munson, A.E, Kimber immunopharmacology, second edition. Raven Press Ltd, New York : 191-211.
- Çukurova University, Farmer Brochure (2005) (Retrieved from <https://tyhm.cu.edu.tr/cu/brosurler/gidalar-ve-mikotoksinler> on 16/06/2024).
- DeRoever. C (1998). Microbiological safety evaluations and recommendations on fresh produce. Food Control, 9:6, pp.321-347.
- Ganguli. A, Ghosh. M, Mudgil. S (2004). Microbiological quality of carrots used for preparation of fresh squeezed street vended carrot juices in India.
- Ghosh, M., Ganguli, A., & Mudgil, S. (2004). Microbiological quality of carrots used for preparation of fresh squeezed street vended carrot juices in India. Journal of Food Agriculture and Environment, 2, 143-145.
- Gürgen, Y. (2005). Ç.Ü. Tarımsal Yayım, Arş. ve Uyg.Merk
- Lund, B. M., Baird-Parker, T. C., & Gould, G. W. (Eds.). (2000). Microbiological safety and quality of food (Vol. 1). Springer Science & Business Media.
- Nollet, J.R (2004) .Chromatographic analysis of environmental samples. Marcel Dekker inc. : 1297.

- Pazır, F., & Turan, F. (2017). Meyve ve Sebzelerde Karşılaşılabilen Bazı Pestisit Kalıntılarının Uzaklaştırılmasında Kullanılan Çeşitli Yöntemler. *Food and Health*, 3(3), 109-116.
- Beuchat, L.R. (1998) Surface Decontamination of Fruits and Vegetables Eaten Raw
- Roberts, D. A., Gardner, M., Church, R., Ustin, S., Scheer, G., & Green, R. O. (1998). Mapping chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture models. *Remote sensing of environment*, 65(3), 267-279.
- Sarao, L. K., Arora, M., Sehgal, V. K., & Bhatia, S. (2011). Internet Journal of Food Safety. *Internet Journal of Food Safety*, 13, 26-37. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 203:3, pp.205-213.
- Spoilage of Vegetables and Fruits (2024) (Retrieved from http://docs.neu.edu.tr/staff/serdar.susever/8Sebze%20ve%20meyvelerin%20bozulmas_189.pdf on 16/06/2024).
- The Center for Ecogenetics and Environmental Health, University of Washington, 1/2013. (Retrieved from https://depts.washington.edu/ceeh/downloads/FF_Pesticides.pdf).
- Tiryaki, O., Canhilal, R. & Horuz, S.(2010) Tarım İlaçları Kullanımı ve Riskleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(2), 154-169
- Titarmare. A, Dabholkar. P, Godbole. S (2009). Bacteriological Analysis of Street Vended Fresh Fruit and Vegetable Juices in Nagpur City, India.
- Viswanathan, P., & Kaur, R. (2001). Prevalence and growth of pathogens on salad vegetables, fruits and sprouts. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 203(3), 205-213.

GIDALARDA REOLOJİK ÖZELLİKLER

Dilek BÜYÜKBEŞE YAYLA¹

1. GİRİŞ

1.1. Reolojinin Tanımı

Reoloji, maddelerin deformasyon ve akış davranışlarını inceleyen bilim dalıdır. İlk olarak 20. yüzyılın başlarında geliştirilen reoloji, katı maddelerin elastik ve viskoelastik davranışları ile sıvı maddelerin viskoz davranışlarını tanımlamak için kullanılır. Reolojinin önemi, çeşitli sanayi dallarında, özellikle gıda, polimer, biyomedikal ve inşaat sektörlerinde büyük bir yer tutar. Gıdaların reolojik özellikleri, gıdaların tüketici kabulünü, işlenebilirliğini ve raf ömrünü belirleyen önemli faktörlerden biridir (Steffe, 1996; Barnes, Hutton, & Walters, 1989).

Gıdaların reolojik özellikleri, özellikle gıdaların dokusal özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Örneğin, bir yoğurdun akışkanlığı, tüketicinin algısını ve ürünün kalitesini doğrudan etkiler. Benzer şekilde, bir çikolatanın erime davranışı, tüketici memnuniyeti ve üretim süreci açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, gıda reolojisi, gıda bilimi ve teknolojisinde önemli bir araştırma alanıdır (Steffe, 1996).

1.2. Reolojinin Tarihçesi

Reoloji terimi, Yunanca "rheos" (akış) kelimesinden türetilmiştir ve 1929'da Eugene C. Bingham tarafından ilk kez kullanılmıştır. Bingham, reolojiyi "şekil değiştiren maddelerin

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, buyukbese@gantep.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2344-8663.

akış ve deformasyonunu inceleyen bilim" olarak tanımlamıştır. İlk reolojik çalışmalar, Newtonian akışkanların viskoz davranışlarını incelemekle başlamış, daha sonra non-Newtonian akışkanlar ve katıların viskoelastik davranışları üzerine yoğunlaşmıştır (Bingham, 1922).

1.3. Gıda Reolojisinin Önemi

Gıdaların reolojik özellikleri, gıdaların üretim, işleme, depolama ve tüketim süreçlerinde büyük bir rol oynar. Örneğin, gıda ürünlerinin karıştırılması, pompalanması, paketlenmesi ve depolanması gibi işlemler, bu ürünlerin reolojik özelliklerine bağlıdır. Ayrıca, tüketicilerin gıdaları algılama şekilleri de bu özelliklerden etkilenir. Bir ürünün dokusu, viskozitesi ve akışkanlığı, tüketicilerin ürün hakkındaki genel memnuniyetini ve algısını doğrudan etkiler (Rao, 2014).

1.4. Reolojinin Gıda Endüstrisindeki Uygulamaları

Gıda reolojisi, çeşitli gıda ürünlerinin formülasyonu ve geliştirilmesinde kritik bir rol oynar. Ham madde işlenmesi, karıştırma, şekillendirme ve paketleme gibi işlemler, gıdaların akış ve deformasyon davranışlarına dayanır (Rao, 2014). Örneğin, dondurma üretiminde, ürünün viskozitesi ve hava tutma kapasitesi, dondurmanın kremamsı dokusunu ve erime özelliklerini belirler. Benzer şekilde, ekmeğin kabarma ve pişme sürecini etkiler ya da düşük yağlı ürünler geliştirilirken, yağın çıkarılması sonucu oluşabilecek doku ve kıvam değişikliklerinin telafi edilmesi için reolojik modifikasyonlar yapılır (Rao, 2014). Bu nedenle, gıda mühendisleri ve bilim insanları, gıda reolojisini kullanarak ürün kalitesini ve tüketici memnuniyetini artırmayı hedefler (Tabilo-Munizaga & Barbosa-Cánovas, 2005).

1.5. Reolojinin Geleceği ve Gelişen Araştırma Alanları

Reoloji alanındaki araştırmalar, gıda bilimi ve teknolojisinde yeni ufuklar açmaktadır. Nanoteknoloji, biyoteknoloji ve ileri reolojik modelleme teknikleri, gıda reolojisinde yeni uygulamaların geliştirilmesine olanak tanır. Örneğin, nano ölçekte reolojik özelliklerin incelenmesi, gıda ürünlerinin mikroyapısının daha iyi anlaşılmasına ve optimize edilmesine yardımcı olabilir. Ayrıca, biyoteknolojik yaklaşımlar, gıda reolojisinin moleküler düzeyde incelenmesini sağlayarak, yeni ve yenilikçi gıda ürünlerinin geliştirilmesine katkıda bulunur (Mezger, 2006).

2. GIDALARIN REOLOJİK ÖZELLİKLERİ

2.1. Temel Reolojik Özellikler

2.1.1. Viskozite: Newtonian ve Non-Newtonian Akışkanlar

Viskozite, bir sıvının akışa karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır ve gıda reolojisinin temel taşlarından biridir. Viskozitenin temel kavramları, Newtonian ve Non-Newtonian akışkanlardır. Newtonian akışkanlar, sabit viskoziteye sahip olup, kesme hızına bağlı olarak viskoziteleri değişmeyen sıvılardır. Su ve bitkisel yağlar Newtonian akışkanlara örnek olarak verilebilir (Barnes, 2000). Bu tür akışkanlar, basit ve lineer bir akış davranışı sergiler, bu nedenle endüstriyel uygulamalarda kolaylıkla tahmin edilebilir ve yönetilebilirler (Rao, 2014).

Non-Newtonian akışkanlar ise, viskozitenin kesme hızına bağlı olarak değiştiği sıvılardır. Bu tür akışkanlar, farklı stres ve gerilme koşullarında farklı viskozite değerleri sergilerler. Non-Newtonian akışkanlar, gıda endüstrisinde yaygın olarak bulunur ve onların davranışlarının anlaşılması, işlenmeleri ve kalite kontrolü açısından kritik öneme sahiptir (Rao, 2014). Ketçap,

yoğurt ve çikolata gibi gıda ürünleri non-Newtonian davranış gösterir. Bu tür akışkanlar, başlıca dört kategoriye ayrılır. Dilatant akışkanlar, kesme hızı arttıkça viskozitesi artan akışkanlardır. Mısır nişastası ve su karışımı bu duruma örnektir (Steffe, 1996). Pseudoplastik akışkanlar ise, kesme hızı arttıkça viskozitesi azalan akışkanlardır; mayonez ve domates sosu gibi ürünler bu kategoride yer alır (Steffe, 1996; Mezger, 2006). Viskoelastik akışkanlar, hem viskoz hem de elastik özellikler sergiler. Bu tür akışkanlar, uygulanan stres ortadan kalktıktan sonra kısmen eski şekline dönebilir. Peynir, et emülsiyonları ve jelatin çözeltileri bu kategoriye örnektir (Rao, 2014). Bingham plastik akışkanlar, belirli bir gerilme eşiğinin üzerinde akmaya başlar. Bu eşiğin altındaki stresler altında akış göstermeyen bu tür akışkanlar, mayonez ve bazı domates sosları gibi gıdalarda bulunur (Steffe, 1996).

Newtonian ve non-Newtonian akışkanlar arasındaki farklar, gıda ürünlerinin işlenmesi ve tüketici deneyimi üzerinde önemli etkilere sahiptir. Non-Newtonian akışkanların karmaşık viskozite davranışları, üretim süreçlerinde daha hassas kontrol ve optimize edilmiş işleme yöntemleri gerektirir (Morrison, 2001). Örneğin, bir ketçap üretim hattında viskozite değişimleri, dolun hızını ve ambalaj kalitesini etkileyebilir. Bu nedenle, non-Newtonian akışkanların reolojik özelliklerini doğru bir şekilde anlamak ve modellemek, ürün kalitesinin ve verimliliğinin artırılmasında kritik bir rol oynar (Tárrega & Costell, 2006).

Gıda endüstrisinde, viskozitenin ölçülmesi ve yönetilmesi, ürün formülasyonlarının ve işleme parametrelerinin optimize edilmesine yardımcı olur. Rotasyonel viskozimetreler ve kapiler reometreler gibi cihazlar, Newtonian ve non-Newtonian akışkanların viskozite ölçümlerinde yaygın olarak kullanılır (Rao, 2014). Bu cihazlar, gıda üretiminde kullanılan malzemelerin ve ürünlerin reolojik özelliklerini anlamak ve kontrol etmek için temel araçlardır.

2.1.1.1. Elastikiyet ve Plastik Davranışlar

Elastikiyet, bir malzemenin uygulanan bir kuvvet kaldırıldığında orijinal şekline dönme yeteneğidir. Elastik davranış gösteren gıdalar, belirli bir kuvvet altında şekil değiştirir ancak bu kuvvet kaldırıldığında eski haline geri döner. Jelatinli tatlılar ve ekmek hamuru elastik davranış sergileyen gıdalara örnek olarak verilebilir (Ferry, 1980). Ekmek hamurunun elastikiyeti, gluten proteinlerinin oluşturduğu ağ yapısından kaynaklanır ve hamurun yoğurma ve fermentasyon süreçlerinde şekil almasına ve kabarmasına olanak tanır (Tunick, 2010). Elastik özellikler, gıdaların çiğneme ve yutma sırasındaki hissiyatını doğrudan etkiler ve bu nedenle tüketici memnuniyetinde önemli bir faktördür (Morrison, 2001).

Plastik davranışlar ise, bir malzemenin belirli bir gerilim seviyesinin üzerinde kalıcı deformasyon göstermesi durumudur. Margarin ve tereyağı gibi gıdalar plastik davranış örnekleridir. Bu ürünler, belirli bir stresin altında akmaya başlar ve bu stres kaldırıldığında kalıcı bir şekil değişikliği gösterirler (Barnes, 2000). Plastik davranışlar, gıda ürünlerinin işleme ve depolama koşullarına nasıl tepki vereceğini belirlemede kritik öneme sahiptir (Mezger, 2006).

Gıdaların elastikiyet ve plastik davranışlarının anlaşılması, ürün geliştirme ve kalite kontrol süreçlerinde önemli bir rol oynar. Örneğin, ekmek hamurunun elastik özellikleri, fırınlanma sürecinde kabarma ve nihai ürünün dokusunu etkiler. Benzer şekilde, margarin gibi ürünlerin plastik özellikleri, yayılma ve saklama koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Steffe, 1996). Bu nedenle, elastikiyet ve plastik davranışların doğru bir şekilde ölçülmesi ve modellenmesi, gıda üretim süreçlerinin optimize edilmesine yardımcı olur (Rao, 2014).

Gıda mühendisliğinde kullanılan çeşitli ölçüm teknikleri, elastik ve plastik davranışların değerlendirilmesinde önemli araçlar sunar. Dinamik mekanik analiz (DMA) ve tekstür analiz cihazları, gıdaların elastik ve plastik özelliklerini belirlemek için yaygın olarak kullanılır. Bu teknikler, gıdaların mekanik özelliklerini karakterize ederek, ürün geliştirme ve kalite kontrol süreçlerinde değerli bilgiler sağlar (Mezger, 2006).

2.1.1.2. Zamana Bağlı Reolojik Davranışlar: Tiksotropi ve Reopeksi

Zamana bağlı reolojik davranışlar, bir malzemenin zamanla nasıl tepki verdiğini ve değiştiğini ifade eder. Tiksotropi, bir malzemenin sabit kesme hızı altında viskozitesinin azalması ve dinlenme durumunda viskozitesinin artmasıdır. Bu özellik, özellikle ketçap ve yoğurt gibi gıda ürünlerinde yaygındır (Barnes, 2000). Tiksotropik davranışlar, gıda ürünlerinin işlenmesi ve tüketiciye sunulmasında önemli rol oynar. Örneğin, bir ketçap şişesinin çalkalanması, ürünün akışını kolaylaştırarak tüketici deneyimini iyileştirir (Steffe, 1996).

Reopeksi, tiksotropinin tersine, bir malzemenin sabit bir kesme hızı altında viskozitesinin artması ve dinlenme durumunda viskozitesinin azalmasıdır. Reopektik davranışlar daha nadir görülür, ancak bazı nişasta bazlı çözeltilerde ve jellerde bu tür davranışlar gözlemlenebilir (Rao, 2014). Reopeksi, gıda ürünlerinin işlenmesi sırasında istenmeyen tıkanmaların ve akış problemlerinin önlenmesi için dikkat edilmesi gereken bir özelliktir (Mezger, 2006).

Tiksotropi ve reopeksi gibi zamana bağlı reolojik davranışlar, gıda ürünlerinin stabilitesi ve raf ömrü üzerinde önemli etkilere sahiptir. Bu özelliklerin doğru bir şekilde anlaşılması, ürün formülasyonlarının ve işleme parametrelerinin optimize edilmesine yardımcı olur. Örneğin, tiksotropik bir yoğurt üretiminde, ürünün viskozitesinin zamanla nasıl

değiştiğini anlamak, üretim sürecinin ve son ürünün kalitesini iyileştirmek için kritiktir (Morrison, 2001).

Gıda reolojisinde zamana bağlı davranışların ölçülmesi ve analizi, özel test cihazları ve protokoller gerektirir. Rotasyonel viskozimetreler ve reometreler, tiksotropi ve reopeksi gibi davranışları değerlendirmek için yaygın olarak kullanılır. Bu cihazlar, gıda ürünlerinin zamana bağlı reolojik özelliklerini belirlemek ve bu özelliklerin işleme koşullarına ve tüketici beklentilerine uygun olup olmadığını değerlendirmek için kritik araçlardır (Steffe, 1996).

Sonuç olarak, viskozite, elastikiyet, plastik davranışlar ve zamana bağlı reolojik özellikler, gıda ürünlerinin fiziksel ve duyuşal özelliklerini belirler. Bu özelliklerin doğru bir şekilde anlaşılması ve modellenmesi, gıda üretim süreçlerinin optimize edilmesine ve daha yüksek kaliteli ürünlerin geliştirilmesine olanak tanır. Gıda reolojisi, hem bilimsel araştırmalar hem de endüstriyel uygulamalar için önemli bir alan olup, gıda mühendisliği ve teknolojisinin geleceğinde kritik bir rol oynamaya devam edecektir (Rao, 2014).

3. GIDALARIN REOLOJİK ÖZELLİKLERİ

3.1. Reolojik Özellikleri Belirleyen Faktörler

Bir gıdanın reolojik davranışı, tüketicinin algıladığı doku ve kıvam gibi özellikleri etkileyerek, ürünün kabul edilebilirliğini doğrudan belirler.

Reolojik özellikleri belirleyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler arasında gıdanın kompozisyonu, işleme yöntemleri, saklama koşulları ve ortam sıcaklığı gibi değişkenler yer alır. Her bir faktör, gıdanın reolojik özellikleri üzerinde farklı derecelerde etki yapabilir ve bu etkilerin anlaşılması, gıda üretim sürecinin optimize edilmesine yardımcı

olur. Örneğin, bir gıdanın su içeriği ve yağ miktarı, ürünün viskozitesini ve akış özelliklerini belirlemede temel rol oynar.

3.1.1. Kompozisyon

Gıdaların reolojik özelliklerini belirleyen en temel faktörlerden biri, bileşenlerinin kompozisyonudur. Gıdaların ana bileşenleri olan su, yağ, protein ve karbonhidratlar, ürünün viskozitesini, elastikiyetini ve akış özelliklerini doğrudan etkiler.

3.1.1.1. Su İçeriği

Su, gıdaların reolojik özelliklerinde önemli bir rol oynar. Su içeriği, gıdanın akışkanlığını ve viskozitesini belirler (Steffe, 1996). Örneğin, yüksek su içeriği, genellikle düşük viskozite ve daha akışkan bir yapı ile sonuçlanır. Bu durum, çorbalar ve soslar gibi sıvı gıdalarda belirgin bir şekilde gözlenebilir (McClements, 2015).

3.1.1.2. Yağ

Yağ, gıdaların doku ve kıvamını belirlemede kritik bir bileşendir. Yağ molekülleri, gıdaların kremamsı yapısını ve ağızda dağılma özelliklerini etkiler. Örneğin, yüksek yağ içeriğine sahip dondurma, daha pürüzsüz ve kremi bir dokuya sahip olur (Sikorski, 2007).

3.1.1.3. Protein

Proteinler, gıdaların yapısal özelliklerini ve jelleşme kapasitesini etkiler. Özellikle et ürünleri ve süt ürünlerinde, proteinlerin reolojik davranışı, ürünün dokusal özelliklerini belirler. Proteinler, ısıtma veya pH değişiklikleri ile denatüre olarak, gıdanın viskozitesinde ve elastikiyetinde değişikliklere neden olabilir (Damodaran, 2008).

3.1.1.4. Karbonhidratlar

Karbonhidratlar, gıdaların viskozitesini ve jel yapısını belirler. Nişasta ve selüloz gibi polisakkaritler, suyu bağlayarak

viskoziteyi artırır ve gıdanın kıvamını belirler. Örneğin, nişasta içeriği yüksek olan bir sos, daha kalın ve yoğun bir yapıya sahip olacaktır (BeMiller, 2007).

3.1.2. Sıcaklık ve Basınç

Gıdaların reolojik özellikleri, sıcaklık ve basınç gibi fiziksel koşullardan da etkilenir. Sıcaklık değişiklikleri, gıdanın moleküler yapısını ve akış özelliklerini etkileyerek reolojik davranışta değişikliklere neden olur.

3.1.2.1. Sıcaklık

Sıcaklık, gıdaların viskozitesini ve elastikiyetini doğrudan etkiler. Genellikle, sıcaklık arttıkça gıdanın viskozitesi azalır ve akışkanlığı artar. Örneğin, çikolata üretiminde sıcaklık kontrolü, ürünün akışkanlığını ve temperleme sürecini etkiler (Afoakwa, 2011).

3.1.2.2. Basınç

Basınç, özellikle sıvı gıdaların reolojik özelliklerini değiştirebilir. Yüksek basınç uygulamaları, gıdaların moleküler yapısını değiştirerek viskoziteyi ve jel oluşumunu etkileyebilir. Bu durum, özellikle yüksek basınçlı işlem görmüş meyve suları ve süt ürünlerinde gözlenir (Rastogi, 2003).

3.1.3. İşleme Yöntemleri

Gıdaların reolojik özelliklerini belirleyen bir diğer önemli faktör, uygulanan işleme yöntemleridir. Karıştırma, ısıtma ve soğutma gibi işlemler, gıdanın yapısal özelliklerini ve reolojik davranışını önemli ölçüde etkileyebilir.

3.1.3.1. Karıştırma

Karıştırma, gıdaların homojenliğini ve doku özelliklerini belirlemede kritik bir rol oynar. Yetersiz karıştırma, gıdaların yapısında düzensizliklere ve istenmeyen doku özelliklerine neden olabilir. Örneğin, hamurun karıştırma süresi ve hızı, ekmek

yapısında ve dokusunda belirleyici olabilir (Hamlet & Sadd, 2004).

3.1.3.2. Isıtma

Isıtma işlemi, gıdaların protein denatürasyonunu, nişasta jelatinizasyonunu ve yağ erimesini etkileyerek reolojik özelliklerde değişikliklere yol açar. Örneğin, et ürünlerinin pişirilmesi sırasında proteinlerin denatüre olması, ürünün tekstürel özelliklerini belirler (Gerrard, 2002).

3.1.3.3. Soğutma

Soğutma, gıdaların reolojik özelliklerini stabilize etmek ve istenilen dokuya ulaşmak için kullanılır. Özellikle dondurulmuş gıdalarda, soğutma hızı ve koşulları, ürünün kristal yapısını ve dokusunu etkiler (Reid, 1998).

3.1.4. Saklama Koşulları

Gıdaların reolojik özellikleri, saklama koşullarından da etkilenir. Nem, sıcaklık ve ışık gibi faktörler, gıdaların yapısal bütünlüğünü ve reolojik davranışını etkileyebilir.

3.1.4.1. Nem

Nem, gıdaların su aktivitesini ve dolayısıyla reolojik özelliklerini etkiler. Yüksek nem içeriği, gıdaların yumuşamasına ve viskozitesinin düşmesine neden olabilir. Bu durum, özellikle bisküvi ve kraker gibi kuru gıdalarda önemlidir (Peleg, 1993).

3.1.4.2. Sıcaklık

Saklama sıcaklığı, gıdaların reolojik özelliklerini korumada kritik bir faktördür. Yüksek sıcaklık, gıdaların bozulmasına ve yapısal değişikliklere neden olabilir. Örneğin, süt ürünlerinin soğuk zincirde saklanması, ürünün viskozitesini ve stabilitesini korur (Fox, 2000).

3.1.4.3. Işık

Işık, özellikle yağ içeriği yüksek gıdalarda oksidasyona neden olarak reolojik özelliklerde değişikliklere yol açabilir. Bu nedenle, ışığa duyarlı gıdaların uygun ambalajlarda saklanması önemlidir (Frankel, 2005).

4. REOLOJİK ÖZELLİKLERİN ÖLÇÜM TEKNİKLERİ

Rotasyonel viskozimetreler, kapiler reometreler, duyu analizi yöntemleri ve tekstür analiz cihazları gibi araçlar, gıda ürünlerinin viskozite, elastikiyet ve dokusal özelliklerini ölçmede kritik rol oynar. Her bir teknik, gıdaların üretim, depolama ve tüketim süreçlerinde kalite kontrolü ve optimizasyon için gerekli verileri sağlar. Örneğin, yoğurdun viskozitesinin rotasyonel viskozimetre ile ölçülmesi, balın kapiler reometre ile karakterize edilmesi, çikolatanın duyu analizlerle değerlendirilmesi ve ekmeğin tekstür analiz cihazları ile test edilmesi gibi uygulamalar, bu tekniklerin gıda endüstrisindeki önemini vurgulamaktadır.

Bu reolojik ölçüm teknikleri, gıda bilimcileri ve üreticileri için vazgeçilmez araçlardır. Gıdaların tüketici beklentilerini karşılayacak şekilde geliştirilmesi, kalite kontrol süreçlerinin iyileştirilmesi ve ürünlerin piyasada rekabet edebilirliğinin artırılması açısından bu teknikler hayati önem taşır. Her bir yöntemin sunduğu ayrıntılı veriler, gıda ürünlerinin formülasyonunu ve işleme parametrelerini optimize etmek için kullanılır. Bu sayede, tüketici memnuniyeti artırılırken, gıdaların besin değerleri ve duyu özellikleri korunur.

4.1. Ölçüm Teknikleri ve Örnekler

4.1.1. Rotasyonel Viskozimetreler

Rotasyonel viskozimetreler, viskoziteyi ölçmek için yaygın olarak kullanılan reolojik cihazlardır. Bu cihazlar, bir numune içinde bir probun döndürülmesi sırasında numunenin gösterdiği direnç miktarını ölçerek çalışır. Viskozimetrelerin bu türü, Newtonian ve non-Newtonian sıvıların reolojik özelliklerini belirlemek için oldukça uygundur.

4.1.1.1. Çalışma Prensibi

Rotasyonel viskozimetreler, temel olarak iki bileşenden oluşur: dönen bir prob (spindle) ve bu probu belirli bir hızla döndüren bir motor. Numune, cihazın numune kabına yerleştirilir ve prob numune içine daldırılır. Prob döndürülmeye başladığında, numunenin viskozitesi, probun dönmesine karşı gösterdiği direnç ile belirlenir. Bu direnç, motorun probu döndürmek için harcadığı tork (momentum) ile orantılıdır. Cihaz, bu tork değerini viskozite birimlerine çevirerek sonuç verir.

4.1.1.1.1. Örnekler ve Uygulamalar

1. Yoğurt Viskozitesinin Ölçülmesi:

Yoğurt, birçok faktörden etkilenen kompleks bir reolojik yapıya sahiptir. Yoğurdun pürüzsüzlüğü ve akışkanlığı, tüketici kabulü için önemli bir kriterdir. Rotasyonel viskozimetreler, yoğurdun viskozitesini ölçmek için kullanılır. Bu ölçümler, yoğurdun üretim sürecinde kalite kontrolü ve standardizasyonu için kritiktir. Cihaz, belirli bir hızda dönen bir prob kullanarak yoğurdun viskozitesini ölçer. Elde edilen veriler, yoğurdun yapısal stabilitesini ve tüketici memnuniyetini değerlendirmede kullanılır (Ahmed, Barau & Roy, 2023).

2. Bal Viskozitesinin Ölçülmesi:

Bal, yüksek viskoziteli bir sıvıdır ve viskozitesi, balın kalitesi ve işlenebilirliği için önemlidir. Rotasyonel viskozimetreler, balın viskozitesini ölçmek için yaygın olarak kullanılır. Yapılan ölçümler, balın üretim ve paketlenme süreçlerinde kalite kontrolü için kullanılır (Tavakoli & Tang, 2017).

3. Süt Ürünleri Viskozitesinin Ölçülmesi:

Süt ve süt ürünlerinin reolojik özellikleri, tüketici tarafından algılanan kaliteyi etkileyen önemli faktörlerdir. Süt ürünlerinin viskozitesini ölçmek için rotasyonel viskozimetre kullanılabilir. Bu cihaz, süt ürünlerinin homojenliğini ve stabilitesini değerlendirmek için idealdir. Özellikle kremaların viskozite ölçümleri, ürünün ağızda bıraktığı his ve tüketici memnuniyeti açısından önemlidir (Steffe, 1996).

Bu bağlamda, rotasyonel viskozimetreler, gıda endüstrisinde geniş bir uygulama alanına sahip olup, ürünlerin reolojik özelliklerini belirlemede kritik bir rol oynar. Bu cihazlar, gıdaların kalite kontrolü, üretim optimizasyonu ve tüketici memnuniyetinin sağlanması için vazgeçilmezdir.

4.1.2. Kapiler Reometreler

Kapiler reometreler, sıvıların reolojik özelliklerini, özellikle viskozite ve akış davranışlarını belirlemek için kullanılan hassas ölçüm cihazlarıdır. Bu cihazlar, bir sıvının dar bir kapiler tüp boyunca akmasını sağlayarak, sıvının viskozitesini ve diğer reolojik parametrelerini ölçer. Kapiler reometreler, özellikle yüksek kesme hızlarında reolojik özelliklerin belirlenmesinde etkilidir.

4.1.2.1. Çalışma Prensibi

Kapiler reometreler, bir numunenin sabit bir basınç altında dar bir kapiler tüp boyunca akışını ölçer. Numune, cihazın

haznesine yerleştirilir ve basınç uygulanarak tüpten geçirilir. Numunenin tüpten akma hızı ve uygulanan basınç, sıvının viskozitesini ve diğer reolojik özelliklerini belirlemek için kullanılır. Kapiler reometreler, akışkanın Newtonian veya non-Newtonian olup olmadığını belirlemek için de kullanılabilir.

4.1.2.2. Örnekler ve Uygulamalar

4.1.2.2.1. Balın Viskozitesinin Ölçülmesi

Bal, yüksek viskoziteye sahip bir gıda maddesidir ve viskozitesi, balın kalitesi ve işlenebilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Kapiler reometreler, balın viskozitesini ölçmek için yaygın olarak kullanılır. Balın farklı sıcaklıklarda viskozitesini ölçerek, balın depolama ve işleme koşullarının optimize edilmesine yardımcı olur. Elde edilen veriler, balın raf ömrü ve tüketici kabulü için önemlidir (Tavakoli & Tang, 2017).

4.1.2.2.2. Polimer Çözeltilerinin Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Polimer çözeltileri, birçok endüstriyel ve gıda uygulamasında kullanılır. Kapiler reometreler, bu çözeltilerin viskozite ve akış özelliklerini belirlemek için etkili bir yöntemdir. Bir gıda ambalajı üretiminde kullanılan polimer çözeltilerinin viskozitesini ölçmek için kullanılan kapiler reometre, polimer çözeltilerinin üretim sürecindeki performansını değerlendirmek için gereken reolojik verileri sağlar (Morris, 1984).

4.1.2.2.3. Şurup ve Sosların Viskozitesinin Ölçülmesi

Şurup ve soslar, gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan yüksek viskoziteli sıvılardır. Kapiler reometreler, bu tür ürünlerin viskozitesini ve akış özelliklerini belirlemek için kullanılır. Ketçap gibi bir sosun viskozitesini ölçmek için kullanılan kapiler reometre, ketçabın farklı kesme hızlarındaki viskozitesini ölçerek, ürünün tüketici tarafından nasıl algılanacağını ve işlenebilirliğini değerlendirir (Steffe, 1996).

4.1.3. Tekstür Analiz Cihazları (TPA)

Tekstür analiz cihazları, gıdaların fiziksel özelliklerini mekanik olarak ölçen cihazlardır. Bu cihazlar, gıdaların sıkıştırma, germe, kesme, kopma ve diğer mekanik testler yoluyla dokusal özelliklerini belirler. Gıdaların tekstürel özellikleri, tüketici tarafından algılanan kalite ve kabul edilebilirlik açısından büyük önem taşır. Tekstür analiz cihazları, gıda üreticilerine ürün kalitesini kontrol etme ve iyileştirme konusunda kritik bilgiler sağlar.

4.1.3.1. Çalışma Prensibi

Tekstür analiz cihazları, numunenin belirli bir kuvvet altında gösterdiği tepkiyi ölçer. Cihaz, genellikle bir prob veya plaka kullanarak numuneye mekanik bir test uygular. Test sırasında, kuvvet ve deformasyon miktarı kaydedilir ve bu veriler kullanılarak numunenin tekstürel özellikleri hesaplanır. En yaygın kullanılan test yöntemleri arasında sıkıştırma testi, kesme testi, germe testi ve penetrasyon testi yer alır.

4.1.3.2. Örnekler ve Uygulamalar

4.1.3.2.1. Ekmek Tekstürünün Analizi

Ekmek, dokusu itibarıyla tüketici beklentilerini karşılaması gereken bir üründür. Ekmek kabuğunun sertliği ve iç yapısının yumuşaklığı, tüketici tarafından algılanan kaliteyi etkiler. Tekstür analiz cihazları, bu özellikleri belirlemek için kullanılır. Ekmek numunelerinin sıkıştırma testi için kullanılan tekstür analiz cihazında, ekmek diliminin üstüne belirli bir kuvvet uygulanır ve ekmeğin sıkıştırma sırasında gösterdiği direnci ölçer. Elde edilen veriler, ekmeğin kabuk sertliği ve iç yapısının yumuşaklığını belirlemek için kullanılır (Scanlon & Zghal, 2001).

4.1.3.2.2. Et Ürünlerinin Tekstür Analizi

Et ve et ürünleri, tüketici tarafından algılanan kalite açısından dokusal özelliklere büyük önem verir. Etin sertliği, çiğnenebilirliği ve sulu yapısı, tekstür analiz cihazları ile değerlendirilebilir. Et numunelerinin kesme testi için kullanılan tekstür analiz cihazı, numuneyi bir bıçak veya bıçak seti ile keserek, etin kesme direncini ve kopma kuvvetini ölçer. Bu ölçümler, etin yumuşaklık ve çiğnenebilirlik özelliklerini belirlemek için kullanılır (Tornberg, 2005).

4.1.3.2.3. Meyve ve Sebzelerin Tekstür Analizi

Meyve ve sebzelerin dokusal özellikleri, tüketici tarafından algılanan tazelik ve kalite açısından önemlidir. Tekstür analiz cihazları, bu ürünlerin sertlik, kırılabilirlik ve sulu yapı gibi özelliklerini belirler. Elma gibi bir meyvenin tekstürel özelliklerini analiz etmek için kullanılan tekstür analiz cihazı, elmanın belirli bir kuvvet altında sıkıştırılması veya delinmesi sırasında gösterdiği tepkiyi ölçer. Elde edilen veriler, elmanın sertliği ve kırılabilirlik özelliklerini değerlendirmek için kullanılır (Harker & Maindonald, 1994).

Bu cihazlar, ürünlerin tüketici beklentilerini karşılayacak şekilde geliştirilmesine yardımcı olur ve gıda kalitesini artırır.

5. GIDALARDA REOLOJİNİN UYGULAMA ALANLARI

Gıda reolojisi, gıda maddelerinin akış ve deformasyon davranışlarını anlamamıza yardımcı olur.

5.1. Uygulama Alanları ve Örnekler

5.1.1. Gıda İşleme: Karıştırma ve Homojenizasyon

Gıda işleme sırasında reolojik özellikler, karıştırma ve homojenizasyon gibi işlemler üzerinde doğrudan etkilidir.

Karıştırma işlemi, malzemelerin homojen bir karışım oluşturması amacıyla yapılırken, homojenizasyon işlemi, gıda bileşenlerinin eşit dağılımını sağlar. Böylece gıda bileşenlerinin birleşmesini ve istenen doku ile lezzetin elde edilmesini sağlar. Homojenizasyon, özellikle sıvı gıdalarda, bileşenlerin mikroskobik düzeyde eşit dağılımını sağlamada kullanılır. Bu süreçler, gıdaların raf ömrünü uzatmak ve tüketiciye daha tutarlı bir ürün sunmak için kritiktir.

Yoğurt Üretimi: Yoğurt üretiminde, süt ve yoğurt kültürlerinin homojen bir karışım oluşturması için karıştırma ve homojenizasyon işlemleri yapılır. Bu işlemler, yoğurdun pürüzsüz bir dokuya sahip olmasını ve istenen viskoziteye ulaşmasını sağlar (González-Tomás & Costell, 2006).

Dondurma Üretimi: Dondurma üretiminde, süt, şeker ve diğer bileşenlerin homojen dağılımını sağlamak için homojenizasyon uygulanır. Bu, dondurmanın kremi dokusunu ve pürüzsüz yapısını korur (Marshall, Goff & Hartel, 2003).

Mayonez Üretimi: Mayonez üretiminde, yağ ve su fazlarının emülsifikasyonu sonucu oluşan ürünün doku ve kıvamı, reolojik özellikler kullanılarak optimize edilir. İyi bir mayonez, belirli bir viskoziteye sahip olmalı ve ağızda hoş bir his bırakmalıdır (McClements, 2005).

Ekmek Üretimi: Ekmek hamurunun yoğrulması sırasında hamurun reolojik özellikleri, ekmeğin kabarma kapasitesini ve son ürünün dokusunu belirler. Bu süreçte gluten gelişimi ve su tutulumu gibi reolojik faktörler önemli rol oynar (Rosell, Rojas, & Benedito de Barber, 2001).

5.2. Kalite Kontrol: Ürün Standardizasyonu

Gıda ürünlerinin üretim süreçlerinde, belirli bir kalite standardının korunması için reolojik testler yapılır. Bu testler, ürünlerin viskozite, elastikiyet ve akış özelliklerini ölçerek,

üretim sürecinde herhangi bir sapma olup olmadığını belirlemeye yardımcı olur.

Ketçap Üretimi: Ketçap üretiminde, ürünün belirli bir akışkanlık ve kıvamda olması gerekir. Bu, tüketici beklentilerini karşılamak için önemlidir. Reolojik testler, ketçapın viskozitesinin sürekli olarak kontrol edilmesini sağlar (Steffe, 1996).

Çikolata Üretimi: Çikolata üretiminde, ürünün akış özellikleri ve kıvamı reolojik testlerle kontrol edilir. Bu, çikolatanın doğru şekilde kalıplanmasını ve son ürünün istenen özelliklere sahip olmasını sağlar (Afoakwa, 2010).

5.3. Gıdalarda Reolojik Modelleme ve Simülasyon Çalışmaları

Gıda endüstrisi, ürün kalitesini ve işleme verimliliğini artırmak için reolojik modelleme ve simülasyon tekniklerine giderek daha fazla önem vermektedir. Gıdaların reolojik özelliklerinin doğru bir şekilde modellenmesi hem üretim süreçlerinin optimizasyonu hem de tüketici memnuniyetinin artırılması açısından kritik bir rol oynamaktadır. Reolojik modelleme ve simülasyon, gıda mühendisliğinin geleceğinde önemli bir yere sahiptir ve yenilikçi ürünlerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır (Steffe, 1996).

Gıdalarda reolojik modelleme, ürünlerin akış ve deformasyon davranışlarını anlamak ve tahmin etmek için matematiksel modellerin kullanılmasıdır. Bu modeller, gıdaların viskozite, elastikiyet ve plastisite gibi reolojik özelliklerini tanımlayarak, işleme ve depolama koşullarında nasıl davrandıklarını öngörmeye yardımcı olur. Özellikle, karmaşık gıda matrislerinin davranışını tahmin etmek için kullanılan modelleme teknikleri, üretim süreçlerinin optimize edilmesine olanak tanır (Rao, 2014). Örneğin, yoğurt ve dondurma gibi fermente süt ürünlerinin viskoelastik özelliklerinin

modellenmesi, ürün kalitesinin ve stabilitesinin korunmasında büyük önem taşır (Tárrega & Costell, 2006).

Simülasyon çalışmaları, gıda ürünlerinin işleme koşullarında nasıl davrandığını görselleştirmek ve analiz etmek için bilgisayar destekli araçların kullanılmasını içerir. Simülasyon teknikleri, özellikle akışkan dinamiği (CFD) modelleri, gıdaların üretim süreçlerinde karşılaşılabilecekleri zorlukları öngörmek ve bu süreçleri optimize etmek için kullanılır. Örneğin, bir gıda karışımının bir boru hattı boyunca akışının simüle edilmesi, üretim hattındaki tıkanıklıkların önlenmesine ve enerji verimliliğinin artırılmasına yardımcı olabilir (Datta, 2016). Bu tür simülasyonlar, aynı zamanda yeni ürün formülasyonlarının geliştirilmesi ve mevcut ürünlerin iyileştirilmesi için de kullanılır (Marangoni & Narine, 2002).

Gıdalarda reolojik modelleme ve simülasyon çalışmalarının bir diğer önemli alanı, gıda güvenliği ve kalite kontrolüdür. Reolojik özellikler, ürünlerin mikro yapısını ve bileşimini etkileyerek, gıda güvenliği ve raf ömrü üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Özellikle, jelatinleşme, koagülasyon ve nişasta retrogradasyonu gibi reolojik değişimlerin modellenmesi, gıdaların depolama koşullarına ve tüketici beklentilerine uygun olarak tasarlanmasını sağlar (Ross-Murphy, 1995). Bu, gıda üreticilerinin ürün kalitesini tutarlı bir şekilde sağlamasına ve gıda israfını azaltmasına olanak tanır (Campbell & Mougeot, 1999).

Gelecekteki araştırmalar, gıdalarda reolojik modelleme ve simülasyon tekniklerinin daha da geliştirilmesine odaklanacaktır. Özellikle, gelişmiş bilgisayar modelleri ve yapay zeka algoritmalarının entegrasyonu, reolojik davranışların daha doğru ve hızlı bir şekilde tahmin edilmesine olanak tanıyacaktır (Chen, Ramaswamy & Alli, 2001). Ayrıca, nanoteknoloji ve biyoteknoloji alanlarındaki ilerlemeler, gıdaların reolojik

özelliklerinin daha detaylı incelenmesini ve yeni ürün geliştirme süreçlerinin hızlandırılmasını sağlayacaktır (Mezger, 2006). Bu gelişmeler, gıda endüstrisinde yenilikçi ve yüksek kaliteli ürünlerin üretilmesine önemli katkılar sağlayacaktır.

6. SONUÇ

6.1. Gıda Reolojisinin Önemi ve Gıda Endüstrisindeki Rolü

Gıda reolojisi, akışkanların ve yumuşak katların deformasyon ve akış davranışlarını inceleyen bir bilim dalıdır. Gıda endüstrisinde, ürünlerin fiziksel özelliklerini ve işleme davranışlarını anlamak ve kontrol etmek için reoloji bilgisi kritik bir rol oynar. Viskozite, elastikiyet ve plastik davranışlar gibi temel reolojik özellikler, ürünlerin kalitesi ve tüketici deneyimi üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Reolojik özelliklerin doğru bir şekilde anlaşılması, gıda üretim süreçlerinin optimize edilmesine ve daha yüksek kaliteli ürünlerin geliştirilmesine olanak tanır (Rao, 2014).

Gıda reolojisi, aynı zamanda ürün standardizasyonu ve kalite kontrol süreçlerinde de önemli bir rol oynar. Ürünlerin reolojik özelliklerinin düzenli olarak ölçülmesi ve izlenmesi, üretim sürecindeki sapmaların erken tespit edilmesini ve düzeltilmesini sağlar. Bu, tüketici memnuniyetini artırmak ve piyasa rekabetinde avantaj sağlamak için kritiktir. Ayrıca, reolojik analizler, yeni ürün formülasyonlarının geliştirilmesinde ve mevcut ürünlerin iyileştirilmesinde değerli bilgiler sunar (Steffe, 1996).

6.2. Gelecek Planları ve Reolojik Bilgilerin Kullanımının Önemi

Gıda reolojisinin gelecekteki araştırma alanları ve gelişmeler, bu alanın daha da genişlemesini ve derinleşmesini

vaat etmektedir. Yeni reolojik ölçüm cihazlarının geliştirilmesi, daha hassas ve doğru ölçümler yapmayı mümkün kılarak, ürün kalitesini ve işleme verimliliğini artıracaktır. Özellikle, mikro ve nano ölçeklerde reolojik özelliklerin incelenmesi, gıda biliminde önemli yeniliklere yol açabilir. Bu tür gelişmeler, sadece gıda ürünlerinin fiziksel özelliklerini iyileştirmekle kalmayacak, aynı zamanda yeni ürünlerin ve işleme yöntemlerinin geliştirilmesini de destekleyecektir (Mezger, 2006).

Reolojik bilgilerin biyoteknolojik uygulamalarda kullanımı da büyük bir potansiyele sahiptir. Biyomateryallerin ve biyoteknolojik ürünlerin reolojik özelliklerinin anlaşılması, tıbbi ve endüstriyel uygulamalarda önemli iyileştirmeler sağlayabilir. Örneğin, biyomalzemelerin viskoelastik özelliklerinin optimize edilmesi, doku mühendisliği ve ilaç taşıyıcı sistemlerde daha etkin çözümler sunabilir. Bu tür yenilikler, gıda reolojisinin sadece gıda endüstrisinde değil, aynı zamanda biyoteknoloji ve tıp alanlarında da önemli bir rol oynayacağını göstermektedir (Langer & Peppas, 2003).

6.3. Bilimsel Araştırmaların ve Teknolojik Gelişmelerin Katkısı

Bilimsel araştırmalar ve teknolojik gelişmeler, gıda reolojisi alanında önemli ilerlemeler sağlamaktadır. Gelişmiş reolojik ölçüm cihazları ve simülasyon teknikleri, gıda ürünlerinin akış ve deformasyon davranışlarını daha detaylı ve doğru bir şekilde incelemeyi mümkün kılar. Bu tür teknolojiler, gıda üretim süreçlerinin ve ürün formülasyonlarının optimize edilmesine olanak tanır. Ayrıca, bilgisayar destekli simülasyonlar ve modelleme teknikleri, gıda ürünlerinin işleme koşullarında nasıl davrandığını öngörerek, üretim verimliliğini artırmak için değerli bilgiler sunar (Datta, 2016).

Gelecekte, yapay zeka ve makine öğrenimi algoritmalarının reolojik analizlerde kullanılması, reolojik

verilerin daha hızlı ve doğru bir şekilde işlenmesini ve yorumlanmasını sağlayacaktır. Bu, gıda üretim süreçlerinde daha esnek ve uyarlanabilir sistemlerin geliştirilmesine katkıda bulunacaktır. Ayrıca, nanoteknoloji ve biyoteknoloji alanlarındaki ilerlemeler, gıda reolojisinin daha geniş bir yelpazede uygulanmasını mümkün kılacaktır. Bu gelişmeler, gıda endüstrisinin karşılaştığı zorluklara yenilikçi çözümler sunarak, gıda bilimi ve teknolojisinde önemli bir dönüm noktası oluşturacaktır (Bhushan, 2017).

KAYNAKLAR

- Afoakwa, E. O. (2010). *Chocolate Science and Technology*. Wiley-Blackwell.
- Ahmed, J., Barua, S., & Roy, S. (2023). Rheology and microstructure of yogurt. In *Advances in food rheology and its applications* (pp. 335-363). Woodhead Publishing.
- Barnes, H. A. (2000). *A handbook of elementary rheology*. Aberystwyth: Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics.
- Barnes, H. A., Hutton, J. F., & Walters, K. (1989). *An introduction to rheology*. Elsevier.
- BeMiller, J. N. (2007). *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*. Eagan Press.
- Bhushan, B. (2017). *Nanotechnology for energy sustainability*. Springer International Publishing.
- Bingham, E. C. (1922). *Fluidity and plasticity*. McGraw-Hill.
- Campbell, G. M., & Mougeot, E. (1999). Creation and characterisation of aerated food products. *Trends in Food Science & Technology*, 10(9), 283-296.
- Chen, C. R., Ramaswamy, H. S., & Alli, I. (2001). Prediction of quality changes during osmo-convective drying of blueberries using neural network models for process optimization. *Drying Technology*, 19(3-4), 507-523.
- Damodaran, S. (2008). *Fennema's Food Chemistry*. CRC Press.
- Datta, A. K. (2016). Toward computer-aided food engineering: Mechanistic frameworks for evolution of product, quality and safety during processing. *Journal of Food Engineering*, 176, 9-27.
- Ferry, J. D. (1980). *Viscoelastic properties of polymers*. New York: Wiley.

- Fox, P. F. (2000). *Fundamentals of Cheese Science*. Aspen Publishers.
- Frankel, E. N. (2005). *Lipid Oxidation*. Woodhead Publishing.
- Gerrard, J. A. (2002). Protein–protein crosslinking in food: methods, consequences, applications. *Trends in food science & technology*, 13(12), 391-399.
- Gonzalez-Tomas, L., & Costell, E. (2006). *Sensory Evaluation Of Vanilla-Dairy Desserts By Repertory Grid Method And Free Choice Profile*. *Journal of Sensory Studies*, 21(1), 20–33. doi:10.1111/j.1745-459x.2006.00050.x
- Hamlet, C. G., ve Sadd, P. A. (2004). Chloropropanols and their Esters in Cereal Products, *Czech J. Food Sci*, Vol. 22, Special Issue
- Harker, F.R., & Maindonald, J.H. (1994). Ripening of Nectarine Fruit (Changes in the Cell Wall, Vacuole, and Membranes Detected Using Electrical Impedance Measurements). *Plant Physiology*.
- Langer, R., & Peppas, N. A. (2003). Advances in biomaterials, drug delivery, and bionanotechnology. *AIChE Journal*, 49(12), 2990-3006.
- Marangoni, A. G., & Narine, S. S. (2002). *Physical properties of lipids*. CRC Press.
- Marshall, R. T., Goff, H. D., & Hartel, R. W. (2003). *Ice Cream*. Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- McClements, D. J. (2005). *Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques*. CRC Press.
- McClements, D. J. (2015). *Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques*. CRC Press.

- Mezger, T. G. (2006). *The rheology handbook: for users of rotational and oscillatory rheometers*. Hanover: Vincentz Network.
- Morris, E. R. (1984). Rheology of hydrocolloids. *In Gums and stabilizers for the food industry* (Vol. 2, pp. 57-78). IRL Press.
- Morrison, F. A. (2001). *Understanding rheology*. New York: Oxford University Press.
- Peleg, M. (1993). *Physical Properties of Foods*. AVI Publishing Company.
- Rao, M. A. (2014). *Rheology of fluid and semisolid foods: principles and applications*. Springer.
- Rastogi, N. K. (2003). *High-Pressure Processing of Foods*. Springer.
- Reid, D. S. (1998). *Fundamentals of Food Freezing*. Springer.
- Rosell, C. M., Rojas, J. A., & Benedito de Barber, C. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, 15(1), 75-81.
- Scanlon, M. G., & Zghal, M. C. (2001). Bread properties and crumb structure. *Food Research International*, 34(10), 841-864.
- Sikorski, Z. E. (2007). *Chemical and Functional Properties of Food Components*. CRC Press.
- Steffe, J. F. (1996). Rheological methods in food process engineering. *Freeman Press*.
- Tabilo-Munizaga, G., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Rheology for the food industry. *Journal of Food Engineering*, 67(1-2), 147-156.

- Tárrega, A., & Costell, E. (2006). Effect of composition on the rheological behaviour and sensory properties of semisolid dairy dessert. *International Dairy Journal*, 16(4), 281-289.
- Tavakoli, J., & Tang, Y. (2017). Honey/PVA hybrid wound dressings with controlled release of antibiotics: Structural, physico-mechanical and in-vitro biomedical studies. *Materials science & engineering. C, Materials for biological applications*, 77, 318–325. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.272>
- Tornberg, E. (2005). Effects of heat on meat proteins– Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70(3), 493-508.

GENETİĞİ DEĞİŞTİRİLMİŞ ORGANİZMALAR (GDO'LAR): TARIM VE HAYVANCILIK UYGULAMALARI, POTANSİYEL FAYDALAR VE OLASI RİSKLER

Özen SÖKMEN¹

Ayşe Neslihan DÜNDAR²

1. GİRİŞ

Genetiği değiştirilmiş organizmalar, birtakım biyoteknolojik yöntemlerle canlıların sahip olduğu gen dizilimlerinin değiştirilmesi yoluyla canlılara yeni özellikler kazandırılması sonucu elde edilen farklı nitelikteki organizmalardır (Beyatlı, 2000; Kulaç vd., 2006; Kaynar, 2009).

Genetik mühendisliği teknolojisi kullanılarak üretilen organizmalar, literatürde genetiği değiştirilmiş organizmalar (GDO), genetik olarak modifiye edilmiş organizmalar (GMO), ve canlı modifiye organizmalar (LMO) gibi çeşitli adlarla tanımlanmaktadır (Uzogara, 2000; Özdemir 2004). Bu organizmalara aktarılan genler ise transgen olarak ifade edilmektedir (Cellini vd., 2004). Transgenler, hedef organizmada istenen özelliklerin ortaya çıkmasını sağlayan genetik materyallerdir (Güngör ve Demiryürek, 2021). Bu teknolojinin kullanımıyla, bitkilerin hastalıklara karşı direnci artırılabilir,

¹ Dr., Natura Gıda San. Ve Tic. A.S., ozensokmen@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2126-094X.

² Doç. Dr., Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, ayse.dundar@btu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2084-7076.

besin değerleri iyileştirilebilir ve hatta ilaç üretimi yapılabilir (Cui vd., 2019; Demirel, 2020).

GDO'ların yaygınlaşması hem olumlu hem de olumsuz pek çok tartışmayı beraberinde getirmiştir. Destekleyenler, GDO'ların, besin kalitesinin ve sağlığa yönelik faydaları, meyve ve sebzelerin raf ömrü ile organoleptik kaliteleri, bitkisel ve hayvansal ürün verimini artırma hatta yenilebilir aşı üretimi potansiyelini vurgularken; eleştirenler, besin kalitesindeki değişiklik, gıda güvenliği ve sağlık etkileri, alerjik reaksiyonlar ve toksik etkiler, antibiyotiğe direnç oluşumu ve çevre üzerine olumsuz sonuçlar hakkında endişelerini dile getirmektedirler. Bu bağlamda, GDO'ların güvenliği ve etik boyutları üzerine yapılan araştırmalar ve tartışmalar devam etmektedir (Özer, 2003; Pusztai vd., 2003; Costa-Font ve Mossialos, 2007; Çelik ve Balık, 2007).

2. GDO'LARIN TARİHÇESİ

Genetiği değiştirilmiş organizmaların (GDO) tarihçesi, DNA molekülünün 1953 yılında keşfedilmesiyle başlar. Bu keşif, gen bilimine yeni bir boyut kazandırmış ve genetik mühendisliği alanında devrim niteliğinde gelişmelere kapı aralamıştır (Wieczorek, 2012).

1972 yılında, ilk rekombinant DNA molekülü elde edilmiştir. Bu önemli adım, genetik mühendisliği teknolojisinin temellerini atmış ve 1973 yılında ilk başarılı DNA klonlama deneyi gerçekleştirilmiştir. 1980 yılına gelindiğinde, Amerika Birleşik Devletleri'nde petrol yiyen bir bakteriye patent verilmiştir. Bu, biyoteknoloji alanında bir ilki temsil etmektedir (Demir vd., 1999; Bakırcı, 2012).

1982 yılında, rekombinant DNA teknolojisi kullanılarak üretilen insülin hormonu, Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından satışa sunulma onayı aldı. Aynı yıl, Avrupa'da

rekombinant DNA teknolojisi ile üretilen ilk hayvan aşısının kullanımı da onaylandı. Bu gelişmeler, biyoteknolojinin sağlık alanındaki uygulamalarının hızla yaygınlaştığını ortaya koymaktadır (Walsh, 2014).

1983 yılında, genetiği değiştirilmiş plazmidler bitkilerin transformasyonu için kullanılmıştır. Bu yöntem, bitkilerin genetik yapısını değiştirerek tarımsal verimliliği artırmak için önemli bir adım olmuştur (Yılmaz, 2012). 1985 yılında, böcek, bakteri ve virüslere dirençli bitkilerin toprakta yetiştirilmesi çalışmaları başlamıştır (Denli, 2012).

1986 yılında, ilk rekombinant aşı olan Hepatit B aşısı üretilmiştir. Bu, biyoteknoloji alanında önemli bir kilometre taşıdır. 1990 yılında, ABD'de peynir üretimi için rekombinant kimozin kullanılmaya başlanmıştır. Bu, gıda üretiminde biyoteknolojinin kullanımının bir örneğidir (Denli, 2012; Elpe, 2021).

1994 yılında, genetik mühendisliği ile geliştirilmiş ilk domates, Dünya Gıda Örgütü tarafından kabul edilmiştir. Bu domates, daha uzun raf ömrü ve dayanıklılık gibi özelliklere sahiptir. 1995 yılında, *Bacillus thuringiensis* (Bt) geni içeren mısırın ilk kez ekimi yapılmıştır. Bu mısır, zararlı böceklere karşı doğal bir savunma mekanizması geliştirerek tarımda devrim yaratmıştır (Demir vd., 2006).

1996 yılında, genetik olarak değiştirilmiş bitkiler ticari amaçla büyük ölçekte ekilmeye başlanmıştır. Bu, GDO'ların küresel tarımda yaygın olarak kullanılmaya başlandığı dönemin başlangıcını işaret etmektedir (Demir vd., 2006). 1997 yılında, koyun Dolly klonlanmıştır. Dolly, klonlama teknolojisinin potansiyelini gösteren ilk memelidir (Hemmer, 2005).

2000 yılında, 'Altın pirinç' olarak bilinen ve provitamin A üreten pirinç geliştirilmiştir. Bu pirinç, besin değerinin artırılması amacıyla genetik mühendisliği kullanılarak üretilmiş olup,

özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki vitamin A eksikliğine bağlı sağlık sorunlarının giderilmesine yönelik önemli bir adım olmuştur (Zülal, 2000; Zülal, 2003).

Genetik mühendisliği ve biyoteknoloji alanındaki bu önemli gelişmeler, GDO'ların tarım, sağlık ve gıda üretiminde geniş çapta kullanılmasına olanak sağlamış ve günümüzde de bu teknolojiler hızla gelişmeye devam etmektedir.

3. GDO'LARIN TARIM ALANINDA KULLANIM

Genetiği değiştirilmiş organizmalar (GDO'lar), tarım sektöründe çeşitli avantajlar sağlamak amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu teknolojinin hedefleri, tarımsal üretimi artırmak ve sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla bitkilerin çeşitli olumsuzluklara karşı dayanıklılığını artırmaktır. GDO'ların tarımda kullanımı, aşağıdaki amaçlara hizmet etmektedir:

3.1. Herbisit ve Böceklere Karşı Dayanıklılık

GDO'ların tarımda en yaygın kullanım alanlarından biri, bitkilerin herbisit ve böceklere karşı dayanıklılığını artırmaktır. Genetik mühendisliği ile geliştirilen bitkiler, zararlı otlara karşı kullanılan herbisitlere karşı dayanıklıdır, bu da çiftçilerin herbisit kullanımlarını daha etkin hale getirir ve ürün verimini artırır. Aynı şekilde, böceklere karşı dirençli bitkiler geliştirilerek, pestisit kullanımının azaltılması ve çevreye olan olumsuz etkilerin minimize edilmesi sağlanır. Örneğin, *Bacillus thuringiensis* (Bt) geni eklenen mısır ve pamuk, zararlı böceklere karşı doğal bir savunma mekanizması geliştirilerek böcek zararlarını önemli ölçüde azaltmaktadır (İnce vd., 2013).

3.2. Virüsler, Fungus, Bakteri ve Bitki Parazitlerine Karşı Dirençlilik Kazandırılması

GDO'lar, bitkilerin virüsler, fungus, bakteri ve diğer bitki parazitlerine karşı direnç kazanmasını sağlar. Bu direnç, bitkilerin hastalıklara karşı korunmasını ve sağlıklı büyümesini destekler. Özellikle tropikal ve subtropikal bölgelerde yaygın olan bitki hastalıklarına karşı dirençli çeşitlerin geliştirilmesi, tarımsal üretimi ve gıda güvenliğini artırır (Çabuk vd., 2005).

3.3. Çevresel Faktörlere Dayanıklılık

Genetik mühendisliği, bitkilerin çevresel streslere karşı dayanıklılığını artırmada da önemli bir rol oynar. Kuraklık, tuzluluk ve aşırı sıcaklık gibi çevresel stres faktörlerine dayanıklı bitkiler, olumsuz iklim koşullarında bile yüksek verim sağlayabilir. Bu özellik, tarımın sürdürülebilirliğini ve verimliliğini artırarak, gıda üretiminde istikrarı sağlar (Meseri, 2008).

3.4. Geç Olgunlaşma

GDO'lar, bitkilerin olgunlaşma süresini kontrol ederek, hasat zamanını uzatabilir ve ürünlerin raf ömrünü artırabilir. Geç olgunlaşan meyve ve sebzeler, taşıma ve depolama sırasında daha az bozulur, bu da gıda israfını azaltır ve taze ürünlerin tüketiciye daha uzun süre boyunca ulaşmasını sağlar (Uzogara, 2000; Kıyak, 2004)

3.5. Besinsel Özelliklerin Geliştirilmesi

Genetik mühendisliği, bitkilerin besinsel özelliklerini iyileştirerek, vitamin ve mineral içeriklerini artırabilir. Örneğin, 'Altın Pirinç' olarak bilinen, provitamin A (beta-karoten) içeriği yüksek pirinç, A vitamini eksikliğini gidermeye yönelik bir çözümdür. Bu tür besinsel iyileştirmeler, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki beslenme yetersizliklerine karşı önemli bir çözüm sunar (Zülal, 2000; Zülal, 2003).

3.6. Sekonder Metabolit, İlaç ve Aşı Üretimi

GDO'lar, tarımda sadece gıda üretimi için değil, aynı zamanda sekonder metabolitler, ilaçlar ve aşılar gibi biyoteknolojik ürünlerin üretimi için de kullanılmaktadır. Bitkiler, genetik olarak modifiye edilerek, tıbbi ve endüstriyel açıdan değerli bileşenler üretmek üzere kullanılabilir. Örneğin, bitkilerde insülin, büyüme hormonu ve aşı gibi biyofarmasötiklerin üretimi, bu teknolojinin sağlık sektöründeki potansiyel kullanım alanlarını göstermektedir (Demir, 2006; Velimirov vd., 2008).

GDO'ların tarımda kullanımı, tarımsal verimliliği artırmanın yanı sıra, çevresel sürdürülebilirliği destekler ve küresel gıda güvenliğine önemli katkılarda bulunur. Ancak, bu teknolojinin güvenliği, etik boyutları ve çevresel etkileri üzerine yapılan araştırmalar ve tartışmalar devam etmektedir. Bu bağlamda, GDO'ların sorumlu ve kontrollü kullanımı hem tarımsal üretimin sürdürülebilirliği hem de insan sağlığı ve çevrenin korunması açısından kritik öneme sahiptir.

4. GDO'LARIN HAYVANCILIK ALANINDA KULLANIMI

Genetiği değiştirilmiş organizmalar (GDO'lar), hayvancılık alanında çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Bu teknolojinin uygulanması, hayvanların genetik özelliklerini değiştirerek verimliliği artırmak, hastalıklara karşı direnç sağlamak ve insan sağlığına yönelik faydalar sunmak gibi geniş bir yelpazede önemli avantajlar sunar. İşte GDO'ların hayvancılıkta kullanımıyla ilgili bazı detaylar:

Örneğin, Polly isimli ilk genetiği değiştirilmiş kuzuya, insanlarda eksikliğinde hemofiliye neden olan kan pıhtılaştırıcı faktör-9'u kodlayan insan geni aktarılmıştır. Bu sayede bu

proteinin hayvan sütünde ticari anlamda bol miktarda üretilmesi mümkün olmuştur. Bu tür uygulamalar, ilaç ve tedavi üretimi için biyoteknolojik hayvanların kullanımına yönelik önemli bir adımdır (Çelik ve Balık, 2007).

GDO'ların hayvancılıkta kullanımıyla elde edilmek istenen başlıca hedefler şunlardır:

- İnsan için Önemli Proteinlerin Üretimi: İnsanlar için önemli olan proteinlerin üretimi, genetik olarak modifiye edilmiş hayvanlar kullanılarak artırılabilir. Bu proteinler, ilaç ve tedavi amaçlı kullanılabilir (Stryjewska vd., 2013).
- Organ ve Doku Nakilleri: Organ ve doku nakilleri için uygun hayvanların üretilmesi, transplantasyon süreçlerinde kullanılabilir (Uzogara, 2000).
- İnsan Sütüne Benzer İnek Sütü Yapımı: İnsan sütüne benzer inek sütü üretilmesi, bebek beslenmesinde ve tıbbi amaçlarla kullanılabilir (Cetinkaya vd., 2015).
- Et ve Süt Üretim Artışı: Hayvanların et ve süt üretim verimliliğini artırarak, tarımsal üretimin sürdürülebilirliği sağlanabilir (Çelik ve Balık, 2007).
- Özellik İyileştirmesi ve Hastalık Direnci: Hayvanların genetik özelliklerini iyileştirerek, hastalıklara karşı dirençli ve verimli hayvanlar elde edilebilir (Çelik ve Balık, 2007).

4.1. Et Verimlerinin Artırılması:

Genetik mühendislik ile hayvanların et verimleri artırılarak, daha fazla et üretimi sağlanabilir. Bu, özellikle et üretiminin maliyetini düşürerek, daha fazla miktarda ve kaliteli et elde edilmesine olanak tanır (Çelik ve Balık, 2007).

4.2. Süt Üretimini Artırılması

Büyüme hormonu üretimini teşvik eden genlerin ineklere aktarılması, süt üretiminin artırılmasına yardımcı olabilir. Bu sayede daha yüksek verimli süt inekleri elde edilerek, süt üretimi ve süt ürünleri üretimi artırılabilir (Çelik ve Balık, 2007).

4.3. Düşük Kolesterolü Yumurta Üreten Kümes Hayvanları

Genetik mühendisliği ile düşük kolesterolü yumurta üreten kümes hayvanları elde edilebilir. Bu tür yumurtalar, kalp sağlığı açısından daha faydalı olup, sağlıklı beslenmeye katkı sağlar (Çelik ve Balık, 2007).

5. POTANSİYEL FAYDALAR

Genetiği değiştirilmiş organizmalar (GDO'lar), tarım ve hayvancılıkta sağladığı verimlilik artışı ve hastalıklara karşı direnç gibi avantajların yanı sıra, insan sağlığına ve beslenmeye yönelik çeşitli faydalar da sunmaktadır.

5.1. Besin Kalitesinin ve Sağlığa Yönelik Faydaların Arttırılması

GDO'lar, besin kalitesini ve sağlık üzerindeki olumlu etkilerini artırmak için kullanılmaktadır. Monsanto şirketi tarafından üretilen nişasta içeriği arttırılmış Russert Burbank patatesleri, kızartma işlemi sırasında daha az yağ çekerek, pişirme süresi ve maliyetini azaltmaktadır. Bu tür yenilikler, hem tüketici sağlığını koruyarak hem de ekonomik tasarruf sağlayarak önemli avantajlar sunar (Whitney, 2004).

Gen aktarım teknolojisi ile besinlerin protein kalitesi artırılabilir. Örneğin, proteinin esansiyel amino asit içerikleri yükseltilebilir. Bu durum, özellikle gelişmekte olan ülkelerde protein yetersizliği sorununa çözüm sunabilir (Uzogara, 2000).

Ayrıca, antioksidan vitaminler (vitamin A, C, E), karotenoidler ve flavonoidler gibi besin öğelerinin miktarı da artırılmaktadır. Bu tür biyoyararlı bileşenler, kanser hücrelerinin gelişimini engelleme potansiyeline sahiptir. Genetiği değiştirilmiş ürünlerde bu vitamin ve minerallerin artırılması, sağlıklı beslenme alışkanlıklarını destekleyerek, kronik hastalıkların önlenmesine katkı sağlar (Uzogara, 2000).

5.2. Meyve ve Sebzelerin Raf Ömrü ile Organoleptik Kalitelerinin Arttırılması

GDO'lar, meyve ve sebzelerin raf ömrünü uzatmada ve organoleptik (tat, koku, doku) kalitelerini artırmada önemli rol oynamaktadır. Özellikle domateslerde yapılan genetik modifikasyonlar, bu ürünlerin raf ömrünü uzatarak, taze olarak daha uzun süre saklanabilmesini sağlamıştır. Bu tür uygulamalar, gıda israfını azaltarak, tüketiciye daha kaliteli ve dayanıklı ürünler sunar (Uzogara, 2000).

5.3. Bitkisel ve Hayvansal Ürün Veriminin Arttırılması

GDO'lar, bitkisel ve hayvansal ürün verimliliğini artırmada da büyük potansiyele sahiptir. Carnegie Mellon Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada, Bt mısır üretimiyle birlikte ürün veriminin arttığı, pestisit kullanımının azaldığı ve pestisitten kaynaklanan işçi hastalıklarının ortadan kalktığı belirtilmiştir. Ayrıca, Bt mısır üretimi sayesinde mısır kalitesinin arttığı ve bu etmenlerin toplam gelirden %12 artışa olanak sağladığı rapor edilmiştir. Bu tür verimlilik artışları, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini ve ekonomik karlılığını artırmaktadır (Uzogara, 2000).

5.4. Yenilebilir aşı üretimi

GDO'lar, yenilebilir aşılarda üretiminde de kullanılmaktadır. Özellikle, çiğ olarak tüketilen muz gibi bazı

tropikal meyveler, hepatit, kuduz, dizanteri, kolera ve ishal gibi hastalıklara karşı koruyucu proteinler üretmek amacıyla genetik olarak değiştirilebilmektedir. Bu tür yenilebilir aşular, düşük maliyetli ve kolay erişilebilir oldukları için gelişmekte olan ülkelerde halk sağlığının korunmasında önemli bir rol oynayabilir. (Uzogara, 2000).

6. OLASI RİSKLER

6.1. Besin Kalitesindeki Değişiklik, Gıda Güvenliği ve Sağlık Etkileri

Genetiği Değiştirilmiş Organizma (GDO) içeren mısır tüketiminin sağlık üzerindeki ve özellikle uzun vadede ortaya çıkabilecek etkileri hakkında henüz kesin ve net bir bilgi bulunmamaktadır. Bu konudaki belirsizliklere rağmen, sıçanlar üzerinde yapılan bazı bilimsel çalışmalar, GDO'lu mısır tüketiminin başlıca böbrek ve karaciğer üzerinde olumsuz etkiler yarattığını göstermektedir. Bu araştırmalar, özellikle böbrek ve karaciğer fonksiyonlarında bozulmalar, hücre yapısında değişiklikler ve bazı enzim seviyelerinde dengesizlikler gibi bulgulara ulaşmıştır. Ancak, bu bulguların insan sağlığı üzerindeki etkilerini tam olarak anlamak için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir (Atsan ve Kaya, 2008).

6.2. Alerjik Reaksiyonlar ve Toksik Etkiler

1996 yılında, Brezilya kestanesinde soya fasulyesine aktarılan 2S geni içeren ürünler bu kestaneye alerjisi olan kişilerde alerjik reaksiyonlara neden olduğu için marketlerden toplatılmıştır. Ayrıca, 2000 yılında Bt geninin mısıra aktarılmasıyla üretilen ve koçan kurduna dayanıklı olan StarLink adlı transgenik mısır çeşidi de alerjiye sebep olduğu için toplatılmış ve sadece hayvan yemi olarak kullanılması izin verilmiştir. Bu örnekler, genetik modifikasyonların alerjik

reaksiyonlara neden olabileceğine dair somut kanıtlar arasındadır (Batalion, 2000).

6.3. Antibiyotiğe Direnç

Antibiyotiğe direnç geninin bitkilere aktarılması, bu bitkileri tüketen canlıların sağlığı açısından ciddi bir tehlike oluşturabilir. Bunun nedeni, bu direnç genlerinin, bitkileri tüketen canlıların vücutlarında bulunan bakterilere yatay gen transferi yoluyla geçebilmesidir. Bu durum, vücutta bulunan bakterilerin de antibiyotiklere karşı direnç kazanmasına yol açabilir (de Vendmôis, 2009). Sonuç olarak, antibiyotiğe direnç kazanan bakteriler, hastalık yapan bakteriler haline geldiklerinde, bu bakterilere karşı kullanılan antibiyotiklerin etkisi azalır. Bu da enfeksiyonların tedavisini zorlaştırır ve halk sağlığı açısından ciddi bir risk oluşturur. Antibiyotiklerin etkinliğinin azalması, özellikle ağır enfeksiyon hastalıklarının tedavisinde büyük sorunlara yol açabilir. Bu nedenle, antibiyotiğe direnç genlerinin bitkilere aktarılması konusundaki endişeler oldukça ciddidir (Kulaç, 2006).

6.4. Çevresel Etkileri

Genetiği değiştirilmiş organizmaların (GDO'lar) çevre üzerinde çeşitli olumsuz etkileri olabilir. Bu etkileri:

- ✓ Doğal Türlerin Ortadan Kalkması
- ✓ Süper Yabani Türlerin Ortaya Çıkması
- ✓ Yeni Antibiyotik Dirençli Bakteri Tiplerinin Oluşması
- ✓ Hedef Olmayan Türlerin Zarar Görmesi
- ✓ Gen Kaçışı ve Genetik Kirlenme
- ✓ Biyoçeşitliliğe Etkileri
- ✓ Toprak ve Su Ekosistemine Etkileri olarak sıralanabilmektedir (Atsan ve Kaya, 2008).

6.5. Sosyo-Ekonomik, Etik ve Dini Kaygılar ile Bilinmeyen Korkular

GDO'lar ve klonlama teknolojileri, çeşitli sosyo-ekonomik, etik ve dini kaygıları beraberinde getirmektedir. Bu kaygılar;

- ✓ Transgenik Tohumların Yenilenmesi Zorunluluğu
- ✓ Küresel Gıda Arzının Kontrolü
- ✓ İnsan Klonlama ve Etik Kaygılar

Dini ve Etik Endişeler

Bazı dini ve etik inançlar, GDO'larla ilgili ciddi endişeler taşımaktadır. Müslümanlar ve Yahudiler, domuz geni taşıyan tahıllara karşıdır ve helal ve koşher gıdalarda bu genlerin bulunmamasını önemserler (Günay ve Özdemir, 2016). Vejetaryenler hayvan geni içeren meyve ve sebzelere karşıdır ve bitkisel gıdaların hayvan genleriyle değiştirilmesini istemezler. Bu endişeler, dini ve etik inançlarla doğrudan çatışma yaratmakta ve bu tür gıdaların kabul edilmesini zorlaştırmaktadır (Subrahmanyam ve Cheng, 2000).

7. DÜNYADA GDO ÜRETİMİ

GDO tarımıyla ilgili son verilere göre dünya genelinde 24 ülkede 189.8 milyon hektarlık bir alan kullanılmaktadır (ISAAA, 2018). GDO üreten ülke sayısı 2010'da zirveye ulaşarak 29 ülkeye çıkmış, ancak bu sayı zamanla azalmıştır. Dünya genelinde ülkelerin %88'inde GDO tarımı yapılmamaktadır. Avustralya'nın GDO tarımı alanı küçüktür ve ülkenin toplam tarım alanının sadece %0.2'sini oluşturmaktadır (Paull ve Hennig, 2019).

GDO'lar ticarileştirildiği ilk yıllardan bu yana hızla büyüyen bir pazar olmuştur. ISAAA'nın 2015 verilerine göre, 1996-2015 döneminde küresel biyotek ürün ekim alanı 1.7

milyon hektardan 179.7 milyon hektara yükselmiştir. Bu, 100 katlık çarpıcı bir artışı temsil etmektedir. Biyotek ürünleri üreten ülke sayısı ise 1996'da 6 iken 2015'te 28'e çıkmıştır, yani dört katından fazla artış göstermiştir. Bu ülkeler genellikle soya fasulyesi, mısır, pamuk ve kanola gibi ürünler yetiştirmektedir.

2015 yılında Latin Amerika (Brezilya, Arjantin), Asya (Hindistan, Çin) ve Afrika (Güney Afrika) bölgeleri, küresel biyotek ürünlerin yarısından fazlasını (%54) üretmiştir. Bu büyük üreticiler arasında 20 gelişmekte olan ülke ve 8 sanayileşmiş ülke bulunmaktadır. ABD, Brezilya, Arjantin, Kanada ve Hindistan, en büyük beş biyotek ürünü üreticisi olarak öne çıkmaktadır. Dünya genelinde GDO ekim alanlarının %86.4'ünün Amerika kıtasında olduğu belirlenmiştir (ISAAA, 2015).

ABD, genetik mühendislik ürünleri üretiminde önde gelen bir ülkedir. 2017 yılında ISAAA'ya göre, dünya genelindeki biyotek ürünlerin üretiminde %39'luk bir paya sahip olup, 75 milyon hektarlık bir alanda biyotek ürünler yetiştirmiştir. Hindistan, Pakistan, Brezilya, Bolivya, Sudan, Meksika, Kolombiya, Vietnam, Honduras ve Bangladeş gibi toplam 19 ülke, biyoteknoloji ürünleri ekim alanlarını artırmış ve çiftçilere gıda üretiminde biyoteknoloji kullanımı konusunda destek olmaya devam etmiştir (ISAAA, 2018).

ABD, Brezilya, Arjantin, Paraguay, Güney Afrika, Bolivya ve Uruguay gibi ülkeler, genetik olarak değiştirilmiş (%90'dan fazla) soya fasulyesi yetiştirmekte; ABD, Brezilya, Arjantin, Kanada, Güney Afrika ve Uruguay gibi ülkeler de genetik olarak değiştirilmiş (%90'dan fazla) mısır yetiştirmektedir. ABD, Arjantin, Hindistan, Paraguay, Pakistan, Çin, Meksika, Güney Afrika ve Avustralya gibi ülkeler, genetik olarak değiştirilmiş (%90'dan fazla) pamuk yetiştirmekte; ABD ve Kanada ise genetik olarak değiştirilmiş (%90'dan fazla) kanola yetiştirmektedir. Bu ülkeler, özellikle gelişmekte olan ülkelerin

hayvan ve balık protein üretimi için yem gereksinimlerini karşılamalarına yardımcı olarak dünya genelinde gıda ihracatına katkıda bulunmaktadır (ISAAA, 2018).

Avrupa Birliği'nde GDO'lu ürünlerin düzenlenmesinde en yetkili kurumlar Avrupa Komisyonu (EC) ve Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) olarak belirlenmiştir. Her üye devletin katılımıyla, GDO'lu ürünlerin piyasaya sürülmeden önce EFSA tarafından risk değerlendirmesi yapılmaktadır. 2015 Ağustos itibariyle AB'de toplam 67 ürün, bunlar arasında 31 mısır, 12 soya fasulyesi, 11 pamuk, 6 kolza, 4 çiçek, 2 mikroorganizma ve 1 şeker pancarı bulunmak üzere, "Gıda ve yem" veya "ithalat ve işleme" kapsamında tescil edilmiştir (EC, 2015).

8. BİYOGÜVENLİK PROTOKOLÜ

Cartagena Biyogüvenlik Protokolü, GDO sınır ötesi hareketlerini düzenlemek amacıyla oluşturulmuş uluslararası bir anlaşmadır (Kıvılcım, 2012). Protokolün ana noktaları ve tarihleri aşağıda belirtilmiştir (Anonim, 2003):

Başlangıç ve Tamamlanma: Protokol çalışmaları 1996 yılında başlamıştır. 29 Ocak 2000 tarihinde tamamlanmıştır. 24 Mayıs 2000 tarihinde imzalanmaya başlanmıştır.

Yürürlüğe Girme Tarihleri:

Dünya genelinde 11 Eylül 2003 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Türkiye'de 24 Ocak 2004 tarihinden itibaren yürürlüğe girmiştir.

Protokolün Genel Çerçevesi:

Ön Bildirim: GDO'ların sınır ötesi hareketi öncesinde "ön bildirim" yapılması zorunludur. İthalatın kabul edildiği GDO'ların "etiketlenmesi" gerekmektedir.

Risk Değerlendirmesi: Gıda ve hayvan yemi olarak kullanılacak GDO ürünlerinin ithalatından 270 gün önce risk değerlendirilmesi yapılmalıdır. GDO'ların ekolojik riskleri ile ticareti arasındaki dengeleme öngörülmektedir.

Bu protokol, GDO'ların güvenli bir şekilde ticaretini sağlamak ve çevresel riskleri minimize etmek amacıyla önemli düzenlemeler getirmektedir. Özetle, Cartagena Biyogüvenlik Protokolü, GDO'ların uluslararası ticaretinde dikkat edilmesi gereken prosedürler ve önlemler hakkında kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır.

9. TÜRKİYEDE YASAL DÜZENLEMELER

1988 yılında yayımlanan “Tohumluk İthalât Uygulama Genelgesi”, tohum ithalatı konusundaki düzenlemeleri ele alan ilk genelge olmuştur. Bu genelge, Türkiye’de tarımsal üretimde kullanılan tohumların ithalatına yönelik bir çerçeve sunmuştur (Celen, 2014).

Takip eden yıllarda, GDO ve ürünlerine yönelik düzenlemeler de gündeme gelmiştir. 14 Mayıs 1998 tarihinde yürürlüğe giren “Transgenik Kültür Bitkilerinin Alan Denemeleri Hakkında Talimat”, GDO’ların ülkemize ithal edilmeden önce alan denemesine tabi tutulmasını zorunlu kılmıştır. Bu talimat, genetiği değiştirilmiş ürünlerin Türkiye’de üretilip tüketilmeden önce belirli şartları sağlaması gerektiğini öngörmektedir. Örneğin, bu ürünlerin geliştirildikleri ülkelerde tescil edilmiş olmaları ve en az 5 yıldır üretilip tüketiliyor olmaları gerekmektedir (Soykan, 2007).

Bu gelişmeler ışığında, Türkiye’de biyogüvenlik konusunda daha kapsamlı bir düzenleme ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyaç doğrultusunda, 16 Aralık 2009 tarihinde “Ulusal Biyogüvenlik Kanunu Tasarısı” TBMM Başkanlığı’na

sunulmuştur. Biyogüvenlik Kanunu, GDO ve ürünlerine dair bir dizi yasak ve düzenlemeyi içermektedir. Kanunun 5. maddesi, GDO ve ürünlerinin belirli koşullar altında piyasaya sürülmesini ve kullanılmasını yasaklamaktadır (Doğan ve Işıktaş, 2023). Bu yasaklar şunları kapsamaktadır:

- ✓ GDO ve ürünlerinin, onay alınmadan piyasaya sunulması.
- ✓ GDO ve ürünlerinin, Kurulun kararlarına aykırı bir şekilde kullanılması veya kullandırılması.
- ✓ Genetiği değiştirilmiş bitki ve hayvanların üretimi.
- ✓ GDO ve ürünlerinin, Kurul tarafından belirlenen amaçlar ve alanlar dışında kullanılması
- ✓ GDO ve ürünlerinin, bebek mamaları, bebek formülleri, devam mamaları ve bebekler ile küçük çocuklar için ek gıdalarda kullanılması.

Biyogüvenlik Kanunu'na göre, GDO'lu ürünler belirli şartlar altında etiketlenmelidir. Ancak, hayvansal ürünlerin üretiminde kullanılan hayvanların GDO içeren veya GDO'lardan oluşan yemlerle beslenmesi durumunda, bu hayvansal ürünlerin etiketlenmesine dair bir ibare bulunmamaktadır. Ayrıca, bir ürünün analiz edilmesi sonucunda %0,9 veya daha düşük oranda GDO tespit edilmesi durumunda, bu durum "GDO bulaşanı" olarak değerlendirilir ve ayrı bir etiketleme gerektirmez (Artemel, 2016).

Son olarak, 2014 yılında Biyogüvenlik Kurulu'nun izinleri doğrultusunda ithal edilen GDO'lu ürünlerin piyasaya sürülmesi gerçekleşmiştir. Bu düzenlemeler, Türkiye'nin biyogüvenlik konusundaki yaklaşımını ve GDO'lu ürünlerin yönetimini şekillendirmiştir (Doğan ve Işıktaş, 2023).

10. SONUÇ

Biyoteknolojik ürünlerin, gelecekte tarımsal üretimden çok daha geniş bir alanda hayatımızda önemli bir rol oynayabileceği düşünülmektedir. GDO'lar üzerinde devam eden araştırmalar, henüz yeterli deneysel kanıt olmadığı için bu ürünlerin yararları veya zararları hakkında kesin bir sonuca varılmasını zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla, bu teknolojilerin çevremize ve gelecek nesillere potansiyel etkilerini ve risklerini en aza indirmek için acil önlemler alınmalıdır. Bu tür ürünler, bilimsel araştırmalar tamamlandıktan sonra tüketime sunulmalı ve düzenli olarak yasal denetimlerden geçirilmelidir.

KAYNAKÇA

- Anonim. (2003). Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi Biyogüvenlik Cartagena Protokolü. Yayimlandigi Resmi Gazete Tarih: 11 Ağustos 2003.
- Artemel, M. N. (2016). Genetiği Değiştirilmiş Yem ile Beslenen Hayvanlardan Elde Edilen Ürünlerin Avrupa Birliği ve Türk Biyogüvenlik Hukukunda Onay ve Etiketleme Şartlarından Muaf Olması. *İstanbul Aydın Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 2(1), 151-171.
- Atsan, T., & Kaya, T. E. (2008). Genetiği Değiştirilmiş Organizmaların (GDO) Tarım ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(2), 1-6.
- Batalion N (2000). 50 Harmful Effects of Genetically Modified Foods. Americans for Safe Food, Oneonta, NY.
- Beyatlı, Y. (2000). *Biyoteknoloji Ders Notları*. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü.
- Celen, E. (2014). Türkiye'deki Biyogüvenlik Yasasının Etkilerinin Değerlendirilmesi. [Tez].
- Costa-Font, J., & Mossialos, E. (2007). Are Perceptions of Risk and Benefits of Genetically Modified Food in Dependent? *Food Quality and Preference*, 18(2), 173-182.
- Cui, Y., Ma, J., Liu, G., Wang, N., Pei, W., Wu, M., & Yu, J. (2019). Genome-wide identification, sequence variation, and expression of the glycerol-3-phosphate acyltransferase (GPAT) gene family in *Gossypium*. *Frontiers in Genetics*, 10, 116.
- Çabuk, M., Alçiçek, A., Bozkurt, M., & Eratak, S. (2005). Hayvan beslemede genetik olarak değiştirilmiş bitkilerin kullanımı. 1. Genetik olarak değiştirilmiş yemler ve

özellikleri. *III. Ulusal Hayvan Besleme Kongresi*, Adana, 540-543.

Çelik, V., & Balık, D. T. (2007). Genetiği Değiştirilmiş Organizmalar (GDO). *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 23(1), 13-23.

Çetinkaya, P. G., Soyer, Ö. U., & Şahiner, Ü. M. (2015). Genetiği Değiştirilmiş Organizmalar ve Alerji Arasındaki İlişki. *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi*, 58, 166-170.

de Vendmôis, J. S., Roullier, F., Cellier, D., & Séralini, G. E. (2009). A comparison of the effects of three GM corn varieties on mammalian health. *International Journal of Biological Sciences*, 5(7), 706-726.

Demir, A., Seyis, F., & Kurt, O. (2006). Genetik Yapısı Değiştirilmiş Organizmalar: I. Bitkiler. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 21(2), 249-260. <https://doi.org/10.7161/anajas.2006.21.2.249-260>

Demir, İ., & Demirbağ, Z. (1999). Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. *Turkish Journal of Biology*, 23(3), Article 5. Available at: <https://journals.tubitak.gov.tr/biology/vol23/iss3/5>

Demirel, F. (2020). Bitki ve Hayvan Biyoteknolojisi; Hücresel Tarım ve Nano-Teknoloji. *Journal of Agriculture*, 3(2), 1-9. <https://doi.org/10.46876/ja.822503>

Denli, M. (2012). *Genetiği Değiştirilmiş Organizmalar (GDO)*. İstanbul: İstanbul Ticaret Odası Yayınları.

Doğan, B. F., & Işıқтаş, E. (2023). 5977 Sayılı Biyogüvenlik Kanunu Kapsamında Temel Esaslar ve Hukuki Sorumluluk. *Türk-Alman Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 5(1), 33-80. <https://doi.org/10.59933/tauhfd.1321964>

- EC. (2015). Commission authorises 17 GMOs for food/feed uses and 2 GM carnations. *European Commission - Press release*, Brussels.
- Elpe, S. (2021). Genetiği Değiştirilmiş Organizmalar İnsan Sağlığı ve Çevre İçin Güvenli mi?. *Journal of Medical Sciences*, 2(4) 10-19., <https://doi.org/10.46629/JMS.2021.52>
- Günay, H., & Özdemir, M. (2016). İslami Açıdan Genetiği Değiştirilmiş Ürünler. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9(45).
- Güngör, E., & Demiryürek, K. (2021). Türkiye’de Genetiği Değiştirilmiş Organizmalar. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 7(2), 140-154.
- Hemmer, W. (2005). Foods Derived from Genetically Modified Organisms and Detection Methods. *BATS*. <http://www.bats.ch>
- İnce, H. Ö., Bahadıroğlu, C., Toroğlu, S., & Bozdoğan, H. (2013). Genetiği Değiştirilmiş Mısır Bitkisinin Zararlı Lepidopterlere Karşı Direnci Üzerine Değerlendirmeler. *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1).
- ISAAA. (2015). International Service for the Acquisition of Agri-BioTech Applications. <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/51/executivesummary/default.asp>
- ISAAA. (2018). Brief 53: Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2017. <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/53/default.asp>

- Kaynar, P. (2009). Genetik Olarak Değiştirilmiş Organizmalar GDO 'A Genel Bir Bakış. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 66(4), 177-185.
- Kıvılcım, Z. (2012). Cartagena Protokolü ve Türkiye Biyogüvenlik Mevzuatı. *Marmara Üniversitesi Avrupa Araştırmaları Enstitüsü Avrupa Araştırmaları Dergisi*, 20(1), 99-121. <https://doi.org/10.29228/mjes.128>
- Kıyak, S. (2004). Genetik Olarak Değiştirilmiş Gıdalar, Cartagena Biyogüvenlik Protokolü ve Türkiye'de Durum (1). *Çevreye Genç Bakış*, 4, 14-22.
- Meseri, R. (2008). Beslenme Ve Genetiği Değiştirilmiş Organizmalar. *Taf Preventive Medicine Bulletin*, 7(5), 455-460.
- Özer, I. (2003). Genetik Yapısı Değiştirilmiş Besinler. *Klinik Pediatri*, 2(2), 74-77.
- Pusztai, A., Bardocz, S., & Ewen, S. W. B. (2003). Genetically Modified Foods: Potential Human Health Effects. In J. P. F. D'Mello (Ed.), *Food Safety: Contaminants and Toxin* (pp. 347-372). UK: CAB International, Wallingford Oxon.
- Subrahmanyam, S., & Cheng, P. S. (2000). Perceptions and attitudes of Singaporeans toward genetically modified foods. *Journal of Consumer Affairs*, 34(2), 269-273.
- Velimirov, A., Binter, C., & Zentek, J. (2008). Biological effects of transgenic maize NK603XMON810 fed in long term reproduction studies in mice. *The Austrian Ministries of Agriculture and Health*, 28-82.
- Walsh, G. (2014). Biopharmaceutical benchmarks 2014. *Nature Biotechnology*, 32(10), 992-1000.

- Whitney, S. L., et al. (2004). “This Food May Contain...” What Nurses Should Know About Genetically Engineered Foods. *Nursing Outlook*, 52(5), 262-266.
- Wieczorek, A. M. (2012). History of Agricultural Biotechnology: How Crop Development has Evolved. *Nature Education Knowledge*, 3(10), 9.
- Yılmaz, M. M. (2012). *Türkiye’deki İşlenmiş Soya Ürünlerinde Kalitatif Ve Kantitatif GDO Tanısı ve Transgen Analizi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı, İstanbul.
- Zülal, A. (2003). Gen Aktarımlı Tarım Ürünleri. *Bilim ve Teknik*, 426, 38-43.
- Zülal, A. (2000). Gen Aktarımlı Bitkilerin Geleceği. *Bilim ve Teknik*, 388, 92-94.

NANOYAPILAR: MEVCUT KULLANIMLARI VE GIDA BİLİMİNDEKİ GELECEK UYGULAMALARI

Özen SÖKMEN¹

Ayşe Neslihan DÜNDAR²

1. GİRİŞ

Nanoteknoloji, 1-100 nanometre ölçeğinde değişen ölçülerde yapılan işlemler, ölçümler, tasarımlar, modellemeler ve düzenlemelerle ilgilenen, yeni ve hızla gelişen bir bilim ve teknoloji alanıdır (Tolochko 2009). Bu alandaki çalışmalar, maddelere atom ve molekül düzeyinde müdahale ederek onlara gelişmiş veya tamamen yeni fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler kazandırmayı amaçlar. Bu sayede, maddelerin işlevselliği önemli ölçüde artırılabilir (Kut ve Güneşoğlu, 2005). Nanoteknoloji, malzeme mühendisliği, biyoteknoloji, tıp, elektronik ve gıda gibi çeşitli disiplinlerde yenilikçi çözümler sunarak, mevcut teknolojileri geliştirme ve tamamen yeni teknolojiler yaratma potansiyeline sahiptir (Serena, 2016; Tüylek 2021). Atom ve molekül ölçeğinde maddeyi manipüle ederek, bilim insanları ve mühendisler, daha önce mümkün olmayan özelliklere ve performanslara sahip malzemeler geliştirebilirler (Tüylek, 2021).

¹ Dr., Natura Gıda San. Ve Tic. A.Ş., ozensokmen@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2126-094X.

² Doç. Dr., Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, ayse.dundar@btu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2084-7076.

Nanoteknolojinin gıda bilimindeki uygulamaları, gıda sektöründe gıda güvenliğini ve yeni gıda ürünleri konusunda hayati önem taşımaktadır (Tarhan vd., 2010). Fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri içeren bu nanoyapıların ve nanomalzemelerin benzersiz özellikleri, gıda sistemlerindeki biyolojik ve fiziksel oluşumların geleneksel yaklaşımlara göre oldukça farklılık gösterir (Moghis, 2012) .

Nanoteknolojideki son gelişmeler, gıda sektöründe yeni ve yenilikçi uygulamaların önünü açarak, gıda ambalajlamadan biyolojik bileşenlerin kontrollü salımına kadar geniş bir yelpazede önemli ilerlemeler sağlamıştır (Sozer ve Kokini). Bu bağlamda, nanosensörler, yeni ambalaj malzemeleri ve kapsüllenmiş gıda bileşenleri gibi nanoyapılı malzemeler, gıda bilimi alanında devrim niteliğinde yenilikler sunmakta ve gıdaların üretimi ve depolanması sırasında aktif bileşenlerin korunmasına, biyoyararlanımının artırılmasına ve kontrollü salıma olanak tanımaktadır (Tüylek, 2021).

Son çalışmalara göre, gıda güvenliğini geliştirmek, ambalajlamayı geliştirmek ve fonksiyonel gıdalar için nanoteknolojinin potansiyel uygulamalarını belirlenmiştir. Gıdanın raf ömrünü arttırma (koruma), gıda güvenliği, renklendirme, lezzetlendirme, besin katkı maddeleri, gıda ambalajlarında antimikrobiyal bileşenlerin kullanılması, gıda endüstrisinde nanoteknolojinin önemli uygulamalarından bazılarıdır (Sürengil ve Kılınç, 2011; Tarhan vd., 2010)

Nanoteknoloji, gıda sektöründe yenilikçi ürünler ve süreçler üretme konusunda büyük bir potansiyele sahip olsa da gıda bilimi ve teknolojisinde aşılması gereken birçok zorluk vardır. Başlıca zorluklar; insan tüketimi ve güvenliği için etkili bir formülasyon, ekonomik işleme operasyonlarını kullanarak yenilebilir ambalaj üretimi başlıca zorluklardandır. Öte yandan, nanoyapılar basit ve ekonomik yaklaşımlar kullanarak (tabaka-

tabaka tekniği gibi) gıda sınıfı içeriklerden üretilir (Tüylek, 2021).

2. NANOYAPILARDA KULLANILAN YÖNTEMLER

Nanomalzemeler, belirli uygulamalara uygun benzersiz özelliklere sahip olduklarından, hem yukarıdan aşağıya (top-down) hem de aşağıdan yukarıya (bottom-up) yaklaşımları kullanarak sentezlenir ve üretilirler. Bu iki yaklaşım, malzemelerin nano boyuta indirilmesi veya atom ve molekül seviyesinde birleştirilmesi yoluyla oluşturulmalarını ifade eder (Wolfgang, 2007).

2.1. Yukarıdan Aşağıya Yaklaşım (Top-Down Approach)

Bu yaklaşım, mevcut büyük boyutlu malzemeleri alarak onları nano ölçekli parçalara bölme sürecini kapsar.

İşlem Adımları:

- ✓ **Mekanizma:** Bu yöntemde, büyük boyutlu dökme malzemeler çeşitli mekanik işlemlerle, genellikle frezeleme veya öğütme kullanılarak, daha küçük boyutlara indirgenir. Bu işlemler sonucunda nanometre ölçeğinde parçacıklar elde edilir (Koch, 2003; Luther, 2004; Menciloğlu ve Kırca, 2008).
- ✓ **Stabilizasyon:** Elde edilen bu nanomalzemeler, kolloidal çözücüler ve koruyucu ajanlar eklenerek stabilize edilir. Bu adım, nanomalzemelerin bir arada kalmasını ve çözelti içinde homojen olarak dağılmasını sağlar (Ateş ve Bahçeci, 2015).

Dezavantajlar:

- ✓ **Seri Üretim Uygunluğu:** Yukarıdan aşağıya yaklaşımı, büyük miktarlarda malzemenin nano ölçekte işlenmesini gerektirdiği için seri üretime pek uygun değildir. Üretim süreci genellikle karmaşık ve maliyetlidir (Atik ve Bilgin, 2018).
- ✓ **Kirlenme:** Mekanik işlemler sırasında kullanılan ekipmanlardan veya çevreden gelen kirleticiler, nanomalzemelere karışabilir. Bu kirlenme, malzemelerin saflığını ve performansını düşürebilir (Edelstein ve Cammarata, 2001).
- ✓ **İç Stres:** İşlem sırasında meydana gelen mekanik baskılar, nanomalzemelerde iç stres oluşmasına neden olabilir. Bu stres, malzemelerin stabilitesini ve mekanik özelliklerini zayıflatabilir (Edelstein ve Cammarata, 2001).
- ✓ **Malzeme İsrafı:** Büyük boyutlu malzemelerin küçük parçalara ayrılması sırasında önemli miktarda malzeme israfı olabilir. Bu, süreçteki verimliliği azaltır (Atik ve Bilgin, 2018).

2.2. Aşağıdan Yukarıya Yaklaşım (Bottom-Up Approach)

Bu yaklaşım, malzemelerin atom ve molekül düzeyinde bir araya getirilmesiyle nanoyapılar oluşturmayı hedefler.

İşlem Adımları:

- ✓ **Mekanizma:** Aşağıdan yukarıya yaklaşımda, atomlar ve moleküller bir araya getirilerek daha büyük nanoyapılar oluşturulur. Bu, genellikle kimyasal reaksiyonlar veya kendiliğinden düzenlenme süreçleri yoluyla gerçekleştirilir (Andreo vd., 2022).

- ✓ **Kontrol ve Hassasiyet:** Bu yaklaşım, malzemelerin özelliklerinin ve yapılarının atomik düzeyde kontrol edilmesine olanak tanır. Bu sayede, belirli uygulamalar için istenilen özelliklere sahip nanomalzemeler tasarlanabilir (Andreo vd., 2022).

Dezavantajlar:

- ✓ **Yavaş ve Karmaşık Süreçler:** Aşağıdan yukarıya yaklaşım, malzemelerin atomik düzeyde inşa edilmesini gerektirdiği için genellikle yavaş ve karmaşık süreçleri içerir (Neikov, 2009; Li ve Chen, 2010; Abid vd., 2021).
- ✓ **Düşük Ölçeklenebilirlik:** Bu yöntemle büyük miktarlarda nanomalzeme üretmek zordur. Bu, seri üretim için bir dezavantaj oluşturabilir (Neikov, 2009; Li ve Chen, 2010; Abid vd., 2021).
- ✓ **Kontaminasyon Riski:** Kimyasal reaksiyonlar sırasında kullanılan reaktifler ve çözücüler, nanomalzemeleri kontamine edebilir (Neikov, 2009; Li ve Chen, 2010; Abid vd., 2021).

Her iki yaklaşımın da kendi avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Spesifik uygulama gereksinimlerine bağlı olarak, uygun yaklaşım seçilerek nanomalzemelerin üretimi gerçekleştirilmektedir.

3. GIDALARDA NANOYAPILI MALZEMELER

Nanoteknoloji, gıda bilimine önemli yenilikler getirmektedir. Doğal ve sentetik nanomalzemeler, gıda ürünlerinde çeşitli roller oynar, gıdaların besleyici değerini ve biyoyararlanımını artırır, ayrıca biyoaktif bileşenlerin korunmasına yardımcı olur. İşte bu nanomalzemelerden bazıları ve gıdalardaki fonksiyonları:

3.1. Doğal Nanomalzemeler

Gıda Proteinleri:

Birçok gıda proteini, 10 nanometre (nm) ila 100 nm arasında değişen küresel yapılara sahiptir. Örnek: Bu, proteinlerin çok küçük, yuvarlak şekillerde olduğu anlamına gelir (Bugusu vd., 2005).

Polisakkaritler ve Lipitler:

Polisakkaritler (kompleks şekerler) ve lipitler (yağlar), çoğunlukla kalınlığı 1 nm'den daha az olan doğrusal polimer zincirleri şeklindedir. Bu yapılar tek boyutlu nanoyapılar olarak adlandırılır çünkü sadece bir yönde uzundur (Bhupinder, 2010).

Süt ve Süt Ürünleri:

Süt proteini olan kazein, doğal bir nanoyapıya sahiptir. Kazein molekülleri, süt ve süt ürünlerinde bulunan küçük yapı taşlarıdır (Bugusu vd., 2005).

3.2. Sentetik Nanoyapılı Sistemler

Polimerik Nanopartiküller (NP'ler):

Polimerik nanopartiküller, uzun, zincir benzeri moleküllerden (polimerlerden) yapılmış küçük taneciklerdir. Bu partiküller, gıdalardaki polar olmayan molekülleri (örneğin, lipitler, vitaminler ve antioksidanlar) kapsülleyebilir. Miseller, çapı 5-100 nm arasında olan ve bu tür molekülleri içine alabilen küresel yapılardır. Suda çözünmeyen bileşenler, miseller kullanılarak çözünebilir hale getirildiğinde, bu yapılar mikroemülsiyonlar olarak adlandırılır (Mozafari vd., 2008; Zohri vd., 2009; Zigoneanu vd., 2008; Hilty vd., 2009).

Lipozomlar:

Lipozomlar, fosfolipid benzeri bileşenlerden oluşan küçük, yuvarlak yapılardır. Bu yapı, gıda endüstrisinde

fonksiyonel bileşenleri kapsüllemek ve biyoyararlanım sağlamak amacıyla kullanılır (Mozafari vd.,2008).

Nanoemülsiyonlar:

Nanoemülsiyonlar, çok küçük damlacıklardan oluşan karışımlardır. Damlacık boyutları genellikle 50 nm ila 100 nm arasında değişir. Bu yapı, koloidal dispersiyon olarak bilinir. Aromalı yağlar, salata sosları, kişiselleştirilmiş içecekler, tatlandırıcılar ve diğer işlenmiş gıdaların üretiminde kullanılır (Weiss vd., 2006; Gharsallaoui vd., 2007; Drusch, 2007; Weiss vd., 2008).

Mikroemülsiyonlar:

Mikroemülsiyonlar, nanoemülsiyonlardan daha büyük damlacıklar içeren karışımlardır. Gıdalardaki biyoaktif bileşenlerin korunmasına ve çözünürlüğün artırılmasına yardımcı olurlar (Weiss vd., 2008).

Doğal nanoyapılar ve sentetik nanomalzemeler, gıda ürünlerinde çok önemli roller oynar. Bu yapılar, gıdaların biyoyararlanımını artırabilir, biyoaktif bileşenlerin korunmasına yardımcı olabilir ve gıdaların çözünürlüğünü iyileştirebilir. Nanoteknolojinin gıda bilimine entegrasyonu, gıda kalitesini ve besleyici değerini artırmada büyük bir potansiyele sahiptir.

4. GIDA ENDÜSTRİSİNDE NANOYAPI UYGULAMALARI

Nanoteknolojinin gıda bilimi ve teknolojisindeki potansiyel uygulamaları, genellikle dört ana kategoriye ayrılır: ambalajlama, işleme teknolojisi, antimikrobiyal maddeler ve gıda bileşenleri.

Ambalajlama:

Nanomalzemeler, gıdaların raf ömrünü uzatmak ve kalitesini korumak için akıllı ve aktif ambalajlarda kullanılabilir. Bu ambalajlar, gıda ürünlerinin bozulma belirtilerini izlemek ve patojenlerin varlığını tespit etmek gibi işlevler sağlayabilir. Aynı zamanda çevresel değişikliklere cevap verme yeteneği sağlayarak ürünün durumu hakkında bilgi verebilir. Bu ambalajlar, antimikrobiyal veya antioksidan ajanlar gibi serbest hareket eden molekülleri içerir ve gaz temizleyiciler olarak işlev görür. Antimikrobiyaller ve oksijen tutucular, enzim sistemlerinin çalışmasını engeller. Ayrıca, mineraller, probiyotikler ve vitaminler gibi fonksiyonel katkı maddeleri kontrollü salınımlı ambalajlar yapılarak gıdanın raf ömrünü uzatabilir. Örneğin, gümüş nanoparçacıklar (NP'ler), ambalaj malzemelerinde 6 dakika içinde mikroorganizmaları öldürerek yiyeceği daha uzun süre korur. Naylon nanokompozitler, oksijen ve karbondioksit akışını engelleyerek gıda ambalajında tazeliği korur ve kokuları önler (Brody, 2006; Arora ve Padua, 2010).

Antimikrobiyaller:

Nanomalzemeler, gıdalarda mikrobiyal büyümeyi engelleyebilecek antimikrobiyal özelliklere sahip olabilir. Bu, gıdaların güvenliğini artırmada önemli bir adım olabilir (Sorrentino vd., 2007; Vartiainen vd., 2005)

Gıda Bileşenleri:

Nanoteknoloji, gıdalarda kullanılan bileşenlerin işlevselliğini artırabilir. Örneğin, vitaminler, omega-3 yağ asitleri ve polifenoller gibi biyoaktif bileşenler nanoyapılar kullanılarak daha etkili bir şekilde gıdalara entegre edilebilir ve vücut tarafından daha iyi emilebilir (Garti ve Aserin, 2007; Quintanilla-Carvajal vd.,2009).

Bu uygulamalar, gıdaların kalitesini, güvenliğini ve besleyici değerini artırmada önemli rol oynar. Gıda bilimine nanoteknolojinin entegrasyonu, gıda ürünlerinin işlenmesi, depolanması ve tüketiciye sunulması süreçlerinde devrim yaratabilir.

Bu şekilde nanoteknoloji, gıda bilimi ve teknolojisinde hem doğrudan gıdalarda hem de dolaylı olarak ambalaj ve sensör teknolojilerinde geniş bir kullanım yelpazesine sahiptir.

4.1. Nanosensörler

Nanosensörler, gıda güvenliğini ve kalitesini izlemek için kullanılan ileri teknoloji cihazlardır. Genellikle polimerler ve nano ölçekteki bileşenlerle birleştirilirler.

Akıllı Ambalajlama:

Nanosensörler, akıllı ambalajlama sistemlerinin bir parçası olarak, depolama ve taşıma sırasında gıda patojenlerini ve kimyasalları izlemek için kullanılır. Bu, gıdaların güvenli ve sağlıklı kalmasını sağlar. Aynı zamanda, akıllı ambalajlar, gıda paketinin hasar görmemesini ve içindeki ürünün sahte olmadığını garanti eder. Ayrıca, bu sensörler zaman, sıcaklık ve son kullanma tarihi gibi önemli bilgileri de izleyebilir. (McClements, 2009; Augustin ve Sanguansri, 2009; Sanguansri ve Augustin, 2006; Bouwmeester ve Sips, 2007).

Toksin ve Patojen Tespiti:

Yakın zamanda yayınlanan raporlar, nanosensörlerin ambalajdaki toksinleri ve gıda patojenlerini tespit edebildiğini göstermiştir. Bu, gıdaların güvenliğini artıran önemli bir gelişmedir (Shrivastava, 2009; Yeğenoğlu vd., 2013).

Yiyecek Analizi ve Klinik Teşhisler:

Nanosensörler, yiyeceklerin analiz edilmesi, aroma kontrolü ve içme suyunun kalitesinin belirlenmesi için

geliştirilmiştir. Bu sensörler aynı zamanda klinik teşhislerde de kullanılabilir, bu da sağlık sektöründe önemli bir uygulama alanıdır (Ivnitski vd., 1999; Gracias ve McKillip, 2004; Yeh ve Haggerty, 2005).

Nanosensörler, gıda güvenliği ve kalitesini izleme konusunda devrim yaratmaktadır. Bu ileri teknoloji cihazlar, gıda patojenlerini, toksinleri ve diğer önemli değişkenleri hızlı ve etkili bir şekilde tespit edebilir. Akıllı ambalajlama sistemlerinin bir parçası olarak kullanıldıklarında, gıda ürünlerinin bütünlüğünü ve orijinalliğini sağlama konusunda büyük bir avantaj sunarlar. Nanosensörlerin bu geniş kullanım alanları, gıda güvenliği ve kalitesinin gelecekte nasıl gelişeceğine dair önemli ipuçları sunmaktadır.

5. TOKSİKOLOJİK YÖNLER

İnsanlar günlük yaşamlarında havadaki nanomateryallere maruz kalmaktadır. Nanopartiküller; duman, uyuşturucu, boya, kozmetik ürünler, sabun, şampuan, deterjan, güneş kremi, tenis raketleri, video ekranları, kaplamalar, katalizörler, beton, lastikler, elektronik parçalar, kumaşlar, giysiler, dizel yakıt, benzin, teller, tüpler, kömür madenleri, imalat fabrikaları, endüstriyel tesisler, piller, yakıt hücreleri, volkanlar, çevre kirliliği, bakteriler, virüsler ve insan yapımı nanoyapılı malzemelerde bulunabilir. Nanoyapılı malzemelerin birçok kaynağı ve geniş bir yelpazesi vardır. Bu malzemelerin üretim süreçleri ve toksisitesi, ilk kez Zhao ve Nalwa tarafından “Nanotoksikoloji” başlıklı kitapta belgelenmiştir (Zhao ve Nalwa, 2007). Son zamanlarda, nanoyapılı malzemelerin insan sağlığı ve çevre üzerindeki toksik etkileri büyük ilgi görmektedir. Bilim camiası, genel halk ve politika yapıcılar, bu yeni nesil nano ölçekli malzemelerin biyouyumluluğu ve olumsuz etkileri hakkında bilgi sahibi olmak istemektedir. İnsan yapımı

nanopartiküllerin, duman, gıda, ilaçlar, bakteriler, virüsler ve cilt bakım ürünleri gibi çeşitli kaynaklardan insan vücuduna girip girmediği merak konusudur. Nanoyapılı malzemeler yiyecek, içecek ve ilaç yoluyla vücuda girerek beyin, karaciğer, böbrek, kalp, kolon, dalak, kemik, kan gibi organ ve dokuları etkileyebilmektedir. Solunan nano ölçekli parçacıklar burun sinirleri yoluyla beyne ulaşabilmekte ve nanopartiküller sindirim sistemi, deri veya enjekte edilen ilaçlar yoluyla kan dolaşımına katılabilmektedir (Singh ve Nalwa, 2007)

Nanoteknolojinin gıda sektöründeki faydalarına rağmen, bazı nanoyapıların potansiyel toksik etkileri de göz ardı edilmemelidir.

Toksosite Mekanizmaları ve Potansiyel Riskler:

- ✓ Nanoyapıların geniş yüzey alanı ve yüksek reaktivitesi, insan ve diğer organizmalar için sağlık tehditleri oluşturabilir.
- ✓ Gıda sektöründeki nanoyapılar doğrudan bir sağlık riski yaratmasa da nano ölçekli özellikleri istenmeyen yan etkilere neden olabilir (Medina vd., 2007; Tse vd.,2010).
- ✓ Nanomalzemeler, reaktif oksijen türleri (ROS)'un sebep olduğu oksidasyon yoluyla DNA hasarı, düzensiz hücre sinyalleme, hücre hareketliliğinde değişiklikler, hücre ölümleri ve kanser başlangıcına yol açabilir (Cushen, 2012; Gaillet ve Rouanet, 2015; Johnston vd.,2010).

Nanotoksitenin kritik belirleyicileri, nanopartiküllerin insan sağlığı ve çevre üzerindeki potansiyel etkilerini anlamak için önemli bilgiler sağlar. Bu belirleyiciler arasında nanopartikül boyutu ve şekli bulunur; küçük boyutlu ve farklı şekilli partiküller, hücre zarlarını daha kolay geçebilir ve hücre içi organeller üzerinde etkili olabilir. Ayrıca, partikül yüzey özellikleri, nanopartiküllerin hücrelerle etkileşimini belirler;

hidrofobik veya hidrofilik yüzeyler, hücrelerle farklı şekillerde etkileşime geçebilir. Partikül yüzeyindeki pozitif yükler ve kimyasal gruplar, nanopartiküllerin hücre zarlarına bağlanma yeteneğini artırabilir ve biyolojik moleküllerle spesifik etkileşimlere yol açabilir. Bunların yanı sıra, partikül çözünürlüğü, nanopartiküllerin biyolojik ortamlarda çözünerek metal iyonları salmasına ve toksik etkiler oluşturmaya neden olabilir. UV ışık aktivasyonu, partiküllerin reaktif oksijen türleri üretmesine ve hücre hasarına yol açabilecek potansiyelini artırabilir. Partikül agregasyonu da önemlidir çünkü kümelenmiş partiküller, tek başına olanlardan farklı toksisite özelliklerine sahip olabilir. Son olarak, nanopartiküllerin hücre içine alınma şekli, hücre içi toksik etkilerin derecesini belirler ve biyolojik sistemler üzerindeki etkilerini şekillendirir. Bu belirleyiciler, nanotoksitenin araştırılmasında ve nanopartiküllerin güvenli kullanımının değerlendirilmesinde kritik öneme sahiptir. (Plata ve ark., 2008; EPA 2009).

6. SONUÇ

Nanoteknoloji, gıda endüstrisinde önemli potansiyellere sahiptir, ancak uygulamalarının çoğu hala geliştirme aşamasındadır ve genellikle yüksek değerli ürünlere odaklanmaktadır. Bu teknoloji, gıda lezzetini ve dokusunu iyileştirmek, besin maddelerini kapsüllemek, yağ içeriğini azaltmak veya raf ömrünü uzatmak için kullanılabilir. Ayrıca, nanomateryallerin kullanıldığı akıllı gıda ambalajları, tüketiciye içindeki gıdanın durumu hakkında bilgi sağlayabilir ve gıdanın bozulma sürecini izleyebilir. Nanoteknoloji, gıda ambalaj endüstrisini değiştirme potansiyeline sahiptir, ancak bu durum hem hükümetler hem de endüstri için düzenleme ve güvenlik konularında zorluklar yaratmaktadır. FDA gibi düzenleyici kurumların güvenlik kılavuzları oluşturmaları ve nanogıdaların

güvenilirliğini sağlaması gerekmektedir. Nanoteknolojiyle üretilen gıdaların doğal gıdalardan farklı olduğu ve güvenliklerinin ayrıca test edilmesi gerektiği unutulmamalıdır. Nanoteknolojinin potansiyel riskleri ve faydaları hakkında daha fazla bilimsel araştırma ve standart test prosedürleri geliştirilmesi önemlidir. Sonuç olarak, nanoteknolojiyle üretilen gıda ürünlerinin, tüketicilere sunulmadan önce detaylı bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir, bu da potansiyel etiketleme ve düzenleyici gereklilikleri beraberinde getirebilir.

KAYNAKÇA

- Abid, N., Khan, A.M., Shujait, S., Chaudhary, K., Ikram, M., Imran, M., Haider, J., Khan, M.U., Khan, Q., & Maqbool, M.H. (2021). Synthesis of nanomaterials using various top-down and bottom-up approaches, influencing factors, advantages, and disadvantages: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 300, 102597.
- Ahmad, M. U. (2012). *Lipids in nanotechnology*. Urbana: AOCS Press.
- Andreo, J., Ettlinger, R., Zaremba, O., Peña, Q., Lächelt, U., de Luis, R. F., Freund, R., Canossa, S., Ploetz, E., Zhu, W., Diercks, C. S., Gröger, H., & Wuttke, S. (2022). Reticular nanoscience: Bottom-up assembly nanotechnology. *J Am Chem Soc*, 144(17), 7531-7550. <https://doi.org/10.1021/jacs.1c11507>
- Arora, A., & Padua, G. W. (2010). Review: Nanocomposites in food packaging. *Journal of Food Science*, 75, R43-R49. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01456.x>
- Ateş, H., & Bahçeci, E. (2015). Reticular nanoscience: Bottom-up assembly nanotechnology. *GU J Sci, Part C*, 3(2), 483-499.
- Atik, İ., & Bilgin, M.B. (2018). Mimarlıkta nanoteknolojinin yeri. *Kent Akademisi*, 11(33), 232-242.
- Augustin, M. A., & Sanguansri, P. (2009). Nanostructured materials in the food industry. *Advances in Food and Nutrition Research*, 58, 183-213.
- Bouwmeester, H., & Sips, A. (2007). Safety for consumers of application of nanotechnologies and nanoparticles in food production. *Toxicol Lett.*, 172(Suppl 1), S191.

- Brody, A. (2006). Nano and food packaging technologies converge. *Food Technol.*, 60(3), 92–94.
- Bugusu, B., Mejia, C., Magnuson, B., & Tafazoli, S. (2009). Global regulatory food policies on nanotechnology. *Food Technol.*, 63(5), 24–29.
- Cushen, M., Kerry, J., Morris, M., Cruz-Romero, M., & Cummins, E. (2012). Nanotechnologies in the food industry – Recent developments, risks and regulation. *Trends in Food Science & Technology*, 24(1), 30-46.
- Drusch, S. (2007). Sugar beet pectin: A novel emulsifying wall component for microencapsulation of lipophilic food ingredients by spray-drying. *Food Hydrocolloids*, 21, 1223–1228.
- Edelstein, A. S., & Cammarata, R. C. (2001). *Nanomaterials: Synthesis, properties and applications*. Institute of Physics Publishing.
- EPA (Environmental Protection Agency). (2009). *Nanotechnology White Paper*. Washington, DC, USA, 2007. Retrieved from <http://www.epa.gov/osa/pdfs/nanotech/epa-nanotechnology-whitepaper-0207.pdf>
- Gaillet, S., & Rouanet, J. M. (2015). Silver nanoparticles: Their potential toxic effects after oral exposure and underlying mechanisms – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 77, 58-63.
- Garti, N., & Aserin, A. (2007). Understanding and controlling the microstructure of complex foods. In J. MD (Ed.), *Nanoscale liquid self-assembled dispersions in foods and the delivery of functional ingredients* (pp. 504–553). Woodhead Publishing Ltd.

- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Res Int.*, 40(9), 1107–1121.
- Gracias, K. S., & McKillip, J. L. (2004). A review of conventional detection and enumeration methods for pathogenic bacteria in food. *Canadian Journal of Microbiology*, 50, 883-890.
- Haggerty, T. D., Perry, S., Sanchez, L., Perez-Perez, G., & Parsonnet, J. (2005). Significance of transiently positive enzyme linked immunosorbent assay results in detection of helicobacter pylori in stool samples from children. *Journal of Clinical Microbiology*, 43, 2220-2223.
- Hilty, F. M., Teleki, A., Krumeich, F., et al. (2009). Development and optimization of iron- and zinc-containing nanostructured powders for nutritional applications. *Nanotechnology*, 20(47), 475101.
- Hoppe, P. P., Krämer, K., van den Berg, H., Steenge, G., & van Vliet, T. (2003). Synthetic and tomato-based lycopene have identical bioavailability in humans. *Eur J Nutr*, 42(5), 272–278.
- Ivnitski, D., Abdel-Hamid, I., Atasanov, P., & Wilkins, E. (1999). Biosensors for detection of pathogenic bacteria. *Biosensors and Bioelectronics*, 14, 599-624.
- Johnston, H. J., Hutchison, G., Christensen, F. M., Peters, S., Hankin, S., & Stone, V. (2010). A review of the in vivo and in vitro toxicity of silver and gold particulates: Particle attributes and biological mechanisms responsible for the observed toxicity. *Critical Reviews in Toxicology*, 40(4), 328-346.

- Koch, C. C. (2003). Top-down synthesis of nanostructured materials: Mechanical and thermal processing methods. *Rev. Adv. Mater. Sci*, 5, 91-99.
- Kut, D., & Güneşoğlu, C. (2005). Nanoteknoloji ve tekstil sektöründeki uygulamaları. *Tekstil&Teknik*, Şubat, 224-230.
- Li, L. H., Chen, Y., & Glushenkov, A. M. (2010). Synthesis of boron nitride nanotubes by boron ink annealing. *Nanotechnology*, 21(10), 105601. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/21/10/105601>
- Luther, W. (2004). International strategy and foresight report on nanoscience and nanotechnology.
- McClements, D. J. (2009). Design of nano-laminated coatings to control bioavailability of lipophilic food components. *J Food Sci.*, Epub online: December 10. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01452.x>
- Medina, C., Santos-Martinez, M. J., Radomski, A., Corrigan, O. I., & Radomski, M. W. (2007). Nanoparticles: Pharmacological and toxicological significance. *British Journal of Pharmacology*, 150, 552-560.
- Menceloğlu, Y. Z., & Kırca, M. B. (2008). Nanoteknoloji ve Türkiye. TÜSİAD, Yayın No: T/2008-11/474.
- Mozafari, M. R., Johnson, C., Hatziantoniou, S., & Demetzos, C. (2008). Nanoliposomes and their applications in food nanotechnology. *J Liposome Res.*, 18(4), 309–327.
- Neikov, O. D. (2009). Mechanical crushing and grinding. In *Handbook of non-ferrous metal powders* (pp. 45–62). Elsevier Ltd.
- Plata, D. L., Gschwend, P. M., & Reddy, C. M. (2008). Industrially synthesized single-walled carbon nanotubes:

Compositional data for users, environmental risk assessments, and source apportionment. *Nanotechnology*, 19(18), 185706.

Quintanilla-Carvajal, M. X., Camacho-Díaz, B. H., Meraz-Torres, L. S., et al. (2009). Nanoencapsulation: A new trend in food engineering processing. *Food Engineering Reviews*. <https://doi.org/10.1007/s12393-009-9012-6>

Sanguansri, P., & Augustin, M. A. (2006). Nanoscale materials development – a food industry perspective. *Trends Food Sci Technol.*, 17(10), 547–556.

Sekhon, B. S. (2010). Food nanotechnology – an overview. *Nanotechnology, Science and Applications*, 1-15. <https://doi.org/10.2147/nsa.s12187498>

Serena, P. A. (2016). *La nanotecnología. Explorando un cosmos en miniatura*. Barcelona: RBA.

Shrivastava, S., & Dash, D. (2009). Agrifood nanotechnology: A tiny revolution in food and agriculture. *Journal of Nano Research*, 6, 1-14.

Singh, S., & Nalwa, H. S. (2007). Nanotechnology and health safety – Toxicity and risk assessments of nanostructured materials on human health. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 7(9), 3048–3070.

Sorrentino, A., Gorrasi, G., & Vittoria, V. (2007). Specialty biotech Thailand. *Trends Food Sci. Technol.*, 18, 84–95.

Sozer, N., & Kokini, J. L. (2008). Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in Biotechnology*, 27(2), 82-89.

Sürengil, G., & Kılınç, B. (2011). Gıda - ambalaj sektöründe nanoteknolojik uygulamalar ve su ürünleri açısından önemi. *Journal of FisheriesSciences.com*, 5(4), 317-325.

- Tarhan, Ö., Gökmen, V., & Harsa, Ş. (2010). Nanoteknolojinin gıda bilim ve teknolojisi alanındaki uygulamaları. *Gıda*, 35(3), 219-225.
- Tolochko, N. K. (2009). History of nanotechnology. In V. Kharkin, C. Bai, O. O. Awadelkarim, & S. Kapitsa (Eds.), *Nanoscience and nanotechnology*. Oxford, UK: UNESCO, EOLSS, Encyclopedia for Life Support Systems.
- Tse, L. A., Yu, I. T., Goggins, W., Clements, M., Wang, X. R., Au, J. S., & Yu, K. S. (2010). Are current or future mesothelioma epidemics in Hong Kong the tragic legacy of uncontrolled use of asbestos in the past? *Environmental Health Perspectives*, 118, 382-388.
- Türkan, Y. (2015). Nanoteknoloji yatırımları ve yatırım modelleri. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5(10).
- Tüylek, Z. (2021). Nanoteknoloji uygulamalarında hayatımıza yansımalar. *Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(2), 69-79. <https://doi.org/10.46239/ejbc.909023>
- Vartiainen, J., Rättö, M., & Paulussen, S. (2005). Antimicrobial activity of glucose oxidase-immobilized plasma-activated polypropylene films. *Packaging Technol Sci.*, 18, 243–251.
- Weiss, J., Decker, E. A., McClements, J., Kristbergsson, K., Helgason, T., & Awad, T. S. (2008). Solid lipid nanoparticles as delivery systems for bioactive food components. *Food Biophys.*, 3(2), 146–154.
- Weiss, J., Takhistov, P., & McClements, D. J. (2006). Functional materials in food nanotechnology. *J Food Sci.*, 71, R107–R116.

- Wolfgang, L. (2007, October 22). Bottom-up methods for making nanotechnology products.
- Yeğenoğlu, H., Aslım, B., & Tamer, U. (2013). Gıda patojenlerinin tanısında kullanılan nanoboyutlu immünosensör tasarımı. *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1), 58-68.
- Yeh, K. S., Tsai, C. E., Chen, S. P., & Liao, C. W. (2002). Comparison between VIDAS automatic enzyme-linked fluorescent immunoassay and culture method for Salmonella recovery from pork carcass sponge samples. *Journal of Food Protection*, 65, 1656-1659.
- Zhao, Y. L., & Nalwa, H. S. (Eds.). (2007). *Nanotoxicology – Interactions of nanomaterials with biological systems*. Los Angeles, CA: American Scientific Publishers.
- Zigoneanu, I. G., Astete, C. E., & Sabliov, C. M. (2008). Nanoparticles with entrapped α -tocopherol: Synthesis, characterization, and controlled release. *Nanotechnology*, 19, 105606.
- Zohri, P. M., Gazori, T., Mirdamadi, S., Asadi, A., & Haririan, I. (2009). Polymeric nanoparticles: Production, applications and advantage. *Internet J Nanotechnol.*, 3(1).

GIDA BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ ÇALIŞMALARI

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