

GIDA SEKTÖRÜNDE YENİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ



Editör
OSMAN KILINÇÇEKER



BİDGE Yayınları

GIDA SEKTÖRÜNDE YENİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Editör: OSMAN KILINÇÇEKER

ISBN: 978-625-372-690-4

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2025-06-25

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



ÖNSÖZ

Dünyada nüfus artışına paralel olarak kaliteli gıdaya erişimin zorlaşması ve beraberinde sağlıklı beslenmeye olan ilginin artması gıda sektöründe yeni uygulamaları gündeme getirmektedir. Bunun yanı sıra teknolojik gelişmelerde buna destek vererek uygulamaları olumlu yönde etkilemektedir. Sektörde faaliyet gösteren işletmeler üretimde ve kalite kontrolde yeni prosesleri ve materyalleri kullanarak tüketici talebine uygun ürünler geliştirilmeye çalışılmaktadırlar. Yaptıkları uygulamalarda üretim ve muhafaza tekniklerini geliştirerek, ürün kalitesini iyileştirmekte, maliyet üzerinde de olumlu etki oluşturmaktadırlar. Bu kapsamda kitabımızda gıda sektöründe yenilikçi bazı uygulamalara yer vererek hem üretime hem de bilimsel araştırmalara yön verebilecek bir kaynak oluşturmak hedeflenmiştir. Hazırlanan bu kitabın gıda sektöründe faaliyet gösteren kişi veya kurumlara faydalı olmasını umarak, kitapta emeği geçen yazarlara ve Bidge Yayın evi çalışanlarına teşekkürlerimizi sunarım.

Prof. Dr. OSMAN KILINÇÇEKER

ADİYAMAN ÜNİVERSİTESİ

İÇİNDEKİLER

EKMEK ÜRÜNLERİNDE AKRİLAMİD OLUŞUMU ÜZERİNE DOĞAL ANTİOKSİDANLARIN ETKİSİ: MOR SOĞAN KABUĞU ÖRNEĞİ	1
<i>MUKADDES KILIÇ BAYRAKTAR, MELİKE SUGEÇTİ, EBRU YÜZLÜ</i>	
KURU İNCİR'DE AFLATOKSİN OLUŞUMUNUN İNCELENMESİ VE TESPİT YÖNTEMLERİ	19
<i>EMİNE İREM ERTÜRK TÜRKOĞLU</i>	
TAHILLARDA ANTİNUTRIENTLERİN AZALTILMASINDA GIDA İŞLEME VE MİKROBİYAL DETOKSİFİKASYON YÖNTEMLERİ	35
<i>DERYA ÖZALP ÜNAL</i>	
SÜT VE ÜRÜNLERİNDE AFLATOKSİN M1	68
<i>ADEM SAVAŞ, MUSTAFA KILIÇ</i>	
YER FISTIĞI ÖZÜTÜ VE YOĞURT BENZERİ ÜRÜN ÜRETİMİNDE KULLANIM OLANAKLARI	79
<i>OSMAN KILINÇÇEKER, TUĞBA KARABEKMEZ ERDEM</i>	

BÖLÜM 1

EKMEK ÜRÜNLERİNDE AKRİLAMİD OLUŞUMU ÜZERİNE DOĞAL ANTİOKSİDANLARIN ETKİSİ: MOR SOĞAN KABUĞU ÖRNEĞİ

MUKADDES KILIÇ BAYRAKTAR¹
MELİKE SUGEÇTİ²
EBRU YÜZLÜ³

Giriş

Akrilamid (Şekil 1), yapısında vinil barındıran ve poliakrilamidin suda çözünür yapıtaşları arasında olan bir bileşiktir. Beyaz katı kristaller halindeki bu bileşiğin kokusu bulunmamaktadır. Akrilamidin suda çözünürlüğü yüksek ve molekül ağırlığı 71,08 g/mol' dür (Nizamlioğlu ve Nas, 2019). Bu bileşik 2002 yılında Stockholm Üniversitesi'ndeki bir grup araştırmacı tarafından yüksek ısıtılma maruz kalan gıdaların içeriğinde yer aldığı bildirilmiş ayrıca toksik ve kanserojenik bir kimyasal madde olarak kabul edilmiştir (Daşgın ve Yıldız, 2014). 1994 yılında Uluslararası

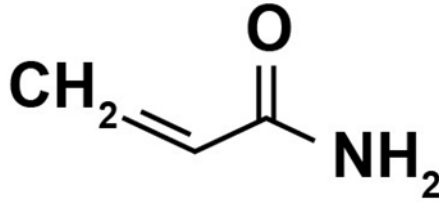
¹Dr. Öğretim Üyesi, Karabük Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü. ORCID No: 0000-0002-8871-8820

²Diyetisyen, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gıda Toksikolojisi Anabilim Dalı. ORCID No: 0009-0004-7971-6796

³Öğretim Görevlisi, Karabük Üniversitesi, Eflani Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü. ORCID No: 0000-0003-0178-8445

Kanser Araştırma Ajansı (IARC), kemirgenlerdeki kanserojenik etkisine dayanarak akrilamidi insanlar için potansiyel kanserojen (Grup 2A) olarak sınıflandırmıştır (Krishnakumar ve Visvanathan, 2014). 120 °C'nin üzerindeki sıcaklık derecelerinde kızartma, gril veya fırınlama gibi işlemlerin gerçekleştiği aşamada akrilamidin oluştuğu bildirilmektedir (Erdemli, 2021). Potansiyel nörotoksisitesi ve kanserojenik etkisine bağlı olarak gıdalardaki akrilamid düzeylerinin minimum seviyelere dūřürölmesi merak edici bir araştırma konusu haline gelmiştir. İnsan sağlığı üzerine olumsuz etkileri nedeniyle gıdalardaki akrilamid miktarlarının tespit edilmesi ve yaygın olarak tüketilen gıdalardaki akrilamid konsantrasyonlarının indirgenmesi önemli bir husustur (Bachir vd, 2022).

şekil 1 Akrilamid kimyasal yapısı



Kaynak: Erdemli, 2021

Antioksidanlar, antibakteriyel ve antikanserojen özellikleri olan bileşiklerdir. Meyve, sebze ve tahıllarda doğal olarak bulunur ve oksidatif stresi azaltarak serbest radikallere karşı koruma sağlarlar. Bu maddeler, hücreleri zararlı bileşiklerin etkisinden koruyarak kanser ve kalp-damar hastalıklarına karşı vücudu destekler. Fenolik bileşikler, fitik asit, askorbik asit ve tokoferol gibi antioksidanlar sağlığa olumlu katkılar sunar (Meral vd., 2012). Sebze ve meyve tüketiminin yetersiz kaldığı toplumlarda, bu ürünlerin yaygın tüketilen gıdalara eklenmesi, günlük antioksidan alımını artırmak açısından önemlidir.

Ekmek; un, su, tuz ve mayanın karıştırılıp yoğrulmasıyla başlayan, ardından fermentasyon, şekil verme ve pişirme süreçlerinden geçen temel bir gıdadır (Yılmaz ve Yüksel, 2023). Ekmeğin kalitesini artırmak amacıyla çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Antioksidanlar, amino asitler ve bazı enzim çözeltilerinin üretim sırasında eklenmesi, akrilamid oluşumunu azaltmada etkili bulunmuştur. Özellikle antioksidanlar, Maillard reaksiyonu sırasında ortaya çıkan serbest elektronları yok ederek akrilamid seviyesini düşürmede önemli rol oynar. Zencefil tozu ilavesiyle yapılan çalışmalarda, en yüksek fenolik madde ve radikal giderme kapasitesi, en fazla zencefil içeren ekmekte gözlemlenmiştir. Ayrıca, soğan kabuğu eklenen ekmeklerin antioksidan içeriği ve duyu özelliklerinin, kontrol grubuna göre belirgin şekilde daha iyi olduğu rapor edilmiştir (Dziki vd., 2014).

Bu çalışmanın amacı, mor soğan kabuğu gibi gıda atıklarının fenolik bileşik kaynağı olarak değerlendirilmesini ve bu doğal antioksidanların ekmekte akrilamid oluşumunu azaltmadaki etkisini incelemektir. Mor soğan kabuğu ekstraktının ekmek formülasyonuna eklenmesiyle hem ürünün besin değerinin artırılması hem de sağlık riski taşıyan bileşiklerin azaltılması sağlanabilir.

Ekmek: Tarihçesi ve Türk Beslenmesindeki Önemi

Ekmek, insanlık tarihinin en eski ve temel gıda maddelerindendir. İlk ekmekler, yaklaşık 14.000 yıl önce Neolitik Çağ'da, buğday kırmalarının suyla karıştırılıp sıcak taşlar üzerinde pişirilmesiyle yapılmıştır. Modern ekmek üretimi ise yaklaşık 3.500 yıl önce Mısırlılar tarafından geliştirilmiştir. Mısırlılar, hamurun uzun süre bekletilmesiyle gerçekleşen fermentasyonu gözlemleyerek ekmeği mayalı hale getirmişlerdir. Bu teknik, ekmeğin daha hafif ve kabarık olmasını sağlamıştır (Kalkan ve Özarık, 2017; Özberk vd, 2016).

Mısırlılar ayrıca ekmeği işçilere ücret olarak vermiş ve ekmek, Eski Mısır toplumunun temel besini haline gelmiştir (Kocaadam ve Acar Tek, 2016). Avrupalılar ise buğdaydan önce çavdar gibi diğer hububat ürünlerini tüketmişler, 15. yüzyılda ise buğdaydan beyaz ekmek üretmeye başlamışlardır. Türkler, göçebe yaşam tarzlarında uzun süre dayanabilmesi için mayasız ekmek yapımını tercih etmişlerdir (Kalkan ve Özarık, 2017).

Türk Gıda Kodeksi Ekmek ve Ekmek Çeşitleri Tebliği'ne göre ekmek, buğday ununa su, tuz, maya, gerekirse şeker, enzimler, malt unu, vital gluten ve izin verilen katkı maddelerinin karıştırılıp yoğrulması, şekillendirilmesi, fermantasyona bırakılması ve pişirilmesiyle üretilen bir gıda ürünüdür (Kocaadam ve Acar Tek, 2016). Türkiye'de yılda kişi başi ortalama 200-300 kg ekmek tüketilmektedir ve insanların günlük harcadıkları enerjinin %66'sı tahıllardan, bunun %56'sı ise yalnızca ekmekten karşılanmaktadır (Erdem ve Gökmen, 2022).

Türk mutfağında ekmek, beslenmenin temel unsurlarından biridir ve bölgesel çeşitlilik gösterir. Ülke genelinde mayalı ve mayasız olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılan ekmekler, farklı pişirme teknikleriyle hazırlanır. Bazlama, lavaş, pıt-pıt, ebeleme, gilik, gömeç, gübaye, halka, kakala, fodla, saç ekmeği, somun, tandır ekmeği ve tepsi ekmeği gibi birçok çeşit, Anadolu'nun farklı bölgelerinde üretilir. Bu ekmekler, geleneksel pişirme yöntemleriyle, örneğin tandır, taş fırın, sac veya ocak üzerinde pişirilerek hazırlanır. Her bir ekmek türü, bağlı olduğu bölgenin kültürel mirasını ve mutfak geleneklerini yansıtır. Anadolu'nun zengin ekmek çeşitliliği, bölgesel farklılıkları ve tarihsel süreçleriyle Türk mutfağının önemli bir parçasıdır (Erdem ve Gökmen, 2022).

Akrilamid Oluşumu ve Maillard Reaksiyonları

Gıdalardaki akrilamid oluşumu üç temel mekanizma üzerine yoğunlaşmaktadır. İlk olarak Maillard reaksiyonları akrilamidin

temel oluşum mekanizması olarak bilinmektedir. Lipitlerin bileşenlerine ayrılması sırasında ortaya çıkan akrolein veya akrilik asit reaksiyonu yöntemi ve malik asit, laktik asit ve sitrik asit içeren bazı organik asitlerin dehidrasyon-dekarboksilasyonu yöntemi diğer akrilamid oluşum mekanizmalarıdır (Yıldız vd, 2010). Şekil 2’de akrilamid oluşum mekanizması gösterilmiştir.

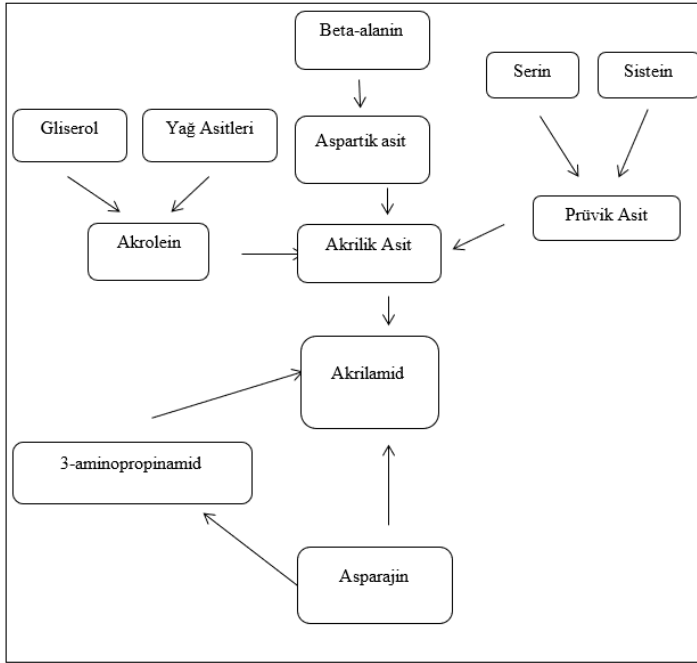
İndirgen şekerlerin karbonil grupları ile asparajinin amin grubunun tepkimesi Maillard reaksiyonları olarak adlandırılmaktadır. Karbonhidrat bakımından içeriği zengin gıdaların ve yapısında protein bulunduran besinlerin, yüksek sıcaklıklar ile işlemlerden geçirilmesi nedeniyle indirgen şekerlerin karbonil grupları ile serbest aminoasitlerin özellikle asparajinin amin grubunun reaksiyona girmesi, Maillard reaksiyonları ile akrilamid oluşumuna neden olmaktadır (Kavuşan ve Serdaroğlu, 2019). Maillard tepkimesinin oluşma şartlarını ve hızını tepkimeye giren bileşenlerin türü ve miktarı, su aktivitesi, sıcaklık, katalizörler ve inhibitörler etkilemektedir. Bu doğrultuda akrilamid oluşumunun temel mekanizması olarak kabul edilen Maillard reaksiyonunu etkileyen her unsur, akrilamid oluşumunu da etkileyen unsurlar arasında kabul edilebilir. (Gülcan, 2017).

Claeys vd. tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada asparajin, glikoz, fruktoz ve sakkarozdan oluşan 140 °C ve 200 °C’deki işlem gören model sistemde akrilamid miktarları incelenmiştir. Akrilamid miktarları karşılaştırıldığında en az akrilamid miktarı sakkaroz kullanılan modelde tespit edilmiştir. Glikoz kullanılan modelde ise akrilamidin fruktoz kullanılan modele göre daha hızlı oluştuğu bildirilmiştir (Alpözen, 2012). Serbest asparajin, akrilamid oluşumunun birincil öncüsü olarak kabul edilir. Surdyk vd. (2004) mayalı buğday ekmeğine 0,1-0,7 g/100 g un oranında asparajin eklemiş ve bu işlemin akrilamid içeriğini 6 000 µg/kg'a kadar önemli ölçüde arttırdığı bildirilmiştir (Shen vd, 2019).

Akrilamid Oluşumunu Etkileyen Faktörler

Akrilamid oluşumunun temel mekanizması olarak görülen Maillard reaksiyonunun oluşma şartlarını ve hızını tepkimeye giren bileşiklerin türü ve miktarı, su aktivitesi, sıcaklık, katalizörler etkilemektedir. Buna bağlı olarak Maillard reaksiyonunu etkileyen unsurlar aynı zamanda, akrilamid oluşumunu etkileyen unsurlar arasında sayılabilir (Gülcan, 2017). İndirgen şeker ve asparajin

Şekil 2 Akrilamid oluşum mekanizmaları



Kaynak: Nizamlioğlu ve Nas, 2019

varlığı, sıcaklık, ürünün nemi ve pH'ı akrilamidi oluşumu için önemli unsurlar arasındadır. Yapılan bir çalışmada besinlerin indirgen şeker içeriğinin, pişirme süresi ve sıcaklığının, pH'ının, neminin, reaktanların türü ve konsantrasyonunun akrilamidin oluşumu için etkili faktörler olduğu bildirilmiştir (Kazancı, 2021). İndirgen şekerler arasında sayılan glikoz ve früktozun gıdalardaki miktarı arttıkça meydana gelen akrilamid konsantrasyonun da arttığı

görülmüştür (Alpözen, 2012). Serbest asparajın, akrilamid oluşumunun öncü maddeleri arasında olduğu için merak konusudur. Surdyk vd. (2004) yaptığı bir çalışmada mayalı buğday ekmeğine 0,1-0,7 g/100 g un oranında asparajın ilavesinin, akrilamid içeriğini 6 000 µg/kg'a kadar önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir (Shen vd, 2019).

Gıdalardaki Akrilamid Miktarları

Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi'ne (EFSA) göre işlemden geçirilen patates ile tahıl bazlı gıdalar (patates cipsi, patates kızartması, kraker, tost, ekmek gevreği, kurabiye, kahvaltılık gevrek, mısır cipsi, unlu mamüller, kahve, kakao, ekmek) akrilamidin ana kaynaklarıdır (Tablo 1) (Ubaogi ve Orji, 2016).

İnsanların akrilamid alımının yaklaşık %50' sini patates ürünleri, %20'sini ise fırın ürünleri ve ekmek oluşturmaktadır. Ekmeğin iç kısmında akrilamid bakımından düşük miktarlar görülürken ekmeğin kabuk kısmında en yüksek akrilamid miktarları tespit edilmiştir (Keramat vd, 2011). Akrilamide ilişkin yeni bir Avrupa Birliği düzenlemesi, buğday bazlı ekmekte çeşitli kategorilerde 50 µg/kg referans değeri belirlemiştir (Eslamizad vd, 2020).

Mevcut bir çalışma sonucunda; 170 °C sıcaklıkta fırınlanmış patates cipslerindeki akrilamid miktarlarının, aynı sıcaklıkta kızartılan patates cipslerine göre 2 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca patates kızartmasının yüzeyindeki akrilamid yoğunluğunun merkeze göre daha yüksek seviyelerde olduğu bildirilmiştir (Bachir vd, 2023).

Amerika Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) ve WHO, günlük akrilamid alımının 0,3-0,8 µg/vücut ağırlığı/kg olmasını önermiştir (Khezerlou vd, 2018).

Tablo 1 Bazı gıdalardaki akrilamid miktarları (µg/kg)

Besinler	Ortalama	Minimum-Maksimum
Patates cipsi	1312	170-2287
Patates kızartması	537	< 50-3500
Hamur ürünleri	36	< 30-42
Fırınlanmış ürünler	112	< 50- 450
Bisküvi, kraker, tost	423	< 30-3200
Kahvaltılık tahıllar	298	< 30-1346
Makarna	<30	-
Ekmek	38	<10-85
Tost Ekmeği	164	41-474
Adana kebab	127	49-250
Pide	<10	<10-16
Poğaç	120	<10-441
Tulumba	241	<10-701
Kadayıf	<10	<10-23
Çikolata	75	37-100
Türk kahvesi	266	200-336
Kavrulmuş Badem	260	207-313
Kavrulmuş Fındık	128	<10-421
Kavrulmuş Fıstık	66	<10-120

Kaynak: Arusoğlu, 2015; Nizamlioğlu ve Nas, 2019

Akrilamidin Sağlık Üzerine Etkileri

Yapılan çalışmalarda akrilamidin nörotoksik, teratojenik ve karsinojenik olmak üzere hayvanlarda üç ana olumsuz etkisi olduğunu tespit edilmiştir. Nörotoksik, genotoksik, kanserojenik, mutajenik etkilerinin yanı sıra teratojenik etkileri ve üreme

fonksiyonlarına zararı mevcut çalışmalarda kanıtlanmıştır (Bušov vd, 2020). IARC, 1994 yılında akrilamidi "insanlar için muhtemelen kanserojen" (Grup 2A) olarak sınıflandırmıştır.

Akrilamid mutajenik etkisini, epoksit metaboliti glisidamidin DNA eklentileri oluşturma kapasitesi sayesinde gösterir. Nisan 2002'de İsveçli araştırmacılarından oluşan bir ekip, çeşitli gıdalarda akrilamid oluşumunu bildirmiştir ve bu sonuç kanser riski konusunda ciddi endişelere neden olmuştur. İçme suyunda akrilamid verilen farelerde yapılan bir deneyde meme, tiroid ve merkezi sinir sistemi tümörlerinin görülme sıklığının arttığı bildirilmiştir (Pelucchi vd, 2006). Uzun süreli akrilamid maruziyeti, reaktif oksijen türlerinin hücre zarı lipitlerine, proteinlerine ve DNA'ya sürekli saldırmasını, ana hedef organlara zarar vermesini ve Alzheimer ve Parkinson hastalığı gibi hastalıkları tetiklemesini sağlayabilir. Ayrıca, periferik sinir sisteminin yapısının veya fonksiyonunun tahrip olmasına neden olarak hareket ve duyuların zayıflamasına veya kaybolmasına neden olmaktadır (Li vd, 2023)

Bir Gıda Atığı Olarak Mor Soğan Kabuğu ve Fenolik İçeriği

Soğan kabukları, soğanları işlemden geçirirken oluşan atık maddelerdir. Fitokimyasal bileşikler bakımından zengin içeriğe sahip olan soğan kabuklarının kaybı gıda işleme endüstrisi açısından ciddi bir sorundur. Tüketicilerin işlem görmüş besinlere karşı talebi gün geçtikçe artmaktadır. Artan bu talep doğrultusunda gıda endüstrisinde büyük bir atık madde sorunu oluşmaktadır. Bu atık maddelerin geri dönüştürülmesi israfı en aza indirmek için gerekli bir durumdur (Celano vd, 2021).

Soğan işleme atıkları çoğunlukla kabuklardan oluşur ayrıca iki dış katman, kökler veya deforme olmuş soğanları içerir. Avrupa'da her yıl 500.000 tondan fazla soğan kabuğu üretilirken, Hindistan'da ise her gün 300-500 kg soğan kabuğu üretilmektedir.

Bu kabuk toprakta ayrışarak havaya ve çevreye zarar vermektedir (Shabir vd, 2022)

Polifenolik içerik ve antioksidan aktivite açısından kıyaslandığında soğan kabuğunun içeriği, yenilebilir soğan kısmına göre daha zengindir. Bu nedenle soğan kabuğunun çeşitli yollarla gıdalara ilave edilmesi, bu ürünlerin biyoaktivitesini arttıracaktır. (Balakrishnaraja vd, 2021).

Soğan; flavonoidler, fenolik asitler, antosiyaninler, karotenoidler, tiyosülfınatlar ve alk(en)il sistein sülfoksitler, terpenoidler, amino asitler, fitoöstrojenler, vitaminler ve mineraller gibi çeşitli biyoaktif bileşikler bünyesinde barındırmaktadır (Taşcı, 2020). Soğan atığı protein, karbonhidrat ve diyet lifi içermektedir. Bununla birlikte, soğan kabuğu aynı zamanda zengin bir kalsiyum, potasyum, magnezyum, mangan, demir, selenyum, toplam fenolikler ve flavonoid kaynağıdır (Shabir vd, 2022).

Mor Soğan Kabuğunun Ekmek Ürünlerinde Kullanımı

Soğan kabuğu ekstraktı ile zenginleştirilmiş buğday ekmeğinin kalitesi ve antioksidan aktivitesi üzerine yapılan bir araştırmada soğan kabuğu ekstraktının ekmeğe ilave edilen miktarının artmasıyla ekmekteki toplam polifenol ve flavonol içeriklerinin ve antioksidatif aktivitenin arttığı tespit edilmiştir. Soğan kabuğu ekstraktı ile zenginleştirilen ekmekler, kontrol buğday ekmekleriyle karşılaştırıldığında önemli ölçüde daha yüksek toplam polifenol içeriği gözlemlenmiştir ve bu ekmeklerin daha yüksek antioksidatif aktiviteye sahip olmasını sağlamıştır. %1 soğan ekstraktı katılan ekmeklerde bu özelliklerde daha büyük değişiklikler gözlemlenmiştir (Czaja vd, 2020).

Yapılan bir diğer çalışmada glütensiz ekmeğe soğan atıklarının farklı formlarının eklenmesinin etkileri araştırılmıştır. Glütensiz unun %5' i, kızarmış soğan, kurutulmuş soğan ve soğan kabuğu olmak üzere üç farklı şekilde ekmek yapımına eklenmiştir.

Toplam polifenolik içeriklerine bakıldığında en yüksek değer soğan kabuğu ile zenginleştirilmiş ekmekte ($5,28 \pm 0,11$ mg GAE/g) tespit edilmiştir. Zenginleştirilmiş hamur ve ekmeklerdeki polifenol içeriği soğan kabuğu > kurutulmuş soğan > kızartılmış soğan > kontrol olacak şekilde azaldığı bildirilmiştir (Bedrniček vd, 2020).

Sarı soğan kabuğu ekstraktı kullanılarak zenginleştirilen ekmekte toplam fenolik içeriği ve toplam antioksidan aktivite özellikleri araştırılmıştır. Un ağırlığına bağlı olarak %0,1, %0,25, %0,5 oranlarında soğan kabuğu ekstraktı ekmeğe ilave edilmiştir. Buğday hamurunun soğan kabuğu ekstraktı ile zenginleştirilmesinin, elde edilen son ürünün polifenol düzeylerini ve antioksidan aktivitesini önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. Hamurun %0,5 ekstraktla zenginleştirilmesi, ekmekteki toplam fenolik içeriğin 4 kat, antioksidan aktivitenin ise 7 kat artmasına neden olduğu bildirilmiştir (Piechowiak vd, 2020).

Tam tahıllı unun soğan kabuğu tozu ile zenginleştirilmesi üzerine yapılan bir çalışmada ise tam tahıllı una 1, 2, 3 ve 4 g/100 g oranlarında soğan kabuğu ilave edilmiştir. Toplam fenolik içeriğine bakıldığında kontrol ekmeği en düşük içeriğe sahipken, %1, %2 ve %3 soğan kabuğu tozu ilave edilen tahıllı ekmeklerin kontrole göre sırasıyla 2, 2,5 ve 3 kat daha fazla toplam fenolik içeriğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Tüm tahıllı ekmekler arasında anlamlı bir fark gözlenmiştir ve kontrol örneğine göre önemli ölçüde daha yüksek düzeyde flavonoid içeriği tespit edilmiştir. Toplam antioksidan aktivitesi incelendiğinde soğan kabuğu tozu ile zenginleştirilmiş örneklerde önemli bir sonuç elde edilmiştir. Kontrol ekmeği, en düşük toplam antioksidan aktivitesi gösterirken %4 soğan kabuğu tozu ile zenginleştirilmiş ekmekler en yüksek değeri göstermiştir. Ekmek örneklerine katılan soğan kabuğu tozunun, örneklerin toplam antioksidan aktivitesini yükselttiği tespit edilmiştir (Sagar ve Pareek, 2021).

Akrilamid Azaltımında Fenolik Bileşikler: Alternatif Kaynaklar ve Mor Soğan Kabuğu

Antioksidanlar, özellikle fenolik bileşikler, gıdalarda akrilamid oluşumunu azaltma potansiyeli nedeniyle araştırılan katkı maddeleri arasındadır. Ancak, tüm antioksidanların bu etkiye sahip olduğu söylenemez; bazıları sükrozun dekompozisyonunu tetikleyerek 3-aminopropanamid bileşiğinin akrilamide dönüşümünü hızlandırabilir. Örneğin, kekik fenolik bileşenlerinin akrilamid oluşumunu artırdığı, kızılıçık ekstraktlarının ise kızarmış patates dilimlerinde herhangi bir etki göstermediği bildirilmiştir (Constantinou ve Koutsidis, 2016; Kavuşan ve Serdaroğlu, 2019).

Li ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, ekmek hamuruna sarımsak tozu eklenmesinin akrilamid oluşumunu nasıl etkilediği incelenmiştir. Araştırmada, 500 g ekmek hamuruna sırasıyla 5, 15, 25, 35 ve 45 g sarımsak tozu eklenerek pişirilen ekmeklerin akrilamid düzeyleri ölçülmüştür. Sonuçlar, sarımsak tozu eklenen ekmeklerde akrilamid düzeyinin, kontrol grubuna kıyasla %45 ile %49 arasında azaldığını göstermiştir. Özellikle 15 g sarımsak tozu eklenen ekmekte %46'lık bir azalma gözlemlenmiştir. Bu bulgular, sarımsak tozunun ekmekte akrilamid oluşumunu azaltmada etkili bir katkı maddesi olabileceğini göstermektedir.

Bir model buğday ekmeği sistemine eklenen fenolik bileşiklerin akrilamid oluşumu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Buğday ekmeği hamuruna %0,1, %0,5, %1,0 ve %2,0 oranlarında gallik asit, ferulik asit, kafeik asit, (+)-kateşin ve kuersetin eklenmiştir. Kontrol ekmeği kabuğunda 65,4 µg/kg akrilamid tespit edilmiştir. Fenolik bileşiklerin %0,1 oranında eklenmesi, akrilamid düzeyini önemli ölçüde azaltmıştır. Tüm fenolik bileşikler arasında, ferulik asit, konsantrasyondan bağımsız olarak en yüksek akrilamid inhibisyonu göstermiştir. Bu etki, ferulik asidin 4-vinilguaiakol adlı güçlü antioksidan aktiviteye sahip bir bozunma ürününe dönüşmesinden kaynaklanmaktadır (Mildner-Szkudlarz vd, 2019).

Asma ayı ekstraktı ve ana polifenolü dihidromirisetin, düşük dozlarda ekmekte akrilamid oluşumunu yüksek dozlara göre daha etkili şekilde engellemiştir. Bu durum, polifenollerin yapısı ve redoks özelliklerinden kaynaklanabilir. Düşük konsantrasyonlarda antioksidan etki göstererek serbest radikalleri temizleyen polifenoller, akrilamid oluşumunu önleyebilir. Ancak yüksek dozlarda hidrojen peroksit üretimi veya karbonil gruplarının asparajinle reaksiyonu sonucu akrilamid oluşumunu artırabilir (Ma vd., 2020).

Literatür taraması sonucunda, mor soğan kabuğunun ekmek ürünlerinde akrilamid oluşumu üzerindeki etkisini doğrudan inceleyen herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Mevcut araştırmalar daha çok farklı soğan türlerinin ekmek ve benzeri unlu mamullere katılarak besin değerlerinin artırılması ve fonksiyonel özelliklerinin incelenmesi üzerine odaklanmıştır.

Sonuç

Antioksidanlar özellikle fenolikler ve antioksidan bakımından zengin özütler potansiyel akrilamid oluşum inhibitörleri olarak çalışılan katkı maddeleri arasında sayılmaktadır. Antioksidanların, akrilamid oluşumunun azaltılması üzerine olumlu etkileri bildirilmiştir. Antioksidanların akrilamid oluşumundaki etki mekanizmaları; Maillard reaksiyonları ara ürünlerini inhibe etmeleri, asparajin ile doğrudan tepkimeye girerek asparajini bloke etmeleri ve lipid oksidasyonunu engellemeleri olarak sıralanabilir. Bununla birlikte çeşitli gıda sistemlerinde yapılan bazı çalışmalar saf fenolik antioksidanların yahut antioksidan ekstraktların kullanımının akrilamid oluşumu üzerinde belirsiz bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir (Constantinou ve Koutsidis, 2016; Kavuşan ve Serdaroğlu, 2019). Mor soğan kabuğunun gıdalardaki akrilamid miktarı üzerine yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu konuda yapılacak çalışmalar mevcut literatüre katkı sağlayacaktır.

Araştırma Desteği ve Teşekkür

Bu alışma, “Mor Soğan Kabuğu Ekstraktıyla Zenginleştirilen ve Mor Un ile Yapılan Ekmeklerde Akrilamid Varlığının Araştırılması” başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Tez sürecinde sağladıkları desteklerden dolayı Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi’ne (KBBAP-22-YL-140’nolu proje) teşekkür ederiz.

Kaynakça

Alpözen, E. (2012). İzmir gevreğinde akrilamid düzeylerinin belirlenmesi ve pişirme koşullarının akrilamid oluşumu üzerine etkileri, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 22-33.

Arusoğlu, G. (2015). Akrilamid oluşumu ve insan sağlığına etkileri. *Akademik Gıda*, 13(1): 61–71.

Bachir, N., Haddarah, A., Sepulcre, F. & Pujola, M. (2022). Formation, mitigation, and detection of acrylamide in foods. *Food Analytical Methods*, 15, 1736–1747.

Bachir, N., Haddarah, A., Sepulcre, F. & Pujola, M. (2023). Study the interaction of amino acids, sugars, thermal treatment and cooking technique on the formation of acrylamide in potato models. *Food Chemistry*, 408, 135235.

Bedrniček, J., Jirotková, D., Kadlec, J., Laknerová, I., Vrchotová, N., Tríska, J., Samkova, E. & Smetana, P. (2020). Thermal stability and bioavailability of bioactive compounds after baking of bread enriched with different onion by-products. *Food Chemistry*, 319, 126562.

Balakrishnaraja, R., Swetha, V., Srivigneswar, S., Sakthi Priyaa, S. S. & Gowrishankar, L. (2021). Formulation and development of functionally enriched onion (*Allium cepa*) bread. *Materials Today: Proceedings*, 47, 1835–1841.

Bušová, M., Bencko, V., Laktičová, K. V., Holcátová, I. & Vargová, M. (2020). Risk of exposure to acrylamide. *Central European Journal of Public Health*, 28, 43–46.

Celano, R., Docimo, T., Piccinelli, A.L., Gazzerro, P., Tucci, M., Di Sanzo, R., Carabetta, S., Campone, L., Russo, M. & Rastrelli, L. (2021). Onion peel: turning a food waste into a resource, *Antioxidants*, 10, 304.

Constantinou, C. & Koutsidis, G. (2016). Investigations on the effect of antioxidant type and concentration and model system matrix on acrylamide formation in model Maillard reaction systems. *Food Chemistry*, 197, 769–775.

Czaja, A., Czubaszek, A., Wyspiańska, D., Sokół-Lętowska, A. & Kucharska, A. Z. (2020). Quality of wheat bread enriched with onion extract and polyphenols content and antioxidant activity changes during bread storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 55, 1725–1734.

Daşgın, H. & Yıldız, E. (2014). Akrilamid ve Sağlık, *Beslenme Diyet Dergisi*, 42 (3): 228–233.

Dziki, D., Rózyło, R., Gawlik-Dziki, U. & Świeca, M. (2014). Current trends in the enhancement of antioxidant activity of wheat bread by the addition of plant materials rich in phenolic compounds, *Trends in Food Science and Technology*, 40, 48–61.

Erdem, N.& Gökmen, S. (2022). Zonguldak ili çaycuma ilçesinin geleneksel cızlama ekmeği üzerine bir araştırma. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (38), 218–228.

Erdemli, Z. (2021). Gıda kaynaklı akrilamidin fetotoksik etkileri ve akrilamid toksisitesine karşı koruyucu önlemler. *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi*, 9(3): 1154–1167.

Eslamizad, S., Kobarfard, F., Tabib, K., Yazdanpanah, H. & Salamzadeh, J. (2020). Development of a sensitive and rapid method for determination of acrylamide in bread by LC-MS/MS and analysis of real samples in Iran IR. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 19 (1): 413–423.

Gülcan, Ü. (2017). İnert ve inhibitör gaz ortamlarında pişirme işlemlerinin ekmeklerin HMF ve akrilamid içeriğini azaltıcı etkilerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 1-5.

Kalkan, İ. & Özarık, B. (2017). Tam buğday ekmeği ve sağlık üzerine etkisi, *Aydın Gastronomy*, 1 (1): 37–46.

Kavuşan, H. S. & Serdaroğlu, M. (2019). Bir Isıl işlem kontaminantı akrilamid: Oluşum mekanizmaları ve et ürünlerinde akrilamid oluşumunun azaltılmasına dair stratejiler. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2):173–185.

Kazancı, M. (2021). Formülasyonunda şeker yerine pekmez ve bal kullanılarak üretilen bazı fırıncılık ürünlerinde akrilamid oluşumunun araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 1-43.

Keramat, J., Lebail, A., Prost, C. & Jafari, M. (2011). Acrylamide in baking products: A review article. *Food and Bioprocess Technology*, 4, 530–543.

Khezerlou, A., Alizadeh-Sani, M., Firouzsafari, N. Z. & Ehsani, A. (2018). Formation, properties and reduction methods of acrylamide in foods: A review study. *Journal of Nutrition Fasting and Health*, 6 (1): 52–59.

Kocaadam, B. & Acar Tek, N. (2016). Ekmek, bira, şarap ve yoğurdun orijinleri ve tarihsel süreçleri. *Beslenme Diyet Dergisi*, 44 (3): 272–279.

Krishnakumar, T. & Visvanathan, R. (2014). Acrylamide in food products: A review. *Journal of Food Processing & Technology*, 5,344.

Li, J., Zuo, J., Qiao, X., Zhang, Y. & Xu, Z. (2016). Effect of garlic powder on acrylamide formation in a low-moisture model system and bread baking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96, 893–899.

Li, Z., Zhao, C. & Cao, C. (2023). Production and inhibition of acrylamide during coffee processing: A literature review. *Molecules*, 28, 3476.

Ma, Q., Cai, S., Jia, Y., Sun, X., Yi, J. & Du, J. (2020). Effects of hot-water extract from vine tea (*Ampelopsis grossedentata*) on acrylamide formation, quality and consumer acceptability of bread. *Foods*, 9 (373).

Meral, R. & Doğan, İ. S., Kanberoğlu, G. S. (2012). Fonksiyonel gıda bileşeni olarak antioksidanlar. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(2): 45–50.

Mildner-Szkudlarz, S., Róžańska, M., Piechowska, P., Waśkiewicz, A. & Zawirska- Wojtasiak, R. (2019). Effects of polyphenols on volatile profile and acrylamide formation in a model wheat bread system. *Food Chemistry*, 297, 125008.

Nizamlioğlu, N. M. & Nas, S. (2019). Gıdalarda akrilamid oluşum mekanizmaları, gıdaların akrilamid içeriği ve sağlık üzerine etkileri. *Akademik Gıda*, 17 (2): 232–242.

Özberk, F., Karagöz, A., Özberk, İ. & Atlı, A. (2016). Buğday genetik kaynaklarından yerel ve kültür çeşitlerine; Türkiye’de buğday ve ekmek. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25 (2): 218–233.

Pelucchi, C., Galeone, C., Levi, F., Negri, E., Franceschi, S., Talamini, R. Bosetti, C., Giacosa, A. & Vecchia, C.L. (2006). Dietary acrylamide and human cancer. *Int. J. Cancer*, 118, 467–471 (2006).

Piechowiak, T., Grzelak-Błaszczuk, K., Bonikowski, R. & Balawejder, M. (2020). Optimization of extraction process of antioxidant compounds from yellow onion skin and their use in functional bread production. *LWT*, 117, 108614.

Sagar, N. A., & Pareek, S. (2021). Fortification of multigrain flour with onion skin powder as a natural preservative: Effect on quality and shelf life of the bread. *Food Bioscience*, 41, 100992.

Shabir I., Pandey V.K., Dar A.H., Pandiselvam R., Manzoor S.,Mir S.A., Shams R., Dash K.K., Fayaz U., & Khan S.A., vd. (2022). Nutritional Profile,

Phytochemical Compounds, Biological Activities, and Utilisation of Onion Peel for Food Applications: A Review. *Sustainability*, 14, 11958.

Shen, Y., Chen, G. & Li, Y. (2019). Effect of added sugars and amino acids on acrylamide formation in white pan bread. *Cereal Chemistry*, 96, 545–553.

Taşcı B. (2020). Mor soğan (*Allium Cepa* L.) tozu üretimi ve özellikleri. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 5-20.

Ubaogi, K. I., & Orji, V. U. (2016). A review on acrylamide in foods: Sources and implications to health. *Journal of African Studies*, 6 (1): 1–17.

Yıldız, O., Şahin, H., Kara, M., Aliyazıcıoğlu, R., Tarhan, Ö., & Kolaylı, S. (2010). Maillard reaksiyonları ve reaksiyon ürünlerinin gıdalardaki önemi, *Akademik Gıda*, 8 (6): 44–51.

Yılmaz, E., & Yüksel, Z. (2023). Ekşi maya ve ekşi mayalı ekmeğin bazı teknolojik özellikleri ile sağlık üzerine etkileri, *Gıda*, 48 (4): 750–771.

BÖLÜM 2

KURU İNCİR'DE AFLATOKSİN OLUŞUMUNUN İNCELENMESİ VE TESPİT YÖNTEMLERİ

EMİNE İREM ERTÜRK TÜRKOĞLU¹
DİDEM PEREN AYKAS ÇİNKILIÇ²
CAVİT BİRCAN³

GİRİŞ

Doğu Akdeniz ve Güneybatı Asya'da, Türkiye'den Afganistan'a kadar uzanan geniş bir coğrafyada yaygın olarak yetiştirilen incir (*Ficus carica* L.), ağaç formunda bulunan değerli bir meyve türüdür (Edremit, 2013). İncir, yüksek kalori değeri, içerdiği mineral ve besin maddeleri sayesinde insan sağlığı açısından önemli bir besin kaynağıdır. Ayrıca meyvesinden sütüne kadar her parçası değerlendirilerek gıda ve sağlık alanlarında kullanılmaktadır (Ayar ve Karacaoğlu, 2023).

Türkiye, hem sofralık hem de kuru incir üretimi ve ihracatında dünya lideridir (Çalışkan ve Polat, 2012). 2022–2023 üretim sezonu verilerine göre Türkiye, yaklaşık 73.000 tonluk üretimiyle dünya kuru incir üretiminin %54'ünü karşılayarak ilk sırada yer almaktadır (Anonim, 2023).

Kuru incir, meyvelerin hasat sonrası doğal ya da yapay yöntemlerle kurutulmasıyla elde edilmekte ve doğrudan veya

işlendikten sonra tüketime sunulmaktadır (Atik, 2012). Ilık suyla yıkanarak sapı kesilen meyveler "işlenmiş kuru incir", dalından toplandıktan sonra herhangi bir işleme tabi tutulmayanlar ise "işlenmemiş kuru incir" olarak adlandırılmaktadır. Kurutulmuş incirin son ürün nem oranı %20–22 arasında olmalıdır (Aksoy vd., 2001).

İncirin toksin üretimi sorunu, meyve daha bahçedeyken başlamaktadır. İncirin doğal hassas yapısına ek olarak kritik kurutma evreleri ve bu evrelerde dikkat edilmesi gereken nem ve sıcaklık değerleri küfün bu meyveye bulaşarak mikrobiyal kontaminasyona açık olmasını da beraberinde getirmektedir (Karaca, 2005). Kurutma işlemi, kuru incirin kalitesini ve güvenliğini belirleyen en kritik aşamalardan biridir. İncir kurutulmasında aranan en önemli kriterler, yüksek şeker ve çözünür katı madde içeriği, düşük asit içeriği, açık renkli ve yumuşak dokulu olması olarak sayılabilir (Aksoy, 2017). Kurutma süresinin uzaması ve uygun olmayan koşullarda yapılması, aflatoksin miktarının artmasına sebep olmaktadır.

Bu derleme çalışmasının amacı, kuru incirde aflatoksin oluşum riskine neden olan faktörleri, oluşum mekanizmalarını ve bu toksinlerin tespitinde kullanılan geleneksel ve yeni nesil yöntemleri değerlendirmek; ayrıca mevzuattaki limitler ve dekontaminasyon stratejilerine dair güncel bilgileri derleyerek, gıda güvenliği açısından farkındalık yaratmaktır.

Mikotoksinler ve Gıdalarda Oluşum Mekanizmaları

Mikotoksin terimi, Yunanca’ da “fungus” anlamına gelen “mykes” ve Latince’ de “zehir” anlamına gelen “toxicum” kelimelerinin birleşiminden türetilmiştir (Agriopoulou vd., 2020). Mikotoksinler, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Claviceps*, *Stachybotrys* ve *Penicillium* gibi bazı küf türleri tarafından üretilen, insan ve hayvan sağlığını tehdit eden toksik ikincil metabolitlerdir (Sdogati vd., 2024). Bu bileşikler, özellikle gıda ve yemlerde gelişen

küflerin metabolik faaliyetleri sonucu oluşur ve tüketildiklerinde çeşitli sağlık sorunlarına yol açabilirler. Mikotoksinlerin etkileri; maruziyet dozu, bireysel hassasiyet, toksin türü, beslenme durumu ve yaş gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterir (Nas ve Karaca, 2004; Pamuk ve Biçer, 2022).

Mikotoksin oluşumunu etkileyen faktörler genel olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç grupta sınıflandırılmaktadır. Fiziksel faktörler arasında ortam sıcaklığı, bağıl nem ve ürünün nem içeriği yer alırken; kimyasal faktörler, gıdanın bileşimi, pH değeri ve su aktivitesi gibi unsurları içermektedir. Biyolojik faktörler ise, küf suşunun toksijenik özellik taşıyıp taşıymaması, aynı ortamda bulunan diğer mikroorganizmalarla etkileşimleri ve mikrobiyal detoksifikasyon süreçlerini kapsamaktadır (Albay ve Şimşek, 2011; Öksüztepe ve Erkan, 2016).

Mikotoksin oluşumunda özellikle depolama koşulları kritik öneme sahiptir. Ürünün nem oranı, sıcaklığı, depolama süresi ve ortamın bağıl nemi gibi faktörler, küf gelişimini ve dolayısıyla toksin üretimini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca her mikotoksin türü birden fazla küf tarafından üretilebileceği gibi, tek bir küf türü de birden fazla mikotoksin sentezleyebilir (Agriopoulou vd., 2020). Gıdalarda en yaygın karşılaşılan mikotoksinler arasında aflatoksinler ve okratoksinler yer almaktadır.

Kuru İncirde Mikotoksin Riski ve Aflatoksin Oluşumu

Aflatoksin, *Aspergillus* türü küfler tarafından üretilen ve hem insan sağlığı hem de ticari ürünlerin güvenliği açısından ciddi sonuçlar doğurabilen bir mikotoksindir. Aflatoksinler, bilinen en yüksek toksisiteye sahip mikotoksin grubu olup, insan ve hayvan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratabilen bileşiklerdir. Aflatoksinler kimyasal yapıları bakımından oldukça geniş bir çeşitliliğe sahip olup, 20' den fazla farklı formu tanımlanmıştır. Bu

grupta en bilinen ve en sık karşılaşılan aflatoksin türleri AFB₁, AFB₂, AFG₁ ve AFG₂' dir (Heperkan, 2014). Kuru incirde en büyük tehditlerden biri aflatoksin olup, yüksek şeker içeriği ve mineral bileşimi nedeniyle bu toksinin oluşması için uygun bir ortam sağlanmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, kuru incirlerde en yaygın olarak karşılaşılan mikotoksin aflatoksin olsa da, fumonisin, okratoksin A, sitrinin ve siklopiazonik asidin de belirli koşullarda oluşabileceği bildirilmektedir (Karaca, 2005; Aksoy, 2017; Çağındı ve Talay, 2017).

İncir tarlada küf ile kontamine olmakta, daha sonraki aşamalarda da küf ve mikotoksin oluşumu devam etmektedir. Yapılan çeşitli çalışmalarda kuru incirdeki başlıca mikotoksinlerin Aflatoksin B₁, B₂, G₁, G₂, fumonisin ve okratoksin A olduğu görülmektedir (Atik, 2012). Aflatoksin B₁'in bu toksinlerin içinde insan sağlığı açısından en yaygın ve en toksik olduğu belirtilmektedir (Koirala vd., 2005; Hussain ve Brasel, 2001).

Gıdalarda Aflatoksin İçin Belirlenen Yasal Limitler ve Mevzuat

Tarım ve Orman Bakanlığının Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği'ne (2023) göre kurutulmuş meyveler için maksimum Aflatoksin B₁ limiti 8 µg/kg (ppb), toplam Aflatoksin için (B₁+B₂+G₁+G₂) 10 µg/kg (ppb) olarak belirlenmiştir.

2012 yılında yayınlanan AB 'Commission Regulation (EU) No 1058/2012' sayılı tüzüğünde kuru incirler için aflatoksin B₁ ve toplam aflatoksin limitleri sırasıyla 6 ve 10 µg/kg (ppb) olarak oluşturulmuştur (EC, 2012).

Öte yandan, FAO/WHO Codex Alimentarius Komisyonu ve Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tarafından gıdalarda kabul edilen toplam aflatoksin limiti 20 µg/kg (ppb) olarak belirlenmiştir. Bu değer, Avrupa Birliği'nin uyguladığı sınırların üzerinde olup, daha esnek bir düzenlemeye işaret etmektedir (Karaman ve Acar, 2006).

Aflatoksin Tespiti için Kullanılan Analitik Yöntemler

Aflatoksin tespiti için geleneksel olarak Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC), Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometrisi (GC-MS), Enzim Bağlantılı İmmüno sorbent Analizi (ELISA) ve İnce Tabaka Kromatografisi (TLC) gibi yöntemler kullanılmaktadır. Son yıllarda ise daha hızlı, düşük maliyetli ve etkin analiz imkânı sunan kapiler elektroforez gibi yenilikçi teknikler öne çıkmaktadır (Uslu vd., 2023).

Aflatoksin bulaşmasının tespitinde kullanılan yöntemlere bakıldığında, HPLC hassas ve doğru sonuçlar üretmesi nedeniyle genellikle en güvenilir ve en sık kullanılan yöntem olarak kabul edilmektedir. Ancak uzun analiz süresi ve yüksek maliyetler sebebiyle, daha hızlı ve ekonomik alternatiflerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar sürmektedir. Alternatif olarak FT-IR, yakın kızılötesi spektroskopisi (NIR) ve Raman spektroskopisi gibi sensör tabanlı teknolojiler, düşük maliyet ve hızlı tarama avantajlarıyla dikkat çekmektedir (Yao vd., 2015).

Bilgisayarla görü tabanlı sistemler, özellikle NIR, multi-spektral ve hiper-spektral görüntüleme, aflatoksin tespiti konusunda giderek daha fazla ilgi görmektedir. Çeşitli ışık kaynakları (UV, halojen, LED, Xenon) kullanılarak yapılan analizler, gıdalardaki aflatoksin kontaminasyonunu değerlendirmek için büyük önem taşımaktadır (Ataş ve Doğan, 2016).

5.1. Yüksek Basıncılı Sıvı Kromatografisi (HPLC): Bu teknik bir sıvıda (mobil faz) çözünmüş bileşenlerin, katı sabit bir faz (kolon) ile değişik etkileşimlere girmesi, kolon içinde değişik hızlarla hareket etmeleri sonucunda farklı zamanlarda bileşenlerin kolonu terk ederek birbirlerinden ayrılması prensibine dayanmaktadır. HPLC cihazı temel olarak pompa, enjeksiyon bloğu, kolon ve dedektör kısımlarından oluşmaktadır. HPLC cihazında kullanılan kolonların iç çapı 4,5-5 mm ve 10-30 cm uzunluğunda,

ayrıca kolonlar 5-10 µm sabit faz partikülleriyle bağlanmış durumdadır. Kolonlar paslanmaz çelik maddeden yapılmıştır. Kolonların dolgu maddesi seçiminde, tanecik büyüklüğü, tanecik büyüklüğünün dağılımı, gözenek hacmi ve yüzey alanı gibi özellikler etkilidir. Sabit faz olarak çoğunlukla gözenekli maddeler kullanılmaktadır. Kullanılan dolgu maddeler silika ve alüminyum esaslıdır (Hışıl, 1999).

HPLC kullanılmasıındaki en önemli sebepler; duyarlı olması, doğruluğunun yüksek olması, uygulanmasının kolaylığı, uçucu olmayan veya sıcaklıkla kolayca bozulabilen bileşiklerin ayrılmasında uygun olması, hızlı sonuç alınması ve birçok maddenin tayininde kullanılabilmesi olarak sayılmaktadır (Açu ve Özdeştan Ocak, 2019; Kılıçel ve Karapınar, 2024). HPLC ile mikotoksin analizinde bilinmesi gereken en önemli faktörlerden biri, hangi mikotoksinin hangi dedektörle aranması gerektiğinin bilinmesidir. Örnek olarak aflatoksinler, fumonisinler ve okratoksinlerin analizinde Floresans Dedektör (RF) kullanılırken, trikotesenlerin analizinde Ultraviyole Dedektör (UV) veya Diode Array Dedektör (DOD) kullanılmalıdır. Ayrıca kütle dedektörü (MS/Mass Specrometer) ile de LC-MS veya LC-MS/MS sitemi şeklinde mikotoksin analizi yapılmaktadır. HPLC metodu mikotoksin analizlerinde en fazla kullanılan yöntemlerden biridir (Oruç, 2005).

5.2. Gaz Kromatografisi/Kütle Spektrometresi (GC/MS):

Bu teknikte mikotoksinlerin analizinde GC dedektörü bağlanarak mikotoksinler atomlarına kadar parçalanabilmekte ve böylelikle ölçümleri yapılabilmektedir. Fakat mikotoksinlerin analizi GC/MS ile yapılabildiği gibi diğer tekniklerin daha pratik olmasından dolayı GC/MS çok tercih edilmemektedir (Oruç, 2005). Aflatoksinlerin GC-MS analizi, ekstraksiyon, türevlendirme adımı, sililasyon veya polifloroasilasyon gibi işlemleri veya hedeflenen analitlere bağlı olarak diğer uygun yöntemleri içeren numune hazırlama ile başlamaktadır. Hazırlanan numune daha sonra GC sisteminde

bakılır, burada GC kolonunun içinde buharlaştırma ve ayırma işlemi yapılır (Xing vd., 2023; Wang vd., 2023). Ayrılan bileşikler daha sonra MS'ye konularak kütle-yük oranlarına (m/z) göre parçalanır (Majchrzak vd., 2018). GC-MS analitik bir teknik olarak çeşitli avantajlar sunmaktadır. Yüksek ayırma verimliliği sağlayarak, yüksek hassasiyet ve seçicilikle karmaşık karışımların ayrılmasına olanak sunmaktadır. GC ve MS kombinasyonu, uçucu ve yarı uçucu organik bileşikler dahil olmak üzere çeşitli bileşiklerin tanımlanmasında ve miktarının belirlenmesinde kullanılabilir.

GC-MS'in bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; GC-MS analiz için numunenin buharlaşmasını gerektirir ve bu nedenle uçucu olmayan veya termal olarak kararsız bileşikler analiz edememektedir. Bu tekniğin uygulanabilirliğini uçucu ve yarı uçucu bileşikler olarak sınırlamaktadır (Beale vd., 2018). GC-MS genellikle ekstraksiyon ve türevlendirme işlemleri dahil olmak üzere kapsamlı numune hazırlama basamakları gerektirir. İşlemlerin uzunluğundan dolayı bu teknik ile çalışmak zaman alıcı olabilmektedir.

5.3. Enzim Bağlanmış İmmunoabsorbant Yöntemi (ELISA): Günümüzde sık kullanılan mikotoksin analiz yöntemlerinden biri olan ELISA (Enzyme Linked Immuno Assay) genellikle katı yüzeylere bağlanmış az miktarda antikor ile örneklerde bulunan toksin ve toksin ile işaretlenmiş enzimlerin bağlanma savaşı temeline dayanmaktadır. Yapılan yıkama sonrasında bağlanmamış enzimler ayrılmakta, kullanılan belirli substrat ile oluşan renkli maddenin miktarına dayanarak toksin miktarının hesaplanması sağlanmaktadır (Oruç, 2005). ELISA yönteminde antijen-antikor reaksiyonları doğrudan saptanmaktadır. Mikotoksinlerin antijenik özellik göstermeleri için bir protein veya polipeptit zincirine bağlanması gerekirken, okratoksin, patulin ve penisilik asit gibi reaktif gruplara sahip mikotoksinler doğrudan

bağlanma reaksiyonları göstermektedir. Fakat aflatoksin ve trikotesenleri de kapsayan birçok toksin reaktif gruplara sahip olmadığı için öncelikle reaktif karboksil veya başka bir grubun toksin molekülüne bağlanması gerekmektedir (Hacıbekiroğlu, 2013; Chu, 1984). ELISA yönteminin çeşitli mikotoksin analizlerinde kullanılması, farklı mikotoksinlere karşı spesifik antikor üretimine bağlıdır ve bu yüzden antikor üretimi için daha etkili yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Açu ve Özdekan Ocak, 2019).

5.4. İnce Tabaka Kromatografisi (TLC): Bu teknikte cam bir levha üzerine ince tabaka halinde ve homojen olarak yayılan sabit (katı) faz için çoğunlukla silikajel, selüloz ve türevleri, nişasta, poliamid ve alüminyum oksit gibi organik ve inorganik maddeler kullanılmaktadır. Hareketli faz olarak da aseton, metanol, hekzan gibi solventler kullanılmaktadır (Oruç, 2005). İnce tabaka kromatografisi ile yapılan mikotoksin analizlerinde analitik işlem basamakları; örnekleme, ekstarksiyon ve ekstrakt temizleme, yoğunlaştırma, kromatografik ayırım, kalitatif ve kantitatif tayin ve doğrulama testleri sırasıyla yapılmaktadır (Hacıbekiroğlu, 2013). Bu yöntem ile aflatoksin analizlerinde aflatoksinlerin matrislerden ekstraksiyonunda başlıca kloform:su, metanol:su ve asetonitril:su ekstraksiyonu kullanılmaktadır. TLC metodu HPLC metoduna göre daha basit ve daha ucuzdur fakat 2 ppb' den küçük toksinler gibi çok düşük miktarlarda güvenilir olmaması, kullanılan kimyasalların ekolojik dengeye zararlı olması ve HPLC' ye göre daha uzun zamanda analiz yapılması gibi sebeplerden çok tercih edilmemektedir (Atik, 2012).

5.5. Kapiler Elektroferez Yöntemi: Çalışılan örnekler ince ve dayanıklı kapilerden elektrik akımı ile geçirilmektedir. Bu işlemde bileşikler elektrik yüklerine göre ayrılmaktadır ve geleneksel yöntemlerde olduğu gibi herhangi bir çözücü kullanılmamaktadır. Kapiler elektroferezin hassas floresanslı

saptama yöntemleriyle kombinasyonunun aflatoksinler için kullanabildiği belirtilmiştir (Turner vd., 2009; Pena vd., 2002).

5.6. Yenilikçi Yöntemler: Yeni nesil ve hızlı tespit yöntemlerinden biri olan titreşim spektroskopisi; Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR), yakın kızılötesi (NIR) ve Raman spektroskopisi gibi teknikleri içeren, moleküllerin kızılötesi ışığı soğurma özelliklerini analiz ederek kimyasal bileşimlerini belirlemeye yarayan güçlü bir analitik yöntemdir. Özellikle gıda güvenliği ve aflatoksin tespiti gibi alanlarda, bu yöntem yaygın olarak tercih edilen güvenilir bir analiz tekniğidir. Aflatoksin tespitinde FT-IR yöntemi, numuneye zarar vermeden aflatoksin varlığının belirlenebilmesi, düşük konsantrasyonların tespitinde kullanılabilmesi ve aynı anda birden fazla bileşiğin analizinin yapılarak gıda güvenliği açısından büyük avantaj sağlaması gibi sebeplerden tercih edilen yenilikçi yöntemlerdendir. Yeni nesil ve hızlı tespit yöntemlerinden bir diğeri olan NIR gıda ürünlerinin içeriğini hızlı bir şekilde ve gıdaya zarar vermeden analiz edebilmektedir. Aflatoksin kontaminasyonunu belirlemek için kullanılan bu yöntem, özellikle tahıl ve kuruyemişlerde etkili olabilmektedir. Yeni nesil ve hızlı tespit yöntemlerinden sayılabilecek Raman Spektroskopisi, moleküler titreşimleri analiz ederek aflatoksinlerin varlığını belirleyebilmektedir (METU, 2025). Bir diğeri yenilikçi yöntem olan Görüntü İşleme Teknikleri, yapay zeka destekli görüntü işleme algoritmaları aflatoksin kontaminasyonunun tespitinde kullanılabilir (Açı ve Özdekan Ocak, 2019).

6. Aflatoksin Dekontaminasyon Yöntemleri

Aflatoksin dekontaminasyonu/detoksifikasyonu, gıda ve yemlerde bulunan aflatoksinlerin etkisini azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmak amacıyla uygulanan çeşitli yöntemleri kapsamaktadır (Kumar vd., 2021). Mikotoksinlerin

dekontaminasyonu; fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç yöntem ile gerçekleştirilebilmektedir. Fiziksel dekontaminasyon yöntemi, adsorpsiyon ve termal işlemleri kapsamakla birlikte özellikle adsorpsiyon işleminde çeşitli adsorbent maddeler kullanılmaktadır. Bu yöntemde, mikotoksinlerin gıda matrisinden uzaklaştırılması hedeflenerek, besin değerinin korunmasına da önem verilmektedir. Özellikle adsorpsiyon temelli fiziksel dekontaminasyon, toksinlerin gıdalardan uzaklaştırılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Kimyasal yöntemler ise asitler, alkaliler ve oksidanlar gibi ajanlarla yapılan işlemleri içermektedir. Bu yöntem, toksinlerin kimyasal yapılarını değiştirerek zararlı etkilerini minimum seviyeye indirmeyi amaçlamaktadır.

Son olarak, biyolojik dekontaminasyon yöntemleri fermentasyon, mikrobiyolojik metabolizasyon ve enzimatik parçalama gibi süreçleri kapsamakta ve toksinlerin biyolojik yollarla etkisiz hale getirilmesini sağlamaktadır. Bunlara ek olarak, her yöntemin etkinliği, gıda türü, toksin konsantrasyonu ve çevresel koşullar gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Filazi ve Avcı, 2018; Pankaj vd., 2018).

7. Sonuç ve Öneriler

Aflatoksinlerin en önemli sebebi sağlık üzerine etkileri ve ülkenin ekonomisi için kayıpları düşünüldüğünde, özellikle kuru incir ve aflatoksin riski taşıyan tüm gıdalarda izlenebilirliğin çok önemli olduğu görülmektedir. Kuru incirde bahçeden tüketime kadar olan her aşamada aflatoksin yönünden analizler ve kontroller yapılarak ilerlenmelidir. Yasal düzenlemeler doğrultusunda kabul edilen sınırlardan daha yüksek aflatoksin içeren kuru incirlerin tüketilmesine izin verilmemelidir. Aflatoksinlerin insanlarda birçok sağlık problemlerine, özellikle de karaciğer kanserine sebep olmasından dolayı hızlı ve etkin tespit edilebilmeleri önem taşımaktadır. Aflatoksin bulaşması genel olarak ürünün hasat

edilmesi, üretim aşaması ve depolama dönemlerinde gerçekleşmektedir. Buna ek olarak, ortamın nem ve sıcaklığı, üründe küf oluşumu ve böcek tahribatı aflatoksin oluşmasında etkilidir (Ataş ve Doğan, 2016).

Aflatoksin oluşumunun önlenmesi, gıda güvenliği açısından oldukça önem taşımaktadır. Bu süreçte temel hedef, aflatoksinlerin biyosentezinden sorumlu olan küflerin gelişiminin engellenmesidir. Küf gelişiminin kontrol edilememesi durumunda ise alternatif yaklaşımlar devreye girerek toksik etkinin azaltılması veya mevcut toksinlerin giderilmesi amaçlanmaktadır (Şentürk, 2020). Aflatoksin sorununun çözümünde kesin bir sonuç olmamakla birlikte aflatoksinlerin giderilmesi veya azaltılması yönünde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. İncir daha bahçedeyken temiz ilek kullanılması, hasat zamanında yere düşen incirlerin uzun süre yerde kalmaması, kurutmanın kerevetlerde yapılarak tam kurutma sağlanması gibi bazı hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir (Günaydın, 2018). Uluslararası Kanseri Araştırma Ajansı'nın (IARC) verilerine göre aflatoksin, karaciğer kanserine neden olabilen güçlü bir kanserojen olarak sınıflandırılmaktadır. Bu yüzden ülkelerin çoğu, aflatoksin seviyelerini 5-10 ppb gibi düşük limitlerde tutarak kontrol altına almayı hedeflemektedir (Ataş ve Doğan, 2016).

Aflatoksinlerin hızlı ve güvenilir şekilde tespit edilmesi, gıda güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Geleneksel yöntemler genellikle zaman alıcı ve maliyetli olduklarından artık yerlerini yeni nesil teknolojilere bırakmaya başlamıştır. Yeni nesil teknolojiler daha hızlı, tahribatsız ve düşük maliyetli çözümler sunarak gıda güvenliğini artırmaktadır. Örneğin, multispektral görüntüleme teknikleri, aflatoksin bulaşmış gıda ürünlerini ayırt edebilmektedir. Yeni nesil teknolojiler arasında sensör teknolojilerinin ve yapay zeka destekli analizlerin, aflatoksin tespitinde gelecekte daha yaygın hale geleceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Açu, M. ve Özdeştan, Ocak Ö. (2019). Gıdalarda Aflatoksin Düzeylerinin Belirlenmesinde Kullanılan Analiz Yöntemleri. Sinop Uni J Nat Sci 4 (2): 168-181.

Aksoy, U. (2017). The dried fig management and the potential for new products. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1173.65>.

Aksoy, U., Can, H. Z., Hepaksoy, S. ve Şahin, N. (2001). İncir yetiştiriciliği, TÜBİTAK TARP (Türkiye Tarımsal Araştırma Projesi) Yayınları, İzmir.

Albay, Z., Şimşek, B., (2011): Süt ve süt ürünlerinde mikotoksinler ve özellikleri. Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi, 9(2), 50-60.

Anonim, (2023). *Tarım Ürünleri Piyasaları: İncir*. Temmuz 2023.

Ataş, M. ve Doğan, Y., (2016). Hiperspektral Görüntüleme ile Aflatoksin İmzasının Tespiti. Siirt Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği.

Atik, İ., (2012). Aydın ilinde doğal olarak kurutulan, geleneksel ve endüstriyel işlenen incirlerin bazı özellikleri ve aflatoksin içerikleri (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Agriopoulou, S., Stamatelopoulou, E., Varzakas, T. (2020). Advances in occurrence, importance, and mycotoxin control strategies: Prevention and deoxification in foods. Foods. 9(2):137.

Ayar, A. ve Karacaoğlu, Ç. (2023). İncir Sütü-Fisin-Lateks, Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi, 5(1):12-20.

Beale, D. J., Pinu, F. R., Kouremenos, K. A., Poojary, M. M., Narayana, V.K., Boughton, B. A., ... , Dias, D.A. (2018). Review of recent developments in GC-MS approaches to metabolomics-based research. *Metabolomics*, 14, pp. 1-31.

Chu, F.S., (1984). Immunoassays for analysis of Mycotoxins. *Journal of Food Protection* 47:562-569.

Çağındı, Ö. ve Talay, A. (2017). Ege Bölgesi'nde Satılan Üzüm, Erik ve Kayısı Pestillerinin Aflatoksinler ve Okratoksin A Düzeylerinin Belirlenmesi, *Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University*, 34(1), 201 208s.

Çalışkan, O. and Polat, A. A. (2012). Morphological diversity among fig *Ficus carica* L. accessions sampled from the Eastern Mediterranean Region of Turkey, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36(2):179-193p.

Çetinkaya, E. (2015). HPLC ve ilaç sanayinde uygulamaları. Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Kimya Bölümü, İnovaktif Kimya Dergisi, Sayı 16-Sayfa 7.

Edremit, N.F. (2013). Aydın ilinin bazı ilçelerinde incir mozaik hastalığının yaygınlığının belirlenmesi, etmenin tanınması ve üretim materyalinin incir sürgün ucu kültürü-termoterapi ile etmeden arındırılması. Doktora Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.

European Commission (EC) (2012). Commission Regulation (EU) No 1058/2012 of 12 November 2012 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels for aflatoxins in dried figs. *Official Journal of the European Union*, L313, 14-15.

Filazi, A. ve Avcı, B. (2018). Gıda ve Yem Endüstrisinde Mikotoksin Oluşumunun Engellenmesi ve Detoksifikasyonuna Yönelik Uygulamalar. *International Journal of Scientific and Technological Research* ISSN 2422-8702 (Online), Vol 4, No. 10.

Günaydın, Ş. (2018). Farklı Besiyeri Ortamlarında Şelat Ajanlarının Kullanımıyla Aspergillus flavus Gelişimi ve Aflatoksin Üretiminin Önlenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.

Hacıbekiroğlu, I. (2013). Gıda Örneklerinde Aflatoksin (G1, G2, B1, B2) ve Okratoksin A'nın HPLC Metot Validasyonu ve Miktar Tayinleri, Doktora Tezi, T.C. İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 121 s.

Heperkan, D. (2014). Gıdalarda Mikotoksinler (1.Baskı). İzmir, Sidas Yayınları, 29–42.

Hışıl, Y. (1999). Enstrümental Gıda Analizleri (I). Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova İzmir, 218.

Hussain, HS, Brasel, JM. (2001). Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on humans and animals. Toxicology; 167 (2): 101–34.

Karaca, H. (2005). Kuru incirlerin aflatoksin, patulin, ergosterol içeriği ve farklı koşullarda aflatoksinlerin parçalanma düzeyleri, Pamukkale Üniversitesi, 118s.

Karaman, S., Acar, B. (2006). Uluslararası Gıda Ürünleri Ticareti ve Aflatoksin Yasal Düzenlemeleri, Doğu Üniversitesi Dergisi, 7 (2) 2006, 190-197.

Koirala, P., Kumar, S., Yadav, BK., Premarajan, KC. (2005). Occurrence of aflatoxin in some of the food and feed in Nepal. Indian J Med Sci; 59 (8): 331–6.

Kılıçel, F. ve Karapınar, S. H., (2024). Bazı Gıdaların Aflatoksin İçeriğinin HPLC Metodu İle Tayini, Serüven Yayınevi, Çankaya, Ankara.

Kumar, A., Pathak, H., Bhadauria, S. *et al.* (2021). Aflatoxin contamination in food crops: causes, detection, and management: a review. *Food Prod Process and Nutr* 3, 17. <https://doi.org/10.1186/s43014-021-00064-y>.

Majchrzak, T., Wojnowski, W., Lubinska-Szczygel, M., Rozanska, A., Namiesnik, J. ve Dymerski, T. (2018). PTR-MS and GC-MS as complementary techniques for analysis of volatiles: A tutorial review. *Analytica Chimica Acta*, 1035, pp. 1-13.

METU MERLAB. Kızıl Ötesi ve Raman Spektroskopi Laboratuvarı (KORL). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, MERLAB Araştırma Merkezi. <https://merlab.metu.edu.tr/tr/system/files/Belgeler/TanitimBrosurleri/KORL.pdf> Erişim: 15.05.2025

Nas, S. ve Karaca, H. (2004). Ülkemiz Açısından Önemli Bazı Kuru Meyvelerde Toksik İkincil Metabolitler, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Çamlık, Denizli.

Oruç, Hüseyin H. (2005). Mikotoksinler ve Tanı Yöntemleri, Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi 24, 1-2-3-4: 105-110.

Öksüztepe, G. ve Erkan, S. (2016). Mikotoksinler ve halk sağlığı açısından önemi, Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 5(2):190-195s.

Pamuk, Ş. ve Biçer, E. (2022). Zayıflama Amacıyla Kullanılan Bitkisel Çaylarda Aflatoksin Varlığının Araştırılması. *Kocatepe Vet. J.* 15(1):94-100. DOI: 10.30607/kvj.1016244.

Pankaj, S. K., Wan, Z. and Keener, K. M. (2018b). Effects of cold plasma on food quality: A review, *Foods*, 7(1),4:1-21p.

Pena, R., Alcaraz, M. C., Arce, L., Rios, A., & Velcarcel, M. (2002). Screening of aflatoxins in feed samples using a flow system

coupled to capillary electrophoresis. Journal of chromatography A, 967(2), 303-314.

Sdogati, S., Pacini, T., Bibi, R., Caporali, A., Verdini, E., Orsini, S., Ortenzi, R., Pecorelli, I. (2024). 2018'den 2022'ye kadar Orta İtalya'da Yem ve Yem Malzemelerinde Aflatoksin B1, Zearalenone ve Okratoksin A'nın Birlikte Ortaya Çıkması; 13(2):313. <https://doi.org/10.3390/foods13020313>.

Şentürk, Ş. (2020). Kuru İncirlerdeki Aflatoksinlerin Gideriminde Adsorbentlerin Etkinliğinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Turner, N. W., Subrahmanyam, S., Piletsky, S. A. (2009). Analytical methods for determination of mycotoxins: A review. *Analytica Chimica Acta* 632:168–180.

Uslu, M. (2023). Kuru İncirlerde Okratoksin A ve Aflatoksin Varlığının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Adana Alparslan Türkeş Bilim Ve Teknoloji Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 7s.

Yao, H., Z. Hruska, and J. Diana, Di Mavungu. (2015). "Developments in detection and determination of aflatoxins." *World Mycotoxin Journal* 8.2: 181-191.

Wang, P., Kan, Q, Yang, L., Huang, W., Wen, L., Fu, J., ... , Ho, T. (2023). Characterization of the key aroma compounds in soy sauce by gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry, headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry, odor activity value, and aroma recombination and omission analysis. *Food Chemistry*, 135995.

Xing, Z., Zogona, D., Wu, T., Pan, S. ve Xu, X. (2023). Applications, Challenges and Prospects of Bionic Nose in Rapid Perception of Volatile Organic Compounds of Food. *Food Chemistry*, 135650.

TAHILLARDA ANTİNUTRİENTLERİN AZALTILMASINDA GIDA İŞLEME VE BÖLÜM 3 MİKROBİYAL DETOKSİFİKASYON YÖNTEMLERİ

1. Derya Ozalp Unal¹

1. Giriş

Tahıllar, dünya gıda sistemlerinin bel kemiğini oluşturur; çünkü milyarlarca insanı gerekli enerji ve besin öğeleriyle beslerler. Ancak tahılların besin değeri, içerdikleri antibesin maddeler nedeniyle olumsuz etkilenir. Bitkilerde doğal olarak bulunan çeşitli savunma bileşenleri, temel besin öğelerinin insan vücudu tarafından kolayca alınmasını engeller. Fitik asit, polifenoller, tanenler ve oksalik asit gibi doğal maddeler, tahıllarda bulunarak demir, çinko ve kalsiyum gibi minerallerle kimyasal bağlar oluşturur ve bu minerallerin vücut tarafından emilimini azaltır. Yüksek miktarlarda antibesin bileşenlerinin varlığı, özellikle beslenmesi büyük ölçüde tahıllara dayanan insanlarda mikronutrient eksikliklerinin daha da kötüleşmesine neden olur (Sheoran ve ark., 2024; Vinoth & Ravindhran, 2017).

Farklı tahıl türlerinin ne kadar antibesin içerdiğini bilmek hem beslenme kalitesini artırmak hem de küresel yetersiz beslenme sorununa çözüm geliştirmek açısından büyük önem taşır (Şekil 1). Antibesinlerin hem tıbbi faydalarını hem de sağlık üzerindeki olumsuz etkilerini yönetebilmek için etkili stratejilerin geliştirilmesi şarttır. Antibesinlerin etkin şekilde azaltılması ve mikrobiyal biyokimya ile detoksifikasyon yöntemleri kullanılarak

¹ Doktor, Tarla Bitkileri Merkez araştırma Enstitüsü/Kalite ve Teknoloji-Bitkisel Gıdalar Araştırma Merkezi, Orcid: 0000-0002-0268-9812

tahılların besin değerlerinin iyileştirilmesi, yararlı ve uygulanabilir bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

Başlıca Tahıl Çeşitleri ve Antinutrient Profilleri

- Millet

Küçük taneli bir tahıl grubu olan darılar (millet), yüksek besin değeri sağlamalarının yanı sıra çevresel koşullara gösterdikleri uyum kabiliyetiyle öne çıkar. Bu tahıl taneleri, proteinlerin yanı sıra vitamin ve mineraller içerir; ancak aynı zamanda fitik asit, polifenoller ve tanenler gibi antibesin bileşenlerini de barındırırlar. Bu bileşiklerin varlığı, insan vücudunda demir ve çinko minerallerinin biyoyararlılığını azaltır (Sheoran ve ark., 2024; Vinoth & Ravindhran, 2017).

Darı, iyi bir kalsiyum kaynağı olsa da içeriğindeki fitik asit mineral emilimini olumsuz etkiler. Ancak fitik asit, fermentasyon ve çimlendirme işlemleriyle başarıyla uzaklaştırılabilir (Sow & Ranjan, 2021; Vinoth & Ravindhran, 2017). İnci darısındaki polifenollerin antioksidan özellikleri, besin maddelerinin emilimini azaltır. Bununla birlikte, inci darısında bulunan fitik asit, polifenoller ve amilaz inhibitörlerinin etkisi; çimlenme tamamlandığında ve otoklavlama ile fermentasyon gibi işlemler sırasında azalarak besin değerini artırır (Choudhary ve ark., 2023; Sharma & Kapoor, 1996).

- Arpa

Arpa, değerli tahıl ürünleri arasında yer alan tarımsal bir üründür. Arpanın besin lifi içeriği; mineraller ve vitaminleri içerirken aynı zamanda fitik asit ve fenolik bileşikler gibi antibesin öğeleri de barındırır. Arpadaki bu bileşikler, insan vücudunda çinko ve demir emilimini engeller. Ancak antibesin düzeyleri, filizlendirme ve maltlama işlemleriyle azaltılarak, besin öğelerinin

biyoyararlılığı artırılabilir (Farag ve ark., 2022; Liaqat ve ark., 2023).

- **Buğday**

Buğday, dünya genelinde en çok tüketilen tahıl ürünlerinden biridir. Yüksek karbonhidrat içeriğiyle birlikte bazı minerallerden de faydalanma sağlar; ancak içerdiği fitik asit ve oksalik asit gibi antibesin bileşikleri, besin değerini düşürür. Bu bileşikler, demir ve çinko emilimini engeller. Biyogüçlendirme araştırmaları, çinko açısından zenginleştirilmiş buğday çeşitlerinin geliştirilmesini içermektedir (Neeraja ve ark., 2022).

- **Pirinç**

Pirinç, Asya başta olmak üzere dünya genelinde milyonlarca insanın temel besin kaynağını oluşturur. Diğer tahıllara kıyasla antibesin içeriği daha düşüktür; ancak demir ve çinko gibi mikro besin öğeleri genellikle yetersizdir. Demir açısından zenginleştirilmiş pirinç çeşitlerinin geliştirilmesini içeren biyofortifikasyon stratejileri, pirincin besin kalitesini artırmada etkili olmuştur (Neeraja ve ark., 2022; Prasad ve ark., 2014).

- **Sorgum ve Diğer Tahıllar**

Sorgum, özellikle kurak iklim bölgelerinde yaygın olarak kullanılan önemli bir tahıldır. Sorgum ve diğer bazı tahıllar, tanen ve fitik asit gibi antibesin maddeleri içerir ve bunlar besin emilimini azaltır. Yulaf ve mısır gibi tahıllar da fitik asit ve polifenoller içerir; ancak uygun işleme yöntemleri ve biyoyararlılığı artıran teknikler sayesinde bu antibesinlerin düzeyi azaltılabilir (Zhu ve ark., 2010).

Tahıllardaki Antibesinleri Azaltma Stratejileri

Tahıl ürünlerinin besin içeriğini iyileştirme ve antibesin düzeylerini azaltma çalışmaları, genetik mühendislik ile

biyofortifikasyonun birleştirildiği ileri biyoteknolojik yaklaşımlar sayesinde günümüzde mümkün hale gelmiştir. Bilim insanları, CRISPR/Cas gen düzenleme teknolojisi ve benzeri yöntemler kullanarak, temel besin ögelerini içeren ancak antibesinleri azaltılmış tahıl bitkileri üretmektedir (Bhattacharya ve ark., 2024; Vinoth & Ravindhran, 2017).

Agroekolojik biyofortifikasyon, pestisitler ve tarım uygulamaları yoluyla tahılların besin içeriğini artırmaktadır. Özellikle buğday ve pirinçte çinko zenginleştirmesi, hedeflenmiş gübre uygulamalarıyla sağlanmıştır (Barman ve ark., 2023; Sow & Ranjan, 2021).

 imlendirme, fermentasyon ve maltlama gibi işleme teknikleri kullanıldığında tahıllardaki antibesin oranlarında ciddi düşüşler görülür. Öğütme işlemleri, özellikle darı gibi tahıllarda fitik asit seviyelerini azaltmakta ve minerallerin biyoyararlılığını artırmaktadır (Farag ve ark., 2022; Sheoran ve ark., 2024).

Farklı gıda ögelerinin bir arada tüketilmesi, tahıllarda bulunan antibesinlerin olumsuz etkilerini azaltmada etkili bir yöntemdir. Örneğin, C vitamini açısından zengin gıdaların tahıllarla birlikte tüketilmesi, demir emilimini artırmaktadır (Sow & Ranjan, 2021; Zhu ve ark., 2009).

Tahıllardaki Antibesin Bileşikler

Tahıllar, besin emilimi ve kullanımı üzerinde engelleyici etkileri olan birçok antibesin faktörü (ANFs) bakımından zengindir. Temel antibesin bileşikleri şunlardır:

1. Fitat (Fitik Asit)

Fitik asit, bitkilerin tohum ve tanelerinde bulunan başlıca fosfor depolama şeklidir. Fitat, minerallere bağlanarak vücutta emilimlerini engellediği için bir antibesin olarak kabul edilir. Bu durum, özellikle bitki temelli beslenen bireylerde yeterli besin

alımını zorlaştırır (Şekil 2). Fitik asit, oksidatif strese karşı koruma sağlayan antioksidan özelliklere sahiptir; ayrıca kalp hastalıkları, damar sertliği, böbrek taşı, diyabet ve kansere karşı önleyici etkiler gösterdiği de bildirilmiştir (Schlemmer ve ark., 2009).

Fitik asit; yağlı tohumlar, kuruyemişler ve tahıllarda bulunur ve bu besinlerin yapısal bileşimini etkileyebilir (Suvarna ve ark., 2017). Aynı zamanda demir, çinko, kalsiyum ve magnezyum gibi çeşitli minerallerin emilimini etkilerken, su-fosfor dengesi üzerinde de rol oynar. Bazı araştırmalar, bitkisel bazlı beslenen bireylerde bu minerallerin eksikliklerini, bitkisel kaynaklı yüksek fitat alımına bağlamaktadır (Clark ve ark., 2004; Manzoor ve ark., 2022).

Fitatın sadece mineral emilimini engellemekle kalmayıp, başka sağlık etkileri de olduğu bildirilmektedir. Ayrıca, tahıllarda fitatla birlikte bulunan proteaz inhibitörleri, tanenler ve nişasta dışı polisakkaritler gibi diğer antibesin maddeleri de sindirim ve emilimi engelleyici rol oynar (Madsen & Brinch-Pedersen, 2015). Ancak çalışmalar, bu antibesinlerin azaltılabileceğini ve ürünlerin besleyici potansiyelinin artırılabilceğini ortaya koymuştur. Bu iyileştirme; çimlendirme, fitaz enzimi kullanımı veya fizyolojik çeşitlilik içinde çapraz ıslah yöntemleriyle sağlanabilir. Bazı örneklerde fitin fosfor izlerine rastlanmış olsa da Nkhata ve ark. (2018) çalışmasına göre bu kimyasal maddelerin gerçekten bulunup bulunmadığı kesin olarak kanıtlanamamıştır.

Fitatın yalnızca olumsuz değil, aynı zamanda olumlu etkiler de taşıdığı için diyetisyenlerin bu bileşiğe geçişsel ve geniş bir bakış açısıyla yaklaşmaları gerektiği savunulmaktadır. Vücutta mineral bağlayıcı etkileriyle zararlı olabilse de fitat aynı zamanda faydalı özellikler de barındırmaktadır. Uygun bir beslenme stratejisi, fitat alımıyla birlikte yeterli mineral alımına olanak tanıyarak mineral kaybını azaltmak olabilir.

2. Tanenler (Tannins)

Tanenler, bitki kökenli polifenolik bileşiklerdir ve kompleks kimyasal yapıları ile biyolojik olarak aktif olmalarıyla bilinirler. "Hidrolize edilebilir tanenler" (temel bileşiği kateşindir) ve "yoğunlaşmış tanenler" (flavonoid polimerleri) olarak sınıflandırılırlar. Tanenler; yaprak, kök, meyve gibi bitkinin her parçasından elde edilebilir. Makromoleküllerle güçlü şekilde bağ kurmaları belirgin özelliklerinden biridir (Gupta ve ark., 2016).

Geçmişte gıda hazırlamada, özellikle mısırda kullanılmış olan tanenler, günümüzde antikanser, antienflamatuar ve antimikrobiyal özellikleri nedeniyle biyoaktif potansiyelleri açısından araştırılmaktadır. Özellikle bazı polifenollere karşı geliştirilen mikrobiyal direnci baskıladığı, hücresel düzeyde endojen molekülleri hedeflediği ve bazı kanser türlerinde (örneğin akciğer kanseri) farklı yolları etkileyebildiği gösterilmiştir (Kleszcz ve ark., 2023).

Tanenlerin proteinlere bağlanma özellikleri, onları birçok sektörde kullanılabilir kılarken, bu durum bazı durumlarda gıdalar açısından olumsuz sonuçlara yol açabilir (Akinyemi ve ark., 2013). Tanenlerin bağlanabilirliği, biyoyararlılığı azaltabilir ve emilim-metabolizma süreçlerini karmaşıktırabilir (Endalew ve ark., 2024; Oliveira ve ark., 2021). Ayrıca protein üretimini artırma ihtiyacı ve amilaz ile protein konsantrasyonunun inhibisyonu, metabolik talebi artırabilir (Savelkoul ve ark., 1992). Tanenlerin anti-besinsel etkilerini azaltmak için ısıtma, kurutma ve alkali işlemler gibi biyolojik yöntemler kullanılmaktadır (Akinyemi ve ark., 2013). Fazla alımı zararlı olabilir; bu nedenle ölçülü kullanımı, antioksidanlar ve bağırsak sağlığını destekleyici tedavilerle birlikte önerilmektedir. Tanenlerin antinutrient olarak değerlendirilmesi, daha fazla klinik ve toksikolojik araştırma ile yeniden gözden geçirilmelidir (Watrelet & Norton, 2020; Kleszcz ve ark., 2023).

3. Tripsin İnhibitörleri (Tİ)

Tripsin inhibitörü, tahıl ve baklagillerde yüksek düzeyde bulunan, protein sindiriminde görevli tripsin enzimine bağlanarak pankreas büyümesine neden olabilen antinutrient bir proteindir (Condori & De Camargo, 2023). Bu inhibitörler, sindirim enzimlerinin çalışmasını engeller, bu da proteinin yeterince parçalanıp emilememesine yol açar (Arsov ve ark., 2024; Kong, Li & Liu, 2022). Yetersiz protein alımı, kötü beslenme ve sindirim sistemi sorunlarına neden olabilir (Faizal ve ark., 2023; Mohanto & Aye, 2024). Ancak bazı araştırmalar, Tİ'lerin antikanser potansiyeli olabileceğini de öne sürmektedir (Condori & De Camargo, 2023).

Isıl işlem gibi yöntemlerle tripsin inhibitörlerinin miktarı azaltılabilir ve gıdanın tüketimi daha güvenli hale gelir. Bitkisel gıdalarda Tİ seviyelerinin ölçümü, besin kalitesini değerlendirmek ve sağlık üzerindeki potansiyel etkileri belirlemek açısından önemlidir (Hussein & Hussein, 2024). Dolayısıyla, bu inhibitörlerin çift yönlü etkisi dikkate alınmalı ve insan sağlığı üzerindeki rollerinin daha ayrıntılı araştırılması gerekmektedir.

4. Lektinler

Lektinler, karbonhidrat bağlayıcı özelliklere sahip proteinlerdir ve özellikle bitkilerde yaygın bulunurlar. Karbonhidratlara seçici bağlanma yetenekleri nedeniyle, besin emilimini engelleme, inflamasyonu tetikleme ve bağırsak yapısını bozma gibi etkileri vardır (Arsov ve ark., 2024; Devi & Singh, 2024; Kong, Li & Liu, 2022).

Lektinler, insülin üreten hücreler üzerinde de toksik etki gösterebilir. Ayrıca, bağışıklık sistemini aşırı uyatarak alerjik reaksiyonlara, gastrointestinal sorunlara ve pankreas-bağırsak hipertrofisine yol açabilir. Ancak kavurma ve haşlama gibi ısıl işlemlerle lektin miktarı ciddi şekilde azaltılabilir, bu da onları güvenli ve hatta faydalı hale getirir (Soni ve ark., 2022). Bazı

çalışmalar, lektinlerin bağışıklık tepkisi uyarak akciğer kanseri gibi bazı kanser türlerinde terapötik potansiyel taşıyabileceğini göstermektedir (Khanum ve ark., 2024). Ancak bu çelişkili etkilerin daha net anlaşılması için ileri düzey araştırmalara ihtiyaç vardır.

5. Oksalatlar

Oksalatlar, bazı bitkisel gıdalarda bulunan ve sağlığa zararlı olabilen antinutrient bileşiklerdir. Özellikle yeşil yapraklı sebzelerde (ıspanak, çay, filizler vb.) bulunan oksalatlar, kalsiyum emilimini engelleyerek böbrek taşı oluşumuna neden olabilir (Zayed, Adly & Farag, 2025). Oksalatlar, kalsiyum ve magnezyum gibi minerallerle kompleks oluşturarak bağırsaktaki emilimlerini azaltır (Anaemene & Fadupin, 2020).

Oksalat açısından zengin diyetler, düşük mineral alımı ve böbrek taşı oluşumuyla ilişkilidir (Faizal ve ark., 2023; Mohanto & Aye, 2024b). Aynı zamanda hiperkalsemi, inflamasyon ve metabolik bozukluklarla da bağlantılıdır (Salgado ve ark., 2023; Barman ve ark., 2023). Haşlama ve buharda pişirme gibi yöntemlerle oksalatların biyoyararlılığı azaltılabilir (Zayed ve ark., 2025). Ayrıca genetik mühendislik teknikleriyle, oksalat içeriği azaltılmış bitkiler geliştirilebilir (Nayagam, 2021).

6. Saponinler

Saponinler, bitkilerin metabolizmasından türeyen ve besin maddeleri üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkiler gösterebilen bileşiklerdir. Tarihsel olarak saponinler, besin emilimini engelledikleri için birer antibesin olarak sınıflandırılmıştır. Ancak son zamanlardaki araştırmalar, saponinlerin kanser ve tip 2 diyabet tedavisinde kullanılabileceğini ve insülin baskılayıcı etkileri olabileceğini göstermiştir. Bu durum, saponinlerin hem gıda hem de tıpta önemli uygulamalara sahip olduğunu ortaya koyar. Düşük dozlarda saponinlerin kan şekerini düşürdüğü, kolesterol seviyelerini azalttığı, tümör büyümesini

baskıladığı, antioksidan ve antiinflamatuvar özellikler gösterdiği bildirilmiştir (Fekadu Gemede, 2014; Nguyen ve ark., 2001; Timilsena ve ark., 2023).

Ayrıca saponinler, doğal emülsifiye edici ve stabilize edici olarak kullanılabilir; bu da ürünün dokusunu geliştirip raf ömrünü uzatır. Ancak yüksek dozlarda acı tat, toksisite ve nörotoksik etkiler, saponinlerin kullanımını sınırlayan tehditler arasındadır. Yine de adjuvan aşı sistemlerinde saponinlerin etkisini artırmaya yönelik derinlemesine araştırmalar yapılmaktadır. Bu nedenle, saponinlerin kullanımında fayda-risk dengesi gözetilmeli ve maksimum fayda minimum riskle sağlanmalıdır.

Antibakteriyel Etkenlerin Sağlık Üzerindeki Etkileri

Antibesin bileşenleri, gastrointestinal sistemde proteinler, vitaminler ve mineraller gibi önemli besin öğelerine bağlanarak emilimlerini azaltır (Mohanto & Aye, 2024c; Schlemmer ve ark., 2009; Tiwari & Dubey, 2025). Fitik asit; kalsiyum, çinko ve demir gibi minerallerle birleşerek bu besinlerin emilimini engeller, özellikle monoton bitkisel diyet uygulayan topluluklarda yetersizliklere neden olur. Lektinler ve proteaz inhibitörleri, sadece besin emilimini engellemekle kalmaz, aynı zamanda bağırsak yüzeyine ve mukozasına zarar vererek sindirim bozukluklarına ve bağışıklık sistemi problemlerine yol açar (Di ve ark., 2024; Silva & Silva, 2000).

a. Mineral Eksiklikleri

Antibesin bileşiklerinin mineral emilimi üzerindeki etkileri özellikle bitkisel besinlerde yaygın oldukları için endişe vericidir. Fitatlar, oksalatlar, tanenler ve saponinler gibi bileşikler demir, çinko ve kalsiyum gibi minerallere bağlanarak emilimlerini engeller (Mihrete, 2019; Soni ve ark., 2022).

Bu etkiler, antibesinlerin miktarına, diğ er besinlerle etkileşimine ve uygulanan işleme yöntemlerine göre değışiklik gösterir. Özellikle fitat ve oksalat açısından zengin olan tahıllar, baklagiller ve yeşil yapraklı sebzeler ( r. ıspanak), bu minerallerin emilimini büyük oranda sınırlar (Nath, Samtiya & Dhewa, 2022). Ancak bazı antibesinler düşük konsantrasyonlarda sağlık yararları sağlayabilir ( rneğin: kan şekeri ve kolesterol düşürücü etkiler). Bu durum, antibesinlerin çift yönlü etkiler taşıdığını ve dikkatli yönetilmesi gerektiğini göstermektedir (Tiwari & Dubey, 2025).

b. Demir ve  inko Eksikliği

Demir ve çinko dengesi, özellikle çocuklar ve hamile kadınlar gibi hassas gruplar için hayati öneme sahiptir. Bu iki mineralin emilimi birlikte düzenlenir ve eksiklikleri sağlık üzerinde ciddi etkiler yaratabilir (Bhutta ve ark., 2000; Kelkitli ve ark., 2016). Fitat ve polifenoller gibi antibesinler, demir ve çinkonun emilimini önemli ölçüde azaltır.  ay ve kahvede bulunan bazı polifenoller de bu etkiyi artırabilir.

Ancak C vitamini veya sitrik asit ile alındığında, fitatların demir emilimi üzerindeki olumsuz etkisi azaltılabilir (Gillooly ve ark., 1983). Fonksiyonel gıdalarla birlikte tüketim bu minerallerin eksikliğini önleyebilir, fakat bu gıdaların besleyici özelliklerinin de değerlendirilmesi gerekmektedir.

c. Kalsiyum Eksikliği

Oksalat ve fitat gibi bileşikler, kalsiyumla kompleks oluşturarak bağırsaklardaki emilimini azaltır. Bu durum, kalsiyum açısından yetersiz ve antinutrient yönünden zengin besinlerin tüketimiyle daha da kötüleşir. Kalsiyum emilimini artırmak ve fitat konsantrasyonunu azaltmak için sitrik asit veya ksilitol içeren takviyeler önerilse de işlenmiş yapay gıdaların uzun vadeli etkileri göz önünde bulundurulmalıdır.

Tanenlerin polifenolik yapısı da sindirim enzimlerine bağlanarak protein sindirimini azaltabilir. Laboratuvar çalışmaları, özellikle sorgum ve bazı baklagillerde tanenlerin protein sindirilebilirliğini %30 oranında azalttığını göstermektedir (Spalinger ve ark., 2010).

d. Protein Biyoyararlılığı

Tripsin inhibitörleri ve tanenler birlikte bulunduğunda protein sindirimi üzerinde sinerjik olarak engelleyici etki yaratabilir (Singh & Jambunathan, 1981). Örneğin nohut kabuğundaki tanenlerin tripsin inhibitör aktivitesini artırdığı bildirilmiştir.

Fermantasyon ve ısı işlemler gibi işleme teknikleri bu antinutrientlerin etkilerini azaltmada etkilidir (Bartkiene ve ark., 2018). Ancak çok yüksek sıcaklıkta proteinler denatüre olabileceğinden, aşırı ısı işlemler besin değerini düşürebilir (Hamaker, 2003). Bu yüzden, bu bileşiklerin etkilerini azaltmak için uygun işleme stratejileri geliştirilmelidir.

e. Gastrointestinal Bozukluklar

Lektinler ve saponinler tüm bitkilerde bulunan antinutrientler olup, özellikle çölyak hastalığı gibi gastrointestinal hastalıkları kötüleştirebilir. Bu hastalıkta, gluten bağışıklık sistemini tetikler ve ince bağırsak yüzeyine zarar verir. Lektinler, bağırsak duvarına bağlanarak geçirgenliği artırabilir ve bağışıklık sistemini aşırı uyarabilir. Saponinler ise deterjan benzeri yapıları sayesinde hücre zarına zarar vererek iltihaplanmayı artırabilir (Sollid, 2005).

Ancak diyetin omega-3 yağ asitleri ve flavonoidler gibi antiinflamatuvar bileşenlerce zenginleştirilmesi, bu etkileri hafifletebilir (Ferretti ve ark., 2012). Bağırsak mikrobiyotası ve bağışıklık sistemi üzerindeki etkileri, bu hastalıkların terapötik hedefleri arasında yer almaktadır (Witherden & Moyes, 2017).

Detoksifikasyon Yöntemleri

Gıda işleme yöntemleri, antinutrientlerin insan vücudu üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmayı da amaçlamaktadır. Bu teknikler, gıdalardaki antinutrient miktarını azaltarak besinlerin biyoyararlılığını artırmayı hedefler. Yaygın kullanılan yöntemler arasında ıslatma, fermentasyon, kaynatma, çimlendirme ve otoklavda pişirme yer alır. Örneğin, dekoksiyon ve otoklavlama işlemlerinin bitkilerdeki tanen ve oksalatı etkili bir şekilde azalttığı, ıslatma ve çimlendirmenin ise fitat içeriğini önemli ölçüde düşürdüğü gösterilmiştir (Tiwari & Dubey, 2025).

Fermentasyon, antinutrient bileşenlerini parçalayan mikroorganizmaların aktivitesini artırarak tahıl ve baklagillerin biyoyararlılığını artırmada etkili bir yöntem olarak kullanılabilir. Bu süreç aynı zamanda antinutrientlerin azaltılmasını da destekler (Mohanto & Aye, 2024). Yüksek basınç veya elektrik alan gibi modern fermentasyon teknolojileri, antijenik yapıları değiştirme potansiyeli sayesinde bitkisel materyallerin işlenmesinde faydalı olup, biyolojik olarak aktif bileşiklerin ve antinutrientlerin azaltılmasında etkili sonuçlar sunar.

- Fermentasyon ve Çimlendirme Yöntemleri

Tahıllar, dünya genelinde temel enerji kaynağıdır; ancak içerdikleri antinutrientler tüketim ve verimliliği olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, fermentasyon ve çimlendirme gibi yöntemler, tahıllardaki besin içeriğini artırmak ve antinutrientleri azaltmak amacıyla etkili işlemler olarak benimsenmiştir. Örneğin, tahıllardaki fitatlar, çinko, demir ve kalsiyum gibi minerallerle bağlanarak biyoyararlılıklarını düşürebilir.

Buna karşın, fermentasyon ve çimlendirme işlemleri, bu bileşenlerin konsantrasyonunu önemli ölçüde azaltarak mineral emilimini artırır. Nitekim, çimlendirildikten sonra fermente edilen Kaliteli Protein Mısır (QPM) tohumlarında, fermente edilmemiş

tohumlara göre %90'dan fazla daha az fitik asit tespit edilmiştir (Anaemene & Fadupin, 2020). Tanenler ve polifenoller gibi diğer antinutrientler de mineral emilimini engelleyebilir, ancak fermentasyon ve çimlendirme ile etkili şekilde parçalanabilirler. Örneğin, *Lactobacillus plantarum* suşuyla yapılan fermentasyon, darıdaki tanen içeriğini yaklaşık %50 azaltmıştır (Adebo ve ark., 2022).

Tripsin inhibitörleri ve hemaglütininler gibi antinutrientler, protein sindirimini engelleyebilir. Ancak, fermentasyon bu bileşenleri inaktive edebilir. Örneğin, mung fasulyesi ve güvercin bezelyesi unu ile yapılan fermentasyon, hemaglütinin seviyesini %59 oranında düşürmüştür. Çimlendirme ile kombine edilen fermentasyon işlemleri yalnızca mineral biyoyararlılığını artırmakla kalmaz, aynı zamanda sindirimi de kolaylaştırır. Ancak bu yöntemlerin etkinliği, kullanılan tahılın türüne ve işlem koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Çimlendirme ve fermentasyonun birlikte uygulanması, tek başına uygulanan işlemlere göre antinutrientleri azaltmada daha etkilidir.

Fermentasyon, çeşitli katkı maddeleriyle yapılan detoksifikasyon işlemleri ve çimlendirme, bitkisel kaynaklı gıdalardaki antinutrientleri azaltarak besin değerini artırmada etkili stratejilerdir. Bu yöntemler hem geleneksel işleme tekniklerini hem de modern biyoteknolojik uygulamaları içermekte olup, gıda güvenliğini artırma ve endüstriyel uygulamalarda fayda sağlama potansiyeline sahiptir (Dwivedi ve ark., 2015; Faizal ve ark., 2023; Singh & Arora, 2023).

- Isıl İşlemler

Isıl işlemler; pişirme, kaynatma ve otoklavlama gibi yöntemler, baklagillerde bulunan ısıya duyarlı antinutrientleri önemli ölçüde değiştirebilir. Bu işlemler, tripsin inhibitörleri ve lektin gibi antinutrientlerin aktivitesini azaltmada etkilidir. Örneğin,

otoklavlama tripsin inhibitörlerini %100 oranında yok ederken, dekoksiyon bu oranı %64'e düşürmektedir (Kong ve ark., 2022; Terefe ve ark., 2021). Benzer şekilde, kaynatma işlemi fitik asit miktarını %75,98, lektinleri ise %68,34 oranında azaltabilmektedir (Avilés-Gaxiola ve ark., 2018). Ancak, bazı antinutrientler, özellikle fenolik bileşikler, bu yöntemlere direnç gösterebilir (Mohanto & Aye, 2024).

Isıl işlemler sırasında vitaminler ve minerallerde kayıplar yaşanabilmekle birlikte, antinutrientlerin azaltılması öncelikli hedeflerdendir (Revilla, 2015). Ayrıca, ısıya duyarlı antinutrientlerin prebiyotik veya antioksidan etkileri olabileceği yönünde görüşler de vardır (Mohan ve ark., 2016). Bu durum, baklagillerin işlenmesinde besin kaybı ve korunması dengesini gözetken uygun pişirme yöntemlerinin seçilmesini zorunlu kılar (Kamalasundari ve ark., 2019). Özellikle basınçlı pişirme ve kaynatma, antinutrientlerin azaltılması açısından en etkili yöntemler arasında yer almakla birlikte, besin değerinin korunması açısından basınçlı pişirme daha avantajlıdır (Kamalasundari ve ark., 2019; Rebollo-Hernanz ve ark., 2018).

Antinutrientlerin indirgenmesi genellikle tanen ve fitik asit gibi bileşiklerin bir arada azalmasıyla gerçekleşirken, kavurma işlemi tat iyileştirmesi sağlar; ıslatma ise antinutrientlerin azaltımında en etkili yöntemlerden biridir (Akande & Fabiyi, 2010).

Ekstrüzyon pişirme işlemi, antinutrientlerde önemli düşümlere yol açar ancak protein ve nişasta sindirilebilirliğini de artırır (Badjona ve ark., 2023). Isıl işlemler tüm antinutrientleri tamamen yok etmese de çoğunu önemli ölçüde azaltır (Khattab & Arntfield, 2009; Trugo ve ark., 2000). Isıya dirençli antinutrientler arasında protein dışı amino asitler (örneğin L-dopa), fenolik bileşikler, tanenler, fitatlar, saponinler ve oligosakkaritler bulunur; bu bileşiklerin çoğu besin emilimini engeller (Mohan ve ark.,

2016). Isıl işlemler tripsin inhibitörleri gibi bazı bileşenleri etkin biçimde azaltabilirken, fitik asit gibi bazı antinutrientler tamamen yok edilemez. Bu nedenle, antinutrientlerin azaltımı için genellikle ıslatma, pişirme ve fermantasyon gibi çoklu işlemler kullanılmalıdır (Akanke & Fabiyi, 2010). Öte yandan bazı antinutrientlerin sağlık açısından faydaları olabileceği için, tamamen ortadan kaldırılmaları her zaman gerekli olmayabilir (Mohan ve ark., 2016). Sonuç olarak, ısıl işlemler baklagillerdeki antinutrientlerin azaltılmasında önemli bir rol oynar ancak tam nötralizasyon için çok yönlü bir yaklaşım gereklidir. Besin kaybı ile faydalı bileşiklerin korunması dengesi gözetilerek uygun işlem yöntemleri tercih edilmelidir.

- Isıl Olmayan İşlemler

Isıya duyarlı antinutrientlerin (örneğin üreaz, lipoksijenaz) detoksifikasyonu için biyolojik ve kimyasal yöntemlerin etkili olduğu vurgulanmaktadır (Kong ve ark., 2022; Ahmad ve ark., 2023). Bu yöntemler, tahıllardaki antinutrientlerin inaktive edilmesinde başarılıdır. Yüksek basınç uygulamaları ve ultrason gibi ısıl olmayan işlemler, termal hassasiyeti olan bileşenlere zarar vermeden antinutrientlerin parçalanmasını sağlar. Nasab ve ark. (2024) bu durumu gözlemlemiştir. Ayrıca, ısıl olmayan işlemler fitat ve oksalat gibi antinutrientlerin seviyelerini düşürerek tahılların besin kalitesini artırmada da etkilidir (Ahmad ve ark., 2023).

Islatma, soyma ve otoklavlama işlemlerinin birlikte uygulanması, mung fasulyesindeki tanen, oksalat ve fitat seviyelerini düşürmüştür. Antinutrientlerin azaltılmasında tek bir işleme göre kombine işlemlerin çok daha üstün olduğu unutulmamalıdır (Pokharel ve ark., 2024). Biyoproses ve kimyasal yöntemler, üreaz ve lipoksijenaz gibi ısıya duyarlı antinutrientleri yok etmeye yöneliktir. Bu işlemler, kontrollü ortamların

kullanılmasıyla antinutrientlerin zararlı etkilerini azaltmayı hedefler.

Laktaz ve peroksidaz gibi enzimler, lignoselülozik hidrolizatlarda bulunan fenolik bileşiklerin ve diğer fermantasyon inhibitörlerinin uzaklaştırılmasında etkinlik göstermiştir (Cho & Kim, 2009). Ayrıca, üreaz aktivitesi gösteren mikroorganizmalar tarımsal uygulamalarda olumsuz etkilerinden dolayı izole edilip kullanılabilir (Nalini & Prakasham, 2022). Pamuk tohumu unu içerisindeki serbest gossypol seviyesini azaltmak için basınçlı pişirme ve kalsiyum hidroksit tedavisi üzerinde çalışmalar yapılmıştır (Nagalakshmi ve ark., 2002). Bazı spesifik inhibitörlerin uzaklaştırılması amacıyla güçlü iyon değişim reçineleri ve aktif karbon kullanımı, kimyasal yöntemlerin etkinliğini ortaya koymaktadır (Cho & Kim, 2009).

Mikrobiyal enzimler, özellikle fitaz ve tanaz, işleme sırasında yem antinutrientlerinin parçalanmasında aktiftir. Fitaz enzimi, fitik asidi myo-inositol ve inorganik fosfata hidrolize ederek fosfor (P), magnezyum (Mg) ve çinko (Zn) gibi minerallerin kullanılabilirliğini artırır ve hayvan sağlığına olumlu katkı sağlar (Lamid ve ark., 2018). Mikrobiyal enzimler aynı zamanda biyolojik mikotoksin detoksifikasyonu için de potansiyel bir alternatif olarak görülmektedir. Özellikle mikotoksinlerin biyolojik olarak detoksifikasyonu, detoksifikasyon metabolitlerinin gıdalarda tespit edilmesi halinde güvenli ve çevre dostu bir stratejidir (Abraham ve ark., 2022). Ayrıca bu enzimler, tannin gibi antinutrientlerin sindirimini kolaylaştırarak yemlerin besin değerini artırır (Lamid ve ark., 2018).

Çınma ve ark. (2024), tam buğday ununda biyoprosesin besin kalitesi, sindirilebilirlik ve biyoaktif bileşiklerin artışında etkili olduğunu belirtmiştir. Çimlendirme (tohum filizlenmesi) ve fermantasyon (şekerlerin doğal parçalanması) uygulamalarının tandem olarak kullanılması, gıda kaynaklı zararlı bileşenlerin

azaltılması ve besin değerinin artırılması için oldukça etkili bir yaklaşımdır. Kosawang ve ark. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, *Clonostachys rosea* gibi spesifik mantarların, zearalenon dahil bazı toksinleri enzimler aracılığıyla etkin biçimde parçalayabildiği saptanmıştır. Bu doğal yöntem, özellikle tahıl ürünlerinde toksinlerin kontrolünde oldukça etkili bir stratejidir.

Żyła & Duda (2023), tahıllarda bulunan fitik asit ve türevlerinin (IP6, myo-inositol, fenolik asitler) enzimatik hidroliz yoluyla biyoyararlılığının artırılabilceğini rapor etmiştir. Bu enzimatik detoksifikasyon yöntemi, hayvan ve insan beslenmesinde fosfor ve mineral biyoyararlılığını da artırmaktadır. Ferrel (1978) ise buğday ve fasulye örneklerinde fitik asidin parçalanması üzerine çalışmış ve özellikle buğday fitaz enziminin fitatı tamamen hidrolize edebildiğini belirtmiştir.

- Mikroorganizmalar ile Detoksifikasyon

Mikroorganizmalar, antinutrientlerin detoksifikasyonunda çeşitli mekanizmalarla rol oynar. Bunlar arasında enzimatik parçalanma, adsorpsiyon ve metabolizma yer alır. Mikroorganizmaların yüksek biyobozunma kapasitesi ve toksik etkileri azaltma özellikleri nedeniyle, mikrobiyal enzimler özellikle lakkaz, lipaz ve esterazlar gibi enzimler, mikotoksinlerin detoksifikasyonunda büyük ilgi görmektedir. Bazı mikroorganizmalar ise antinutrientlerin bağırsakta emilimini azaltmak amacıyla bu bileşenleri adsorbe edebilir. Örneğin, mikotoksinler zearalenon (ZEA) ve fumonisin B1 (FB1), *Bacillus subtilis* ve *Streptomyces griseus* tarafından adsorbe edilmiştir (Evangelista ve ark., 2024).

- *Aspergillus oryzae*

Aspergillus oryzae, katı ortam fermentasyonunda antinutrientleri parçalayan ve besin değerini artıran bir mantar türüdür. Bu mantar, tahıllardaki protein içeriğini artırırken

antinutrientleri de azaltır (Murai & Annor, 2025). Geleneksel fermentasyon, örneğin parmak darı (finger millet) bazlı İnjera’da fitat ve tanen gibi antinutrientlerin azaltılmasını sağlayarak demir, çinko ve kalsiyumun biyoyararlılığını artırmaktadır (Endalew ve ark., 2024).

- **Yeni Detoksifikasyon Stratejileri**

Mikrobiyal konsorsiyumlar ve enzimler aracılığıyla antinutrientlerin biyobozunmasına yönelik yeni detoksifikasyon stratejileri gelişmektedir. Örneğin, DX100 adlı mikroorganizma, trikotsen mikotoksinlerinin de-epoksidasyonunu gerçekleştirerek toksik özelliklerini azaltmaktadır (Ahad ve ark., 2017). Lakkaz ve esteraz gibi enzimler de belirli antinutrientlerin parçalanması için özel olarak geliştirilmiştir (Sun ve ark., 2024; Lyagin & Efremenko, 2019).

- **Zorluklar ve Gelecek Perspektifleri**

Mikrobiyal detoksifikasyon alanında önemli ilerlemeler kaydedilmekle birlikte, bazı zorluklar devam etmektedir. Bunlar arasında mikrobiyal enzimlerin kararlılığı, toksik metabolit üretimi ve antinutrientlerin parçalanma mekanizmalarının daha detaylı incelenme gerekliliği yer almaktadır. Endüstriyel uygulamalarda kullanılacak enzimlerin yüksek sıcaklık ve ekstrem pH koşullarına dayanıklı olması önemlidir (Lyagin & Efremenko, 2019; Zhu ve ark., 2017). Ayrıca bazı mikroorganizmalar tarafından antinutrientlerin hidrolizi sırasında toksik metabolitler ortaya çıkabilir. Örneğin, aflatoksinlerin parçalanması sonucu aflatoksikol gibi toksik metabolitler oluşabilmektedir (Sun ve ark., 2024; McCormick, 2013).

Sonuç

Mikroorganizmalar, antinutrientlerin detoksifikasyonunda enzimatik parçalanma, adsorpsiyon ve metabolizma yoluyla etkili

rol oynar. Mikrobiyal enzimlerin yüksek biyobozunma potansiyeli ve toksik etkileri azaltma kapasitesi, özellikle mikotoksinlerin detoksifikasyonunda büyük ilgi görmektedir. Ayrıca bazı mikroorganizmalar, antinutrientlerin bağırsakta emilimini azaltarak sağlık üzerindeki olumsuz etkilerini hafifletebilir. Mikrobiyal suşların keşfi ve biyoteknolojik yöntemlerdeki gelişmeler, antinutrientlerin detoksifikasyonu için umut verici yenilikler sunmaktadır. Ancak, mikrobiyal enzimlerin endüstriyel uygulamalardaki stabilitesi ve antinutrient parçalanması sırasında ortaya çıkabilecek toksik metabolitlerin potansiyel riskleri üzerine daha fazla araştırma gerekmektedir. Sonuç olarak, antinutrientlerin detoksifikasyonu için mikrobiyal ve biyoteknolojik stratejilerin geliştirilmesi, gıda güvenliği ve besinlerin daha verimli kullanımı açısından büyük önem taşımaktadır.

Kaynakça

Akinyemi, O. O., Kayode, M. D., & Olagunju, J. O. (2013). Effect of fermentation on nutrient and anti-nutrient composition of breadfruit (*Treculia africana*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) blend flours. *African Journal of Agricultural Research*, 8(27), 3566–3570. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.1944>

Adebo, J. A., Njobeh, P. B., Gbashi, S., Oyedeji, A. B., Ogundele, O. M., Oyeyinka, S. A., & Adebo, O. A. (2022). Fermentation of cereals and legumes: Impact on nutritional constituents and nutrient bioavailability. *Fermentation*, 8(2), 63. <https://doi.org/10.3390/fermentation8020063>

Anaemene, D. I., & Fadupin, G. T. (2020). Effect of fermentation, germination and combined germination-fermentation processing methods on the nutrient and anti-nutrient contents of quality protein

maize (QPM) seeds. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 24(9), 1625–1630. <https://doi.org/10.4314/jasem.v24i9.21>

Arsov, A., Tsigoriyna, L., Batovska, D., Armenova, N., Mu, W., Zhang, W., & Petrova, P. (2024). Bacterial degradation of antinutrients in foods: The genomic insight. *Foods*, 13(15), 2408. <https://doi.org/10.3390/foods13152408>

Avilés-Gaxiola, S., Chuck-Hernández, C., & Serna Saldívar, S. O. (2018). Inactivation methods of trypsin inhibitor in legumes: A review. *Journal of Food Science*, 83(1), 17–29. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13985>

Atuna, R. A., Akabanda, F., & Laborde, J. E. A. (2025). Revisiting the nutritional advantages of plant-based food matrices: A systematic review on the influence of spontaneous fermentation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/10408398.2025.2504718>

Barman, A., Bera, A., Saha, P., Tiwari, H., Dey, S., Kumar, S., & Meena, D. K. (2023). Agronomic Zn biofortification of cereal crops: A sustainable way to ensuring nutritional security: A review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(3), 151–168. <https://doi.org/10.9734/IJECC/2023/V13I31693>

Bartkiene, E., Bartkevics, V., Krungleviciute, V., Pugajeva, I., Zadeike, D., Juodeikiene, G., & Cizeikiene, D. (2018). The

influence of scalded flour, fermentation, and plants belonging to Lamiaceae family on the wheat bread quality and acrylamide content. *Journal of Food Science*, 83(6), 1560–1568. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14176>

Bhattacharya, S., Sathiyabalan, A., & Amir, M. (2024). Advancing nutritional quality through genomic approaches for biofortification in cereal crops: A review. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 25(5–6), 110–123. <https://doi.org/10.56557/PCBMB/2024/V25I5-68713>

Bhutta, Z. A., Bird, S. M., Black, R. E., Brown, K. H., Gardner, J. M., Hidayat, A., Martorell, R. (2000). Therapeutic effects of oral zinc in acute and persistent diarrhea in children in developing countries: Pooled analysis of randomized controlled trials. *The American Journal of Clinical Nutrition*. [https://doi.org/10.1016/S0002-9165\(23\)06914-9](https://doi.org/10.1016/S0002-9165(23)06914-9)

Choudhary, C., Sinha, V., Choudhary, D. V., & Barman, N. (2023). Effect of different processing methods on nutritional composition and microbial quality of pearl millet. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3614114/v1>

Condori, M. A. V., & De Camargo, A. C. (2023). Trypsin inhibitors, antinutrients or bioactive compounds? A mini review. *Journal of Food Bioactives*, 22. <https://doi.org/10.31665/JFB.2023.18344>

Devi, A. K., & Singh, S. S. (2024). Antinutritional properties of dietary lectins. *Futuristic Trends in Agriculture Engineering & Food Sciences*, 3(5), 87–94. <https://doi.org/10.58532/V3BCAG5P1CH7>

Di, D., He, S., Zhang, R., Gao, K., Qiu, M., Li, X., Shi, J. (2024). Exploring the dual role of anti-nutritional factors in soybeans: A comprehensive analysis of health risks and benefits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/10408398.2024.2430757>

Dwivedi, M., Yajnanarayana, V. K., Kaur, M., & Sattur, A. P. (2015). Evaluation of anti nutritional factors in fungal fermented cereals. *Food Science and Biotechnology*, 24(6), 2113–2116. <https://doi.org/10.1007/s10068-015-0280-z>

Endalew, H. W., Atlabachew, M., Karavoltsos, S., Sakellari, A., Aslam, M. F., Allen, L., & Cherie, H. A. (2024). Effect of fermentation on nutrient composition, antinutrients, and mineral bioaccessibility of finger millet based Injera: A traditional Ethiopian food. *Food Research International*, 190, 114635. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114635>

Faizal, F. I., Ahmad, N. H., Yaacob, J. S., Halim-Lim, S. A., & Abd Rahim, M. H. (2023). Food processing to reduce antinutrients in plant-based foods. *International Food Research Journal*, 30(1), 25–45. <https://doi.org/10.47836/IFRJ.30.1.02>

Farag, M. A., Xiao, J., & Abdallah, H. M. (2022). Nutritional value of barley cereal and better opportunities for its processing as a value-added food: A comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(4), 1092–1104. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1835817>

Fekadu Gemedo, H. (2014). Antinutritional factors in plant foods: Potential health benefits and adverse effects. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(4), 284. <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20140304.18>

Frías, J., Vidal-Valverde, C., & Urbano, G. (2010). Fermented pulses in nutrition: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(8), 847–854. <https://doi.org/10.1080/10408390903044784>

Gillooly, M., Bothwell, T. H., Torrance, J. D., MacPhail, A. P., Derman, D. P., Bezwoda, W. R., ... Mayet, F. (1983). The effects of organic acids, phytates and polyphenols on the absorption of iron from vegetables. *British Journal of Nutrition*, 49(3), 331–342. <https://doi.org/10.1079/BJN19830042>

Gonçalves, R., Soares, S., Mateus, N., & De Freitas, V. (2007). Inhibition of trypsin by condensed tannins and wine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(18), 7596–7601. <https://doi.org/10.1021/jf071490i>

Gupta, N., Shrivastava, N., Singh, P. K., & Bhagyawant, S. S. (2016). Phytochemical evaluation of moth bean (*Vigna aconitifolia* L.) seeds and their divergence. *Biochemistry Research International*, 2016, Article ID 3136043. <https://doi.org/10.1155/2016/3136043>

Hallberg, L. (1987). Wheat fiber, phytates and iron absorption. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 22(s129), 73–79. <https://doi.org/10.3109/00365528709095855>

Hamaker, B. R., & Bugusu, B. A. (2003). Overview: Sorghum proteins and food quality. In *Proceedings of the Workshop on the Proteins of Sorghum and Millets: Enhancing Nutritional and Functional Properties for Africa*. Retrieved from <http://www.afripro.org.uk/PAPERS/PAPER08HAMAKER.PDF>

Hussein, S. I., & Hussein, Z. A. (2024). Comparison study between crude and purified L-Asparaginase from *Bacillus* spp. for reduction of acrylamide level during fries processing. *Iraqi Journal of Science*, 65(1), 138–150. <https://doi.org/10.24996/IJS.2024.65.1.13>

Karasu, B., & Turan, S. (2002). Effects of cobalt, copper, manganese and titanium oxide additions on the microstructures of zinc containing soft porcelain glazes. *Journal of the European Ceramic Society*, 22(9–10), 1447–1455. [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(01\)00456-3](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(01)00456-3)

Kaur, S., & Das, M. (2011). Functional food processing: Enhancing bioavailability by controlling antinutritional factors. *Trends in Food*

Science & Technology, 22(10), 509–515.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.08.002>

Kashyap, S., Reddy, B. H. R., Devi, S., & Kurpad, A. V. (2024). Potential impact of climate change on dietary grain protein content and its bioavailability—a mini review. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1397219. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1397219>

Kelkitli, E., Ozturk, N., Aslan, N. A., Kilic-Baygutalp, N., Bayraktutan, Z., Kurt, N., ... Bakan, E. (2016). Serum zinc levels in patients with iron deficiency anemia and its association with symptoms of iron deficiency anemia. *Annals of Hematology*, 95(5), 751–756. <https://doi.org/10.1007/s00277-016-2628-8>

Khanum, A., Farhan, S., Saqlain, N., & Arshad, S. (2024). Prevalence of A2 and A2B subgroups among blood groups A and AB in healthy donors. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 40(1 Part-I), 156–160. <https://doi.org/10.12669/PJMS.40.1.7916>

Khare, V., Sinha, K., Bharti, L., & Jain, V. (2017). Nutritional and medicinal value of underutilized vegetable crops in India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(12), 353–358. <https://doi.org/10.20546/IJCMAS.2017.604.145>

Kleszcz, R., Majchrzak-Celińska, A., & Baer-Dubowska, W. (2023). Tannins in cancer prevention and therapy. *British Journal of*

Pharmacology, 182(10), 2075–2093.
<https://doi.org/10.1111/bph.16224>

Kong, X., Li, Y., & Liu, X. (2022). A review of thermosensitive antinutritional factors in plant-based foods. *Journal of Food Biochemistry*, 46(9), e14199. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14199>

Liaqat, S., Cai, K., Saddique, M. A. B., Sher, M. A., & Ali, Z. (2023). Barley biofortification for food security: Challenges and future prospects. In *Biofortification of Grain and Vegetable Crops: Molecular and Breeding Approaches* (pp. 97–114). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91735-3.00006-6>

Madsen, C. K., & Brinch-Pedersen, H. (2015). The antinutritional components of grains. In *Encyclopedia of Food Grains* (2nd ed., Vol. 2–4, pp. 283–289). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00111-X>

Manzoor, A., Nabi, A., Shiekh, R. A., Dar, A. H., Usmani, Z., Altaf, A., ... Ahmad, S. (2022). Phytates. In *Handbook of Plant and Animal Toxins in Food: Occurrence, Toxicity, and Prevention* (pp. 27–36). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003178446-2>

Mihrete, Y. (2019). Review on mineral malabsorption and reducing technologies. *International Journal of Neurologic Physical Therapy*, 5(1), 25. <https://doi.org/10.11648/j.ijnpt.20190501.15>

Mohanto, K., & Aye, A. T. (2024). An analysis of health risk and potential elimination strategies of anti-nutritional factors in cereals and legumes. *Asian Food Science Journal*, 23(7), 44–51. <https://doi.org/10.9734/AFSJ/2024/V23I7725>

Nath, H., Samtiya, M., & Dhewa, T. (2022). Beneficial attributes and adverse effects of major plant-based foods anti-nutrients on health: A review. *Human Nutrition and Metabolism*, 28, 200147. <https://doi.org/10.1016/j.hnm.2022.200147>

Nayagam, J. R. (2021). Calcium oxalate crystals as raw food antinutrient: A review. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 33(41B), 295–301. <https://doi.org/10.9734/jpri/2021/v33i41B32368>

Neeraja, C. N., Hossain, F., Hariprasanna, K., Ram, S., Satyavathi, C. T., Longvah, T., ... Sundaram, R. M. (2022). Towards nutrition security of India with biofortified cereal varieties. *Current Science*, 123(3), 271–277. <https://doi.org/10.18520/cs/v123/i3/271-277>

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 Science & Nutrition*, 6(8), 2446–2458. <https://doi.org/10.1002/fsn3.846>

Norouzian, A., & Sangatash, M. M. (2024). Investigating the nutritional, technological and sensory properties of compact food

bar containing raw and processed quinoa. Journal of Food Science and Technology, Modares University. <https://lire.modares.ac.ir/article-7-73895-en.pdf>

Oliveira, M. D. de, Vaz, C. J. T., Oliveira, L. M. de, & Guidini, C. Z. (2021). L-asparaginase: Therapeutic use and applications in the food industry – A review. Research, Society and Development, 10(10), e596101018980. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18980>

Platel, K., & Srinivasan, K. (2006). Bioavailability of micronutrients from legumes. Indian Journal of Medical Research, 124(5), 567–576. <https://ijmr.org.in/article.asp?issn=0971-5916;year=2006;volume=124;issue=5;spage=567>

Prasad, R., Shivay, Y. S., & Kumar, D. (2014). Agronomic biofortification of cereal grains with iron and zinc. Advances in Agronomy, 125, 55–91. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800137-0.00002-9>

Salgado, N., Silva, M. A., Figueira, M. E., Costa, H. S., & Albuquerque, T. G. (2023). Oxalate in foods: Extraction conditions, analytical methods, occurrence, and health implications. Foods, 12(17), 3201. <https://doi.org/10.3390/foods12173201>

Samtiya, M., Aluko, R. E., Puniya, A. K., & Dhewa, T. (2021). Enhancing micronutrients bioavailability through fermentation of plant-based foods: A concise review. Fermentation, 7(2), 63. <https://doi.org/10.3390/fermentation7020063>

Savelkoul, F. H. M. G., Van Der Poel, A. F. B., & Tamminga, S. (1992). The presence and inactivation of trypsin inhibitors, tannins, lectins and amylase inhibitors in legume seeds during germination: A review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 42(1), 71–85. <https://doi.org/10.1007/BF02196074>

Schlemmer, U., Frølich, W., Prieto, R. M., & Grases, F. (2009). Phytate in foods and significance for humans: Food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis. *Molecular Nutrition & Food Research*, 53(S2), S330–S375. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200900099>

Sharma, A., & Kapoor, A. C. (1996). Levels of antinutritional factors in pearl millet as affected by processing treatments and various types of fermentation. *Plant Foods for Human Nutrition*, 49(3), 241–252. <https://doi.org/10.1007/BF01093221>

Sheoran, B., Tiwari, V., Meenu, M., Babal, B., Chaudhary, E., Hetta, G., & Garg, M. (2024). Utilization of millet varieties in food and nutritional security. In *Millet: Crop Improvement and Processing* (pp. 199–256). https://doi.org/10.1007/978-981-99-5245-8_7

Silva, M. R., & Silva, M. A. A. P. (2000). Antinutritional factors: Protease inhibitors and lectins. *Revista de Nutrição*, 13(1), 3–9. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732000000100001>

Singh, J., & Arora, S. K. (2023). Antinutritional factors in plant-based foods. *International Journal of Agricultural Sciences*, 19(1), 366–375. <https://doi.org/10.15740/HAS/IJAS/19.1/366-375>

Singh, U., & Jambunathan, R. (1981). Studies on Desi and Kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars: Levels of protease inhibitors, levels of polyphenolic compounds and in vitro protein digestibility. *Journal of Food Science*, 46(5), 1364–1367. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1981.tb04176.x>

Sollid, L. M. (2005). Celiac disease as a model of gastrointestinal inflammation. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 40(SUPPL. 1), S27–S28. <https://doi.org/10.1097/00005176-200504001-00025>

Soni, K., Samtiya, M., Krishnan, V., & Dhewa, T. (2022). Antinutritional factors: Nutrient bioavailability and health beneficial effects. In D. C. Joshi, P. Kumar, & T. Dhewa (Eds.), *Conceptualizing Plant-Based Nutrition: Bioresources, Nutrients Repertoire and Bioavailability* (pp. 157–179). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4590-8_8

Sow, S., & Ranjan, S. (2021). A review on agronomic biofortification for improving food and nutritional security. *Research Biotica*, 3(2), 139–144. <https://doi.org/10.54083/resbio/3.2.2021.139-144>

Spalinger, D. E., Collins, W. B., Hanley, T. A., Cassara, N. E., & Carnahan, A. M. (2010). The impact of tannins on protein, dry matter, and energy digestion in moose (*Alces alces*). *Canadian Journal of Zoology*, 88(10), 977–987. <https://doi.org/10.1139/Z10-064>

Terefe, Z. K., Omwamba, M. N., & Nduko, J. M. (2021). Effect of solid state fermentation on proximate composition, antinutritional factors and in vitro protein digestibility of maize flour. *Food Science & Nutrition*, 9(11), 6343–6352. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2599>

Timilsena, Y. P., Phosanam, A., & Stockmann, R. (2023). Perspectives on saponins: Food functionality and applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(17), 13538. <https://doi.org/10.3390/ijms241713538>

Tiwari, D., & Dubey, D. K. (2025). Adverse effects of antinutrients on human health: A systematic review. *International Journal of Scientific Reports*, 11(2), 73–79. <https://doi.org/10.18203/issn.2454-2156.intjsci20250058>

Tuncel, N. Y., Kaya, H. P., Andaç, A. E., & Korkmaz, F. (2025). A comprehensive review of antinutrients in plant-based foods and their key ingredients. *Nutrition Bulletin*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39895386>

Suvarna, V. C., Balakrishna, A. N., Yallappa, M., & Patil, P. D. S. (2017). Characterization and identification of phytate solubilizing

yeasts isolated from food grains. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(4), 1184–1192. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.604.145>

Vinoth, A., & Ravindhran, R. (2017). Biofortification in millets: A sustainable approach for nutritional security. *Frontiers in Plant Science*, 8, 29. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00029>

Watrelet, A. A., & Norton, E. L. (2020). Chemistry and reactivity of tannins in *Vitis* spp.: A review. *Molecules*, 25(9), 2110. <https://doi.org/10.3390/molecules25092110>

Witherden, E. A., & Moyes, D. L. (2017). Mycobiome and gut inflammation: Implications in gut disease. In I. F. F. Benzie & S. Wachtel-Galor (Eds.), *Immunity and Inflammation in Health and Disease: Emerging Roles of Nutraceuticals and Functional Foods in Immune Support* (pp. 271–280). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805417-8.00022-6>

Zayed, A., Adly, G. M., & Farag, M. A. (2025). Management strategies for the anti-nutrient oxalic acid in foods: A comprehensive overview of its dietary sources, roles, metabolism, and processing. *Food and Bioprocess Technology*, 18(5), 4280–4300. <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03726-0>

Zhu, C. F., Naqvi, S., Gomez-Galera, S., Pelacho, A. M., Capell, T., & Christou, P. (2010). Vitamin, protein and essential mineral

enhancement of cereal crops for food security. GMO Biosafety Research. <https://doi.org/10.5376/gmo.2010.01.0002>

Zhu, F., Cai, Y. Z., Ke, J., & Corke, H. (2009). Evaluation of the effect of plant extracts and phenolic compounds on reduction of acrylamide in an asparagine/glucose model system by RP-HPLC-DAD. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(10), 1674–1681. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3640>

BÖLÜM 4

BÖLÜM

Süt ve ürünlerinde Aflatoksin M1

Adem Savaş¹
Mustafa Kılıç²

Giriş

Geçmişten günümüze kadar insanoğlu, gelişimi ve yaşam fonksiyonlarının sürekliliği için beslenmek zorundadır. Beslenme grubunu oluşturan ana gıda öğelerinden biride süt ve süt ürünleridir. Süt; proteinler, yağ asitleri ve laktoz dahil olmak üzere birçok makro besin maddesini ve vitaminler, antioksidanlar ve mineraller gibi çeşitli mikro besinleri içeren eksiksiz bir gıda olarak tanımlanmaktadır.

¹Öğr. Gör. Dr. Adem Savaş, Giresun Üniversitesi, Fındık İhtisaslaşma Koordinatörlüğü, Giresun/Türkiye, Orcid: 0000-0002-4365-1482, adem.savas@giresun.edu.tr; ²Mustafa Kılıç, Atatürk Üniversitesi, Gıda Mühendisliği, Orcid: 0000-0002-9816-7655, verimli.2434@gmail.com

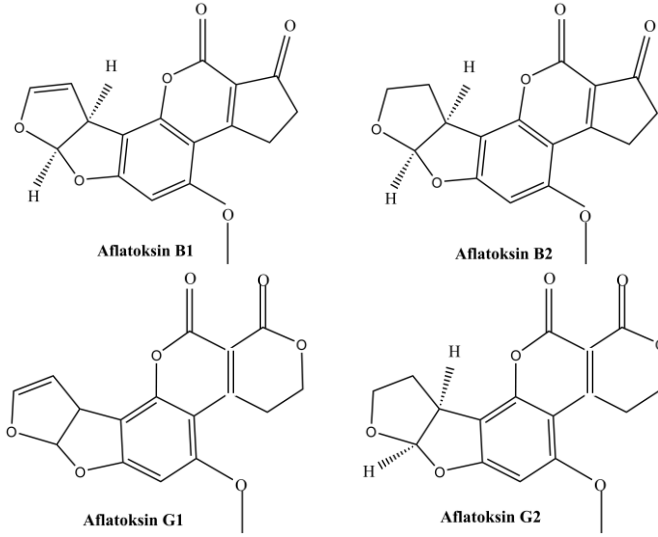
Dahası insan sağlığının, özellikle de bebeklerin, çocukların ve yaşı yetişkinlerin büyümesinde, gelişmesinde ve korunmasında önemli rol oynamaktadır (Mollayusefian & ark., 2021; Demir & Gürses, 2022; Kolaric & ark., 2024; Savaş & ark., 2025). Ancak süt ve süt ürünlerinde bulunan ve insan sağlığı açısından oldukça toksik ve tehlikeli bileşikler olan aflatoksinlerin varlığı önemli endişe kaynağı oluşturmaktadır (Iqbal & ark., 2015).

Mikotoksinler insan sağlığı açısından oldukça tehlikeli olarak kabul edilen küflerin sekonder metabolitleridir. Bu toksik bileşikler birçok gıdayı kontamine etmesinin yanında insanlara ve hayvanlara migrate olabilmesi söz konusudur. Bugüne kadar 400'den fazla mikotoksin tanımlanmış olup, bu toksinlerin tüketilmesiyle insanlarda ve hayvanlarda çeşitli toksik etkiler gözlemlenebilmektedir. Aslında bu toksinlerin oluşumu birçok gıda ürününde yaygın olarak görülen bir durumdur (Gürses, 2006). Mikotoksinlerin gıdalarda bir takım kalite kayıplarına neden olduğu ve aynı zamanda insanlar ve hayvanlar için bir takım istenmeyen sosyo-ekonomik ve sağlık sonuçlarına da yol açabildiği ifade edilmektedir (Wang & ark. 2018; Khan & ark., 2024; Savaş, 2024).

Mikotoksinler içerisinde önemli bir grubu oluşturan aflatoksinler *Aspergillus flavus* ve *Aspergillus parasiticus* türleri tarafından üretilen ikincil ve/veya sekonder metabolitlerdir. Genel olarak difuranokumarinler olarak sınıflandırılan bir bileşik ailesi olan aflatoksinler, tahıl taneleri, yer fıstığı, kurutulmuş meyveler ve pamuk tohumları da dahil olmak üzere birçok gıda ürününde bulunan toksik bileşiklerdir (Iqbal ve ark., 2015; Kolaric ve ark., 2024). Şimdiye kadar 20 tür aflatoksin tanımlanırken, aflatoksinlerin en önemli türleri arasında B1, B2, G1 ve G2 yer almaktadır. Ayrıca aflatoksinler içerisinde *Aspergillus flavus* ve *Aspergillus parasiticus*'un etkisiyle üretilen aflatoksin B1'in en tehlikeli ve en sık görülen mikotoksinlerden birisi olduğu kabul edilmektedir. Bu mikotoksin, ABD Gıda ve İlaç İdaresi tarafından birçok hastalığa yol açabilen önemli bir gıda kirleticisi olarak kabul edilmektedir. (Williams & ark., 2004; Mollayusefian & ark., 2021; Kolaric & ark., 2024). Ayrıca Uluslararası Kanseri Araştırma Ajansı tarafından Grup I kanserojen olarak listelenmiştir (Iqbal & ark., 2015). Şekil 1'de

aflatoksinlerden B₁, B₂, G₁ ve G₂'nin yapısal formülleri sunulmuştur.

Şekil 1. Aflatoksin B₁, B₂, G₁ ve G₂'nin kimyasal yapısı

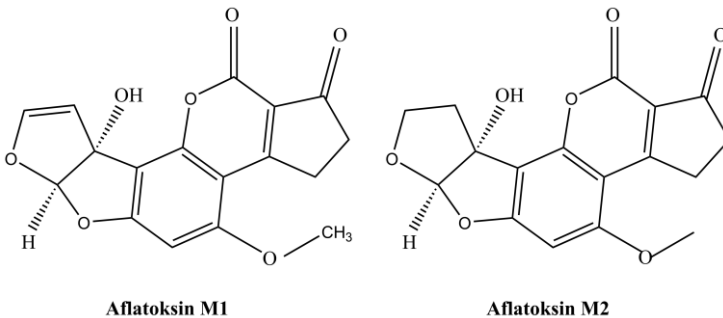


Mikotoksinler insan sağlığını tehdit eden doğal kirleticiler olarak oldukça önemli bileşiklerdir. Zira bu toksinler insanları ve hayvanları çeşitli yollar ile etkileyebilmektedir. Gıdalarda mikotoksinlerin oluşumu başta ortam koşulları olmak üzere birçok parametreden etkilenmektedir. Nitekim kurutma işlemin uygun olarak yapılmaması, depolama koşullarının yetersiz oluşu gibi birçok faktör nedeniyle gıdalarda veya yemlerde mikotoksinlerin oluşumu söz konusudur. Mikotoksinlerin önemli bir grubunu oluşturan aflatoksinlerin tahıllar, yemler ve kuruyemişler gibi birçok gıda ürününde varlığı belirlenmiştir. Diğer taraftan insanlar için önemli bir gıda grubu olan süt ve süt ürünlerinde aflatoksinlerin varlığı insan sağlığı açısından önemli endişe kaynağıdır. Bu bağlamda sütün üretiminden tüketimine kadar resmi kontrol ve yaptırım mekanizmalarının sağlıklı ve etkin bir şekilde sürdürülmesi gereklidir. Bu inceleme çalışmasında, süt ve süt ürünlerinde aflatoksin M1'nin oluşum mekanizması, toksisitesi, sağlık üzerine etkileri ve aflatoksinler hakkında genel bilgiler sunulmuştur.

Aflatoksin M1 toksisitesi, yasal limitleri ve belirleme yöntemleri

Besinsel kompozisyonu bakımından oldukça zengin olan süt, mikotoksinlerle kontamine olmaya hassas bir hayvansal ürün olduğu belirtilmektedir (Alahlah & ark., 2020). Zira yapılan çalışmalar süt ve süt ürünlerinde mikotoksinlerden aflatoksin M1 varlığını ortaya koymuştur (Silva & ark., 2015; Hassan ve ark., 2018; Alahlah ve ark., 2020). Aflatoksin M1 (AFM1), aflatoksin B1 (AFB1)'in hidroksillenmiş bir metabolitidir. Başka bir ifadeyle aflatoksin B1 sütte hidroksilaz formu olan aflatoksin M1 halinde bulunmaktadır (Alahlah ve ark., 2020). Hayvanlar tarafından yutulduğunda aflatoksin B1 yaklaşık %0.3-6.2 oranında AFM1'e dönüştüğü belirtilmektedir (Alahlah ve ark., 2020). Sütteki AFM1 içeriği ile yemlerle alınan AFB1 arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. AFB1 ile kontamine olmuş yemleri tüketen ineklerin (emziren memeliler) sitokrom P450 enzim aracılığıyla AFM1 gibi metabolitlere metabolize edebilmektedir (Faletto & ark., 1988; Becker-Algeri & ark., 2016). AFM1, AFB1' in en toksik alt tipi olduğu ve AFM1' in karsinojenitesinin AFB1 ile kıyasla %10 oranında olduğu ifade edilmektedir (İsmail ve ark., 2015; Shan, 2020; Toprak, 2023). Pastörizasyon ve sterilizasyon gibi termal proseslere dirençli olan AFM1 süt işleme prosedürleri ile tamamen etkisiz hale getirilemeyeceği belirtilmektedir. Bu bakımından süt ve süt ürünlerinde AFM1 kontrolü büyük önem taşımaktadır (Becker-Algeri & ark., 2016). Şekil 2'de aflatoksin M1 ve aflatoksin M2'nin yapısal formülü verilmiştir.

Şekil 2. Aflatoksin M1 ve M2'nin Yapısal Formülü



Süt ve süt ürünlerindeki AFM1 miktarı çeşitli faktörlere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu faktörler arasında ise coğrafi bölge, mevsimsel ve çevresel koşullar, yeşil yem mevcudiyeti ve yem tüketim oranları yer almaktadır (Becker-Algeri ve ark., 2016). Nitekim literatürde yapılan birçok çalışma ile AFM1 miktarı ve oluşum düzeyini etkileyen parametreler arasında birçok bilimsel çalışma ortaya konulmuştur (Dasthi ve ark., 2009; Peng & Chen, 2009; Xiong ve ark., 2013). Diğer taraftan birçok ülkede insan sağlığı açısından olumsuz etkilere sahip olan AFM1 için yasal limitler söz konusudur. Tablo 1’de Türkiye ve diğer ülkelere ait çiğ süt ve süt türevleri için maksimum AFM1 miktarları verilmiştir (Becker-Algeri ve ark., 2016; Demirer & Özdemir, 2021).

Tablo 1. Farklı ülkelerde süt ve süt ürünlerinde AFM1 maksimum kalıntı limitleri

Ülke	Çiğ süt (µg/kg)	Süt ürünleri (µg/kg)
ABD	0.5	0.5
Avrupa Birliği	0.05	0.05
Almanya	0.05	-
Belçika	0.05	-
İtalya	-	0.01 çocuklara yönelik yiyecekler
İsveç	-	0,05 sıvı sütlü gıdalar
Uruguay	0.5	0.5
Romanya	0	-
Nijerya	1	-
Mısır	0	0
Türkiye	0.05	0.25 (peynir)

(Becker-Algeri & ark., 2016; Demirer & Özdemir, 2021)

Tablo 1’den de görüldüğü üzere birçok ülke AFM1 için sınırlamalar koymuştur. Özellikle çiğ süt için AFM1 sınırının genellikle 0.05 µg/kg olduğu gözlenmektedir. Ancak sınırlamalar arasında farklılıkların olduğu ise aşıkardır. Öte yandan aflatoksinler hem insanlar hem de hayvanlar açısından oldukça toksik ve kanserojenik etkilere sahip bileşiklerdir. Halk sağlığı açısından önemli derecede risk teşkil etmektedirler. Zira aflatoksinlere maruziyet nedeniyle karaciğer yetmezliği, ensefalopatiye ve reye sendromu, çocuklarda büyüme geriliği ve bağışıklık sisteminin baskılanması gibi birçok sağlık problemine yol açabileceği ifade edilmektedir (Bennett, & Klich, 2003; Fink-Gremmels, 2008; Nguyen, Flint, & Palmer, 2020).

Süt ve süt ürünlerinde AFM1 içeriğini tespit etmek amacıyla tandem kütle spektrometrisine (MS/MS) (LC-MS/MS) veya floresans tespitine (FLD) (HPLC-FLD) bağlı yüksek performanslı sıvı kromatografisi, gaz kromatografisi, ince tabaka kromatografisi ve enzim bağlantılı immünosorbent analizi (ELISA) gibi farklı yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır (Ghazani, 2009; Delialioğlu & ark., 2010; Picinin & ark., 2013; Xie, Chen, & Ying, 2016).

Literatürde farklı süt ürünlerinde AFM1 miktarının belirlendiği birçok araştırma bulunmaktadır. Kos ve arkadaşları çiğ süt, pastörize süt, UHT süt ve organik süt ürünlerinin AFM1 içeriklerinin 0.01 ile 1.2 µg/L arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Tajik ve ark. (2007) farklı süt örneklerinin (çiğ ve pastörize süt) AFM1 içeriklerini belirledikleri çalışmalarında, örneklerin AFM1 miktarlarının 4.3 ile 91.8 ng/L arasında değiştiği rapor etmişlerdir.

Lee ve ark. (2009) çiğ süt örnekleri üzerine Güney Kore’de yaptıkları araştırmalarında, 48 çiğ süt numunesinde 0,002–0,08 µg/L arasında AFM1 belirlediklerini belirtmişlerdir.

Mannani ve ark. (2021). Fas’ ta 4 şehirde pastörize ve UHT sütlerde AFM1 çalışmalarında, topladıkları 67 süt örneğinde AFM1 seviyelerini belirlemişlerdir. Analiz sonucunda örneklerden 9 tanesinin 10-77 ng/L aralığında olduğunu bildirmişlerdir.

Daou ve ark. (2020), Lübnan’ da çiğ, pastörize ve UHT sütlerde Aflatoksin M1 oluşumu çalışmaları için topladıkları 868 inek sütü

örneklerinde yaptıkları çalışma da çiğ, pastörize ve UHT süt örneklerinde sırasıyla 0.011–0.440 µg/l, 0.013–0.219 µg/L ve 0.015–7.350 µg/L aralığında AFM1 ile kontamine olduğunu bildirmişlerdir.

Hassan ve ark. (2018), Katar’ da pazarlanan süt ve süt ürünlerinde Aflatoksin M1 oluşumunu belirlemek için yaptıkları çalışmada, toplamda 72 adet pastörize ve UHT süt örneğinin; 61 adedinde (%85) AFM1 tespit etmişlerdir. Süt örneklerinden pastörize ve UHT’ deki AFM1 seviyeleri arasında pek fark olmadığını, örneklerde tespit edilen AFM1 seviyesinin 50 ng/L seviyesinin altında olduğunu rapor etmişlerdir.

Sonuç

Süt ve süt ürünleri, insan beslenmesinde yer alan temel ürünler olması bakımından oldukça önemlidir. Bu ürünlere çeşitli yollar ile toksik bileşikler kontamine olabilmektedir. Mikotoksinler insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilen ve birçok hastalığın oluşumuna neden olabilecek toksik bileşiklerdir. Zira yapılan çalışmalarda birçok gıda ürününde bu toksik bileşiklerin tespit edilmesi, önemli bir endişe kaynağı teşkil etmektedir. Özellikle süt ve süt ürünlerinde AFM1’nin varlığı başta çocuklar olmak üzere insanlar için önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Nitekim AFM1’nin besinsel kayıplara yol açmasının yanında birçok hastalığın oluşumuna neden olması bakımından da oldukça önemlidir. Bu bağlamda aflatoksinler içerisinde kanserojenik etkilere sahip olan AFM1 süt ve süt ürünlerinden oluşum önlenmesi ve detoksifikasyonu için bilimsel açıdan daha fazla araştırma yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Kaynakça

Alahlah, N., El Maadoudi, M., Bouchriti, N., Triqui, R., & Bougtaib, H. (2020). Aflatoxin M1 in UHT and powder milk marketed in the northern area of Morocco. *Food control*, 114, 107262.

Becker-Algeri, T. A., Castagnaro, D., de Bortoli, K., de Souza, C., Drunkler, D. A., & Badiale-Furlong, E. (2016). Mycotoxins in bovine milk and dairy products: A review. *Journal of food science*, 81(3), R544-R552.

Bennett, J., & Klich, M. (2003). Mycotoxins. *Clinical microbiology reviews*, 16(3), 497.

Daou, R., Afif, C., Joubrane, K., Khabbaz, LR., Maroun, R., & Ismail, A. (2020). Occurrence of aflatoxin M1 in raw, pasteurized, UHT cows milk, and dairy products in Lebanon. *Food Control*.111,107055.

Dashti, B., Al-Hamli, S., Alomirah, H., Al-Zenki, S., Abbas, A. B., & Sawaya, W. (2009). Levels of aflatoxin M1 in milk, cheese consumed in Kuwait and occurrence of total aflatoxin in local and imported animal feed. *Food Control*, 20(7), 686-690.

Delialioğlu, N., Otağ, F., Öcal, N. D., Aslan, G., & Emekdaş, G. (2010). Mersin ilinde çiğ ve market sütlerinde aflatoksin M1 düzeyinin araştırılması. *Mikrobiyoloji Bülteni*, 44(1), 87-91.

Demir, B., & Gürses, M. (2022). Determination of Antioxidant Activities of Rosehip Marmalade Added Kefir During Its Storage Process. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(2), 761-768.

Faletto, M. B., Koser, P. L., Battula, N. A. R. A. Y. A. N. A., Townsend, G. K., Maccubbin, A. E., Gelboin, H. V., & Gurtoo, H. L. (1988). Cytochrome P3-450 cDNA encodes aflatoxin B1-4-hydroxylase. *Journal of Biological chemistry*, 263(25), 12187-12189.

Fink-Gremmels, J. (2008). Mycotoxins in cattle feeds and carry-over to dairy milk: A review. *Food Additives and Contaminants*, 25(2), 172-180.

Ghazani, M. H. M. (2009). Aflatoxin M1 contamination in pasteurized milk in Tabriz (northwest of Iran). *Food and Chemical Toxicology*, 47(7), 1624-1625.

Gürses, M. (2006). Mycoflora and aflatoxin content of hazelnuts, walnuts, peanuts, almonds and roasted chickpeas (LEBLEBI) sold in Turkey. *International Journal of Food Properties*, 9(3), 395-399.

Hassan, Z. U., Al-Thani, R., Atia, F. A., Almeer, S., Balmas, V., Migheli, Q., & Jaoua, S. (2018). Evidence of low levels of aflatoxin M1 in milk and dairy products marketed in Qatar. *Food control*, 92, 25-29.

Iqbal, S. Z., Jinap, S., Pirouz, A. A., & Faizal, A. A. (2015). Aflatoxin M1 in milk and dairy products, occurrence and recent challenges: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 46(1), 110-119.

Ismail, A., Akhtar, S., Levin, R.E., Ismail, T., Riaz, M., Amir, M. (2015). Aflatoxin M1: Prevalence and decontamination strategies in milk and milk products. *Critical Reviews in Microbiology*, 1–10. (doi:10.3109/1040841x.2014.958051).

Khan, R., Anwar, F., & Ghazali, F. M. (2024). A comprehensive review of mycotoxins: Toxicology, detection, and effective mitigation approaches. *Heliyon*.

Kolarič, L., Minarovičová, L., Lauková, M., Kohajdová, Z., & Šimko, P. Elimination of aflatoxin M1 from milk: current status, and potential outline of applicable mitigation procedures. *Trends in Food Science & Technology*, 104603.

Kos, J., Lević, J., Đuragić, O., Kokić, B., & Miladinović, I. (2014). Occurrence and estimation of aflatoxin M1 exposure in milk in Serbia. *Food control*, 38, 41-46.

Lee, J. E., Kwak, B. M., Ahn, J. H., & Jeon, T. H. (2009). Occurrence of aflatoxin M1 in raw milk in South Korea using an immunoaffinity column and liquid chromatography. *Food Control*, 20(2), 136-138.

Mannani, N., Tabarani, A., Adlouni, E.C., Abdennebi, E.H., Zinedine, A. (2021). Aflatoxin M1 in pasteurized and UHT milk marked in Morocco. *Food Control*, 124, 107893.

Mollayusefian, I., Ranaei, V., Pilevar, Z., Cabral-Pinto, M. M., Rostami, A., Nematollahi, A., ... & Khaneghah, A. M. (2021). The concentration of aflatoxin M1 in raw and pasteurized milk: A worldwide systematic review and meta-analysis. *Trends in Food Science & Technology*, 115, 22-30.

Nguyen, T., Flint, S., & Palmer, J. (2020). Control of aflatoxin M1 in milk by novel methods: A review. *Food chemistry*, 311, 125984.

Peng, K. Y., & Chen, C. Y. (2009). Prevalence of aflatoxin M1 in milk and its potential liver cancer risk in Taiwan. *Journal of Food Protection*, 72(5), 1025-1029.

Picinin, L. C. A., Cerqueira, M. M. O. P., Vargas, E. A., Lana, Â. M. Q., Toaldo, I. M., & Bordignon-Luiz, M. T. (2013). Influence of climate conditions on aflatoxin M1 contamination in raw milk from Minas Gerais State, Brazil. *Food Control*, 31(2), 419-424.

Savaş, A. (2024). Ochratoxin A in Hazelnuts. *Journal of Food and Nutrition Research* (ISSN 1336-8672), 63(4), 289-296.

Savaş, B. D., Gürses, M., Savaş, A., Engin, T., Karaoğlu, M. M., & Binici, H. İ. (2025). Effect of the addition of rosehip marmalade on the textural, rheological, microbiological, physicochemical and organic acid profile of kefir. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 101125.

Shan, Y. (2020). The Toxic Effects of Aflatoxin B1: An Update.

Silva, M. V., Janeiro, V., Bando, E., & Machinski Jr, M. (2015). Occurrence and estimative of aflatoxin M1 intake in UHT cow milk in Paraná State, Brazil. *Food Control*, 53, 222-225.

Tajik, H., Rohani, S. M. R., & Moradi, M. (2007). Milk in Urmia, Iran. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(22), 4103-4107.

Toprak, M. (2023). Çiğ, pastörize ve UHT sütlerde aflatoksin M1 oluşumlarının araştırılması. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi*.

Wang, Y., Nie, J., Yan, Z., Li, Z., Cheng, Y., & Chang, W. (2018). Occurrence and co-occurrence of mycotoxins in nuts and dried fruits from China. *Food control*, 88, 181-189.

Williams, J. H., Phillips, T. D., Jolly, P. E., Stiles, J. K., Jolly, C. M., & Aggarwal, D. (2004). Human aflatoxicosis in developing countries: a review of toxicology, exposure, potential health consequences, and interventions. *The American journal of clinical nutrition*, 80(5), 1106-1122.

Xie, L., Chen, M., & Ying, Y. (2016). Development of methods for determination of aflatoxins. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(16), 2642-2664.

Xiong, J. L., Wang, Y. M., Ma, M. R., & Liu, J. X. (2013). Seasonal variation of aflatoxin M1 in raw milk from the Yangtze River Delta region of China. *Food control*, 34(2), 703-706.

BÖLÜM 5

YER FISTIĞI ÖZÜTÜ VE YOĞURT BENZERİ ÜRÜN ÜRETİMİNDE KULLANIM OLANAKLARI

Tuğba Karabekmez ERDEM¹
Osman KILINÇÇEKER²

Giriş

Dengeli beslenme, sağlıklı bir yaşam tarzının vazgeçilmez bir parçasıdır. Günümüzde dünya çapında gıda tüketimi içerisinde bitkisel bazlı olan gıdaların hayvansal kökenli olanlara kıyasla daha hızlı artış gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu eğilimin arkasında, bazı beslenme uzmanlarına göre, bitkisel gıdaların daha kolay sindirilebilir olması ve hayvansal gıdalarda bulunabilecek zararlı hormonlar ile antibiyotikleri içermemeleri gibi faktörler yer almaktadır (Haas ve ark., 2019).

Ayrıca, dünya nüfusunun artışına bağlı olarak hayvansal proteine, özellikle süt ürünlerine erişimin zorlaşması, vegan beslenmeye yönelim veya inek sütünün yüksek kolesterol ile laktoz içeriği gibi faktörler sonucu ortaya çıkan ve sağlık endişesi oluşturabilen sebepler bitki bazlı süt alternatifleri önemli gıda seçenekleri haline getirmiştir (Craig ark., 2022; Reyes-Jurado ve ark., 2023).

Bunun yanı sıra, dünya çapında bitki temelli diyetlere geçişin artması veganizm ve flexitarianizm gibi beslenme tarzlarının popüleritesini yükseltmiş ve bu durum tüketici tabanının genişlemesine katkıda bulunmuştur (European Commission Report). Tüm bu faktörlerin bir araya gelmesi, bitki özütleri pazar talebinin artmasını ve neticede bitkisel bazlı alternatiflere yönelik pazarın büyümesini kaçınılmaz hale getirmiştir. Bitkisel ürünlerin sürdürülebilirlik üzerindeki olumlu etkisi de bu ürünlere olan talebi artıran güçlü bir algı ve farkındalık yaratmıştır. Dahası ürün geliştirme alanındaki teknolojik gelişmeler ve yenilikler, bitki özütlerinin lezzetini ve dokusunu iyileştirerek bu ürünleri tüketiciler için daha çekici hale getirmiştir. Bununla birlikte vegan yaşam tarzını benimsemiş, bitki bazlı süt ürünleri alternatiflerine karşı daha az olumsuz tutuma sahip olan ve esnek bir diyet uygulayan tüketiciler arasında dahi bitki bazlı ve geleneksel hayvan bazlı süt ürünlerine ilişkin genel görüşlerin

1 Dr. Öğr. Üyesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü Kahramanmaraş, Orcid: 0000-0001-6361-4796

2 Prof. Dr., Adıyaman Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Adıyaman, 02040, Türkiye. Orcid: 0000-0002-5222-1775

birbirinden net bir şekilde ayrıldığını gösteren çalışmalar mevcuttur. Bu durum tüketiciler tarafından bitki bazlı ürünlerin hayvansal süt ürünleri ile ortak işlevlerinin eşdeğer görülmesi ve geleneksel süt ürünleri için uygun ikameler olduğunun algılanması gerekliliğini doğurmaktadır (Etter ve ark., 2024).

Bu nedenle yoğurt gibi süt ürünleri alternatiflerinin işlevsel ve duyuşal özelliklerinin geliştirilmesine yönelik araştırmalar önem arz etmektedir. Bu tarz uygulamalara bir çok bitkisel kaynak örnek olarak gösterilebilirken, yapısal özelliklerinden dolayı değerli olan bir grup yer fıstığı ve türevleridir.

Şekil 1. Yer fıstığı (Arachis hypogaea)



(Kadiroğlu ve ark., 2011).

Yer fıstığı enerji yoğun bir gıda maddesidir ve önemli miktarda yağ, protein, karbonhidrat, hem yağda çözünen hem de suda çözünen vitaminler, mineraller ve fitokimyasallar içermektedir. Yetiştığı bölge, çeşit, olgunluk derecesi, yıl, mevsim, tarım uygulaması, işleme ve depolama gibi unsurlar yer fıstığı içeriğini etkilemekle birlikte genel bileşimi Çizelge 1.' de verilmiştir. Bu bileşenlerden lipid, protein ve karbonhidrat sadece enerji yoğun bir gıda olmakla kalmayıp, aynı zamanda vücut yağı ve kas oluşumu gibi normal vücut fonksiyonları için gerekli besinleri de sağlar. Vitaminler ise normal hücre fonksiyonu, büyüme, gelişme, hastalıkların önlenmesi için gereklidir ve enerji üretimi sırasında koenzim görevi görmektedir. Çizelge 1 incelendiğinde yer fıstığının B grubu vitaminler ve E vitamini bakımından önemli bir kaynak olduğu görülmektedir. Aynı zamanda yer fıstığı özellikle potasyum, fosfor, magnezyum, kalsiyum ve çinko bakımından doğal bir kaynaktır. Söz konusu bileşenler varlığından ötürü düzenli yer fıstığı tüketimi ile koroner kalp hastalığı, hipertansiyon, enflamasyon, kanser, safra taşı, yaşa bağlı bilişsel gerileme risklerinin azalması ve ortalama yaşam süresinin uzaması desteklenebilmektedir (Bonku ve Yu, 2020).

Çizelge 1. Yer fıstığının genel bileşimi

Enerji (kcal)	587
Nem (%)	1.81
Protein (%)	24.35
Toplam yağ (%)	49.66
Karbonhidrat (%)	21.26
Toplam diyet lifi (%)	8.40
Toplam şeker (%)	4.90
Vitaminler (mg/100g)	
Tiamin (B1 vitamini)	0.6
Riboflavin (B2 vitamini)	0.1
Niasin	12.1
Piridoksin	0.35
Folik asit	0.24
Kolin	52.5
Toplam tokoferoller (mg/100g)	44.45
Mineraller (mg/100g)	
Potasyum	658
Fosfor	358
Magnezyum	176
Kalsiyum	54
Selenyum	7.5
Sodyum	6
Çinko	3.31
Demir	2.26
Manganez	2.083

(Settaluri ve ark., 2012; Bonku ve Yu, 2020).

Yer fıstığı 20 amino asidin tamamını farklı oranlarda içermektedir ve özellikle kan akışını düzenlemeye ve vücuttaki hasarlı dokuların iyileşme sürecini hızlandırmaya yardımcı bir amino asit olarak bilinen arjinin açısından oldukça zengin kaynaklardan biri olarak kabul edilmektedir (Coates ve ark., 2018).

Field ve ark. (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, günlük 3-6 gram arjinin alımının kalp-damar sağlığını olumlu yönde etkilediği, sindirim sistemine katkı sağladığı ve bağışıklık sistemini güçlendirdiği belirlenmiştir. Yer fıstığı yaklaşık % 44-56 oranında yağ içerir. Bu yağ içeriğinin yaklaşık yarısı (% 50) tekli doymamış yağ asitlerinden, % 33'ü çoklu doymamış yağ asitlerinden ve % 14'ü doymuş yağ asitlerinden meydana gelmektedir (Isanga ve Zhang, 2007; Anyasor ve ark., 2009; Özalp ve Kürklü, 2020).

Bu bağlamda yer fıstığı yağı yüksek oksidatif stabiliteye sahip olması nedeniyle, en dayanıklı bitkisel yağlar arasında kabul edilmektedir (Gunstone, 2011; Özalp ve Kürklü, 2020). Bunun yanı sıra, yer fıstığı hafızayı güçlendirme, yaşlanma belirtilerini geciktirme, cildi nemlendirme, kardiyovasküler hastalıkları önleme ve anti-inflamatuar etkilere sahip olan tokoferoller, steroller, flavonoidler, resveratrol ve kolin gibi biyoaktif bileşenleri de içermektedir (Yang ve ark., 2022b).

Yer fıstığı, mineral içeriği bakımından da oldukça zengin bir besin olarak değerlendirilmektedir. 100 gram yer fıstığı, yetişkin bir bireyin günlük bakır gereksiniminin % 127'sini, manganez gereksiniminin % 84'ünü, fosfor gereksiniminin % 54'ünü ve magnezyum gereksiniminin % 42'sini karşılayabilmektedir. Ayrıca, yer fıstığı sodyum, potasyum, kalsiyum, selenyum ve çinko gibi diğer önemli mineralleri de bünyesinde barındırmaktadır (USDA, 2018).

Bununla birlikte yer fıstığının kırmızı et, sebze ve tahıl gevreklerine kıyasla, günlük kalsiyum gereksinimini karşılamada daha iyi olduğu tespit edilmiştir (Galvao ve ark., 2006).

Bahsedilenler doğrultusunda beslenme açısından oldukça faydalı olduğu düşünülen yer fıstığının aynı zamanda türevleri de benzer özellikleri sahip olabilmekte ve farklı ürünlerin geliştirilmesinde kullanılabilirler. Bunlardan birisi yer fıstığı özütüdür. Yer fıstığı özütünün hayvansal kaynaklı sütlere alternatif olarak fermente edilmesi inovatif ürünlerin elde edilmesine ve tüketicilere yeni ürün profillerinin sunulmasına imkan sağlamaktadır. Ancak yer fıstığı içermiş olduğu Arah1, Arah2, Arah3 proteinleri ile ciddi gıda alerjilerinden de sorumludur. Bununla birlikte dünyadaki en önemli halk sağlığı sorunlarından biri olan yer fıstığındaki bu alerjenik proteinler ozon uygulaması, yüksek basınç, enzimatik sindirim, fermentasyon ve kaynatma gibi çeşitli işlemler ile etkisiz hale getirilerek, ürün geliştirmede kullanılabilir (Chang ve ark., 2023; Zhang, 2024).

Bunlar içerisinde fermentasyon yöntemi maliyeti düşük bir uygulama olarak öne çıkmaktadır. Yer fıstığındaki alerjenik proteinlerin azaltılmasına yönelik yapılan bir çalışmada *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus bulgaricus* kullanılarak 4 saat fermentasyon süresi sonunda yer fıstığı ana alerjeni olan Arah1'in % 70 oranında azaldığı bildirilmiştir (Chang ve ark., 2023; Romero ve ark., 2023).

Yer fıstığı özütü ile ilgili endişelerden bir diğeri, mikotoksinlerin olası varlığıdır. Yer fıstığı tarlada veya depolama sırasında mantarlarla kontamine olabilmekte ve aflatoksinler üretebilmektedir. Kanserojen, genotoksik ve bağışıklık sistemini baskılayıcı mikotoksinler olarak bilinen aflatoksinler işleme sırasında ekstrakta taşınarak yer fıstığı özütünü kirletebilmekte ve ürün güvenliğini tehlikeye atabilmektedir. Bu süreçte ozon teknolojisi kullanımının yer fıstığındaki aflatoksin miktarını düşürmede etkili olabileceği bildirilmiştir (Romero ve ark., 2023).

Yer fıstığından elde edilen özüt ile ilgili diğer önemli bir husus ise içeriğindeki istenmeyen yeşil / fasulye aromasından sorumlu bileşiklerden biri olan n-hekzanalın varlığıdır. Duyusal bir problem olan bu sorun bazı mikroorganizmaların kullanımı ile azaltılabilmektedir. Nitekim, Lee (2001) yapmış olduğu bir çalışmada *Streptococcus thermophilus*' un n-hekzanal içeriğini azaltmada oldukça etkili olduğunu saptamıştır.

Son yıllarda, laktoz intoleransı, vegan beslenme eğilimleri ve sağlıklı yaşam bilincinin artmasıyla birlikte bitki bazlı içeceklere olan ilgi önemli ölçüde artmıştır. Bu bağlamda, yer fıstığı; yüksek oranda tekli doymamış yağ asitleri, protein, diyet lifi, karbonhidrat, vitaminler

ve kalsiyum, demir, magnezyum ve çinko gibi temel mineralleri içermesi nedeniyle dikkat çeken bir tarımsal üründür. Yer fıstığı özütü, sahip olduğu besinsel değerler sayesinde inek sütüne alternatif bitkisel bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Nitekim son yıllarda, yer fıstığından elde edilen özüt ve bu özüt kullanılarak geliştirilen ürünlere yönelik tüketici talebinde belirgin bir artış gözlenmektedir. Bu gelişmeler, araştırmacıların da ilgisini çekmiş ve yer fıstığı özütü üretiminin optimizasyonuna yönelik çalışmaların yanı sıra, bu özüt kullanılarak yeni ürünlerin geliştirilmesine yönelik bilimsel araştırmaların artmasına yol açmıştır. Bu çalışmada, besin değeri yüksek bir alternatif olan yer fıstığı özütünün eldesine ve özüt sonrası uygulanan fermentasyon işlemleri ile yoğurt benzeri ürün üretimine ilişkin bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Yer fıstığı özütünün elde edilmesi

Yer fıstığı özütü bitki bazlı süt alternatifleri arasında özellikle yüksek yağ ve protein içeriğiyle dikkat çeken bir üründür. Yapılan çalışmalar, fıstık özütünün diğer popüler bitki özütleriyle (örneğin badem sütü, soya sütü ve yulaf sütü) karşılaştırıldığında daha yüksek miktarda sağlıklı yağ asitlerini ve bitkisel proteinleri içerdiğini göstermektedir (Vanga ve Raghavan, 2018).

Literatürde çok sayıda çalışmada bitkisel bazlı alternatiflere ait genel kompozisyonu belirlemeye yönelik araştırmalar yapılmıştır. Genel bir fikir vermek adına inek sütü ve bazı bitkisel bazlı özütlerin % su, % yağ, % protein ve % kül oranları Çizelge 2’ de verilmiştir. Bu çizelgedeki değerlerden de anlaşılacağı üzere yer fıstığı özütü su miktarı bakımından inek sütüne benzerdir ve dolayısıyla tekstürel yapısı ile içilebilirlik niteliği bakımından süte alternatif olma özelliği taşımaktadır. Yer fıstığı özütünün özellikle yağ içeriği bakımından diğer bitkisel kaynaklara göre daha üstün olduğu ve inek sütüne oldukça yakın değerlere sahip olduğu görülmektedir. Protein içeriği bakımından yer fıstığı özütü süte göre düşük olsa da diğer bitkisel kaynaklı alternatifler ile karşılaştırıldığında yüksek protein içeriğine sahiptir. Bu durum yer fıstığı özütünün protein takviyeli içeceklerde ve fermente ürünlerde kullanımı açısından uygun bir alternatif olduğunu göstermektedir. Her ne kadar kül içeriği bakımından diğer bitkisel alternatiflere ve süte kıyasla düşük mineral içeriğine sahip olsa da yer fıstığının zengin potasyum, magnezyum ve çinko içeriğinden dolayı yer fıstığı özütü biyoyararlılığı yüksek bir alternatif olarak değerlendirilebilmektedir.

Çizelge 2. İnek sütü ve çeşitli bitkisel bazlı süt alternatiflerinin bazı bileşen oranları

Analiz	İnek sütü	Yer fıstığı özütü	Badem özütü	Soya özütü	Yulaf özütü
Su (%)	87±2.5	87.15±3.6	78.437±0.048	94.990±0.026	90.6±0.87
Yağ (%)	7.0±1.4	7.71±1.45	6.127±0.049	1.430±0.040	0.14±0.05
Protein (%)	4.6±0.920	3.71±0.1	0.972±0.023	2.390±0.038	1.87±0.01
Kül (%)	0.8±0.16	0.31±0.14	2.403±0.035	0.603±0.018	0.42±0.09

(Kundu ve ark., 2018; Gupta ve ark., 2019; Ahmed, ve ark., 2020).

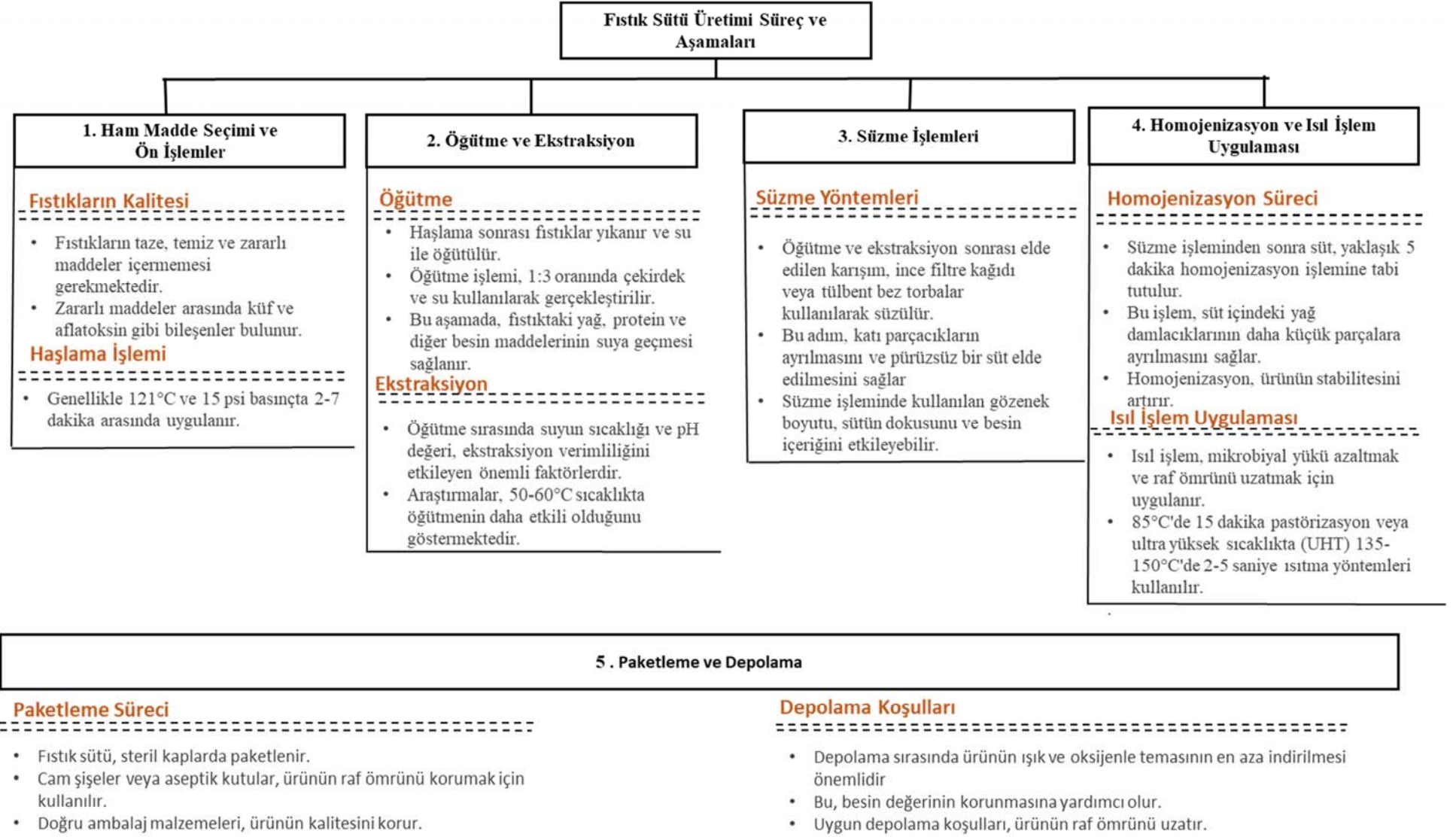
Fıstık özütü magnezyum gibi temel mineraller açısından zengin bir içeriğe sahiptir. Magnezyum kas ve sinir fonksiyonlarının düzenlenmesi, enerji metabolizması ve kemik sağlığı gibi birçok biyolojik süreçte kritik bir role sahiptir. Bu nedenle, fıstık özütü sadece laktoz

içermeyen bir alternatif olarak değil, aynı zamanda besleyici değeri yüksek bir içecek olarak da tüketiciler için önemli bir seçenektir (Volpe, 2013).

Gerek bitki bazlı içecek, gerekse fermente ürün üretiminde hammadde olarak kullanılacak fıstık özütü eldesinde farklı yöntemlerin kullanımına rastlanılmaktadır. Fıstık özütü eldesinde elde edilen özütün duyusal kalitesinin önemi literatürde yer alan çalışmalarda yer almış ve bu anlamda birçok araştırmacı özüt eldesinin optimize edilmesine yönelmiştir.

Bir dizi temel adımdan oluşan fıstık özütü eldesi; hammadde seçimi ve ön işlemler, haşlama, öğütme ve ekstraksiyon, süzme, homojenizasyon ve ısıl işlem uygulaması ve içecek olarak tüketilecekse paketleme ve depolama gibi aşamalardan oluşmaktadır (Şekil 1). Genel olarak ise yer fıstığı özütü yer fıstıklarının yıkanması ve oda ısısında bekletilmesi, öğütülerek kendi ağırlığının iki katı kadar su ilave edilmesi, elde edilen bulamacın çift katlı peynir bezinden süzülmesi, santrifüj separatörden geçirilmesi ve 90 °C' da 15 dakika ısıl işleme tabi tutulması ile elde edilmektedir (Abbas ve ark., 2022).

Şekil 1. Yer fıstığı özütü üretim süreci



Fıstık özütü eldesinde hammadde seçiminde kullanılacak fıstıkların kalitesi, ürünün besin içeriği ve lezzetini doğrudan etkilemektedir. Fıstıkların taze, temiz ve küf veya aflatoksin gibi zararlı maddeler içermemesi gerekmektedir (Arya ve ark., 2016). Akhtar ve ark. (2014)'nın yaptığı çalışmada fıstık özütü üretiminde ön işlemler kapsamında fıstıkların temizlenmesi, kabuklarının ayrılması ve isteğe bağlı olarak hafifçe kavrulması gerektiği belirtilmiştir. Kavurma işleminin, fıstığın lezzet profilini zenginleştirmenin yanı sıra, antinutrisyonel bileşiklerin azaltılmasına da önemli ölçüde katkı sağladığı bildirilmiştir. Prosesin önemli bir aşaması olan haşlama işlemi genellikle 121°C ve 15 psi basınçta 2-7 dakika arasında uygulanır ve bu işlem, fıstıkların kabuklarının kolayca çıkarılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, beraberinde besin değerlerinin korunmasına da katkı sunmaktadır (Parul J.,2022). Bulca ve Büyükgümüş (2024) yer fıstığı tohumlarının dış kabuklarını aldıktan sonra 130 °C'de 20 dakika boyunca fırında kavurmuşlardır. Ardından yer fıstığının baskın aromasını ve rengini azaltmak için en az 12 saat boyunca 0,5 g/100 mL NaHCO₃ içinde bekletmişlerdir. Haşlama işlemi sonrasında ise fıstıkların yıkanması ve su ile öğütülmesi işlemine yer vermişlerdir. Öğütme işlemini 1:3 oranında çekirdek:su kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Bu aşamada, fıstıktaki yağ, protein ve diğer besin maddelerinin suya geçmesi sağlanmıştır (Parul J.,2022). Öğütme sonrası ekstraksiyon sürecinde suyun sıcaklığı ve pH değeri, ekstraksiyon verimliliğini etkileyen önemli faktörlerdir. Araştırmalar, 50-60°C sıcaklıkta öğütmenin, protein ve yağın daha etkili bir şekilde çözünmesini sağladığını göstermektedir (Wang ve ark. 2018).

Ekstraksiyon işlemi sonrası elde edilen karışım, ince bir filtre kağıdı ya da tülbent bez torbalar kullanılarak süzülür. Bu adım, katı parçacıkların ayrılmasını ve pürüzsüz bir süt elde edilmesini sağlar. Süzme işleminde kullanılan gözenek boyutu, özütün dokusunu ve besin içeriğini doğrudan etkileyen önemli bir faktördür (Sethi ve diğerleri, 2016).

Süzme işleminden sonra elde edilen özüt, yaklaşık 5 dk homojenizasyon işlemine tabi tutulur. Yer fıstığı özütü protein, nişasta, lif ve diğer hücresel materyaller gibi çözünmeyen partiküller içerir. Homojenizasyon işlemi gerek bu bileşenlerin gerekse özüt içindeki yağ damlacıklarının daha küçük parçalara ayrılmasını sağlayarak süspansiyon stabilitesinin elde edilmesinde önemli bir aşamadır (Parul J.,2022; Reyes-Jurado ve ark., 2023).

Isıl işlem uygulaması ise; fıstık özütlerinin mikrobiyal yükünü azaltmak ve raf ömrünü uzatmak için 85°C'de 15 dakika pastörizasyon veya ultra yüksek sıcaklık (UHT) olan 135-150°C de 2-5 sn gibi bir süre boyunca ısıtılmasını ve ardından hızla soğutulmasını içermektedir (Vanga ve Raghavan, 2018).

Özpala ve Özer (2021), 135°C'da 30 dk boyunca kavrulmuş daha sonra kabuklarından ayrılmış fıstıkların % 0,5 NaHCO₃ içerisinde 15 saat bekletilmesi, 4.86 kat fıstık:su oranı ile öğütülmesi, süzülmesi ve elde edilen özüt oranına göre xanthan gam ilavesi, 20 rpm' de 5 dk homojenizasyon işlemi yapılması ve 85°C' da 15 dk pastörizasyon ile bu ürünün elde edilebileceğini bildirmişlerdir.

Yer fıstığı özütünün yoğurt benzeri ürün üretiminde kullanımı

Yoğurt benzeri ürün üretiminde hammadde olarak kullanılan bitkisel özüt eldesinde baklagiller, yağlı tohumlar, sert kabuklu meyveler ve tahıllar yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Sethi ve ark., 2016; Jeske ve ark., 2018; Röös ve ark., 2018).

Bunlar arasında yulaf, pirinç, soya fasulyesi, hindistan cevizi, kaju, badem ve kenevir gibi bitkisel hammaddelerin içerdikleri hidrokoloid özellikteki bileşenler ve proteinler, bu bitkisel materyallerden üretilen yoğurt benzeri ürünlerin süt kökenli yoğurtlar ile temel özellikler bakımından karşılaştırılabilir nitelikte olmalarını sağlamışlardır (Grasso ve ark., 2020; Wang ve ark., 2023; Morris ve ark., 2024).

Yapılan bir çalışmada, yer fıstığı özütünden elde edilen yoğurt benzeri ürünün soya özütünden elde edilen ile karşılaştırılabilir bir kalite sergileyerek, etkili bir bitki bazlı yoğurt alternatifi olarak işlev görme potansiyeline sahip olduğu bildirilmiştir (Kusumahastuti ve ark., 2025).

Yer fıstığı özütünün fermente edilmesi amacıyla fıstık özütlerinin 42-43°C' a soğutulması ve starter kültür kullanımı gerekmektedir. Bu amaçla yapılmış çalışmalarda araştırmacılar genellikle üründe asitlik gelişimini sağlamaya yönelik olan ve yoğurt bakterileri olarak bilinen *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* suşlarından yararlanmışlardır (Isanga ve Zhang, 2009; Abbas ve ark., 2022; Baskar ve ark., 2022; Bulca ve Gümüşbüyük, 2024).

Başta yoğurt olmak üzere süt ürünleri, yüksek tüketici beğenisi ve bu organizmaların daha iyi canlılığı nedeniyle probiyotiklerin verilmesi için ideal gıda kaynakları olarak kabul edilmektedir. Bitkisel bazlı yoğurt benzeri ürünlere olan talebin artması ile probiyotik kültürü katkılı bitkisel bazlı ürünler araştırmacıların ilgi odaklarından biri haline gelmiştir. Ancak süt kökenli olmayan bitkisel bazlı yoğurt benzeri ürünlerin geliştirilmesinde probiyotik bakterilerin bu substratlar üzerinde yavaş büyümesi ve probiyotik sayısının daha az olması sınırlayıcı faktörlerden kabul edilmektedir. Nitekim bir ürünün probiyotik olarak sınıflandırılabilmesi için en az 10^6 cfu/ml canlı probiyotik bakteri içermesi gerekmektedir. Yer fıstığı özütünden probiyotik kültür kullanılarak yoğurt benzeri probiyotik ürün geliştirilmek üzere yapılan bir çalışmada gelişme koşulları olarak; inokulum konsantrasyonu, inkübasyon sıcaklığı ve zaman optimizasyonu yapılmıştır. Çalışmada probiyotik yer fıstığından yoğurt benzeri ürün eldesi için % 1,9 inokulum konsantrasyonu, 38 °C inkübasyon sıcaklığı ve 12 saat inkübasyon süresi optimum koşullar olarak belirlenmiş, sonuç olarak, bu şartlarda ticari ölçekte tutarlı kaliteye sahip probiyotik yoğurt geliştirmek için yer fıstığının kullanılabileceği belirtilmiştir (Bansal ve ark., 2016).

Literatürde fıstık özütünden yoğurt üretimine yönelik olan ve elde edilen yoğurdun kalite kriterlerinin belirlenmesini amaçlayan bazı çalışmalar mevcuttur. Yapılmış olan bir çalışmada; farklı konsantrasyonlarda yer fıstığı özütü ilavesiyle hazırlanmış yoğurt benzeri ürünün yer fıstığı özütündeki yağ, toplam katı madde ve protein içerikleri arasındaki

korelasyondan ötürü serum ayrılma derecesinin ve yoğurdun pH'sının etkilendiği bildirilmiştir. Aynı çalışmada % 10 yer fıstığı özütü ile stabilizatörlere ihtiyaç duyulmadan yer fıstığı özütünden yoğurt benzeri ürün üretimine imkan tanındığı belirtilmiştir (Abbas ve ark., 2022). Bununla birlikte yoğurdun viskozitesinin toplam katı madde içeriğinden olumlu yönde etkilendiği ancak depolama sırasında asitlik artışı nedeniyle yoğurta sinerezisin arttığı ve viskozite değerlerinde önemli düşüşlerin olduğuna dair çalışmalar da mevcuttur (Arshad ve ark., 2022).

Yer fıstığı özütünden yoğurt benzeri ürün üretimlerinde elde edilen yoğurtların sinerezise daha duyarlı oldukları ve hayvansal süt yoğurtlarına göre daha düşük viskoziteye sahip oldukları görülmektedir. Bu amaçla, bazı çalışmalarda yoğurt benzeri ürünlerde jel yapının viskozitesini ve stabilitesini iyileştirmek için nişasta ve süt tozu gibi ikamelerin kullanıldığı bildirilmektedir (Elsamania ve ark., 2018; Nehaa, ve ark., 2022).

Buna ilaveten Bulca ve Büyükgümüş (2024), protein çapraz bağlanmasıyla protein çözeltilerinin viskozitesini artırmak ve üründe jel oluşumunu desteklemek amacıyla mikrobiyal transglutaminaz (mTGaz) enzimi kullanmışlar, bu enzimin yoğurt benzeri ürünün fiziksel özelliklerini iyileştirmek için büyük bir potansiyele sahip olduğunu bildirmişleridir. Yer fıstığı özütünden yoğurt benzeri ürün üretiminde kullanılan starter kültürler fermentasyon sürecini yönlendirmekte ve nihai ürünün kalitesine doğrudan yön vermektedirler. Bu amaçla çalışmalarda farklı starter kültürler kullanılarak tat, yapı ve kıvam üzerinde ne derece etkili oldukları araştırılmıştır. Araştırmacılar aynı çalışmada mTGaz ile birlikte EPS üreten ve EPS üretmeyen starter kültür karışımlarını çalışmalarına dahil etmişlerdir. EPS üretmeyen starter kültür kullanarak üretilen yoğurt benzeri ürünlerin beklenilen aksine daha yüksek viskoziteye sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Yer fıstığının sahip olduğu birtakım sağlığı iyileştirici etkilerinden yola çıkılarak yapılan bir çalışmada ise yer fıstığı özütünden elde edilen yoğurt benzeri ürünün peptidleri ile antihipertansif fonksiyon arasında ilişki olduğu ortaya konmuştur (Chen ve ark., 2024).

Yer fıstığı özütüne ilaveten birtakım kimyasal işlemler ile elde edilen yer fıstığı ekstraktlarının yoğurt benzeri ürün üretiminde kullanımına da literatürde rastlanılmaktadır. Paul ve ark. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada yer fıstığında çözücü olarak etanol kullanımı ile elde edilen polifenol ekstraktı yoğurt üretiminde kullanılmış ve eklenen polifenol ekstraktı miktarı arttıkça yoğurtlardaki toplam polifenol içeriğinin yükseldiği bildirilmiştir. Ayrıca bir polifenol antioksidan olan resveratrolün sudaki çözünürlüğünün zayıf olduğu, süt ve yoğurt gibi süt yağı içeren besinlerin resveratrol emilimi için uygun besinler olduğu vurgulanmıştır. Aynı çalışmada yer fıstığı polifenol özütünün yoğurtlarda laktik asit bakteri gelişimini artırdığı ve buna bağlı olarak asitlik gelişimine katkıda bulunduğu, toplam kuru madde içeriği ve su tutuma kapasitesini artırdığı bildirilmiştir. Çalışma sonucunda yoğurdun besin değerini ve işlevsel özelliklerini iyileştirmek için, yer fıstığı polifenol özütünün kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Sonuç

Gıdaların çevre ve sağlık üzerindeki etkileri konusunda artan tüketici bilinci, gelişmiş ülkelerde hayvansal kaynaklı ürünlere olan talebin azalmasına sebep olmuştur. Bu nedenle, birçok gıda üreticisi ve araştırmacısının odak noktası, sağlıklı ve sürdürülebilir alternatif gıda ürünleri geliştirerek mevcut tüketici taleplerini karşılamaktır.

Bitki bazlı yoğurt benzeri ürünler doğal olarak düşük kolesterol içermekte ve laktoz intoleransı olan veya süt proteinine alerjisi olan tüketiciler ve etik kaygılar taşıyanlar için birçok sorunu ortadan kaldırarak, süt ürünleri içermeyen alternatifler arasında önemli bir grubu temsil etmektedirler.

Bu çalışmada yer fıstığı özütünden yoğurt benzeri ürün üretiminde, özüt eldesinden son ürünün yapısal özelliklerine varan bir değerlendirme yapılmaya çalışılmıştır. Yer fıstığının yağ bileşimi ve protein içeriği birçok araştırmacı tarafından fonksiyonel ve besleyici olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte istenmeyen antinutrisyonel bileşenlerin eliminasyonu, beraberinde aroma ve rengin iyileştirilmesi için birtakım işlemlerin üretim prosesine dahil edilebileceği anlaşılmaktadır. Bir diğer husus ise son üründe tatmin edici bir yapı eldesine yönelik yapılan çalışmalar olmuştur. Ancak ürüne istenilen nitelikte yapı kazandırılmasını amaçlayan formülasyonların geliştirilmesi için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğu düşünülmektedir.

Yer fıstığı özütünden yoğurt benzeri ürün üretimlerinde yer fıstığı laktik asit bakterileri açısından önemli bir substrat olarak kabul edilmiş ve kullanılan suşların fermentasyon şartları dahilinde optimizasyonu yapılmıştır. Ancak daha fazla saf ve karışık kültüre odaklanılarak bu çalışmaların artırılması gerektiği anlaşılmaktadır. Yapılacak olan çalışmaların, sözü edilen parametreler kapsamında dizaynının, yer fıstığı özütünden daha kaliteli bitkisel bazlı yoğurtların üretimine yardımcı olabileceği, bu sayede tüketicilere daha üstün nitelikte alternatifler sunulabileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

Abbas, N., Sharmeen, Z., Bashir, S., Arshad, M., & Mazhar, Z. Effect of Storage on Physio-Chemical Properties of Peanut Yogurt.; Arshad, M., Sharmeen, Z., Nawaz, A., & Iqbal, A. (2022). Physical And Sensory Evaluation of Peanut Yogurt: Physical and Sensory Evaluation of Peanut Yogurt. DIET FACTOR (Journal of Nutritional and Food Sciences), 24-28.

Ahmed, N., Sharmeen, Z., Bashir, S., Khalid, S., Arshad, M., & Mazhar, Z. (2020). Effect of storage on physio-chemical properties of peanut yogurt. Pakistan Biomedical Journal, 3(1), 13-18.

Arshad, M., Sharmeen, Z., Nawaz, A., & Iqbal, A. (2022). Physical And Sensory Evaluation of Peanut Yogurt: Physical and Sensory Evaluation of Peanut Yogurt. DIET FACTOR (Journal of Nutritional and Food Sciences), 24-28.

Bonku, R., & Yu, J. (2020). Health aspects of peanuts as an outcome of its chemical composition. Food Science and Human Wellness, 9(1), 21-30. Bansal, S., Mangal, M., Sharma, S. K., Yadav, D. N., & Gupta, R. K. (2016). Optimization of process conditions for developing yoghurt like probiotic product from peanut. Lwt, 73, 6-12.

Isanga, J., & Zhang, G. (2009). Production and evaluation of some physicochemical parameters of peanut milk yoghurt. LWT-Food Science and Technology, 42(6), 1132-1138.

Bulca, S., & Büyükgümüş, E. (2024). Production of yogurt analogs from peanut milk (extract) using microbial transglutaminase and two different starter cultures. LWT, 205, 116546.

Chen, B., Wang, X., Zhang, J., & Wang, L. (2024). Peptidomics-based study of antihypertensive activity: discovery of novel ACE inhibiting peptides from peanut yogurt. Food & Function, 15(12), 6705-6716.

Coda R., Montemurro M., Rizzello C.G. Yogurt-like beverages made with cereals. In: Shah N.P., editor. Yogurt in Health and Disease Prevention. Academic Press; Cambridge, MA, USA: 2017. pp. 183- 201.

Craig, W.J., Mangels, A.R., Brothers, C.J. (2022). Nutritional Profiles of Non-Dairy Plant-Based Cheese Alternatives. Nutrients 14, 1247, doi:10.3390/nu14061247.

Elsamania, M. O., & Ahmed, I. A. M. (2014). Physicochemical characteristics and organoleptic properties of peanuts milk-based yoghurt fortified with skimmed milk powder. Journal of Research in Applied sciences, 1(4), 68-72.

Etter, B., Michel, F., & Siegrist, M. (2024). Consumers' categorizations of dairy products and plant-based milk, yogurt, and cheese alternatives. Appetite, 203, 107658.

European Commission . Report from the Commission to the Council and the European Parliament on the Development of Plant Proteins in the European Union. European Commission; Brussels, Belgium: 2018.

Galvao, L., Lopez, A., Williams, H. (2006). Essential mineral elements in peanuts and peanut butter. *Journal of Food Science*, 41(6), 1305-1307.

Grasso, N., Alonso-Miravalles, L., & O'Mahony, J. A. (2020). Composition, physicochemical and sensorial properties of commercial plant-based yogurts. *Foods*, 9(3), 252.

Gunstone, F.D. (2011). *Vegetable Oil in Food Technology Composition, Properties and Uses*. Wiley-Blackwell, Oxford, UK.

Gupta, S. H. R. I. S. T. I., & Bisla, G. I. T. A. (2019). Nutritional and sensory characteristics of oat milk based yoghurt. *International Journal of Applied Home Science*, 6(6-8), 261-265.

Haas, R., Schnepps, A., Pichler, A., Meixner, O. 2019. İnek Sütü ile Bitki Bazlı Süt İkamelerinin Karşılaştırması: Ürün İmajı ve Tüketime Motivasyon Yapısının Karşılaştırması. *Sürdürülebilirlik*, cilt. 11, sayı. 18, 25 s. <https://doi.org/10.3390/su11185046>.

Jeske, S., Zannini, E. and Arendt, E.K. 2018. Past, present and future: The strength of plant-based dairy substitutes based on gluten-free raw materials. *Food Research International*, 110:42–51.

Kundu, P., DhANKhAr, J., & ShArMA, A. (2018). Development of non dairy milk alternative using soymilk and almond milk. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 6(1), 203-210.

Kusumahastuti, D. K. A., Lewerissa, K. B., Cahyanti, M. N., Hartini, S., Natalia, R. D., & Nugrahani, Y. F. (2025). Physicochemical Properties of Yoghurt Analog from Peanut and Soy Milk. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(2), 614-620.

Morris, A., Boeneke, C., Prinyawiatkul, W., & King, J. M. (2024). Use of rice flour to produce plant-based yogurt alternatives. *Journal of Food Science*, 89(11), 7095-7114.

Nehaa, B., Sabitha, V., Mathushree, R., Sudha, A., & Sangeetha, V. (2022). Development of plant-based yogurt. *Foods and Raw materials*, 10(2), 274-282.

Özalp, B.B., Kürklü, N.S., 2020. A Functional Food: Peanut and its Health Benefits. *Academic Food Journal*. 18(3): 323-330, DOI: 10.24323/akademik-gida.818202.

Özpalas, B., & Özer, E. A. (2021). Optimization of Process Parameters for Peanut Milk Based on Nutritional and Sensory Characteristics. *Engineering Sciences*, 16(4), 136-150.

Paul, S. K. K., Islam, M. N., Dewan, M. F., Alim, M. A., & Ahmmed, R. (2024). Functional yogurt: An approach to enhance yogurt quality with peanut polyphenols. *Food Bioscience*, 60, 104398.

Reyes-Jurado, F., Soto-Reyes, N., Dávila-Rodríguez, M., Lorenzo-Leal, A.C., Jiménez-Munguía, M.T., Mani-López, E., López-Malo, A. (2023) Plant-Based Milk Alternatives: Types, Processes, Benefits, and Characteristics. *Food Reviews International* 39(4): 2320-2351, doi: 10.1080/87559129.2021.1952421.

Romero, A. C., Sartori, A. G., Caetano-Silva, M. E., de Alencar, S. M., Calori, M. A., & Augusto, P. E. (2023). Ozone processing of peanut “milk”: Degradation of aflatoxins, impact on quality attributes and the potential effect on peanut allergens. *Journal of Cleaner Production*, 405, 136950.

Röös, E., Garnett, T., Watz, V. and Sjörs, C. 2018. The role of dairy and plant based dairy alternatives in sustainable diets. *SLU Future Food Reports* 3, London.

Sethi, S., Tyagi, S.K. and Anurag, R.K. 2016. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 53(9):3408–3423.

Settaluri, V. S., Kandala, C. V. K., Puppala, N., & Sundaram, J. (2012). Peanuts and their nutritional aspects—a review. *Food and Nutrition Sciences*, 3(12). <https://doi.org/10.4236/fns.2012.312215>.

Vanga, S. K., & Raghavan, V. (2018). How well do plant based alternatives fare nutritionally compared to cow’s milk? *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 10-20. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2915-y>.

Wang, X., Kong, X., Zhang, C., Hua, Y., Chen, Y., & Li, X. (2023). Comparison of physicochemical properties and volatile flavor compounds of plant-based yoghurt and dairy yoghurt. *Food Research International*, 164, 112375.

Yang, Y., Yuan, B., Yu, P., Jia, Y., Zhou, Q., Sun, J. (2022b). Flavor characteristics of peanut butter pretreated by radio frequency heating, explosion puffing, microwave, and oven heating. *Food Chemistry*, 394, 133487. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133487>.

Zhang, C. (2024). Research and Innovation of Production Technology for Low Allergenic Peanut Products. *Molecular Nutrition and Health Research*, 1(1)

Akhtar, S., Riaz, M., & Nisar, A. (2014). Effect of roasting on nutritional composition and antioxidant potential of peanut seed varieties. *International Journal of Food Properties*, 17(6), 1283–1297. <https://doi.org/10.1080/10942912.2012.693558>

Anyasor, G. N., Ogunwenmo, K. O., Oyelana, O. A., & Akpofunure, B. E. (2009). Phytochemical constituents and antioxidant activities of aqueous and methanol stem extracts of *Costus afer*. *African Journal of Biotechnology*, 8(10), 218–225. <https://doi.org/10.5897/AJB09.019>

Arya, S. S., Salve, A. R., & Chauhan, S. (2016). Peanut processing and its impact on nutritional and functional properties: An overview. *Food Science and Human Wellness*, 5(3), 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.09.002>

Coates, D., Hill, C., Brown, A., & Smith, J. (2018). Peanut-derived arginine and its cardiovascular benefits: A review. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 56, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2018.02.006>

Field, C. J., Johnson, I. R., & Schley, P. D. (2000). Nutritional strategies to optimize immune function in children. *Clinical Nutrition*, 19(5), 389–400. <https://doi.org/10.1054/clnu.2000.0102>

Isanga, J., & Zhang, G. N. (2007). Peanut milk and peanut milk-based products processing: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(4), 405–423. <https://doi.org/10.1080/10408390600626420>

GIDA SEKTÖRÜNDE YENİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

