

## PIYASADA TÜKETİME SUNULAN AYÇİÇEK VE MISIRÖZÜ YAĞLARINDA AFLATOKSİN VARLIĞININ ARAŞTIRILMASI

Işıl Var<sup>1\*</sup>, Ali Tekin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

<sup>2</sup>Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Mersin, Türkiye

Geliş/Received: 19.10.2023; Kabul /Accepted: 30.11.2023; Online baskı /Published online: 30.11.2023

Var, I., Tekin, A. (2023). Piyasada tüketime sunulan ayçiçek ve mısırözü yağlarında aflatoksin varlığının araştırılması. GIDA (2023) 48 (6) 1304-1317 doi: 10.15237/ gida.GD23126

Var, I., Tekin, A. (2023). Investigation of the presence of aflatoxin in sunflower and corn oils offered for consumption in the market. GIDA (2023) 48 (6) 1304-1317 doi: 10.15237/ gida.GD23126

### ÖZ

Genel olarak bütün tarımsal ürünler küflenmeye bağlı bozulmalara maruz kalabilmektedir. Toprakta ve havada yaygın olarak bulunan küf sporları, uygun sıcaklık ve su aktivitesi değerlerinde bu ürünlere bulaştıklarında ürünleri bozabilmekte, hatta ürettikleri mikotoksinlerle sağlık açısından risk yaratabilmektedirler. Tarımsal ürünlerimizden olan yağlı tohumlar da yapıları itibari ile küflenmeye ve küfler tarafından üretilen mikotoksinler ile kontamine olmaya uygun gıdalardır. Endüstriyel olarak, ayçiçeği ve mısırözü gibi yağlı tohumlardan yağ eldesinde çeşitli ekstraksiyon yöntemlerinden yararlanılmakta ve elde edilen bu ham yağlara sonrasında degumming, nötralizasyon ve ağartma proseslerini içeren rafinasyon işlemleri uygulanmaktadır. Bugüne kadar yağ eldesinde uygulanan rafinasyon işlemlerinin hammaddede bulunan mikotoksinlerin yağdaki miktarını düşürdüğü ve yağların bu anlamda bir risk taşımadığı düşüncesi yaygındır. Son zamanlarda yapılan sınırlı sayıda çalışmaları, yağlı tohumdan başlayarak rafine yağ eldesine kadar devam eden proses boyunca uygulanan işlemlerin ancak mikotoksin düzeyini düşürdüğünü fakat düşük düzeylerde de olsa yağlarda mikotoksin bulunabileceğini ve yine sınırlı sayıda yapılmış piyasa taramalarını içeren çalışmalar rafine yağların farklı düzeylerde mikotoksin içerdiğini göstermiştir. Bu çalışmada ilk kez, ülkemiz marketlerinde rafine olarak satışa sunulan ayçiçek yağı ve mısırözü yağında aflatoksin varlığı araştırılmış ve ülkemiz piyasasındaki durum değerlendirilmiştir. Çalışmada ülkemiz piyasasından toplanan 50 rafine ayçiçek yağı örneğinin 16 (%32)'sında 0.06-0.198 µg/kg aralığında, 44 rafine mısır özü yağı örneğinin ise 28 (%63.63)'ünde 0.03-0.144 µg/kg aralığında toplam aflatoksin varlığı tespit edilirken, 16 rafine ayçiçek yağı örneğinin 5'inde 0.06-0.082 µg/kg aralığında, 28 rafine mısır özü yağı örneğinin ise 4'ünde 0.014-0.032 µg/kg aralığında AFB<sub>1</sub> tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan örneklerin bir kısmında her ne kadar aflatoksin varlığı tespit edilmişse de belirlenen miktarlar uluslararası bitkisel yağlar için bildirilen toksin kriterlerinin çok altında bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Rafinasyon, ayçiçek yağı, mısırözü yağı, aflatoksin

\* Yazışmalardan sorumlu yazar/ Corresponding author

✉: ivar@cu.edu.tr

☎: (+90) 544 827 4245

Işıl Var; ORCID no: 0000-0002-8655-4199

Ali Tekin; ORCID no: 0000-0002-0421-6330

## INVESTIGATION OF THE PRESENCE OF AFLATOXIN IN SUNFLOWER AND CORN OILS OFFERED FOR CONSUMPTION IN THE MARKET

### ABSTRACT

In general, all agricultural products may be subject to spoilage due to mold. Mold spores, which are commonly found in soil and air, can spoil products when they contaminate these products at appropriate temperature and water activity values, and can even pose a health risk with the mycotoxins. Oilseeds, one of our agricultural products, are foods that are suitable for mold growth and contamination with mycotoxins produced by molds due to their structure. Industrially, various extraction methods are used to obtain oil from oilseeds such as sunflower and corn, and refining processes including degumming, neutralization and bleaching processes are applied to these crude oils. So far, it was widely thought that the refining processes applied to obtain oil eliminated the mycotoxins found in the raw material from remaining in the oil and that the oils did not pose a risk in this sense. A limited number of recent studies have shown that the processes applied throughout the process, starting from oilseeds to refined oil, only reduce the level of mycotoxins, but mycotoxins may be present in oils, albeit at low levels. Moreover, studies including limited market scans have shown that refined oils contain different levels of mycotoxins. In this study, the presence of aflatoxin in sunflower oil and corn oil sold as refined in our country's markets was investigated and the situation of the oils in terms of aflatoxin content was revealed. Total aflatoxin presence was determined in the range of 0.06-0.198 µg/kg in 16 (32%) of 50 refined sunflower oil samples and in the range of 0.03-0.144 µg/kg in 28 (63.63%) of 44 refined corn oil samples. In the study, AFB<sub>1</sub> was detected in the range of 0.06-0.082 µg/kg in 5 of 16 refined sunflower oil samples, and in the range of 0.014-0.032 µg/kg in 4 of 28 refined corn oil samples. Although the presence of aflatoxin was detected in some of the samples used in the study, the determined amounts were found to be well below the international toxin criteria reported for vegetable oil.

**Keywords:** Refining, sunflower oil, corn oil, aflatoxin

### GİRİŞ

Yağ asitlerinin trigliseritleri olarak tanımlanan yağlar, en temel beslenme bileşenlerinden biridir. İnsan tüketimi için üretilen yağlar bitkisel veya hayvansal kaynaklardan elde edilmektedir. Dünya genelinde üretilen yağların büyük bir kısmı (%90), bitkisel ürünlerden sağlanmaktadır (Gunstone, 2002).

Tarla ve bahçe ürünü olarak birçok bitkinin tohumlarından insan tüketimine uygun bitkisel yağ üretimi yapılabilmektedir. Bazı bitkisel yağlar ham yağ olarak tüketime sunulabildiği gibi sanayide üretilen yağların büyük çoğunluğu rafine edilerek piyasaya sürülmektedir. Ayçiçeği, mısır, soya, kanola, yerkıstığı gibi yağlı tohumlar ve zeytin gibi meyveler bitkisel yağ endüstrisinin temel hammaddeleridir (Gorrepati vd., 2015).

Yağlık bitki üretimi, özellikle sulu tarıma dayalı zor ve masraflı bir tarım koludur. Üretim sürecinde çok çeşitli problemlerle karşılaşabilmektedir, bunlar arasında küflenme

ve mikotoksin oluşumu önemli bir yer tutmaktadır. Yağlı tohumların yapılarındaki çoklu doymamış yağ asidi bileşikleri, küflerin mikotoksin oluşturması için teşvik edici bir besin kaynağıdır (Samarajeewa vd., 1983; Al-Ameiri vd., 2015).

Mikotoksinler, bazı küfler tarafından gıda ve yemlerde sekonder metabolit olarak üretilen, bir grup toksik kimyasal bileşiktir. Mikotoksinlerin vücuda alınması, insan ve hayvanlarda ciddi sağlık problemlerine neden olmaktadır (Heperkan vd., 1994; Cserhâti vd., 2013). Günümüzde yaklaşık 400 farklı mikotoksin tanımlanmıştır, ancak bunlardan aflatoksinler, fumonisinler, okratoksinler, zearalenon ve trikotesenler gıda güvenliği ve insan sağlığı açısından öne çıkmaktadır (Zijden vd., 1962; Öksüztepe ve Erkan, 2016; Var ve Kabak, 2004).

Sayısı binleri bulan küf türlerinin tümü mikotoksin üretme yeteneğine sahip değildir, yaklaşık 350 küf türünün mikotoksin üreticisi

olduğu yapılan çalışmalarda belirlenmiştir. En önemli mikotoksin üreticisi küfler arasında *Aspergillus*, *Fusarium* ve *Penicillium* türleri en sık rastlanan küflerdir (Gianessi, 2009).

İnsan ve hayvan sağlığı üzerine çok ciddi etkileri olmasından dolayı, mikotoksinler arasında en fazla araştırmalara konu olan aflatoksinlerdir. Aflatoksinler, bazı *Aspergillus* türleri tarafından sentezlenen ve birçok gıdada sıklıkla tespit edilen bileşiklerdir. Aflatoksinlerin 18 farklı türü tespit edilmiş olsa da toksik etki bakımından 4 ana fraksiyonu (AFB<sub>1</sub>, AFB<sub>2</sub>, AFG<sub>1</sub> ve AFG<sub>2</sub>)

bulunmaktadır (Boutrif, 1998; Özkaya ve Temiz, 2003; Var ve Kabak, 2004). Aflatoksinler kimyasal olarak bifuran halkası ve lakton bağı içeren kumarin derivatlarıdır.

Aflatoksinler, normal pişirme sıcaklıklarına ve pastörizasyon sıcaklıklarına karşı dayanıklı yapıda olup bozunabilmeleri için çok daha yüksek ısı işlem uygulanmasına gereksinim duyulmaktadır. Çizelge 1’de aflatoksin bileşiklerinin kimyasal yapıları, erime sıcaklıkları ve kapalı formülleri verilmiştir (Vijaya-Kumar, 2018).

Çizelge 1. Aflatoksin bileşiklerinin kapalı kimyasal formülleri, Erime Noktaları ve Ultraviyole ışık altında verdikleri floresans renkleri (Kłosowski vd., 2010; Var, 1987)

Aflatoksin	Kimyasal Formülü	Erime Noktası (°C)	Floresans Renk (365 nm)
AFB <sub>1</sub>	C <sub>17</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	268	Mavi
AFB <sub>2</sub>	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	287.5	Mavi
AFG <sub>1</sub>	C <sub>17</sub> H <sub>12</sub> O <sub>7</sub>	245	Yeşil
AFG <sub>2</sub>	C <sub>17</sub> H <sub>14</sub> O <sub>7</sub>	238.5	Yeşil

Yüksek seviyede toksik özellik gösteren bileşikler olan aflatoksinler, insan ve hayvanlara gıdalar yolu bulaşabilmektedirler. Aflatoksinli gıdaların tüketilmesiyle ortaya çıkan ve aflatoksikoz olarak adlandırılan bu sorunlar hem akut hem de kronik olarak kendini göstermektedir (Vijaya-Kumar, 2018)

Gıdaların tüketiminden kısa bir süre içinde ortaya çıkan ve yüksek düzeyde aflatoksin maruziyetinin olduğu durumlarda akut aflatoksikoz vakaları görülmektedir. Akut aflatoksikoz vaka bazında aralıklı olarak ortaya çıksa da dünyanın birçok ülkesini büyük salgınlarla etkilemiştir. Akut vakalarda toplu ölümler görülebildiği gibi; sarılık, ateş ve diyare, gibi semptomatik rahatsızlıklar da görülebilmektedir (Méndez-Albores vd., 2009; Clavel ve Brabet, 2013; Gupta vd., 2022).

Aflatoksinlerin ölümcül olmayan dozları ise kronik bir toksisiteye neden olabilmektedir. Uzun bir süre boyunca düşük doz aflatoksin maruziyeti sonucunda ortaya çıkan kronik aflatoksikoz, akut aflatoksikozdan daha yaygındır. Vücut üzerine etkileri doza, maruz kalma süresine, aflatoksinin türüne, kişinin bağışıklığına ve diyet veya

beslenme durumuna göre değişebilmekle beraber kronik maruziyetin en çok bilinen sağlık etkisinin karaciğer kanseri olduğu tespit edilmiştir. Diğer kronik toksik sağlık etkileri ise teratojenik ve mutajenik etkiler olarak bildirilmektedir (Sinnhuber vd., 1977).

Aflatoksinlerin hepatotoksitesisi ve kanserojen etkileri yapılan birçok çalışma ile kesinlik kazanmıştır, bu nedenle Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından uzun bir süredir 1. grup insan karsinojen olarak sınıflandırılmıştır (IARC, 2002). Bu hastalığın, mikotoksinler içinde en toksik bileşik olarak bilinen AFB<sub>1</sub>’in vücutta tümör baskılama görevini yapan p53 genine bağlanarak yapısını bozması neticesinde gerçekleştiği gösterilmiştir (Bressac vd., 1991).

*Aspergillus* cinsi içerisinde özellikle üç türün (*A. flavus*, *A. parasiticus* ve *A. nomius*) aflatoksin oluşturma yeteneklerinin öne çıktığı bildirilmektedir. Aflatoksin çalışmaları ilk başladığında sadece *A. flavus*’un aflatoksin ürettiği düşünülmüşse de, sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda diğer iki türün de aflatoksin üreticisi

olduğu belirlenmiştir. Bunlar arasında, ekonomik açıdan *A. flavus* ve *A. parasiticus* önemli bulunurken, *A. nomius* suşlarının aflatoksin üretme yeteneğinin çok sınırlı kaldığı gözlenmiştir (Özkaya ve Temiz, 2003; Doster vd., 2009). Çizelge 2’de başlıca aflatoksin üretici küfler ve ürettikleri mikotoksinler görülmektedir.

Çizelge 2. Başlıca aflatoksin üretici küfler ve ürettikleri mikotoksinler (Feddern vd., 2013)

Tür	Ürettiği Mikotoksinler
<i>A. flavus</i>	AFB <sub>1</sub> , AFB <sub>2</sub> ve Siklopiazonik Asit
<i>A. parasiticus</i>	AFB <sub>1</sub> , AFB <sub>2</sub> , AFG <sub>1</sub> ve AFG <sub>2</sub>
<i>A. nomius</i>	AFB <sub>1</sub> , AFB <sub>2</sub> , AFG <sub>1</sub> ve AFG <sub>2</sub>

Mısır, yerfıstığı, badem, antepfıstığı, pamuk, incir, kayısı ve biber gibi birçok tarımsal üründe sıklıkla aflatoksin varlığı tespit edilmektedir. Bu ürünlerde aflatoksin oluşumu çoğunlukla hasat öncesinde, kurutma sırasında veya depolama sırasında gerçekleşebilmektedir (Clavel ve Brabet, 2013; Gürhayta ve Çağındı, 2016; Lavkor vd., 2017).

Hasat öncesinde aflatoksin oluşumu, çevresel koşullara bağlı olarak değişkenlik gösterirken, sıcaklık ve nem, pH ve ortamın gaz kompozisyonu aflatoksin oluşumu için en önemli

koşullar olarak değerlendirilmektedir (Saalia ve Phillips, 2011). *A. flavus*, geniş bir sıcaklık aralığında (6-8 °C ile 48-60 °C) gelişebilmektedir, maksimum toksin üretimini ise 25-30 °C’de yapmaktadır (Rustom, 1997; Pour vd., 2010).

Aflatoksinlerin çok düşük miktarlarının bile akut durumlarda kansere neden olduğunun tespit edilmesinden sonra, bütün ülkeler, aflatoksin riski taşıyan gıdalara özgü yasal limitler belirlemiştir. Bu konuda, ülkemizde 2011 yılında “Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği” yayımlanmıştır. Bu yönetmeliğin eklerinde, aflatoksinler açısından riskli olduğu değerlendirilen gıdalar için maksimum aflatoksin limitleri belirlenmiştir. Söz konusu yönetmelikte yenilebilir yağlar için herhangi bir limit belirlenmemiştir. Başka bir işlem görmeden direkt tüketilecek gıdalarda belirlenen limitler incelendiğinde ise AFB<sub>1</sub> için maksimum belirlenen değer 8 µg/kg olmakla beraber, Toplam Aflatoksin için bu değer 15 µg/kg olarak bildirilmiştir. Ülkemizde yağlar için herhangi bir limit belirlenmemesine rağmen farklı ülkelerde yağlar veya birçok gıda için aflatoksin limitleri söz konusudur. Çeşitli ülkelerde gıdalar için belirlenmiş olan aflatoksin limitleri Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 3. Ülkeler bazında yağlar için belirlenen yasal maksimum aflatoksin limitleri (Abdolmaleki vd., 2021)

Ülke	Ürün Adı	Aflatoksin (Max. Limit) (µg/kg)
Çin	Mısır Özü Yağı	20 (AFB <sub>1</sub> )
	Yerfıstığı Yağı	20 (AFB <sub>1</sub> )
	Diğer Yağlar	10 (AFB <sub>1</sub> )
Fransa	Bitkisel Yağlar	5 (AFB <sub>1</sub> )
Kenya	Bitkisel Yağlar	20 (Toplam Aflatoksin)
Tayvan	Yenilebilir Yağlar	10 (Toplam Aflatoksin)
Fas	Bitkisel Yağlar	5 (AFB <sub>1</sub> )
Tayland	Yağ ve Margarınler	20 (Toplam Aflatoksin)
ABD	Tüm Gıdalar	20 (Toplam Aflatoksin)
Brezilya	Tüm Gıdalar	15 (AFB <sub>1</sub> )
Hindistan	Tüm Gıdalar	30 (AFB <sub>1</sub> )
Endonezya	Tüm Gıdalar	35 (Toplam Aflatoksin)
		20 (AFB <sub>1</sub> )
Singapur ve Avustralya	Tüm Gıdalar	5 (Toplam Aflatoksin)
Malezya	Tüm Gıdalar	35 (Toplam Aflatoksin)
Japonya ve Vietnam	Tüm Gıdalar	10 (Toplam Aflatoksin)
Sri Lanka	Tüm Gıdalar	30 (Toplam Aflatoksin)

Mikotoksinlerin gıdalardan uzaklaştırma işlemleri oldukça sıkıntılı ve çok da başarılı olmayan süreçler olup bu yöntemler içinde, mikotoksin alt türevlerinin oluşmaması ve gıdanın besin değerinin değişmemesi ve mikotoksinin seviyesinin azaltılabilmesindeki başarısı nedeniyle yağlı tohumlardan yağ eldesi oldukça öne çıkan bir proses içermektedir. Yağ ekstraksiyonu ve rafinasyon işlemleri sürecinde tüm yağlı tohumlarda ekstraksiyon ve rafinasyonun mikotoksin detoksifikasyonu için uygulanabilir bir yöntem olabileceği yapılan sınırlı da olsa çalışmalarda belirtilmektedir (Bordin vd., 2014; Var ve Uçkun, 2021, Tekin, 2023). Her ne kadar bu yöntem ile mikotoksin detoksifikasyonu başarılı sonuçlansa da hala farklı seviyelerde mikotoksinin varlığı birçok çalışmada gösterilmiştir.

Schollenberger vd. (2008), Almanya'da satılan soya fasulyesi, ayçiçeği ve mısır tohumlarından elde edilen yenilebilir 110 yağ örneğinin (61 rafine-49 ham yağ) çalışıldığı araştırmalarında; rafine edilmiş 61 örneğin 13'ünde ve rafine edilmemiş 49 örneğin 10'unda *Fusarium* toksinlerini tespit ettiklerini bildirmişlerdir (Schollenberger vd., 2008).

Banu ve Muthumary (2010) Karnataka'da bulunan ayçiçek yağı rafinerisinden topladıkları ayçiçek yağlarında AFB<sub>1</sub> kontaminasyonunu araştırdıkları çalışmada, toplamda 23 ham yağ örneğinin 10'unda AFB<sub>1</sub> tespit ederken, rafinasyon sonucunda yağ örneklerinde AFB<sub>1</sub> tespit edilemediğini bildirmişlerdir (Banu ve Muthumary, 2010).

Elzupir vd. (2010) Sudan'da küçük ölçekli fabrikalardan, marketlerden topladıkları 21 adet yer fıstığı yağı ve 19 adet ayçiçeği yağı örneğinde aflatoksin varlığını araştırdıkları çalışmada, yer fıstığı yağında toplam aflatoksini 5.7-100 µg/kg aralığında tespit ederlerken, ayçiçeği yağında toplam aflatoksini 0.6-175.7 µg/kg aralığında tespit etmişlerdir (Elzupir vd., 2010).

Yang ve arkadaşları (2011) Çin Halk Cumhuriyeti'nin Hebei eyaletinde 76 yemeklik yağ örneğinde LC-MS/MS yöntemini kullanarak

aflatoksin varlığını araştırmışlardır. 76 örneğin 31'ini yer fıstığı yağı, 31'ini karışım yağ, 7'sini soya yağı, 5'ini mısırözü yağı, 1'ini Ayçiçek yağı ve 1'ini balık yağı oluşturmaktadır. Analiz sonucunda yer fıstığı yağı örneklerinin %48.4'ünde 0.15–2.72 µg/kg aralığında, karışım yağı örneklerinin ise %19.4'ünde 0.14-0.24 µg/kg aralığında aflatoksin bulunduğunu tespit etmişlerdir (Yang vd., 2011).

Deng vd., (2018) Çin Halk Cumhuriyeti'nde yer fıstığı yağında AFB<sub>1</sub> ve Bisfenol A'nın birlikte UPLC-MS/MS cihazında analiz edildiği bir metot geliştirmişlerdir. Söz konusu metot uygulanarak yapılan çalışmada yerel marketlerden toplanan 52 yer fıstığı yağının 43'ünde 0.5-69.40 µg/kg aralığında AFB<sub>1</sub> tespit ettiklerini bildirmişlerdir.

Qi vd., (2019) Çin Halk Cumhuriyeti'nin Guangdong eyaletinde, 209'u 2016 yılında, 218'i de 2017 yılında olmak üzere, yerel çiftçi marketlerinden topladıkları 427 yer fıstığı yağı örneğinde AFB<sub>1</sub> varlığını araştırmışlardır. 2016 yılında alınan örneklerin 47'sinde (%22.5) ortalama 29.4 µg/kg AFB<sub>1</sub> ve 2017 yılında alınan örneklerin 33'ünde (%15.10) ortalama 17.10 µg/kg AFB<sub>1</sub> bulunduğunu tespit etmişlerdir.

Chen vd., (2019) Çin ve Etiyopya'da satılan 48 yemeklik yağ örneğinde AFB<sub>1</sub> varlığını araştırdıkları çalışmada, örneklerin 27'sini Çin'den alınan örnekler oluşturmuştur ve bu örneklerin 8'inde 0.03-2.23 µg/kg AFB<sub>1</sub> bulunduğunu tespit etmişlerdir. Etiyopya'dan alınan 21 örneğin ise 12'sinde 0.07-100 µg/kg AFB<sub>1</sub> bulunduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada ülkemiz marketlerinde rafine olarak satışı sunulan ayçiçek yağı ve mısırözü yağlarında aflatoksin varlığı ilk kez araştırılmış ve ülkemiz piyasasındaki durum değerlendirilmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada materyal olarak kullanılan rafine ayçiçek yağı, rafine mısırözü yağı örnekleri ülkemizde satışa sunulmuş olan farklı markaların ürünlerini temsil edecek şekilde, perakende satış yerlerinden temin edilmiştir. Örnekler ağzı kapalı bir şekilde alınmış ve sonrasında hızlıca laboratuvara getirilmiştir. Hemen analiz

edilmeyecek ürünler +4 °C buzdolabında analiz zamanına kadar bekletilmiştir.

Aflatoksin Immunoafinite Kolonları Vicam (Almanya) firmasından, Aflatoksin analitik standartları Supelco (ABD) firmasından, Methanol, Asetonitril, Asetik Asit ve Nitrik Asit Sigma Aldrich (Almanya) firmasından temin edilmiştir. Tüm kimyasalların mümkün olan en yüksek saflıkta olmasına özen gösterilmiştir.

### Ayçiçek Yağı ve Mısırözü Yağı Örneklerinde Aflatoksin Aranması

Rafine ayçiçek yağı ve rafine mısırözü yağı örneklerinde aflatoksin analizi Daradimos vd., (2000) tarafından uygulanan metot modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir. Örnekler analize alınmadan önce HPLC-FLD cihazında kalibrasyon, geri kazanım ve metot doğruluğunun belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır.

### Aflatoksinerin Geri Kazanımı

Rafine ayçiçek yağı ve rafine mısırözü yağı örneklerinde aflatoksinerin geri kazanım oranlarının tespit edilmesi amacıyla, aflatoksin içermediği tespit edilen örnekler 1 µg/kg AFB<sub>1</sub>, 0.3 µg/L AFB<sub>2</sub>, 1 µg/kg AFG<sub>1</sub> ve 0.3 µg/L AFG<sub>2</sub> içeren aflatoksin standart çözeltisi ilave edilmiştir. Daha sonra aflatoksin analizi yapılmıştır.

% Geri Kazanım aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Geri Kazanım} = (a / b) \times 100$$

a = Cihazda okunan aflatoksin konsantrasyonu değeri

b = Numuneye ilave edilen aflatoksin konsantrasyonu

### Aflatoksin Tespit ve Ölçüm Limiti Çalışmaları

Tespit limiti (LOD) ve Ölçüm Limiti (LOQ) çalışmaları için aflatoksin içermeyen örneğe 0.5 µg/kg (AFB<sub>1</sub> ve AFG<sub>1</sub> için) ve 0.15 µg/kg (AFB<sub>2</sub> ve AFG<sub>2</sub> için) düzeyinde standartlar eklenerek 5 adet geri alma çalışması yapılmıştır.

Tespit limiti ve ölçüm limiti aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$\text{Tespit Limiti} = 3 \times \text{SD}$$

$$\text{Ölçüm Limiti} = 10 \times \text{SD}$$

SD: Standart Sapma

### Rafine Ayçiçek Yağı ve Rafine Mısırözü Yağı Örneklerinde Aflatoksin Analizi

10 g yağ örneği santrifüj tüpüne alınmış ve üzerine 10 mL metanol:su (80:20) karışımı eklenmiştir. Bu karışım 2 dakika yüksek hızda vortekslenmiştir. Daha sonra +4 °C sıcaklık ve 6000 rpm devirde 20 dakika süre ile santrifüj işlemi yapılmıştır. Santrifüj sonrası üst fazdan bir tüp içerisine 1 mL alınarak üzerine 9 ml ultra saf su eklenmiş ve 20 saniye vortekslenmiştir. Toplam 10 mL olan bu karışım 1 mL/dk hızla Immuno Affinite Kolonundan (IAK) geçirilmiştir. Sonrasında IAK'da tutulmuş olan non-spesifik safsızlıkları gidermek için iki defa 10 ml su geçirilmiştir. IAK'da tutulan aflatoksini geri kazanım için kolondan 1 mL/dk hızla, 1 mL methanol geçirilmiştir ve eluat vialde alınmıştır. Daha sonra HPLC'de kromatogramında pik ayrımın sağlanması amacıyla kolondan 1 mL ultra saf su geçirilerek aynı vialde alınmıştır. Böylece vialde toplam hacmi 2 mL olan aflatoksin içeren metanol-su karışımı elde edilmiştir. Bu karışım önce 30 saniye vortekslenmiş ve 0.45 µm gözenek çaplı teflon filtreden geçirdikten sonra HPLC-FLD'ye enjekte edilmiştir (Daradimos vd., 2000). HPLC-FLD şartları ise şu şekildedir:

Kolon: C18

Mobil Faz: Ultra Saf Su:Asetonitril:Methanol (600:200:300/v:v:v) (Çözeltinin litresinde 120 mg KBr ve 350 µL 4 Molar Nitrik Asit)

Akış Hızı: 1 mL/dk

Enjeksiyon Hacmi: 100 µL

Excitation (uyarıcı dalga boyu): 360 nm

Emission (yayılan dalga boyu): 430 nm

Kolon sıcaklığı: 25°C

Türevlendirme Cihazı: Coring Cell

### SONUÇ VE TARTIŞMA

#### Aflatoksin Analizleri Metot Performanslarının Değerlendirilmesi

Piyasadan toplanan rafine ayçiçek yağı ve rafine mısır özü yağı örneklerinde aflatoksin analizi yapılması amacıyla öncelikle LOD, LOQ, geri alma ve tekrarlanabilirlik çalışmaları ile kullanılan metotların performansları değerlendirilmiştir.

Metot validasyonu amacıyla gerçekleştirilen LOD, LOQ, geri kazanım ve tekrarlanabilirlik

çalışmalarının sonuçları ise Çizelge 4'te özetlenmiştir.

Çizelge 4. Aflatoksin LOD, LOQ ve Geri Kazanım değerleri

		LOD (µg/kg)	LOQ (µg/kg)	Geri Kazanım %
Rafine Ayçiçek Yağı	AFG <sub>2</sub>	0.052	0.172	93.0
	AFG <sub>1</sub>	0.061	0.204	92.2
	AFB <sub>2</sub>	0.058	0.192	90.3
	AFB <sub>1</sub>	0.053	0.177	90.7
Rafine Mısır Özü Yağı	AFG <sub>2</sub>	0.055	0.184	91.6
	AFG <sub>1</sub>	0.062	0.206	89.2
	AFB <sub>2</sub>	0.059	0.198	92.4
	AFB <sub>1</sub>	0.055	0.184	91.9

Çizelge 4 incelendiğinde kullanılan analiz metoduyla rafine ayçiçek yağında AFG<sub>2</sub>, AFG<sub>1</sub>, AFB<sub>2</sub> ve AFB<sub>1</sub>'in LOD değerleri sırasıyla 0.052, 0.061, 0.058 ve 0.053 µg/kg olarak bulunmuştur. Bu metotla elde edilen LOQ değerleri ise AFG<sub>2</sub> için 0.172 µg/kg, AFG<sub>1</sub> için 0.204 µg/kg, AFB<sub>2</sub> için 0.192 µg/kg ve 0.177 µg/kg olarak bulunmuştur. Rafine ayçiçek yağından AFG<sub>2</sub>, AFG<sub>1</sub>, AFB<sub>2</sub> ve AFB<sub>1</sub>'in geri kazanım değerleri sırasıyla % 93.0, % 92.2, % 90.3 ve % 90.7 olarak belirlenmiştir. Aflatoksinlerin rafine ayçiçek yağından geri kazanım değerleri AB'nin belirlemiş olduğu analiz yöntemi parametrelerine (1–10 µg/kg toksin konsantrasyonu için % 70–110 arasında) uygun bulunmuştur (European Commission, 2006)

Rafine mısır özü yağında kullanılan analiz metodunda ise AFG<sub>2</sub>, AFG<sub>1</sub>, AFB<sub>2</sub> ve AFB<sub>1</sub>'in LOD değerleri sırasıyla 0.055, 0.062, 0.059 ve 0.055 µg/kg olarak bulunmuştur. Bu metotla elde edilen LOQ değerleri ise AFG<sub>2</sub> için 0.184 µg/kg, AFG<sub>1</sub> için 0.206 µg/kg, AFB<sub>2</sub> için 0.198 µg/kg ve AFB<sub>1</sub> için 0.184 µg/kg olarak bulunmuştur. Rafine mısırozü yağından AFG<sub>2</sub>, AFG<sub>1</sub>, AFB<sub>2</sub> ve AFB<sub>1</sub>'in geri kazanım değerleri sırasıyla % 91.6, % 89.2, % 92.4 ve % 91.9 olarak bulunmuştur. Aflatoksinlerin rafine mısır özü yağından geri kazanım değerleri AB'nin belirlemiş olduğu analiz yöntemi parametrelerine (1–10 µg/kg toksin konsantrasyonu için % 70–110 arasında) uygun bulunmuştur (European Commission, 2006).

#### Rafine Ayçiçek Yağı Örneklerinde Aflatoksin Analizi Sonuçları

Araştırma kapsamında, HPLC-FLD yöntemi ile aflatoksin varlığı ve miktarı yönünden analiz edilen piyasadan toplanan rafine ayçiçek yağı örneklerinde aflatoksin varlığı ve saptanan miktarlar Çizelge 5'te verilmiştir.

Çalışmamızda piyasadan toplanan 50 adet rafine ayçiçek yağı örneğinin 16 (% 32)'sında aflatoksinlerin varlığı tespit edilmiştir. Örneklerin hiçbirinde AFG<sub>1</sub> tespit edilemezken, 8 örnekte 0.018-0.106 µg/kg aralığında AFG<sub>2</sub>, 10 örnekte 0.08-0.10 µg/kg aralığında AFB<sub>2</sub> ve 5 örnekte 0.06-0.082 µg/kg aralığında AFB<sub>1</sub> tespit edilmiştir. Toplam aflatoksin belirlenen örnek sayısının ise 16 olduğu ve miktarlarının 0.06-0.198 µg/kg aralığında değiştiği belirlenmiştir. Elde ettiğimiz bulgular Çizelge 3'te verilen dünyadaki aflatoksin üst limitleri ile karşılaştırıldığında, aflatoksinler açısından pozitif olan örneklerdeki aflatoksin miktarlarının, bu limitlerin çok altında olduğu görülmüştür.

Yapılan literatür taramasında ülkemizde piyasadan toplanan ayçiçek yağı örneklerinde aflatoksin varlığına yönelik bir çalışmaya rastlanılmasa da çeşitli ülkelerde ham ve rafine ayçiçek yağı örneklerinde aflatoksin taramasının yapıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Hindistan'da yapılan bir çalışmada 11'i ham yağ, 8'i filtre edilmiş yağ ve 4'ü de rafine edilmiş yağ olarak toplam 23 ayçiçek yağı örneğinde AFB<sub>1</sub> aranmıştır. 5 ham yağ ve 5

## Ayçiçek ve mısırözü yağlarında aflatoksin varlığı

filtre edilmiş yağ örneğinde 0.08-0.6 µg/kg aralığında AFB<sub>1</sub> tespit edilirken rafine edilmiş yağ örneklerinde aflatoksine rastlanmamıştır (Banu ve Muthumary, 2010). Sudan'ın farklı bölgelerinden 2010 yılında toplanan ayçiçek yağı örneklerinde aflatoksin varlığını araştırmak için yapılan bir çalışmada ise 37'si ham yağ ve 18'i de rafine yağ olmak üzere toplam 55 örnek kullanılmıştır. Çalışma sonucunda rafine ayçiçek yağı örneklerinde aflatoksin tespit edilemezken, ham yağ örneklerinin 8'inde 0.1-35 µg/kg aralığında AFB<sub>1</sub> bulunduğu tespit edilmiştir (İdris vd., 2010). Yine Sudan'da yapılan başka bir çalışmada çalışılan 19 ham ayçiçek yağı

örneklerinin tamamında aflatoksin tespit edildiği ve örneklerin 0.6-175.7 µg/kg aralığında toplam aflatoksin içerdiği belirlenmiştir (Elzupir vd., 2010). Bu çalışmalarda görüldüğü gibi ham ayçiçek yağında aflatoksin miktarlarının Çizelge 3'te verilen aflatoksin limitlerinin üzerine çıkabileceği durumlar mevcut iken rafine ayçiçek yağlarında ya çok düşük miktarlarda ya da hiç tespit edilememiştir. Çalışmamızda ise ham ayçiçek yağı örneği alınmamış ancak rafine ayçiçek yağlarında tespit edilen aflatoksin miktarlarının literatürlerdeki verilere benzer olarak yasal limitlerin çok altında olduğu görülmüştür.

Çizelge 5. Piyasada Tüketime Sunulan Ayçiçek Yağı Örneklerinde Aflatoksin Analizi Sonuçları

Örnek Adı	AFG <sub>2</sub>	AFG <sub>1</sub>	AFB <sub>2</sub>	AFB <sub>1</sub>	Toplam Aflatoksin
A1	TE	TE	TE	TE	TE
A2	TE	TE	TE	TE	TE
A3	TE	TE	TE	TE	TE
A4	TE	TE	TE	TE	TE
A5	TE	TE	TE	TE	TE
A6	TE	TE	TE	TE	TE
A7	TE	TE	TE	TE	TE
A8	TE	TE	TE	TE	TE
A9	TE	TE	TE	TE	TE
A10	0.054	TE	TE	0.058	0.112
A11	0.106	TE	TE	0.06	0.166
A12	TE	TE	TE	TE	TE
A13	TE	TE	TE	TE	TE
A14	0.034	TE	TE	TE	0.034
A15	TE	TE	TE	TE	TE
A16	TE	TE	TE	TE	TE
A17	0.022	TE	TE	0.082	0.104
A18	TE	TE	TE	TE	TE
A19	TE	TE	TE	TE	TE
A20	TE	TE	TE	TE	TE
A21	TE	TE	TE	TE	TE
A22	TE	TE	TE	TE	TE
A23	TE	TE	TE	TE	TE
A24	TE	TE	TE	TE	TE
A25	TE	TE	TE	TE	TE



Örnek Adı	AFG <sub>2</sub>	AFG <sub>1</sub>	AFB <sub>2</sub>	AFB <sub>1</sub>	Toplam Aflatoksin
A26	0.098	TE	0,1	TE	0.198
A27	TE	TE	TE	TE	TE
A28	TE	TE	TE	TE	TE
A29	TE	TE	TE	TE	TE
A30	TE	TE	TE	TE	TE
A31	TE	TE	TE	TE	TE
A32	0.018	TE	0.008	0.172	0.198
A33	TE	TE	TE	0.006	0.006
A34	0.018	TE	TE	TE	0.018
A35	TE	TE	TE	TE	TE
A36	TE	TE	TE	TE	TE
A37	TE	TE	TE	TE	TE
A38	TE	TE	TE	TE	TE
A39	TE	TE	TE	TE	TE
A40	0.056	TE	0.058	TE	0.114
A41	TE	TE	TE	TE	TE
A42	TE	TE	TE	TE	TE
A43	TE	TE	TE	TE	TE
A44	TE	TE	0.088	TE	0.088
A45	TE	TE	0.058	TE	0.058
A46	TE	TE	0.066	TE	0.066
A47	TE	TE	0.086	TE	0.086
A48	TE	TE	0.052	TE	0.052
A49	TE	TE	0.072	TE	0.072
A50	TE	TE	0.058	TE	0.058

TE: Tespit Edilemedi

Hammaddelerdeki aflatoksin bulaşıklığının miktarına bağlı olarak bu azalmalar farklı seviyelerde görülecektir. Şengül ve ark., (2018), Antep fıstığı gibi sert kabuklu bir meyve olan fındık örneklerini yağa işleyerek yağa geçen aflatoksin miktarlarını araştırmışlardır. Çalışma materyali olarak 44.08-73.67 µg/kg aralığında toplam aflatoksin ile doğal kontamine olmuş 5 fındık örneği kullanılmıştır. Yağ ekstraksiyonu ise n-hekzan ile soxhlet cihazında gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, hammaddede bulunan aflatoksinlerin AFB<sub>2</sub> için %5,83, AFB<sub>1</sub> için %4,38, AFG<sub>2</sub> için %3,44 ve AFG<sub>1</sub> için %1,88 oranında yağa geçtiğini bildirmişlerdir. Mahoney ve ark., (2021) California ABD’de yaptıkları bir çalışmada

aflatoksin ile doğal kontamine badem örneklerini yağa işleyerek yağa geçen ve küspede kalan aflatoksin miktarlarını incelemişlerdir. Çalışmada 0.8-928 µg/kg aralığında toplam aflatoksin içeren 19 doğal kontamine badem örneği kullanılmıştır. Bademlerden yağ elde etmek için ise n-hekzan ile soxhlet ekstraksiyonu yöntemi kullanılmıştır. Ekstraksiyon işleminden sonra başlangıçtaki toplam aflatoksinin %2.7-17.2 aralığında yağa geçtiğini, küspede ise %82.8-969 aralığında kaldığını tespit etmişlerdir. Bu nedenle hammaddenin aflatoksin açısından içerdiği miktar rafinasyon prosesinin başarısına dolayısıyla gıdanın güvenilirliğine de katkı sunacaktır.

**Rafine Mısır Özü Yağı Örneklerinde Aflatoksin Analizi Sonuçları**

Araştırma kapsamında çalışılan piyasadan toplanan rafine mısır özü yağı örneklerinde

aflatoksin varlığı ve miktarları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Piyasaya Sunulan Mısırözü Yağı Örneklerinde Aflatoksin Analizi Sonuçları

Örnek Adı	AFG <sub>2</sub>	AFG <sub>1</sub>	AFB <sub>2</sub>	AFB <sub>1</sub>	Toplam Aflatoksin
M1	TE	TE	0.08	TE	0.08
M2	TE	TE	0.076	TE	0.076
M3	TE	TE	0.072	TE	0.072
M4	TE	TE	0.05	TE	0.05
M5	TE	TE	0.07	TE	0.07
M6	TE	TE	0.066	0.014	0.08
M7	TE	TE	0.062	TE	0.062
M8	TE	TE	0.066	TE	0.066
M9	TE	TE	TE	TE	TE
M10	TE	TE	0.12	0.024	0.144
M11	TE	TE	0.094	TE	0.094
M12	TE	TE	0.08	TE	0.08
M13	TE	TE	0.076	TE	0.076
M14	TE	TE	0.074	TE	0.074
M15	TE	TE	0.08	TE	0.08
M16	TE	TE	0.056	TE	0.056
M17	TE	TE	0.068	TE	0.068
M18	TE	TE	0.094	TE	0.094
M19	TE	TE	0.064	TE	0.064
M20	TE	TE	0.078	TE	0.078
M21	TE	TE	0.086	TE	0.086
M22	TE	TE	TE	TE	TE
M23	TE	TE	0.07	0.032	0.102
M24	TE	TE	TE	TE	TE
M25	TE	TE	TE	TE	TE
M26	TE	TE	TE	TE	TE
M27	TE	TE	0.064	TE	0.064
M28	TE	TE	0.086	TE	0.086
M29	TE	TE	0.1	TE	0.1
M30	TE	TE	0.014	0.016	0.03
M31	TE	TE	0.07	TE	0.07
M32	TE	TE	TE	TE	TE
M33	TE	TE	TE	TE	TE
M34	TE	TE	TE	TE	TE

Örnek Adı	AFG <sub>2</sub>	AFG <sub>1</sub>	AFB <sub>2</sub>	AFB <sub>1</sub>	Toplam Aflatoksin
M35	TE	TE	TE	TE	TE
M36	TE	TE	0.062	TE	0.062
M37	TE	TE	0.07	TE	0.07
M38	TE	TE	TE	TE	TE
M39	TE	TE	TE	TE	TE
M40	TE	TE	TE	TE	TE
M41	TE	TE	TE	TE	TE
M42	TE	TE	TE	TE	TE
M43	TE	TE	TE	TE	TE
M44	TE	TE	TE	TE	TE

TE: Tespit edilemedi

Aflatoksin açısından taranan 44 mısırozü yağı örneğinin 28'inde aflatoksinlerin varlığı tespit edilmiştir. Örneklerin hiçbirinde AFG<sub>1</sub> ve AFG<sub>2</sub> tespit edilemezken 27 örnekte 0.014-0.12 µg/kg aralığında AFB<sub>2</sub> ve 4 örnekte 0.014-0.032 µg/kg aralığında AFB<sub>1</sub> tespit edilmiştir. Toplam aflatoksin açısından değerlendirildiğinde, belirlenen örnek sayısının 28 olduğu ve toksin miktarının 0.03-0.144 µg/kg aralığında değiştiği belirlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bulguların, farklı ülkelerin bu konuyla ilgili belirlemiş oldukları limitlerle kıyaslandığında (Çizelge 3), örneğin, ABD'nin bitkisel yağları da içeren tüm gıdalarda belirlemiş oldukları 20 µg/kg toplam aflatoksin maksimum limitinin ve ayrıca Fransa'nın bitkisel yağlar için belirlediği AFB<sub>1</sub> için olan 5 µg/kg maksimum limitinin altında kaldığı görülmektedir.

Yapılan literatür taramasında ülkemizde bu konuda yapılmış bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Yurtdışında yapılan çalışmalarda ise Yang vd. Çin'de 2011 yılında rafine mısır özü yağında aflatoksin varlığını araştırdıkları çalışmalarında çalışılan 5 adet mısır özü yağı örneğinin hiçbirinde aflatoksin tespit edememişlerdir. Benzer olarak Karunarathna vd. Sri Lanka'da 2019 yılında farklı bitkisel yağ örneklerinde aflatoksin varlığını araştırdıkları çalışmada; materyal gruplarından biri de rafine mısır özü yağı olarak belirlenmiş ve 3 adet örnek alımı yapılmıştır. Çalışma sonucunda mısır özü yağı örneklerinde aflatoksin tespit edilemediği bildirilmiştir (Karunarathna vd.,

2019). Bu çalışmalarda rafine mısır özü yağında hiç aflatoksin bulunmamış olmasına rağmen, bizim çalışmamızda düşük oranlarda da olsa aflatoksin tespit edilebilmiştir. Yağlı tohumlarda küf gelişimi ve dolayısıyla mikotoksin oluşumu sık görülen bir problemdir. Bu ürünlerde mikotoksin oluşumu bazı durumlarda çok yüksek miktarlarda gözlemlenebilmektedir.

Çalışmamızda rafine ayçiçek yağı ve rafine mısırozü yağı örneklerinin bazılarında aflatoksin varlığı tespit edilmesine rağmen miktarlarının uluslararası kriterlerin çok altında olduğu belirlenmiştir. Ayçiçek ve özellikle de mısır gibi yüksek aflatoksin maruziyetine sahip bu ürünlerden elde edilen yağlardaki aflatoksin miktarının düşük bulunması, yağ prosesinde iyi yapılmış bir rafinasyon işleminin aflatoksin miktarı üzerine olan etkisinden kaynaklandığını düşündürmüştür. Ama aynı zamanda hammaddedeki aflatoksin miktarı da proseslerin başarısını etkilemektedir. Birçok işletme hammadde de mikotoksin analizleri yapmakta proseslerin başlangıcında toksin miktarlarını azaltmak yoluna gitmektedirler.

Tekin (2023) farklı ekstraksiyon metodlarının Antep fıstığı yağı eldesinde aflatoksin üzerine etkilerini araştırdığı çalışmada, rafinasyon işlem basamaklarından degumming, nötralizasyon ve ağartma proseslerinin etkisini de incelemiştir. Çalışmanın sonucunda Antep fıstığında bulunan aflatoksin miktarlarının yağ ekstraksiyonu ve

rafine işlem basamaklarının kombine uygulanmasıyla son üründe aflatoksin miktarının oldukça düşük seviyelere düşürülebileceğini belirtmiştir.

Ancak piyasada tüketime sunulan çalışılan rafine yağ örneklerinde düşük miktarlarda aflatoksin tespit edilmiş olması yağların zaman zaman gıda güvenilirliği açısından risk taşıyor olabileceğini düşündürmektedir. Bu kontamine bitkisel yağların tüketimi günlük toplam aflatoksin alımına önemli ölçüde katkıda bulunabilir ve halk sağlığı için tehlike oluşturabilir. Yağlı tohumlardan yağ ekstraksiyonun mikotoksinler üzerine ciddi bir etkisi olduğu daha önceki çalışmalarda gösterilmiştir ancak tamamen mikotoksinlerin bertaraf edilemediği de görülmektedir. Dolayısıyla tüketiciler açısından yoğun talep gören bu ürünlerde mikotoksin kontrollerinin başlatılması ve limitlerin belirlenmesi ve hammaddede aflatoksin oluşumunun önüne geçilecek yasal prosedürlerin oluşturulması gıda güvenilirliği açısından önemli olacaktır.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bu araştırma makalesiyle ilgili olarak başka kişiler ve/veya kurumlar arasında çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

#### YAZARLARIN KATKISI

Bu çalışmanın danışmanlığı ve finansal desteklerin sağlandığı projenin yürütücülüğü Işıl VAR tarafından yapılmıştır. Çalışmadaki analizlere, istatistiksel değerlendirmelere ve makale yazımına tüm yazarlar katkı sağlamıştır.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. Proje Numarası: FBA-2020-13116. Tedarik ve üretime destek sağlayan Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi ve deneysel çalışmaların bir kısmının yapıldığı Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü'ne teşekkürlerimizi sunarız.

#### KAYNAKLAR

- Abdolmaleki, K., Khedri, S., Alizadeh, L., Javanmardi, F., Oliveira, C. A. F., Mousavi Khaneghah, A. (2021). The mycotoxins in edible oils: An overview of prevalence, concentration, toxicity, detection and decontamination techniques. *Trends in Food Science and Technology*, 115: 500–511.
- Al-Ameiri, N. S., Karajeh, M. R., Qaraleh, S. Y. (2015). Molds associated with olive fruits infested with olive fruit fly (*Bactrocera oleae*) and their effects on oil quality. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 8(3): 217–220.
- Banu, N., Muthumary, J. (2010). Aflatoxin B<sub>1</sub> contamination in sunflower oil collected from sunflower oil refinery situated in Karnataka. *Health*, 02(08): 973–987.
- Bordin, K., Sawada, M. M., Rodrigues, C. E. da C., da Fonseca, C. R., Oliveira, C. A. F. (2014). Incidence of Aflatoxins in Oil Seeds and Possible Transfer to Oil: A Review. *Food Engineering Reviews*, 6(1–2): 20–28.
- Boutrif, E. (1998). Prevention of aflatoxin in pistachios. *Food Nutr. Agric.* 21: 32–38.
- Bressac, B., Puisieux, A., Kew, M., Volkmann, M., Bozcall, S., Bella Mura, J., de la Monte, S., Carlson, R., Blum, H., Wands, J., Takahashi, H., von Weizsacker, F., Galun, E., Kar, S., Carr, I., Schroder, C. H., Erken, E., Varinli, S., Rustgi, V. K., Prat, J., Toda, G., Koch, H. K., Huan Liang, X., Tang, Z. you, Shouval, D., Lee, H. S., Vyas, G. N., Sarosi, I., Ozturk, M. (1991). P53 Mutation in Hepatocellular Carcinoma After Aflatoxin Exposure. *The Lancet*, 338(8779): 1356–1359.
- Chen, L., Molla, A. E., Getu, K. M., Ma, A., Wan, C. (2019). Determination of aflatoxins in edible oils from china and ethiopia using immunoaffinity column and HPLC-MS/MS. *Journal of AOAC International*, 102(1): 149–155.
- Clavel, D., Brabet, C. (2013). Mycotoxin contamination of nuts. *Improving the safety and quality of nuts*. Harris, L.J., Ed.; Woodhead Publishing: Oxford, UK, 88–118 s.
- Cserhádi, M., Kriszt, B., Krifaton, C., Szoboszlai, S., Háhn, J., Tóth, S., Nagy, I., Kukolya, J. (2013).

- Mycotoxin-degradation profile of *Rhodococcus* strains. *International Journal of Food Microbiology*, 166(1): 176–185.
- Daradimos, E., Marcaki, P., Koupparis, M. (2000). Evaluation and validation of two fluorometric HPLC methods for the determination of aflatoxin B<sub>1</sub> in olive oil. *Food Additives and Contaminants*, 17(1): 65–73.
- Deng, H., Su, X., Wang, H. (2018). Simultaneous determination of aflatoxin b1, bisphenol a, and 4-nonylphenol in peanut oils by liquid-liquid extraction combined with solid-phase extraction and ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Food Analytical Methods*, 11(5): 1303–1311.
- Doster, M. A., Cotty, P. J., Michailides, T. J. (2009). Description of a distinctive aflatoxin-producing strain of *Aspergillus nomius* that produces submerged sclerotia. *Mycopathologia*, 168(4): 193–201.
- Elzupir, A. O., Suliman, M. A., Ibrahim, I. A., Fadul, M. H., Elhussein, A. M. (2010). Aflatoxins levels in vegetable oils in Khartoum State, Sudan. *Mycotoxin Research*, 26(2): 69–73.
- European Commission (2006). Commission Regulation (EC) No 401/2006 of 23 - sampling methods for mycotoxins in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, 70(401): 12–34.
- Fedderm, V., Dors, G. C., Tavernari, F. D. C., Mazzuco, H., Cunha, A., Krabbe, E. L., Scheuermann, G. N. (2013). Aflatoxins importance on animal nutrition. *Aflatoxins-Recent Advances and Future Prospects*, 171-195.
- Gianessi, L. (2009). The Benefits of Insecticide Use: Almonds. *CropLife*, Crop Protection Research Institute, USA., 9-12 s.
- Gorrepati, K., Balasubramanian, S., Chandra, P. (2015). Plant based butters. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7): 3965–3976.
- Gunstone F.D., 2002. Production and trade of vegetable oils. *Vegetable oils in food technology: composition, properties and uses*. Blackwell Publishing, UK. (1st Edition), 1-17 s.
- Gupta, R. C., Lasher, M. A., Miller Mukherjee, I. R., Srivastava, A., Lall, R. (2022). Aflatoxins, ochratoxins, and citrinin. *In Reproductive and Developmental Toxicology*. Academic press, USA. 983-1002 s.
- Gürhayta, O. F., Çağındı, Ö. (2016). Kurutulmuş Meyvelerde Aflatoksin ve Okratoksin A Varlığının ve Sağlık Üzerine Etkilerinin Değerlendirilmesi. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2): 327–338.
- Heperkan, D., Aran, N., Ayfer, M. (1994). Mycoflora and aflatoxin contamination in shelled pistachio nuts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 66(3): 273–278.
- Idris, Y. M. A., Mariod, A. A., Elnour, I. A., Mohamed, A. A. (2010). Determination of aflatoxin levels in Sudanese edible oils. *Food and Chemical Toxicology*, 48(8–9): 2539– 2541.
- Karunaratna, N. B., Fernando, C. J., Munasinghe, D. M. S., Fernando, R. (2019). Occurrence of aflatoxins in edible vegetable oils in Sri Lanka. *Food Control*, 101 (February), 97–103.
- Lavkor, I., Var I., Öztemiz, S., Arıoğlu, H. H. (2017). Yerfıstığı Alanlarında Aflatoksin Oluşumunun Azaltılmasına Yönelik Apatojenik *Aspergillus flavus*'un Biyolojik Mücadelede Kullanım Olanaklarının Araştırılması. Tübitak 3001 Proje Sonuç Raporu, Adana, Türkiye, 139 s.
- Mahoney, N. E., Cheng, L. W., Palumbo, J. D. (2021). Fate of aflatoxins during almond oil processing. *Journal of Food Protection*, 84(1): 106–112.
- Méndez-Albores, A., Veles-Medina, J., Urbina-Álvarez, E., Martínez-Bustos, F., Moreno-Martínez, E. (2009). Effect of citric acid on aflatoxin degradation and on functional and textural properties of extruded sorghum. *Animal Feed Science and Technology*, 150(3–4): 316–329.
- Öksüztepe, G., Erkan, S. (2016). Mikotoksinler ve Halk Sağlığı Açısından Önemi. *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 5(2): 190–195.
- Özkaya, Ş., Temiz, A. (2003). Aflatoksinler : Kimyasal Yapıları, Toksisiteleri Giriş Aflatoksinlerin Kimyasal Yapısı. *Orlab On-line Mikrobiyoloji Dergisi*, 01(01): 1–21.

- Pour, R. S., Rasti, M., Zighamian, H., Daraei Garmakhani, A. (2010). Occurrence of aflatoxins in pistachio nuts in esfahan province of Iran. *Journal of Food Safety*, 30(2): 330–340.
- Qi, N., Yu, H., Yang, C., Gong, X., Liu, Y., Zhu, Y. (2019). Aflatoxin B<sub>1</sub> in peanut oil from Western Guangdong, China, during 2016–2017. *Food Additives and Contaminants: Part B Surveillance*, 12(1): 45–51.
- Rustom, I. Y. S. (1997). Aflatoxin in food and feed: Occurrence, legislation and inactivation by physical methods. *Food Chemistry*, 59(1): 57–67.
- Saalaa, F. K., Phillips, R. D. (2011). Reduction of aflatoxins in peanut meal by extrusion cooking in the presence of nucleophiles. *LWT - Food Science and Technology*, 44(6): 1511–1516.
- Samarajeewa, U., Gamage, T. V., Arseculeratne, S. N. (1983). Aflatoxin contamination of coconut oil from small scale mills: toxin levels and their relation to free fatty acid content. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*, 11(2): 203–210.
- Schollenberger, M., Müller, H. M., Rühle, M., Drochner, W. (2008). Natural occurrence of 16 Fusarium toxins in edible oil marketed in Germany. *Food Control*, 19(5): 475–482.
- Sinnhuber, R. O., Hendricks, J. D., Wales, J. H., Putnam, G. B. (1977). Neoplasms in rainbow trout, a sensitive animal model for environmental carcinogenesis. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 298(1): 389–408.
- Şengül, Ü., Şengül, B., Apaydın, E., Taşçi, E., İlgün, R., 2018. Aflatoxin contamination in hazelnut oil obtained from hazelnuts containing high levels of aflatoxin. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 24(4): 523–530.
- Tekin, A. (2023). Bazı Rafinasyon İşlem Basamakları ile Yağ Ekstraksiyon Yöntemlerinin Antep Fıstığında Toplam Aflatoksin ve Zeytinde Okratoksin A Düzeylerine Etkisi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, Adana, Türkiye, 102 s.
- Var, I. (1987). Çerezlik Yerfıstıklarında Aflatoksin Saptanması Üzerine Bir Araştırma. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Ürünleri Teknolojisi Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana, Türkiye, 37 s.
- Var, I., Kabak, B. (2004). Removal of aflatoxins by viable and heat-killed lactic acid bacteria and bifidobacteria. *Archiv für Lebensmittelhygiene*, 55(5): 106–109.
- Var, I., Uçkun, O. (2021). Extraction Methods' Effects on Aflatoxin Concentration during Sunflower Oil Processing: First Report. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 3(5): 136–143.
- Vijaya-Kumar, V. (2018). Aflatoxins: Properties, Toxicity and Detoxification. *Nutri Food Sci Int J.*, 6(5): 555696.
- Yang, Li Xin, Liu, Y. P., Miao, H., Dong, B., Yang, N. J., Chang, F. Q., Yang, Li Xue, Sun, J.B. (2011). Determination of aflatoxins in edible oil from markets in Hebei Province of China by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Food Additives and Contaminants: Part B Surveillance*, 4(4): 244–247.
- Zijden, A. S. M., Koelensmid, W. B., Boldingh, J., Barrett, C. B., Ord, W. O., Philp, J. (1962). *Aspergillus flavus* and turkey X disease: Isolation of crystalline form of a toxin responsible for turkey X disease. *Nat. Int. J. Sci.*, 196: 1048–1050.