

MISIR UNUNUN YAĞ ASİTLERİ BİLEŞİMİ VE FİZİKOKİMYASAL KALİTESİ ÜZERİNE GAMA IŞINLAMANIN ETKİSİ

Demet APAYDIN*

Hitit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu, Otel, Lokanta ve İkram Hizmetleri Bölümü, Çorum, Türkiye

Geliş / Received 18.01.2025; Kabul / Accepted: 17.03.2025; Online baskı / Published online: 20.03.2025

Apaydın, D. (2025). Mısır ununun yağ asitleri bileşimi ve fizikokimyasal kalitesi üzerine gama ışınlamanın etkisi. GIDA (2025) 50 (2) 235-244 doi: 10.15237/ gida.GD25021

Apaydın, D. (2025). Effect of gamma irradiation on fatty acid composition and physicochemical quality of maize flour. GIDA (2025) 50 (2) 235-244 doi: 10.15237/ gida.GD25021

ÖZ

Mısır (*Zea mays* L.) dünya çapında en çok tüketilen tahıllar arasında olup önemli bir temel gıdadır. Mevcut çalışmada, gama ışınlamanın mısır ununun besin bileşimi, renk değerleri ve yağ asitleri kompozisyonuna etkileri araştırılmıştır. Mısır unu örnekleri 0, 2.5, 5.0, 7.5 ve 10 kGy dozlarında ⁶⁰Co kaynağı kullanılarak ışınlanmıştır. Gama ışınları mısır unu yağının oleik asit (18:1) ve linoleik asit (18:2) seviyelerinde önemli bir azalmaya ve stearik asit (18:0) seviyesinde artışa neden olup yağ asitlerini modifiye etmiştir. Ayrıca ışınlama dozunun artmasına paralel olarak, toplam tekli doymamış ve toplam çoklu doymamış yağ asitlerinin azaldığı saptanmıştır. Çalışmada incelenen besin bileşimi kuru madde, protein, kül ve yağ bileşenleridir. Gama ışınlama mısır ununun kuru madde, yağ ve protein oranlarında istatistiksel açıdan önemli değişikliklere yol açmaz iken ($P > 0.05$), kül değeri ve renk parametrelerini istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$) düzeyde etkilemiştir. Işınlama ile L* değeri artarken, a* ve b* renk parametreleri ışınlama dozunun artırılmasına bağlı azalmıştır.

Anahtar kelimeler: Gama ışınlama, mısır unu, gıda güvenliği, renk, yağ asitleri

EFFECT OF GAMMA IRRADIATION ON FATTY ACID COMPOSITION AND PHYSICOCHEMICAL QUALITY OF MAIZE FLOUR

ABSTRACT

Maize is an important staple food and one of the most consumed grains worldwide. In the present study, γ -irradiation effects on nutritional composition, color values and fatty acids profile of maize flour were established. Maize flour samples were irradiated using ⁶⁰Co source at doses of 0, 2.5, 5.0, 7.5, and 10 kGy. Gamma irradiation modified the fatty acids, causing a significant decrease in the levels of oleic acid (18:1) and linoleic acid (18:2) and an increase in the level of stearic acid (18:0) in maize flour oil. Moreover, total monounsaturated and polyunsaturated fatty acids decreased with increasing dose. The examined nutrient contents were moisture, protein, ash and fat contents. Gamma irradiation did not cause statistically significant changes in dry matter, fat and protein composition of maize flour. While L* value increased due to gamma irradiation, a* and b* color parameters decreased with increasing irradiation dose.

Keywords: Gamma irradiation, maize flour, food safety, color, fatty acids

* Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author

✉: demetapaydin22@gmail.com

☎: (+90) 364 222 1555/3689

☎: (+90) 364 222 1558

Demet Apaydın; ORCID no: 0000-0002-7769-849X

GİRİŞ

Mısır, dünyada en yaygın kullanılan temel gıda ve yem bileşenlerinden biridir. İnsan beslenmesinde hayati bir yer tutan mısır, dünya çapında en çok tüketilen tahıl ürünleri arasındadır (FAO, 2019). Mısır Türkiye’de üretilen önemli tahıllardan biri olup, 2023 Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre ülkemizde yılda 9 milyon ton mısır üretilmektedir. Buna göre tahıl ve üretilen diğer bitkisel ürünler arasındaki payı %11.6’dır (TÜİK, 2024). Mısır tüketiminin önemli miktarda vitamin ve mineral sağladığı ve ayrıca sık mısır tüketiminin insan ve hayvan organizması üzerinde çeşitli sağlık yararları sağlayabildiği bilinmektedir (Kos vd., 2020).

Öte yandan, insan ve hayvan tüketimi için dünyanın her yerinde yetiştirilen ana tahıl ürünlerinden biri olan mısır, nem ve sıcaklık koşullarında toksijenik küfler tarafından kontaminasyona karşı hassastır. Gıda ve yem bileşenlerini küf oluşumundan uzak tutmak, özellikle nemli bölgelerde, ekili alanlarda karşılaşılan en büyük zorluklardan biridir. Mısır, belirli koşullar altında mikotoksin üretebilen *Aspergillus*, *Penicillium* ve *Fusarium* cinslerine ait bazı küf türlerinin neden olduğu küf kontaminasyonuna karşı oldukça hassastır (James ve Zikankuba, 2018; Reddy vd., 2009; Pitt, 2006). Mısır, insanlar ve hayvanlar için en tehlikeli maddelerden bazılarını üretebilen *Aspergillus flavus*, *Fusarium verticillioides* ve *Fusarium graminearum* gibi birçok mikotoksijenik küf türünün olası konakçısıdır (Leite vd., 2020). Bu mikotoksinler arasında aflatoksinler, okratoksin A, deoksinivalenol (DON), zearalenon (ZEN) sıklıkla mısıra bulaşmaktadır (Mir vd., 2021, Tralamazza vd., 2016). Giresun ilinde pazarlardaki farklı satıcılardan temin edilen mısır unu örneklerinde aflatoksin seviyesi yüksek performanslı sıvı kromatografisi ile araştırılmıştır. Analiz edilen 69 örneğin 11’inde (%16) toplam aflatoksin değeri 0,379-24,54 µg/kg aralığında tespit edilmiştir (Şengül vd., 2016). Yapılan benzer çalışmalarda da ülkemizde mısır ununda aflatoksinin ciddi bir problem olduğunu göstermektedir (Algül ve Kara, 2014; Oruç vd., 2006; Giray vd., 2009).

Gıda maddelerinin mikotoksinlerle kirlenmesi dünya çapında büyük bir sorundur. Üretim koşulları, nem, sıcaklık, depolama koşulları, fiziksel hasar gibi bazı faktörler gıdalarda mikotoksin oluşumunu hızlandırmaktadır. Çeşitli kimyasal yapıya ve çeşitli toksisiteye sahip olan bu toksinlerin çoğu, birçok gıda işleme yöntemine karşı dayanıklıdır (Probst vd., 2014; Temba vd., 2017). Ayrıca, mısır gibi tahılların mikotoksijenik küfler tarafından kontaminasyonu, daha düşük kaliteli ürünlerle sonuçlanabilmekte ve tüketim için oldukça zararlı olabilmektedir. Tüm bu nedenlerle güvenli mısır elde etmek için mikotoksin oluşumunun önlenmesi, kontrol altına alınması ve dekontaminasyon stratejilerinin gıda güvenliği ilkelerine dayandırılması gerekmektedir (Alberts vd., 2017). Gıda işleme yöntemleri, başta tahıl zincirleri olmak üzere birçok gıda zincirinin önemli bir parçasıdır ve genellikle küf ve mikotoksinler de dahil olmak üzere kontaminantlar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Küfleri ve mikotoksinleri etkisiz hale getirme ve yok etmede her ne kadar farklı gıda işleme yöntemlerinin potansiyeli araştırılmış olsa da, küf ve mikotoksin detoksifikasyonu için gıdanın besin değerini, lezzetini ve dokusunu bozmayan teknikler önerilmektedir (Spadaro ve Garibaldi, 2017). Gama ışınlama mikotoksijenik küflerin inhibe edilmesinde ve mikotoksinlerin detoksifikasyonunda etkili önemli bir tekniktir (Calado vd., 2018). Yapılan çalışmalarda gama ışınlamanın mısır ununda *Aspergillus flavus* ve *Aspergillus ochraceus* inhibisyonunda ve aflatoksinler ve okratoksin A’nın detoksifikasyonunda etkili olduğu kanıtlanmıştır (Khalil vd., 2021).

Gıda ışınlaması, çeşitli gıdalardaki mikroorganizmaları ürüne zarar vermeden ortadan kaldırmak için etkili bir yöntemdir (Jeong vd., 2020). Gama ışınları, nüfuz etme yetenekleri ve çok çeşitli mikroorganizmaları etkisiz hale getirmedeki yüksek etkinlikleri nedeniyle gıda için tercih edilen radyasyon kaynağıdır (Calado vd., 2018). Soğuk pastörizasyon olarak da adlandırılan gama ışınlaması, yüzyıllardır gıdaların dekontaminasyonu için yaygın olarak kullanılan etkili bir yöntemdir (Apaydın vd., 2017). Gıda maddelerinin korunmasında kullanılan bu fiziksel

yöntemin, küf ve mikotoksinlerin kontrolüne katkısı birçok araştırmacı tarafından ele alınmıştır. Yapılan bazı çalışmalar gama ışınlanmasının okratoksin A (OTA), fumonisin B1, zearalenon ve aflatoksinlerin oluşum riskinin azaltılmasında önemli rol oynadığını göstermektedir (Mohamed vd., 2015; Aquino vd., 2005; Aziz et vd., 2004). Ayrıca bu yeni teknoloji, potansiyel olarak tahılların besinsel özellikleri, kalite özellikleri ve duyuşal özellikleri üzerinde daha az olumsuz etkiye neden olmaktadır (Mir vd., 2021). Tüm bu nedenlerden dolayı kullanılan gama ışınlama uygulaması gıdalarda 10 kGy'ye kadar olan dozlar için güvenli olduğu kabul edilmekte ve çok sayıda ülkede ticari gıda işleme için uluslararası güvenli doz olarak 10 kGy'ye kadar ışınlamaya izin verilmektedir (Apaydin vd., 2017). 10 kGy'ye kadar ışınlama insan sağlığına yönelik hiçbir mikrobiyolojik, besinsel veya toksikolojik tehlikeye neden olmamaktadır (Mir vd., 2021). Türk Gıda Kodeksi Gıda Işınlama Yönetmeliği (2019/30907) 'ne göre hububat, öğütülmüş hububat ürünleri vb. ürünlerde soğurulan doz miktarı olarak en fazla 5 kGy'e izin verilmektedir (Anonim, 2025).

Bu çalışmayı yapma motivasyonu, gıda güvenliğini sağlamak amacıyla mısır ununun gama ışınlanması ve farklı dozlardaki gama ışınlanmanın mısır unu kalitesi üzerindeki bazı değişimlerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda literatür çalışmaları incelendiğinde, gama ışınlanmasının mısır unu numunelerinin yağ asitleri kompozisyonu ve çeşitli fizikokimyasal kalite parametrelerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma ile farklı dozlardaki (2.5, 5.0, 7.5 ve 10 kGy) gama ışınlama prosesinin mısır ununun fizikokimyasal özelliklerindeki ve yağ asidi profilindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Mısır unu örnekleri Edirne, Türkiye'deki yerel bir marketten satın alınmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan mısır unu örnekleri ticari bir markanın ürünü olmayıp açık olarak satışa sunulmaktadır. Mısır unu örnekleri beş pakete (her biri 100 g)

bölünmüştür ve ışınlama için polietilen torbalara sıkıca paketlenmiştir.

Gama ışınlama işlemi

Mısır unu örneklerinin gama ışınlarıyla ışınlanması Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK), Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (Ankara, Türkiye)'nde maksimum aktivitesi 12000Ci olan deneysel ışınlama cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Işınlama işlemi Tarım ve Orman Bakanlığı'nın Gıda Işınlama Yönetmeliği (2019/30907)'ne göre gerçekleştirilmiştir (Anonim, 2025). Gama ışınlaması, oda sıcaklığında (~25°C) yaklaşık 1168 Gy/saat doz oranına sahip ⁶⁰Co gama ışınlayıcı (Ob-Servo Sanguis, İzotop Enstitüsü, Macaristan) ile numunelere uygulanmıştır. Uygulanan dozlar 2.5, 5.0, 7.5 ve 10.0 kGy'dir. Işınlama esnasında kaynak sabit tutularak, numune sepetinin döndürülmesiyle doz dağılımı homojen olarak elde edilmektedir. Numune sepeti boyutları 220 mm x 250 mm olan yaklaşık 10 litre hacminde silindirik kap şeklindedir. Hedef dozun doğruluğunun sağlanması için numuneye bir dozimetre yerleştirilmiştir ve gerçek dozlar hedeflenen dozun %5'i içerisinde ölçülmüştür. Işınlanmayan numuneler kontrol partileri olarak ayrı şekilde tutulmuştur. Hem kontrol hem de ışınlanmış numuneler analizler bitinceye kadar dondurucuda bekletilmiştir.

Yöntem

Mısır ununun kimyasal bileşiminin belirlenmesi

Mısır ununun kimyasal bileşimi ışınlamadan hemen sonra belirlenmiştir. Kuru madde, ham protein, yağ ve kül içerikleri AOAC (2000) resmi metoduna göre belirlenmiştir.

Mısır ununun renk değerinin belirlenmesi

Mısır unu örneklerinin renkleri Konica Minolta CM-5 (Konica Minolta, Inc. Osaka, Japonya) kullanılarak belirlenmiştir. Ölçümden önce cihaz beyaz yüzey kalibrasyon plakasına göre kalibre edilmiştir. Renk değerleri L* (parlaklık), a* (kırmızılık) ve b* (sarılık) olarak ifade edilmiştir. L*, a* ve b* değerleri CIELab renk skalasına göre tespit edilmiştir. Ölçüm başlığının alt yarısına üç gram numune yerleştirilmiştir. Kolorimetrenin başlığı kolorimetrenin üstüne yerleştirildikten

D. Apaydın

sonra rastgele üç yerden ölçümler alınmıştır (Kwon vd., 2009).

Yağ asitleri kompozisyonunun belirlenmesi

Ekstrakte edilen mısır unu yağı örneklerinin yağ asidi bileşimi, Gutiérrez ve Belkacemi (2008) tarafından belirtildiği gibi gaz kromatografisi ile belirlenmiştir. Ekstrakte edilen mısır unu yağlarının yağ asitleri alkali hidroliz ile esterleştirildikten sonra metanol ilaveli BF₃ (%14 boron trifluoride) içerisinde metilasyon yapılmıştır. Yağ asidi metil esterlerinin (FAME) son konsantrasyonu heptan içinde yaklaşık 7 mg/mL idi. Kısaca, FAME analizleri, bir alev iyonizasyon dedektörüne (FID) bağlı kapiler GLC (Agilent 6890 N) ve silika kapiler kolon (HP-88, 100 m x 0.25 mm iç çap, %100 dimetilpolislioksen ile kaplanmış, 0.2 µm film kalınlıkta, Chrompack) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. GC fırınının başlangıç sıcaklığı 120°C'ye ayarlanmıştır; sonrasında 10 °C/dk hızla 175 °C'ye çıkarılmıştır, 10 dakika bu sıcaklıkta tutulmuştur ve ardından 5 °C/dk hızla 175 °C'den 230 °C'ye çıkarılmıştır. Enjeksiyon hacmi 1:50 oranda 1 µL idi. Enjektör ve dedektör sıcaklıkları sırasıyla 250 ve 280 °C idi. Helyum taşıyıcı gaz olarak 0.5 mL/s akış hızıyla kullanılmıştır.

Yağ asidi metil esterleri profili, tek tek standart FAME'lerin (~%99 saf) (Supelco, ABD) tutulma sürelerine dayalı olarak tanımlanmıştır ve Total

Chrom Workstation Yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir.

İstatistiksel Analizler

Veriler SPSS 22.0 kullanılarak varyans analizi (ANOVA) kullanılarak analiz edilmiştir. Ortalama değerler arasındaki farklar, Duncan'ın çoklu aralık testi kullanılarak $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyiyle karşılaştırılmıştır. Tüm analizler üçer kez tekrarlanmıştır. Tüm veriler, tekrarlanan deneylerin ($N \geq 2$) ve tekrarlanan ölçümlerin ortalamasıdır (Snedecor ve Cochran, 1988).

SONUÇ VE TARTIŞMA

Gama ışınlama işleminin mısır ununun besin bileşimi ve renk değerlerine etkisi

Çizelge 1'de ışınlanmamış (kontrol grubu) ve ışınlanmış mısır unu örneklerinin % kuru madde, kül, protein, yağ değerleri gösterilmiştir. Işınlanmamış (kontrol grubu) mısır ununun kuru madde içeriği 89.44 ± 0.6 , kül içeriği 0.5576 ± 0.0068 , protein içeriği 6.44 ± 0.22 ve yağ içeriği 2.33 ± 0.21 olarak tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular, mısır ununun nem içeriğini %10.53, yağ içeriğini %1.37, kül içeriğini %1.19 olarak tespit eden Sanni vd., (2008) ile benzerlik göstermektedir. Gama ışınlamanın mısır unu örneklerinin kimyasal bileşimine etkisi göz önüne alındığında (Çizelge 1), 0-10 kGy dozlarıyla ışınlama sonrasında önemli bir etki gözlenmemiştir ($P > 0.05$).

Çizelge 1. Işınlanmış ve ışınlanmamış mısır ununun kimyasal özellikleri
Table 1. Chemical properties of irradiated and non-irradiated maize flour

Örnek (Mısır Unu) <i>Sample Maize flour</i>	Işınlama Dozu (kGy) <i>Irradiation Dose (kGy)</i>	Kuru madde (%) <i>Dry matter (%)</i>	Protein (%) <i>Protein (%)</i>	Yağ (%) <i>Oil (%)</i>	Kül (%) <i>Ash (%)</i>
	Kontrol-Control	89.44±0.34	6.44±0.11	2.33±0.12	0.5576±0.0068b
	2.5	89.69±0.31	6.35±0.17	2.24±0.05	0.6269±0.0214a
	5.0	89.76±0.1	6.37±0.12	2.25±0.06	0.6553±0.0028a
	7.5	89.8±0.2	6.46±0.31	2.24±0.05	0.6351±0.0227a
	10.0	89.68±0.42	6.39±0.12	2.18±0.05	0.6233±0.0184a
Işınlama Etkisi		NS	NS	NS	*

Aynı sütundaki aynı harfteki değerler Tukey testine göre %5 seviyesinde önemli ölçüde farklı değildir.

NS önemli değil,

* Önemli $P < 0.05$

Values with the same letter in the same column are not significantly different at the 5% level according to the Tukey test.

NS not significant,

* Significant $P < 0.05$

Bu sonuçlar Lee ve Kim (2018)'nin kahverengi pirinçlerin 5.0 ve 10.0 kGy dozlarında gama ışınlanma sonrasında protein, nem ve kül içeriklerinde önemli bir değişiklik gözlemlenmediğini bildirdiği çalışmaları ile uyum içerindedir. Benzer şekilde Gecgel (2013) köftelere 1, 3, 5 ve 7 kGy dozlarında gama ışınlama işlemi uyguladığı çalışmasında 7 kGy ışınlama dozundan sonra bile köftelerin nem, yağ, protein ve kül içeriklerinde önemli bir farklılık olmadığını bildirmiştir. Sonuçlarımıza paralel şekilde Smita vd. (2023) ve Darfour vd. (2012), γ -ışınlanmanın sırasıyla pirinç ununun ve börülce ununun protein ve nem içeriğini değiştirmediğini bildirmişlerdir. Bir başka çalışmada benzer şekilde Liu vd. (2018) gama ışınlanmanın yer fıstığının fizikokimyasal özellikleri ve besin içerikleri üzerine etkisini incelemişler ve ışınlanmanın nem ve kül içeriğinde önemsiz bir değişime neden olduğunu bildirmişlerdir ($P > 0.05$). Apaydın vd. (2017) gama ışınlanmanın üzüm çekirdeğinin kimyasal bileşimine etkisini inceledikleri çalışmada, 7 kGy gama ışınlanmanın dahi üzüm çekirdeği yağında istatistiksel olarak önemli değişimlere yol açmadığını bildirmişlerdir. Öte yandan Liu vd. (2018) yüksek doz ışınlanmanın (10 kGy) yer fıstığının yağ ve protein içeriğini önemli ölçüde azalttığını, su aktivitesini ise arttırdığını bildirmişlerdir.

Çizelge 2'de ışınlanmamış ve ışınlanmış mısır unu örneklerinin renk değerleri (L^* , a^* , b^*) gösterilmiştir. Gıda ürünlerinin renk özellikleri tüketici tercihini belirleyen önemli parametreler arasındadır. Renk analiz sonuçlarına göre örneklerin parlaklığını ifade eden L^* değeri kontrol grubunda 88.89 olarak belirlenmiştir (Çizelge 2). Örneklerin yeşillik-kırmızılık özelliğini gösteren a^* değeri kontrol grubunda 3.90 olarak belirlenmiştir. Renk özelliklerinden b^* değeri, örneklerin mavilik-sarılık özelliklerini ifade etmektedir. Kontrol grubu örneklerinin b^* değeri 29.52 olarak belirlenmiştir. Gama ışınlanmanın renk parametrelerine (L^* , a^* ve b^*) etkisi değerlendirildiğinde, ışınlanmanın renk parametreleri üzerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde ($P < 0.05$) etkili olduğu tespit edilmiştir. Gama ışınlama ile L^* değeri artarken, a^* ve b^* renk parametreleri ışınlama dozunun

arttırılmasına bağlı azalmıştır ($P < 0.05$). Smita vd. (2023) 15 kGy'ye kadar artan ışınlama dozuyla pigmentli pirinç unularının a^* değerindeki azalmaya ilişkin yaptıkları çalışmasında benzer bulgular bildirmişlerdir. Çalışmamız, ışınlanmanın renk parametreleri üzerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde ($P < 0.05$) etkili olduğunu tespit eden diğer çalışmalar ile uyum içerisindedir. Smita vd. (2023)'nin 15 kGy'ye kadar artan ışınlama dozuyla pigmentli pirinç unularının a^* değerindeki azalmayı rapor ettikleri bulguları çalışmamız ile paralellik göstermektedir. Al-Bachir (2015), 1, 2 ve 3 kGy dozlarında gama ışınlanmanın fıstığın fizikokimyasal özelliklerindeki değişimi incelediği çalışmasında, fıstık yağının renk değerlerinin gama ışınlamasından önemli ölçüde etkilendiğini ve L^* , a^* ve b^* değerlerinin 1 ve 2 kGy gama ışınlama dozlarında arttığını bildirmiştir. Öte yandan Sirisoontarak ve Noomhorm (2007) depolama sırasında ışınlanmış pirincin fizikokimyasal ve duyuşal özelliklerindeki değişimleri araştırdıkları çalışmalarında, ışınlanmış pirincin b^* değerinin ışınlanmamış pirince göre daha yüksek olduğunu bildirmişler, ancak ışınlanmış pirincin b^* değerinde bir yıllık depolama süresince önemsiz değişiklikler tespit etmişlerdir. Mexis ve Kontominas (2009), kaju fıstığının 3 kGy'in üzerindeki ışınlama dozlarında ışınlanmasıyla renk parametrelerinden L^* ve b^* 'nin değişmeden kaldığını, a^* renk parametresinin ise arttığını ($P < 0.05$) bildirmişlerdir. Mexis ve Kontominas (2009), renk parametresi b^* 'nin 5 kGy ışınlama dozunun üzerindeki uygulamalarda arttığını ($P < 0.05$), renk parametreleri L^* ve a^* 'nin ise ışınlamadan etkilenmediğini belirtmişlerdir. Elde edilen bu sonuçlar, gama ışınlama dozlarının gıdaları içerik ve yapılarına göre farklı şekilde etkileyebileceğini, dolayısıyla ışınlanmanın gıdalar üzerindeki etkisinin ayrı ayrı araştırılması ve her bir ilgili gıda için ayrı ayrı ışınlama işleminin yapılması gerektiğini göstermektedir.

Gama ışınlama işleminin mısır ununun yağ asidi kompozisyonuna etkisi

Çizelge 3'te ışınlanmış ve ışınlanmamış mısır unu numunelerinin yağ asidi kompozisyonu verilmiştir. Görüldüğü gibi mısır unu yağında tespit edilen başlıca yağ asitleri %42.98 linoleik asit (18:2), %29.08 oleik asit (18:1), %11.90 stearik

D. Apaydın

asit (18:0) ve %11.74 palmitik asit (16:0) olmuştur. Işınlanmamış (kontrol) mısır unu örneğinden elde edilen yağdaki çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA), tekli doymamış yağ asitleri (MUFA) ve doymuş yağ asitleri (SFA) sırasıyla yaklaşık

%44.49, %29.37 ve %26.13 olarak tespit edilmiştir. Bu yağ asidi profili önceki çalışmalarla uyum içerisindedir. Yüksek doymamış yağ asidi içeriği (%74), mısır unu yağının yüksek besin değerini göstermektedir.

Çizelge 2. Işınlanmış ve ışınlanmamış mısır ununun renk değerleri
Table 2. Color values of irradiated and non-irradiated maize flour

Örnek (Mısır Unu) Sample Maize flour	Işınlama Dozu (kGy) Irradiation Dose (kGy)	L* değeri L* value	a* değeri a* value	b* değeri b* value
	Kontrol- Control	88.89±0.27b	3.90±0.19a	29.52±0.70a
	2.5	89.20±0.08a	3.36±0.03b	26.62±0.32b
	5.0	89.37±0.07a	3.13±0.01c	25.66±0.01c
	7.5	89.36±0.01a	2.96±0.01d	24.34±0d
	10.0	89.41±0.02a	2.86±0.03d	23.87±0.09d
Işınlama Etkisi		*	*	*

Aynı sütunda farklı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel açıdan farklıdır ($P < 0.05$)
Means with different letters in the same column are statistically different ($P < 0.05$)

Gama ışınlamasının mısır unu örneklerinin yağ asidi bileşimi üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde, genel olarak mısır unu yağının yağ asidi bileşiminin gama ışınlamasından önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir. Doymuş yağ asidi stearik asit (18:0), 2.5 kGy ışınlama

dozundan sonra kontrole göre önemli ölçüde ($P < 0.05$) artmıştır. Liu vd. (2018) de benzer sonuçlar bildirmişler ve ışınlanmış fıstık çekirdeklerindeki palmitik asit C16:0 ve stearik asit C18:0 doymuş yağ asidi içeriklerinin ışınlama dozu arttıkça arttığını belirtmişlerdir.

Çizelge 3. Işınlanmış ve ışınlanmamış mısır ununun yağ asidi bileşimi
Table 3. Fatty acid composition of irradiated and non-irradiated maize flour

Yağ asitleri (% ağırlık) Fatty acids (wt%)	Kontrol Control	Işınlama Dozu (kGy) Irradiation Dose (kGy)				Işınlama Etkisi Irradiation Effect
		2.5	5.0	7.5	10.0	
C16:0	11.74±0.01a	11.72±0b	11.68±0.01c	11.63±0.01e	11.65±0.01d	*
C18:0	11.9±0.01e	12.63±0.01d	13.02±0.01c	13.44±0.01a	13.27±0b	*
C18:1	29.08±0.01a	28.73±0.01b	28.62±0.01c	28.55±0.01d	28.43±0.01e	*
C18:2	42.98±0.01a	42.86±0.01b	42.37±0.01c	42.19±0.01d	41.98±0.01e	*
C18:3	1.11±0.01a	1.01±0.01c	0.98±0d	0.97±0.01e	1.08±0.01b	*
SFA	26.13±0.01e	26.75±0.01d	27.37±0.01c	27.64±0.01b	27.88±0.01a	*
MUFA	29.37±0.01a	28.97±0.01b	28.88±0.01c	28.81±0.01d	28.65±0.01e	*
UFA	44.49±0.01a	44.29±0.01b	43.76±0.01c	43.55±0.01d	43.47±0.01e	*

Aynı satırdaki farklı harflerle gösterilen ortalamalar istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları göstermektedir ($P < 0.05$)
Means with different letters in the same row indicate statistically significant differences ($P < 0.05$)

SFA: Saturated fatty acids, MUFA: Monounsaturated fatty acids UFA: Unsaturated fatty acids

Doymamış yağ asitlerinden oleik asit (18:1) ve linoleik asit (18:2) düzeylerinin mısır unu örneklerinde gama ışınlama ile önemli derecede azaldığı tespit edilmiştir. Mısır unu örneğinde 10 kGy dozundaki gama ışınlama sonrası linoleik asit (18:2) içeriği kontrol örneklerine göre %42.98'den %41.98'e düşmüştür. Mısır ununda linoleik asit (18:1) içeriği kontrol grubunda %29.08 iken ışınlama dozunun artmasıyla önemli ölçüde azalmış olup 10 kGy ışınlama sonrasında %28.43'e düşmüştür. Bu bulgular yağ asitlerinin ışınlamaya karşı oldukça hassas olduğunu ve gama ışınlamanın yağ asidi bileşimini değiştirebileceğini göstermektedir. Sonuçlarımızla uyumlu olarak, ışınlama dozu arttığında doymuş yağ asidi içeriğinin arttığı, doymamış yağ asidinin ise azaldığı rapor edilmiştir (Li vd., 2019). Benzer şekilde, Liu vd. (2018) yağ asidi bileşiminin ışınlama dozunun artırılmasıyla değiştiğini belirtmişlerdir. Benzer sonuçlar, soya fasulyesi, fıstık ve susam tohumu yağlarının yağ asidi profilleri üzerinde gama ışınlamanın etkisini araştıran Afify vd. (2013) tarafından bulunmuştur. Doymamış yağ asitlerinin (C18:1 ve C18:2) miktarının tüm dozlarda azaldığını bildirmişlerdir. Işınlama işlemi, doymamış yağ asitlerinin çift bağlarını yok eden serbest radikallerin oluşmasına yol açabilmektedir (Apaydın, 2024). Ayrıca lipit moleküllerinin gama ışınlarıyla etkileşiminin bir sonucu olarak meydana gelen lipit oksidasyonu; oksidasyon, dekarboksilasyon, dehidratasyon ve polimerizasyon reaksiyonlarını tetikleyebilmektedir. Işınlama ile oluşan serbest radikallerle yağ asitlerinin doymamış bölgelerinin oksidasyonunun bir sonucu olarak doymamış yağ asitlerinde azalma görülebilmektedir (Slavovakazakova vd., 2025; Le vd., 2025; Xiang vd., 2025).

Öte yandan, bazı araştırma sonuçları çalışmamız ile uyumlu olmayan sonuçlar bildirmişlerdir. Di Stefano vd. (2014), 0,5-10 kGy radyasyon dozunun %95 güven düzeyinde bademlerin yağ asidi bileşiminde önemli bir değişikliğe neden olmadığını belirtmişlerdir. Barreira vd. (2012), 3 kGy gama ışınlamanın kestanelerin tekli doymamış (MUFA) ve çoklu doymamış (PUFA) yağ asitleri üzerinde herhangi bir değişikliğe neden olmadığını bildirmişlerdir. Gama ışınlarının farklı

ürünlerin yağ asidi kompozisyonu üzerindeki farklı etkileri, ışınlama sürecinin her gıda ürünü için ayrı ayrı çalışması gerektiğini göstermektedir.

SONUÇ

Bu çalışma, gama ışınlama işleminin mısır ununun bazı kalite özelliklerinde değişikliklere yol açtığını göstermiştir. Gama ışınlama mısır ununun çalışmada incelenen besin içeriklerinden kuru madde, yağ ve protein bileşiminde istatistiksel açıdan önemli değişikliklere yol açmazken, kül değeri ve renk parametrelerini istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilemiştir. Gama ışınlama ile L* değeri artarken, a* ve b* renk parametreleri ışınlama dozunun artırılmasına bağlı azalmıştır. Gama ışınlaması mısır ununun yağ asidi kompozisyonunun değişmesine yol açmıştır. Gama ışınları, oleik asit (18:1) ve linoleik asit (18:2) seviyelerinde azalmaya ve stearik asit (18:0) seviyesinde artışa sebep olmuştur. Işınlama dozunun artmasıyla paralel olarak, toplam tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ asitleri azalmıştır. Gama ışınlarının farklı ürünlerin kimyasal bileşimi ve yağ asidi kompozisyonu üzerindeki farklı etkileri, ışınlama sürecinin her gıda ürünü için ayrı ayrı çalışması gerektiğini göstermektedir.

Sonuç olarak gama ışınlaması mısır ununda bazı fizikokimyasal değişikliklere yol açmaktadır. Öte yandan insan beslenmesinde hayati bir yer tutan, Türkiye'de ve dünyada yaygın olarak yetiştirilen mısır, mikotoksijenik küfler tarafından kontamine olabilmektedir. Bu nedenle gıda güvenliğini sağlamak, mikotoksin ve mikotoksijenik küf oluşumunu önlemesi, kontrol altına alınması için ve dekontaminasyon stratejileri kapsamında mısır ununun kimyasal bileşime zarar vermeden Türk Gıda Kodeksi Gıda Işınlama Yönetmeliği gereğince mısır unlarına 5 kGy'a kadar gama ışınlaması yapılması önerilebilir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarların makale ile ilgili herhangi bir kişi veya kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR

Afify, A., Rashed, M., Ebtesam, A. M., El-Beltagi, H. (2013). Effect of gamma radiation on the lipid

- profiles of soybean, peanut and sesame seed oils. *Grasas y Aceites*, 64(4), 356–368. <https://doi.org/10.3989/gya.119712>
- Al-Bachir, M. (2015). Studies on the physicochemical characteristics of oil extracted from gamma irradiated pistachio (*Pistacia vera* L.). *Food Chemistry*, 167, 175–179. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.020>
- Alberts, J., Lilly, M., Rheeder, J., Burger, H., Shephard, G., Gelderblom, W. (2017). Technological and community-based methods to reduce mycotoxin exposure. *Food Control*, 73, 101–109, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713516302638>
- Algül, I., Kara, D. (2014). Determination and chemometric evaluation of total aflatoxin, aflatoxin B1, ochratoxin A and heavy metals content in corn flours from Turkey. *Food Chemistry*, 157, 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.004>
- Anonim, (2025). Türk Gıda Kodeksi. Gıda Işınlama Yönetmeliği (2019/ 30907) <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/10/20191003-1-1.pdf> Erişim tarihi: 26.02.2025
- AOAC, Official Methods of Analysis, 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Maryland, USA, 2000.
- Apaydın, D., Demirci, A.S., Gecgel, U. (2017). Effect of Gamma Irradiation on Biochemical Properties of Grape Seeds. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94(1), 57–67. <https://doi.org/10.1007/s11746-016-2917-3>
- Apaydın, D. (2024). Effect of gamma irradiation on the nutritional composition, phenolic compounds and fatty acids profiles in raw cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 5305(18), 5297–5305.
- Aquino, S., Ferreira, F., Helena, D., Ribeiro, B., Corrêa, B., Greiner, R., Lucia, A., Haasis, C. (2005). Evaluation Of Viability Of *Aspergillus flavus* and Aflatoxins Degradation in Irradiated Samples of Maize. *Medical Microbiology*, 352–356.
- Aziz, N.H., Moussa, L.A.A., Far, F.M.E. (2004). Reduction Of Fungi And Mycotoxins Formation In Seeds By Gamma-Radiation. *Journal of Food Safety*, 24(202), 109–127.
- Barreira, J.C.M., Antonio, A.L., Günaydi, T., Alkan, H., Bento, A., Luisa Botelho, M., Ferreira, I. C.F.R. (2012). Chemometric characterization of gamma irradiated chestnuts from Turkey. *Radiation Physics and Chemistry*, 81(9), 1520–1524. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012.01.005>
- Calado, T., Fernández-Cruz, M. L., Cabo Verde, S., Venâncio, A., Abrunhosa, L. (2018). Gamma irradiation effects on ochratoxin A: Degradation, cytotoxicity and application in food. *Food Chemistry*, 240(April 2017), 463–471. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.136>
- Darfour, B., Wilson, D. D., Ofori, D. O., Ocloo, F. C. K. (2012). Physical, proximate, functional and pasting properties of flour produced from gamma irradiated cowpea (*Vigna unguiculata*, L. Walp). *Radiation Physics and Chemistry*, 81(4), 450–457. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2011.12.015>
- Di Stefano, V., Pitonzo, R., Bartolotta, A., D'Oca, M. C., Fuochi, P. (2014). Effects of γ -irradiation on the α -tocopherol and fatty acids content of raw unpeeled almond kernels (*Prunus dulcis*). *LWT-Food Science And Technology*, 59(1), 572–576. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.055>
- FAO (2019). Organisation for Economic Co-operation and Development/Food and Agriculture Organization of the United Nations, OECD-FAO agricultural outlook 2019-2028. Chapter 3, Cereals OECD Publishing/Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Paris. 2019, <http://www.fao.org/3/ca4076en/ca4076en.pdf>.
- Gecgel, U. (2013). Changes in some physicochemical properties and fatty acid composition of irradiated meatballs during storage. *Journal Of Food Science And Technology-Mysore*, 50(3), 505–513. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0375-3>

- Giray, B., Atasayar, S., Sahin, G. (2009). Determination of ochratoxin A and total aflatoxin levels in corn samples from Turkey by enzyme-linked immunosorbent assay. *Mycotoxin Research*, 25(2), 113–116. <https://doi.org/10.1007/s12550-009-0016-0>
- Gutiérrez, L.F. Belkacemi, K. (2008). Palmitoleic Acid Enrichment of Seabuckthorn (*Hippophaë rhamnoides* L.) Pulp Oil by Crystallization Process. *Separation Science and Technology*, 43 (8), 2003–2022. <https://doi.org/10.1080/01496390802064091>.
- James, A., Zikankuba, V.L. (2018). Mycotoxins contamination in maize alarms food safety in sub-Saharan Africa. *Food Control*, 90, 372–381. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.03.018>
- Jeong, S.G., Yang, J.E., Park, J.H., Ko, S.H., Choi, I.S., Kim, H.M., Chun, H.H., Kwon, M.J., Park, H.W. (2020). Gamma irradiation improves the microbiological safety and shelf-life of kimchi seasoning mixture. *LWT-Food Science And Technology*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110144>
- Khalil, O.A.A., Hammad, A.A., Sebaei, A.S. (2021). *Aspergillus flavus* and *Aspergillus ochraceus* inhibition and reduction of aflatoxins and ochratoxin A in maize by irradiation. *Toxicon*, 198(January), 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2021.04.029>
- Kos, J., Janić Hajnal, E., Malachová, A., Steiner, D., Stranska, M., Krska, R., Poschmaier, B., Sulyok, M. (2020). Mycotoxins in maize harvested in Republic of Serbia in the period 2012–2015. Part 1: Regulated mycotoxins and its derivatives. *Food Chemistry*, 312(May 2019), 126034. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126034>
- Kwon, J.H., Lee, J., Wajea, C., Ahn, J.J., Kim, G.R., Chung, H.W., et al. (2009). The quality of irradiated red ginseng powder following transport from Korea to the United States. *Radiation Physics and Chemistry*, 78, 643–646.
- Le, W., Zhang, Z., Li, X., Peng-fei, X., Li, C. (2025). An investigation of the physicochemical properties and bioactive components of oil extracted from gamma-irradiated tiger nuts (*Cyperus esculentus* L.). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 19, 1313–1324.
- Lee, N.Y., Kim, J.K. (2018). Effects of gamma radiation on the physicochemical properties of brown rice and changes in the quality of porridge. *Radiation Physics and Chemistry*, 152, 89–92. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2018.07.021>
- Leite, M., Freitas, A., Silva, A. S., Barbosa, J., Ramos, F. (2020). Maize (*Zea mays* L.) and mycotoxins: A review on optimization and validation of analytical methods by liquid chromatography coupled to mass spectrometry. *Trends in Food Science and Technology*, 99(March), 542–565. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.023>
- Li, G., Zheng, X., Huang, D., Chen, X., Meng, F., Lin, M. (2019). Effect of ⁶⁰Co γ -Irradiation on Physicochemical Properties of Adlay During Storage Period. *International Journal of Food Engineering*, 15(8), 20180329. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2018-0329>.
- Liu, K., Liu, Y., Chen, F. (2018). Effect of gamma irradiation on the physicochemical properties and nutrient contents of peanut. *LWT-Food Science And Technology*, 96, 535–542. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.009>
- Mexis, S. F., Kontominas, M. G. (2009). Effect of gamma-irradiation on the physicochemical and sensory properties of cashew nuts (*Anacardium occidentale* L.). *LWT-Food Science And Technology*, 42(9), 1501–1507. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.03.023>
- Mir, S.A., Dar, B.N., Shah, M.A., Sofi, S.A., Hamdani, A.M., Oliveira, C.A.F., Hashemi Moosavi, M., Mousavi Khaneghah, A., Sant’Ana, A. S. (2021). Application of new technologies in decontamination of mycotoxins in cereal grains: Challenges, and perspectives. *Food and Chemical Toxicology*, 148(January), 111976. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.111976>
- Mohamed, N.F. El-Dine, R.S.S. Kotb, M.A.M. Saber, A. (2015). Assessing the possible effect of gamma irradiation on the reduction of aflatoxin B1, and on the moisture content in some cereal

- grains. *American Journal of Biomedical Science and Research*, 7, 33–39,
- Oruç, H.H., Cengiz, M.İ., Kalkanlı, O. (2006). Comparison of aflatoxin and fumonisin levels in maize grown in Turkey and imported from the USA. *Animal Feed Science and Technology*, 128, 337–341. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:85720537>
- Pitt, J.I. (2006). Fungal ecology and the occurrence of mycotoxins. Mycotoxins and phycotoxins. Advances in determination, toxicology and exposure management, *Brill*, 33–41.
- Probst, C., Bandyopadhyay R., Cotty, P. (2014). Diversity of aflatoxin-producing fungi and their impact on food safety in sub-Saharan Africa. *International Journal of Food Microbiology*, 174, 113–122. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2013.12.010>.
- Reddy, K.R.N., Abbas, H.K., Abel, C.A., Shier, W.T., Oliveira, C.A.F., Raghavender, C.R. (2009). Mycotoxin contamination of commercially important agricultural commodities. *Toxin Reviews*, 28, 154–168.
- Sanni, S.A., Adebowale, A.A., Olayiwola, I.O. (2008). Chemical composition and pasting properties of iron-fortified maize flour. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 6(3&4), 172–175.
- Şengül, Ü., Yalçın, E., Şengül, B., Çavuşoğlu, K. (2016). Investigation of aflatoxin contamination in maize flour consumed in Giresun, Turkey. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 8(3), 385–391. <https://doi.org/10.3920/QAS2015.0672>
- Sirisontaralak, P., Noomhorm, A. (2007). Changes in physicochemical and sensory-properties of irradiated rice during storage. *Journal of Stored Products Research*, 43(3), 282–289. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jspr.2006.06.008>
- Slavova-kazakova, A., Taneva, S., Kamenova-Nacheva, M., Momchilova, S. (2025). Effects Of Gamma -Irradiation On Fatty Acids And Oxidative Stability Of Oil From Treated Walnuts . Impact Of Antioxidant Compositions On Oil Autoxidation. *Bioorganic Chemistry*, 78(1), 27–35.
- Smita, M., Meera, K., Sundaramoorthy, H., Jha, D., Mohan, B. C., Pavithraa, G., Reddy, C. K. (2023). Influence of γ -irradiation on physicochemical, functional, proximate, and antioxidant characteristics of pigmented rice flours. *Journal of Food Science and Technology*, 60(5), 1621–1632. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05709-z>
- Snedecor, G., Cochran, W. (1988). Statistical methods. Ames, Iowa: The Iowa State University Press, pp. 221–221.
- Spadaro, D., Garibaldi, A. (2017). Containment of mycotoxins in the food chain by using decontamination and detoxification techniques. In M. Gullino, J. Stack, J. Fletcher, & J. Mumford (Eds.), Practical tools for plant and food biosecurity (pp. 163e177). Cham: Springer International Publishing, https://doi.org/10.1007/978-3-319-46897-6_8.
- Temba, M.C. Njobeh B.P., Kayitesi, E. (2017). Storage stability of maize- groundnut composite flours and an assessment of aflatoxin B1 and ochra- toxin A contamination in flours and porridges. *Food Control*, 71, 178–186.
- Tralamazza, S.M., Bemvenuti, R.H., Zorzete, P. de Souza Garcia, F. Corrêa, B. (2016). Fungal diversity and natural occurrence of deoxynivalenol and zearalenone in freshly harvested wheat grains from Brazil. *Food Chemistry*, 196: 445–450. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.063>
- TÜİK (2024). <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2023-49535>. Erişim: 12.07.2024
- Xiang, P., Zhang, Z., Le, W., Wei, Y., Li, B. (2025). Effect of thermal pretreatments on the quality attributes and irradiation markers of sesame oil extracted from sesame seeds without and with gamma irradiation. *Food Chemistry*, 463(June 2024). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141401>