

Kuru incirde oluşan mikotoksinler ve önleme yöntemleri

Hafizenur ŞENGÜL-BİNAT 

İncir Araştırma Enstitüsü, 09600, İncirliova, Aydın, Türkiye

*Yazışma Yazarı: Hafizenur ŞENGÜL-BİNAT

E-mail: hafizenur.sengul@tarimorman.gov.tr

Makale gönderimi: 08.09.2025

Online kabul: 17.11.2025

Online basım: 30.03.2026

Özet: Kuru incir (*Ficus carica* L.), Türkiye'nin tarımsal üretim ve ihracatında önemli bir yere sahip olup özellikle Ege Bölgesi'nde yoğun olarak yetiştirilmektedir. Yüksek besin değeri ve zengin diyet lifi içeriği nedeniyle insan sağlığı açısından yararlı bir gıda olarak değerlendirilen kuru incir, uygun olmayan hasat, kurutma, depolama ve taşıma koşullarına maruz kaldığında mikotoksijenik küflerle kontaminasyon riski taşımaktadır. Başta *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* ve *Fusarium* türleri olmak üzere çeşitli küfler, kuru incirde insan sağlığı için tehlikeli mikotoksinlerin oluşumuna neden olabilmektedir. Kuru incirde rapor edilen mikotoksinler arasında aflatoksinler (AFB₁, AFB₂, AFG₁, AFG₂), okratoksin A (OTA), fumonisinler (FB₁, FB₂), enniatinler, beauverisin (BEA), *Alternaria* toksinleri, deoksinivalenol (DON), zearalenon (ZEA) ve T-2/HT-2 toksinleri yer almakta olup, bunlar arasında özellikle AF ve OTA gelişimi en yaygın olarak gözlenmektedir. Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC), AFB₁'i Grup 1 karsinojen olarak sınıflandırmakta ve karaciğer kanseri ile güçlü bir şekilde ilişkilendirmektedir. Mikotoksin oluşumu; yüksek sıcaklık ve nem, meyve zedelenmeleri, yetersiz kurutma ve uygunsuz depolama koşulları gibi faktörlerden önemli ölçüde etkilenmekte, özellikle yetersiz kurutulmuş veya uygun olmayan şartlarda depolanan kuru incirler AF ve OTA kontaminasyonuna karşı daha duyarlı hale gelmektedir. Bu riskleri en aza indirmek amacıyla iyi tarım uygulamaları, kontrollü kurutma süreçleri, uygun depolama koşulları ve fiziksel, kimyasal ile biyolojik kontrol stratejileri entegre edilerek kullanılmaktadır. Türkiye ve Avrupa Birliği gıda mevzuatına göre, kuru incirde AFB₁ için maksimum yasal limit 6 µg/kg, toplam aflatoksinler için ise 10 µg/kg olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda, kuru incirin güvenli bir gıda ürünü olarak işlenebilmesi için selektif ayıklama sistemleri, optik tarama teknolojileri ve hızlı analiz yöntemlerinin kullanımı büyük önem taşımakta; ayrıca mikotoksin riskinin etkin şekilde yönetilebilmesi için üretim zincirinin tüm aşamalarında bütüncül bir yaklaşım benimsenerek kalite kontrol süreçlerinin titizlikle uygulanması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kuru incir, mikotoksinler, incir kurutma, aflatoksin, okratoksin.

Formation and prevention of mycotoxins in dried figs

Abstract: Dried fig (*Ficus carica* L.) is one of Turkey's major agricultural products with significant economic importance, particularly cultivated intensively in the Aegean region. Owing to its high nutritional value and rich dietary fiber content, dried fig is considered a beneficial food for human health; however, it is susceptible to contamination by mycotoxigenic molds under inappropriate harvesting, drying, storage, and transportation conditions. Various fungal species, predominantly *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*, and *Fusarium*, can produce mycotoxins in dried figs, posing potential health risks to consumers. Reported mycotoxins in dried figs include aflatoxins (AFB₁, AFB₂, AFG₁, AFG₂), ochratoxin A (OTA), fumonisins (FB₁, FB₂), enniatins, beauvericin (BEA), *Alternaria* toxins, deoxynivalenol (DON), zearalenone (ZEA), and T-2/HT-2 toxins, among which AF and OTA are the most commonly detected. The International Agency for Research on Cancer (IARC) has classified AFB₁ as a Group 1 carcinogen, strongly associating it with the development of liver cancer. Mycotoxin formation is strongly influenced by factors such as high temperature and humidity, fruit damage, insufficient drying, and improper storage conditions. In particular, dried figs that are inadequately dried or stored under unsuitable conditions are highly susceptible to AF and OTA contamination. To mitigate these risks, integrated approaches involving good agricultural practices, controlled drying techniques, proper storage conditions, and physical, chemical, and biological control strategies are widely employed. According to Turkish and European Union food regulations, the maximum permissible limit for AFB₁ in dried figs is 6 µg/kg, while the total aflatoxin limit is 10 µg/kg. Therefore, ensuring the safety of dried figs as a food product requires implementing selective sorting systems, optical scanning technologies, and rapid analytical methods, while adopting a comprehensive approach across all stages of the production chain to minimize mycotoxin risks and ensure strict adherence to quality control measures.

Keywords: Dried figs, mycotoxins, fig drying, aflatoxin, ochratoxin.

Derleme

Referans: Şengül-Binat, H. (2026). Kuru incirde oluşan mikotoksinler ve önleme yöntemleri, *ITU Journal of Food Science and Technology*, 4(1), 1-5.

1. Giriş

İncir (*Ficus carica* L.), subtropikal ve ılıman iklim koşullarına uyum sağlayabilmesi nedeniyle Akdeniz kökenli önemli bir meyve türü olarak kabul edilmektedir (Sandhu ve diğ., 2023). *Moraceae* (dutgiller) familyasına ait olan incir, yaklaşık 40 cins içinde yer alan 1400'den fazla türden biridir ve kültüre alınan en eski meyve türleri arasında yer almaktadır (Desa ve diğ., 2019). Türkiye'de 354 farklı incir çeşidinin bulunduğu bilinmekte olup, bu genetik kaynakların 284'ü dışı, 70'i ise erkek bireylerden oluşmaktadır. Türkiye'deki incir genetik çeşitliliği, Aydın ilinde bulunan Erbeyli İncir Araştırma Enstitüsü'nün koleksiyon bahçelerinde muhafaza edilmektedir (Şengül-Binat, 2025). İncir meyvesi; karbonhidratlar, vitaminler, organik asitler, diyet lifi ve mineraller açısından zengin bir yapıya sahiptir ve hem mikro hem de makro besin öğeleri bakımından önemli bir gıda kaynağıdır. Kimyasal bileşim analizlerine göre, kuru madde bazında incir meyvesinin yaklaşık %6,31 protein ve %17,81 diyet lifi içerdiği, yağ içeriğinin ise %1,02 ile %2,71 arasında değiştiği bildirilmiştir (Sandhu ve diğ., 2023).

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) verilerine göre, dünya genelinde incir üretiminde en yüksek paya sahip ülke Türkiye'dir. 2023 yılı itibarıyla Türkiye'nin toplam incir üretimi yaklaşık 356.000 ton düzeyinde gerçekleşmiş olup, bu miktar küresel üretimin yaklaşık %27'sini oluşturmaktadır. Türkiye'yi sırasıyla Mısır (193.058 ton), Fas (119.166 ton), Cezayir (116.200 ton) ve İran (73.000 ton) izlemektedir (FAO, 2025). Elde edilen toplam incir üretiminin büyük bir kısmı (%70'e varan oranlarda) kurutma işlemiyle değerlendirilmekte olup, Türkiye bu alanda da lider konumdadır. Özellikle Aydın ve İzmir illerine yoğunlaşan kuru incir üretimi hem hacim hem de kalite bakımından Türkiye'yi küresel pazarda öncü bir konuma taşımaktadır. Türkiye'nin dünya kuru incir ihracatındaki payı %50'nin üzerindedir. Söz konusu veriler, Türkiye'nin kuru incir üretiminin yanı sıra uluslararası ticaretteki payı ile de bu alanda merkezi bir rol üstlendiğini göstermektedir (TUİK, 2025).

2. Kuru İncir Üretimi ve Mikotoksin Limitleri

Kuru incir (*Ficus carica* L.), özellikle Türkiye'nin önde geldiği ülkelerde geleneksel yöntemlerle üretilen bir üründür. Hasat ve kurutma süreçlerinin uzunluğu, meyvenin ağaçta olgunlaşması ve yere düşmesiyle başlayan doğal kuruma süreci, küf kontaminasyonuna oldukça açıktır. Kurutma işlemi genellikle güneş altında 3–5 gün sürer ve bu süreç nem oranı %26'nın altına düşene kadar devam eder. Ancak bu üretim süreci, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* gibi küflerin gelişimini kolaylaştırmakta ve toksijenik türlerin mikotoksin (özellikle aflatoksinler [AFs] ve okratoksin A [OTA]) üretmesine yol açmaktadır (Nazareth ve diğ., 2024).

Yapılan çalışmalar, Türkiye kaynaklı kuru incir örneklerinde AF ve OTA kontaminasyonunun yüksek oranlarda tespit edildiğini, bu durumun Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) raporları ve RASFF (Rapid Alert System for Food and Feed) olarak bilinen hızlı alarm sistemi bildirimleri ile de doğrulandığını ortaya koymaktadır. Avrupa Komisyonu, kuru meyveler için AFB₁ için maksimum 6 µg/kg ve toplam aflatoksinler için 10 µg/kg sınır belirlemiştir; OTA için ise 1 Ocak 2023'den itibaren 8 µg/kg olarak belirlenmiştir. *Fusarium* toksinleri için henüz özel bir sınır tanımlanmamış olmasına karşın; fumonisin B₁, enniatinler, beauverisin gibi toksinlerin kuru incirdeki varlığı bazı çalışmalara ortaya konmuştur (Azaiez ve diğ., 2014).

3. Son Yıllardaki RASFF Verileri

RASFF, Avrupa Komisyonu tarafından geliştirilmiş, Avrupa Birliği (AB) üye ülkeleri için gıda güvenliği ile ilgili bilgileri toplamak amacıyla merkezi bir veri tabanı olarak hizmet veren izleme ve bildirim aracıdır. Sistemde yer alan bildirimler; alarm, bilgi, sınır iadesi ve haber bildirimleri olarak dört grup altında incelenmektedir. Alarm bildirimleri, ciddi sağlık riski taşıyan bir

gıda veya yem ürünü piyasaya sunulduğunda, hızlı önlem alınması gerektiği durumlarda gerçekleştirilir.

Akkas ve Ustundağ (2024) yaptıkları çalışmada 2002–2019 yılları arasında Türkiye kökenli kuru incirlerde mikotoksin risklerini değerlendirmek amacıyla RASFF verilerini analiz edilmiştir. Bildirim sayılarının en yüksek olduğu 2007 ve 2012 yılları, aynı zamanda ciddi kuraklıkların yaşandığı dönemlerle örtüşmekte olup, çevresel koşullar ile aflatoksin kontaminasyonu arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Toplam aflatoksin düzeyleri 13–44 µg/kg arasında değişmiş, ancak yıllar arası yüksek varyasyonlar nedeniyle ortalama değerler trend analizinde sınırlı kalmıştır. Bulgular, tarımsal uygulamalar, işleme ve depolama koşulları ile iklim faktörlerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymakta; bu çok boyutlu etkileşimlerin gıda güvenliği risk yönetiminde bütüncül stratejilerle ele alınması gerektiğini ifade etmişlerdir. Kuraklık koşullarının, mikotoksin kontaminasyonunu artırarak RASFF bildirim sayısının yükselmesinde önemli bir etkisi olduğu görülmektedir. Özellikle kuraklık, rüzgar yönündeki değişimler ve yağış miktarındaki dalgalanmalar, incir meyvesinde çatlak, yüzey yaraları ve ostiyol ucundaki yarılmalar gibi fiziksel hasarlara yol açarak AF bulaşma riskini artırmaktadır.

Türkiye, kontaminasyonu önlemek amacıyla kurutma, sınıflandırma ve işleme aşamalarında çeşitli önlemler almış; UV ışıkla tarama gibi teknolojiler devreye girmiştir. Buna rağmen RASFF verileri, özellikle 2007 ve 2012 gibi kurak yıllarda yüksek bildirim sayıları ile güvenlik risklerinin sürdüğünü göstermektedir. 1981–2017 yılları arasında yapılan toplam 10.912 mikotoksin bildiriminin, %80'i AFB₁ ile ilgilidir ve Türkiye, İran'dan sonra en çok bildirim alan ikinci ülke konumundadır (Akkas ve Ustundağ, 2024).

3.1. Kuru İncirde Bulunan Mikotoksinler ve İncir İşletmelerindeki Durumu

Mikotoksinler, küfler tarafından sentezlenen ve farklı kimyasal yapıya sahip ikincil toksik metabolitlerdir. Uygun çevre koşullarında sporlar, vejetatif forma dönerek yeni küf kolonileri oluşturabilir. Tarım ürünleri; böcek ve kuş zararı, dolu gibi şiddetli hava koşulları ve değişen iklim şartları nedeniyle hasat öncesinde küf ile kontamine olabilir. Ayrıca kullanılan hasat yöntemi küf kontaminasyonunun başlıca nedenlerinden biridir. Uygun olmayan depolama, nakliye ve pazarlama süreçleri de küf gelişimine ve mikotoksin oluşumuna yol açabilir (Frisvad ve diğ., 2019).

UV ışığı ile ayırma, aflatoksin maruziyetinin önlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Ancak gözlemlenen parlak yeşilimsi-sarı floresans (BGYF), aflatoksinlerden değil, kojik asit türevleri ile endojen peroksidaz arasındaki reaksiyondan da kaynaklanmaktadır. Ayrıca, incirin iç kısmında bulunan mikotoksinler bu yöntemle tespit edilememektedir. Bu nedenle, meyveler karanlık bir ortamda UV ışığı altında, kürdan gibi ince bir cisim kullanılarak dikkatlice incelenmelidir (Karlovsky ve diğ., 2016). Bunun yanı sıra, mikotoksinlerin tespiti için yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) gibi analitik yöntemler de kullanılabilir.

Kuru incirde bulunan mikotoksinler; Aflatoksinler (AFB₁, AFB₂, AFG₁, AFG₂), OTA, fumonisin B₁, enniatinler, BEA, *Alternaria* toksinleri olarak tanımlanmaktadır. Deoksinivalenol (DON), Zearalenon (ZEA), Fumonisin B₁ + B₂, HT-2 / T-2 toksinleri, BEA ve enniatinler *Fusarium* toksinleri olarak tanımlanmaktadır (Galván ve diğ., 2022).

Aspergillus flavus ve *Aspergillus niger*, kuru incirleri hasat öncesi ve sonrası kontamine ederek AFs ve OTA üretimine neden olabilen küf türleridir. Sentetik fungusitlerin sağlık ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle alternatif yöntemler araştırılmaktadır.

Kuru incirlerin endüstriyel işlenmesi sırasında, özellikle fümigasyon, yıkama ve depolama aşamalarında maruz kalınan sıcaklık ve su aktivitesi değişimleri, filamentöz mantarların gelişimi ve mikotoksin (özellikle AF ve OTA) oluşumu için uygun ortam sağlamaktadır. İspanya'nın Ekstremadura bölgesindeki üç farklı işletmede yapılan çalışmada, yıkama sonrası yetersiz kurutma nedeniyle nem oranının %26'nın üzerinde kaldığı ve bu durumun *Aspergillus* ve *Penicillium* türlerinin yaygınlaşmasına zemin hazırladığı saptanmıştır (Galván ve diğ., 2022b). Mikotoksin kontaminasyonu örnekleri yaklaşık %10'unda AF, %6'sında ise OTA olarak tespit edilmiştir ve bazı örneklerde AB limitlerinin üstünde olduğu görülmüştür. Bu bulgular ışığında, işlem sonrası uzun süreli kurutma ve soğutmalı, nem kontrollü depolama koşullarının uygulanması önerilmekte, ayrıca gerçek zamanlı PCR gibi moleküler yöntemlerin mikotoksin üreten küflerin erken tespiti ve kontrolünde etkin araçlar olduğu vurgulanmaktadır. İşleme parametrelerinin optimizasyonu ve ileri izleme tekniklerinin kullanılması kuru incirlerde mikotoksin riskinin azaltılması ve ürün güvenliğinin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir.

Başka bir çalışma da Di Sanzo ve diğ., (2018) İtalya'nın güneyinden (Calabria) temin edilen kuru incir ve kuru incir bazlı ürünlerde AFs, OTA, FB₁, fusarik asit (FA) ve BEA gibi mikotoksinlerin varlığı araştırılmış ve 55 örneğin 41'inde en az bir mikotoksin tespit edilmiştir. AFB₁ altı örnekte 0,19–8,41 µg/kg, toplam aflatoksinler 13 örnekte 0,5–17,12 µg/kg düzeyinde bulunmuştur. OTA 21 örnekte <LOQ–158,58 µg/kg, FB₁ sekiz örnekte 153,81–5.412,96 µg/kg, BEA 12 örnekte <LOQ–5.708,49 µg/kg ve FA 28 örnekte <LOQ–74.520,20 µg/kg arasında değişen seviyelerde saptanmıştır. Örneklerin %41,8'inde bir, %7,3'ünde iki, %5,5'inde üç, %10,9'unda dört ve %5,5'inde beş mikotoksin bir arada bulunmuştur. Özellikle FA ve BEA'nın kuru incirde ilk kez rapor edilen varlığı dikkat çekicidir. Bazı örneklerde AFB₁ ve OTA düzeylerinin AB yasal limitlerini aştığı gözlemlenmiş olup, FB₁, FA ve BEA'nın birlikte bulunması tüketici sağlığı açısından ek riskler oluşturmaktadır.

3. 2. Kuru İncirde Mikotoksin Oluşumunu Önleme Yöntemleri

İncirlerde mikotoksinlerin seviyesini azaltmaya yönelik araştırmalarda, farklı yaklaşım ve tekniklerin etkinliği incelenmektedir. Fiziksel yöntemler arasında, ürünlerin yüzeyindeki küf sporları veya mikotoksin bulaşmış kısımların ayıklanması ve temizlenmesi, yüksek sıcaklık uygulamaları (kaynatma, fırınlama, kurutma gibi), ışınlama teknikleri (gamma ışınları, UV ışınları) ve mikotoksinlerin yüzeyden uzaklaştırılması veya bağlanması amacıyla çeşitli adsorban materyallerin kullanımı yer almaktadır (Liu ve diğ., 2022). Kimyasal yöntemlerde ise, toksinlerin yapısını bozarak veya toksisite düzeyini düşürerek etkisiz hale getiren kimyasal bileşiklerin uygulanması, ayrıca güçlü oksidatif etkiye sahip ozonlama işlemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Biyolojik yöntemler ise daha çevre dostu ve sürdürülebilir yaklaşımlar sunmakta olup, bu kapsamda bazı bakteri türleri, maya suşları ve toksin üretmeyen *Aspergillus* türleri gibi mikroorganizmalar kullanılarak mikotoksinlerin biyolojik olarak parçalanması, dönüştürülmesi veya bağlanması sağlanmaktadır. Bu yöntemler tek başına veya kombine olarak uygulanarak incirlerde mikotoksin kontaminasyonunun azaltılması hedeflenmektedir.

File sistemi kullanımı, kuru incir üretiminde kuşlar ve *Lepidoptera* türü zararlılara bağlı meyve hasarını önemli ölçüde azaltarak, fizikokimyasal kalite parametrelerini iyileştirmiş ve mikotoksin oluşumunu büyük oranda engellemektedir. Mikrobiyal yükte anlamlı bir değişim gözlenmemesine rağmen, elde edilen ürünler daha yüksek meyve ağırlığı, yumuşak doku ve daha açık renk özellikleriyle öne çıkmaktadır. Başlangıçta ek yatırım gerektirse de, file sisteminin sağladığı kalite artışı ve pazarlanabilirlikteki iyileşme, bu yöntemin kuru incir üretiminde kârlı ve sürdürülebilir bir seçenek olduğunu göstermektedir (Galán ve diğ., 2024).

Hasarlı meyvelerin uzaklaştırılması, floresan tarama sistemleri ile bulaşmış ürünlerin ayıklanması ve kükürt dioksit (SO₂) ile muamele edilmesi, incirlerde mikotoksin seviyelerinin azaltılmasında kullanılmaktadır. Özay ve diğ.(1995), incirlerin potasyum metabisülfid veya potasyum sorbat çözeltilerine daldırılması ya da sıcak su ile muamele edilmesi ve ardından kurutma ve dehidrasyon uygulanmasının küf sayılarını ve aflatoksin miktarını azalttığını belirtmişlerdir. Embaby ve diğ. (2022), incir işleme sürecinde kullanılan askorbik asit, benzoik asit ve sitrik asidin *A. parasiticus*'a karşı yüksek antifungal aktivite gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Petric ve diğ. (2018) yaptığı çalışmada Hırvatistan çeşitleri olan Petrovača Bijela (beyaz) ve Šaraguja (koyu) incir çeşitlerinde farklı kurutma öncesi koruma yöntemlerinin mikotoksin seviyelerini azaltmadaki etkinliğini incelemiştir. İncirler, kurutmadan önce %0,5 sitrik asit, %0,5 askorbik asit, %0,3 L-sistein, %0,2 kestane ekstresi veya %0,15 Ekinezya ekstresi çözeltilerine daldırılmış, LC-MS/MS analizi ile 295 farklı mikrobiyal metabolit taranmış ve dokuz mikotoksin tespit edilmiştir. En etkili koruma %15 azalma sağlayan L-sistein ile sağlanırken, askorbik asit uygulamasının mikotoksin üretimini %158 oranında artırdığı belirlenmiştir. Ancak tüm ön işlemler, incirlerdeki önemli bir bulaşan olan AFB₁'i azaltmıştır.

Galván ve diğ., (2022a) yaptığı çalışmada, *Hanseniaspora uvarum* ve *Hanseniaspora opuntiae* maya türlerinin ürettiği uçucu organik bileşiğin — oktonoik asit, 2-fenilettil asetat ve furfural asetat — *A. flavus* M144 ve *A. niger* M185'in büyümesi, spor çimlenmesi, toksin üretimi ve gen ekspresyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma hem kuru incir bazlı agar ortamında hem de kuru incirlerde yapılmıştır. Furfural asetat (50 µL; 715 µL/L) ve 2-fenilettil asetat (100 µL; 1430 µL/L) en etkili bileşikler olarak belirlenmiş ve bu uçucu organik bileşiklerin, AF biyosentezinden sorumlu *afIR* ve OTA biyosentezinden sorumlu *pks* genlerinin ekspresyonunu erken dönemde baskılayarak etkili olduğu gösterilmiştir. Bulgular, 2-fenilettil asetat ve furfural asetatın hasat sonrası erken dönemde kullanılarak kuru incirlerde mikotoksin oluşumunu kontrol etmede etkili bir biyokontrol yöntemi olabileceğini göstermektedir.

Tejero ve diğ., (2021) yaptığı çalışmada; *A. flavus* ve *A. niger* türlerinin büyümesi, spor çimlenmesi, mikotoksin biyosentezine yönelik gen ekspresyonu ve toksin üretimi üzerinde üç farklı uçucu organik bileşiğin (2-feniletanol asetat, furfural asetat ve oktanoik asit) etkileri hem in vitro hem de kurutulmuş incir model sisteminde in vivo olarak değerlendirilmiştir. Bulgular, özellikle 2-feniletanol asetat ve furfural asetatın, her iki türün gelişimini ve mikotoksin üretimini baskılamada etkili olduğunu göstermiştir. En yüksek etki 8. günde gözlemlenmiş, bu da ilgili uçucu organik bileşiklerin sentezinin maya türleri *Hanseniaspora opuntiae* L479 ve *H. uvarum* L793 tarafından maksimum düzeye ulaştığı zamana denk gelmektedir (Tejero ve diğ., 2021). Uçucu organik bileşiklerin biyofumigant olarak kullanılmaları, gaz fazına hızlı geçişleri (Passone ve Etcheverry, 2014) ve ürünün organoleptik özelliklerinde değişime yol açmaması (Schotsman ve diğ., 2008) nedeniyle tercih edilmektedir. Söz konusu çalışmada da, furfural asetat ve 2-feniletanol asetatın, *A. flavus* ve *A. niger* enfeksiyonlarının önlenmesinde yüksek etkinlik gösterdiği ve hoş aromatik kokulara (meyvemsi ve çiçeksi) sahip oldukları; ayrıca FEMA ve FDA tarafından GRAS (Genel Olarak Güvenli Kabul Edilen) bileşikler arasında değerlendirildikleri belirtilmiştir. Bu nedenle, kurutulmuş incir üretimi ve ticareti sırasında bu bileşiklerin kullanımı güvenli görülmektedir.

Soğuk plazma, tarım ve gıda işleme alanlarında son yıllarda dikkat çeken, yenilikçi bir teknolojidir. Meyve, sebze, tohum gibi çeşitli gıda ürünlerinde, ortam veya orta sıcaklıklarda ve kısa işlem sürelerinde uygulanarak kimyasal ve ısıl dezenfeksiyon yöntemlerine potansiyel bir alternatif sunmaktadır (Fojlaley ve diğ., 2020). İrfan ve diğ. (2013), incirlerin depolanmasında soğuk plazma uygulamaları ile kalsiyum klorür gibi kimyasal yöntemlerin birlikte kullanılmasının depolama koşullarını iyileştirebileceğini ve aflatoksin miktarını azalttığını

belirtmişlerdir. Benzer şekilde, Hamanaka ve diğ. (2011), kızılötesi ısıtma ve ultraviyole ışınlama gibi fiziksel yöntemlerin incirlerin kalite özellikleri üzerine pozitif etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

4. Sonuç

Bu bilgiler doğrultusunda, kuru incirde mikotoksin oluşumunun önlenmesine yönelik uygulamaların ürün güvenliği ve kalite sürdürülebilirliği açısından kritik önem taşıdığı anlaşılmaktadır. Hasat sonrası hijyenik koşulların sağlanması, uygun kurutma tekniklerinin kullanılması ve nem düzeyinin %20'nin altına düşürülmesi, mikotoksijenik küf gelişiminin engellenmesinde temel adımlar olmakla birlikte, depolama süresince sıcaklık ve bağıl nemin kontrolü, ambalaj materyalinin nem ve oksijen geçirgenliğinin düşük olması, mikotoksin oluşum riskini önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca, selektif ayıklama sistemleri, optik tarama teknolojileri ve hızlı analiz yöntemlerinin entegrasyonu, kontaminasyonun erken tespit edilmesine olanak sağlamaktadır. Gıda güvenliği mevzuatına uyumun sağlanması ve üretici farkındalığının artırılması, hem iç piyasa hem de ihracat açısından sürdürülebilir bir kalite yönetimi için gereklidir. Tüm bu önlemler, tüketici sağlığının korunmasının yanı sıra kuru incirin uluslararası pazardaki rekabet gücünü arttıracaktır.

Teşekkür ve Bilgi

Bu çalışma, 4-6 Eylül 2025 tarihlerinde İstanbul Teknik Üniversitesi'nde gerçekleştirilen Türkiye 2. Gıda Mikrobiyolojisi Kongresi'nde bildiri olarak sunulmuştur.

Yazar Katkısı

H.Ş.B.: Veri düzenleme ve yönetimi, Araştırma, Görselleştirme, Yazım – gözden geçirme ve düzenleme

Veri Erişilebilirlik Beyanı

Bu çalışmada üretilen ve/veya analiz edilen veri setleri, makul talep üzerine sorumlu yazardan temin edilebilir.

Finansman Beyanı

Bu çalışma herhangi bir kamu, ticari veya kâr amacı gütmeyen kuruluş tarafından finanse edilmemiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Etik Beyanı

Bu çalışma insan katılımcıları veya hayvan deneylerini içermemektedir.

Kaynaklar

- Akkaş, C., & Üstündağ, Ö. (2024). Evaluation of rapid alert system for food and feed (RASFF) data for mycotoxin contaminated dried figs originating from Türkiye. *Food Control*, 162, 110442. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110442>.
- Azaiez, I., Giusti, F., Sagratini, G., Mañes, J., & Fernández-Franzón, M. (2014). Multi-mycotoxins analysis in dried fruit by LC/MS/MS and a modified QuEChERS procedure. *Food Analytical Methods*, 7(4), 935-945. <https://doi.org/10.1007/s12161-013-9785-3>
- Di Sanzo, R., Carabetta, S., Campone, L., Bonavita, S., Iaria, D., Fuda, S., ... & Russo, M. (2018). Assessment of mycotoxins co-occurrence in Italian dried figs and in dried figs-based products. *Journal of Food Safety*, 38(6), e12536. <https://doi.org/10.1111/jfs.12536>

- Desa, W. N. M., Mohammad, M., & Fudholi, A. (2019). Review of drying technology of fig. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 93-103. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.018>
- Embaby, E. M., Abeer A, F., & Marwa A, Y. (2022). Control of the toxigenic fungi affecting fig fruits quality. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(9), 339-347. <https://10.21608/ejchem.2022.111742.5090>
- FAO (2025). Food and Agriculture Organisation of the United Nations. Available online at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (Erişim Ağustos 20, 2025)
- Frisvad, J. C., Hubka, V., Ezekiel, C. N., Hong, S. B., Nováková, A., Chen, A. J., ... & Houbraken, J. (2019). Taxonomy of *Aspergillus* section *Flavi* and their production of aflatoxins, ochratoxins and other mycotoxins. *Studies in Mycology*, 93(1), 1-63. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2018.06.001>
- Galán, A. J., Ruiz-Moyano, S., Martín, A., Delgado, J., Álvarez, M., & López-Corrales, M. (2024). Implementation of netting system for production of 'Calabacita'dried figs: Effects on pest incidence, fruit quality and mycotoxin occurrence. *Scientia Horticulturae*, 331, 113099. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113099>
- Galván, A. I., Hernández, A., de Guía Córdoba, M., Martín, A., Serradilla, M. J., López-Corrales, M., & Rodríguez, A. (2022a). Control of toxigenic *Aspergillus* spp. in dried figs by volatile organic compounds (VOCs) from antagonistic yeasts. *International Journal of Food Microbiology*, 376, 109772. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109772>
- Galván, A. I., de Guía Córdoba, M., Rodríguez, A., Martín, A., López-Corrales, M., Ruiz-Moyano, S., & Serradilla, M. J. (2022b). Evaluation of fungal hazards associated with dried fig processing. *International Journal of Food Microbiology*, 365, 109541. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109541>
- Hamanaka, D., Norimura, N., Baba, N., Mano, K., Kakiuchi, M., Tanaka, F., & Uchino, T. (2011). Surface decontamination of fig fruit by combination of infrared radiation heating with ultraviolet irradiation. *Food Control*, 22(3-4), 375-380. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.09.005>
- Irfan P.K, Vanjakshi V, Prakash M.K, Ravi R, Kudachikar V.B. (2013). Calcium chloride extends the keeping quality of fig fruit (*Ficus carica* L.) during storage and shelf-life. *Postharvest Biology and Technology*, 82, 70-75. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.02.008>
- Karlovsky, P., Suman, M., Berthiller, F., De Meester, J., Eisenbrand, G., Perrin, I., ... & Dussort, P. (2016). Impact of food processing and detoxification treatments on mycotoxin contamination. *Mycotoxin Research*, 32, 179-205. <https://doi.org/10.1007/s12550-016-0257-7>
- Liu, L., Xie, M., & Wei, D. (2022). Biological detoxification of mycotoxins: Current status and future advances. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(3), 1064. <https://doi.org/10.3390/ijms23031064>
- Nazareth, T. D. M., Soriano Pérez, E., Luz, C., Meca, G., & Quiles, J. M. (2024). Comprehensive review of aflatoxin and ochratoxin A dynamics: emergence, toxicological impact, and advanced control strategies. *Foods*, 13(12), 1920. <https://doi.org/10.3390/foods13121920>

- Özay, G., Aran, N., & Pala, M. (1995). Influence of harvesting and drying techniques on microflora and mycotoxin contamination of figs. *Food/Nahrung*, *39*(2), 156-165. <https://doi.org/10.1002/food.19950390209>
- Petrić, J., Šarkanj, B., Mujić, I., Mujić, A., Sulyok, M., Krska, R., ... & Jokić, S. (2018). Effect of pretreatments on mycotoxin profiles and levels in dried figs. *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju*, *69*(4), 328-333. <https://doi.org/10.2478/aiht-2018-69-3147>
- Passone, M. A., & Etcheverry, M. (2014). Antifungal impact of volatile fractions of *Peumus boldus* and *Lippia turbinata* on *Aspergillus* section *Flavi* and residual levels of these oils in irradiated peanut. *International Journal of Food Microbiology*, *168*, 17-23. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.10.009>
- Sandhu, A. K., Islam, M., Edirisinghe, I., & Burton-Freeman, B. (2023). Phytochemical composition and health benefits of figs (fresh and dried): a review of literature from 2000 to 2022. *Nutrients*, *15*(11), 2623. <https://doi.org/10.3390/nu15112623>
- Schotsmans, W. C., Braun, G., DeLong, J. M., & Prange, R. K. (2008). Temperature and controlled atmosphere effects on efficacy of *Muscodor albus* as a biofumigant. *Biological Control*, *44*(1), 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.06.007>
- Sengul-Binat, H. (2025). Fig (*Ficus carica* L.) and its bioactive compounds. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, *31*(1), 65-68. <https://doi.org/10.59463/JAPT2025.1.7>
- Tejero, P., Martín, A., Rodríguez, A., Galván, A. I., Ruiz-Moyano, S., & Hernández, A. (2021). In vitro biological control of *Aspergillus flavus* by *Hanseniaspora opuntiae* L479 and *Hanseniaspora uvarum* L793, producers of antifungal volatile organic compounds. *Toxins*, *13*(9), 663. <https://doi.org/10.3390/toxins13090663>
- TÜİK (2025). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), <http://www.tuik.gov.tr>, (Erişim Ağustos 20, 2025)