

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI KURUTMA TEKNİKLERİNİN MISIRIN
FİZİKSEL, KİMYASAL VE TOKSİKOLOJİK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Neşe YILMAZ

Danışman:
Yrd. Doç. Dr. N. Barış TUNÇEL

Ağustos, 2008
ÇANAKKALE

**FARKLI KURUTMA TEKNİKLERİNİN MISIRIN
FİZİKSEL, KİMYASAL VE TOKSİKOLOJİK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Neşe YILMAZ

Danışman:

Yrd. Doç. Dr. N. Barış TUNÇEL

Ağustos, 2008

ÇANAKKALE

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

Neşe YILMAZ tarafından Yrd. Doç. Dr. N. Barış TUNCEL yönetiminde hazırlanan “Farklı Kurutma Tekniklerinin Mısırın Fiziksel, Kimyasal ve Toksikolojik Özellikleri Üzerine Etkisi” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. N. Barış TUNCEL

Yönetici

Prof. Dr. Selma GÜVEN

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Habib KOCABIYIK

Jüri Üyesi

Sıra No:

Tez Savunma Tarihi: 25/07/08.....

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Kromatografik analizlerim boyunca her çözümsüzlüğüme ışık tuttuğu için, ben ve benim gibi yardımını esirgemediği tüm öğrenciler adına, baş danışmanım Prof. Dr. Muzaffer TUNÇEL'e,

Çalışmalarımın her aşamasında emeği olan, desteğini her zaman arkamda hissettiğim ve birlikte çalışmaktan büyük mutluluk ve gurur duyduğum sevgili danışmanım Yrd. Doç. Dr. N. Barış TUNÇEL'e

Tezimin önemli bir bölümünü oluşturan kurutma analizleri için, gerekli ortam ve koşulları sağlayan, ihtiyaç duyduğum her konuda bilgisini benden esirgemeyen sevgili hocam Yrd. Doç. Dr. Habib KOCABIYIK'a,

İstatistiksel analizlerimin yorumlanması konusunda her çalışmamda desteğini gördüğüm sevgili hocam Doç. Dr. Mehmet MENDEŞ'e,

Çalışmamızın materyalini bize sağlayan ve mısır bitkisi ile ilgili bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım sevgili hocalarım Prof. Dr. Harun Baytekin ve Yrd. Doç. Dr. Cem EGESSEL'e,

Tezimin ilk denemeleri için bize destek olan, her imkanı kullanmamıza olanak sağlayan sevgili hocam Doç. Dr. Ülkü Dilek UYSAL ve saatlerini bizimle birlikte laboratuarda geçiren ve içtenlikle renk katan sevgili arkadaşım Araş. Gör. Elif Mine ÖNCÜ'ye

Eşsiz yardım ve destekleri için, çalışmalarım sırasında benimle beraber mesai harcayan, sevgili arkadaşlarım Zeynep KÜÇÜK ve Gülşan DANIŞMAN'a,

Finanse ettiği "Yurtiçi Yüksek Lisans Bursu" ile verimli bir şekilde yüksek lisans yapmama; zamanım ve enerjimi okulda kullanmama olanak sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Kurumu' (TÜBİTAK) na,

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen, her iyi adıma benden fazla seven sevgili aileme ve emeği geçen herkese..

sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Neşe YILMAZ

SİMGELER VE KISALTMALAR

AOAC: Analitik Otoriteler Birliği (Association of Analytic Communities)

aW: Su aktivitesi

CE: Kapiller elektroforez

ELİSA: Enzim Bağlı İmmunosorban Tekniği

FA: Fluorescamine

FAO: Dünya Gıda ve Tarım Örgütü

FB: Fumonisin B Serisi

FDA: Amerikan Gıda ve İlaç Örgütü

FMOC: 9-Fluorenylmethyl chloroformate

GC-MS: Gaz kromatografisi ve kütle spektrometresi

HPLC: Yüksek basınçlı sıvı kromatografisi

IARC : Uluslar arası Kanser Araştırma Enstitüsü

IR-SH: Infrared ve Sıcak Hava Kombinasyonu

IR: Infrared

IS: Internal (iç) standart

JECFA: Katkı Maddeleri Uzmanlar Komitesi

LC: Sıvı kromatografisi

LD₅₀: İncelenen denek grubun yarısını öldüren letal doz seviyesi

MW: Mikrodalga

NBDF: 4-Fluoro-7-nitrobenz-2-oxa-1,3-diazole

NDA: Naphthalene-2,3-dicarboxaldehyde

OPA: o-Phthaldialdehyde

OTA: Okratoksin A

R²: Determinasyon Katsayısı

SAX: Anyon değiştirici katı faz ekstraksiyonu

SH: Sıcak Hava

SPE: Katı faz ekstraksiyonu

TLC: İnce tabaka kromatografisi

UV: Ultraviyole ışınları

WHO: Dünya Sağlık Örgütü

FARKLI KURUTMA TEKNİKLERİNİN MISIRIN FİZİKSEL, KİMYASAL VE TOKSİKOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

ÖZET

Mısır, dünyada en çok üretilen tahıl olup, %13 nem düzeyinin altında muhafaza edilmesi gerekmektedir. Ülkemizde ve dünyada genellikle %17-18 nem düzeyinde hasat edilerek, sıcak hava akımlı sistemlerde kurutulmaktadır. Bununla birlikte mısır bitkisi fizyolojik olum dönemini %29-31 nem düzeyine eriştiğinde tamamlamaktadır. Bu dönemden sonra sadece nem düzeyinin ekonomik bir şekilde azaltılması amacıyla tarlada güneşte kurumaya bırakılmaktadır. Ancak, tarlada bekleme süresi mısır bitkisinin mikotoksin üreten küf mantarları ile enfekte olma riskini arttırmaktadır. Fumonisinler, mısır bitkisinden en sık izole edilen ve hem hayvan hem de insan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkileri bulunan mikotoksinlerdir. Bu çalışmada mısır bitkisi, fizyolojik olum dönemini takiben beş farklı nem düzeyinde (%29, 24, 18,5, 16 ve 15) hasat edilmiş ve sıcak hava akımlı kurutma tekniğine alternatif olarak; infrared, infrared ve sıcak hava kombinasyonu ve mikrodalga kurutma teknikleri ile %13 nem düzeyine kadar kurutulmuştur. Hasat dönemi ve kurutma tekniklerinin mısırdaki fumonisin gelişimine ve mısır bitkisi için önem arz eden bazı kalite özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak; incelenen faktörlerden yalnızca hasat döneminin fumonisin gelişimi üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,01$). En yüksek fumonisin miktarı, güneşte kurumaya beklenerek beşinci dönemde hasat edilen örneklerde gözlenmiştir. Bununla birlikte kullanılan kurutma tekniklerinin her hasat dönemi için sarf ettikleri enerji miktarı hesaplanmış ve sıcak hava akımı ile nem düzeyini %15'ten %13'e düşürmek için harcanan enerjinin, infrared ve sıcak hava kombinasyonu ile nem düzeyini %29'dan %13'e düşürmek için harcanan enerjiden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fumonisin, mısır, kurutma, infrared

Hazırlanan bu yüksek lisans tezi Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (BAP) tarafından 2007/73 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir. Yüksek lisans öğrencisi, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'ın 2228 no.lu son sınıf lisans öğrencileri için yurt içi yüksek lisans burs programı tarafından fonlanmıştır.

**EFFECTS OF DIFFERENT DRYING TECHNIQUES ON PHYSICAL
CHEMICAL AND TOXICOLOGIC PROPERTIES OF MAIZE
ABSTRACT**

Maize is the most widely produced crop in the world and has to be stored under 13% moisture level for safety reason. It is generally harvested at approximately 17-18% moisture level and dried in hot air dryers. However, maize completes its physiological maturation period at the level of 29-31% moisture. After this period it is kept in the field only to reduce the moisture level economically by sun drying. But the waiting period encourages the risk of contamination by mycotoxin producing moulds. Fumonisin are the most common mycotoxins isolated from maize and have serious effects on both human and animal health. In this study, maize harvested in five different moisture levels (29, 24, 18,5, 16 and 15%) after completing the physiological maturation period, was dried with hot air, alternatively infrared, infrared-hot air combination and microwave techniques until the moisture content comes down to %13. The effect of harvest time and drying techniques on the fumonisin contamination and the quality characteristics which are specifically important for maize crop were investigated. Consequently, only the effect of harvest time factor on fumonisin contamination found to be important statistically ($p < 0,01$). The highest contamination dose observed at the fifth harvest period which consisted of sun dried materials. However, energy expenses of the drying techniques calculated for all harvest periods and it was found out that the expenses to reduce the moisture level from 15% to 13% with hot air drying is higher than the expenses to reduce moisture level from 29% to 13% with infrared-hot air drying combination.

Keywords: Fumonisin, maize, drying, infrared.

The present M. Sc. thesis was supported by Scientific Research Fund Of Canakkale Onsekiz Mart University (Project No.: 2007/73). Also the M. Sc student was funded by Turkey Scientific and Technologic Research Institution (TUBITAK).

İÇERİK

	Sayfa
TEZ SINAVI SONUÇ BELGESİ	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
BÖLÜM 1 – GİRİŞ	1
1.1. Mısırdaki Hasat Zamanının Belirlenmesi ve Önemi.....	3
1.1.1. Hasat Zamanına Etki Eden Faktörler.....	4
1.1.2. Erken ve Geç Hasat.....	4
1.2. Mısırdaki Küflenme Sorunu ve Mikotoksinler.....	5
1.2.1. Fumonisinler.....	6
1.2.2. Fumonisinlerin Fizyolojik Etkileri	10
1.3. Kurutma	11
BÖLÜM 2 – ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	15
2.1. Uygulanan Kurutma Yöntemlerine İlişkin Çalışmalar.....	15
2.2. Fumonisinlerin Stabilitésinin Anlaşılmasına Yönelik Çalışmalar....	17
2.3. Fumonisinlerin Kantitatif Analizine Yönelik Çalışmalar.....	20
2.4. Fumonisinlerin Alımına İlişkin Ulusal ve Uluslararası	
Regülasyonlar.....	23

BÖLÜM 3 – MATERYAL VE YÖNYEM.....	24
3.1. Materyal.....	24
3.2. Yöntem.....	24
3.2.1. Hasat Dönemi.....	24
3.2.2. Örneklerin Hazırlanması.....	24
3.2.3. Deneme Planı.....	25
3.2.3.1.Toksin Analizleri (Survey Çalışması) İçin Deneme Planı.....	25
3.2.3.2.Renk, Ham Protein ve Toplam Karotenoid Analizleri İçin Deneme Planı.....	25
3.2.4. Kurutma Sistemi ve Kurutma Parametreleri.....	26
3.2.5. Enerji Sarfiyatının Hesaplanması.....	27
3.2.6. Fiziksel Analizler.....	28
3.2.6.1. Renk Tayini.....	28
3.2.7. Kimyasal Analizler.....	28
3.2.7.1. Kuru Madde (Nem) Tayini	28
3.2.7.2. Ham Protein Tayini.....	28
3.2.7.3. Toplam Karotenoid Tayini.....	29
3.2.8. Enstrümental Analizler.....	29
3.2.8.1. Fumonisin Miktarlarının Yüksek Basıncılı Sıvı Kromatografisi (HPLC) Kullanılarak Belirlenmesi.....	29
3.2.8.1.1. Fumonisinlerin ekstraksiyonu.....	29
3.2.8.1.2. Katı Faz Ekstraksiyonu (SPE).....	30
3.2.8.1.3. Analiz koşulları	30
3.2.9. İstatistiksel Analizler.....	30

BÖLÜM 4 – BULGULAR VE TARTIŞMA.....	31
4.1. Kurutma Parametreleri İle İlgili Bulgular.....	31
4.1.1. Birinci Hasat Dönemine (10.09.2007) Ait Kurutma	
Sonuçları.....	32
4.1.2. İkinci Hasat Dönemine (24.09.2007) Ait Kurutma	
Sonuçları	32
4.1.3. Üçüncü Hasat Dönemine (08.10.2007) Ait Kurutma	
Sonuçları	32
4.1.4. Dördüncü Hasat Dönemine (22.10.2007) Ait Kurutma	
Sonuçları.....	33
4.1.5. Beşinci Hasat Dönemine (29.10.2007) Ait Kurutma	
Sonuçları.....	33
4.2. Toksin (Fumonisin B₁ ve B₂) Analizlerine İlişkin Bulgular.....	35
4.2.1. Fumonisin B₁ denklemleri.....	37
4.2.2. Fumonisin B₂ Denklemleri	37
4.3. Ham Protein İçeriğine Ait Bulgular.....	42
4.4. Toplam Karotenoid Miktarına İlişkin Bulgular	43
4.5. Renk Karakteristiklerine Ait Bulgular	45
BÖLÜM 5 – SONUÇ.....	50
KAYNAKLAR	54
Tablolar	I
Şekiller	II
Yaşam Öyküsü	III

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Mısır bitkisi, insan soyunun kültüre aldığı en eski tarla bitkilerinden biridir. Orijini ve gen merkezi Amerika kıtası olan mısır (*Zea mays*, $2n=20$), gerek dünyada gerekse de Türkiye'de bitkisel kökenli proteinlerin yeterli ve ekonomik üretimi için büyük önem taşımaktadır (Süzer, 2007).

Mısır Gramineae familyasının Maydae sınıfına ait bir sıcak iklim tahılıdır (Kün, 1985).

Arkeolojik çalışmalar, mısır tarımının ilk defa milattan önce 5000 yılında Meksika'da yapıldığını göstermektedir. Mısır daha sonra kuzeyde Kanada ve güneyde Arjantin'de yetiştirilmeye başlamıştır. Kristof Kolomb'un Amerika'yı keşfinden kısa bir süre sonra İspanya'da yetiştirilmeye başlanan mısır, buradan hızlı bir şekilde Avrupa, Afrika ve Asya'ya yayılmıştır. Mısır hala ilk İspanyolca karşılığı olan "maize" evrensel ismi ile literatürde yer bulmaktadır (Johnson, 2000).

2005 yılı Dünya Tarım ve Gıda Örgütü (FAO) verilerine göre dünyada ekilen alan bakımından buğday (219,561,878 ha) ve çeltikten (153,434,463 ha) sonra üçüncü sırada mısır (145,266,338 ha) gelmektedir. Bununla birlikte mısır dünya tahıl üretim miktarı sıralamasında 711,762,871 ton ile ilk sırada yer almaktadır. Ülkemizde ise mısır hem ekilen alan hem de üretim miktarı bakımından buğday ve arpadan sonra üçüncü sırada gelmekte ve yılda 3,500,000 ton üretimi yapılmaktadır (Anonim, 2007b).

Mısır gıda olarak, haşlanmış ya da ateşte közlenmiş olarak doğrudan tüketilebildiği gibi, mısır unu, mısır ezmesi, mısır irmiği ve mısır ekmeği olarak dolaylı yoldan da kullanılabilir. Bununla birlikte kahvaltılık tahılların hazırlanmasında, mısır yağı üretiminde, mısır konservesi yapımında ve çerezlik olarak da beslenmede yer tutmaktadır. Ayrıca mısır, hayvan yemi olarak kullanılmak amacıyla da önemli miktarlarda yetiştirilmektedir.

Son yıllarda biyoteknoloji ve moleküler biyoloji alanlarındaki gelişmelere bağlı olarak mısır üretiminde önemli bir artış gözlenmekte ve mısır kaynaklı ürünlerin kullanımı artmaktadır. Bu ürünler arasında mısır nişastasının özellikle glikoz ve fruktoz şurupları olarak işlenmesi yoğun talep görmektedir. Mısır kaynaklı ürünler, 700 çeşit hazır gıda maddesinin içinde bileşen olarak kullanılmaktadır (Anonim, 2005).

Mısır, gıda dışındaki endüstriyel alanlarda da yer bulmaktadır. Doğal mısır nişastasının fermantasyonu sonucu oluşan laktik asidin polimerizasyonu ile elde edilen biyolojik olarak doğaya dönüşümlü plastikler ve yüksek dekstrozu glikoz şurubunun fermantasyonu sonucu üretilen etil alkol bu örneklerden sadece birkaçıdır. Mısır; savunma, ilaç, kağıt ve tekstil sanayinde de çeşitli amaçlarla kullanılabilir (Anonim, 2008d).

Mısır günümüzde Antartika hariç her yerde yetiştirilmekte ve tane (endosperm ve kavuz) özelliklerine göre 6 tipe ayrılmaktadır. Bunlar; at dişi mısır (dent), sert mısır (flint), unlu mısır (flour), şeker mısır (sweet), cin mısır (pop-corn) ve mumlu (waxy) mısırdır. Bunların haricinde sadece bilimsel araştırmalarda kullanılan kavuzlu mısır olarak adlandırılan özel bir çeşit de mevcuttur. Bu tipler, endosperm kompozisyonu bakımından önemli farklılıklar göstermekte ve farklı renkte olabilmektedirler. At dişi mısır tanesi yanlarda camsı nişasta, üst ucunda unlu nişastanın biriktiği iri ve uzun yapıda tanelerden oluşmaktadır. Ticari öneme sahip olanları sarı ve beyaz renge sahiptir. Bin tane ağırlığı 300-500 g arasında değişmektedir. Sert mısır, camsı yapıda, düz yüzeyli ve yuvarlak şekillidir. Küçük taneli olanlar hayvan beslenmesinde, iri taneli olanlar ise mısır unu üretiminde kullanılmaktadır. Unlu mısır, mat görünümde ve genellikle beyaz renklidir. Nişasta granülleri yumuşak olup, endosperm gevşek yapıdadır. Şeker mısır, taze tüketilen bir tür olup, süt olum döneminde hasat edilmektedir. Mısır konservesi yapımında kullanılır. Cin mısır taneleri, küçük ve çok serttir. Tane rengi beyaz, kırmızı ya da mor olabilir. Çerezlik olarak değerlendirilir. Mumlu mısırdaki ise nişastanın önemli bir kısmını amilopektin oluşturmaktadır. Amiloz çok az oranda bulunur. Mumlu mısır nişastası, yapıştırıcı madde ve kağıt endüstrisinde kullanılmaktadır (Johnson, 2000).

Sözü edilen mısır tipleri arasında dünyada en çok arz edilen mısır tipi at dişi mısırdır. Dünyadaki mısır üretiminin %80'inden fazlasını oluşturmaktadır. At dişi mısır ülkemizde daha çok Samsun, Sakarya, Kocaeli, Adana, Antalya ve İzmir illerinde yetiştirilmektedir (Kırtok, 1998).

Mısır; bazı özellikleri ile diğer tahıllardan ayrılmaktadır. Anatomik olarak diğer tahıllardan 4-5 misli büyük embriyoya sahiptir. Kavuzsuz olmasına rağmen, kabuk kısmı (perikarp-testa) iyice sertleşip kalınlaşarak kavuz benzeri bir yapı oluşturmaktadır. Protein dağılımı, buğdayın aksine kepek tabakasında az, ruşeym tabakasında fazladır. Unsu endosperm, protein bakımından tanenin en zengin kısmıdır. Ruşeym tabakası; selüloz, kül ve yağ bakımından oldukça yoğundur (Elgün ve Ertugay, 2000). Çeşide bağlı olarak diğer tahıllardan daha yüksek oranda yağ içerir. Bununla birlikte mısır; pirinç, buğday ve yulaf gibi diğer tahıllardan 3 kat daha fazla fenolik asit içermektedir. At dişi mısır ununun 309,1 mg/100g fenolik asit içerdiği bildirilmektedir (Shahidi ve Nacz, 2004).

At dişi mısırın ortalama bileşimi kuru madde üzerinden; %70 -72 nişasta, %8-10 protein, %4-5 yağ, %11-12 şeker ve %1-2 küldür (Johnson, 2000).

1.4. Mısırdaki Hasat Zamanının Belirlenmesi ve Önemi

Mısırın hasat olgunluğuna gelip gelmediğine tanelerdeki nem oranını ölçerek karar vermek en doğru yoldur. Fizyolojik olgunluğa ulaşan mısır taneleri yaklaşık %35 oranında nem içerir. Oran %30-32 düzeyine gerilediğinde mısır olgunlaşmış sayılır (Anonim 2008a). Ancak nem ölçme olanağı yoksa tanenin değişimine bakarak karar vermek de mümkündür. Hasat zamanı gelmiş bir mısır bitkisinde tanenin koçanla birleştiği yerde “siyah tabaka” oluşur. Siyah tabaka oluşumu, tanenin koçanla birleştiği kısımda başlar ve tanenin dip tarafında biter. Tane bıçak veya el ile koparıldığı zaman siyah tabaka kolayca görülebilir. Bir koçanın olgunlaştığının kabul edilebilmesi için; koçan ortasındaki tanelerin en az %75'inin siyah tabakaya sahip olması gereklidir. %30-35 nem oranına sahip ve/veya “siyah tabaka”nın gözlemlendiği bir mısır bitkisi fizyolojik olum dönemini tamamlamış kabul edilmekte ve bundan

sonra hasat için uygun bir nem düzeyine ulaşması için tarlada bekletilmektedir (Anonim, 2008b).

1.1.1. Hasat Zamanına Etki Eden Faktörler

Fizyolojik olgunluğa eren mısır taneleri normal gelişimini tamamlamıştır. Fizyolojik olgunluktan sonra tanenin nem miktarındaki azalma; sıcaklık, havanın bağıl nemi, rüzgar hızı gibi fiziksel faktörlerle yakından ilgilidir. Olgunlaşmadan sonraki nem kaybında çeşit özellikleri de önemli rol oynar. Örneğin koçan kavuzunun koçanı sarma şekli, koçan kavuzu büyüklüğü ve sayısı, tane kabuğunun geçirgenliği ve koçanın eğik ya da dik duruşu ve benzeri özellikler nem miktarının düşmesine etki eden önemli özelliklerdir (Kırtok, 1998).

1.1.2. Erken ve Geç Hasat

Erken hasat; sap çürümesi ve rüzgardan dolayı yatma riskini azaltmak, sonbahar yağışlarına yakalanmamak, koçan dökülmesini azaltmak ve hasat kayıplarını en aza indirmek gibi olumlu etkileri dolayısıyla tercih edilen bir durumdur. Ancak hasat sonrası yapılacak kurutma işlemi için gerekli olan enerjiyi arttırması gerekçesiyle genellikle dezavantajlı olduğu bildirilmiştir. Hasadı geciktirmek, koçan üzerindeki mısır tanelerinin su oranının düşürülmesi yönünden istenmekle beraber, ürün kaybının artmasına ve kalitenin düşmesine neden olmaktadır (Anonim 2008a, Kırtok, 1998, Kün 1985).

Literatürdeki bilgiler erken hasadı, kurutma enerjisini arttırması dolayısıyla dezavantajlı olarak sunmasına rağmen, son yıllarda yapılan araştırmalar, fizyolojik olum dönemini tamamladıktan sonra sadece nem içeriğinin azalması amacıyla tarlada bekletilen mısır bitkisinin küf mantarı üremesine oldukça uygun olduğunu ve yetiştirme ortamında bulunan mikroorganizmaların ikincil metabolizma ürünleri olan toksinlerin insan ve hayvan sağlığı üzerinde önemli tehlikeler doğurduğuna işaret etmektedir. Bu sebeple hem daha sağlıklı ve güvenli bir gıda üretimi hem de daha az maliyetli bir kurutma prosedürü geliştirmek için alternatifler üretilmelidir.

1.2. Mısırdaki Küflenme Sorunu ve Mikotoksinler

Tarımsal ürünler hasattan başlayarak, işleme ve depolama aşamalarında ortam koşullarına, ürünün bileşimine ve su içeriğine bağlı olarak değişik küflerle kontamine olurlar. Yakın zamana kadar tarımsal ürünlerdeki küflerin varlığı; yalnızca bozulmalar, ürünün besin değerinde ve tanelerin çimlenme düzeyinde kayıplar gibi gerekçeler ile, daha çok ekonomik açıdan önemli görülmekte, üzerinde fungusların geliştiği tahılların ve yağlı tohum küspelerinin hayvan yemi olarak değerlendirilmesi sakıncalı bulunmamaktaydı. Küflerin verdiği ekonomik zararlar, tarım ürünlerindeki kayıplar dikkate alındığında gerçekten azımsanmayacak düzeydedir. Yıllık üretimler baz alındığında; yağlı tohumlarda %12, pirinçte %5, yer fıstığında %4,2, mısırdaki %3, soya fasulyesinde %3, ürün kaybı meydana gelmektedir. Ancak gıda ve yemlerde gelişen fungusların gelişme sürecini tamamladıktan sonra miselleri içerisinde oluşturdukları ve birçok durumda üzerinde buldukları ürüne (substrata) salgıladıkları toksik metabolitler, insan ve hayvan sağlığını tehdit ettiğinden, küflenme ekonomik boyutun çok ötesinde önem taşımaktadır. Gıda ve yemler çok çeşitli küflerin saldırısına hedef olmakla beraber, mikotoksin üreten küf sayısının bugün 350 civarında olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte gıda ürünleri için başlıca 3 cins önemlidir. Bunlar; *Aspergillus*, *Fusarium* ve *Penicillium*'dur (Murphy ve diğ., 2006).

Önemli mikotoksinlerden *Penicillium* ve *Aspergillus*, depo küfleri içinde; *Fusarium* ve *Alternaria* ise tarla küfleri içerisinde sınıflandırılmaktadır (Karapınar ve Aktuğ, 2003).

Mikotoksin oluşumunu etkileyen bir çok faktör bulunmakla beraber bunların başında çevresel faktörler gelmektedir. Gıdanın nem içeriği, atmosfer bağıl neminden etkilendiğinden sıcaklık ile birlikte bağıl nem, öncelikle fungus sporlarının çimlenmesini ve misellerin gelişimini, ardından da toksin oluşumunu etkileyen en önemli faktördür. Gıdanın çeşidi, kimyasal kompozisyonu, ürünün yetiştirildiği iklim koşulları, ürünün olgunluk durumu, hasat, işleme ve depolama koşulları bulaşan küflerin spektrumuna etki eden diğer faktörlerdir. Her şeyden önce gıdanın küf

spektrumunda bulunan küflerin mikotoksin üreticisi olup olmadıkları önem taşır. Kontamine küfler, mikotoksin üreticisi olsalar bile toksinin sentezlenmesi; yukarıda belirtilen faktörlerle yakından ilişkilidir (Anonim, 2007a).

Mikotoksinler insan ve hayvanlarda latent, akut veya kronik zehirlenmelere neden olmaktadır. Her yıl dünya tahıl ve yağlı tohum üretiminin %20'ye yakın kısmı, değişik derecelerde mikotoksinlerle kirlenmekte ve bu kirlenmelerin yarattığı sonuçlar, gerek kalıntıları vasıtasıyla oluşturdukları toplum sağlığı riski, gerekse hayvan sağlığı ve ekonomik işletmecilik yönünden günümüzde üzerinde en çok araştırma yapılan konulardan birini oluşturmaktadırlar (Kaya ve Yarsan, 1995).

Bütün mikotoksinler düşük molekül ağırlığa sahiptir. Düşük konsantrasyonlarda dahi olumsuz etki gösterirler. Tahıllar, mikotoksin üretimi için en uygun substrat niteliği taşımaktadırlar (Berthiller ve diğ., 2005).

Mısır çeşitleri dünyanın her yerinde *Fusarium* kontaminasyonuna hassasiyet göstermekte ve fumonisin alımının başlıca sorumlusu olarak gösterilmektedirler (Murphy ve diğ., 2006). Özellikle su kaynaklarına yakın ve/veya yüksek nem alan bölgelerde yetişen mısırlarda yüksek oranda *Fusarium* ve beraberinde toksinlerine rastlanmaktadır (Charmley ve diğ., 1994; Abbas ve diğ., 2006). Yakın zamana kadar mısırdaki görülen mikotoksinlerden aflatoksinine önem verilirken günümüzde *Fusarium* toksinlerinin üzerinde durulmaya başlanmıştır. Mısır hasadı sırasında mekanik zararın azaltılması, hızlı kurutma, mümkünse 10°C'nin altında depolama ve uygun havalandırma küf gelişiminin önlenmesinde önemlidir (Karapınar ve Aktuğ, 2003).

1.2.1. Fumonisinler

Fumonisin ilk kez 1988 yılında *Fusarium verticilloides*' in metaboliti olarak izole edilmiştir (Anonim, 2007a). Bununla birlikte Fumonisinler; *F. proliferatum*, *F. anthophilum*, *F. dlamini*, *F. napiforme* ve *F. nygamai* türleri tarafından da üretilebilmektedir. Ayrıca bazı *Alternaria* türlerinin de fumonisin üretebildiği bildirilmektedir (Moss, 1998). Ancak özellikle mısırdaki en yaygın fumonisin üreticisi

tür *Fusarium verticilloides*'dir ve dünya çapında bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır (ApSimon, 1994).

17-20 Ağustos 1998 tarihleri arasında Amerika'da düzenlenen 8. Uluslar arası *Fusarium* çalıştayında, karar birliği ile *Fusarium moniliforme*, *Fusarium verticilloides* olarak adlandırılmıştır (Anonim, 2008c). Bu sebeple bu çalışmada da adı sıkça geçen mikroorganizmadan *Fusarium verticilloides* (*Fusarium moniliforme*) ismiyle bahsedilmektedir.

Fusarium türlerinin ürettiği diğer önemli mikotoksinler ise zearalenone (F-2 toksini), diasetoksisirpenol, trikotesenler, T-2 toksini, deoksinivalenol, nivalenol, moniliformin, fusarin C, HT-2 toksini olarak sıralanabilir (Sydenham ve Thiel, 1996).

Fusarium enfeksiyonu, sıcak-kurak iklim koşullarında ve bunu takip eden nemli koşullarda gerçekleşmekte ve böcek tahribatı ile teşvik edilmektedir. *F. verticillioides*' in optimum gelişme sıcaklığı 22,5-27,5 °C, minimum 2-5 °C ve maksimum 32-37 °C dir. Gelişme gösterdiği minimum su aktivitesi değeri 0,87 olup, 0,92 su aktivitesinde de toksin oluşturabildiği rapor edilmiştir. *Fusarium proliferatum* fumonisin B₁, B₂ ve B₃'ün diğer temel üreticisi olarak, *F. verticillioides*'e benzer bir gelişme profili göstermektedir. Optimum toksin üretme koşullarının 25-30 °C ve 0,92-0,97 aW aralığı olduğu bildirilmektedir (Nilüfer ve Boyacıoğlu, 2002).

Günümüzde tanımlanmış olan fumonisin türleri A, B, C ve P olmak üzere 4 ana grup altında toplanmıştır. 1988'de ilk defa Fumonisin B₁' in tanımlanmasından bugüne bu gruplara dahil 28 farklı fumonisin alt türü karakterize edilmiştir. B serilerinin en yaygın türler olduğu bununla birlikte Fumonisin B₁'in bulunma sıklığı bakımından tüm türlerin %70'ini oluşturduğu belirlenmiştir (Wang ve diğ., 2008).

B₂ ve B₃ türünün ise B₁'in yaklaşık %15-25'i kadar bulunduğu diğer türlerin ise çok daha az miktarlarda mevcut olduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber bazı

Fusarium verticilloides izolatlarının fumonisin B₂'yi fumonisin B₁'den daha fazla ürettiği de bildirilmektedir (ApSimon, 1994).

Fumonisinler, 2 trikarboksilik asit grubu ile esterleşmiş uzun zincirli amino-polyoller olup C-20 serilerinden oluşmaktadırlar (Savard ve Blackwell, 1994). Fumonisinlerin yapısında bulunan karboksil ve hidroksil grupları onların su, metanol veya asetonitril gibi polar solventlerde rahatlıkla çözünebilmesini sağlamaktadırlar (Scott ve Lawrence, 1992).

Fumonisinler, diğer tüm gıda mikotoksinlerinin aksine aromatik bir yapı içermezler. Bu durum analitik olarak dedekte edilmelerini kolaylaştırmaktadır (Murphy ve diğ., 2006). Hidrolize olmuş fumonisinler kolay dedekte edilebilirken proteinlere bağlı ya da indirgen şekerler ile reaksiyona girmiş olan fumonisinlerin hem ekstraksiyonu hem de dedeksiyonu oldukça zordur (Krska ve diğ., 2007).

Fumonisin B₁ (FB₁), beyaz, higroskopik ve toz halinde saf olarak mevcuttur. Sağlık durumlarını etkilemeyecek düzeyde kontamine yemlerle beslenen hayvanların et, süt ve yumurta gibi ürünlerinde FB₁'e rastlanmamıştır (Anonim, 2008c).

Fumonisin B₁

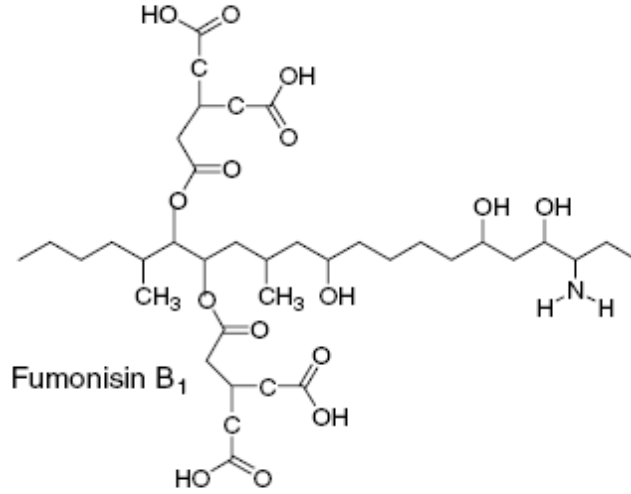
Kimyasal adı: 1,1-[14,15-(2-amino-3,5,10-trihidroksi-12,16-dimetilikosandiyl)]di-(2,3-dihidrojen propan-1,2,3-trikarboksilat)

Formülü : C₃₄H₅₉NO₁₅

Molekül ağırlığı: 721,84 g

Tanımlanan bir erime noktası bulunmamaktadır.

UV absorpsiyonu yoktur.



Şekil 1. Fumonisin B₁' in molekül yapısı

Fumonisin B₂

Kimyasal adı: 1,1-[14,15-(2- amino-3,5-dihidroksi-12,16-dimetilikosandiyl)]di-(2,3-dihidrojen propan-1,2,3-trikarboksilat)

Formülü: C₃₄H₅₉NO₁₄

Molekül ağırlığı: 705,84 g

Tanımlanan bir erime noktası bulunmamaktadır.

UV absorpsiyonu yoktur (Sydenham ve diğ.,1996).

1.2.2. Fumonisinlerin Fizyolojik Etkileri

Mikotoksinler içerisinde yüksek organizmalara en etkili olanlar; aflatoksinler, okratoksin A, ve *Fusarium* türlerinin oluşturduğu trikotesenler ile fumonisinlerdir. Mikotoksinlerin insanlar üzerindeki etkilerini net olarak söyleyebilmek olanaklı değildir. Araştırmalar doğrudan insanlar üzerinde yürütülemediğinden, toksisite denemeleri en duyarlı hayvanlar olan ördek yavruları, fareler ve sıçanlar kullanılarak genellikle oral dozlarla bazen de deri altı enjeksiyonları ile yapılmaktadır. Bir mikotoksinin toksisitesi, belli bir hayvan türü için onun letal dozu (LD₅₀ değeri) ile belirtilir. Bu değer hayvanlarda kg başına, bazen de birey başına düşen doz (mg, µg, ng) olarak verilmektedir. Hayvan denemelerinde akut ya da kronik etkileri saptanan mikotoksinlerin insanlar için de tehlikeli olacağından kuşku duyulmamalıdır. En azından bu mikotoksinlerin gıdalarda ve yemlerde bulunması tolere edilmemelidir. Mikotoksinlerin çeşitli biyolojik etkileri, onların reaksiyonca aktif kimyasal yapılarından ileri gelir. Küçük molekülü bu bileşikler, metabolizmada önemli işlevleri olan çok sayıda molekülün reseptörleri olarak davranırlar. DNA, RNA, fonksiyonel proteinler, enzim kofaktörleri, membrandaki kimyasal yapılar bunlardan bazılarıdır (Anonim, 2007a).

Tanımlanan tüm fumonisin türleri arasında Fumonisin B₁'in en yaygın ve en toksik tür olduğu belirlenmiştir (Katta ve diğ., 1999).

Fumonisinlerin çeşitli biyolojik etkileri bulunmaktadır. Atlarda beyin fonksiyonlarını etkileyen lökoensefalomalasiya, domuzlarda üreme ve solunum sistemini etkileyen akciğer ödemi ve farelerde nörotoksisite ve karaciğer kanserine neden olduğu bildirilmiştir (Shephard ve diğ.,1996).

Amerika ve İtalya'da ticari mısırlarda ve Arjantin'de ise yemlik mısırlarda yüksek miktarda Fumonisin B₁ kontaminasyonuna rastlanmış bunlar arasında atlarda lökoensefalomalasiya ve domuzlarda akciğer ödemi ile ilişkilendirilen kontamine mısırlardaki FB₁ miktarı sırasıyla 130 ve 330 µg/g olarak belirlenmiştir. Güney Afrika'da insanlarda yemek borusu kanseri ile ilişkilendirilen FB₁ kontaminasyonu ise 5,4 µg/g'dan 117,5 µg/g'a kadar değişmektedir. Amerika'da ise bu oran 37,9 ile 239 µg/g arasındadır (Katta ve diğ., 1999).

İnsan sağlığı üzerindeki etkilerine ilişkin kesin bir veri mevcut değilse de fumonisin alımı ile yemek borusu kanseri vakaları arasında Güney Afrika, in, İtalya ve İnan'da önemli bir korelasyon tespit edilmiştir (Wang ve diğ., 2008). Fumonisinlerin deri ya da göz harabiyetine neden olduğuna dair herhangi bir veri bulunmamaktadır. Bazı araştırmacılar fumonisin alımının embriyotoksik etkileri olduğuna da işaret etmişlerdir (Anonim, 2008c).

Uluslar arası Kanser Araştırma Enstitüsü (IARC) fumonisin toksinlerini insanlar için muhtemel kanserojen madde olarak grup 2B de kategorize etmiştir (IARC, 1993).

1.3. Kurutma

Hasat sırasında hububat veya yağlı tohum küspeleri depolama için gerekli olan miktardan daha yüksek oranda nem içerirler. Bu nem miktarı kf gelişimi için oldukça elverişlidir (Kaya ve Yarsan, 1995).

Koanlı olarak %30'u, tanelenmiş olarak %15'i aşan nem oranı, mısırdaki kızışma ve bozulmalara; ürün nicelik ve niteliğinde büyük kayıplara yol açmaktadır (Kn, 1985). rn nemli bir şekilde depolanacak olursa, tanenin normal solunumundan dolayı siloda sıcaklık oluşacaktır. Bu durum havanın rutubetini arttırarak kf mantarı gelişimine zemin hazırlamaktadır. Uzun süreli depolama için tane mısır ürününde nem oranı %13'e düşürülmelidir (Kırtok, 1998). Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı kurutma işlemi ile mısır tanesindeki rutubet oranının %13-14'e indirilmesi gerektiğini bildirmiştir (Anonim, 2008f).

Kurutma prosesi, işleneceği ürüne göre değişmekle beraber, pek çok durumda mısır bitkisi için elzemdir. Gerek ürüne işlemenin bir parçası olarak gerekse de güvenli bir şekilde depolayabilmek için mevcut su miktarının belli bir seviyenin altına indirilmesi gerekmektedir (Johnson, 2000).

Kurutma işlemi; hem uzun bir depolama veya raf ömrü sağlamakta hem de ürünün daha hafif ve küçük boyutlu olmasına neden olduğundan, taşıma ve depolama

kolaylığını da beraberinde getirmektedir (Sharma ve diğ., 2005). Ancak uygulanan kurutma işleminin ekonomik olması ve ürün kalitesini olumsuz etkilememesi arzu edilir.

Mısır taneleri yüksek nem içeriğine sahiptir ve hızlı bir şekilde kurutulmadığı takdirde özellikle küf üremesine maruz kalmakta ve kolayca bozulmaktadır. Bununla birlikte yüksek sıcaklıkta kurutma ürün özelliklerine zarar verebildiği gibi, yaş öğütme prosesinde de sorunlara neden olmaktadır. Bu nedenle mısır kurutma prosedürü boyunca 50 °C ve üzeri sıcaklıklardan kaçınılmalıdır (Johnson, 2000).

Yerel uygulamalar; güneş altı açık alan kurutması şeklindedir. Yağmurlu ve bulutlu havalarda, ürünü güneşe sermek suretiyle istenen zaman içinde güvenli nem düzeyine indirmek mümkün olmaz. Bu durumda ürünün etkin bir şekilde kurutulması, sorunun çözümünde en önemli faktördür. Ülkemizde, ürünün kurutulması amacıyla doğal veya sıcak hava akımı kullanılmaktadır (Kaya ve Yarsan, 1995).

Endüstriyel olarak mısır kurutmada temel olarak iki yol izlenmektedir. Bunlardan biri havalandırma ile kurutma diğeri ise sıcak hava ile suni kurutmadır. Havalandırma ile kurutma, mısır ürünü için yaygın olmamakla birlikte nem oranının nispeten düşük olduğu ürünlerinin kurutulmasında yararlanılır. Öte yandan yüksek kapasiteli kurutma tesislerinde yaygın olarak sıcak hava ile kurutma tekniği uygulanmaktadır (Kırtok, 1998).

Yapay kurutmada kuruma süresinin kısaltılması ve enerji giderlerinin azaltılması enerji maliyetleri açısından önem taşımaktadır. Bununla birlikte; hem doğal hem de yapay kurutmada, ürün neminin hızlı transferi, yani kuruma hızının artırılması ve buna bağlı olarak kuruma süresinin kısaltılması, üründe kuru madde kayıplarını azaltmakta ve kurutma verim ve kalitesini yükseltmektedir (Özler ve diğ., 2005).

Sıcak hava ile kurutma prosesinin düşük ısıl iletkenlik ve dolayısıyla yavaş kurutma gibi istenmeyen bazı özelliklere sahip olduğu ve enzimatik olmayan esmerleşme, zayıf rehidrasyon, ve besin bileşenlerinin kaybolması gibi sorunlarla karşılaşıldığı belirtilmektedir (Hebbar ve diğ., 2004). Bununla birlikte, renk degradasyonları, büzülme gibi tekstürel bozulmalar ve diğer bazı organoleptik özelliklerde kayıplar meydana geldiği de rapor edilmiştir (Leeratanarak ve diğ., 2006). Son yıllarda bu tür olumsuzlukları ortadan kaldırmak ve kurutma etkinliğini arttırarak daha kaliteli bir son ürün elde etmek amacıyla alternatif kurutma teknolojileri geliştirilmeye çalışılmaktadır (Hebbar ve diğ., 2004).

Bu amaçla sıcak hava ile kurutma tekniğinde vakumlu sistemler, kurumayı kolaylaştıracak kimyasal maddelerle ürünü kaplayarak kurutma ve kurutma kabini dizaynına ilişkin pek çok modifikasyon denenmekle beraber artık dünyada özgün olarak daha hızlı ve kaliteli kurutma sağlayan ve daha düşük enerji maliyeti gerektiren kurutma teknikleri arayışına gidilmiş bu amaçla infrared teknolojisi, solar sistemler, ışınlama teknolojileri ve bu yeni teknolojilerin geleneksel metotlar ile kombinasyonu kullanılmaya başlanmıştır.

Gıda ürünlerinde infrared (kıızıl ötesi) kurutma uygulaması, sıcak hava kurutma tekniğine göre daha kısa zamanda kurutma ve daha az enerji sarfiyatı gibi üstünlükleri olması nedeniyle son yıllarda hız kazanmıştır Çok yönlü bir kullanıma sahip olması, basit aksam donanımı, hızlı kurutma süresi, herhangi bir kurutma zincirine kolayca entegre edilebilmesi ve düşük kurulum maliyetine sahip olması gibi avantajlara sahiptir (Nowak ve Lewicki, 2004).

Infrared ile kurutmada, ürün elektromanyetik radyasyona maruz bırakılır. Biyolojik materyallere nüfuz eden infrared ışını, ürün içerisindeki su moleküllerinin harekete geçmesini sağlar ve hareket halindeki su molekülleri ürünü terk etmek için daha az enerjiye ihtiyaç duyar. Evaporasyon için gerekli olan aktivasyon enerjisinin düşmesi kurutma verimini arttırarak, kurutma süresinin azalmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte infrared ve sıcak havalı kurutma tekniği kombinasyonunun birlikte yarattığı sinerjistik etki nedeniyle her iki tekniğin de tek başına uygulanmasına

nispeten çok daha verimli bir sonuç verdiği belirtilmektedir (Pathere ve Sharma, 2006).

Mikrodalga kurutmanın ise; amacına uygun kullanıldığında, hem geleneksel sıcak havalı kurutma hem de infrared kurutma tekniklerine göre daha az enerji sarf ettiği, daha uniform ve daha hızlı bir kurutma sağladığı bildirilmiştir (Wang ve Sheng, 2006).

Bu çalışmada mısır, fizyolojik olum dönemini takiben farklı nem düzeylerinde hasat edilerek, farklı kurutma teknikleri ile kurutulmuştur. Bu kurutma teknikleri sıcak hava akımı (SH), kızıl ötesi (infrared / enfraruj (IR)), sıcak hava akımı ve infrared kombinasyonu (IR-SH) ile mikrodalga (MW) kurutma tekniğidir. MW kurutma, büyük kapasiteli kurutma sistemlerinde uygulanması zor bir teknik olmakla birlikte ürüne etkileri bakımından incelenmeye değer bulunmuştur.

Bu çalışmanın amacı;

1. Yaygın tüketimi olan ve önemli ölçüde küf kontaminasyonuna maruz kalan mısır bitkisinde fumonisin toksininin gelişimini incelemek,
2. Hasat zamanının fumonisin gelişimine etkisini araştırmak,
3. Mısır kurutmada yaygın olarak kullanılan sıcak hava ile kurutma tekniğine alternatif olabilecek kurutma tekniklerini araştırmak,
4. Isıya karşı oldukça stabil oldukları bilinen fumonisin toksinlerinin, infrared ışını ve/veya mikrodalgalardan etkilenip etkilenmediğini araştırmak,
5. Sözü edilen kurutma tekniklerini, kurutma süresi, kurutma verimliliği ve enerji sarfiyatı bakımından karşılaştırmak ve endüstriyel olarak uygulanabilirliğine ilişkin veriler elde etmek ve
6. Sözü edilen kurutma tekniklerinin mısır için önem arz eden renk, toplam karotenoid miktarı ve ham protein gibi bazı kalite özelliklerine etkisini araştırmaktır.

BÖLÜM 2

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Uygulanan Kurutma Yöntemlerine İlişkin Çalışmalar

IR radyasyonu ısıtma yada kurutma için kullanıldığında ürünün yüzeyini etkileyerek içeri doğru nüfuz etmekte ve radyasyon enerjisi ısı enerjisine dönüşmektedir. Nüfuzun derinliği; ürünün kompozisyonuna, yapısına ve IR radyasyonun dalga boyuna bağlı olarak değişmektedir. IR ışınlarına maruz kalan ürün hızlı bir şekilde ısınmakta ve ısınma süreci, ürünü terk eden nem dolayısıyla soğuma süreci ile devam etmektedir. Böylece nemin iç bölgelerden yüzeye doğru yer değiştirmesi sağlanmaktadır. Nemin bu şekilde yer değiştirmesi iyi bir ısı transferine olanak sağladığından IR kurutmada, sıcak hava ile kurutmaya nispeten üründe kalite karakteristiklerinin daha iyi korunduğu tespit edilmiştir (Kumar ve diğ., 2005).

IR ile kurutmada transfer edilen enerji, ısı kaynağından doğrudan ürüne ulaşmakta ve ortam havası ısınmamaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, IR tekniğinin, ürün renginin korunması açısından da olumlu sonuçlar verdiği rapor edilmiştir. Bu teknoloji düşük enerji ihtiyacı ve ürün kalitesinin korunması açısından özellikle ısıya duyarlı ürünlerde tavsiye edilmektedir. (Chua ve Chou, 2003).

IR teknolojisi, gıda alanında kurutma amacı dışında kavurma ve ısıl işlem (pastörizasyon, sterilizasyon) amaçlı olarak da uygulanmıştır. Son yıllarda özellikle hazır gıdaların yüzey pastörizasyonuna yönelik çalışmalar mevcuttur. Hazır köfte (Huang ve Sites, 2008) ve yumurta (James ve diğ., 2002) infrared tekniği ile yüzey pastörizasyonu uygulanan gıdaların sadece birkaçıdır. IR kurutma konusunda genellikle farklı lamba gücü ve hava hızları ile matematiksel modelleme ve kurutma makine ya da düzeneklerinin tasarımı üzerine çalışmalar mevcuttur. IR tekniği, elma (Nowak ve Lewicki, 2004), kanola (McCurdy, 1992), havuç (Toğrul, 2006; Kocabıyık ve Tezer, 2008) ve soğan (Kumar ve diğ., 2006) gibi pek çok üründe uygulanmış bir kurutma teknolojisi olup bu teknik ile mısır kurutma prosesi uygulanan bir çalışmaya ulaşılamamıştır.

IR-SH kurutma kombinasyonunun, bu tekniklerin her ikisinin de bireysel olarak kullanılmasına nispeten daha kısa kuruma süresi ve daha iyi ürün kalitesi ile sonuçlandığı bildirilmektedir. Bu durum her iki tekniğin birlikte yarattığı sinerjistik etkiye atfedilmektedir. Soğan örnekleri ile çalışılan bir araştırmada, 60, 70 ve 80°C kurutma sıcaklığı; 0,8 1,4 ve 3 m/s hava hızı, 2, 4 ve 6 mm soğan kalınlığı, 30, 40 ve 50°C hava sıcaklığı denenmiş ve başlangıç nemi %86-88 olan soğan dilimleri son nem içeriği %7-8 olana kadar kurutulmuştur. Sonuç olarak, kurutma karakteristiklerinin en çok kurutma sıcaklığından etkilendiği saptanmış, kurutma sıcaklığı 60°C' den 80°C' ye çıktığında kuruma süresinde %36,7'lik bir kısalma gözlenmiştir. Ayrıca hava hızı faktörünün de kuruma süresi üzerinde oldukça etkili olduğu belirlenmiş, kuruma süresinin 0,8 m/s' ye nispeten 1,4 m/s hava hızında kuruyan örneklerde %19, 2,0 m/s hava hızında kuruyan örneklerde ise %31 oranında kısaldığı belirtilmiştir. IR, SH ve IR-SH kombinasyonu ile kurutma yapılan bu çalışmada kuruma süresinin, SH ile kurutmaya nispeten tek başına IR ile kurutmada; %30, her iki tekniğin kombine kullanımında ise %36 kısaldığı tespit edilmiştir (Kumar ve diğ., 2005).

Patates ve havuç örneklerinde yapılan bir çalışmada IR ve SH kurutma tekniklerinin birlikte kullanımının, tek başına SH kurutma tekniğine göre kurutma süresini %48 kısalttığı ve gerekli enerji tüketimini de %63 azalttığı bildirilmiştir. Ayrıca, uygun sıcak hava sirkülasyonu ve hava akış hızının optimizasyonuna bağlı olarak enerji sarfiyatının daha da azaltılmasının mümkün olduğu ve renk değişiminin belirtilen tekniklerin tek başlarına kullanılmasına nispeten daha az olduğu belirtilmiştir (Hebbar ve diğ., 2004).

Bazı araştırmacılar MW kurutmanın, IR kurutmaya oranla daha kısa kuruma süresi ve daha az renk degradasyonu ile sonuçlandığı tespit etmiştir (Chua ve Chou, 2005). Son yıllarda MW kurutma oldukça popülerlik kazanmış bir teknik olup; daha çok sıcak havalı kurutma tekniği ile kesikli bir kombinasyon halinde kullanılmakta ve patates, havuç, elma, mantar, üzüm, yabanmersini gibi pek çok meyve ve sebzenin kurutulmasında uygulanmaktadır (Wang ve Sheng, 2006).

Patates ve havuç örneklerinde yapılan MW ile kombine edilmiş SH kurutma uygulamasının kurutma süresini sırası ile %42 ve %31 düzeyinde kısalttığı bildirilmekte ve bu kombinasyonun renk ve rehidrasyon karakteristikleri üzerinde olumlu sonuç verdiği belirtilmektedir (Chua ve Chou, 2005).

Datta ve Ni (2002); arpa üzerinde yaptıkları çalışmada SH, IR ve MW kurutma tekniklerinin ulü kombinasyonunu kullanmış ve tek başına SH (70°C) ile kurutmaya nispeten %245 enerji tasarruf ettiklerini bildirmişlerdir (Hebbar ve diğ., 2004).

MW kurutma ve IR kurutma ile şeftaliler üzerinde yapılan bir çalışmada, her iki tekniğin karşılaştırılması yapılmış ve kurutmanın başlangıç aşamalarında IR kurutmada dehidrasyon oranının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte IR kurutmada; duysal özelliklerin en yüksek derecede korunduğu kurutma gücü 2,891 kW/kg; enerji tüketiminin en düşük olduğu kurutma gücü ise 2,860 kW/kg olarak belirlenirken MW kurutmada ise kurutma gücü arttıkça enerji tüketim oranının azaldığı ve duysal özelliklerin en yüksek derecede korunduğu kurutma gücünün 1,231 kW/kg olduğu tespit edilmiştir (Wang ve Sheng, 2006).

2.2. Fumonisinlerin Stabilitésinin Anlaşılmasına Yönelik alışmalar

Gıda işleme prosesleri sırasında; gıdalar kesme-parçalama, öğütme, temizleme, ezme, ısıl işlem, konserve etme, ekstrüzyon vb. pek çok farklı işlem ile muamele olurlar. Bu proseslerin gıdada mevcut bulunan mikotoksinler üzerindeki etkileri değişken olmakla beraber; yüksek sıcaklıkların kısmen daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, bu proseslerin de mikotoksinleri nispi olarak azalttığı ancak elimine edemediği bildirilmektedir (Bullerman ve diğ., 2007).

FB₁ üreticisi *Fusarium verticilloides* kültürünün 60 °C' de 24 saat boyunca kurutulması sonucu FB₁ miktarında hiçbir değişim gözlenmezken, 30 dakika boyunca suda kaynatılması sonrası da herhangi bir degradasyona uğramadığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte daha yüksek sıcaklıklarda önemli degradasyonlar görülebilmektedir (Bullerman ve diğ., 2007).

Dupuy ve diğ., (1993) ise, kontamine mısırın 150 °C' de 10 dakika, 125 °C' de 30 dakika, 100 °C' de 175 dakika ve 75 °C' de 8 saat ısıtılmasına tabi tutulması ile FB₁ miktarında %50 azalma sağlandığını tespit etmiştir. Scott ve Lawrence (1994), 190 °C' de 60 dakika ısıtılmasının kuru mısırdaki %20, nemli mısırdaki ise %42 oranında fumonisin degradasyonu sağladığını rapor etmişlerdir. Jackson ve diğ.'in (1997) yaptığı araştırmaya göre 220°C' de 25 dakika boyunca uygulanan ısıtılma işlemi sonucu FB₁'in tamamının parçalanabildiği tespit edilmiştir (Katta ve diğ., 1999).

Jackson ve diğ. (1996), model sistemlerde fumonisin stabilitesini incelemişler ve fumonisinlerin 4, 7 ve 10 pH' larda stabil olduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte fumonisinlerin en çok nötral koşullarda en az da pH 4'te stabil olduğu rapor edilmiştir. Ancak pH ayırt etmeksizin 175 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda FB'lerin %90 oranda degrade olduğunu bildirmektedir (Murphy ve diğ., 2006).

Ayıklama, sınıflandırma ve yıkama gibi işlemlerin kontamine olmuş materyali uzaklaştırmak bakımından etkili olduğu ancak mikotoksinlere zarar vermediği belirtilmektedir. Bununla birlikte yapılan bir araştırmaya göre yıkama yolu ile fumonisinlerin %29-69 oranında uzaklaştırılabildiği rapor edilmiştir (Bullerman ve diğ., 2007).

Yaş öğütülmüş kontamine mısırın nişasta hariç tüm fraksiyonlarında (gluten, lif, atık su, embriyo) fumonisin bulunduğu rapor edilmiştir. Kuru öğütülmüş kontamine mısırlarda da kepek tabakası başta olmak üzere embriyo, un ve diğer fraksiyonlarda fumonisin tespit edilmiştir (Murphy ve diğ., 2006).

Ekstrüzyon prosesi, gıda endüstrisinde yoğun olarak kullanılan bir prosesdir. Pek çoğu kontamine mısır hammadde kaynaklı çerezlik ürünler ve kahvaltılık gevrekler günümüzde oldukça yüksek oranda tüketilen gıdalardır. Ekstrüzyon işlemi sırasında ürün, yüksek sıcaklık ve yüksek basınca maruz bırakılmaktadır. Bu sebeple ekstrüzyon prosesinin mikrobiyal yükü azalttığı bilinmektedir. 160 °C' de ekstrüzyon

işlemine tabi tutulmuş kontamine mısırların FB₁ miktarlarında %50 ye varan azalma sağlanabildiği belirtilmektedir (Katta ve ark., 1999).

Fumonisinlerin kalsiyum hidroksit ve ısı ile muamele edilmesi (nikstamalizasyon) sonucu FB₁'in hidrolize olduğu ve amino pentol bileşiklerinin olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte bir dekontaminasyon prosedürü olarak düşünülen bu işlemin uygulanabilirliğine dair pek çok soru işareti bulunmaktadır. Bu prosese tabi tutulmuş kontamine mısırlarla beslenen farelerde toksik emarelerin oluşması; nikstamalizasyon prosesinin toksisiteyi engelleyemediği ihtimalini kuvvetlendirmektedir (Shephard ve diğ.,1996; Murphy ve diğ., 2006).

Bilindiği üzere ozonlama ve ışınlama prosesleri de gıdaların mikrobiyal yükünü azaltmak amacıyla kullanılan işlemlerdir. B grubu fumonisinlerin ozonlanması; fumonisinlerin, 3-keto-fumonisin B versiyonuna dönüşmesini sağlamaktadır. Ancak bu versiyonun da fumonisin ile aynı toksisiteye sahip olduğu; diğer bir deyişle ozonlama prosesinin toksisiteyi azaltmadığı bildirilmektedir (Murphy ve diğ., 2006). Mutlaka belirtmek gerekir ki miktar azalması aynı zamanda toksisite azalması anlamına gelmemektedir (Katta ve ark., 1999).

Mısırda fumonisin kontaminasyonunu azaltmak veya ortadan kaldırmak amacı ile uygulanan yöntemlerden bir diğeri de gama ışınları ile kontamine örneklerin ışınlanmasıdır. Castro ve diğ., (2007) yaptıkları çalışmada mısır örneklerine *Fusarium verticilloides* sporları süspansiyonu inoküle etmiş ve yapay olarak kontamine olan mısır örneklerini 2, 5 ve 10 kGy dozlarında gama ışınına maruz bırakmıştır. Kontrol ve kontamine örneklerdeki fumonisin miktarının analiz edildiği çalışmada 5 ve 10 kGy dozlarının fumonisin miktarını azaltmak amacıyla kullanılabileceği; 2 kGy dozun ise verimli olmadığı gibi canlı kalan küf mantarlarının, kontrol örneklere nispeten daha fazla fumonisin ürettiği bildirilmiştir (Castro ve diğ., 2007). Başka bir çalışmada ise FB₁ ile yapay olarak kontamine edilmiş farklı tahıllara gama ışınları uygulanmış ve 5 kGy ışın dozunun buğdayda %96,6; mısırda %87,1 ve arpada %100 oranında FB₁ inaktivasyonuna neden olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte 7 kGy gama ışın dozunun ise mısır ve buğdayda FB₁'i tamamen inaktive edebildiği de belirtilmektedir (Aziz ve diğ., 2007).

2.3. Fumonisinlerin Kantitatif Analizine Yönelik Çalışmalar

Gıda ve yemlerde fumonisin analizi için pek çok metot geliştirilmiş olup, bunlar; Enzim bağlı immunosorban tekniği (ELİSA), farklı dedektör tipleri ile kombine edilmiş sıvı kromatografisi (LC) yöntemleri, gaz kromatografisi ve kütle spektrometresi (GC-MS) yöntemleri ve ince tabaka kromatografisi (TLC)' dir (Shephard ve diğ., 1996). Bununla birlikte kapiller elektroforez (CE) yöntemi de son yıllarda fumonisin analizi için kullanılan tekniklerden biridir. Bu metotların her birinin belli avantajları ve dezavantajları mevcut olup, en çok kullanılan metot ise yüksek basınçlı sıvı kromatografisi (HPLC) dir (Wang ve diğ., 2008).

Fumonisinler; ultraviyole ışınları absorblamadıklarından ve floresans özellik göstermediklerinden çeşitli maddelerle türevlendirilmek suretiyle analiz edilmektedir. Türev ajanı olarak, o-Phthaldialdehyde (OPA), Naphthalene-2,3-dicarboxaldehyde (NDA), Fluorescamine (FA), 9-Fluorenylmethyl chloroformate (FMOC), 4-Fluoro-7-nitrobenz-2-oxa-1,3-diazole (NBDF) gibi maddeler kullanılmakta ancak en yaygın ajan olarak OPA karşımıza çıkmaktadır (Shephard ve diğ., 1996).

Fumonisinlerin analizine ilişkin yapılan ilk önemli çalışmalardan biri Shephard ve diğ.'e (1990) ait olup, çalışmada ters faz HPLC yöntemi kullanılmış, fumonisinler OPA ile türevlendirilmiştir. Bu yöntem, AOAC (2000)' de belirtilen ve uluslar arası geçerliliği olan fumonisin metodunun da temelini oluşturmaktadır.

Fumonisin analizine dair hususlar arasında mutlaka belirtmek gerekir ki, fumonisinlerin doğal olarak kontamine olduğu ürünlerde ekstraksiyon prosedürü daha güç olmaktadır. Bunun sebebi, toksinin substrat bileşenleri ile oldukça sağlam yapılar geliştirmiş olmasıdır (Bennett ve Richard,1994).

Amerika'ya ithal edilen mısırlar arasından incelenen 140 örneğin neredeyse hepsinde fumonisin kontaminasyonuna rastlanmış ve toplam örneğin %48'sinde 1000 µg/kg'ın üzerindeki dozlarda FB₁, FB₂ ve FB₃ (toplam) tespit edilmiştir. Bununla birlikte ilk temizleme adımı olan mekanik temizlemeden sonra fumonisin

düzeinin %32 azalma gösterdiği bildirilmiştir. Çalışmada ters faz HPLC yöntemi kullanılmış ve fumonisinler OPA ile türevlendirilerek floresans dedektör ile analiz edilmiştir (Scudamore ve Patel, 2000).

Kore’de yapılan bir çalışmada; 30 arpa örneği, 32 arpadan yapılmış çeşitli gıda ürünleri, 18 mısır örneği ve 47 mısır bazlı ürün olmak üzere toplam 127 örnekte FB₁ analizi yapılmıştır. Analizler önce ELİSA tekniği ile yapılmış ve pozitif bulunan örnekler, doğrulama amacı ile HPLC’ de tekrar analiz edilmiştir. Çalışmada incelenen arpadan yapılmış ürünlerin %6’sında ortalama 16 µg/kg düzeyinde; mısır bazlı ürünlerin %19’unda ortalama 74 µg/kg düzeyinde FB₁ tespit edilmiştir. Pek çok çalışmanın aksine; bu araştırmada mısır ve arpa örneklerinin kendilerinde ise dedekte edilebilir düzeyde FB₁ bulunamamıştır (Park ve diğ., 2002).

Hırvatistan’da yapılan bir araştırmada incelenen toplam 49 mısır örneğinin hepsinde 142,2 ile 1377,6 µg/kg aralığında çeşitli dozlarda FB₁ kontaminasyonuna rastlanmıştır; buna karşılık FB₂ türü bu mısırların sadece 3 tanesinde ve 68,4; 109,2 ve 3084 µg/kg düzeylerinde bulunmuştur. Aynı çalışmada zearalenone ve okratoksin A (OTA) gibi diğer mikotoksinler de analiz edilmiş olup, fumonisin toksininin sıklıkla başka toksinlerle birlikte bulunduğu bildirilmiştir. İncelenen örneklerin sadece %8’inde FB₁ tek başına bulunurken, %55’inde FB₁ ve zearalenon %37’sinde de FB₁, zearalenon ve okratoksin A’nın birlikte bulunduğu gözlenmiştir (Domijan ve diğ., 2005).

Portekiz’de yapılan bir çalışmada; farklı süper marketlerden alınan 22 mısır ve 9 mısır ürünü (mısır unu vb.) olmak üzere toplam 31 örnek incelenmiştir. Bunlardan 14’ünün 113 ile 2026 µg/kg aralığında değişen dozlarda fumonisinler ile kontamine olduğu belirtilmektedir. Portekiz’de fumonisinlerin tahmin edilen günlük alım miktarınının 0.14 µg/kg olduğu bildirilmektedir. Bununla birlikte sadece mısır örnekleri (22 tane) incelendiğinde FB₁ kontaminasyon ortalaması 329 µg/kg ve FB₂ ortalaması 131 µg/kg olarak karşımıza çıkmaktadır. Pek çok ülkede mısır örneklerinde fumonisin kontaminasyonuna ilişkin araştırmalar yapılmıştır. Bunlar arasında 4800 µg/kg FB₁ ve 1900 µg/kg FB₂ kontaminasyon ortalaması ile İspanya;

3046 µg/kg FB₁ ve 1268 µg/kg FB₂ ortalaması ile Amerika; 1930 µg/kg FB₁ ortalaması ile Fas ve daha pek çok ülke bulunmaktadır (Lino ve diğ., 2006).

Yine Portekiz’de yapılan bir başka çalışmada piyasadan rasgele toplanan 30 mısır ekmeği örneği incelenmiş ve bunların 24 tanesinin (%80) FB₁, 25 tanesinin (%83) de FB₂ ile kontamine olduğu tespit edilmiştir. Kontaminasyon dozunun FB₁ için 0 ile 448 µg/kg arasında; FB₂ için 0 ile 207 µg/kg arasında değiştiği belirtilmiştir (Lino ve ark., 2007).

İtalya’da yapılan bir başka araştırmada ise incelenen mısır örneklerinde 0,37 ile 64,15 mg/kg arasında FB₁ tespit edilmiştir. Kontamine mısırlarda bulunan fumonisinlerin %60’ını FB₁ türü oluşturmaktadır. FB₂ ve FB₃ türleri ise daha az oranlarda tespit edilmiş olup; görülme miktarları sırasıyla 0,19-37,09 mg/kg ile 0,04-16,69 mg/kg arasında değişmektedir (Cavaliere ve diğ., 2007).

Tarım tekniğinin fumonisin gelişimine etkisini inceleyen bir araştırmada 30 geleneksel ve 30 organik tarım ile yetiştirilmiş toplam 60 tane mısır örneği incelenmiştir. Geleneksel tarım ile yetiştirilen mısırların %13,3’ünün FB₁, %10’unun FB₂; organik tarım ile yetiştirilen mısırların ise %10’unun FB₁ ve %6,7’sinin de FB₂ ile kontamine olduğu rapor edilmiştir. Bununla birlikte geleneksel tarım ile yetiştirilmiş kontamine mısırlarda tespit edilen ortalama FB₁ dozu 43; FB₂ dozu 22 ng/g olarak belirlenirken; organik tarımda bu ortalamaların sırasıyla 35 ve 19 µg/kg olduğu belirtilmiştir. Araştırmada; tarım tekniğinin fumonisin gelişimine önemli bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır (Arino ve diğ., 2007).

Yapılan bir çalışmada fumonisin ile kontamine olmuş yem ile beslenen ineklerin sütüne de 1,29 ng/ml gibi çok düşük miktarda fumonisin geçtiği bildirilmiş ancak, daha sonra yapılan başka araştırmalar bu transferi kanıtlamakta başarılı olamamıştır (Shephard ve diğ., 1996).

2.4. Fumonisinlerin Alımına İlişkin Ulusal ve Uluslar Arası Regülasyonlar

Türk Gıda Kodeksinde 17 Mayıs 2008 tarihinde yayınlanan ulusal düzenlemeye göre FB₁ ve FB₂ toplamının maksimum limitleri; işlenmemiş mısırdaki 4000 µg/kg, doğrudan insan tüketimine sunulan mısır ve mısır bazlı ürünlerde 1000 µg/kg, mısır bazlı kahvaltılık tahıllar ve mısır bazlı çerezlerde 800 µg/kg; işlenmiş mısır bazlı bebek veya çocuk ek gıdalarında 200 µg/kg olarak belirlenmiştir (Anonim, 2008e).

2002 yılında Birleşmiş Milletler' e bağlı FAO/WHO örgütleri bünyesinde bulunan Katkı Maddeleri Uzmanlar Komitesi (JECFA), fumonisinlerin günlük alım miktarı için 2 mg/kg vücut ağırlığı limitini önermiştir. Amerikan Gıda ve İlaç Örgütü (FDA) ise, fumonisin türünün ve total diyet içerisindeki oranının da dikkate alınması gerektiğine işaret ederek; fumonisinlerin günlük maksimum alımının gıdalarda (gıdanın tipine, işlenme durumuna, tüketici grubuna vb. özelliklere bağlı olarak) 2-4 mg/kg, yemlerde ise 5-100 mg/kg düzeyinde olması gerektiğini bildirmiştir. 2003 yılında Uluslar arası Kanser Araştırmaları Enstitüsü (IARC) fumonisinleri "insanlar için muhtemel kanserojen madde" olarak Grup 2B'de sınıflandırmıştır (Wang ve diğ., 2008).

Amerika'da pop-corn üretimi için yetiştirilen mısırlarda 3 mg/kg, diğer mısır ürünleri için yetiştirilen mısırlarda ise 4 mg/kg ve yemlik mısırlarda da yetiştirildiği hayvan grubu ve amaca göre çeşitli dozlarda sınırlamalar getiren düzenlemeler mevcuttur (Murphy, 2006). Avrupa ülkeleri içinde sadece İsviçre; mısır ve ürünlerinde FB₁ ve FB₂ toplamı için maksimum 1000 µg/kg sınırlaması getirmiştir (Anonim, 2007a, Creppy, 2002).

BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Araştırmada materyal olarak kullanılan mısır örnekleri, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünden elde edilmiş ve at dışı mısır çeşidi (*Zea mays indentata*) kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Hasat Dönemi

Mısırlar fizyolojik olum dönemini takiben 5 farklı dönemde hasat edilmiştir. Hasat tarihi ve hasat edildiği nem miktarı sırası ile şöyledir:

Tablo 1. Örneklerin hasat tarihi ve nem içerikleri

Hasat Tarihi	Nem miktarı (%)
10.09.2007	29
24.09.2007	24
08.10.2007	19
22.10.2007	16
29.10.2007	15

3.2.2. Örneklerin Hazırlanması

Hasat edilen mısırlar, kılıfları soyulduktan sonra elle tanelenmiştir. Mısır koçanları, tarladan tesadüfi olarak toplandığı için tanelenen mısırlar analiz için ayrılmadan önce elle karıştırılmak suretiyle homojenize edilmiştir. Toksin (FB₁ ve FB₂) analizlerinde kullanılacak tane mısırlar, analiz zamanına kadar -25°C' de; ham protein, toplam karotenoid ve renk tayini yapılacak mısırlar ise bez torbalarda kuru ve serin şartlarda saklanmıştır.

3.2.3. Deneme Planı

Tüm analizlerde kontrol örneğini tarla koşullarında doğal olarak kuruyan ve hasattan sonra hiçbir kurutma işlemine tabi tutulmayan örnekler temsil etmektedir. Çalışma boyunca toksin analizleri için toplam 75; renk, ham protein ve toplam karotenoid analizlerinin her biri için ise 45 mısır örneği incelenmiştir. Denemeler 3 tekerrür ve 2 paralel tertibinde yürütülmüştür.

3.2.3.1. Toksin Analizleri (Survey Çalışması) İçin Deneme Planı

Toksin analizleri için, belirtilen beş farklı hasat döneminin her birinde toplanan mısır örneklerinden, her kurutma tekniği için toplam 500 g mısır örneği ayrılmıştır.

Tablo 2. Toksin analizleri için deneme planı

Hasat					
Dönemi /	10.09.2007	24.09.2007	08.10.2007	22.10.2007	29.10.2007
Kurutma	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
teknikleri					
Kontrol	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
IR	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
SH	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
IR-SH	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
MW	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX

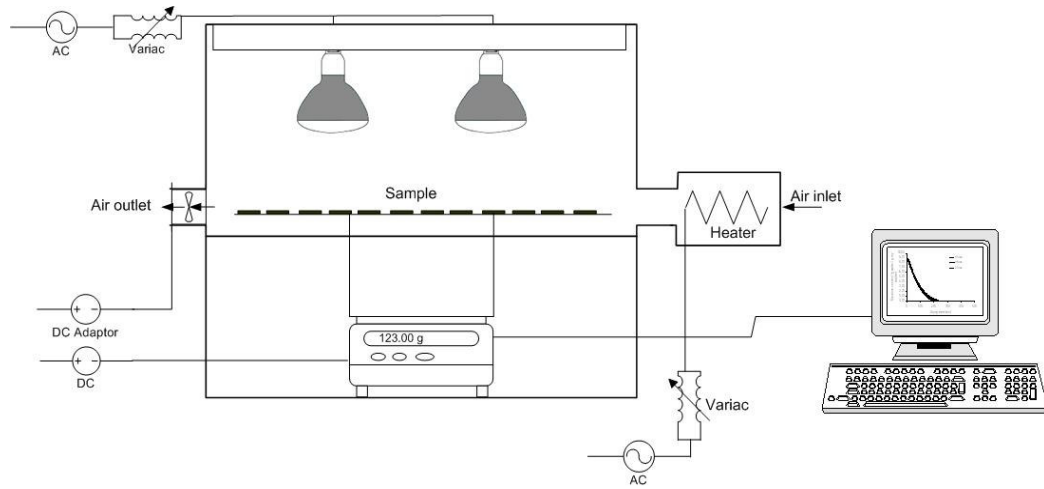
3.2.3.2. Renk, Ham Protein ve Toplam Karotenoid Analizleri İçin Deneme Planı

Bu analizlerin her biri için belirtilen 3 dönemde hasat edilen mısırlardan toplam 200 g mısır örneği incelenmiştir.

Tablo 3. Renk, ham protein ve toplam karotenoid analizleri için deneme planı

Hasat Dönemi / Kurutma teknikleri	24.09.2007	22.10.2007	29.10.2007
Kontrol	XXX	XXX	XXX
IR	XXX	XXX	XXX
SH	XXX	XXX	XXX
IR-SH	XXX	XXX	XXX
MW	XXX	XXX	XXX

3.2.4. Kurutma Sistemi ve Kurutma Parametreleri



Şekil 2. Infrared ve Sıcak Havalı Kurutma Sistemi

Şekil 2’de IR ve SH kurutma düzeneğinin şekli görülmektedir. Kullanılan düzeneğe, Kocabıyık ve Tezer (2008)’in havuç kurutmada kullandığı kurutma düzeneğinin aynısıdır. Düzenekte her birinin maksimum gücü 250 W olan iki adet IR lamba (Philips) bulunmaktadır. Kurutma kabınınin tüm iç yüzeyi infrared ışığını homojen bir şekilde yansıtabilmesi ve dolayısıyla kurumanın homojen olarak gerçekleşmesi için alüminyum folyo ile kaplanmıştır. Örneğin üzerine konduğu düzeneğe parlak metalden yapılmıştır. Örnek tablası, 0,01 hassasiyetli bir terazi

üzerinde bulunmaktadır. Terazi RS-232 kablo ile bilgisayara bağlanmıştır. Bilgisayar programı sayesinde mısırların zamana bağlı ağırlık kayıpları ve kuruma hızları izlenebilmektedir. Ölçümler istenilen periyotlarda alınabilmekte olup; bu çalışmada sisteme 3 dakikalık aralıklarla bilgi aktarılmıştır. Kurutma kabininin sol tarafında 3 adet 1,5 m/s hava hızına ayarlanmış fan bulunmaktadır. Fanlar; ısınan hava ile beraber kabin içerisine dolan nemi uzaklaştırmaktadır. Sağ tarafta ise maksimum 1000 W güçte çalışan iki adet elektrikli ısıtıcı bulunmaktadır. Kabine giren hava bu ısıtıcılarla ısıtılmakta olup, sıcaklığın derecesi bir reostayla kontrol edilebilmektedir.

Yapılan ön denemeler neticesinde, lambalar 250 W güçte ve fanlar 1,5 m/s hava hızı ile çalışıldığında IR ışığın mısır yüzeyine 45 °C' lik bir sıcaklık verdiği tespit edilmiştir. SH kurutma tekniğinde ise, fanlardan çıkan havanın sıcaklığı 45 °C olacak şekilde ayarlanabilmektedir. Çalışmada kullanılan bir diğer kurutma tekniği olan MW kurutma ise Siemens V12 HF126240 model mikrodalga fırında gerçekleştirilmiş olup 90 W güç ve 2450 MHz frekans kullanılmıştır.

3.2.5. Enerji Sarfiyatının Hesaplanması

Enerji sarfiyatı hesaplamaları aşağıda belirtilen eşitliğe göre yapılmıştır.

$$EC = \frac{E_T \times dt}{M_i - M_f}$$

Burada EC “%1 nem kaybı için sarf edilen enerji miktarı”nı (kWh) ifade etmektedir. E_T toplam enerji sarfiyatını (kWh) göstermekte ve IR lambaları ile SH kaynağının harcadığı enerjiyi tanımlamaktadır. Kurutma sisteminde mevcut bulunan fanların harcadığı enerji miktarı çok küçük olduğundan ihmal edilmiştir. Ayrıca dt kuruma süresini (dk), M_i başlangıç nemini (%) ve M_f de ürünün son nemi olan %13'ü ifade etmektedir.

Uygulanan kurutma işlemlerinden infrared kurutmada 2 adet her biri 250 W gücünde IR lamba kullanılmış ve lambalar maksimum güçte çalıştırılarak toplam 500W güç harcanmıştır. SH ile kurutma yönteminde fanlardan çıkan havanın sıcaklığı 45 °C olarak ayarlandığında 300 W 'lık bir güç harcadığı tespit edilmiştir. IR-SH kurutma teknikleri kombine kullanıldıklarında ise her iki yöntemin toplam gücü 800 W. Mikrodalga ile kurutulan örneklerde; 500 g'lık örnek hacmi mikrodalga döner tablasına sığmadığından kesikli kurutma yapılmış; dolayısıyla enerji sarfiyatı hesaplanmamıştır.

3.2.6. Fiziksel Analizler

3.2.6.1. Renk Tayini

Mısır tanelerinin hasat dönemi ve kurutma tekniklerine bağlı renk değişimleri, CR-400 model Minolta (Minolta. Co. Ltd., Japonya) kolorimetre kullanılarak ölçülmüştür. Sonuçlar, CIE sistemine göre *L* (parlaklık), *a* (kırmızılık/yeşillik), *b* (sarılık/mavilik) ile renk yoğunluğu (kroma değeri), Hue açısı ve Redness ifadeleri açısından değerlendirilmiştir. Mısırlar daha çok yüzeyde renk değişimi gösterdiği için öğütülmeden tane üzerinden ölçüm yapılmıştır. Renk analizleri 3 tekrür ve 5 paralelli olarak 5x3x3 faktöriyel deneme düzenine göre planlanmıştır.

3.2.7. Kimyasal Analizler

3.2.7.1. Örneklerin Kuru Madde (Nem) İçeriğinin Belirlenmesi

Örneklerin nem içerikleri, etüvde kurutma yöntemi ile AOAC, 2000'e göre belirlenmiştir.

3.2.7.2. Ham Protein Tayini

Mısırlardaki ham protein, Kjeldahl yöntemine göre % azot tayin edilerek yapılmış ve sonuçlar 5,75 faktörü ile çarpılarak hesaplanmıştır (AOAC, 2000).

3.2.7.3. Toplam Karotenoid Tayini

0,5 g öğütülmüş mısır üzerine 6 mL etanol : BHT (1:1) karışımı konarak 85°C’ de su banyosunda bekletilmiştir. Daha sonra karışıma katalizör olarak 120 µL KOH eklenmiş ve tekrar inkübasyona bırakılmıştır. Örnekler soğutulduktan sonra 3 mL petrol eter : dietiler (3:2) karışımı eklenerek, 10 dakika 1400xg’ de santrifüjlendikten sonra faz ayrımı sağlanmış ve üstte kalan faz başka bir tüpe aktarılmıştır. Bu işlem 3 defa tekrarlanmıştır. Son olarak toplanan yaklaşık 10 mL ekstrakt spektrofotometrede 450 nm’ de okunmuştur (Hulshof ve diğ., 2007).

3.2.8. Enstrümental Analizler

3.2.8.1. Fumonisin Miktarlarının Yüksek Basıncılı Sıvı Kromatografisi (HPLC) Kullanılarak Belirlenmesi

Fumonisin miktarı analizi, AOAC (2000)’de belirtilen yöntem; kısmen modifiye edilerek yapılmıştır. Mısırdan ekstrakte edilen fumonisinler, vakumlu katı faz ekstraksiyon ünitesinde (SPE) saflaştırılmış ve o-phytaldialdehyde (OPA) ile türevlendirilerek floresans dedektör ile analiz edilmiştir. Analiz hassasiyetinin artırılması için çalışmada iç Standart (IS) olarak bütül paraben kullanılmıştır. Molekül ağırlığı 194,25 g olan bütül parabenden 15,8 mg tartılarak %20 asetonitril ile stok çözelti hazırlanmış ve 10^{-4} ’e seyreltilerek kullanılmıştır.

3.2.8.1.1. Fumonisinlerin ekstraksiyonu

50 g tane mısır, 100 mL metanol-su (3:1) karışımı ilavesi ile ev tipi öğütücüde un haline gelene kadar parçalanmış ve homojenize edilmiştir. Karışım, plastik santrifüj tüplerine aktararak 10 dakika boyunca 500xg’de santrifüj edilmiştir. Üst kısımdan alınan supernatant, kaba filtre kağıdı ile filtre edildikten sonra, gerekli ise filtrat pH’ sı 1M NaOH ile pH 5,8-6,5 arasındaki değerlere ayarlanmıştır.

3.2.8.1.2. Katı Faz Ekstraksiyonu (SPE)

Anyon değiştirici katı faz ekstraksiyon tüpleri (SAX) ile yapılan saflaştırma işlemi 4 aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada SPE kartuşu 5 mL metanol ve ardından 5 mL metanol-su (3:1) ile koşullanmıştır. İkinci aşamada 10 mL ekstrakt kartuşa yüklenmiş ve takiben üçüncü aşamaya geçilerek kartuş 5 mL metanol-su (3:1) ve 5 mL metanol ile yıkanmıştır. Son olarak fumonisinler 10 mL asetik asit-metanol (1:99) karışımı ile elue edilmiştir.

Elde edilen 10 mL ekstrakt vakumlu etüvde asetik asit ve metanol tamamen uana kadar evapore edilmiş ve analiz edilene kadar -25°C' de saklanmıştır. Analiz edilirken ise uygun miktarda metanol ile tekrar çözündürülerek kullanılmıştır.

3.2.8.1.3. Analiz koşulları

Mobil faz: Metanol-0.1M Sodyum Dihidrojen Fosfat (Gradyent elüsyon)

Kolon seçimi: 150*4.6mm C18 ters faz kolon

Kolon sıcaklığı: 23°C

Enjeksiyon hacmi: 5µL (5µL rnek veya standart + 10µL IS + 45µL OPA)

Floresans dedektör koşulları: 0-6 dk arası 278– 315 nm; 6.dk.'dan sonra 335–440 nm

Akış hızı: 1mL/dk

Analiz süresi: 25 dk.

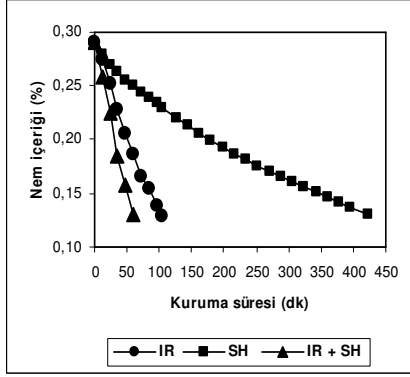
3.2.9. İstatistiksel Analizler

Veriler, tesadüf blokları deneme desenine göre, faktöriyel düzende varyans analiz tekniği (ANOVA) kullanılarak Minitab paket programı yardımıyla analiz edilmiştir. Verilerin yorumlanmasında Duncan oklu karşılaştırma testinden yararlanılmış olup MSTAT-C paket programı kullanılmıştır. Tüm denemeler (renk hariç) 3 tekerrür ve 2 paralel tertibinde yrtlmştir.

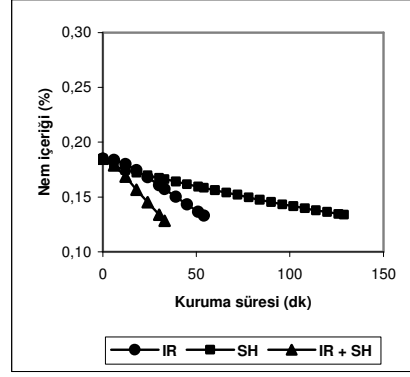
BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMA

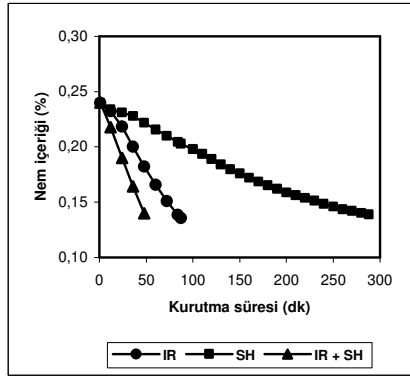
4.1. Kurutma Parametreleri İle İlgili Bulgular



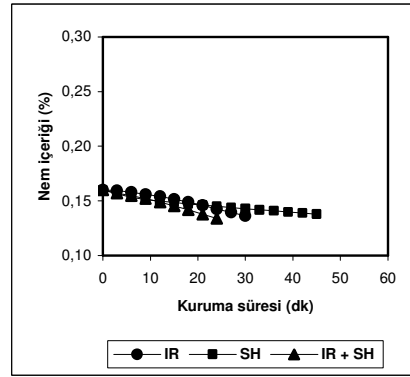
Şekil 3. Birinci hasat dönemine ait mısırlarda kurutma süresine karşılık nem içeriğindeki değişim



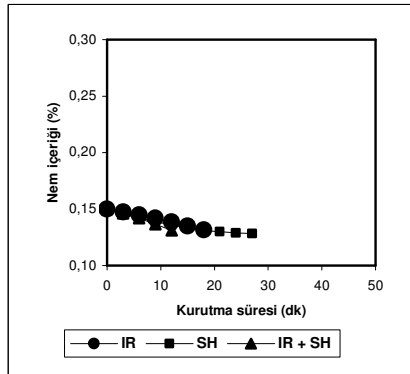
Şekil 4. İkinci hasat dönemine ait mısırlarda kurutma süresine karşılık nem içeriğindeki değişim



Şekil 5. Üçüncü hasat dönemine ait mısırlarda kurutma süresine karşılık nem içeriğindeki değişim



Şekil 6. Dördüncü hasat dönemine ait mısırlarda kurutma süresine karşılık nem içeriğindeki değişim



Şekil 7. Beşinci hasat dönemine ait mısırlarda kurutma süresine karşılık nem içeriğindeki değişim

4.1.1. Birinci Hasat Dönemine (10.09.2007) Ait Kurutma Sonuçları

Birinci hasat döneminde başlangıç nemi %29 olup; nem miktarı tüm kurutma denemelerinde olduğu gibi %13'e düşürülmüştür. IR ile kurutulan örneklerde toplam kurutma süresi 104 dakikadır. %1 nem kaybı için harcanan enerji Tablo 4'de de belirtildiği üzere 0,054 kWh' dir. SH ile kurutulan örnekler 422 dakika sonunda %13 nem seviyesine ulaşmıştır. %1 nem kaybı için harcanan enerji 0,132 kWh' dir. IR-SH kombinasyonu ile kurutulan örnekler için ise toplam kurutma süresi 60 dakika ve %1 nem kaybı için harcanan enerji 0,05 kWh' dir. Görüldüğü üzere, aynı örnek ve standart kurutma koşullarında nem miktarını %29'dan %13'e düşürmek için SH ile kurutmaya nispeten; IR kurutmada % 59, IR-SH kombinasyonlu kurutmada ise %62 daha az enerji sarf edilmiştir.

4.1.2. İkinci Hasat Dönemine (24.09.2007) Ait Kurutma Sonuçları

İkinci hasat döneminde başlangıç nemi %24'tür. IR tekniği ile kurutulan örnekler 87 dakika sonra %13 neme ulaşmıştır. %1 nem kaybı için harcanan enerji 0,066 kWh' dir. SH ile kurutma 288 dakikada sürmüştür. %1 nem kaybı için harcanan enerji 0,131 kWh' dir. IR-SH kombinasyonu ile kurutulan örneklerde nem miktarı %13'e 51 dakikada düşürülmüştür. %1 nem kaybı için harcanan enerji 0,062 kWh' dir. Sonuç olarak aynı örnek ve standart kurutma koşullarında nem miktarını %24'ten %13'e düşürmek için SH ile kurutmaya nispeten; IR kurutmada % 50, IR-SH kombinasyonlu kurutmada ise %53 daha az enerji sarf edilmiştir.

4.1.3. Üçüncü Hasat Dönemine (08.10.2007) Ait Kurutma Sonuçları

Üçüncü hasat döneminde başlangıç nemi %18,5'tir. IR kurutmada nem miktarı %13'e 54 dakikada düşürülmüştür. %1 nem kaybı için harcanan enerji 0,082 kWh' dir. SH ile kurutmada nem miktarı %13'e 129 dakikada düşürülmüştür. %1 nem kaybı için harcanan enerji 0,117 kWh' dir. IR-SH kombinasyonu ile kurutmada ise toplam kurutma süresi 33 dakika olup; %1 nem kaybı için harcanan enerji 0,08 kWh' dir. Sonuç olarak aynı örnek ve standart kurutma koşullarında nem miktarını

%18,5'ten %13'e düşürmek için SH ile kurutmaya nispeten; IR kurutmada % 52, IR-SH kombinasyonlu kurutmada ise %53 daha az enerji sarf edilmiştir.

4.1.4. Dördüncü Hasat Dönemine (22.10.2007) Ait Kurutma Sonuçları

Dördüncü hasat dönemine ait başlangıç nemi %16'dır. IR kurutmada nem miktarı %13'e 30 dakikada düşürülmüştür. %1 nem kaybı için harcanan enerji 0,083 kWh' dir. SH ile kurutmada toplam kurutma süresi 45 dakikadır. %1 nem kaybı için harcanan enerji 0,075 kWh' dir. IR-SH kombinasyonu ile kurutmada ise kurutma süresi 24 dakika olup; %1 nem kaybı için harcanan enerji 0,107 kWh' dir. Nem miktarı azaldıkça IR ve IR-SH kombinasyonu kurutma tekniklerinin enerji tasarrufu bakımından avantajının azaldığı tespit edilmiştir. Örneğin nem miktarının %16'dan %13'e düşürüldüğü bu hasat dönemi için aynı örnek ve standart kurutma koşullarında IR kurutma için harcanan enerji miktarı, SH ile kurutmada harcanan enerji miktarından %11 daha fazladır. Ürünün başlangıç nem miktarı azaldıkça IR-SH kombinasyonu ile kurutma tekniği; enerji sarfiyatı bakımından sözü edilen üç kurutma tekniği arasında en pahalı teknik olarak karşımıza çıkmaktadır. Öyle ki SH ile kurutma tekniğine nispeten %43 daha fazla enerji sarf edildiği tespit edilmiştir.

4.1.5. Beşinci Hasat Dönemine (29.10.2007) Ait Kurutma Sonuçları

Beşinci hasat dönemine ait başlangıç nem miktarı %15'tir. IR kurutma tekniği ile kurutmada nem miktarı %13'e 18 dakikada düşürülmüştür. %1 nem kaybı için harcanan enerji 0,075 kWh' dir. SH ile kurutmada ise toplam kurutma süresi 27 dakikadır. %1 nem kaybı için harcanan enerji ise 0,067 kWh' dir. IR-SH kombinasyonu tekniği ile kurutma da nem miktarı %13'e 12 dakikada düşürülmüştür. %1 nem kaybı için harcanan enerji 0,08 kWh' dir. Nem miktarının %15'ten %13'e düşürüldüğü bu hasat dönemi için, dördüncü hasat döneminde de görüldüğü gibi enerji bakımından en tasarruflu kurutma tekniğinin SH kurutma tekniği olduğu gözlenmiştir. SH kurutma tekniğine nispeten; IR tekniği ile kurutmada %12; IR-SH kombinasyonunun kullanıldığı kurutmada ise %19 daha fazla enerji harcanmıştır.

Tablo 4. Mısırın kuruma süreleri ve %1 nem kaybı için gerekli enerji miktarları

Hasat dönemi	Kurutma tekniği	Kurutma süresi (dk)	Toplam enerji (kWh)	%1 nem kaybı için harcanan enerji miktarı (kWh)
1. Hasat (10.09.07)	IR	104	0,866	0,054
	SH	422	2,110	0,132
	IR-SH	60	0,800	0,050
2. Hasat (24.09.07)	IR	87	0,725	0,066
	SH	288	1,440	0,131
	IR-SH	51	0,680	0,062
3. Hasat (08.10.07)	IR	54	0,450	0,082
	SH	129	0,645	0,117
	IR-SH	33	0,440	0,080
4. Hasat (22.10.07)	IR	30	0,250	0,083
	SH	45	0,225	0,075
	IR-SH	24	0,320	0,107
5. Hasat (29.10.07)	IR	18	0,150	0,075
	SH	27	0,135	0,067
	IR-SH	12	0,160	0,080

Tüm kurutma denemeleri göz önüne alındığında en az enerji sarf edilen kurutmanın birinci hasat döneminde ve IR-SH kombinasyonu ile kurutulan örneklere ait olduğu tespit edilmiştir. Bunu ikinci hasat döneminde ve yine IR-SH kombinasyonu ile kurutulan örnekler takip etmektedir. En fazla enerji sarfiyatının ise birinci hasat döneminde SH ile kurutmada harcadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmanın amacı hasat dönemi ve kurutma tekniğinin, ürünün başta toksikolojik ve diğer bazı özelliklerine etkisini incelemek olduğundan farklı hasat dönemlerine ve dolayısıyla farklı nem miktarlarına ait örneklerin kurutulması sırasında harcanan enerji; varılan sonuçların uygulanabilir olması açısından önem taşımaktadır. İlerleyen başlıklarda detayları ile anlatılacağı üzere erken hasadın; ürünün incelenen özellikleri açısından bazı avantajları olduğu sonucuna varıldığından; bu çalışmada IR-SH kombinasyonu ile kurutmanın, literatürde erken hasadın enerji maliyeti bakımından olumsuz sonuçları olduğuna dair bulgulara alternatif oluşturabileceği belirlenmiştir.

4.2. Toksin (Fumonisin B₁ ve B₂) Analizlerine İlişkin Bulgular

Fumonisinler UV absorpsiyonu olmayan ve floresans özellik göstermeyen maddelerdir. Bu nedenle sıvı kromatografi yöntemi ile analiz edilecekler ise çeşitli maddelerle türevlendirmek suretiyle floresans verici özellik kazandırılırlar. Fumonisin analizinde kullanılan pek çok türev ajanı mevcut olmakla birlikte bunlar arasında en yaygın kullanılanı o-Phthaldialdehide (OPA)' dir. Bu çalışmada da türev ajanı olarak OPA kullanılmıştır. Ancak OPA stabil bir madde değildir. Buzdolabı şartlarında ve tek başına 1 hafta gibi bir süre stabilitesini korumasına rağmen, fumonisinlerle karıştırıldığında çok kısa bir süre içerisinde floresans verici özelliği azalmaya başlamaktadır. Yöntemde (AOAC, 2000) de belirtildiği üzere OPA-fumonisin karışımının floresans özelliği karıştırıldığı andan itibaren 2 dakika sonra azalmaya başlamakta ve bu durum analiz sonuçlarının tekrar edilebilirliğini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle analiz boyunca türevlendirme işlemi standart koşullarda ve aletsel yollarla yapılmıştır.

Bilindiği üzere IS kullanımı, analiz hassasiyetini ve sonuçların tekrar edilebilirliğini olumlu yönde etkilemektedir. Bu nedenle IS olarak kullanılmak üzere bütül paraben, propil paraben ve propil 4 hidroksibenzoat gibi bazı maddeler denenmiştir. Rezolüsyon bakımından en uygun iç standart olarak bütül paraben seçilmiştir.

Yapılan literatür taramasında bütül parabenin en iyi 278 (excitation) – 315 (emission) nm' de floresans verdiği tespit edilmiştir (Shin ve diğ., 2001). Analiz koşullarında alıkonma zamanı yaklaşık 4 dakikadır. Bu nedenle floresans dedektör ile, ilk 6 dakika boyunca bütül parabenin 6. dakikadan sonra da fumonisinlerin en iyi floresans verdiği aralıkta 335-440 nm'de çalışılmıştır.

Bununla birlikte mobil fazda da gradiyent elüsyon kullanılmıştır. FB₁ piki elde edilene kadar (0-12 dk arası) mobil faz %72 metanol ve %28 fosfat tamponundan oluşmaktadır. 12 ile 21. dakikalar arasında ise bu oran %80 metanol ve %20 fosfat tamponu olacak şekilde değiştirilmiştir. Bu sayede FB₂'nin dedektörde nispeten daha

erken algılanması sağlanmıştır. Kromatogramda; analiz edilmek istenen tüm maddelerin cevapları görüldükten sonra (21. dakikadan sonra) mobil faz şartları bir sonraki analize hazırlık amacı ile 25. dakikaya kadar tekrar %72 metanol ve %28 fosfat tamponu bileşimine ayarlanmış ve kolonun yeniden koşullanmasına imkan verilmiştir. Analizler boyunca çalışma süresine bağlı olarak uygun aralıklar ile kolon %70 metanol ve %30 su ile yıkanmış ve tekrar koşullandırıldıktan sonra analize devam edilmiştir. Bu şekilde 75 tane örnek 2 paralelli olmak üzere 150 enjeksiyon yapılmıştır.

Elde edilen kromatogramlardaki pik alan değerlerinden konsantrasyona geçebilmek için bilinen konsantrasyonlarda setler hazırlanmış ve her bir konsantrasyon 2 paralelli olmak üzere 3 kez enjekte edilmiştir. Verilerin pik normalizasyon değerleri hesap edilerek konsantrasyon-pik alanı arasındaki denklem hesaplanmıştır.

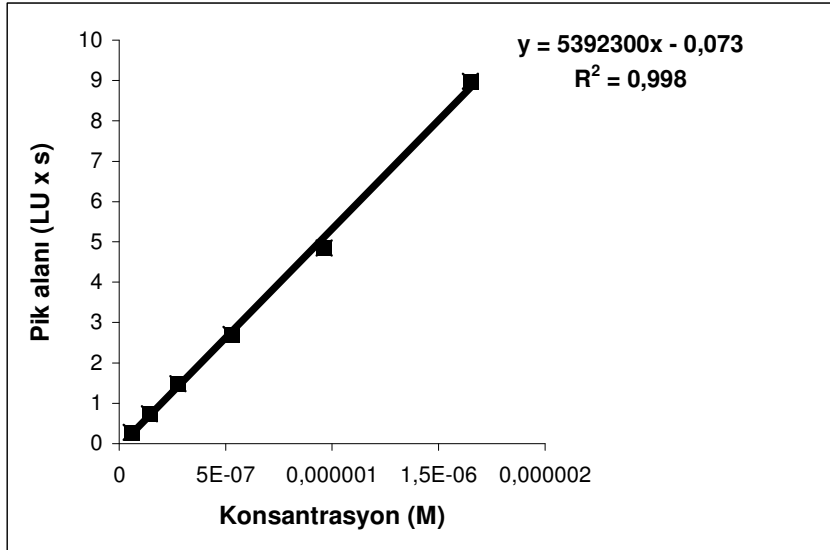
Hazırlanan setin konsantrasyonları seyreltikten derişige doğru aşağıdaki gibidir.

Tablo 5. Standart konsantrasyon derişimleri

1.	25 μ L	Fumonisin standardı (FB ₁ + FB ₂) + 2500 μ L	Asetonitril:Su (1:5)
2.	25 μ L	Fumonisin standardı (FB ₁ + FB ₂) +1000 μ L	Asetonitril:Su (1:5)
3.	25 μ L	Fumonisin standardı (FB ₁ + FB ₂) +500 μ L	Asetonitril:Su (1:5)
4.	50 μ L	Fumonisin standardı (FB ₁ + FB ₂) +500 μ L	Asetonitril:Su (1:5)
5.	100 μ L	Fumonisin standardı (FB ₁ + FB ₂) +500 μ L	Asetonitril:Su (1:5)
6.	100 μ L	Fumonisin standardı (FB ₁ + FB ₂) +250 μ L	Asetonitril:Su (1:5)

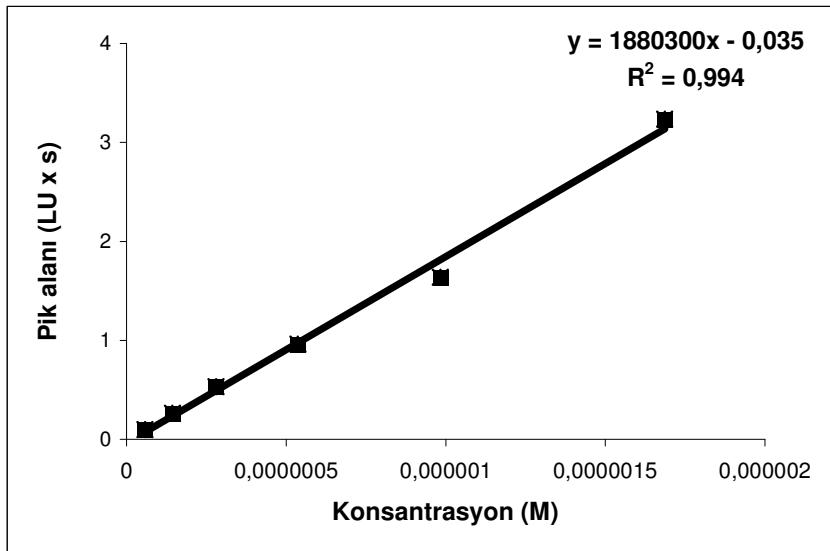
Veriler değerlendirildiğinde; FB₁ için $y = 5392300x - 0,073$ denklemi ($R^2 = 0,998$); FB₂ için ise $y = 1880300x - 0,035$ ($R^2 = 0,994$) denklemi elde edilmiştir. Yüksek R^2 değerleri, analizin doğruluğunu kuvvetlendirmektedir. Bu aşamadan sonra, bulunan denklemler kullanılarak konsantrasyon hesabına gidilmiştir.

4.2.1. Fumonisin B₁ denklemleri



Şekil 8. Standart FB₁ derişimlerine karşı elde edilen pik alanlarının değışimi

4.2.2. Fumonisin B₂ Denklemleri



Şekil 9. Standart FB₂ derişimlerine karşı elde edilen pik alanlarının değışimi

Fumonisin miktarları incelenen örnekler 5 farklı hasat döneminde tarladan tesadüfi olarak toplanan ve IR, SH, IR-SH kombinasyonu ve MW kurutma teknikleri olmak üzere 4 farklı kurutma yöntemi ile kurutulan mısırlardan oluşmaktadır. Bununla birlikte hiçbir kurutma işlemine tabi tutulmayan örnekler de kontrol olarak deneme planında yerini almıştır. Çalışmanın amacı yüksek oranda küf mantarı enfeksiyonuna maruz kalan ve fumonisin toksinlerinin en fazla izole edildiği mısır bitkisinde toksin miktarının erken hasat ve / veya farklı kurutma yöntemleri ile azaltılıp azaltılamayacağını araştırılmasıdır. Fumonisinler, ısıya karşı oldukça stabil oldukları bilinen toksinler olmakla birlikte, literatürde MW ve IR ışınlarının toksin stabilitesine etkilerini belirten bir çalışmaya rastlanmadığından kurutma tekniklerinin de fumonisin miktarını azaltabilecek bir faktör olup olmadığı incelenmiştir.

Mısır örneklerinde fumonisin konsantrasyonları hesap edildikten sonra, bulunan fumonisin miktarlarına, hasat dönemi, kurutma tekniği ve belirtilen faktörlerin birbirleri ile etkisi; her iki fumonisin türü (FB₁ ve FB₂) açısından da istatistiksel olarak incelenmiştir. Bulunan Fumonisin miktarı ortalamaları Tablo 6 ve 7'de gösterilmiştir.

Tablo 6. Hasat dönemi ve kurutma tiplerine göre ortalama FB₁(µg/kg) miktarı

Kurutma tipi/ Hasat dönemi	Kontrol	IR	SH	IR-SH	MW	Genel
1. Hasat (10.09.07)	39,5 (n=3)	6,9 (n=3)	59,3 (n=3)	15,1 (n=3)	168,5 (n=3)	57,9 (n=15)
2. Hasat (24.09.07)	1993,5 (n=3)	2375,7 (n=3)	1783,9 (n=3)	2490,1 (n=3)	2426,9 (n=3)	2214,0 (n=15)
3. Hasat (08.10.07)	381,4 (n=3)	529,8 (n=3)	1557,3 (n=3)	1002,2 (n=3)	505,6 (n=3)	795,3 (n=15)
4. Hasat (22.10.07)	729,0 (n=3)	3461,3 (n=3)	2523,3 (n=3)	2491,3 (n=3)	2225,9 (n=3)	2286,2 (n=15)
5. Hasat (29.10.07)	4558,7 (n=3)	4449,8 (n=3)	4053,8 (n=3)	5111,8 (n=3)	4724,2 (n=3)	4639,7 (n=15)
Genel	1600,4 (n=15)	2164,7 (n=15)	1995,5 (n=15)	2222,1 (n=15)	2010,2 (n=15)	1998,6 (n=75)

Tablo 7. Hasat dönemi ve kurutma tiplerine göre ortalama FB₂ (µg/kg) miktarları

Kurutma tipi/ Hasat dönemi	Kontrol	IR	SH	IR-SH	MW	Genel
1. Hasat (10.09.07)	10,6 (n=3)	0,0 (n=3)	25,9 (n=3)	6,4 (n=3)	77,9 (n=3)	24,2 (n=15)
2. Hasat (24.09.07)	687,1 (n=3)	714,0 (n=3)	548,8 (n=3)	830,3 (n=3)	889,0 (n=3)	733,8 (n=15)
3. Hasat (08.10.07)	120,4 (n=3)	199,4 (n=3)	513,1 (n=3)	296,5 (n=3)	284,3 (n=3)	282,7 (n=15)
4. Hasat (22.10.07)	239,8 (n=3)	1187,4 (n=3)	864,2 (n=3)	899,2 (n=3)	779,4 (n=3)	794,0 (n=15)
5. Hasat (29.10.07)	2094,4 (n=3)	1690,3 (n=3)	1440,1 (n=3)	2345,6 (n=3)	1868,6 (n=3)	1887,8 (n=15)
Genel	630,5 (n=15)	758,2 (n=15)	678,4 (n=15)	875,6 (n=15)	779,8 (n=15)	744,5 (n=75)

Mısırlar tarladan tesadüfi olarak toplandığı ve küf mantarları ile enfekte olan taneler koçanın belli bölgelerinde ve azınlıkta olduğu için örnek materyali yeterince homojen değildir. Bu nedenle belli hasat dönemi ve kurutma tipine ait sonuçlar birbirinden farklılık göstermektedir. Ancak genel eğilim; tarlada kalma süresi uzadıkça fumonisin miktarlarının her iki fumonisin türü için de artış göstermesi şeklindedir.

Sonuçlar kurutma tekniği bakımından karşılaştırıldığında ise yine aynı sebeple tutarlı bir azalma ya da artma olmadığı gözlenmiştir.

Nitekim yapılan istatistiksel analizler sonucu; fumonisin miktarına etki eden faktörlerden yalnızca fumonisin türü ve hasat dönemi interaksyonunun istatistiksel olarak önemli olduğu sonucuna varılmıştır ($p < 0,01$). Kurutmanın ve kurutma teknikleri arasındaki farkın fumonisin miktarına etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p > 0,01$).

Tablo 8. Farklı hasat dönemlerine ait mısırlarda analiz edilen fumonisin miktarları

Hasat Dönemi	Fumonisin B ₁ (µg/kg)			Fumonisin B ₂ (µg/kg)		
	Ortalama	En küçük	En büyük	Ortalama	En küçük	En büyük
1 (10.09.07)	57,9 (Ca)	7	340	24,2 (Ba)	8	156
2 (24.09.07)	2214,0 (Ba)	528	5408	733,8 (ABb)	250	1609
3 (08.10.07)	795,3 (Ca)	129	3328	282,7 (Ba)	49	1127
4 (22.10.07)	2286,2 (Ba)	42	5748	794,0 (ABa)	22	1984
5 (29.10.07)	4639,7 (Aa)	342	8145	1887,8 (Ab)	126	3650

Not 1: Aynı fumonisin türünde farklı büyük harflerle gösterilen hasat dönemi ortalamaları arasındaki farklar önemlidir (P<0,01).

Not 2: Aynı hasat döneminde farklı küçük harflerle gösterilen fumonisin türleri arasındaki farklar önemlidir (P<0,01).

Tablo 8’de de görüldüğü üzere, birinci ve üçüncü hasat dönemine ait örneklerdeki FB₁ kontaminasyon dozu diğer hasat dönemlerinden istatistiksel olarak önemli ölçüde düşük bulunmuştur (P<0,01). En yüksek FB₁ miktarı ise beklendiği üzere beşinci hasat döneminde gözlenmiştir. İkinci ve dördüncü hasat dönemlerine ait FB₁ miktarları ise orta düzeyde kontaminasyon dozu olarak sınıflandırılabilir.

FB₂ kontaminasyon dozunun, FB₁’ e benzer biçimde, beşinci hasat döneminde diğer hasat dönemlerine nispeten istatistiksel olarak önemli ölçüde yüksek olduğu belirlenmiştir (P<0,01). Bununla birlikte birinci ve üçüncü hasat dönemlerine ait ortalamalar, ikinci ve dördüncü hasat dönemlerine ait ortalamalardan önemli ölçüde düşük bulunmuştur. FB₂ kontaminasyonunun tüm hasat dönemlerinde FB₁ kontaminasyonu ile paralellik gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 8).

Toplam kontaminasyon dozu değerlendirildiğinde üçüncü hasat dönemine ait fumonisin miktarı ortalamalarının, birinci hasat dönemine ait ortalamalardan fazla

(hatta istatistiksel olarak aynı kategoride), ikinci hasat dönemine ait ortalamalardan ise az olduğu görülmektedir. Bu durumun tamamen şansa bağlı örnek alımından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 8'deki veriler fumonisin türü bakımından incelendiğinde ise birinci ve üçüncü hasat dönemlerinde FB₁ ve FB₂ türlerinin kontaminasyon dozu ortalamaları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı görülmektedir (P<0,01). Ancak ortalamalar matematiksel olarak incelendiğinde FB₂ türünün daha düşük dozlarda bulunduğu açıktır. Bu istatistiksel sonucun varyasyonun büyüklüğünden kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim ikinci, dördüncü ve beşinci hasat dönemlerinde FB₁ miktarlarının FB₂' ye göre istatistiksel açıdan önemli ölçüde yüksek bulunduğu görülmektedir (P<0,01).

ApSimon (1994), FB₂ türünün FB₁'in yaklaşık %15-25'i kadar bulunduğunu bildirmiştir. Thiel ve diğ. (1993) ise FB₂'nin bulunma sıklığı bakımından FB₁'in üçte birine denk geldiğini rapor etmiştir. Bu çalışmada bulunan sonuçlarda ise söz konusu oran %32-40 arasındadır.

Bulunan fumonisin değerleri mısır örnekleri üzerinde yapılan çalışmalarla örtüşmektedir. Domijan ve diğ., (2005) yaptıkları çalışmada 142,2 ile 1377,6 µg/kg aralığında çeşitli dozlarda FB₁, 68,4 ile 3084 µg/kg aralığında ise FB₂ kontaminasyonu rapor etmiştir. Lino ve diğ. (2006)'in belirttiği üzere İspanya, Amerika ve Fas gibi pek çok ülkede incelenen mısır örneklerinde fumonisin kontaminasyonu tespit edilmiş olup kontaminasyon ortalamaları sırasıyla 4800 µg/kg FB₁ ve 1900 µg/kg FB₂; 3046 µg/kg FB₁ ve 1268 µg/kg FB₂ ve 1930 µg/kg FB₁' dir.

Bu çalışmada beşinci hasat dönemine ait sonuçlar, çoğu literatürlerden yüksek olup, bu durum hasat zamanının geciktirilmesi ile yakından ilişkilidir. Diğer hasat dönemlerinde elde edilen fumonisin miktarları literatürdeki veriler ile oldukça yakındır.

Bununla birlikte incelenen tüm örnekler arasında elde edilen en küçük ve en büyük değerler FB₁ için sırasıyla birinci hasat dönemine ait kontrol örneğinde 7 ve beşinci hasat dönemine ait bir örnekte 8145 µg/kg'dir. FB₂ için ise; en düşük kontaminasyon dozu birinci hasat dönemine ait örnekte 8 µg/kg iken; en yüksek kontaminasyon dozu beşinci hasat dönemine ait örnekte 3650 µg/kg olarak belirlenmiştir.

Ayrıca birinci hasat döneminde incelenen 15 örnekten 4 tanesinde FB₁; 7 tanesinde de FB₂ dedekte edilememiştir.

4.3. Ham Protein İçeriğine Ait Bulgular

Çalışmada incelenen hasat dönemi ve farklı kurutma teknikleri faktörlerinin mısır bitkisi için önemli bir özellik olan protein içeriğine etkisi incelenmiştir.

Tablo 9. Farklı zamanlarda hasat edilen ve farklı kurutma teknikleri ile kurutulan mısırın ham protein içerikleri

Kurutma tekniği/ Hasat dönemi	Kontrol	IR	SH	IR-SH	MW
1 (24.09.07)	9,450 ± 0,052 (ABb)	10,074 ± 0,198 (Aa)	9,585 ± 0,069 (ABa)	9,799 ± 0,080 (Aa)	8,958 ± 0,100 (Bb)
2 (22.10.07)	10,688 ± 0,362 (Aa)	9,172 ± 0,053 (Bb)	9,310 ± 0,346 (Ba)	9,814 ± 0,147 (Ba)	10,885 ± 0,485 (Aa)
3 (29.10.07)	10,327 ± 0,135 (Aa)	10,304 ± 0,015 (Aa)	9,723 ± 0,026 (Aa)	10,518 ± 0,040 (Aa)	10,319 ± 0,095 (Aa)

Not 1: Aynı hasat döneminde farklı büyük harflerle gösterilen protein miktarı ortalamaları arasındaki farklar önemlidir (p<0,01).

Not 2: Aynı kurutma tipinde farklı küçük harflerle gösterilen protein miktarı ortalamaları arasındaki farklar önemlidir (p<0,01).

Sonuç olarak ham protein içeriği üzerine hem hasat dönemi hem de farklı kurutma tekniklerinin birlikte etkisi söz konusudur ($p<0,01$). Bu açıdan incelendiğinde, birinci hasat dönemine ait ve mikrodalga ile kurutulan örneklerde ham protein miktarı istatistiksel olarak önemli düzeyde daha düşük bulunmuştur ($p<0,01$). Bununla birlikte kontrol, yani hiçbir kurutma işlemine tabi tutulmamış örnekler ile SH ile kurutulmuş örneklerin ham protein miktarlarının birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Ayrıca IR ve IR-SH kombinasyonu ile kurutulmuş örneklerdeki ham protein miktarının birinci hasat dönemine ait en yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir (Tablo 9).

İkinci hasat döneminde, kontrol örnekler ve MW ile kurutulmuş örneklerde ham protein miktarının; IR, SH ve IR-SH kombinasyonu ile kurutulmuş örneklere nispeten daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0,01$). Üçüncü hasat döneminde ise kontrol ve farklı kurutma teknikleri ile kurutulmuş örnekler arasında ham protein miktarı bakımından istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($p<0,01$). İkinci ve üçüncü hasat dönemine ait örnekler, birbirine çok yakın başlangıç nemine sahiptir. Bu sebeple aralarındaki küçük de olsa istatistiksel açıdan önem arz eden farklılıkların şansa bağlı örnek alımından ve materyalin yeterince homojen olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.4. Toplam Karotenoid Miktarına İlişkin Bulgular

Çalışmada incelenen hasat dönemi ve farklı kurutma teknikleri faktörlerinin mısır bitkisi için önemli bir diğer özellik olan toplam karotenoid miktarına etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak toplam karotenoid miktarına hem hasat dönemi hem de farklı kurutma tekniklerinin birlikte etkisinin söz konusu olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Tablo 10. Farklı zamanlarda hasat edilen ve farklı kurutma teknikleri ile kurutulan mısırın toplam karotenoid içerikleri

Kurutma tekniği/ Hasat dönemi	Kontrol	IR	SH	IR-SH	MW
1 (24.09.07)	37,507 ± 0,874 (Aa)	38,822 ± 2,321 (Aa)	37,316 ± 0,225 (Aa)	36,802 ± 2,798 (Aab)	36,068 ± 2,392 (Aab)
2 (22.10.07)	36,888 ± 1,327 (ABa)	36,678 ± 2,032 (ABa)	32,161 ± 2,96 (Bb)	33,286 ± 0,737 (Bb)	38,860 ± 2,237 (Aa)
3 (29.10.07)	33,390 ± 0,819 (Ba)	36,268 ± 2,202 (Ba)	36,011 ± 0,201 (Bab)	41,490 ± 0,553 (Aa)	33,009 ± 0,457 (Bb)

Not 1: Aynı hasat döneminde farklı büyük harflerle gösterilen toplam karotenoid ortalamaları arasındaki farklar önemlidir ($P<0,05$).

Not 2: Aynı kurutma tipinde farklı küçük harflerle gösterilen toplam karotenoid ortalamaları arasındaki farklar önemlidir ($P<0,05$).

Birinci hasat dönemine ait mısırlarda, kurutmanın ve farklı kurutma tekniklerinin toplam karotenoid miktarına etkileri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsizdir ($p<0,05$). İkinci hasat dönemine ait örneklerde ise SH ve IR-SH kombinasyonu teknikleri ile kurutulan örneklerin karotenoid miktarları diğer kurutma teknikleri ile kurutulan ve kontrol örneklere göre daha yüksek bulunmuştur (Tablo 10). Üçüncü hasat döneminde ise IR-SH kombinasyonu ile kurutulan örneklerdeki toplam karotenoid miktarı diğer kurutma teknikleri ve kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek çıkmıştır ($p<0,05$).

Bununla birlikte, kontrol örnekler ve IR ile kurutulan örneklerde; hasat döneminin toplam karotenoid miktarına etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p<0,05$). SH ile kurutulan örneklerde ise en düşük karotenoid miktarı ikinci hasat dönemine aittir. IR-SH kombinasyonu ile kurutulan örneklerde en yüksek karotenoid miktarı üçüncü hasat dönemine ait örneklere aittir. MW tekniği ile

kurutulan örneklerde ise en yüksek toplam karotenoid miktarı ikinci hasat dönemine aittir (Tablo 10).

4.5. Renk Karakteristiklerine Ait Bulgular

Mısır tanelerinin hasat dönemi ve kurutma tekniklerine bağlı renk değişimleri, CIE sistemine göre *L* (beyazlık, parlaklık/siyahlık), *a* (kırmızılık/yeşillik), *b* (sarılık/mavilik) ile renk yoğunluğu (kroma değeri), Hue açısı ve Redness ifadeleri açısından değerlendirilmiştir.

Yapılan istatistiksel analizler sonucunda *L* değeri üzerine yalnızca hasat döneminin etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0,01$). Tablo 11. de elde edilen tüm veriler gruplar halinde açık olarak verilmiş olup, bunlardan sadece hasat dönemine ait ortalamalar önemlidir.

Tablo 11. Farklı zamanlarda hasat edilen ve farklı kurutma teknikleri ile kurutulan mısırın *L* değerleri

Kurutma tekniği/ Hasat dönemi	Kontrol	IR	SH	IR-SH	MW	Genel
1 (24.09.07)	63,078 ± 0,41 (n.s.)	66,228 ± 2,18 (n.s.)	67,410 ± 0,50 (n.s.)	65,734 ± 0,95 (n.s.)	67,446 ± 2,02 (n.s.)	65,979 ± 0,68 (A)
2 (22.10.07)	64,290 ± 4,42 (n.s.)	63,816 ± 1,93 (n.s.)	61,785 ± 4,00 (n.s.)	65,132 ± 1,46 (n.s.)	62,259 ± 1,60 (n.s.)	63,456 ± 1,17 (A)
3 (29.10.07)	53,402 ± 2,26 (n.s.)	53,299 ± 2,28 (n.s.)	63,309 ± 3,96 (n.s.)	56,809 ± 3,47 (n.s.)	63,497 ± 1,37 (n.s.)	58,063 ± 1,61 (B)
Ortalama	60,257 ± 2,24 (n.s.)	61,114 ± 2,25 (n.s.)	64,168 ± 1,83 (n.s.)	62,558 ± 1,82 (n.s.)	64,400 ± 1,15 (n.s.)	62,500 ± 0,85

Not 1: Farklı büyük harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,01$).

Not 2: n.s.: Ortalamalar arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli değildir.

Buna göre, beyazlık, parlaklık/siyahlık özelliklerini ifade eden *L* değeri, birinci ve ikinci hasat döneminde; üçüncü hasat dönemine nispeten önemli ölçüde yüksek bulunmuştur (Tablo 11).

Bununla birlikte kırmızılık/yeşillik özelliklerini ifade eden *a* değeri; sarılık/mavilik özelliklerini ifade eden *b* değeri ve renk yoğunluğunu ifade eden kroma değeri üzerine hem hasat dönemi hem de kurutma tekniklerinin birlikte etkisinin önemli olduğu yapılan istatistiksel analizler sonucu belirlenmiştir ($p < 0,05$).

Tablo 12. Farklı zamanlarda hasat edilen ve farklı kurutma teknikleri ile kurutulan mısırın *a*, *b* ve kroma değerleri

	Kurutma Tekniği/ Hasat Dönemi	Kontrol	IR	SH	IR-SH	MW		
<i>a</i>	1 (24.09.07)	9,643 ± 0,23 (Aa)	9,756 ± 1,32 (Aa)	6,255 ± 0,51 (Ab)	8,891 ± 0,94 (Aa)	8,001 ± 0,72 (Aa)		
	2 (22.10.07)	7,392 ± 2,28 (Bab)	7,924 ± 0,53 (Bab)	12,333 ± 1,24 (Aa)	7,989 ± 0,54 (Ba)	8,387 ± 1,24 (Ba)		
	3	5,960 ± 1,29 (Bb)	5,974 ± 0,83 (Bb)	10,708 ± 1,64 (Aa)	8,997 ± 1,44 (ABa)	7,148 ± 0,12 (Ba)		
	<i>b</i>	1 (24.09.07)	32,376 ± 0,98 (Aa)	35,255 ± 3,39 (Aa)	27,823 ± 3,26 (Ab)	34,339 ± 0,51 (Aa)	36,865 ± 1,97 (Aa)	
		2 (22.10.07)	26,260 ± 4,53 (Bab)	32,905 ± 0,80 (ABa)	38,856 ± 4,79 (Aa)	38,563 ± 4,76 (Aa)	32,001 ± 3,75 (ABa)	
		3	22,279 ± 2,73 (Bb)	22,700 ± 2,33 (Bb)	38,605 ± 4,76 (Aa)	30,296 ± 1,10 (ABa)	31,640 ± 2,53 (ABa)	
		Kroma	1 (24.09.07)	33,781 ± 1,01 (Aa)	36,620 ± 3,57 (Aa)	28,520 ± 3,29 (Ab)	35,493 ± 0,61 (Aa)	37,751 ± 1,84 (Aa)
			2 (22.10.07)	27,317 ± 4,97 (Bab)	33,851 ± 0,87 (ABa)	40,784 ± 4,88 (Aa)	39,392 ± 4,75 (Aa)	33,125 ± 3,77 (ABa)
			3 (29.10.07)	23,077 ± 2,99 (Bb)	23,512 ± 2,46 (Bb)	40,091 ± 4,92 (Aa)	31,647 ± 1,45 (ABa)	32,445 ± 2,49 (ABa)

Not 1: Aynı hasat döneminde farklı büyük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($P<0,05$).

Not 2: Aynı kurutma tipinde farklı küçük harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki farklar önemlidir ($p<0,05$).

İncelenen özelliklerden a değeri için; birinci hasat döneminde kurutmanın ve kurutma teknikleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir. İkinci ve üçüncü hasat dönemlerinde SH ile kurutulan örneklerdeki a değerinin diğer kurutma teknikleri ve kontrol örneğe göre daha yüksek sonuç verdiği ve sonuç olarak daha kırmızısı bir yüzey rengine sahip olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Hasat dönemleri arasındaki fark incelendiğinde ise, kontrol örneklerde birinci hasat dönemine ait a değerinin, diğer hasat dönemlerine nispeten istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek olduğu, bunu sırasıyla ikinci ve üçüncü hasat döneminin takip ettiği görülmektedir. Bu durum, hasat zamanı geciktikçe tanedeki kırmızısı rengin azaldığı şeklinde yorumlanabilmektedir. IR ile kurutulmuş örneklerde de a değeri açısından kontrol örneklerdeki durumun aynısı görülmektedir. Bu durum Hebbar ve diğ., (2004) ve Kumar ve diğ., (2005)' nin de belirttiği üzere IR kurutma tekniğinin ürün rengini korumasına ve önemli bir renk değişimine neden olmamasına atfedilmektedir. SH ile kurutulan örneklerde ikinci ve üçüncü hasat dönemine ait örneklerin a değeri, birinci hasat dönemindeki örneklere nispeten istatistiksel olarak önemli düzeyde yüksek çıkmıştır ($p<0,05$). Ayrıca, IR-SH kombinasyonu ve MW kurutma teknikleri ile kurutulan örneklerde a değeri üzerine hasat döneminin istatistiksel olarak önemli bir etkide bulunmadığı tespit edilmiştir ($p<0,05$).

İncelenen diğer bir özellik olan b değeri için birinci hasat döneminde kurutmanın ve kurutma teknikleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olmadığı sonucuna varılmıştır ($p<0,05$). Bununla birlikte ikinci hasat dönemine ait örneklerde b değerinin kurutulmuş örneklerde, kontrol örneğe göre nispeten daha yüksek çıktığı görülmektedir. Yani kurutulmuş örneklerde sarı renk özelliği, hiçbir

kurutma işlemine tabi tutulmamış örnekler nispeten daha yoğun olarak gözlenmiştir. Bu dönemde en yüksek b değerine, SH ve IR-SH kombinasyonu teknikleri ile kurutulan örnekler sahiptir. Üçüncü hasat döneminde ise b değeri, SH ile kurutulan örneklerde, diğer kurutma teknikleri ile kurutulan örneklerden ve kontrolden istatistiksel olarak önemli ölçüde yüksek bulunmuştur ($p<0,05$).

Kontrol örneklerde en yüksek b değeri birinci hasat döneminde gözlenmiş olup, bunu sırasıyla ikinci ve üçüncü hasat dönemleri takip etmektedir. Yani hasat geciktirildikçe tanenin sarı rengi azalmaktadır. IR tekniği ile kurutulmuş örneklerde birinci ve ikinci hasat dönemleri arasında önemli bir fark gözlenmezken, üçüncü hasat dönemine ait örneklerde b değeri diğer hasat dönemlerine nispeten istatistiksel olarak önemli düzeyde düşük bulunmuştur ($p<0,05$). SH ile kurutulmuş örneklerde ise ikinci ve üçüncü hasat dönemlerine ait örneklerde b değeri, birinci hasat döneminde elde edilen örnekler nispeten daha yüksektir. IR-SH kombinasyonu ve MW kurutma teknikleri ile kurutulan örneklerde ise hasat döneminin b değeri üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p<0,05$).

Veriler renk yoğunluğunu ifade eden kroma özelliği açısından değerlendirildiğinde; birinci hasat döneminde kurutmanın ve kurutma teknikleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür ($p<0,05$). İkinci hasat döneminde ise, en yüksek kroma değeri sıcak hava ve IR-SH kombinasyonu ile kurutulan örneklerde görülmüştür. Bununla birlikte üçüncü hasat döneminde SH tekniği ile kurutulan örnekler en yüksek kroma değerine sahiptir (Tablo 12).

Kontrol örneklerde en yüksek kroma değeri birinci hasat döneminde gözlenmiş olup, bunu sırasıyla ikinci ve üçüncü hasat dönemleri takip etmektedir. Yani hasat geciktirildikçe tanedeki renk yoğunluğunun azaldığı görülmektedir. IR tekniği ile kurutulan örneklerde birinci ve ikinci hasat dönemleri arasında önemli bir fark gözlenmezken, üçüncü hasat dönemine ait örneklerde kroma değeri, diğer hasat dönemlerine nispeten istatistiksel olarak önemli düzeyde düşük bulunmuştur ($p<0,05$). SH ile kurutulmuş örneklerde ise ikinci ve üçüncü hasat dönemlerine ait

örneklerde kroma değeri, birinci hasat döneminde elde edilen örneklere nispeten daha yüksektir. IR-SH kombinasyonu ve MW kurutma teknikleri ile kurutulan örneklerde ise hasat döneminin kroma değeri üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p<0,05$).

Kroma, a ve b değerlerine ilişkin verileri toplu olarak değerlendirecek olursak, en yüksek a değeri, ikinci hasat dönemine ait ve SH tekniği ile kurutulan örneklerden; en yüksek b ve kroma değerleri ise ikinci ve üçüncü hasat dönemlerine ait ve SH ile kurutulan örnekler ile ikinci hasat dönemine ait ve IR-SH kombinasyonu ile kurutulan örneklerden elde edilmiştir.

Bununla birlikte en düşük a değerleri ise üçüncü hasat dönemine ait ve IR tekniği ile kurutulan örnekler ile birinci hasat dönemine ait ve SH yöntemi ile kurutulan örneklerden elde edilmiştir. En düşük b değeri; üçüncü hasat dönemine ait kontrol örneklerden elde edilirken; en düşük kroma değeri ise üçüncü hasat dönemine ait kontrol örnekler ile yine aynı hasat dönemine ait ve IR tekniği ile kurutulan örneklerde görülmüştür (Tablo 12).

İncelenen diğer renk karakteristiklerinden Hue açısı ve Redness (a/b) özellikleri üzerine hem hasat döneminin hem de kurutma tekniğinin etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p<0,05$).

BÖLÜM 5

SONUÇ

Bu çalışmada temel olarak üzerinde durulan konu, farklı hasat dönemi ve kurutma tekniklerinin mısırdaki fumonisin (FB₁ ve FB₂) gelişimine etkisidir. Mısır bitkisinde fumonisin kontaminasyonu 90'lı yıllardan itibaren yaygın olarak araştırılmaya başlanmış ve insan ve hayvan sağlığında ciddi olumsuz etkiler yaratacak kadar yüksek dozlarda kontaminasyon tespit edilmiştir. Bu çalışmada incelenen kontamine mısırlarda tespit edilen kontaminasyon dozu FB₁ için en düşük 7 µg/kg ve en yüksek 8145 µg/kg; FB₂ için ise en düşük 8 µg/kg ve en yüksek 3650 µg/kg'dir. Bulunan sonuçlar diğer araştırmacıların rapor ettiği veriler ile örtüşmektedir. Bununla birlikte bu çalışmada birinci hasat döneminde incelenen 15 örnekten 4 tanesinde FB₁; 7 tanesinde de FB₂ dedekte edilememiştir.

Gıda Kodeksinde, işlenmemiş mısır ürünlerinde fumonisin miktarının maksimum 4000 µg/kg düzeyinde olması gerektiği belirtilmektedir. Amerikan Gıda ve İlaç Örgütü (FDA)'nin önerdiği günlük maksimum alım dozu ise gıdalarda 2-4 mg/kg, yemlerde 5-100 mg/kg düzeyindedir. Bu çalışmada incelenen toplam 75 örneğin, 34 tanesinde 2 mg/kg' ın; 23 tanesinde de 4 mg/kg' ın üzerinde fumonisin (FB₁ ve FB₂) tespit edilmiştir. Sözü edilen ulusal ve uluslar arası düzenlemelere göre; incelenen mısırların neredeyse yarısı 2 mg/kg üzerindeki dozlarda fumonisin ile kontamine olmuştur. Bununla birlikte birinci hasat dönemine ait mısırlarda 2 mg/kg'in üzerindeki dozlarda kontaminasyon görülmemektedir.

İstatistiksel analizler sonucu, fumonisin gelişimi üzerinde yalnızca hasat dönemi faktörü etkisinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Kurutmanın ve uygulanan farklı kurutma tekniklerinin fumonisin miktarına etkisi ise istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (p<0,01). Bu durum, literatürlerde de belirtildiği üzere fumonisinlerin ısıya karşı oldukça stabil olmalarına atfedilmektedir. Öyle ki FB₁ üreticisi *Fusarium verticilloides* kültürünün 60°C' de 24 saat boyunca kurutulması sonucu FB₁ miktarında hiçbir değişim gözlenmediği ve hatta 30 dakika boyunca suda kaynatılması sonrası da herhangi bir degradasyona uğramadığı bildirilmiştir.

(Bullerman ve diğ., 2007). Çalışmada kullanılan kurutma sıcaklığının yaklaşık 45°C olduğu düşünülür ise kurutmanın fumonisin miktarına etkisinin olmaması doğaldır. Ancak daha yüksek sıcaklıklarda kurutma, ürün özelliklerine zarar verebildiği gibi, yaş öğütme prosesinde de sorunlara neden olmaktadır (Johnson, 2000). Bu nedenle mısır kurutmada 50°C ve üzeri sıcaklıklar uygulanamamaktadır.

Bununla birlikte bu çalışmanın deneme planında, düşük sıcaklık derecelerinde de olsa farklı kurutma tekniklerinin kullanılmasındaki amaç, IR ve MW ışınlarının fumonisin düzeyine etkisi olup olmayacağını araştırmak ve bu teknikleri kurutma prosesi sırasında kullandıkları enerji bakımından karşılaştırmaktır. IR ve MW ışınlarının fumonisin düzeyine etkisine ilişkin literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamış olmakla beraber, bu çalışmada da böyle bir etkinin olup olmadığının kesin olarak tespit edilemediği düşünülmektedir. Bu durum, incelenen mısırların tarladan tesadüfi olarak toplanması ve her ne kadar tanelendikten sonra homojenize edilmeye çalışılsa da, kurutulmak için ayrılan örnek gruplarındaki mevcut fumonisin miktarlarının farklı olma ihtimalinden kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışmada fumonisin miktarına etki eden faktörlerden hasat döneminin önemli olduğu tespit edilmiştir. 4. bölümde ayrıntıları ile anlatıldığı üzere en yüksek kontaminasyon dozun beşinci hasat dönemine ait örneklerde saptanmıştır. Bununla birlikte ikinci ve dördüncü hasat dönemlerine ait fumonisin ortalamaları birinci hasat dönemine ait ortalamalardan istatistiksel olarak önemli ölçüde yüksektir ($p<0,01$). En düşük kontaminasyon dozuna sahip ve yukarıda da belirtildiği üzere uluslar arası düzenlemelerde önerilen limitlerin üzerindeki dozlarda fumonisin tespit edilmeyen örnekler ise birinci hasat dönemine aittir.

Erken hasat; hasat kayıplarını en aza indirmek ve ürün kalitesinin korunması gibi olumlu etkileri dolayısıyla genellikle tercih edilen bir durum olmakla beraber hasat sonrası yapılacak kurutma işlemi için gerekli olan enerjiyi arttırması gerekçesiyle genellikle dezavantajlı olduğu bildirilmiştir (Anonim 2008a; Kırtok, 1998; Kün 1985). Ancak görüldüğü gibi hasadın gecikmesi fumonisin miktarında insan ve hayvan sağlığı açısından tolere edilmeyecek miktarda fumonisin gelişimine neden olmuştur.

Bu çalışmada mısır, fizyolojik olum dönemini takiben beş farklı dönemde hasat edilmiştir. Dördüncü ve beşinci hasat dönemleri ülkemizde yaygın olarak mısır hasadının yapıldığı ve aynı zamanda fumonisin kontaminasyonunun da en yüksek dozlarda seyrettiği dönemlere tekabül etmektedir. Bununla birlikte bu çalışmada kullanılan alternatif ve uygulanabilir kurutma teknikleri ile enerji maliyetinin en erken hasat döneminde dahi dezavantajlı durumdan avantajlı duruma geçebileceği ortaya konmuştur. Ülkemizde endüstriyel olarak en yaygın kullanılan kurutma tekniği SH ile yapılan kurutmadır. Bu çalışmada ise, SH ile kurutmanın yanı sıra, IR, IR-SH kombinasyonu ve MW kurutma teknikleri de kullanılmıştır. Sonuç olarak; birinci hasat döneminde IR-SH kombinasyonu ile yapılan kurutmada harcanan enerjinin, beşinci hasat döneminde SH kurutmada harcanan enerjiden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Tablo 4’de de görüldüğü üzere, birinci hasat döneminde %1 nem kaybı için harcanan enerji miktarı IR-SH kombinasyonu ile kurutmada 0,050 kWh, beşinci hasat döneminde SH ile kurutmada 0,067 kWh’ dir. Veriler, topluca ele alındığında üründe kalite kaybının önüne geçilmesi bakımından önerilen, ancak enerji sarfiyatı bakımından uygulanabilir olmadığı belirtilen erken hasadın, alternatif kurutma teknikleri ile uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

IR kurutma teknolojisinin, düşük maliyetli kurutma metotlarından biri olduğu pek çok araştırmada belirtilmiştir. Çok yönlü bir kullanıma sahip olması, basit aksam donanımı, hızlı kurutma süresi, herhangi bir kurutma zincirine kolayca entegre edilebilmesi ve düşük kurulum maliyetine sahip olması gibi avantajlara sahiptir (Nowak ve Lewicki, 2004). Bununla birlikte IR-SH kombinasyonunun birlikte yarattığı sinerjistik etki nedeniyle her iki tekniğin de tek başına uygulanmasına nispeten çok daha verimli bir sonuç verdiği belirtilmektedir (Pathere ve Sharma, 2006). Ancak laboratuvar şartlarında yapılan bu uygulamaların en azından ülkemizde endüstriyel boyuta taşınmadığı görülmektedir. Halbuki varılan olumlu sonuçlardan fayda elde edilmesi, özellikle her yıl tonlarca mısır kurutan ve işleyen büyük kapasiteli işletmelerde alternatif uygulamalara geçilmesi ile mümkündür.

Diğer yandan, IR-SH kombinasyonu veya tek başına IR uygulamalarının enerji sarfiyatı bakımından her zaman düşük maliyet getirmediği saptanmıştır. Örneğin bu çalışmada %29, %24 ve %18,5 başlangıç nemine sahip mısırlarda, kurutma teknikleri

enerji sarfiyatı bakımından karşılaştırıldığında en yüksek enerjinin SH ile kurutmada harcandığı ve bunu sırasıyla IR ve IR-SH kombinasyonun izlediği gözlenmektedir. Bununla birlikte %16 ve %15 başlangıç nemine sahip örneklerde bu sıralamanın IR-SH kombinasyonu, IR ve SH şeklinde değiştiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla üründe başlangıç nem miktarı azaldıkça IR-SH kombinasyonun ve IR tekniğinin enerji sarfiyatı bakımından ekonomik olmadığı tespit edilmiştir. MW ile yapılan kurutma işleminde kurutma kapasitesinin küçüklüğü nedeniyle kesikli kurutma yapılmış ve sonuçlar sadece ürünün toksin ve bazı kalite özelliklerine etkisi bakımından incelenmiştir. Mevcut kurutma kapasitesi homojen ve sürekli bir kurutma sağlamadığından hassas sonuçlar elde edilememiş ve enerji sarfiyatı hesaplanmamıştır.

Çalışmada ayrıca mısır bitkisi için kullanılacağı amaca göre önem arz eden ham protein, toplam karotenoid miktarı ve renk gibi bazı kalite özellikleri de incelenmiş ve tüm bu özelliklere (renk karakteristiklerinden L değeri hariç) hem hasat dönemi hem de kurutma tekniğinin birlikte etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Ham protein içeriğine ait bulgular incelendiğinde istatistiksel olarak önemli düzeyde farklılıklar bulunmasına rağmen matematiksel olarak veriler arasındaki farkın %1'i geçmediği saptanmıştır. Bu durumun daha çok örnek materyalinin yeterince homojen olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Toplam karotenoid içeriğine ait bulgular arasında da büyük farklılıklar gözlenmemiş, istatistiksel olarak önemli bulunan farklılıkların nedenleri de bölüm 4'te detaylarıyla açıklanmıştır. Renk karakteristiklerine ait bulgulardan L değeri üzerine yalnızca hasat döneminin etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuş ve üçüncü hasat dönemine ait örnekler için L değerinin birinci ve ikinci hasat dönemlerine nispeten daha düşük olduğu gözlenmiştir ($p < 0,01$). Bunun dışında *a*, *b* ve kroma değerleri üzerine yine hasat dönemi ve kurutma tekniği faktörlerinin birlikte etkisi söz konusudur.

Bununla birlikte aynı hasat dönemine ait kontrol örnekler ile IR tekniği ile kurutulan örnekler arasında kroma, *a* ve *b* değerleri bakımından önemli bir farklılık görülmediği tespit edilmiştir. Bu durum Kumar ve diğ., (2005) belirttiği üzere IR kurutmada, sıcak hava ile kurutmaya nispeten kalite karakteristiklerinin daha iyi korunduğu verisi ile örtüşmektedir.

KAYNAKLAR

Abbas H. K., Cartwright R.D., Xie W. ve Shier W.T. 2006. Aflatoxin And Fumonisin Contamination Of Corn (*Maize, Zea Mays*) Hybrids In Arkansas. *Crop Protection*, 25, 1-9.

Anonim, 2005. *ÖLÇÜ Türkiye Mimarlar ve Mühendisler Odası Yayın Organı*. Dosya: Genetiği değiştirilmiş organizmalar, Sy: 110-122.

Anonim 2007a Funguslar ve Mikotoksinler-Gıda Mikrobiyolojisi ve Uygulamaları Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü 891112005,18 Kasım 2007 www.mikrobiyoloji.org

Anonim, 2007b. 23 Mayıs 2007 www.fao.org

Anonim 2008a 27 Mart 2008

<http://www.erzurum-tarim.gov.tr/teknik/bitkisel/misir.htm>

Anonim 2008b 12 Mayıs 2008,

<http://www.cukurovataem.gov.tr/Misir%20Yetistirciligiweb.htm>

Anonim 2008c United Nations Environment Programme, International Labour Organisation World Health Organization, International Programme On Chemical Safety 1 Mart 2008

<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc204.htm>

Anonim 2008d, 12 Nisan 2008

http://www.sekerkurumu.gov.tr/altsayfa/duyuruilan/gh/29_09_05_Sunumlar/RintAkyuz.ppt#18

Anonim 2008e, 10 Haziran 2008

<http://www.okyanusbilgiambari.com/tgm/Tebl/Okyanus-Bulasanlar-MaksimumSeviyeleri.pdf>

Anonim 2008f, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı,

http://www.tarim.gov.tr/arayuz/10/icerik.asp?efl=uretim/bitkisel/bitkisel.htm&curdir=/uretim/bitkisel&fl=yetistircilik_bilgi/misir/misir.htm

- AOAC, 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. Volume I, Volume II 17th Edition, USA.
- ApSimon J.W., 1994. The Biosynthetic Diversity Of Secondary Metabolites. In: J.D.Miller ve H.L.Trenholm Eds. *Mycotoxins in Grain Compounds Other Than Aflatoxin*. U.S.A. Eagan Pres. St Paul, Minnesota.
- Arino A., Estopan G., Juan T. ve Herrera A., 2007. Estimation of Dietary Intakes of Fumonisin B₁ and B₂ From Conventional and Organic Corn. *Food Control* 18 : 1058-1062.
- Aziz N.H., El-Far F.M., Shahin A.A.M. ve Roushy S.M., 2007. Control of *Fusarium* Moulds and Fumonisin B₁ In Seeds By Gamma – Irradiation. *Food Control* 18 : 1337-1342.
- Bennett G.A. ve Richard J. L., 1994. Liquid Chromatographic Method For Analysis Of The Naphthalene Dicarboxaldehyde Derivative Of Fumonisins. *Journal of AOAC International* 77 (2) : 501- 506.
- Berthiller F., Schuhmacher R., Buttinger G. ve Krska R., 2005. Rapid Simultaneous Determination of Major Type A- and B-Trichothecenes As Well As Zearalenone In Maize By High Performance Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. *Journal of Chromatography A* 1062: 209-216.
- Bullerman L.B. ve Bianchini A., 2007. Stability of Mycotoxins During Food Processing. *International Journal of Food Microbiology* 119: 140-146.
- Castro F. L. F. , Aquino S., Greiner R., Riberio D. H. B., Reis T. A. ve Correa B. 2007. Effect of Gamma Radiation on Maize Samples Contaminated With *Fusarium verticillioides*. *Applied Radiation and Isotopes* 65 (8) : 927-933.
- Cavaliere C., Foglia P., Guarino C., Motto M., Nazari M., Samperi R. ve Lagana A., 2007. Mycotoxins Produced By *Fusarium* Genus In Maize: Determination By Screening and Confirmatory Methods Based On Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry. *Food Chemistry* 105 (2) : 700-710.
- Charmley L. L., Rosenberg A. ve Trenholm H. L., 1994. Factors responsible for economic Losses due to *Fusarium* Mycotoxin Contamination of Grains, Foods

- and Feedstuffs. In J.D.Miller ve H.L.Trenholm Eds. *Mycotoxins in Grain Compounds Other Than Aflatoxin*. U.S.A. Eagan Pres. St Paul, Minnesota.
- Chua K.J. ve Chou S. K., 2003. Low Cost Drying Methods For Developing Countries. *Trends in Food Science and Technology*. 14, 519-528.
- Chua K.J. ve Chou S.K., 2005. A Comparative Study Between Intermittent Microwave and Infrared Drying of Bioproducts. *International Journal of Food Science and Technology* 40: 23-39.
- Creppy E.E., 2002. Update Of Survey, Regulation and Toxic Effects Of Mycotoxins In Europe. *Toxicology Letters* 127: 19-28.
- Datta A. K. ve Ni H., 2002. Infrared and Hot-Air Assisted Microwave Heating of Foods for Control of Surface Moisture. *Journal of Food Engineering* 51 : 355-364.
- Domijan A.M., Peraica M., Jurjevic Z., Ivic D. ve Cvjetkovic B., 2005. Fumonisin B₁, Fumonisin B₂, Zearalenone and Ochratoxin A Contamination of Maize in Croatia. *Food Additives and Contamination* 22 (7) : 677-680.
- Dupuy J., Le Bars P., Boudra H. ve Le Bars J., 1993. Thermostability of Fumonisin B₁, a Mycotoxin From *Fusarium moniliforme*, in Corn. *Applied Environmental Microbiology*, 59 : 2864-2867.
- Elgün A. ve Ertugay Z., 2000. *Tahıl İşleme Teknolojisi*. Atatürk Üniversitesi Yayınları No: 718. Ders Kitapları Serisi No: 52., Dördüncü baskı, Erzurum.
- Hebbar U. H., Vishwanathan K.H. ve Ramesh M. N. 2004. Development Of Combined Infrared And Hot Air Dryer For Vegetables. *Journal of Food Engineering*. 65, 557-563.
- Huang L. ve Sites J., 2008. Elimination of *Listeria monocytogenes* on Hotdogs By Infrared Surface Treatment. *Journal of Food Science* 73 (1) : 27-31.
- Holshof P.J.M., Kosmeijer-Schuil T., West C. E. ve Hollman P.C.H., 2007. Quick Screening of Maize Kernels for Provitamin A Content. *Journal of Composition and Analysis*, 20 : 665-661.

- IARC, 1993. Toxins derived from *Fusarium moniliforme* : Fumonisin B₁ and B₂, and fusarin C. Pages 445-466 in: Monographs on the Evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol. 56. International Agency for Research on Cancer: Lyon, France
- Jackson L.S., Hlywka J. J., Senthil K. R., Bullerman L. B. ve Musser S. M., 1996. Effects of Time, Temperature, and pH on the Stability of Fumonisin B₁ in an Aqueous Model System. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44:906-912.
- Jackson L. S., Katta S. K., Fingerhut D. D., Devries J. W. ve Bullerman L.B., 1997. Effects of Baking and Frying on the Fumonisin B₁ Content of Corn-Based Foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45 : 4800-4805.
- James C., Lechevalier V. ve Ketteringham L., 2002. Surface Pasteurisation Of Shell Eggs. *Journal Of Food Engineering* 53 : 193-197.
- Johnson L. A. 2000. Corn: The Major Cereal of the Americas. Karel Kulp, Joseph G. Ponte, Eds. In: *Handbook of Cereal Science and Technology*, U.S.A.
- Karapınar M. ve Aktuğ G.Ş. 2003. Hububat Ve Hububat Ürünlerinde Mikrobiyolojik Bozulmalar, Patojen Mikroorganizmalar Ve Muhafaza Yöntemleri. Ünlütürk A., Turantaş F., Eds. *Gıda Mikrobiyolojisi*, İzmir.
- Katta S. K., Jackson L.S., Sumner S. S., Hanna M.A. ve Bullerman L.B., 1999. Effect of Temperature and Screw Speed on Stability of Fumonisin B₁ in Extrusion-Cooked Corn Grifts. *Cereal Chemistry* 76 (1): 16-20.
- Kaya S. ve Yarsan E., 1995. Yem Ve Yem Hammaddelerinde Küflenmenin Önlenmesi Ve Mikotoksinlerle Kirletilmiş Bu Tür Yemlerin Değerlendirilmesine Yönelik Uygulamalar. *Ankara Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*. 42 (2) : 111-122
- Kırtok Y., 1998. *Mısır Üretimi ve Kullanımı*. Kocaoluk Yayınevi, İstanbul.
- Kocabıyık H. ve Tezer D., 2008. Drying of Carrot Slices Using Infrared Radiation. *International Journal of Food Science and Technology* (Basımda)

- Krska R., Welzig E. ve Boudra H., 2007. Analysis Of *Fusarium* Toxins In Feed. *Animal Feed Science And Technology* 137: 241-264.
- Kumar P. D.G., Hebbar U. H., Sukumar D. ve Ramesh M.N., 2005. Infrared And Hot Air Drying Of Onions. *Journal Of Food Processing And Preservation*, 29 :132-150.
- Kumar P. D. G., Hebbar U. H. ve Ramesh M.N., 2006. Suitability Of Thin Layer Models For Infrared –Hot Air- Drying Of Onion Slices. *LWT* 39 : 700-705.
- Kün E., 1985. *Sıcak İklim Tahılları*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 953. Ders Kitabı: 275. Ankara.
- Leeratanarak N., Devahastin S. ve Chieechan N., 2006. Drying Kinetics And Quality Of Potato Chips Undergoing Different Drying Techniques. *Journal of Food Engineering* 77, 635-643.
- Lino C. M., Silva L. J. G., Pena A. L. S. ve Silveira M. L., 2006. Determination of Fumonisin B1 and B2 in Portuguese Maize and Maize – Based Samples by HPLC With Fluorescence Detection. *Analytic Bioanalytic Chemistry* 384: 1214-1220.
- Lino C. M., Silva L.J.G., Pena A. ve Fernandez M., 2007. Occurrence of Fumonisin B1 and B2 In Broa, Typical Portuguese Maize Bread. *Journal Of Food Microbiology*. 118 (1) : 79-82.
- McCurdy S. M., 1992. Infrared Processing of Dry Peas, Canola, and Canola Screenings. *Journal of Food Science* 57 (4): 941-944.
- Moss M. O. 1998. Recent Studies Of Mycotoxins. *Journal of Applied Microbiology Symposium Supplement* 84: 62-76.
- Murphy P.A., Hendrich S., Landgren C. ve Bryant C. M., 2006. Food Mycotoxins: An Update. *Journal of Food Science* 71 (5) : 51-65.
- Nilüfer D. ve Boyacıoğlu D., 2002. 1990'lı Yılların Mikotoksini: Fumonisin. Hububat 2002, Hububat Ürünleri Teknolojisi Kongre ve Sergisi, Gaziantep.
- Nowak D. ve Lewicki P. P., 2004. Infrared Drying of Apple Slices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 5: 353-360.

- Özler S., Ergüneş G. ve Tarhan S., 2005. Mısırdaki Farklı Ön İşlemlerin Kuruma Hızına Etkisi. *OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 21 (2) 160-166.
- Park J. W., Kim E.K., Shon D.H. ve Kim Y.B., 2002. Natural Co-occurrence of Aflatoxin B₁, Fumonisin B₁ and Ochratoxin A in Barley and Corn Foods From Korea. *Food Additives and Contaminants* 19 (11) : 1073-1080.
- Pathere P. B. ve Sharma G. P., 2006. Effective Moisture Diffusivity of Onion Slices Undergoing Infrared Convective Drying. *Biosystems Engineering* 93 (3) : 285-291.
- Savard M.E. ve Blackwell B.A., 1994. Spectral Characteristics Of Secondary Metabolites From *Fusarium* Fungi. In J.D.Miller ve H.L.Trenholm Eds. *Mycotoxins in Grain Compounds Other Than Aflatoxin*. U.S.A. Eagan Pres. St Paul, Minnesota
- Scott P.M. ve Lawrence G.A., 1992. Liquid Chromatographic Determination of Fumonisin with 4-Fluoro-7-nitrobenzofurazan. *Journal Of AOAC International* 75 (5) : 829-834.
- Scott P.M. ve Lawrence G.A., 1994. Stability and Problems in Recovery of Fumonisin Added to Corn-Based Foods. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 77: 541-545.
- Scudamore K.A. ve Patel S., 2000. Survey for Aflatoxins, Ochratoxin A, Zearalenone and Fumonisin In Maize Imported Into The United Kingdom. *Food Additives and Contaminants* 17 (5) : 407-416.
- Shahidi F. ve Naczki M., 2004. Cereals, Legumes, and Nuts. In: *Phenolics in Food and Nutraceuticals*. Sy 33.
- Sharma G. P., Verma R. C. ve Pathere P., 2005. Mathematical Modelling of Infrared Radiation Thin Layer Drying of Onion Slices. *Journal of Food Engineering*. 71: 282-286.
- Shepherd G. S., Thiel P. G., Stockenström S. ve Sydenham E.W., 1996. Food Chemical Contaminants. Worldwide Survey Of Fumonisin Contamination Of Corn And Corn-Based Products. *Journal Of AOAC International* 79 (3): 671-687.

- Shephard G.S., Sydenham E.W., Thiel P.G. ve Gelderblom W. C. A., 1990. Quantitative Determination of Fumonisin B1 and B2 By High-Performance Liquid Chromatography With Fluorescence Detection. *Journal of Liquid Chromatography* 13 (10) : 2077-2087.
- Shin B. S., Park K. L., Han S. Y., Lee B. M., Kim H. S., Lee K. C., Eom H. J. ve Yoo S. D. 2001. Sensitive Micro-Sample Analysis of Bisphenol A in Serum by High- Performance Liquid Chromatography with Fluorescence Detection. *Chromatographia* 53 (11/12) : 669-672.
- Süzer S. 2007. Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü, 23 Mayıs 2007, www.ttae.gov.tr/makaleler/misirtarimi.htm
- Sydenham E. W. ve Thiel P.G., 1996. Physicochemical Data for Some Selected *Fusarium* Toxins. *Journal of AOAC International* 79 (6) 1996.
- Thiel, P. G., Sydenham, E. W., Shephard, G. S. ve Van Schalkwyk, D. J., 1993. Study of the Reproducibility Characteristics of a Liquid Chromatographic Method for the Determination of Fumonisin B1 and B2 in Corn: Iupac Collaborative Study. *Journal of AOAC International*, 76 : 361-366.
- Toğrul H., 2006. Suitable Drying Model For Infrared Drying Of Carrot. *Journal of Food Engineering* 77 : 610-619.
- Wang J. ve Sheng K., 2006. Far-Infrared and Microwave Drying of Peach. *LWT* 39: 247-255.
- Wang J., Zhou Y. ve Wang Q., 2008. Analyses Of Mycotoxin Fumonisin In Corn Products By High-Performance Liquid Chromatography Coupled With Evaporative Light Scattering Detection. *Food Chemistry* 107: 970-976.

Tablolar

Tablo 1. Örneklerin hasat tarihi ve nem içerikleri	24
Tablo 2. Toksin analizleri için deneme planı	25
Tablo 3. Renk, ham protein ve toplam karotenoid analizleri için deneme planı.....	26
Tablo 4. Mısırın kuruma süreleri ve %1 nem kaybı için gerekli enerji Miktarları.....	34
Tablo 5. Standart konsantrasyon derişimleri.....	36
Tablo 6. Hasat dönemi ve kurutma tiplerine göre ortalama FB ₁ (µg/kg) miktarları.....	38
Tablo 7. Hasat dönemi ve kurutma tiplerine göre ortalama FB ₂ (µg/kg) miktarları	39
Tablo 8. Farklı hasat dönemlerine ait mısırlarda analiz edilen fumonisin Miktarları.....	40
Tablo 9. Farklı zamanlarda hasat edilen ve farklı kurutma teknikleri ile kurutulan mısırın ham protein içerikleri.....	42
Tablo 10. Farklı zamanlarda hasat edilen ve farklı kurutma teknikleri ile kurutulan mısırın toplam karotenoid içerikleri.....	44
Tablo 11. Farklı zamanlarda hasat edilen ve farklı kurutma teknikleri ile kurutulan mısırın <i>L</i> değerleri	45
Tablo 12. Farklı zamanlarda hasat edilen ve farklı kurutma teknikleri ile kurutulan mısırın <i>a</i> , <i>b</i> ve kroma değerleri	46

Şekiller

- Şekil 1.** Fumonisin B₁' in molekül yapısı.....9
- Şekil 2.** Infrared ve Sıcak Havalı Kurutma Sistemi..... 26
- Şekil 3.** Birinci hasat dönemine ait mısırlarda kurutma süresine karşılık nem içeriğindeki değişim.....31
- Şekil 4.** İkinci hasat dönemine ait mısırlarda kurutma süresine karşılık nem içeriğindeki değişim.....31
- Şekil 5.** Üçüncü hasat dönemine ait mısırlarda kurutma süresine karşılık nem içeriğindeki değişim..... 31
- Şekil 6.** Dördüncü hasat dönemine ait mısırlarda kurutma süresine karşılık nem içeriğindeki değişim.....31
- Şekil 7.** Beşinci hasat dönemine ait mısırlarda kurutma süresine karşılık nem içeriğindeki değişim.....31
- Şekil 8.** Standart FB₁ derişimlerine karşı elde edilen pik alanlarının doğrusal değişimi..... 37
- Şekil 9.** Standart FB₂ derişimlerine karşı elde edilen pik alanlarının doğrusal değişimi37

Yaşam Öyküsü

1984 Edirne doğumluyum. Orta öğrenimimi Özel AR-EL Lisesi'nde burslu olarak tamamladım. Lise eğitimime Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi'nde devam ettim. Trakya Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği mezunuyum. 2006-2007 öğretim yılında Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde lisans üstü eğitime başladım ve halen devam etmekteyim.