

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİTKİ KORUMA ANABİLİM DALI



**FARKLI AGRO-EKOLOJİLERDEKİ BUĞDAY EKİM
ALANLARINDAN İZOLE EDİLEN *FUSARIUM POAE* VE *F.
EQUISETI* İZOLATLARININ PATOJENİTESİ VE
MİKOTOKSİN OLUŞTURMA KAPASİTELERİNİN
BELİRLENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Abdullah Esat ALTINIŞIK

Danışman

Prof. Dr. Berna TUNALI

SAMSUN
2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Abdullah Esat ALTINIŞIK tarafından, Prof. Dr. Berna TUNALI danışmanlığında hazırlanan “FARKLI AGRO-EKOLOJİLERDEKİ BUĞDAY EKİM ALANLARINDAN İZOLE EDİLEN *FUSARIUM POAE* VE *F. EQUISETI* İZOLATLARININ PATOJENİTESİ VE MİKOTOKSİN OLUŞTURMA KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 2.9.2022 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Anabilim/Anasanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Berna TUNALI Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bitki Koruma Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Prof. Dr. İsmail ERPER Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bitki Koruma Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Fatih ÖLMEZ Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Bitki Koruma Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY
... / ... / ...
Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır

İmza

... / ... / 20...

Abdullah Esat ALTINIŞIK

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : FARKLI AGRO-EKOLOJİLERDEKİ BUĞDAY EKİM ALANLARINDAN İZOLE EDİLEN *FUSARIUM POAE* VE *F. EQUISETI* İZOLATLARININ PATOJENİTESİ VE MİKOTOKSİN OLUŞTURMA KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 01 / 07 / 2022 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 19

Tek kaynak oranı : % 2 çıkmıştır.

İmza

... / ... / 2022

Prof. Dr. Berna TUNALI

ÖZET

FARKLI AGRO-EKOLOJİLERDEKİ BUĞDAY EKİM ALANLARINDAN İZOLE EDİLEN *FUSARIUM POAE* VE *F. EQUIRETI* İZOLATLARININ PATOJENİTESİ VE MİKOTOKSİN OLUŞTURMA KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ

Abdullah Esat ALTINIŞIK
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Bitki Koruma Anabilim Dalı
Yüksek Lisans, Haziran/2022
Danışman: Prof. Dr. Berna TUNALI

Bu çalışmada kullanılan izolatlar, 2010-2018 yıllarında Türkiye'nin farklı agro-ekolojik alanlarındaki buğday bitkilerinden izole edilmiştir. Çalışmamızda 14 farklı lokasyondan elde edilen *Fusarium equiseti* ile 13 farklı lokasyondan elde edilen *F. poae* izolatları kullanılmıştır. İzolatlar Altındane çeşidine ait buğday tohumlarına ve başakçıklarına bulaştırılmış, başak yanıklığı ve kök boğazı çürüklüğü yönünden incelenmiştir. Çalışma serada başak yanıklığı ve iklim odasında kök boğazı çürüklük saksı denemesi şeklinde yürütülmüştür. Kök boğazı çürüklüğü denemesi için spor süspansiyonu içinde tohumlar beş dakika bekletildikten sonra kurutularak toprağa ekilmiştir. İzolatların inokulasyonunu takip eden 60. günde buğday bitkileri kök boğazı çürüklüğü hastalığı yönüyle incelenmiştir. Çalışma sonucunda *F. poae*'da Amasya/Göynücek ve Samsun/Merkez izolatlarında hastalık şiddetinin en yüksek, Samsun/Çarşamba ve Tokat/Niksar'dan alınan izolatlarda en düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. *F. equiseti*'de Amasya/Karaköy ve Konya/Cihanbeyli lokasyonlarından izole edilen izolatların en yüksek, Sivas/Çermik ve Aksaray/Sultanhanı'nın en düşük hastalık şiddeti oluşturduğu belirlenmiştir. Başak yanıklığı hastalığı denemesinde izolatların inokulasyonu başaklar sarı çiçek dönemindeyken (Zadoks 65) inokulumun başakçıklara bir enjektör vasıtasıyla inokule edilmesi şeklinde yapılmıştır. *F. poae* izolatlarında Amasya/Göynücek'ten alınan izolatın hastalık şiddetinin en yüksek, Zonguldak/Beycuma lokasyonundan alınan izolatın ise en düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. *F. equiseti*'de Edirne/İpsala bölgesinden izole edilen izolatta hastalık şiddetinin en yüksek, Tekirdağ/Ergene izolatında en düşük olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar izolatların zayıf patojen olduklarını ancak lokasyonlar arasında istatistiksel olarak farklılıklar olduğunu göstermektedir. Ayrıca morfolojik teşhisleri yapıp daha önce moleküler teşhisleri yapılmayan izolatların da türe özgü primerlerle tür teşhisleri yapılmıştır. Tüm izolatlarda *F. poae* için Tri6, *F. equiseti* için ZEA2 toksin genlerinin belirlenmesi amacıyla universal primerler kullanılmış ve elde edilen tüm izolatlarda bu toksin genlerinin mevcut olduğu bulunmuştur. Bu çalışma ile *F. poae* ve *F. equiseti*'nin Altındane buğday çeşidinde kök boğazı çürüklük ve başak yanıklığı hastalıklarını yapabilme potansiyeli ortaya konulmuştur. Çalışmamızda *F. poae* izolatlarında Tri6 ve *F. equiseti* izolatlarında ZEA2 mikotoksin genlerinin varlığı belirlenmiş olup, her iki fungus türünün incelenen her izolatının mikotoksinleri oluşturma potansiyelleri olmasının konunun önemini artırdığı, sonraki çalışmalarda oluşturdukları bu toksinlerin miktarlarının belirlenmesi sıcak kanlılarda oluşabilecek hastalık risklerinin ortaya konulması yönüyle önem arz etmektedir.

Anahtar Sözcükler: Kök Boğazı Çürüklüğü, Başak Yanıklığı, Trikotesen, Zearelon

ABSTRACT

DETERMINATION OF PATHOGENICITY AND MYCOTOXIN FORMING CAPACITY OF *FUSARIUM POAE* AND *F. EQUISETI* ISOLATES ISOLATED FROM WHEAT CULTURE FROM CENTRAL ANATOLIA REGION

Abdullah Esat ALTINIŞIK
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Plant Pathology
Master, June/2022
Supervisor: Prof. Dr. Berna TUNALI

The isolates used in this study were isolated from wheat plants in different agro-ecological areas of Turkey in 2010-2018. In our study, *Fusarium equiseti* obtained from 14 different locations and *Fusarium poae* isolates obtained from 13 different locations were used. *F. equiseti* and *F. poae* isolates were infected with wheat seeds and spikelets of Altındane cultivar, and were examined for head blight and crown rot. The study was carried out as pot trials in the greenhouse and crown rot trials in the climate room. For the crown rot test, the seeds were kept in the spore suspension for five minutes, then dried and planted in the soil. Wheat plants were examined for crown rot disease on the 60th day following the inoculation of *F. poae* and *F. equiseti* isolates. As a result of this study, it was determined that the disease severity was highest in Amasya/Göynücek and Samsun/Central isolates of *F. poae*, and lowest in isolates from Samsun/Wednesday and Tokat/Niksar. It was determined that the isolates isolated from Amasya/Karaköy and Konya/Cihanbeyli locations in *F. equiseti* had the highest disease severity, and Sivas/Çermik and Aksaray/Sultanhanı had the lowest disease severity. In the head blight disease trial, the inoculation of *F. poae* and *F. equiseti* isolates was done by inoculating the inoculum into the spikelets with an injector when the spikes were in the yellow flower stage (Zadoks 65). In *F. poae* isolates, it was determined that the disease severity of the isolate from Amasya/Göynücek was the highest, and the isolate from Zonguldak/Beycuma location was the least. It was determined that disease severity was highest in *F. equiseti* isolate isolated from Edirne/İpsala region, and lowest in Tekirdağ/Ergene isolate. The results show that *F. poae* and *F. equiseti* isolates are weak pathogens, but there are statistical differences between locations. In addition, the isolates that were morphologically identified but not molecularly identified before, were identified with species-specific primers. Universal primers were used to determine the toxin genes Tri6 for *F. poae* and ZEA2 for *F. equiseti* and these toxin genes were found in all isolates obtained. In this study, the potential of *F. poae* and *F. equiseti* to cause crownrot and head blight diseases in Altındane wheat cultivar was revealed. In our study, the presence of Tri6 and ZEA2 mycotoxin genes in *F. poae* isolates and ZEA2 mycotoxin genes in *F. equiseti* isolates were determined. It is important in terms of health problems to determine the amount of these toxins that they form in future studies, where each isolates of both fungi species have the potential to produce mycotoxins.

Keywords: Crown Rot, Head Blight, Tricothecenes, Zearealone

TEŞEKKÜRLER

Tez konumun belirlenmesinden yazım aşamasına kadar her zaman bilgi, tecrübe ve desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Berna TUNALI'ya çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. Dr. Bayram KANSU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Araş. Gör. Elif YILDIRIM hocam başta olmak üzere laboratuvarında çalışmam boyunca bana destek olan tüm arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Ayrıca tezimin tüm aşamalarında yardımını hiç eksik etmeyen Hatice Beyza EREN ve Halil İbrahim KOÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak beni yetiştiren, sürekli yanımda olan ve her türlü desteğini benden esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Abdullah Esat ALTINIŞIK

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. <i>Fusarium</i> 'un Genel Özellikleri	5
1.2. <i>Fusarium</i> Toksinleri	7
1.2.1. Trikotesenler	8
1.2.2. Zearalenon	10
1.2.3. Fumonisin ve Moniliformin	11
1.3. Başak Yanıklığı Etmeni <i>Fusarium</i> spp.'nin Yaşam Döngüsü	12
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	15
2.1. <i>Fusarium</i> Başak Yanıklığı ve Kök Boğazı Çürüklüğü Hastalıkları Genel Bilgiler....	15
2.2. Mikotoksinler Hakkında Genel Bilgiler.....	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	28
3.1. Materyal.....	28
3.2. Yöntem	30
3.2.1. Fungusların Elde Edilmesi	30
3.2.2. Fungus İzolatlarının Morfolojik Karakterizasyonu.....	31
3.2.3. İzole Edilen <i>Fusarium equiseti</i> ve <i>Fusarium poae</i> 'nin Moleküler Teşhisi.....	31
Çalışmaları.....	31
3.2.3.1. Moleküler Çalışmalarda Kullanılan Kimyasallar	31
3.2.3.2. DNA İzolasyonları	32
3.2.3.3. Polimeraz Zincir Reaksiyonu.....	33
3.2.4. Çalışmada Kullanılan Besi Ortamları	35
3.2.5. Fungusların Çoğaltılması ve Spor Solüsyonlarının Elde Edilmesi	36
3.2.6. Denemede Kullanılacak Buğday Tohumlarının Yüzeysel Dezenfeksiyonu	36
3.2.7. Toprak Sterilizasyonu	37
3.2.8. Başak İnokulasyonu Çalışmaları	37
3.2.8.1. Denemede Kullanılacak Buğday Bitkilerinin Yetiştirilmesi	37
3.2.8.2. Fungusların Buğday Başaklarına Bulaştırılması	38
3.2.8.3. Hastalık Reaksiyonlarının Değerlendirilmesi	39
3.2.9. Tohum İnokulasyonu Çalışmaları.....	40
3.2.9.1. Tohumların Çimlendirilmesi	40
3.2.9.2. Tohumların İnokulum ile Bulaştırılması.....	40
3.2.9.3. İnokulum Bulaştırılan Tohumların Saksıya Ekimi	41
3.2.9.4. Hastalık Reaksiyonlarının Değerlendirilmesi	41
3.2.10. İzolatların Mikotoksin Üreten Genlerinin Teşhisi	42
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	44
4.1. Surveylerden Elde Edilen İzolatlar	44
4.2. <i>Fusarium equiseti</i> İzolatlarına Ait Bulgular	44
4.2.1. <i>Fusarium equiseti</i> İzolatlarının Morfolojik Özellikleri.....	44
4.2.2. <i>Fusarium equiseti</i> ile Yapılan Kök Boğazı Çürüklüğü Denemesinin Bulguları ..	45
4.2.3. <i>Fusarium equiseti</i> İzolatları ile Yapılan Başak Yanıklığı Patojenite Denemesinin	
Bulguları	47

4.3. <i>Fusarium poae</i> İzolatlarına Ait Bulgular	49
4.3.1. <i>Fusarium poae</i> İzolatlarının Morfolojik Özellikleri	49
4.3.2. <i>Fusarium poae</i> İzolatları ile Yapılan Kök Boğazı Çürüklüğü Denemesinin.....	
Bulguları	50
4.3.3. <i>Fusarium poae</i> İzolatları ile Yapılan Başak Yanıklığı Patojenite Denemesinin	
Bulguları	51
4.4. İzolatların Moleküler Teşhisleri	53
4.4.1. Moleküler Teşhisi Yapılan İzolatların Tri6 ve ZEA2 Geni Bulundurma.....	
Durumunun Belirlenmesi	54
4.5. Tartışma	54
5. SONUÇ	60
6. KAYNAKÇA.....	62
7. ÖZ GEÇMİŞ.....	75



SİMGELER VE KISALTMALAR

DAS	: Dasetoksisirpenol
DON	: Deoksinivalenol
FBY	: <i>Fusarium</i> Baş Yanıklığı
FUM	: Fumonisin
MAS	: Monoasetokscirpenol
MON	: Moniliformin
NEO	: Neosolaniol
NIV	: Nivalenol
PDA	: Patates Dekstroz Agar
PDB	: Patates Dekstroz Sıvı
PCR	: Polimeraz Zincir Reaksiyonu
SA	: Su Agar
SNA	: Sentetik Nutrient Agar
ZEA	: Zearalenon



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dünya buğday üretimi ve başlıca üretici ülkeler (%).....	2
Şekil 1.2. Dünyada başlıca buğday tüketicisi ülkeler (%).....	3
Şekil 3.1. Petride geliştirilen <i>Fusarium equiseti</i> (a), (b) ve <i>Fusarium poae</i> (c), (d) izolatları.....	30
Şekil 3.2. Steril mantar deliciler ile 2 yuvarlak kesit alınarak içerisinde PDB bulunan erlenmayer içerisine konulması	32
Şekil 3.3. (a) Çalkayıcı üzerinde 7 gün boyunca bekletilmiş funguslar, (b) Fungusun süzülerek kuruması steril laminar kabin içerisine çift katlı steril kurutma kağıtlarının üzerine alınması	32
Şekil 3.4. DNA miktar tayininde kullanılan NanoDrop cihazı ve yapılan işlemlerden bir görüntü	33
Şekil 3.5. (a) Steril toprağın 500 ml'lik plastik saksılara konulması, (b) Buğdayların başak dönemine kadar yetiştirilmesi.....	37
Şekil 3.6. Fungus solüsyonu verilecek başakçığın belirlenmesi	38
Şekil 3.7. Spor solüsyonunun başakçıklara uygulanması	38
Şekil 3.8. Başakçıkların beyaz yağlı keseler ile kapatılması	39
Şekil 3.9. Hasat olgunluğuna gelen başaklardan hastalıkların belirlenmesi	40
Şekil 3.10. İklim odasında buğday ekimi yapılmış saksılar.....	41
Şekil 3.11. Tohumlarına fungus inokule edilen buğdayların gelişimi.....	42
Şekil 3.12. Fungus inokule edilen buğdayların 60. günde gelişim durumları	42
Şekil 4.1. <i>Fusarium equiseti</i> 'nin PDA ortamında gelişiminin terstern görünümü	44
Şekil 4.2. <i>Fusarium equiseti</i> 'nin makrokonidi ve klamidosporeleri	45
Şekil 4.3. <i>Fusarium poae</i> 'nin Petri kabında PDA ortamında üst ve alt yüzeyinin görünümü.....	49
Şekil 4.4. <i>Fusarium poae</i> 'nin mikro ve makrokonidileri.....	49
Şekil 4.5. Moleküler olarak pozitif çıkan <i>F. equiseti</i> 'nin jel görüntüsü.....	53
Şekil 2.2. Moleküler olarak pozitif çıkan <i>F. poae</i> 'nin jel görüntüsü	53
Şekil 2.3. Tri6 ve ZEA2 gen lokuslarının <i>F. poae</i> ve <i>F. equiseti</i> 'de bulunma durumlarının jel sonucunda görüntülenmesi.....	54

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Dünyada üretimden tüketime hububat verileri (milyon ton).....	3
Tablo 1.2. <i>Fusarium</i> türleri ve ürettiği mikotoksinler	8
Tablo 3.1. 2010 ve 2018 yıllarında survey sonucunda teşhis edilen <i>Fusarium equiseti</i> 'nin bitkiden alındığı bölgeler ve alındığı mevkiler	28
Tablo 3.2. 2010 ve 2018 yıllarında survey sonucunda teşhis edilen <i>Fusarium poae</i> 'nin bitkiden alındığı bölgeler ve alındığı mevkiler	29
Tablo 3.3. <i>Fusarium poae</i> PCR karışımının içeriği	34
Tablo 3.4. <i>Fusarium equiseti</i> PCR karışımının içeriği	34
Tablo 3.5. Çalışmada kullanılan besi ortamları	35
Tablo 3.6. <i>Fusarium poae</i> için Tri6 primeri, <i>F. equiseti</i> için ZEA2 primeri ve bazları	42
Tablo 4.1. <i>Fusarium equiseti</i> izolatları ile yapılan kök boğazı çürüklüğü patojenite denemesinin sonuçları	47
Tablo 4.2. <i>Fusarium equiseti</i> izolatları ile yapılan başak yanıklığı patojenite denemesinin sonuçları	48
Tablo 4.3. <i>Fusarium poae</i> izolatları ile yapılan kök boğazı çürüklüğü patojenite denemesinin sonuçları	51
Tablo 4.4. <i>Fusarium poae</i> izolatları ile yapılan başak yanıklığı patojenite denemesinin sonuçları	52

1. GİRİŞ

Buğday (*Triticum aestivum* L.) tüm tarım ürünleri içinde en çok tercih edilen ana besin kaynağıdır. Birçok gıdanın hammaddesi olması ve artan dünya nüfusu buğdaya olan ihtiyacı giderek artırmaktadır. Adaptasyon yeteneğinin geniş olması, üretim, taşıma, depolama ve işleme kolaylığı vb. durumlardan dolayı dünya nüfusunun yaklaşık %35'inin temel besin kaynağı durumundadır. Buğday tanesinin %65-75 nişasta, %9-16 protein, %1-5 yağ, %1,5-3 şeker, %1-3 kül, %11-13 su içerir. Buğdayda karbonhidrat, yağ ve proteinin yanı sıra, insan ve hayvan beslenmesinde önemli ölçüde rol oynayan vitaminler de bulunmaktadır (Aslın, 1986). Buğday; yüzlerce yıl beslenmenin ana ürünü olmuş, toplumda kendine güvenin ve dengenin esasını teşkil etmiştir. Buğdayın tüketimi, ülkelere göre değişmekle birlikte gelişmekte olan ve geri kalmış ülkelerde temel besin maddesi olan ekmeğın ham maddesini olduğundan büyük öneme sahiptir (Arısoy ve Oğuz, 2005). İçerdiği yüksek karbonhidrat, protein, vitamin ve mineral maddelerle besin olarak kullanımının yanı sıra çeşitli endüstriyel kullanımlar için de tercih edilmektedir (Tosun, 1980).

Buğday; Poales takımı, Poaceae familyası, Pooideae alt familyası, *Triticum* cinsi içinde yer alır. Bu cins içerisine giren çok sayıda tür bulunmaktadır. Kültür çeşitlerinin tamamına yakını *Triticum aestivum* L. içerisinde yer almaktadır. Buğday, ilk olarak Orta Doğu ve Doğu Akdeniz ülkelerinin bulunduğu bölgelerde kültüre alınmıştır. Dünya çapında geniş bir alanda üretimi yapılan tek yıllık otsu bir bitkidir (Belderok et al., 2000). Buğday tarımı tarih öncesi çağlara da yanmaktadır. Yapılan arkeolojik kazılar ve elde edilen bulgular sonucunda buğdayın orijininin Mezopotamya'ya dayandığını, daha sonra Avrupa, Kuzey Amerika ve dünyanın diğer bölgelerine taşındığı ortaya konmuştur (Sezer vd., 1997).

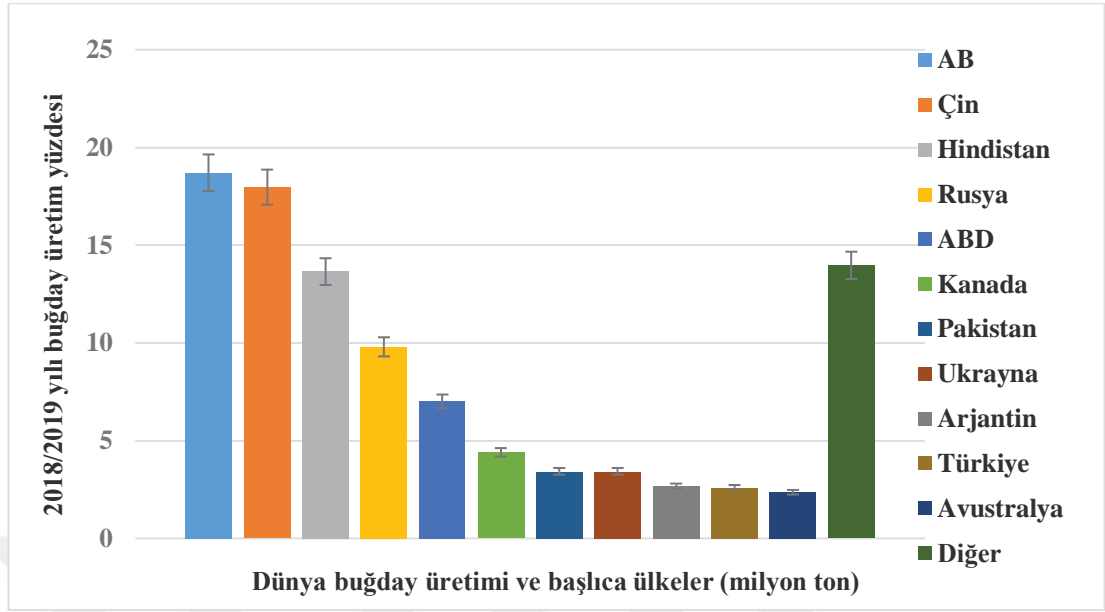
Dünya hububat üretiminin 2.7 milyar ton ile 2017/2018 döneminde son yılların en üst düzeyine ulaşmıştır. Üretimde yıllar itibariyle artış söz konusu iken 2009/2010 dönemi ve 2015/2016 dönemlerinde üretim azalışa geçmiştir. Tüketimde ise daima artış görülmektedir (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. Dünyada üretimden tüketime hububat verileri (milyon ton) (Anonymous, 2019b)

Yıllar	Üretilen hububat miktarı	Tüketim hububat miktarı
2000/2001	1857,72	1892,28
2001/2002	1907,67	1933,20
2002/2003	1831,73	1929,55
2003/2004	1888,83	1963,26
2004/2005	2068,09	2015,99
2005/2006	2047,77	2032,54
2006/2007	2022,21	2064,56
2007/2008	2135,78	2131,62
2008/2009	2301,95	2205,14
2009/2010	2271,30	2237,23
2010/2011	2264,47	2280,63
2011/2012	2361,96	2328,53
2012/2013	2321,41	2338,93
2013/2014	2559,69	2451,16
2014/2015	2611,48	2516,24
2015/2016	2586,98	2554,01
2016/2017	2664,20	2617,39
2017/2018	2703,80	2655,28
2018/2019	2655,01	2683,36

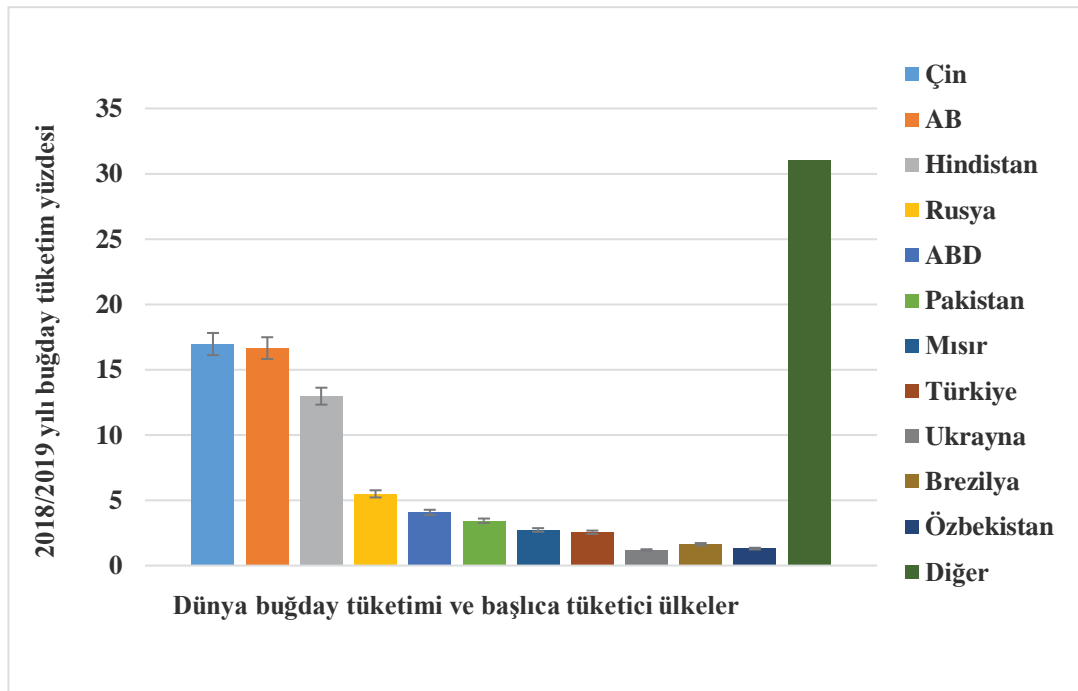
Dünya’da buğday üretimi yapan başlıca üretici ülkeler Tablo 1.1’de verilmiştir. Buğday üretiminde ilk sırayı 2018/2019 döneminde %18,71 oranında AB ülkeleri alırken, sonra sırasıyla %17,97 Çin, %13,65 Hindistan ve %9,80 ile Rusya gelmektedir. Türkiye’de ise üretimde azalma gözlenmiştir. Buğdayın 2018/2019 üretiminin %60,13’ü AB Ülkeleri, Çin, Hindistan ve Rusya tarafından sağlanmaktadır. Türkiye ise 19 milyon ton ile %2,60 oranında paya sahiptir.

Şekil 1.1. Dünya buğday üretimi ve başlıca üretici ülkeler (%) (Anonymous, 2020e)



Dünya buğday tüketimi ve başlıca tüketici ülkelerin son yıllardaki durumu Tablo 1.2’de verilmiştir. Dünya’da buğday tüketim oranı AB ülkeleri, Rusya ve Ukrayna’da azalma gösterirken, Çin, ABD, Mısır ve Türkiye’de artış göstermektedir.

Şekil 1.2. Dünyada başlıca buğday tüketici ülkeler (yüzde) (Anonymous, 2020e)



Türkiye buğday üretiminde Çin, Hindistan, Amerika, Fransa, Rusya gibi ülkelerden sonra yaklaşık 20 milyon ton üretimiyle dünyada 10. sırada yer almaktadır. Türkiye’de buğday üretimi diğer tarımsal ürünler arasında yaklaşık 7,7 milyon ha alanda ve yaklaşık 20 milyon ton üretimle ilk sırada yer almaktadır. Sırasıyla Konya, Ankara, Sivas, Yozgat ve Diyarbakır buğday ekim alanları açısından ilk beş ilimizdir.

Buğday üretimini olumsuz yönde etkileyen ve önemli ürün kayıplarına neden olan birçok etmen mevcuttur. Her yıl buğday üretim sezonu sonunda ürünün yaklaşık %20’sinin buğday hastalıklarından dolayı zarara uğradıkları düşünülmektedir (Wiese, 1987). Türkiye’de toplam 37 milyon ha alanda tarla tarımına ayrılan alanın %57,37’sinde hububat üretimi yapılmakta ve bu alandaki üretim yaklaşık 33 milyon tona ulaşmaktadır. Bu üretimin buğday yaklaşık %59,75’ini ve mısır %17,03’ünü oluşturmaktadır. Toplam 33 milyon tonluk hububat üretiminin %48,25’i insan gıdası olarak kullanılmaktadır.

Buğday üretim miktarı 2019 yılında bir önceki yıla oranla %5 azalmış ve 19 milyon ton olmuştur. Buğday ekim alanları 2005-2019 yılları içerisinde %26 oranında azalmıştır (Anonymous, 2020a). Başta buğday olmak üzere hububatların, ülkemiz için hem ekonomik ve hem de sosyal açıdan taşıdığı önem büyüktür. Önemin büyük olmasına rağmen buğday ekim alanlarındaki azalışın en önemli nedeni, üreticinin karlılık düzeyinin azalmasından dolayı üretimden uzaklaşması ve daha fazla kar edebilecekleri ürünlere yönelmeleri olarak belirtilmektedir (TZOB, 2019).

Türkiye’de artan nüfusa orantılı olarak buğday talebi de artmaktadır. Türkiye, kişi başı tüketimde ilk sıralarda gelmekte ve ekmek, bulgur, makarna, irmik, bisküvi, nişasta ve diğer buğdaya dayalı unlu mamullerin tüketimi esas alındığında ülkemizin buğday tüketimi 19 milyon ton civarındadır. Dünyada veya ülkemizde buğday üretiminde herhangi bir nedenden dolayı azalma olduğunda undan yapılan gıda maddelerinin fiyatları yükselerek herkesin etkilenmesine neden olmaktadır (TZOB, 2019). Buğday üretimini önemli ölçüde etkileyen hastalıkların başında fungal hastalıklar gelmektedir.

Buğdayda görülen başlıca fungal hastalıklar üç gruba ayrılabilir; başak hastalıkları, kök ve kök boğazı hastalıkları, sap ve yaprak hastalıklarıdır. Kök ve kök

boğazı hastalıkları buğdayda verimi sınırlandıran faktörlerin başında gelmektedir (Akgül, 2008).

Buğday üretimi yapılan bölgelerin ekolojisi ve toprak koşullarına bağlı olarak *Fusarium*, *Bipolaris*, *Gaeumannomyces*, *Pseudocercospora*, *Pythium* ve *Rhizoctonia* cinslerine ait bitki patojeni türler; kök, kök boğazı ve sap kısmında yanıklık veya çürüklük benzeri hastalıklara neden olabilen önemli etmenler olarak bilinirler (Wiese, 1987).

1.1. *Fusarium*'un Genel Özellikleri

Fusarium cinsi; Ascomycota bölümü, Sordariomycetes sınıfı, Hypocreales takımı ve Nectriaceae familyasında yer almaktadır. Bu cins tür sayılarının fazla olması, konukçu aralığının geniş olması ve dünyada farklı ekolojilerde canlılıklarını sürdürebilmeleri nedeniyle büyük öneme sahiptir. Nitekim *Fusarium* spp. Almanya'daki tarım ürünlerinde zarar yapmakta, Kanada ve Amerika'da kök ve kök boğazı hastalıklarından kaynaklı kayıplar ise %17'ye ulaşmaktadır. Ülkemizde bu hastalığı oluşturan funguslar arasında yer alan *Fusarium* spp., bitkilerin kalitesini düşürmekte ve önemli verim kayıplarına neden olmaktadır (Aktaş, 2001; Demirci, 2003; Araz vd., 2010).

Bu cins içerisinde yer alan *Fusarium culmorum*, *F. pseudograminearum*, *F. graminearum*, *F. avenaceum*, *F. acuminatum*, *F. crookwellense*, *F. poae* ve *Microdochium nivale* (*F. nivale*) türlerinin buğdayda kök, kök boğazı ve sap çürüklüğünden sorumlu esas türler oldukları *F. equiseti* gibi türlerin ise zayıf patojen olduğu bildirilmiştir (Wiese, 1987). Yapılan bir çalışmada buğdayda hastalığa neden olan endofitik *Fusarium* türlerinin incelenmesiyle sağlıklı bitkilerden en fazla *F. oxysporum*'un izole edildiğini ve bunu *F. equiseti*'nin izlediğini bildirmişlerdir (Tunalı ve Kansu, 2010). Avrupa'da patojenler içerisinde *F. graminearum*, *F. avenaceum*, *F. poae* daha çok izole edilirken *F. tricinatum*, *F. sporotrichioides*, *F. equiseti*, *F. langsethiae* ve *F. culmorum* daha az izole edilmektedir (Marin et al., 2012). Bu türler yaşamlarını, konukçusunun olmadığı dönemleri hasat artıkları içerisinde çoğunlukla miselyum olarak, bazıları toprak veya bitki artıklarında klamidospore, bazıları da konukçu doku üzerinde peritesyum halinde ya da Poaceae familyasına ait bazı yabancı otların kök sistemlerinde parazit halde geçirmektedirler (Cook, 1986).

Buğdayda kök, kök boğazı ve sap çürüklüğü hastalığı ülkemiz dahil dünyada buğday üretiminin yapıldığı birçok bölgede yaygın olarak görülmektedir (Cook, 1986; Akgül, 2008). Buğdayda *Fusarium* kökboğazı çürüklüğü hastalığı dünyanın kurak bölgelerinde verim kaybına neden olan hastalıkların başında gelmektedir (Tunalı vd., 2008). Özellikle monokültür hububat tarımının yapıldığı alanlarda topraktaki inokulum yoğunluğu zamanla artmaktadır. Hastalık yoğunluğunun çok olduğu yerlerde hasattan sonra inokulumun önemli bir kısmı toprakta kalmakta ve bu inokulum iki yıl boyunca topraktaki varlığını devam ettirebilmektedir. İklim, toprak koşulları, üretim yapılan bölgenin ekolojik ve coğrafi özellikleri hastalık yaygınlığını, hastalık şiddetini ve verim seviyelerini etkileyen en önemli unsurlardır. Bunların yanı sıra o bölgedeki ürün çeşitliliği, ekimi yapılan hububat çeşitlerinin hastalığa göstermiş oldukları tolerans düzeyleri, gübreleme, toprak işleme ve fungusit kullanımı gibi faktörler de hastalığın gelişiminde önemli rol oynamaktadırlar. Patojenle bulaşık olan bir bölgede, bitkilerin enfeksiyona uğrama olasılıkları çok yüksek olmaktadır. Hastalığın seyri toprak ve bitkideki su durumuyla yakından ilişkilidir. Kök ve kök boğazındaki dokulardan ya da yeni kök çıkışı sırasında oluşan küçük yaralardan başlayan enfeksiyonlar, hava sıcaklığı veya yağış düzeyine göre hastalık şiddetinin durumunu belirler. Özellikle başak oluşumu ve çiçeklenme döneminde hava sıcaklığının yüksek ve toprak suyunun düşük olduğu durumlarda bitkinin hastalık etmenlerine olan direnci düşeceğinden dolayı hastalığın şiddetinin artabileceği bildirilmiştir (Cook, 1986; Akgül, 2008).

Buğday tohumlarının çimlendiği dönemden başak oluşana kadar geçen tüm zamanlarda, konidiler veya klamidosporların çimlenmesiyle bitki enfeksiyona uğrayabilmektedir. Fide döneminde meydana gelen düşük seviyedeki enfeksiyondan bitkiler fazla etkilenmemekte ve normal gelişimine devam edebilmektedirler. Fakat ilerleyen zamanda hastalık şiddetinin artması hızlı bir belirti oluşumuna neden olmaktadır. Hastalığa yakalanan bitkilerin kök, kök boğazı ve saplarında şeritler şeklinde uzayan ya da tüm sapı tamamen kaplayan kahverengi lekeler görülür. Bu lekeler enfeksiyonun yoğunluğu ve hastalığın durumuna göre bazen yaprak kınlarına, gövdede 4. ve 5. boğuma kadar ilerleyebilmektedir. Bazı durumlarda çiçeklenme zamanında yaşanan su stresiyle birlikte bitkilerde beyaz başak oluşumu ve erken ölümler olabilmektedir. Bu belirtileri gösteren bitkilerde, iletim demetlerinin görevlerinde yetersiz kalmaları ve buna bağlı olarak fizyolojik bozuklukların

meydana gelmesiyle bitkiler normal yaşam süresinden daha kısa bir sürede ömürlerini tamamlamakta ve ürün veriminde önemli ölçüde düşüşler gözlenmektedir. Hastalığın şiddetli olduğu bölgelerde üründe zararın %50-70 seviyelerine ulaştığı kaydedilmiştir (Akgül, 2008). Uygun şartlar oluştuğunda *Fusarium* türleri tarımsal ürünlerde, tarladan veya bahçeden başlayarak ürünün tüketiciye gelinceye kadarki aşamalarda gelişerek, gıdalarda bozulmalara neden olmaktadır. Bu zararların çoğu, bazı fungusların üretmiş oldukları mikotoksin denilen toksik maddelerden kaynaklanmaktadır.

Mikotoksinler, yem ve gıda maddelerinde funguslar tarafından sentezlenen metabolizma ürünleri olup, bunlar ile beslenen canlılarda latent, akut veya kronik hastalıklara neden olan toksik maddelerdir. Bazı mikotoksinler kanserojendir ve bağışıklık sistemine zarar verir (Girgin vd., 2001).

Mikotoksin kontaminasyon durumu iklim şartlarına, ürünün cinsine ve coğrafi konuma bağlı olarak mevsimden mevsime, yıldan yıla değişiklik gösterebilmektedir. Dünyadaki ürünlerin dörtte birinin mikotoksin ile kontaminasyon riskinin olduğu bildirilmiştir (Steyn et al., 1999). Mikotoksinleri üreten funguslar, bitkiyi hasat öncesinde veya hasat sonrasında enfekte edebilirler. Pek çok fungus büyüme, gelişme ve mikotoksin üretimi için belli koşullara ihtiyaç duyar. Bu koşulları özetle; nem, sıcaklık, substrat tipi ve besinsel faktörler, atmosferin oksijen ve karbon dioksit düzeyleri, ortamda diğer fungus türlerinin varlığı, coğrafi konum, genetik şartlar olarak verebiliriz. Toksin üretiminin boyutu aynı zamanda eser metaller, böcek faaliyetleri, bitkisel ilaçlar, baharatlar, besin katkı maddeleri gibi faktörlerden de etkilenebilmektedir (Concon, 1988).

Günümüzde 350 fungus türünün 400'den fazla mikotoksin ürettiği tespit edilmiştir. Mikotoksin üreten fungusların çoğunluğu *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Rhizopus* ve *Cladosporium* cinsleri içerisinde yer almaktadır (Tiryaki vd., 2011). Aflatoksin filamentli funguslardan *Aspergillus* cinsine ait üç tür ve iki alt tür tarafından oluşturulur. Bunlar; *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus*, *A. nomius* türleri ve *A. flavus* var. *columnaris*, *A. parasiticus* var. *globosus* alt türleridir (Tunail, 2000).

1.2. *Fusarium* Toksinleri

Fusarium türleri bitki patojeni olarak önemli rol oynamakta olup çeşitli tahıl ürünlerinde dip çürüklüğü, yaprak ve başak yanıklığı ve koçan (dane) çürüklüğü

hastalıklarına neden olmaktadır (Uçkun ve Yıldız, 2003; Schollenberger et al., 2004). Bunlar arasında mikotoksinler yönüyle önemli olanları; buğdayda başak yanıklığı ve mısırdaki koçan çürüklüğü hastalıklarıdır (Uçkun ve Yıldız, 2003). *Fusarium* türleri özellikle tropik ve subtropik bölgelerde yetişen tarım ürünlerinde farklı kimyasal yapıda çok sayıda mikotoksin (Tablo 1.4) sentezlemektedir (European committee, 1999).

Tablo 1.2. *Fusarium* türleri ve ürettiği mikotoksinler (European committee, 1999)

Fungus Türü	Ürettiği Mikotoksin
<i>Fusarium culmorum</i>	Deoksinivalenol (DON), 3-acetyl DON, 15 acetyl DON, nivalenol, fusarenon X, ZEA
<i>F. graminearum</i>	DON, 15-acetyl DON, nivalenol, fusarenon X, ZEA
<i>F. sporotrichioides</i>	T-2 toksin, HT-2 toksin, neosolaniol, diacetoxyscirpenol, fusarenon X, ZEA
<i>F. poae</i>	T-2 toksin, HT-2 toksin, nivalenol, diacetoxyscirpenol, fusarenon X
<i>F. moniliforme</i> , <i>F. verticillioides</i> , <i>F. proliferatum</i> ve <i>Alternaria alternata</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	Fumonisin (B1, B2 ve B3), moniliformin, fusarin C Fumonisin (B1, B2 ve B3)
<i>F. equiseti</i>	Beauvericin, MON, NIV, DON, ZEA
<i>F. oxysporum</i>	Moniliformin, wortmannin, fusarik asit, sambutoksin

1.2.1. Trikotesenler (Diasetoksisirpenol (DAS), T-2 Toksin, Nivalenol (NIV), Deoksinivalenol (DON), HT-Toksin)

Trikotesenler kimyasal yapıları nedeniyle tetrasilik terpenoidler grubuna dahildirler. Bunlardan tarım ürünlerinde doğal kontaminant olarak saptananlar dört adettir. Bunlar; diasetoksisirpenol, T-2 toksin, nivalenol (NIV), deoksinivalenol (DON) ve T-2 toksinin parçalanması sonucu oluşan toksik metabolit HT-toksin'dir. (Tunail, 2000). Tarım ürünlerinde trikotesen kontaminasyonunun çoğunluğu A grubundan olan T-2 toksini ve scirpentriol ile B grubu DON, NIV ve türevlerinden oluşmaktadır. T-2 toksini ve scirpentriolün doğada bulunma sıklığı DON ve NIV'e göre daha düşüktür (Hsueh et al., 1999).

Trikotesen grubuna ait metabolit ilk kez *Trichothecium roseum*'dan izole edilmiş ve trikotesen adını almıştır. Bu gruba giren birçok cins olsa da bu mikotoksinler en fazla *Fusarium* spp. tarafından üretilmektedir. *F. sporotrichoides*, *F. sambucinum*, *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. poae*, *F. tricinctum*, *F. nivale*, *F. solani* ve diğer *Fusarium* türleri yanında *Trichoderma viride*, *Myrothecium roridum* ve *Trichothecium roseum* da trikotesen üreten türlerdir (Tunail, 2000).

Trikotesenlerin toksisite oranları yüksektir. Hücre içinde protein sentezini inhibe eder. Canlıya 30 µg/ml düzeyinde verildiğinde protein sentezini durdurur. Molekül ribozomlarda polipeptid transferaz enzimini durdurur. Metabolizmada SH grubunu içeren önemli enzim veya koenzimlerle aksiyona girer ve reaksiyonlarını durdurur. T-2 toksininin ağız yoluyla verilerek belirlenen toksisitesi LD₅₀=3.8 mg/kg, diasetoksisirpenolün toksisitesi LD₅₀=7.3 mg/kgdır (Tunail, 2000).

Fusarium türleri ile kontamine tahılları tüketen insanlarda ağız, burun, sindirim sistemi ve böbreklerde kanamalar ve sonuçta ölüm görülmüşse de bu etkilerin sırf trikotesenlerden kaynaklı olduğunu söylemek zordur. İnsan ve hayvanlarda akut dozun altındaki doz alımlarında kusma görülür. Deney hayvanlarında gözlenen en önemli etki; deri nekrozları, kusma, lökopeni ve yemden yararlanma kabiliyetinde meydana gelen azalıştır (Tunail, 2000).

Birçok trikotesen hem mikotoksik hem de zootoksik ajanlardır. Bazıları antifungal, antiviral ve antibakteriyeldir. Ciltte yanma, kaşıntı, şişlik, kuruma, çatlama, pul pul dökülme; ayrıca ince bağırsak iltihabı (enterit), kusma, oral nekroz, gastroenterik nekroz gibi toksisite belirtileri göstermektedir (Hsueh et al., 1999). Trikotesenler oldukça güçlü enflamatuvar ve ödem gibi önemli sistemik etkilere sahiptirler; özellikle abdominal ödem diğer dokularda toksik etki gözlenmeyecek kadar düşük seviyede dahi görülebilen bir etkidir. Trikotesenler içerisinde bulunan Verrucarın A ile akut ve subakut maruziyette pek çok hayvan türü ile yapılan deneylerde diyare, hematüri, bazen kusma, anoreksi, susuzluk, ataksi, ve kilo kaybı gibi etkiler gözlemlenmiştir. Bu belirtilere ilave olarak bu grup toksinlerin yüksek dozlarda beyinde ve kalp kaslarında dejenerasyon ve kanamalara neden oldukları saptanmıştır. Testis, timus ve lenf nodüllerinde ciddi lezyonlar oluşturmuşlar ve bazı hayvanlarda gastrointestinal kanal (GİK) enflamasyonlarına neden oldukları gözlenmiştir. İnsanlarda düşük doz etkileri olarak; bulantı, kusma, anemi, hemoraji, diyare ve immünosupresyon görülebilmektedir (Berger et al., 1999, Razzazi-Fazeli et al., 1999).

Trikotesenler doğada sık bulunmaktadır. Rusya'da kışı bitki artıklarında geçirerek önemli ölçüde sıcaklık değişimlerine maruz kalmış ve kontamine olmuş tahıl tüketimine bağlı olarak oluşan "alimentary toxic aleukie" (ATA) sorumlu tutulmuşlardır. ATA'nın klinik bulguları cilt toksisitesi, kemik iliği hasarı, hemorajiler ve diğer bazı sendromlardır. ATA 1942-47 yılları arasında Sibiryaya

yakınlarındaki Orenburg şehrinde insan popülasyonunun %10'undan fazlasının ölümüyle ilişkili bulunmuştur. Yapılan incelemelerde ölen kişilerin *Fusarium sporotrichioides* ve *Fusarium poae* ile kontamine olmuş kışlık tahıl yedikleri anlaşılmıştır. Semptomları T-2 ile benzer şekilde kusma, diyare, deri enflamasyonu, lökopeni, çoklu hemoraji ve kemik iliği hasarı ile karakterizedir. Bundan dolayı T-2 toksininin ATA'daki belirtilere neden olduğu tahmin edilmektedir (Steyn, 1999).

Fusarium spp. tahıllarda (buğday, yulaf, arpa, çavdar, mısır, pirinç), sorgum, fasulye, meyve ve sebzelerde görülür. Avrupa ve Amerika gibi soğuk-serin iklim kuşağına sahip bölgelerinde *Fusarium* türleri iyi gelişmektedir. Özellikle bu bölgelerde trikotesen içerikli yemler hayvan zehirlenmeleriyle ölümlerine neden olur ve yaşanan olaylar azımsanmayacak kadar çoktur. Bu yemlerde diğer toksinlerin yanı sıra T-2 toksini 2 mg.kg⁻¹ seviyesinde bulunmuştur. Hayvan yemi olarak kullanılan mısırlarda trikotesenler oldukça fazla görülür. DAS miktarı 31.5 mg.kg⁻¹ seviyesine kadar çıkabilmektedir. Türkiye tahıl ve yem ürünleri yönünden bulunduğu iklim kuşağı nedeniyle trikotesenler açısından riskli kabul edilmemektedir (Tunail, 2000).

Trikotesenler aynı zamanda kimyasal savaş silahı olarak da kullanılmıştır. 1970'lerin sonlarında Güneydoğu Asya ve Afganistan'da kimyasal silah olarak kullanıldıkları bildirilmiştir. Daha yakın bir zamanda ise, Irak Birleşmiş Milletler Özel Komisyonu (UNSCOM) tarafından biyolojik silah olarak kullanmak amacıyla trikotesen üretmekle itham edilmiştir. Kimyasal silah olarak kullanılan trikotesenler; T-2 toksini, DON, DAS ve NIV'dir (Hsueh et al., 1999).

1.2.2. Zearalenon (ZEA)

Fusarium spp. tarafından oluşturulan ve lakton yapıya sahip bir diğer sekonder metabolit zearalenondur. F-2 toksin de zearalenona dahildir (Tunail 2000). Zearalenon (ZEA); mısır, arpa, yulaf, buğday ve darılarda yaygın olarak bulunan *Fusarium* türleri tarafından üretilebilen bir mikotoksindir (Girgin, 2001).

ZEA oluşumu genellikle hasat öncesi tarla koşullarında gerçekleşmekte ve diğer *Fusarium* toksinleri ve özellikle de DON ile bir arada oluşmaktadır (EFSA, 2004). Östrojenik bir mikotoksin olan ZEA endokrin hormonuna (östrojen) karşı aktivite göstermekte ve özellikle domuzlarda hyperestrogenism'e neden olmaktadır. (Ryu et al., 1999; Mateo et al., 2002). ZEA'nın sindirim sonrası çeşitli dokular tarafından, özellikle de karaciğerde trans ve cis formları olan a-zearalenol ve b-

zearalenol'e dönüştüğü belirtilmektedir (EFSA, 2004). Bu konuda yapılan çalışmalarda trans-a-zearalenol'ün ZEA'a oranla 3-4 kat daha östrojenik aktiviteye sahip olduğu bulunmuştur (D'Mello et al., 1999). Bunun yanı sıra, Çin ve Güney Kore'de ZEA ile kontamine olmuş tahıl tüketen insanlarda özofagus (yemek borusu) kanseri vakaları rapor edilmiştir (Mateo et al., 2002).

ZEA lakton halkasına sahip olmasına rağmen sıcaklığa karşı dayanıklıdır. Saf kristal formda ve gıdalarda doğal kontaminant halinde bulunan ZEA'nın 150°C'de 44 saat süreyle parçalanmadığı belirtilmektedir (Ryu et al., 1999). ZEA'nın erime sıcaklığının 164-165°C, maksimum UV absorpsiyonunun ise 235 nm olduğu rapor edilmiştir (EFSA, 2004).

Genel olarak *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. equiseti*, *F. avenaceum*, *F. nivale*, *F. oxysporum* türleri tarafından üretilen ZEA ölümlerle sonuçlanan zehirlenmeler yerine östrojenik etkisiyle sahiptir. Bu mikotoksine en fazla domuzlar hassastır. Sığırlar da zaman zaman etkilenirler ancak kanatlılar üzerinde etkisi belirlenmemiştir (Girgin, 2001). Domuzlarda kısırılık, yavru atma ve hormonal bozukluklar meydana getiren toksin en fazla serin ve soğuk iklimde yetiştirilen tahıllarda görülmektedir. Birçok mikotoksinde olduğu gibi mısır ZEA oluşumu için en uygun substrattır. Buğday, pirinç, fasulye ve özellikle yem olarak kullanılanlarda da görülmektedirler. Yemlerde 0.12 mg.kg⁻¹ düzeyinde bulunduğu takdirde kronik toksik etki meydana getirir. ZEA'nın gıdalarda bulunabilecek miktarları bazı ülkeler tarafından belirlenmiştir. Macaristan tüm gıdalarda bulunabilecek miktarı 50 µg.kg⁻¹ olarak yasal düzenleme ile sınırlarken Avusturya buğday ve çavdar için 60 µg.kg⁻¹ değerini, Fransa tahıllar, mısır, darı ve bitkisel yağ için 200 µg.kg⁻¹ sınır değeri yasal düzenleme ile belirlenmiştir. Rusya'daki yasal sınır değeri; bütün daneli ürünler ve yağlı tohumlar için 1000 µg.kg⁻¹ ZEA'dır. Ayrıca T-2 toksin de yine aynı ürünler için 1000 µg.kg⁻¹ sınırlamasını getiren tek Avrupa ülkesi Rusya'dır (Tunail, 2000).

1.2.3. Fumonisin (FUM) ve Moniliformin (MON)

Fumonisin ve moniliformin daha çok mısırlarda görülmektedir. Ayrıca arpa ve durum buğdayları moniliformin ile kontamine olabilirler. Fumonisin ilk olarak 1988 yılında *Fusarium moniliforme*'nin metaboliti olarak izole edilmiştir. Moniliformin ise aynı fungusun alt türü olan *F. subglutinans* (Syn: *F. moniliforme* var. *subglutinans*) tarafından oluşturulmaktadır. Daha sonra başka *Fusarium* türlerinin de bu metaboliti üretebildiği tespit edilmiştir (Tunail, 2000).

Fumonisinler *F. moniliforme*, *F. dlamini*, *F.nygamai*, *F.subglutinans*, *F. napiformis*, *F. proliferatum* ve *F. anthophilum* gibi çeşitli funguslar tarafından üretilmelerine rağmen Fumonisin ürettiği bilinen fungusların en başında *F. moniliforme* (*F. verticillioides* ve *F. proliferatum*) gelmektedir. (Girgin, 2001).

Bugüne kadar altı farklı fumonisin yapısı tanımlanmıştır. Bunlardan fumonisin B1 (FB1) ve FB2 major toksinler olup, FB3, FB4, FA1 ve FA2 minör olanlarıdır (Girgin, 2001).

FB1 ve FB2 yapısal olarak benzer olan ve atlarda lökoensefalomalazi (LEM), domuzlarda pulmoner ödeme neden olmaktadır (Tseng and Liu, 1999). LEM daha çok Meksika, ABD, Mısır ve Güney Afrika'da karşılaşılan bir hastalıktır. Eşek ve atların beyininde nekroz oluşturmaktadır. Ayrıca *F. moniliforme* ile kontamine mısır tüketiminin aynı zamanda Güney Afrika ve Çin'deki özefagal kanser vakaları ile de ilişkili olduğu sanılmaktadır. Bilinen altı fumonisinden FB1 ve FB2'nin N-asetil türevleri olan FA1 ve FA2, *F. moniliforme* kültürleri tarafından en az üretilen ve en az toksisiteye sahip türevler olarak karşımıza çıkar. Bu iki yapısal analog ve FB4 doğada bulunmazlar (Steyn, 1999).

Bu mikotoksinlerin oluşturduğu zararların daha çok *Fusarium* başak yanıklığı (FBY) hastalığında karşımıza çıktığı bildirilmektedir (O'Donnell et al., 2013). FBY, en az 17 *Fusarium* spp.'nin neden olduğu karmaşık bir buğday hastalığı olmakla birlikte (Parry et al., 1995), çeşitli toksijenik (*Fusarium* spp.) ve toksijenik olmayan (*Microdochium*) türlerin neden olduğu tahılların başlıca hastalığıdır (Bottalico, 1998).

1.3. Başak Yanıklığı Etmeni *Fusarium* spp.'nin Yaşam Döngüsü

Eşeyli devresi bulunmayan *Fusarium* spp.'nin toprakta veya hasat edilmiş bitkilerin artıklarında kışı geçirdiği klamidospore veya misel formu ilkbaharda birincil inokulum kaynağını oluşturmaktadır. (Bowden et al., 2010). Fungus, buğday tohumundan da bulaşabilmektedir.. Eşeyli devresi bulunan *Fusarium* spp. de ise ilk bulaşmalar, sıcaklıklar artmaya başladığı zaman ilkbaharda hasat artıkları üzerinde oluşan peritesyumlar tarafından üretilen askosporlardan meydana gelir. İlkbaharda, askospor ve/veya konidi bitki artıklarından rüzgar, yağmur veya sulamadan sıçrayan su ile yayılır. Buğday başaklarına gelerek nemli ve sıcak havalarda çimlenip, çiçek kısımlarını ve diğer kısımları enfekte ederler. Enfeksiyonlar çoğunlukla anterlerin

çiçeklenme sırasında poleni oluşturduğu ve döktüğü aşama sırasında meydana gelir (Strange, 1971). Bu dönemde bitki hassastır ve büyüme aşamalarında meydana gelen enfeksiyonlar sonucunda başak yanıklığı oluşur. Buğdayda en zararlı enfeksiyonlar çiçeklenme sırasında veya çiçeklenmeden kısa bir süre sonra ortaya çıkar (Wegulo, 2012). *Fusarium* Başak Yanıklığı (FBY), monosiklik bir hastalık olarak kabul edilir. Yani, ilk enfeksiyonlardan sonra, sekonder enfeksiyonların başaklarda oluşan konidiler ile ya çok az ya da hiç meydana gelmeyeceği bildirilmiştir (Wegulo, 2012).

Sıcak havalarda (25°C-30°C) ve nemli koşullarda, nekrotik belirtiler enfeksiyondan 2 ila 4 gün sonra gelişir. Bu nedenle, görünüşte sağlıklı olan bir ürün, aniden belirti gösterebilir. Tarlada büyüme mevsimi boyunca yeni oluşan başaklarda enfeksiyon oluşturup, başakların erken beyazlaşmasına neden olur. Buğdayda beyazlaşma, bir başakçıkta veya daha fazla başakçıkta başlar ve başak tamamen beyazlaşmaya kadar devam edebilir. Hastalık açısından elverişli bir gelişme döneminde, tarlada rastgele dağılmış çok sayıda hasta başak görülebilir. Beyazlaşmış başakçıklar içerisinde taneler buruşuk, tebeşirleşmiş veya pembemsi renkte olabilmektedir (McMullen et al., 1997). Sağlıklı görünen tanelerde, özellikle enfeksiyon tane gelişiminin geç döneminde meydana gelirse, enfekte olabilir. Gelişim sürecinin diğer aşamalarında veya hasattan sonra peritesyumlar oluşabilir (Paul et al., 2005).

FBY yalnızca ürün verimini değil aynı zamanda kaliteyi de büyük ölçüde düşürmektedir (O'Donnell et al., 2013).

Ayrıca FBY etmenleri, insanlarda ve hayvanlarda toksik aktiviteye sahip maddeler olan mikotoksinleri biyosentezlenmesini sağlamaktadır (da Rocha et al., 2014). FBY'ye neden olan çeşitli türler arasında, *F. graminearum*, yaygın görülme sıklığı ve virülensi yüksek olması nedeniyle küresel olarak en önemli tür olarak kabul edilir (Goswami and Kistler, 2004; Kazan et al., 2012). Bununla birlikte *F. avenaceum*, *F. poae*, *F. acuminatum* ve *F. equiseti* gibi diğer türler zayıf patojen olarak değerlendirilmekte, dünyada birçok buğday ekim alanında sıklıkla FBY ile ilişkilendirilmektedir (Beccari et al., 2018; Birzele et al., 2002; Covarelli et al., 2015a; Grafenhan et al., 2013; Infantino et al., 2012; Ioos et al., 2004; Isebaert et al., 2009; Marin et al., 2012; Nielsen et al., 2011; Osborne and Stein, 2007; Stenglein, 2009; Tittlemeier et al., 2013; Uhlig et al., 2007; Xu et al., 2005, 2008).

FBY'ye dahil olan *Fusarium* türleri, epidemiyolojileri, patojeniteleri ve mikotoksin üretme kabiliyetleri bakımından farklılık gösterdiği ve çoğu *Fusarium* türlerinin, çeşitli derecelerde toksisiteye sahip bir veya daha fazla mikotoksin ürettiği belirlenmiştir (Bottalico and Perrone, 2002).

Buraya kadar bahsedilen bilgiler doğrultusunda bu yüksek lisans tez çalışmasında buğday ekim alanlarında yaygın olarak bulunan *Fusarium equiseti* ve *F. poae*'nin patojenitesive sıcakkanlılarda önemli sağlık sorunlarına yol açabilen zearelonone (ZEA) ve trikotesen toksinlerini oluşturma kapasiteleri belirlenecektir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. *Fusarium* Başak Yanıklığı ve Kök Boğazı Çürüklüğü Hastalıkları Genel Bilgiler

Parry ve Jenkinson (1995), *Fusarium* türlerinin tane verimi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ve buğdayda %70'e varan ürün kayıplarına neden olduğunu bildirmişlerdir.

Doohan vd. (1999), *F. poae*'nin zayıf bir patojen olduğunu belirterek, genellikle tahıl kavuzundan izole edildiğini ve buğday üzerinde yaptıkları bir çalışmada verimi düşürmediğini bildirilmişlerdir.

Wang vd. (2005), *Fusarium* ile enfekte olan buğday tanelerinde nişasta granüllerinde ve tanenin endosperm protein matriksinde yüksek oranda bozulmaya neden olduğunu kanıtlamışlardır.

Giancaspro vd. (2006), durum buğdayının FBY'ye yumuşak buğdaydan (*Triticum aestivum* L.) daha duyarlı olduğunu bildirmişlerdir.

Kriss vd. (2010), buğday ununun kalitesinin büyük ölçüde gluten proteinlerine bağlı olduğunu tespit etmişler, ayrıca ABD'de hasat zamanına kadar yapılan araştırmada günlük ortalama bağıl nem ve günlük toplam yağış miktarı ile ilgili değişkenlerin FBY yoğunluğu ile pozitif kolerasyon gösterdiğini belirlemiştir.

Hietaniemi vd. (2016)'da yaptıkları çalışmada, ilkbaharda tahıllarda gözlenen baskın *Fusarium* türlerinin *F. avenaceum*, *F. poae*, *F. culmorum* ve *F. graminearum* olduğunu bildirerek *F. poae* gibi zayıf patojenlerin oluşturduğu enfeksiyonlarında genellikle tipik semptomlara yol açmadığını belirtmişlerdir.

Beccari vd. (2019), *F. avenaceum*, *F. poae* ve *F. acuminatum*'u zayıf patojen olarak belirterek, dünyadaki birçok buğday ekim alanında sıklıkla FBY ile ilişkilendirildiklerini ve son yıllarda FBY kompleksinin içerisinde önemli rol aldıklarını bildirmişlerdir.

Edwards vd. (2012), İngiltere'den alınan yulaf örneklerinin %90'ında *F. poae*'nin varlığını tespit etmişlerdir.

Beule vd. (2019), Amerikada orman altı alanlarda yetişen buğday ve arpada *F. tricinctum*'un, hem arpa hem de buğday tanesinde en çok tespit edilen *Fusarium* türü olduğunu ve her iki tahılda en çok bulunan ikinci türün *F. graminearum* olduğunu

bildirmişlerdir. Mankevičienė vd. (2019), *Fusarium* başak yanıklığının (FBY), *F. graminearum* (*Gibberella zae* teleomorph) ve *F. culmorum*'un yaygın bir tahıl hastalığı olduğunu ve buğday tane veriminde azalma ile birlikte daha düşük kalitede ürünlerin oluşmasına neden olduklarını belirtmişlerdir.

Eggert vd. (2011), *Fusarium* spp. enfeksiyonu sonucunda fungus tarafından oluşturulan proteaz üretiminin glutenin bozulmasına neden olduğunu bunun da hamur kıvamında olumsuz sonuçlar oluşturarak, hamur işlevselliğinde ve somun hacminde kayba neden olduğunu bildirmişlerdir.

Suproniene vd. (2010), Litvanya'da üretilen tahıllarda en yaygın *Fusarium* türlerinin *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. poae*, *F. sporotrichioides*, *F. langsethiae* ve *F. equiseti* olduğunu moleküler yöntem kullanarak saptamışlardır.

Audenaert vd. (2012), *F. poae*'nin azol grubu fungusitlere karşı yüksek direnç seviyesine sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Tan vd. (2020), FBY hastalığı etmenleri arasında bulunan *F. graminearum* ve *F. poae*'nin enfeksiyonlarında simptom gelişiminin enfeksiyonun bulaşma zamanıyla alakalı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yaptıkları çalışmada *F. graminearum*'dan önce zayıf patojen olan *F. poae* ile ön aşılama, tek başına *F. graminearum* enfeksiyonuna kıyasla FBY ve mikotoksin seviyelerinde azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Martinez vd. (2020), *F. graminearum* ve *F. poae* ile kontamine olmuş buğday örnekleri incelendiğinde özellikle *F. poae*'nin gliadinleri ve gluteninleri parçalayarak unun kalitesini ciddi oranda etkilediklerini bildirmişlerdir.

McCormick vd. (2015), Finlandiya'da *Fusarium poae*'nin çeşitli gıda ürünlerinde (buğday, yulaf, pirinç, mısır, arpa vb.) yaygın olarak bulunduğunu bildirmiştir.

2.2. Mikotoksinler Hakkında Genel Bilgiler

Mosmann, (1983), *Fusarium* türlerinden özellikle *F. sporotrichioides*, *F. poae*, *F. equiseti* ve *F. acuminatum* tarafından üretilen T-2 toksininin A tipi trikotesenler içerisinde en toksik olan mikotoksinlerden biri olduğunu bildirmişlerdir.

Dünya Sağlık Örgütü (1990), mikotoksinlerin gıda ve yemlerde bulunması, insan ve hayvanların sağlığında olumsuzluklara neden olabileceğini belirterek

mikotoksin ile kontamine olmuş tahılların tüketimi, mide-bağırsak, karaciğer'de kanserojen hastalıklara, memelilerde bağırsakların tahriş olmasına, kusma, yem reddi, dermatit ve immünolojik sıkıntılara neden olabileceğini bildirmiştir.

Pettersson, (1991), *F. poae*'nın 10°C'de NIV üretmediğini ve üretimin 23-25°C'de daha düşük sıcaklıklara göre daha yüksek olduğunu bildirmiştir.

Gang vd. (1998), tarla koşulları altında, dokuz Avrupa ülkesi ve Avustralya'dan toplanan 42 *F. culmorum* izolatu ile hassas bir kışlık çavdar popülasyonu üzerinde çalışmışlardır. Aynı 42 izolatu *in-vitro* olarak çavdar tanesi üzerinde inkübe etmişler ve her iki testte de, izolatların ürettikleri DON miktarları açısından büyük ölçüde farklılık gösterdiğini saptamışlardır.

Kang vd. (1999); McCormick vd. (2003) ve Gale vd. (2003), dünya çapında tahıl üreten bazı ülkelerde *Fusarium* kemotiplerinde büyük değişiklikler saptamışlardır. Örneğin Arjantin'de dört yıl boyunca (2001-2004) 3-ADON (3-asetil DON) kemotiplerinde artış olduğunu ancak Uruguay'da bu artışın 15-ADON'da (15-asetil DON) olduğunu saptamışlardır.

Langseth ve Rundberget (1999), 1996-1998 yılları arasında Norveç'te silo ve diğer tahıl depolanan alanlarından alınan örneklerde DON ve HT-2 toksini en sık saptanan trikotesenler olduğunu, ardından T-2 toksin, NIV ve scirpentriol'un geldiğini, Norveç'te yulafın, fazla yulaf tüketen insanların sağlığını tehdit edebilecek konsantrasyonlarda HT-2 ve T-2 toksini içerdiğini saptamışlardır.

Placinta vd. (1999), *Fusarium* ile kontamine olmuş tahılların; insanlar ve hayvanlar üzerinde zararlı etkilere neden olabilecek en önemli mikotoksin gruplarından biri olan trikotesenleri üretme kapasitesine sahip olduğunu belirterek, olumsuz çevre koşullarının, ürünlerin depo koşullarındaki değişikliklerin farklı *Fusarium* türleri tarafından üretilen mikotoksinlerin türünü ve miktarını etkileyebileceğini belirtmişlerdir.

Campbell vd. (2000), Kanada'dan alınan yulaf örneklerinin %47'sinin DON ile kontamine olduğunu belirleyerek, bu mikotoksin seviyesinin özellikle çevresel koşullardan ve *Fusarium* türlerinin oluşumundan etkilendiğini belirtmişlerdir.

Detrixhe vd. (2003), *Fusarium* spp. neden olduğu *Fusarium* başak yanıklığı hastalığının buğdayda çiçeklenme döneminde meydana geldiğini, verim kayıplarına ek olarak, bu fungusların uygun çevre koşullarında toksik bileşikleri (mikotoksinler)

sentezleyerek, hayvan ve insan sağlığı için önemli bir tehdit oluşturabileceklerini bildirmişlerdir.

Hope ve Magan (2003), *F. culmorum*'un 25°C'de 15°C'de olduğundan daha fazla NIV ürettiğini bildirmiştir.

Desjardins vd. (2004), *Fusarium* mikotoksinlerinin buğday tanesinde zarara neden olduğundan dolayı kalitesini dşurdğn belirtmek küçük taneli tahıllarda en yaygın olarak bulunan *Fusarium* toksinlerinin Tip A ve Tip B trikotesenler ile ZEA ve FUM olduğunu bildirmişlerdir.

Langevin vd. (2004), altı küçük taneli bitki türünü (ekmek buğdayı, durum buğdayı, tritikale, avdar, arpa ve yulaf) bir trikotesen ve trikotesen üretmeyen iki izojenik *F. graminearum* ırkı ile aşılamışlardır. Trikotesen üreten ırkın genellikle üretmeyen ırktan daha agresif olduğunu, ancak saldırganlığın ürün çeşitlerine göre değiştiğini test etmişlerdir.

Llorens vd. (2004), *F. graminearum* tarafından NIV retiminin 20°C'de en yüksek miktarlarda olduğunu belirlemiştir.

Kosiak vd. (2005), *F. poae*'nin trikotesen Tip B, zellikle NIV ve DON üretebildiğini ve *F. equiseti*'nin bazı izolatlarının da NIV ürettiğini bildirmişlerdir.

Desjardins, (2006); Papadoupoulou-Bouraoui vd. (2007), *F. graminearum*'un geniş bir spektrum ve miktarda toksin üretebilme kapasitesine sahip olduğunu bildirerek, DON ve onun türevlerinin 3-asetil deoksinivalenol ve 15-asetil deoksinivalenol (3-ADON ve 15-ADON) yem reddi, kusma ve baskılanmış bağışıklık fonksiyonlarıyla ilişkili olduğunu bildirmiştir.

Culler vd. (2007), tarla denemelerinde uzun sulamaya tabi tutulan arazilerden elde edilen buğday tanesinde, erken hamur aşamasına kadar sulanan tarlalardan elde edilen tahıllara kıyasla DON seviyelerinin daha düşük olduğunu test etmişlerdir.

Richard, (2007), trikotesenlerin gıdalarda ve yemlerde birikmesi sonucunda insanlarda ve hayvanlarda toksikozlara neden olduğunu bildirmiştir.

Scudamore vd. (2007); Bernhoft vd. (2012), sıcaklıkların çok yüksek gitmesiyle, birlikte yulafardan alınan örneklerde T-2 toksinden daha yüksek HT-2 seviyesi belirlendiğini ve en yüksek HT-2 ve T-2 yi tespit ettiklerini belirtmişlerdir.

Simas vd. (2007)'de Meksika'da yaptıkları bir çalışmada, *F. avenaceum* ırklarının çoğunun Enniatin B (ENN B) veya klamidosporol ürettiğini tespit etmişlerdir. Bu türlerin potansiyel olarak kas zayıflığına, kardiyovasküler problemlere ve bağışıklık sisteminin zayıflamasına neden olduğu bilinen MON üretebilmekte olduğunu ve ayrıca tahıl ağırlığında düşüşe neden olabileceğini bildirmişlerdir.

Vrabcheva vd. (2007) tarafından, DON'un maltlama ve demleme işlemleri sonucu biraya taşındığı tespit edilerek, ticari biralarda DON miktarının 0.30 ila 569 $\mu\text{g L}^{-1}$ seviyelerinde olduğunu saptamışlardır.

Zhang vd. (2007) yaptıkları çalışmada, Çin'de, 3-ADON, 15-ADON ve NIV'in FBY semptomları görülen buğday başaklarından izole edilen *F. graminearum* tarafından üretilen ana mikotoksinler olduğunu bildirmişlerdir.

Iwahashi vd. (2008), T-2 toksininin peptidil transferazı bağlayarak protein sentezini inhibe etmekte ve potansiyel olarak DNA fragmentasyonuna neden olarak DNA lezyonlarını uyardığını belirterek özellikle timus, lenf, kemik iliği gibi proliferasyon hücreleri veya dokuların üzerine etki ettiğini bulmuşlardır.

Kuca vd. (2008), T-2 toksininin DNA'da tek iplikli kırılmalara neden olduğunu ve hücrelerin apoptozisini tetikleyerek, hayvanlarda kilo kaybı, kan hücresi ve lökosit sayısında azalma, plazma glikozunda azalmayla birlikte karaciğer ve midede patolojik değişiklikler gibi çok toksik etkilere neden olduğunu bildirmişlerdir.

Maiorano vd. (2008), toprağın ilk tabakasındaki (10 cm) ve yüzeyindeki mısır kalıntılarının DON kontaminasyonu ile ilişkili olduğunu test etmişler ve bunun ekim öncesi mısırın DON ve NIV oluşumuna bağlı olarak yüksek bir mikotoksin kontaminasyonu riski taşıdığı teorisini doğruladığını bildirmişlerdir.

Miller vd. (2008), sıcaklık, nem ve bağıl nemin (Relative humidity, RH), FBY'nin gelişimini ve küçük taneli tahıllarda DON birikimini etkileyen en önemli çevresel faktör olduğunu bildirmişlerdir.

Paul vd. (2008), ABD'de 100'den fazla FBY tek tip fungusit çalışmasının çok değişkenli bir meta-analizini triazololler arasında yapmış, prot-yoconazole + tebuconazole (Prosaro) ve metkonazole'ün (Caramba) FBY ve DON'u kontrol etmede en etkili fungusitler olduğunu ve iki fungusitin; FBY yoğunluğunu ve DON'u sırasıyla %52 ve %45'e kadar düşürdüğünü saptamışlardır.

Vogelgsang vd. (2008), ENN'ler, BEA ve MON'un *F. avenaceum* tarafından biyosentezlendiğini bildirmişlerdir.

Edwards vd. (2009), mikotoksinlerle ilgili olarak, yulaf kabuğunda A tipi trikotesenlerin birikimi olduğunu bildirmişlerdir.

Imathiu vd. (2009), *Fusarium* türlerinin yulafta (*Avena sativa*) herhangi bir belirti göstermeyebileceğini ve sağlıklı görünen tahıllarda yüksek derecede mikotoksin ihtiva edebildiğini bildirmişlerdir.

Cowger vd. (2009), tarla koşullarında kışlık buğdayda nem in DON birikimi üzerine etkini araştırmışlar ve *F. graminearum* ile enfekte olmuş başakların 10-20 günlük sislemeye tabi tutulması sonucunda orta derece dirençli ve hassas çeşitlerde sisleme uygulanmayanlara kıyasla DON birikiminin önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir.

Nagashima vd. (2009), *F. poae*'nın yüksek konsantrasyonlarda hücre çoğalmasını engellediğini ve hücreler üzerinde sitotoksik etkiler gösteren NIV üretebilen ana *Fusarium* patojeni olduğunu belirtmişlerdir.

Kokkonen vd. (2010), buğday, yulaf ve arpa tane karışımı üzerinde geliştirilen *F. poae*'nın 15°C den daha yüksek sıcaklıklarda, daha yüksek oranda beauverisin üretimi oluşturduğunu kanıtlamışlardır.

Puri ve Zhong (2010), eski (1980'den 2000'e kadar toplanan) ve yeni (2008'de toplanan) *F. graminearum* izolatlarının kemotipi ve saldırganlığı üzerinde araştırmada bulunmuşlardır. Yeni toplananlarda 3-ADON içeren izolatlarda eski toplananlara göre 15 kat artış olduğunu saptamışlardır. Sera koşullarında, tek çiçek aşılması, duyarlı ve orta derecede dirençli bir çeşitte 3-ADON izolatlarının daha agresif olduğunu (daha yüksek FBY şiddeti) ve 15-ADON izolatlarına göre tahılda daha fazla DON ürettiğini tespit etmişlerdir. Ek olarak, 3-ADON izolatlarının, 15-ADON izolatlarına kıyasla pirinç kültüründe daha fazla DON ürettiğini ve agar ortamında daha fazla sporlandığını tespit etmişlerdir.

Somma vd. (2010); Vanheule vd. (2017), *F. poae* ile yüksek oranda kontamine olmuş buğday örneklerinin T-2 ve HT-2 ile kontamine olmadığını ve test edilen izolatların bu iki mikotoksini üretmediğini belirlemişlerdir.

Stępień ve Chełkowski (2010), *F. poae*'nın, trikotesen A ve B üretebilme kabiliyetine sahip olmakla birlikte A tipi trikotesenlerin B tipi trikotesenlerden daha toksik olduğunu belirtmişlerdir. *F. poae* A tipi DAS, NEO, HT-2 ve T-2, B tipleri NIV, DON, fusarenon-X (FX) ve türevleri dahil üretebilme potansiyeline sahiptir ayrıca beauverisin ve ENNler, dahil trikotesen olmayan toksinleri de üretebildiklerini tespit etmişlerdir.

De Kuppler vd. (2011), *F. graminearum* ve *F. culmorum*'un, DON üretebildiğini ve *F. poae* ile birlikte NIV'i biyosentezleyebildiklerini belirterek *F. sporotrichioides* ve *F. sambucinum*, T-2 ve HT-2 toksinlerini üretirken, *F. proliferatum*'un esas olarak FUM ürettiğini bildirmişlerdir.

Wegulo vd. (2011), FBY ve DON'u azaltmada fungusit etkinliğinin, duyarlı çeşitlere kıyasla, orta derece dayanıklı olanlarda daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Vogelsgang vd. (2011), dane mısır, kışlık buğday rotasyonunda buğday tanelerindeki DON oranının sıklıkla Avrupa'da maksimum limit sınırını aştığını bildirmişlerdir.

Yli-Mattila vd. (2011), T-2 ve HT-2 toksinlerini de üretebilen yeni *F. sibiricum* adlı bir türün tanımlandığını bildirmişlerdir.

De Boevre vd. (2012), *F. poae*, *F. langsethiae* ve *F. sporotrichioides* tarafından üretilen T-2 ve HT-2 ile *F. graminearum* ve *F. culmorum* tarafından üretilen DON'un Avrupa'da en yaygın trikotesenler olduğunu belirtmişlerdir.

Gautam ve Dill-Macky (2012), tarla denemelerinde çeşidi ne olursa olsun, buğday bitkilerinin başaklarının içiçeklenme döneminde inokulasyonundan, 7, 14, 21 ve 28 gün sonra bitkiler incelenmiş ve kısa süreli üst üste sulananlara kıyasla altı saat süren tek bir ıslatma olayına maruz kalan kışlık buğday bitkilerinde DON seviyelerinin daha düşük olduğunu saptamışlardır. Ayrıca, DON'un ıslanan bitkilerden gelen akış suyunda DON'u tespit ederek, DON'un sulama veya yağmur gibi suya maruz kalan buğday başaklarından sızabileceğini tespit etmişlerdir.

Tunalı vd. (2012), *F. graminearum* ve *F. culmorum*'un neden olduğu FBY'nin, verim kaybına, DON birikimine ve mahsulün kalitesinin düşmesine neden olduğunu tespit etmişlerdir. Marmara bölgesindeki 9 ilçeden 15 *Fusarium* türü izole etmişler

ve bu bölgedeki izolatların %20,7'sini *F. graminearum*, %26.4'ünü *F. oxysporum*, %5.8'ini *F. culmorum*'un oluşturduğunu tespit etmişlerdir. FBY şiddeti ile DON oluşumunun pozitif korelasyon gösterdiğini saptamışlardır.

Sy-Cordero vd. (2012); Juan vd. (2013), Japonya'da Gıda ve yemde en sık tespit edilen varyantlar ENN A1, ENN B, ENN B12 ve ENN B4 ve daha az miktarda enniatin C, D, E ve F olduğunu saptamışlardır.

Willyerd vd. (2012), küçük taneli tahılların konukçu direncinde FBY ve DON'u belirlemek için fungusit prothioconazole+tebuconazole uygulamış ve DON üretiminde önemli bir azalmaya neden olmuştur. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi-EFSA, (2013)'de NIV'in insanlar için immünotoksik ve hematotoksik etkilere sahip olduğunu bildirmiştir.

Imathiu vd. (2013), *F. sporotrichioides*'in DAS, T-2 toksin ve HT-2 gibi tip A trikotesenleri üretmekle ve kontamine olduğu tahıllarda BEA, ENN ve MON birikimine katkıda bulunduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca yulafta daha yüksek HT-2 ve T-2 toksin konsantrasyonları oluştuğunu, ardından gelen arpa ve buğdayda konsantrasyonun daha düşük seviyelerde olduğunu tespit etmişlerdir.

Popovski ve Celar (2013), funguslarda mikotoksin üretiminin, sıcaklık, beslenme ve çevresel faktörlerin tetiklediği genetik mekanizmalar tarafından düzenlendiğini bildirmiştir.

Tittlemier vd. (2013)'de, 29 doğal olarak oluşan ENN analogu tanımlayarak doğal olarak oluşan ENN'lerin genellikle dönüşümlü olarak üç L-N-metil-amino asite bağlanan üç D-2-hidroksikarboksilik asitten oluştuğunu bildirmişlerdir.

Xue vd. (2013), T-2 toksini, en yaygın tip A trikotesen mikotoksini olduğunu, *F. tricinctum*, *F. sporotrichioides* ve *F. poae* dahil olmak üzere çeşitli *Fusarium* türleri tarafından üretilen trikotesen ailesinin en akut toksik üyelerinden biri olduğunu bildirmişlerdir.

Dinolfo ve Stenglein (2014), *Fusarium poae*'nin T-2 ve HT-2 toksinlerini üretebildiğini belirterek yapmış oldukları çalışmada T-2 üretimi için gerekli olan Tril6 geninin kesildiğini ve bundan dolayı *F. poae*'da işlevsel olmadığını tespit etmişlerdir. Ayrıca butenolide, culmorin, cyclonerodiol ve fusarin C, *F. poae* tarafından üretilen diğer mikotoksinler olduğunu bildirmişlerdir.

Kotowicz vd. (2014); Munkvold, (2017)'de, *Fusarium tricinctum* tür kompleksinin ırkları, T-2 ve HT-2 toksini, MON, EN'ler ve BEA üretebildiğini ayrıca *F. poae*, BEA'ya ek olarak NIV ve tip A trikotesen üretebildiğini ortaya koymuştur. Başka bir çalışmada *Fusarium avenaceum*, soğuk ülkelerde *FBY'nin* başlıca nedeni olarak kabul edilmekte ve MON, BEA ve ENN'ler mikotoksinlerini üretebilmekte olduğunu belirtmişlerdir. *F. avenaceum* bu mikotoksinleri üretme potansiyeli olsa da, raporlar incelendiğinde bu türün bilinen herhangi bir hayvan toksikozu ile ilişkili olmadığını belirtmiştir.

Mankevičienė vd. (2014)'de yapmış oldukları çalışmada Litvanya'da üretilen tahıllarda en sık görülen mikotoksinin DON olduğunu bildirmişlerdir.

Nielsen vd. (2014), *FBY'nin*, trikotesenlerin ve ZEA varlığıyla ilgili olduğunu bildirmişlerdir.

Stenglein vd. (2014); Kelly vd. (2015); Nathanail vd. (2015), Buğdayda *FBY'ye* asıl olarak neden olduğunu, ancak HT-2 ve T-2 toksin, NIV ve DON gibi tehlikeli mikotoksinler üretebilen *F. poae* gibi başka türler de ortaya çıkabildiğini ayrıca *F. graminearum'un* genellikle tahıllarda meydana getirdiği trikotesen B tipi (DON ve NIV) ürettiğini bildirmişlerdir.

Cheat vd. (2015), NIV mikotoksininin domuzlarda bağırsak mukozasında iltihaplanmaya yol açtığını bildirmiştir.

Manafı vd. (2015), hem insanlarda hem de hayvanlarda akut zehirlenmeye ve kronik hastalıklara neden olabilen T-2 toksini, oldukça güçlü sitotoksik ve immünsüpresif toksin olduğunu ortaya koymuşlardır.

Pleadin vd. (2015), *Fusarium* tarafından üretilen mikotoksinlerden DON'un çoğunlukla buğday, tritikale, mısır, arpa, yulaf ve çavdarda, T2 ve HT2 toksininin daha çok yulaf, buğday ve arpada ve ZEA toksininin daha çok mısır ve buğdayda bulunduğunu tespit etmişlerdir.

Ponts, (2015), mikotoksinlerin, fungus stres altında iken üretildiğini ve yüksek sıcaklıkların da stres olarak kabul edildiğini bildirmiştir.

Bernhardt vd. (2016), insan ve hayvan sağlığına büyük zarar verdiği için dolayı, T-2 toksininin toksikolojik etkileri Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım

Örgütü/Dünya Sağlık Örgütü (FAO / WHO) Gıda Katkı Maddeleri Uzman Komitesi'nce rapor edilmiştir.

Fang vd. (2016), T-2 toksini, ROS düzeylerini önemli ölçüde artırır ve hücre içi indirgenmiş glutatyon GSH'yi tükettiğini bildirmiştir.

Hjelkrem vd. (2016), yapmış olduğu bir çalışmada, hasat edilen tahılda mikotoksin birikimi ile ilgili en önemli faktörün hava koşulu olduğunu ve bununla DON birikimi arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur.

Hofgaard vd. (2016), *Fusarium poae* (FP) ve *Fusarium langsethiae* (FL) ve bunların ürettikleri mikotoksinler olan NIV ve T-2/HT-2 toksinlerinin (T-2/HT-2) daha yüksek oranda görüldüğü saptanmıştır.

Nazari vd. (2016), NIV içeriğinin ve *F. langsethiae* enfeksiyonunun arttığı diğer ülkelerdeki izolatlara göre daha soğuk koşullara daha iyi adapte olduğunu bildirmişlerdir.

Pasquali vd. (2016); Beccari vd. (2018), *F. culmorum* ve *F. graminearum* tür kompleksinin, DON ve türevleri (3-ADON ve 15-ADON) ile NIV üretebildiklerini belirleyerek ayrıca *F. culmorum* ENN'ler ve MON üretebilirken, *F. graminearum*'un bunları üretmediğini bildirmişlerdir. Ayrıca İtalya'da buğday üretim sezonunda *F. poae* ve *F. avenaceum*'un *F. graminearum*'dan daha fazla bulunduğu buğdayın FBY kompleksinin en önemli üyeleri olduğu belirtmiştir.

Scala vd. (2016), İtalya'da, FBY insidansı ve DON oluşumunun genel olarak güneyden kuzeye doğru arttığını bildirmişlerdir.

Tian vd. (2016), Fransa'da en çok raslanan *Fusarium* mikotoksinlerinin; DON, 3-ADON, 15-ADON, NIV ve fusarenon X (Fus-X); T-2 toksini, HT-2 toksini, NEO ve DAS; ZEN, fumonisin B1 (FB1), fumonisin B2 (FB2) ve fusarik asit olduğunu bildirerek *Trichoderma*'nın *F. graminearum* üzerinde misel gelişiminde inhibitör etki gösterdiğini bildirmiştir.

Yörük vd. (2016), *F. culmorum*'un yüksek veya düşük DON üretimi potansiyeline sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca bu çalışmanın Türkiye'de kapsamlı B sınıfı-trikotesen analizine tabi tutulan en geniş coğrafi bölgeleri kapsadığını bildirmektedir.

Dellafiora vd. (2017), *Fusarium*, *Stachybotrys* ve diğer funguslar tarafından üretilen bir toksik seskiterpenoid metabolit ailesi olan Trichothecenes'leri üreterek deney hayvanlarında gıda reddi, büyümenin baskılanması, kusma, nöroendokrin bozukluklar ve immünotoksisiteyi içeren yan etkiler oluşturduğunu bildirmiştir.

Fraeyman vd. (2017), MON'un, hücresel enerji inhibisyonu, kromozomal anormallikler ve bağışıklık sistemindeki olumsuz etkiler ile ilişkili olduğunu bildirmişlerdir.

Karlsson vd. (2017), son yıllarda diğer *F. poae* ve *F. avenaceum* gibi *Fusarium* türleri, dünya genelinde çoğu buğday ekim alanında FBY oluşturduğunu bildirmişlerdir.

Khan vd. (2017), *F. graminearum* gibi diğer *Fusarium* türlerinin mikrobiyal antagonistler tarafından (*Bacillus* spp.) inhibisyonunu bildirmişlerdir.

Zinedine vd. (2017), Dünya çapında birçok çalışma, ENN'lerin ve BEA'nın tarımsal ürünlerde bir çoğunda mevcut olduğunu göstererek son yıllarda, farklı ülkelerde, özellikle buğday, çavdar, yulaf, arpa, pirinç ve sorgumda sıklıkla rapor edildiğini belirtmişlerdir.

Abdallah vd. (2018), *Clonostachys rosea* gibi birkaç biyolojik mücadele ajanının bitkinin DON'u glikozile etme kapasitesini artırabileceğini bildirmişlerdir.

Bryla vd. (2018), ticari bira örneklerinde yüksek oranda ($2,40 \pm 1,9 \mu\text{g L}^{-1}$) NIV konsantrasyonları bulunduğunu bildirmişlerdir.

Imathiu vd. (2018)'de Brezilya'da FBY'ye neden olan türlerin %11'ini *F. poae*'nın oluşturduğunu bildirmiştir. *F. poae*'nın tipik bir B tipi trikotesen üreticisi (NIV) olduğu ve aynı zamanda DAS gibi A tipi trikotesen ürettiğini de ortaya koymuşlardır.

Janssen vd. (2018), *Fusarium* mikotoksinleri, A tipi trikotesenlerinden; T2 toksin, HT2(HT-2) toksin ve B tipi trikotesenlerden DON içerdiğini bildirmişlerdir.

Mallebrera vd. (2018), BEA ve ENN'lerin oksidatif stres, nekroz ve stres kaynaklı hücre ölümü (apoptoz) ve hücre nekrozuna neden olabileceğini bildirmişlerdir.

Nazari vd. (2018) tarafından, *F. poae* tarafından NIV üretimi için optimum sıcaklık 25 ile 35°C arasında olduğunu, fungusun -10°C sıcaklıklarda NIV üretmediğini saptanırken, *F. poae*'nin mikotoksin üretimi için gerekli optimal sıcaklığın, koloni gelişimi için gerekli olan optimal sıcaklıktan daha yüksek olduğu, *F. graminearum* ve *F. culmorum* dahil olmak üzere diğer mikotoksin üreten *Fusarium* türleri için de bu durumun geçerli olduğu rapor edilmiştir.

Schaarschmidt ve Fauhl (2018), makarnalık buğday tohumlarında toksijenik mikrobiyotanın varlığı ve bazı ikincil fungal metabolitlerin Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) tarafından kanserojen veya olası kanserojen olarak sınıflandırılmasından dolayı tüketicilerin sağlığı için ihmal edilemeyecek bir risk faktörü olduğunu bildirmişlerdir.

Schöneberg vd. (2018), T-2, ZEA ve DON mikotoksinlerinin yemde besin değerini azalttığı, T-2 ile DON karşılaştırıldığında daha yüksek toksisite gösterdiğini bildirmişlerdir. Ayrıca T-2 konsantrasyonu daha düşük olduğu kontamine tahıllar ile DON konsantrasyonu daha yüksek olduğu kontamine tahıllara kıyasla hayvan sağlığı üzerinde aynı etkiye sahip olabileceğini bildirmişler ve İsviçre'de yapmış oldukları çalışmada, *F. poae*'yi yulaf üzerindeki baskın tür olarak tanımlamışlardır.

Martínez vd. (2019), *Fusarium poae*, hücre proliferasyonunu inhibe ederek hücreler üzerinde sitotoksik etkiye sahip önemli bir mikotoksin olan *nivalenol* üretebilen ana *Fusarium* patojeni olduğunu belirterek ayrıca, HT-2, T-2, diasetoxyscirpenol (DAS), beauverisin ve enniatinler gibi mikotoksinleri üretebildiğini bildirmişlerdir. Ayrıca buğday ve arpada su basması (abiyotik stres) ile *F. poae* varlığı karşılaştırıldığında enfeksiyonlardan önce meydana gelen abiyotik streslerin buğday ve arpanın *Fusarium* hastalığına duyarlılığını azalttığı görülmüştür ve abiyotik stresin protein içeriğini ve bileşimini etkileyerek buğday ve arpanın endüstriyel katilesini değiştirebileceğini bildirmişlerdir.

Orlando vd. (2019), yaptıkları araştırmada nerede çalışma yapmışlar?? 3 yıl boyunca en çok karşılaştıkları *Fusarium* türlerinin; *F. avenaceum*, *F. tricinctum* ve *F. poae*'nin çalışmanın 3 yılı boyunca örneklenen alanlarda yaygın patojenler olduklarını bildirerek hem küçük taneli tahıl türlerinin hem de hasat yılının enniatin içeriğini etkilediğini bularak *F. tricinctum*, durum buğdayı ve arpadaki enniatin kontaminasyonunun başlıca kaynağı olduğunu ve *F. avenaceum*'un buğday, durum buğdayı, arpa ve tritikalede enniatinin başlıca kaynağı olduğunu bildirmişlerdir.

Zhu vd. (2019), Kuzeydoğu Çin, Jilin'den izole edilen bir *F. poae* tarafından üretilen bir T-2 toksininin tanımlanmasını ve karakterizasyonunu yapılmış, 17 *Fusarium poae* izolatu, T-2 toksin üretimi için taranmıştır. En yüksek verime sahip bir izolatu ürettiği T-2 toksini HPLC ile saflaştırılmıştır. Saflaştırılmış T-2 toksininin antikanser özellikleri, insan hepatom hücresi SMMC-7721 ile değerlendirilmiştir. T-2 toksininin SMMC-7721 hücrelerinde ROS aracılı mitokondriyal disfonksiyon ve MAPK aracılığıyla apoptozu uyardığını tespit ederek, karaciğer kanseri hücrelerinde T-2 toksininin neden olduğu apoptozun moleküler mekanizmalarına ilişkin çalışmalar sonucunda, kanser tedavisinde T-2 toksininin umut verici bir ajan olabileceği kanısına varılmıştır.

Beccari vd. (2020), Kuzey İtalya Bölgesinde buğday üretim alanlarından alınan örneklerde en fazla karşılaşılan *Fusarium* türlerinin *F. poae* ve *F. graminearum* olduğunu belirterek hasat edilen tahıllarda *Fusarium* mikotoksinlerinin yüksek oranda olduğunu tespit etmişlerdir.

Iwase vd. (2020), *F. meridionale* ve *F. poae*'nin, Brezilya'nın São Paulo ve Rio Grande do Sul şehirlerinden alınan arpa örneklerinden en fazla elde edilen 2 tür olduğunu bildirerek bu türlerin tümünün NIV oluşturduğunu tespit etmişlerdir.

Kochiierv vd. (2020), yulaf ve tritikalede bulunan fungusların ve mikotoksin üretimlerinin en çok meteorolojik koşullardan etkilendiğini tespit etmişlerdir.

Kuchynková vd. (2021)'de, trikotesenler Tip A (örneğin, T-2 ve HT-2 gibi), özellikle *F. poae*, *F. equiseti* ve *F. sporotrichoides* tarafından üretildiğini, yulaf ve mısırdaki ise *F. poae*, *F. avenaceum* ve *F. equiseti*'i tespit ettiklerini bildirmişlerdir.

Kuchynková ve Kalinová (2021), *F. poae* tarafından NIV'in üretimi için optimum sıcaklığın 25–30°C olduğunu bildirmişlerdir.

Pereira vd. (2021), Brezilya'nın Paraná eyaletindeki arpa ve buğday üzerinde yapılan 5 yıllık araştırma sonucunda *F. poae* ve *F. meridionale* oranlarının bazı yıllar önemli ölçüde arttığını belirleyerek *F. poae* DAS ve 4, 15-diacetyl nivalenol (diANIV) ürettiğini fakat T-2 veya HT-2 üretmediğini bildirmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada Türkiye'nin farklı agro-ekolojik buğday ekim alanlarından, buğdayın kök, kök boğazı ve başaklarından izole edilmiş, kültürler Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü Mikoloji Laboratuvarında (ZFML) -85°C derin dondurucuda, %15'lik gliserol içeren cryoviallerde muhafaza edilen 2010-2018 yılları arasında oluşturulmuş fungus koleksiyonundan alınmıştır. *F. equiseti* ve *F. poae* izolatları çalışmanın temel materyalidir (Tablo 3.1 ve 3.2).

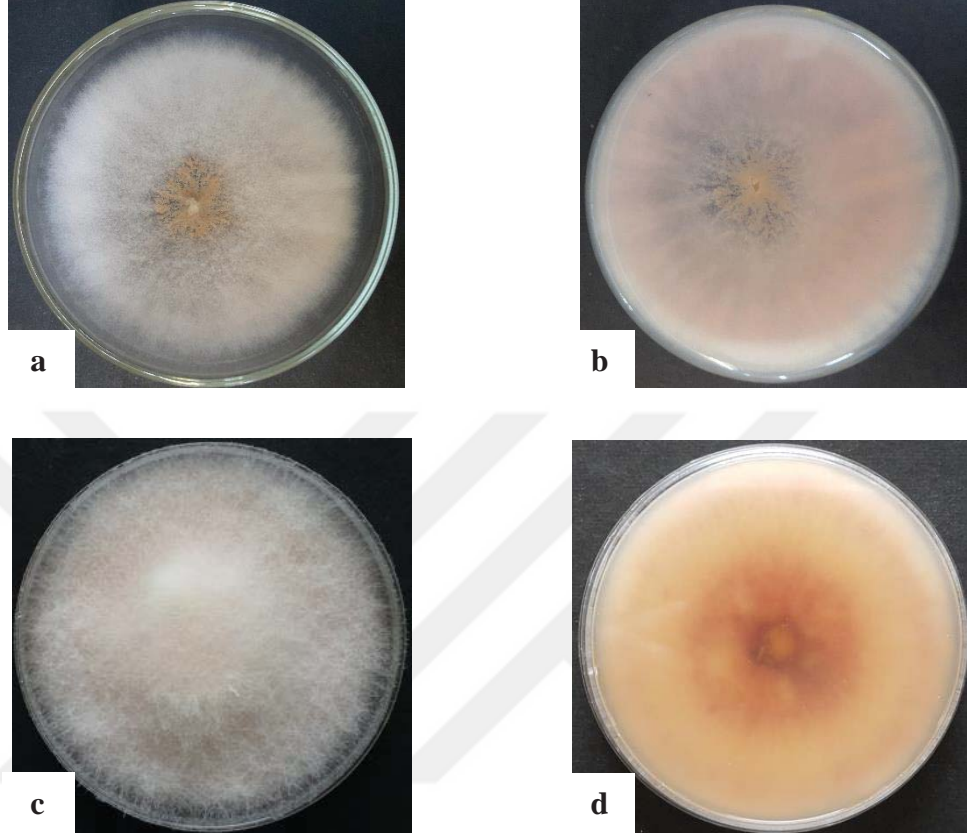
Tablo 3.1. 2010 ve 2018 yıllarında yapılan survey sonucunda teşhis edilen *Fusarium equiseti*'nin alındığı bitki aksamı ve alındığı mevkiler

Örnek No	Bitkiden alındığı bölge	Alındığı mevkiler
1	Başak	Tekirdağ/Ergene
2	Başak	Çorum/Sungurlu
3	Kök boğazı	Aksaray/Sultanhanı
4	Başak	Amasya/Karaköy
5	Başak	Sakarya/Madenler
6	Kök boğazı	Amasya/Suluova
7	Kök boğazı	Konya/Cihanbeyli
8	Kök boğazı	Sivas/Yıldızeli
9	Kök boğazı	Tekirdağ
10	Kök boğazı	Edirne/Keşan
11	Başak	Tekirdağ/Merkez
12	Kök boğazı	Sivas/Çermik
13	Kök boğazı	Amasya/Merkez
14	Kök boğazı	Tekirdağ/Ahievren
15	Kök boğazı	Tokat/Merkez
16	Başak	Edirne/İpsala
17	Kök boğazı	Tokat/Niksar

Tablo 3.2. 2010 ve 2018 yıllarında yapılan survey sonucunda teşhis edilen *Fusarium poae*'nın alındığı bitki aksamı ve alındığı mevkiler

Örnek No	Bitkiden alındığı aksam	Alındığı mevkiler
1	Başak	Zonguldak/Beycuma
2	Başak	Amasya/Suluova
3	Başak	Samsun/Çarşamba
4	Kök boğazı	Samsun/Merkez
5	Başak	Tekirdağ/Merkez
6	Başak	Tokat/Merkez
7	Başak	Tokat/Turhal
8	Başak	Tokat/Pazar
9	Kök boğazı	Yozgat/Sorgun
10	Başak	Tokat/Niksar
11	Kök boğazı	Amasya/Taşova
12	Kök boğazı	Edirne/İpsala
13	Kök boğazı	Amasya/Merkez
14	Başak	Tokat/Erbaa
15	Başak	Tokat/Reşadiye
16	Başak	Amasya/Göynücek
17	Kök boğazı	Amasya/Gümüşhacıköy
18	Kök boğazı	Edirne/Enez
19	Başak	Edirne/Meriç

Çalışma için kullanılacak fungus izolatları, %15'lik gliserol içeren cryoviallerden patates dekstroz agar (PDA) içeren Petri kaplarına aşıl原因 olarak aktif hale getirilmiştir (Şekil 3.1a, b, c, d).



Şekil 3.1. Petride geliştirilen *Fusarium equiseti* (a), (b) *Fusarium poae* (c), (d) izolatlarının Petri kabında üstten ve alttan görünüşü

Çalışmanın diğer materyali olan buğday, Samsun Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü tarafından 2012 yılında tescil edilen ve *Fusarium* spp. ye hassas olduğu bilinen Altındane çeşidi olmuştur.

3.2. Yöntem

3.2.1. Fungusların Elde Edilmesi

Laboratuvardaki -85°C derin dondurucuda, %15 gliserol içerisinde bulunan fungal izolatlardan küçük agar parçaları sentetik nutrient agar (SNA) ortamı bulunan petrilere aşıl原因 olarak 1 hafta süreyle 25°C'de 12 saat aydınlık (Yakın ultra viole + gün ışığı), 12 saat karanlık periyotta inkübasyona bırakılmıştır. Yedi gün sonunda gelişen izolatlardan tek spor izolasyonu yapılmak için *Fusarium* kültürlerinin sporlanma durumları incelenerek kültürlerden ok uçlu iğne yardımıyla küçük bir parça alınarak

içerisinde 1000 µL steril saf su bulunan ependorf tüplerde karıştırılmış, karışımdan 200 µL mikropipet yardımıyla alınarak 6 cm çaplı Petri kapları içindeki %2 lik su agarı (SA) ortamına konularak süspansiyonun agar üzerinde homojen bir şekilde dağılması sağlanmıştır. Petriler 45 derecelik açı yapacak şekilde eğik olarak konulmuş, inkübatörde 24 saat bu şekilde inkübe edilmiştir. Bu süre sonunda mikroskop altında incelenerek petrilerden çim tüpü oluşturan konidilerden her bir örnek için 1 tane olacak şekilde bistüri yardımıyla agar parçası ile birlikte kesilmiş, SNA besi ortamına aktarılarak gelişmesi için inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyonda saf bir şekilde geliştiği gözlenen fungusların her birinden bir parça alınarak saklanmak üzere içerisinde ½'lik PDA(19.5g PDA, 10 g agar agar, 1lt saf su) bulunan eğik tüplere aktarılmıştır. Bu şekilde ileriki çalışmalara kadar +4°C'de buzdolabında muhafaza edilmiştir.

3.2.2. Fungus İzolatlarının Morfolojik Karakterizasyonu

Buzdolabında ½'lik PDA içeren eğik tüplerde muhafaza edilen *F. poae* ve *F. equiseti* izolatlarından alınan bir parça inokulum sentetik besin agarı (SNA) ortamına aktarılarak sporlarına ait konidi özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 24±1°C'de 12 saat ışık, 12 saat karanlık periyotta 7 gün boyunca geliştirilmiştir. Daha sonra her bir izolattan birer parça alınıp, lam ve lamel arasına yerleştirilerek ışık mikroskobu (Olympus CX31®) altında (×40) ölçümler yapılmıştır. İzolatların konidi morfolojisi ve petrideki pigmentasyonu göz önünde bulundurularak morfolojik karakterizasyonu yapılmıştır (Kikot vd. 2011).

3.2.3. İzole edilen *Fusarium equiseti* ve *Fusarium poae*'nın Moleküler Teşhisi Çalışmaları

3.2.3.1. Moleküler Çalışmalarda Kullanılan Kimyasallar

Tris-acetate-EDTA (TAE) Buffer

1000 ml 1× TAE buffer

50× TAE stok

(Tris base 242 g; Disodyum EDTA 18.61 g; Glacial 20 ml

Asetik Asit: 57,1 ml Distile su 1 litreye kadar)

Distile su 980 ml

Agaroz Jel

100 ml %1,5'lik Agaroz jel için;

Agaroz 1,5 g

1× TAE buffer

100 ml

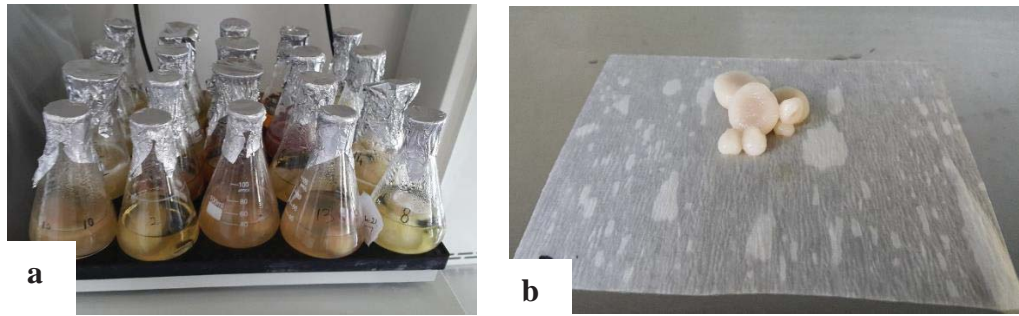
3.2.3.2. DNA İzolasyonları

Fusarium equiseti'nin 17 ve *F. poae*'nin 19 tek spor izolatu, PDA üzerinde 25°C de 12 saat ışık, 12 saat karanlık periyotta tutularak misel üretimleri sağlanmıştır. Daha sonra steril mantar deliciler ile 2 yuvarlak kesit alınarak içerisinde patates dekstrozu sıvısı (PDB) bulunan erlenmayer içerisine konulmuştur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Steril mantar deliciler ile 2 yuvarlak kesit alınarak içerisinde PDB bulunan erlenmayer içerisine konulması

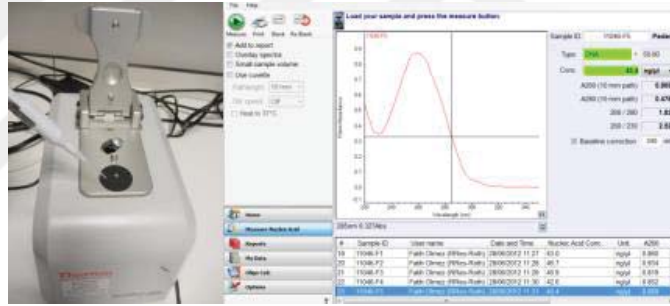
Çalkalayıcı üzerinde 120 rpm'de 7 gün boyunca çalkalanmış ve içerisindeki fungusun gelişmesi sağlanmıştır (Şekil 3.3a). Yedi gün sonunda PDB içerisinde gelişen fungus miselleri süzülerek kuruması için steril laminar kabin içerisine çift katlı steril kurutma kağıtlarının üzerine alınmıştır (Şekil 3.3b).



Şekil 3.3. (a) Çalkalayıcı üzerinde 7 gün boyunca bekletilmiş funguslar, (b) Fungusun süzülerek kuruması için steril laminar kabin içerisine çift katlı steril kurutma kağıtlarının üzerine alınması

Yirmi dört saat suyunun uçması için bekletilen fungus miseli steril pens ile alınarak viallere konulmuştur. Viallere konulan fungus miseli daha fazla kurutulmak amacıyla hava vakumlu freeze dryer (LABCONCO®) cihazı ile liyofilize edilmiştir. 7-8 saatlik liyofilizasyon işlemi sonunda suyu uçurulup dondurulan misel kitleleri, DNA ekstraksiyon çubukları ile ezilip parçalanarak toz haline getirilmiştir.

Parçalanmış miselyum toz partikülleri üzerine, 1.5 ml'lik tüpe 200 µl, DNA ekstraksiyon buffer solüsyonu I (Solüsyon I: 200 Mm Tris-HCl, 250 mM NaCl, 25 mM EDTA) konulmuş ve 2000 rpm'de 2 dakika santrifüj edildikten sonra üstte toplanan sıvıdan alınan 90 µl, 10 µl ekstraksiyon buffer solüsyonu II'yi (Solüsyon II: %5 SDS) içeren temiz bir tüpe aktarılmıştır. Karıştırıldıktan sonra tüpler 65°C'de bir saat inkübe edilmiş ve daha sonra 3500 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Üstte toplanan sıvı, 100 µl alkol (absolute ethanol) içeren temiz bir tüpe aktarılıp, yavaşça karıştırılmıştır. Daha sonra 2000 rpm'de 10 dakika santrifüj edilip alkol boşaltılarak bir gece kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan DNA, 100 µl ultra saf su (MiliQ) içinde çözdürülüp, DNA miktarları nano-drop (IMPLENT®) cihazı yardımı ile ölçülmüştür (Şekil 3.4). Daha sonra stok DNA, PCR çalışmalarında kullanılmak üzere 35 ng/µl olacak şekilde seyreltilmiştir. Miktarları ölçülen DNA örnekleri, PZR (Polimeraz Zincir Reaksiyonu) çalışmaları için ihtiyaç duyulan seyreltmelerinin de yapılması sonrasında, -20°C'de derin dondurucuda saklanmıştır (Obanor et al., 2010).



Şekil 3.4. DNA miktar tayininde kullanılan NanoDrop cihazı ve yapılan işlemlerden bir görüntü

3.2.3.3. Polimeraz Zincir Reaksiyonu (PCR)

Fusarium cinsine ait oldukları morfolojik olarak teşhis edilen *F. equiseti* ve *F. poae*'nın DNA izolasyonlarının ardından, cinse ait spesifik bir primer seti kullanılarak doğrulama işlemi yapılmıştır.

PCR amplifikasyonları bir T100 model thermal cycler'da (Bio-Rad, Hercules, CA, ABD) gerçekleştirilmiştir. PCR karışımının içeriği Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. *Fusarium poae* PCR karışımının içeriği

	Konsantrasyon	Örnek başına (µl)
ddH ₂ O	-	12,7
Buffer	10x	2,5
MgCl ₂	25mM	2
dNTPs	10mM	0,5
P1 (FP82)	10 µl	1
P2 (FER)	10 µl	1
Taq	5 U/ µL	0,3
DNA	40 ng/ µL	5

Fusarium equiseti için, PCR karışımının içeriği Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.4. *Fusarium equiseti* PCR karışımının içeriği

	Konsantrasyon	Örnek başına (µl)
ddH ₂ O	-	12,85
Buffer	10x	2,5
MgCl ₂	25mM	2
dNTPs	10mM	0,5
P1 (FEF)	10 µl	1
P2 (FER)	10 µl	1
Taq	5 U/ µL	0,15
DNA	40 ng/ µL	5

Her iki tür içinde hazırlanan her bir PCR tüpüne 20 µl hazırlanan MASTER MIX’den konulup 5 µl DNA eklenmiştir.

Tüm PCR işleminin ardından elde edilen PCR ürünleri, EtBr (10mg/mL) içeren %2,5 ultra saf agaroz ile elektroforez jel dökümantasyon ünitesi ve dijital görüntüleme sistemi kullanılarak görüntülenmiştir.

Amplifikasyon protokolünde *F. poae* için, 95°C’de 3 dk’lık bir başlangıç denatürasyonu takiben 95°C’de 30 sn, 60°C’de 20 sn ve 72°C’de 45 sn süreyle 38 döngü ve 72°C’de 5 dk.’lık bir son uzatma adımı olarak uygulanmıştır. *F. equiseti* için de 95°C’de 1 dk’lık bir başlangıç denatürasyonu takiben 94°C’de 1 dk, 58°C’de 40 sn ve 72°C’de 1 dk süreyle 25 döngü ve 72°C’de 7 dk’lık bir son uzatma adımı olarak uygulanmıştır (Obanor et al., 2010).

PCR ürünleri 1×TBE tampon solüsyonunda %1,5’lik agaroz jel içerisinde elektroforetik ayırma tabi tutulmuştur. 1×TBE tampon solüsyonu ve agarose (BIOMAX, Ardoz-Madrid, İspanya) karışımı mikrodalga fırında homojen olana

kadar çözdürülmüştür. PCR ürünleri 60 dk 80 volt elektriksel alanda koşturulmuştur. Örneklerin büyüklüklerini hesaplamak için markör olarak GeneRuler 100 bp+DNA ladder (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, ABD) kullanılmıştır.

Agaroz jel süre sonunda etidyum bromür ile boyanarak PCR ürünlerin varlığı bir jel görüntüleme sisteminde (G: BOX F3, Syngene, Cambridge, İngiltere) kontrol edilmiştir. Sonuç olarak *F. poae*'nın 19 izolatından 13'ü ve *F. equiseti*'nin 17 izolatının 14'ü moleküler olarak tespit edilmiştir. Çalışmanın devamı moleküler olarak belirlenen bu izolatlar üzerinden olmuştur.

3.2.4. Çalışmada Kullanılan Besi Ortamları

Çalışmada kullanılacak olan besiyeri için gerekli SA, SNA, PDA ve PDB belirtilen oranlarda tartılarak (Tablo 3.5) otoklav şişesinde saf su ile homojen karışım oluncaya kadar balık yardımı ile manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Daha sonra hazırlanan ortamın sterilizasyonu otoklav ile 121°C'de 1 atm basınçta, 20 dakika olacak şekilde yapılmıştır. Besin ortamları 50°C'ye kadar soğutulduktan sonra besin ortamlarına antibiyotik olarak streptomycin sulfat (50 mg/L) ve oxytetracycline (100 mg/L) ilave edilmiştir. Sentetik Nutrient Agar (SNA) ise erlenmayer içerisinde karıştırılan malzemeler 2-3 dk süre ile mikrodalga fırında kaynatılmış ve jel tepsisine dökülerek donması beklenilmiştir.

Tablo 3.5. Çalışmada kullanılan besiyerleri

Ortamın Adı		İçeriği	Miktarı g/L su
SA (WA)	Su Agar	Agar-Agar	20
		Streptomycin sulfat	0,05
SNA	Sentetik Besin Agarı	KH ₂ PO ₄	1
		KNO ₃	1
		MgSO ₄ .7H ₂ O ₄	0,05
		KCI	0,5
		Glucose	0,2
		Sucrose	0,2
		Streptomycine sulfat	0,05
		Oxytetracycline	0,2
		Agar	20
PDA	Patates Dekstroz Agar (Hazır)	PDA (Merck)	0,05
	Patates Dekstroz Agar (El Yapımı)	Patates	200
		Dekstroz	20
	Agar agar	20	
	Streptomycine sulfat	0,05	

Tablo 3.5. (devamı)

Ortamın Adı	İçeriği	Miktarı g/L su
	Oxytetracycline	0,1
	Agar-Agar	10
	PDA (Merck)	19,5
PDB	Patates Dekstroz Broth (Hazır)	24

3.2.5. Fungusların Çoğaltılması ve Spor Solüsyonlarının Elde Edilmesi

Morfolojik karakterizasyonu yapılmış funguslar her bir örnek içerisinde PDA bulunan Petri kaplarına steril bistüri ve/veya ok uçlu iğne yardımıyla aktarılarak gelişmeleri sağlanmıştır. İnokulumun gelişmesi için 10-14 günlük inkübasyon periyodu uygulanmıştır. Geliştirilen izolatların her biri için kültürlerin petrilere steril saf su ilave edilip, bir fırça yardımıyla misel ve konidi yapılarının su ile karışması sağlanmıştır. Petrillerdeki bu karışım, izolatlar arasında karışma olmayacak şekilde her biri ayrı beherde toplanmıştır. Daha sonra karışımlar çift katlı tülbentten süzülerek misel ve agar parçaları uzaklaştırılmış sadece konidi süspansiyonunu elde edilmiştir. Hazırlanan bu süspansiyondaki sporların homojen hale gelmesi için %0.1'lik Tween 80 ilave edilerek karıştırılmıştır. Elde edilen spor süspansiyonlarının konidi miktarları, hemasitometre (Thoma Lamı) yardımıyla sayılarak her bir izolat için 1×10^6 konidi/ml olacak şekilde spor konsantrasyonları ayarlanmıştır.

3.2.6. Denemede Kullanılacak Buğday Tohumlarının Yüzeysel Dezenfeksiyonu

Çalışmada kullanılacak olan Altındane buğday çeşidinin yüzeysel dezenfeksiyon işlemi için; ilk olarak tohumlar %70'lik etil alkolde 40 saniye, ardından %1'lik NaOCl içinde 3 dakika tutulmuştur. Daha sonra 2 defa steril saf sudan geçirilerek steril kurutma kağıtlarının üzerinde steril laminar kabinde kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.2.7. Toprak Sterilizasyonu

Denemede kullanılacak steril topraklar (1.1.1 v/v/v, toprak: perlet: torf); 3 kg'lık fırın torbalarının içerisinde 165°C sıcaklıktaki etüvde toplam 4 saat süreyle tutularak 2 kez steril edilmiştir (McDonnell, 2007).

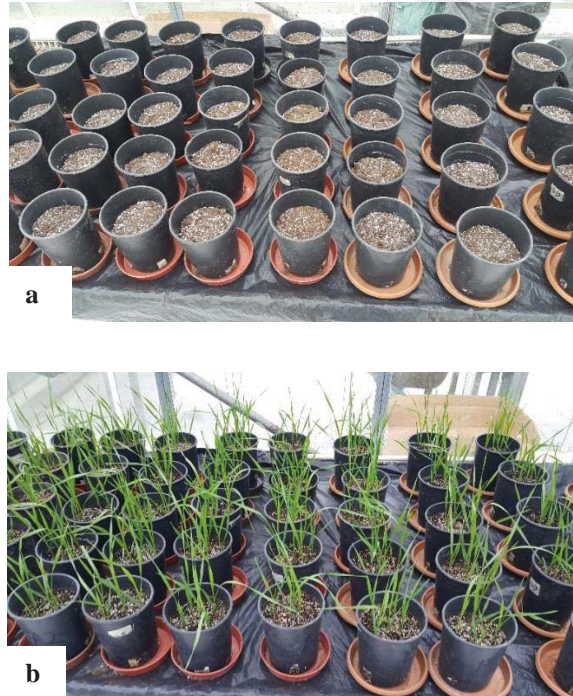
3.2.8. Başak İnokulasyonu Çalışmaları

Bu çalışmada 14 farklı *F. poae* ve 13 farklı *F. equiseti* izolatu buğday başakçıklarına bulaştırılmış ve hastalık şiddetinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Deneme Bitki Koruma Bölümüne ait cam serada yürütülmüştür.

3.2.8.1. Denemede Kullanılacak Buğday Bitkilerinin Yetiştirilmesi

Denemede kullanılacak Altındane buğday çeşidi plastik küvetlerde nemlendirilmiş kurutma kağıdının üzerine küvet başına 500 tane olacak şekilde konulmuş ve çimlenmeye bırakılmıştır.

Steril toprak 500 ml'lik plastik saksılara konulmuştur (Şekil 3.5a). Her saksı başına çimlendirilmiş buğday ekilmiş ve günlük bakım işlemleri yapılarak 24±3°C sıcaklık ve %70 nem içeren cam serada başak dönemine kadar yetiştirilmiştir (Şekil 3.5b).



Şekil 3.5. (a) Steril toprağın 500 ml'lik plastik saksılara konulması, (b) Buğdayların başak dönemine kadar yetiştirilmesi

3.2.8.2. Fungusların Buğday Başaklarına Uygulanması

Denemede *Fusarium* izolatlarının 1×10^6 konidi/ml⁻¹ spor konsantrasyonu hazırlanmıştır. Bu yöntemde, saksılardaki buğday bitkilerinden her izolat için sarıçiçek döneminde olan 15 başak belirlenmiş ve buradaki başakçıkların uç kısımları bir makas yardımı ile kesilmiştir. Bu şekilde spor süspansiyonunun başakçık içerisine daha kolay uygulanması sağlanmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Fungus solüsyonu verilecek başakçığın belirlenmesi

Daha sonra bir mikropipet ile uç kısımları kesilen başakçıklara spor süspansiyonları uygulanmıştır (Şekil 3.7). negatif kontrol saksılarında aynı yöntemle sadece steril saf su verilmiştir. Pozitif kontrol saksılarında ise aynı yöntemle *F. culmorum* verilmiştir.



Şekil 3.7. Spor solüsyonunun başakçıklara uygulanması

Uygulama yapılan başakçıklar, fungusun başakta kalması ve nemin düşmemesi için beyaz yağlı kâğıt keseler ile kapatılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Başakçıkların beyaz yağlı kâğıt keseler ile kapatılması

Denemede *F. poae*' ya ait 13 izolat ve *F. equiseti*' ye ait 14 izolat kullanılmıştır. Bu izolatlar tesadüf parselleri deneme desenine göre 5 tekerrür olacak şekilde kurulmuştur. Negatif kontrol olarak mikropipet yardımıyla steril saf su ve pozitif kontrol olarak mikropipet yardımıyla *F. culmorum*' un spor süspansiyonu uygulanmıştır. Sonuç olarak *F. poae* denemesi için (13 tür×5 tekerrür) 65 saksı ve (5 pozitif ve 5 negatif kontrol) 10 adet kontrol saksısı olmak üzere toplam 75 saksı üzerine deneme kurulmuştur. Aynı şekilde *F. equiseti* denemesi için (14 tür×5 tekerrür) 70 saksı ve 10 adet kontrol saksısı olmak üzere toplam 80 saksı ile deneme yürütülmüştür.

3.2.8.3. Hastalık Reaksiyonlarının Değerlendirilmesi

Fusarium izolatlarının bulaştırılıp yağlı kâğıt keseler içerisine konulan başaklar hasat olgunluğuna gelinceye kadar bu keseler içerisinde bekletilmiştir. Hasat olgunluğuna gelen başaklar başak sapına yakın yerden kesip çıkartılmıştır. *F. poae* ve *F. equiseti* izolatlarının inokulasyonundan hasat zamanı gelinceye kadar takip edilerek hastalığına ait belirtiler başaklarda genel olarak gözlenmiş ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Hastalık oranının belirlenmesi amacıyla 1-9 hastalık skalası kullanılmıştır. Bu skalaya göre; 1: herhangi bir hastalık belirtisi yok (0), 2:

%5'den az hastalık belirtisi, 3: %6-15 arasında hastalık belirtisi, 4: %16-25 arasında hastalık belirtisi, 5: %26-45 arasında hastalık belirtisi, 6: %46-65 arasında hastalık belirtisi, 7: %66-85 arasında hastalık belirtisi, 8: %86-95 hastalık belirtisi ve 9: %95'den daha fazla hastalık belirtisi şeklinde sınıflandırılmıştır (Jones, 2000). Hastalık şiddeti tüm saksılardaki bitkilerde skalaya göre değerlendirilerek kaydedilmiştir. Bunun yanında kontrol (Pozitif ve negatif) parselleri de değerlendirilerek hastalık gelişiminin olup olmadığı gözlenmiştir.



Şekil 3.9. Hasat olgunluğuna gelen başaklarda hastalıkların belirlenmesi.

Bunlara ait tekerrür değerleri uygulanan tesadüf parselleri deneme desenine göre istatistikî analize tabi tutulmuştur. İstatistik analizlerde SPSS istatistik programı kullanılmış ve ANOVA-2 ile varyans analizi yapılarak işlemler arasında herhangi bir farklılık olup olmadığı ve önemlilik seviyeleri ($P < 0,01$ veya $0,05$) belirlenmiştir. Daha sonra Duncan çoklu karşılaştırma testi ile işlemler arasındaki önemlilik grupları belirlenmiştir. Ayrıca değerlendirilen bu 4 parametrenin birbiri arasındaki ilişkisinin belirlenmesi amacıyla yine SPSS paket programı ile korelasyon analizi yapılmıştır.

3.2.9. Tohum İnokulasyonu Çalışmaları

Bu çalışmada 13 farklı *F. poae* ve 14 farklı *F. equiseti* izolatu buğday tohumlarına bulaştırılmış ve bitkilerin kök boğazında oluşacak hastalık şiddetinin

ortaya konulması amaçlanmıştır. Deneme Bitki Koruma Bölümü iklimlendirme odasında 60 gün süreyle gerçekleştirilmiştir (Browne ve Cooke, 2005).

3.2.9.1. Tohumların Çimlendirilmesi

Denemede kullanılacak olan Altındane buğday çeşidi plastik küvetlerde nemlendirilmiş kurutma kağıdının üzerine küvet başına 500 tane olacak şekilde dizilerek, taneler çimlendirilmeye bırakılmıştır.

3.2.9.2. Tohumların İnokulum İle Bulaştırılması

Denemede kullanılmak üzere çimlendirilen buğday taneleri, beher içerisinde hazırlanan 1×10^6 konidi.ml⁻¹ spor süspansiyonu içerisinde her bir izolat için farklı beherler kullanılarak steril pens yardımıyla konulup çalkalayıcı üzerinde 3 dakika çalkalama yapılarak inokulumun tanelere nüfuz etmesi sağlanmıştır.

3.2.9.3. İnokulum Bulaştırılan Tohumların Saksıya Ekimi

İnokulum bulaştırılan çimlendirilmiş buğday taneleri iklim odasında hazırlanan saksılara (her saksıya 5 adet) steril pens yardımı ile saksılardaki topraklarda açılmış delikler içerisinde konulmuştur (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. İklim odasında buğday tohumu ekimi yapılmış saksılar

Buğdayların günlük bakım işlemleri yapılarak $24 \pm 3^\circ\text{C}$ sıcaklık ve %70 nem içeren iklim odasına 60 gün gelişmeye bırakılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Tohumlarına fungus inokule edilen buğday bitkilerinin gelişimleri

3.2.9.4. Hastalık Reaksiyonlarının Değerlendirilmesi

İzolatlarının inokulasyonunu takip eden 60. günde buğdaylar köküyle birlikte sökülüp musluk suyu altında yıkanmıştır. Hastalıklara ait belirtiler buğday bitkilerinde gözlenmiş ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Hastalık oranının belirlenmesi amacıyla 0-4 hastalık skalası kullanılmıştır. Bu skalaya göre; 0: belirti yok, 1: kök ve kök boğazında %25'den az kahverengileşme, 2: kök ve kök boğazında %25-50 arasında kahverengileşme ve 1. yaprak bulaşık, 3: bitkide %50-75 oranında kahverengileşme ve 1. ve 2. yaprak bulaşık, 4: %75 ve üzeri kahverengileşme ve ölü bitki şeklinde sınıflandırılmıştır (Al-Tovi & Haleem, 2018).



Şekil 3.12. Tohumlara fungus inokule edilen buğday bitkilerinin 60. günde gelişim durumları.

Hasadı yapılan buğdayların yaş ağırlıkları alındıktan sonra etüv içerisinde (65°C) 8 saat kurutularak kuru ağırlığını belirlemek amacıyla tartılma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.10. İzolatların Mikotoksin Üreten Genlerinin Teşhisi

Türe özgü PCR uygulaması ile tür teşhisleri doğrulanan toplam 14 *F. equiseti* ve 13 *F. poae* izolatının, trikotesen üretiminden sorumlu Tri6 ve ZEA2 için kullanılan primerler Tablo 3.6'da verilmiştir. *F. poae* için Tri6 primeri, *F. equiseti* için ZEA2 primeri kullanılmıştır (Tablo 3.6).

Tablo 3.6. *Fusarium poae* için Tri6 primeri, *Fusarium equiseti* için Zea2 primeri baz büyüklükleri (Dawidziuk et al., 2014).

Hedef Gen	Primer ismi	Diziler (5' – 3')	Baz büyüklükleri
Zinc transcription factor (Tri6)	TRI6_dm_fA2	TAT GAA TCA CCA	526
	TRI6_dm_rA1	ACW TTC GA	
Zearalenone polyketide synthase (ZEA2)	ZEA2_dm_fA1	CGC CTR TAR TGA	340
	ZEA2_dm_rA1	TCY CKC AT	
		ACM TCA CCA	
		TCMAAR TTC TG	
		GCR TCY CKG TAR	
		TCR CTC AT	

PCR amplifikasyonları bir T100 model thermal cycler'da (Bio-Rad, Hercules, CA, ABD) gerçekleştirilmiştir. Buna göre her bir izolat için (*F. equiseti* ve *F. poae* için aynı) bir ependorf tüpe 12,5 µl distile su, 2,5 µl 10X buffer, 0,5 µl dNTP, 4 µl MgCl₂, 1,25 µl forward oligonucleotide primer, 1,25 µl reverse oligonucleotide primer ve 0,25 µl *Taq* DNA polimeraz kullanılarak karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışım PCR tüplerine eşit şekilde dağıtılmıştır. Daha sonra izolatlara ait 3 µl DNA ilave edilmiştir. PCR koşulları, ilk denatürasyon 94°C'de 5 dk, ve sonra 38 döngü olmak üzere denatürasyon 94°C'de 45 saniye, bağlanma (Annealing) 56°C'de 45 saniye, uzama 72°C'de 1 dk, son uzama (final extension) 72°C'de 10 dk ve bekleme + 4°C olarak gerçekleştirilmiştir.

PCR ürünleri 1×TAE tampon solüsyonunda %1,5'lik agaroz jel içerisinde elektroforetik ayrımına tabi tutulmuştur. 1×TAE tampon solüsyonu ve agarose (BIOMAX, Ardoz-Madrid, İspanya) karışımı mikrodalga fırında homojen olana kadar ve 40°C'ye kadar soğutularak jel tepsisine dökülmüştür.. Hazırlanan agaroz

jeldeki kuyucuklara amplifiye edilen PCR ürünlerinden 15 µl (12,5 µlPCR ürünü , 2.5 µl ladder) yüklenmiş ve 40 dk 70 volt elektriksel alanda koşturulmuştur. Örneklerin büyüklüklerini hesaplamak için markör olarak GeneRuler 100 bp+DNA ladder (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, ABD) kullanılmıştır.

Agaroz jel süre sonunda etidyum bromür ile boyanarak PCR ürünlerin varlığı bir jel görüntüleme sisteminde (G: BOX F3, Syngene, Cambridge, İngiltere) kontrol edilmiştir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Surveylerden Elde Edilen İzolatlar

2010 ve 2018 yıllarında, örneklemelerin yapıldığı iller ve buralardan toplanan buğday bitkilerinin kök ve kök-boğazından yapılan izolasyonlarda teşhis edilen *F. equiseti* ve *F. poae* Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de verilmiştir.

4.2. *Fusarium equiseti* İzolatlarına Ait Bulgular

4.2.1. *Fusarium equiseti* İzolatlarının Morfolojik Özellikleri

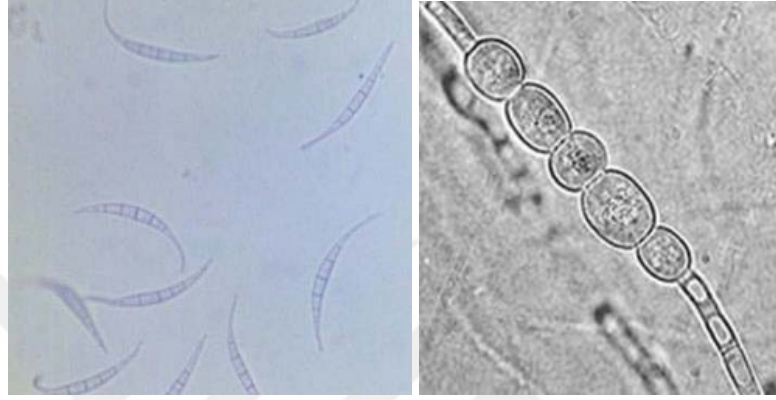
Daha önceki yıllarda izole edilip koleksiyonda eğik tüpte -85°C’de derin dondurucuda bulunan *Fusarium* spp. izolatları aktifleştirmiştir. Gelişen izolatlar incelenerek *F. equiseti* olarak morfolojik yöntemlerle tespit edilmiş besi ortamına aktarılmıştır. Besi ortamında gelişen tüm izolatların konidi morfolojisine göre tek spor izolasyonları yapılmıştır. Besi ortamında geliştirilen *F. equiseti*’ler konidi morfolojisine göre yapılan mikroskopik teşhis sonucu *F. equiseti* olarak belirlenmiştir.

Patates Dekstroz Agar ortamında hızla gelişen, kahverengi, yoğun ve aynı zamanda sert dokulu bir miselyum ve petrinin tersinden bakıldığında turuncu veya daha koyu renkte sporodochiumlar meydana getirmektedir. Fungusun 24°C’de 10 günlük inkübasyonu ile koloni çapı 70 mm’yi aşabilmektedir. Önceleri beyaz renkte gelişmeye başlayan miselyum sonraları açık kahverengine dönüşmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. *Fusarium equiseti*'nin PDA ortamında gelişiminin tersten görünümü

SNA'da gelişen kültürlerde uzun ve eğik makrokonidilerde apikal hücre, kendinden önce gelen hücreden oldukça uzun ve kıvrıktır. Makrokonidilerin diğer ucunda yer alan ayak hücreleri bariz bir şekilde ayırt edilebilmektedir (Şekil 4.2). Ortalama makrokonidi boyutları 42-48 µm eninide ölçülmüştür. Klamidosporlar kahverengi, kalın duvarlı ve zincir formundadır (Booth, 1977).



Şekil 4.2. *Fusarium equiseti*'nin makrokonidileri ve klamidosporları

4.2.2. *Fusarium equiseti* İzolatları İle Yapılan Kök Boğazı Çürüklüğü Denemesinin Bulguları

Bu çalışmada 14 farklı *F. equiseti* izolatu buğday tohumlarına bulaştırılmış ve hastalık şiddetleri belirlenmiştir. İzolatlarının inokulasyonunu takip eden 60. günde hastalıklara ait belirtiler buğday bitkilerinde gözlenmiş ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Hastalık oranının belirlenmesi amacıyla 0-4 hastalık skalası kullanılmıştır (Tablo 4.1).

Fusarium equiseti izolatları ile bulaştırılan kök boğazı çürüklüğüdenemesinde hastalık şiddeti skalasına bakıldığında; karşılaştırmak amacıyla ele alınan *F. culmorum* (3,8a) en yüksek değeri alırken onu 4 nolu (Amasya/Karaköy) ve 7 nolu (Konya/Cihanbeyli) izolat takip etmektedir. En az düzeyde hastalık şiddeti oluşturan izolatlar 11 (Sivas/Çermik), 3 (Aksaray/Sultanhanı), 5 (Sakarya/Madenler), 6 (Amasya/Suluova), 8 (Sivas/Yıldızeli), 9 (Edirne/Keşan), 12 (Tokat/Merkez), 13 (Edirne/İpsala), 17 (Tokat/Niksar) ve 10 (Tekirdağ/Merkez) numaralı izolatlardır.

Fusarium equiseti izolatları ile bulaştırılan kök boğazı çürüklüğü denemesinde yaş ağırlık değerlerine bakıldığında; *F. culmorum* (3,06c) ile kontrol (10,69a) örnekleri, *F. equiseti* ile kıyaslandırıldığında pozitif kontrole en yakın olandan

pozitif kontrole en yakın olacak şekilde sıralandığında; 1 (Tekirdağ/Ergene), 4 (Amasya/Karaköy), 7 (Konya/Cihanbeyli), 10 (Tekirdağ/Merkez), 2 (Çorum/Sungurlu), 5 (Sakarya/Madenler), 8 (Sivas/Yıldızeli), 12. (Tokat/Merkez), 9. (Edirne/Keşan), 6. (Amasya/Suluova), 13 (Edirne/İpsala), 14 (Tokat/Niksar), 3 (Aksaray/Sultanhanı) ve 11 (Sivas/Çermik) izolatları gelmektedir.

Fusarium equiseti izolatları ile bulaştırılan kök boğazı çürüklüğü denemesinde kuru ağırlık değerlerine bakıldığında; *F. culmorum* (0,58f) ile kontrol (2,57a) örnekleri, *F. equiseti* ile kıyaslandığında negatif kontrole en yakın etki gösteren 11 (Sivas/Çermik), bunu takiben 14 (Tokat/Niksar) izolatu, bunları takiben 13 (Edirne/İpsala) izolatu gelmektedir. Bu izolatları takiben 3 (Aksaray/Sultanhanı) peşi sıra gelen 9 (Edirne/Keşan), 6 (Amasya/Suluova), 2 (Çorum/Sungurlu), 12 (Tokat/Merkez), 8 (Sivas/Yıldızeli), 5 (Sakarya/Madenler) ve 1 (Tekirdağ/Ergene) numaralı izolatlar gelmektedir. Yapılan değerlendirmeye göre Pozitif Kontrole en yakın olarak belirlenen izolatlar; 4 (Amasya/Karaköy), 7 (Konya/Cihanbeyli) ve 10 (Tekirdağ/Merkez) numaralı izolatlar gelmektedir.

Fusarium equiseti ile kurulan kök boğazı çürüklüğü denemesinin tüm sonuçlarına bakıldığında 4 (Amasya/Karaköy) numaralı izolatu tüm değerleri incelenerek pozitif kontrole en yakın olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.1. *Fusarium equiseti* izolatları ile yapılan kök boğazı çürüklüğü patojenite denemesinin sonuçları

Örnek No	Alındığı mevkiler	Hasta şiddeti skalası	Yaş ağırlık (g)	Kuru ağırlık (g)
Kontrol		0,00b	10,69a	2,57a
<i>Fusarium culmorum</i>	Amasya/Göynücek	3,80a	3,06c	0,58f
1	Tekirdağ/Ergene	1,80ab	5,13bc	1,09def
2	Çorum/Sungurlu	1,80ab	5,79bc	1,15cdef
3	Aksaray/Sultanhanı	1,20b	8,18ab	1,56bcde
4	Amasya/Karaköy	2,20ab	5,52bc	0,88ef
5	Sakarya/Madenler	1,20b	6,61bc	1,14cdef
6	Amasya/Suluova	1,20b	7,30b	1,26bcdef
7	Konya/Cihanbeyli	2,20ab	5,61bc	1,02def
8	Sivas/Yıldızeli	1,40b	6,92bc	1,25bcdef
9	Edirne/Keşan	1,20b	7,29b	1,39bcdef
10	Tekirdağ/Merkez	2,00ab	5,69bc	1,03def
11	Sivas/Çermik	1,00b	8,35ab	2,01ab
12	Tokat/Merkez	1,40b	7,22b	1,43bcdef
13	Edirne/İpsala	1,40b	7,67ab	1,86abcd
14	Tokat/Niksar	1,40b	7,83ab	1,94abc

*Hem morfolojik hem de moleküler olarak teşhis edilmiş izolatlar.

4.2.3. *Fusarium equiseti* İzolatları İle Yapılan Başak Yanıklığı Patojenite Denemesinin Bulguları

Bu çalışmada 14 farklı *F. equiseti* izolatı buğday başakçıklarına bulaştırılmış ve hastalık şiddetinin ortaya konulması amaçlanmıştır. *F. equiseti* izolatlarının inokulasyonundan hasat zamanı gelinceye kadar takip edilerek hastalığına ait

belirtiler başaklarda genel olarak gözlenmiş ve 1-9 hastalık şiddet skalası kullanılmıştır.

Fusarium equiseti izolatları ile bulaştırılan başak yanıklığı denemesinde hastalık şiddeti skalasına göre incelendiğinde; *F. culmorum* (3,33a) en yüksek değeri almıştır. Buna en yakın olarak 13 (Edirne/İpsala) izolatu bulunmaktadır. Bunu takiben 4 (Amasya/Karaköy), 11 (Sivas/Çermik), 9 (Edirne/Keşan), 5 (Sakarya/Madenler), 8 (Sivas/Yıldızeli), 14 (Tokat/Niksar) 3 (Aksaray/Sultanhanı) ve 7 (Konya/Cihanbeyli) numaralı izolatlar gelmektedir.

Kontrole yakın değere sahip olarak 1 (Tekirdağ/Ergene), 2 (Çorum/Sungurlu), 6 (Amasya/Suluova) ve 12 (Tokat/Merkez) numaralı izolatlar en az başak yanıklığı belirtileri göstermiştir

Tablo 4.2. *Fusarium equiseti* izolatları ile yapılan başak yanıklığı patojenite denemesi sonuçları

Örnek No	Alındığı mevkiler	Hastalık şiddeti skalası
Kontrol		0,00 c
<i>Fusarium culmorum</i>	Amasya/Göynücek	3,33 a
1	Tekirdağ/Ergene	0,26 c
2	Çorum/Sungurlu	0,26 c
3	Aksaray/Sultanhanı	0,46bc
4	Amasya/Karaköy	0,80bc
5	Sakarya/Madenler	0,53bc
6	Amasya/Suluova	0,40c
7	Konya/Cihanbeyli	0,46bc
8	Sivas/Yıldızeli	0,53bc
9	Edirne/Keşan	0,66bc
10	Tekirdağ/Merkez	0,60bc
11	Sivas/Çermik	0,73bc
12	Tokat/Merkez	0,40c

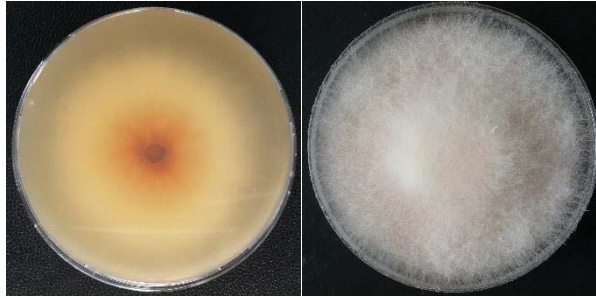
13	Edirne/İpsala	1,46b
14	Tokat/Niksar	0,53bc

4.3. *Fusarium poae* İzolatlarına Ait Bulgular

4.3.1. *Fusarium poae* İzolatlarının Morfolojik Özellikleri

Daha önceki yıllarda izole edilip koleksiyonda eğik tüpte -85°C’de derin dondurucuda bulunan 13 adet *F. poae* izolatları SNA ortamında geliştirilmiştir. Besi ortamında gelişen tüm izolatların konidi morfolojisine göre tek spor izolasyonları yapılmıştır. Besi ortamında geliştirilen *F. poae*’lar konidi morfolojisine göre yapılan mikroskopik teşhis sonucu *F. poae* olarak belirlenmiştir.

Hızlı büyüyen, gevşek pamuklu, beyaz ile uçuk sarı havai miselyumu ve turuncu beyaz ile soluk turuncu substrat miselyumu olan kolonilere sahiptirler. Yaklaşık 10 gün sonra PDA’nın tüm alanını kaplayan kültürde, Petrinin arka yüzeyine bakıldığında kırmızı ile koyu kırmızı, somon rengi renk gözlenmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. *Fusarium poae*’nın Petri kabında PDA ortamında üst ve alt yüzeyinin görünümü

Konidiyoforları genellikle birçok kez dallıdır, genellikle sporodochia bulunmamaktadır. Fialitler kısa ve geniş uçlu, uzamayan yapıda olup, 3 µm uzunluğundadır. Mikrokonidileri küresel, su damlası şeklinde ve çoğunlukla elips yapıda olup, 5.5-7.5 µm uzunluğundadır (Şekil 4.4). Makrokonidi, kısa ve orak şeklinde, 3 bölmeli ve 20-40 x 3-4 µm büyüklüğünde olarak tanımlanır. Kültürde klamidosporeler nadiren üretilmektedir.



Şekil 4.4. *Fusarium poae*'nin damla şeklindeki mikro ve makro konidileri

4.3.2. *Fusarium poae* İzolatları İle Yapılan Kök Boğazı Çürüklüğü Denemesinin Bulguları

Bu çalışmada 13 farklı *F. poae* izolatı buğday tohumlarına bulaştırılmış ve hastalık şiddetleri belirlenmiştir. İzolatlarının inokulasyonunu takip eden 60. günde hastalıklara ait belirtiler buğday bitkilerinde gözlenmiş ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Hastalık oranının belirlenmesi amacıyla 0-4 hastalık skalası kullanılmıştır (Tablo 4.3).

Fusarium poae izolatları ile tohumların bulaştırıldığı denemede hastalık şiddeti skalasına göre değerlere bakıldığında; *F. culmorum* (3,60a) ile kontrol (0,00b) örnekleri, *F. poae* ile kıyaslandırıldığında pozitif kontrole en yakın olarak, 11. (Amasya/Göynücek), 3. (Samsun/Merkez), 5. (Tokat/Turhal), 1. (Zonguldak/Beycuma), 8. (Amasya/Taşova), 4. (Tokat/Merkez), 12. (Amasya/Gümüşhacıköy), 6. (Tokat/Pazar), 9. (Edirne/İpsala) ve 13. (Edirne/Enez) izolatları gelmektedir. Negatif kontrole yakın olan izolatlar; 2. (Samsun/Çarşamba), 7. (Tokat/Niksar), 10. (Tokat/Reşadiye), olarak karşımıza çıkmaktadır.

F. poae izolatları ile bulaştırılan kök boğazı çürüklüğü denemesinde yaş ağırlık değerlerine bakıldığında; *F. culmorum* (3,42b) ile kontrol (11,78a) örnekleri, *F. poae* ile kıyaslandırıldığında pozitif kontrole en yakın olarak; 11. (Amasya/Göynücek), 3. (Samsun/Merkez), 8. (Amasya/Taşova), 2. (Samsun/Çarşamba), 1. (Zonguldak/Beycuma), 5. (Tokat/Turhal), 9. (Edirne/İpsala), 12. (Amasya/Gümüşhacıköy), 4. (Tokat/Merkez) ve 6. (Tokat/Pazar) izolatları gelmektedir. Negatif kontrol inceleniğinde sonuç değerleri daha yakın olan izolatlar; 10. (Tokat/Reşadiye), 7. (Tokat/Niksar) ve 13. (Edirne/Enez), olarak karşımıza çıkmaktadır.

F. poae izolatları ile tohum inokulasyonu denemesinde kuru ağırlık değerlerine bakıldığında; *F. culmorum* (0,86b) ile kontrol (2,57a) örnekleri, *F. poae* ile kıyaslandığında pozitif kontrole en yakın etki gösteren izolatlar; 11. (Amasya/Göynücek), 3. (Samsun/Merkez), 8. (Amasya/Taşova), 2. (Samsun/Çarşamba), 9. (Edirne/İpsala), 7. (Tokat/Niksar), 6. (Tokat/Pazar), 1. (Zonguldak/Beycuma), 5. (Tokat/Turhal), 12. (Amasya/Gümüşhacıköy), Negatif kontrol inceleniğinde sonuç değerleri daha yakın olan izolatlar ise; 4. (Tokat/Merkez), 13. (Edirne/Enez) ve 10. (Tokat/Reşadiye) olarak karşımıza çıkmaktadır.

F. poae ile kurulan kök boğazı çürüklüğü denemesinin tüm sonuçlarına bakıldığında pozitif kontrole en yakın 11. (Amasya/Göynücek) izolat gelmektedir. Bunu takiben 3. (Samsun/Merkez) ve 8. (Amasya/Taşova) ve izolatlarının pozitif kontrole daha yakın olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.3. *Fusarium poae* izolatları ile yapılan kök boğazı çürüklüğü patojenite denemesinin sonuçları

Örnek No	Alındığı mevkiler	Hastalık şiddeti skalası	Yaş ağırlık (gr)	Kuru ağırlık (gr)
Kontrol		0,00b	11,78a	2,57a
<i>F. culmorum</i>		3,60a	3,42b	0,86b
1	Zonguldak/Beycuma	2,20ab	5,37b	1,36ab
2	Samsun/Çarşamba	1,60ab	4,83b	1,01b
3	Samsun/Merkez	2,80ab	3,73b	0,77b
4	Tokat/Merkez	2,00ab	5,99b	1,65ab
5	Tokat/Turhal	2,40ab	5,43b	1,39ab
6	Tokat/Pazar	1,80ab	5,99b	1,24ab
7	Tokat/Niksar	1,60ab	6,66ab	1,23ab
8	Amasya/Taşova	2,20ab	4,69b	0,77b
9	Edirne/İpsala	1,80ab	5,61b	1,12b
10	Tokat/Reşadiye	1,60ab	6,81ab	1,41ab
11	Amasya/Göynücek	2,80ab	3,64b	0,76b
12	Amasya/Gümüşhacı	2,00ab	5,67b	1,38ab

	köy			
13	Edirne/Enez	1,80ab	6,55ab	1,61ab

4.3.3. *Fusarium poae* İzolatları İle Yapılan Başak Yanıklığı Patojenite Denemesinin Bulguları

Bu çalışmada 13 farklı *F. poae* izolatı buğday başakçıklarına bulaştırılmış ve hastalık şiddetinin ortaya konulması amaçlanmıştır. *F. poae* izolatlarının inokulasyonundan hasat zamanı gelinceye kadar takip edilerek hastalığına ait belirtiler başaklarda genel olarak gözlenmiş ve değerlendirilmesi yapılmıştır (Tablo 4.4).

Fusarium poae izolatları ile bulaştırılan başak yanıklığı denemesinde hastalık şiddeti skalasına göre incelendiğinde; *F. culmorum* (3,33a) en yüksek değeri almıştır. Buna en yakın olarak; 11 (Amasya/Göynücek) izolatı karşımıza çıkmaktadır. Bunu takiben; 3 (Samsun/Merkez), 9 (Edirne/İpsala), 7 (Tokat/Niksar), 8 (Amasya/Taşova), 6 (Tokat/Pazar), 12. (Amasya/Gümüşhacıköy), 2 (Samsun/Çarşamba), 5 (Tokat/Turhal) ve 4 (Tokat/Merkez) numaralı izolatlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Negatif kontrol değerlerine en yakın olarak karşımıza çıkan izolatlar ise; 1 (Zonguldak/Beycuma), 13 (Edirne/Enez) ve 10 (Tokat/Reşadiye) numaralı izolatlar olarak belirlenmiştir.

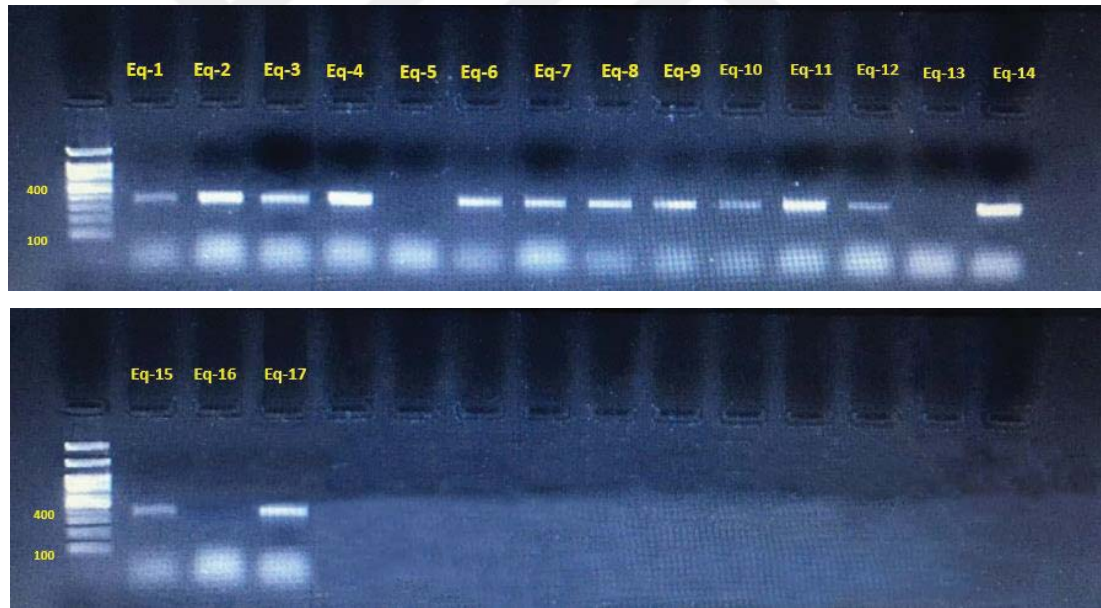
Tablo 4.4. *Fusarium poae* izolatları ile yapılan başak yanıklığı patojenite denemesi sonuçları

Örnek No	Alındığı mevkiler	Hasta şiddeti skalası
Kontrol		0,00c
<i>F. culmorum</i>		3,33a
1	Zonguldak/Beycuma	0,26c
2	Samsun/Çarşamba	0,46bc
3	Samsun/Merkez	0,80bc
4	Tokat/Merkez	0,40c
5	Tokat/Turhal	0,46bc
6	Tokat/Pazar	0,53bc
7	Tokat/Niksar	0,66bc

8	Amasya/Taşova	0,60bc
9	Edirne/İpsala	0,73bc
10	Tokat/Reşadiye	0,40c
11	Amasya/Göynücek	1,46b
12	Amasya/Gümüşhacıköy	0,53bc
13	Edirne/Enez	0,40c

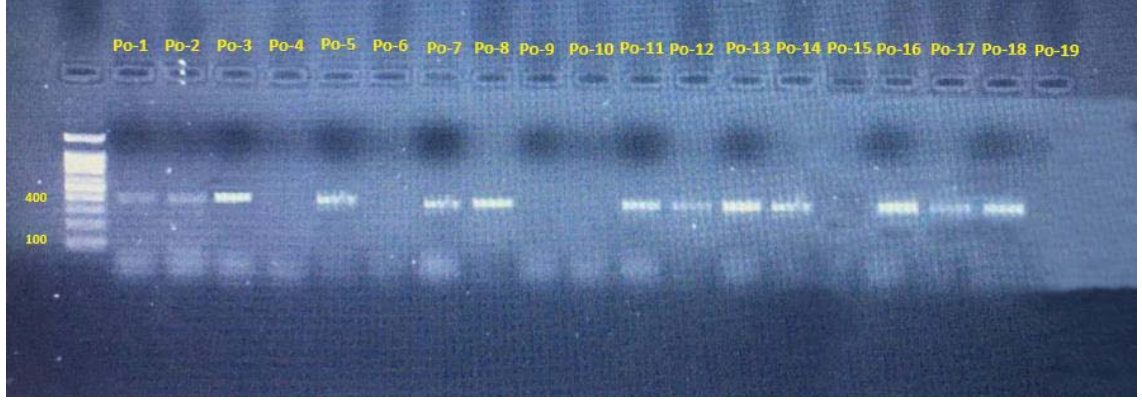
4.4. İzolatların Moleküler Teşhisleri

Konidi morfolojisine göre mikroskobik ve makroskobik olarak morfolojik teşhisi yapılan 17 adet *F. equiseti* ve 19 adet *F. poae* izolatu türe özgü primer kullanılarak PCR ile moleküler teşhisi yapılmış ve 14 izolat *F. equiseti*, 13 izolat *F. poae* olarak belirlenmiştir. Mishra vd. (2002)'nin *F. equiseti* ile yapmış oldukları çalışmada olduğu gibi jel görüntülemesi sonucunda yaklaşık 390 bp'da bant görülmüştür (Parry ve and Nicholson, 1996).



Şekil 4.5. Moleküler olarak pozitif çıkan *F. equiseti*'nin jel görüntüsü.

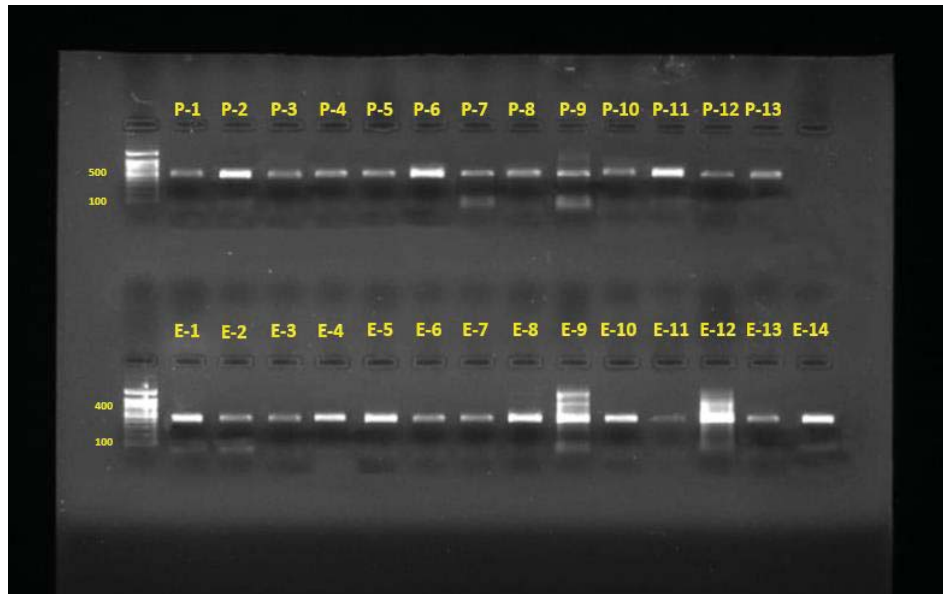
F. poae ile yapmış oldukları çalışmada olduğu gibi Fps-F primer isimli 5'-CGCACGTATAGATGGACAAG - 3' ve Fpo-R primer isimli 5'-CAGCGCACCCCTCAGAGC - 3' gen lokusunda yaklaşık olarak 400 bp'da bant görülmüştür (Parry ve and Nicholson, 1996).



Şekil 4.6. Moleküler olarak pozitif çıkan *F. poae* 'nın jel görüntüsü

4.4.1. Moleküler Teşhisi Yapılan İzolatların Tri6 ve ZEA2 Geni Bulundurma Durumunun Belirlenmesi

Türe özgü PCR uygulaması ile tür teşhisleri doğrulanan toplam 14 *F. equiseti* ve 13 *F. poae* izolatının, trikotesen üretiminden sorumlu *F. poae* izolatlarında Tri6 gen lokusu için; 5' TAT GAA TCA CCA ACW TTC GA 3' ve 5' CGC CTR TAR TGA TCY CKC AT 3' ayrıca *F. equiseti* izolatlarında ZEA2 gen lokusu için 5' ACM TCA CCA TCMAAR TTC TG 3' ve 5' GCR TCY CKG TAR TCR CTC AT 3' primer dizini kullanılmıştır. PCR uygulamasının sonucunda toplam 13 adet *F. poae* izolatlarının tamamında trikotesen üretiminden sorumlu Tri6 genlerinin bulunduğu ve 14 adet *F. equiseti* izolatının tamamında zearalenon (ZEA2) genlerinin bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.7) (Dawidziuk et al., 2014).



Şekil 4.7. Tri6 ve ZEA2 Gen lokuslarının *F. poae* (P-1, ..., P12) ve *F. equiseti* (E-1, ..., E13)' de bulunma durumlarının jel sonucunda görüntülenmesi

4.5. Tartışma

Bu çalışmada 2010 ve 2018 yılları arasında Türkiye'nin farklı agro-ekolojilerinden toplanan buğdaylarda yaygın olarak bulunan *F. equiseti* ve *F. poae*'nin hastalık oluşturma durumları hem kök boğazı çürüklük denemesi hem de başak denemesi yapılarak araştırılmıştır. Ayrıca sıcakkanlıklarda önemli sağlık sorunlarına yol açabilen *F. equiseti*'de oluşan zearolonone (ZEA) ve *F. poae*'da oluşan trikotesen toksinlerini oluşturma kapasiteleri belirlenmiştir.

Yapılan bu çalışmada *Fusarium* türlerinin kök boğazı çürüklüğü ve başak yanıklığı hastalıkları için yapılan denemelerde etmenlerin verimi etkileyecek şekilde hastalık şiddeti oluşturduğu tespit edilmiştir. Benzer bir çalışmada *Fusarium* türlerinin tane verimi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ve buğdayda %70'e varan ürün kayıplarına neden olduğunu belirlenmiştir (Parry ve Jenkinson, 1995). Bir çalışmada buğdayda endofitik *Fusarium* türlerinin incelenmesiyle sağlıklı bitkilerden en fazla *F. oxysporum*'un izole edildiğini ve bunu *F. equiseti*'nin izlediğini bildirmişlerdir (Tunalı ve Kansu, 2010). Bu çalışmada ayrıca *F. equiseti*'nin ve *F. poae*'nin farklı illerden alınan izolatlarının buğday kök boğazı çürüklüğü ve başak yanıklığı hastalığı denemelerinde zayıf da olsa hastalık oluşturduğu bulunmuştur.

Çalışmada *F. equiseti*'nin kök boğazı çürüklüğü denemesinde en yüksek hastalık şiddetine sahip izolatların aynı değerde olan ; Amasya/Karaköy ve Konya/Cihanbeyli (2,20ab) ve başak yanıklığı denemesinde Edirne/İpsala ve Amasya/Karaköy (0,26c) bölgelerinden alınan izolatlar olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde *F. poae*'nin kök boğazı çürüklüğü denemesinde en yüksek hastalık şiddetine sahip izolatların aynı değerde olan Samsun/Merkez ve Amasya/Göynücek (2,80ab) ve başak denemesinde Amasya/Göynücek (1,46b) izolatının olduğu saptanmıştır. Yapılan başka bir çalışmada buğdayda kök, kök boğazı ve sap çürüklüğü hastalığı ülkemiz dahil dünyada buğday üretiminin yapıldığı birçok bölgede yaygın olduğunu (Cook, 1986; Akgül, 2008) belirlenmiştir. Ülkemizde buğdayda *Fusarium* kök boğazı çürüklüğü hastalığının kurak bölgelerde verim kaybına neden olan hastalıkların başında geldiği bildirilmektedir (Tunalı vd., 2008).

Başak yanıklığı denemesinde izolatların buğdaylara inokulasyonu sarı çiçek döneminde yapılmıştır. Benzer şekilde Detrixhe vd. (2003), *Fusarium* spp. neden olduğu *Fusarium* başak yanıklığı hastalığının buğdayda çiçeklenme döneminde meydana geldiğini, verim kayıplarına ek olarak, bu funguslar uygun çevre

koşullarında toksik bileşikleri (mikotoksinler) sentezleyerek, hayvan ve insan sağlığı için önemli bir tehdit oluşturabileceklerini bildirmişlerdir.

Bu çalışmada kurulan kök boğazı çürüklüğü denemesi iklim odasında ve başak yanıklığı denemesi cam serada gerçekleştirilmiş ve verilerde uygulanan çoğu fungal izolatin zayıf patojen olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi fungusların elde edilme tarihlerinin eski olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Yapılan toksin genlerinin belirlenmesi çalışmasında *F. poae* moleküler olarak teşhis edilenler 13 *F. poae* izolatinin 13'ünde de ZEA toksini üretiminden sorumlu gen ve 14 *F. equiseti* izolatinin 14'ünde de Tri6 toksini üretiminden sorumlu gen varlığı belirlenmiştir. Başka bir çalışmada elde edilen bu toksinleri oluşturan fungusların; çeşitli tahıl ürünlerinde dip çürüklüğü, yaprak ve başak yanıklığı ve koçan çürüklüğü hastalıklarına neden olduğu bildirilmektedir (Schollenberger et al., 2004). Etmenler arasında mikotoksinler yönüyle önemli olanları; buğdayda başak yanıklığı ve mısırdaki koçan çürüklüğü hastalığı olduğu belirlenmiştir. (Uçkun ve Yıldız, 2003).

Yapılan çalışmada 13 *F. poae* izolatinin Tri6 toksini üretiminden sorumlu bulunma durumu incelendiğinde tüm izolatların Tri6 toksini üretiminden sorumlu bulundurduğu belirlenmiştir. Dinolfo ve Stenglein (2014), *Fusarium poae*'nin T-2 ve HT-2 toksinlerini üretebildiğini belirterek yapmış oldukları çalışmada T-2 üretimi için gerekli olan Tri6 geninin moleküler yöntemler kullanılarak kesilip çıkartıldığından dolayı *F. poae*'de işlevsel olmadığını tespit etmişlerdir. Ayrıca butenolide, culmorin, cyclonerodiol ve fusarin C'nin, *F. poae* tarafından üretilen diğer mikotoksinler olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bu çalışmada sadece toksin üretiminden sorumlu genlerin varlığı kontrol edilmiştir. İlerleyen çalışmalarda bu toksinlerin oranlarına bakılmasının sıcak kanlılara etkileri ve hastalık oluşturmada toksinlerin bitkilere olumsuz etkileri yönüyle önemli katkı sunacağı düşüncesindeyiz. Hofgaard vd. (2016), *F. poae* (FP) ve *Fusarium langsethiae* (FL) ve bunların ürettikleri mikotoksinler olan NIV ve T-2/HT-2 toksinlerinin (T-2/HT-2) daha yüksek oranda görüldüğü saptanmıştır. Moleküler olarak teşhisi yapılan 14 *F. equiseti* ile Zea2 ve 13 *F. poae* ile Tri6 toksinleri incelendiğinde elde etmiş olduğumuz tüm *F. equiseti* izolatlarında Zea2 ve elde ettiğimiz tüm *F. poae* izolatlarında Tri6 toksin genlerinin mevcut olduğu yapılan analizler sonucunda belirlenmiştir. Desjardins vd. (2004), *Fusarium* mikotoksinlerinin buğday tanesinde zarara neden olduğundan

dolayı kalitesini düşürdüğünü belirterek küçük taneli tahıllarda en yaygın olarak bulunan *Fusarium* toksinlerinin Tip A ve Tip B trikotesenler ile zearalenonlar ve fumonisin olduğunu bildirmişlerdir. Kuchynková vd. (2021)'de, trikotesenler Tip A (örneğin, T-2 ve HT-2 gibi), özellikle *F. poae*, *F. equiseti* ve *F. sporotrichoides* tarafından üretildiğini, yulaf ve mısır da ise *F. poae*, *F. avenaceum* ve *F. equiseti*'i tespit ettiklerini bildirmişlerdir.

Fusarium cinsi özellikle tarımsal anlamda öneme sahip olan türler açısından değerlendirildiğinde, ürünlerde meydana getirdiği fiziksel zarar ve verim kaybının yanında üründe meydana getirdikleri, düşük molekül ağırlığa sahip ikincil metabolitler (mikotoksinler) sebebiyle de ürün kalitesinde önemli sorunlar oluşturabilmektedirler. Parry ve Jenkinson (1995) yaptığı çalışmada *Fusarium* türlerinin tane verimi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ve buğdayda %70'e varan ürün kayıplarına neden olduğunu bildirmişlerdir.

Kimyasal mücadelenin toprak kökenli bu tip patojenlere karşı kullanılma imkânı oldukça kısıtlıdır. Bu nedenle hastalığa karşı dayanıklı çeşit kullanımının geliştirilmesi ve mücadele çalışmalarının daha çok bu alanda yoğunlaştırılması faydalı olacaktır. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi-EFSA, (2013)'de NIV insanlar için immünotoksik ve hematotoksik etkilere sahip olduğunu bildirmiştir.

Fusarium türlerinin buğdayda oluşturduğu başak yanıklığının temel nedeni fungusun üretmiş olduğu mikotoksinlerden olduğu düşünülmektedir. Yapılan çalışmaya benzer bir çalışmada Nielsen vd. (2014), FBY'nin, trikotesenlerin ve ZEA varlığıyla ilgili olduğunu bildirmişlerdir.

Rusya'da Orenburg bölgesinde 1942-1944 yıllarında binlerce insanın ölmesiyle sonuçlanan mikotoksikosis vakası Alimentary Toxic Aleukia, ATA (beslenmeden kaynaklı toksik etkinin kandaki lökosit sayısını düşürmesi sonucunda meydana gelen lösemi hastalığı) olarak tarihteki yerini almıştır. Savaş nedeniyle tarlada zorunluluktan dolayı kışlatılan tahılların bu büyük afete neden olduğu anlaşılmıştır. Hububatlarda gelişen *Alternaria*, *Mucor*, *Cladosporium*, *Penicillium* ve özellikle de *Fusarium* cinslerinin meydana getirdiği mikotoksinlerin ölümlere sebep olduğu, günümüzde de *Fusarium* T-2 toksini üretiminden sorumlu ile trikotesenlerin de ölümlere yol açabileceği belirtilmektedir. Buna ilaveten Manafı vd. (2015), hem insanlarda hem de hayvanlarda akut zehirlenmeye ve kronik hastalıklara neden olabilen T-2 toksini üretiminden sorumlu genin, oldukça güçlü sitotoksik ve

immünsüpresif toksin olduğunu ortaya koymuşlardır. Pleadin vd. (2015), *Fusarium* tarafından üretilen mikotoksinlerden DON'un çoğunlukla buğday, tritikale, mısır, arpa, yulaf ve çavdarda, T-2 ve HT-2 toksininin daha çok yulaf, buğday ve arpada ve ZEA toksini üretiminden sorumlu genin daha çok mısır ve buğdayda ortaya çıktığını tespit etmişlerdir.

Yapılan çalışmada *F. poae*'den dolayı oluşan ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Her ne kadar hastalık şiddeti düşük olsa da ağırlık kaybının negatif kontrole oranla istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir. Detrixhe vd. (2003), *Fusarium* spp. neden olduğu *Fusarium* başak yanıklığı hastalığının buğdayda çiçeklenme döneminde meydana geldiğini, verim kayıplarına neden olduklarını bildirmiştir.

Yapılan çalışmada kullanılmak üzere belirlenen *F. poae* ve *F. equiseti* izolatları yapılan surveyler sonucu oldukça yaygın olarak görülmüştür. Aynı şekilde Suproniene vd. (2010), Litvanya'da üretilen tahıllarda en yaygın *Fusarium* türlerinin *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. poae*, *F. sporotrichioides*, *F. langsethiae* ve *F. equiseti* olduğunu moleküler yöntem kullanarak saptamışlardır.

Yapılan çalışmada morfolojik olarak teşhis edilen 17 *F. equiseti* ve 19 *F. poae* izolatlarının moleküler olarak teşhis yapıldığında 14 *F. equiseti* ve 13 *F. poae* izolatu olduğu teşhis edilmiştir. Morfolojik olarak belirlenen sayının azalmasındaki en önemli sebep complex fungus gruplarının olmasıdır. *F. equiseti* ye çok benzer olarak *F. equiseti-incarnatum* complex içerisinde farklı türlerden biri olabileceği karşımıza çıkmaktadır. Aynı şekilde *F. poae* ye çok benzer olan *F. tricinctum*, *F. langsethiae* vs. olabileceği düşünülmektedir.

5. SONUÇ

Yapılan çalışma 2010-2018 yılları arasında arazi sörveylerinden hastalıklı ve sağlıklı buğday bitkilerinden izole edilen ardından Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Mikoloji Laboratuvarında bulunan -85°C derin dondurucuda koleksiyona dahil edilip saklanan *F. equiseti* ve *F. poae* izolatlarının morfolojik ve ardından moleküler olarak teşhisleri yapılmıştır.

Bu çalışmada izolatların hem başakta hem de tohumda oluşturdukları etkinin belirlenmesi amacıyla patojenite denemeleri kurulmuştur. Elde edilen veriler SPSS programı kullanılarak analiz edilmiş ve yorumlanmıştır.

Fusarium equiseti ile kurulan kök boğazı çürüklüğü denemesinde buğdayda 4 numaralı (Amasya/Karaköy) izolat en fazla hastalık oluşturan, 11 numaralı (Sivas/Çermik) izolat ise en az hastalık oluşturan izolat olarak karşımıza çıkmaktadır. Aynı izolatlar ile kurulan başak yanıklığı denemesi sonuçlarında ise 13 numaralı (Edirne/İpsala) izolatu en fazla, hastalık oluşturan ve 1 numaralı (Tekirdağ/Ergene) izolatu en az düzeyde hastalık oluşturan izolat olarak karşımıza çıkmaktadır.

Fusarium poae ile kurulan kök boğazı çürüklüğü denemesinde buğdayda 11 numaralı (Amasya/Göynücek) izolatu en fazla , hastalık şiddeti oluşturabilmiş 10 numaralı (Tokat/Reşadiye) izolatu ise oluşturduğu hastalık şiddeti en düşük düzeyde bulunmuştur. Aynı izolatlar ile kurulan başak yanıklığı denemesi sonuçlarında ise 11 numaralı (Amasya/Göynücek) izolatu en fazla hastalık şiddeti oluşturma oluşturabilmiş, 1 numaralı (Zonguldak/Beycuma) izolatu ise oluşturduğu hastalık şiddeti en düşük düzeyde bulunmuştur. Moleküler olarak teşhisleri yapılmış funguslardan *F. poae* için Tri6, *F. equiseti* için Zea2 toksini üretiminden sorumlu genlerin incelemesi yapıldığında kurulan PCR çalışmasında tüm *F. poae* izolatlarının Tri6 toksini üretiminden sorumlu, tüm *F. equiseti* izolatlarının Zea2 toksini üretiminden sorumlu gene sahip oldukları PCR sonucuna göre ortaya çıkmıştır.

Yapılmış bu çalışma ışığında buğdayda zayıf patojen olarak bilinen, salgın dönemlerinde buğdaylarda zarara neden olan *F. equiseti* ve *F. poae*'nin başak yanıklığı ve kök çürüklüğüne neden olduğu bilinmektedir. Buğday ile yapılan birçok çalışmada elde edilen funguslar içerisinde bu fungusların oranı oldukça fazladır. Oluşturmuş oldukları toksinler nedeniyle sıcak kanlı canlılar tarafından

tüketildiklerinde alınan doza bağı olarak akut veya kronik toksisite oluşturma riski bulunmaktadır.

Kimyasal mücadelenin toprak kökenli bu tip funal etmenlere karşı kullanılma imkânı oldukça kısıtlıdır. Bu nedenle hastalığa karşı dayanıklı çeşit kullanımının geliştirilmesi ve mücadele çalışmalarının daha çok bu alanda yoğunlaştırılması daha faydalı olacaktır.

Çalışmamızda elde edilen izolatlar arasındaki hastalık şiddeti ve diğer kalite kriterleri üzerindeki etkileri, kurulan saksı denemesi ile araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında, izolatlar arasında hastalık şiddeti ve diğer parametreler yönünden çok önemli farklılıkların bulunmadığı ortaya konulmuştur.

Sonuç olarak bu çalışmanın devamında *Fusarium* türlerine dayanıklı çeşit belirleme çalışmalarının devam etmesi, Tri6 ve Zea2 toksinlerinin yanında DON, nivalenol, fusarenon X mikotoksinleri yönünden de araştırılması ve toksin geninin belirlenmesinin ardından toksin oranının da belirlenmesi, tür içerisinde farklılıkların ortaya konulması, toksin oluşturmeyen *Fusarium* izolatları üzerinde durulması, zayıf patojen veya endofitik karakterli *Fusarium* izolatlarının araştırılmasının ülkemiz tarımı açısından önemli olacağı kanısındayız.

Endofit kavramı içerisinde bu izolatların biyolojik mekanizmasının açıklanabilmesi önemli bilgiler sağlayacaktır. Doğada pek çok endofitik fungus veya bakterinin konukçusuna sağladığı faydalar (su alımı, besin maddesi alımı, hastalıklara karşı direnç vb.) bilinmektedir. Karakterize edilecek *Fusarium* izolatları üzerinde de ilerleyen süreçte geliştirilecek farklı çalışmalar ile patojenik karakterli olan türlere karşı biyolojik mücadele ajanı adayı olabilmesi veya bitki gelişiminin teşvik edilmesine yönelik bir mekanizmanın geliştirilmesi konuları, üzerinde durulması gerektiği kanısındayız.

6. KAYNAKÇA

- Abdallah, F. M., De Boevre, M., Landschoot, S., De Saeger, S., Haesaert, G., and Audenaert, K. (2018). Fungal endophytes control *Fusarium graminearum* and reduce trichothecenes and zearalenone in maize. *Toxins*. 10: 493. doi: 10.3390/toxins10120493.
- Al-Tovi, B. S. S., & Haleem, R. A. (2018). Occurrence and isolation of some *Fusarium* species associated with crown and root rot disease in some wheat fields of Duhok, IKR, Iraq.
- Akgül, D. S. (2008). *Çukurova Bölgesi Buğday Ekim Alanlarında Kök, Kökboğazı ve Sap Çürüklüğü Hastalığının Durumu, Bazı Buğday Çeşitlerinin Hastalığa Karşı Reaksiyonları, Farklı Gübreleme Pratikleri ve Fungisit Uygulamalarının Hastalık Gelişimine Etkileri*. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana. (120s).
- Aktaş, H. (2001). Önemli Hububat Hastalıkları ve Sörvey Yöntemleri. *T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü*. Bitk. Sağ. Araş. Daire Başk. Ankara. (74s).
- Andersen, A. L. (1948). The development of *Gibberella zae* headblight of wheat. *Phytopathology*. 38. (s. 599-611).
- Andriamanalijaona, R., Kypriotou, M., Baugé, C., Renard, E., Legendre, F., Raoudi, M. and Pujol, J. P. (2005). Comparative effects of 2 antioxidants, selenomethionine and epigallocatechin-gallate, on catabolic and anabolic gene expression of articular chondrocytes. *The Journal of rheumatology*. 32(10). (s. 1958-1967).
- Anonymous. (2019b). *AMIS Tarımsal Yönetim Bilgi Sistemi İstatistikleri (FAO)*. Erişim Tarihi: 17.04.2020. Web sitesi: <http://statistics.amis-outlook.org/data/index.html#COMPARE..>
- Anonymous. (2020a). *Bitkisel Üretim İstatistikleri*. Erişim Tarihi: 03.04.2020. Türkiye İstatistik Kurumu Veri Tabanı. Web sitesi: <https://www.tuik.gov.tr/>.
- Anonymous, (2020e). *Grain: World Markets and Trade*. Erişim Tarihi: 23.04.2020. <https://www.fas.usda.gov/>
- Arısoy, H., Oğuz, C. (2005). *Tarımsal Araştırma Enstitüleri Tarafından Yeni Geliştirilen Buğday Çeşitlerinin Tarım İşletmelerinde Kullanım Düzeyi ve Geleneksel Çeşitler İle Karşılaştırmalı Ekonomik Analizi. Konya İli örneği*. (s. 1). Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aslın, H., (1986). *Çeşitli Triticum (Buğday) türlerinde morfolojik, anatomik ve bazı fizyolojik özellikler üzerine araştırmalar*. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Audenaert, K., Monbaliu, S., Deschuyffeleer, N., Maene, P., Vekeman, F., Haesaert, G. and Eeckhout, M. (2012). Neutralized electrolyzed water efficiently reduces *Fusarium* spp. in vitro and on wheat kernels but can trigger deoxynivalenol (DON) biosynthesis. *Food Control*. 23(2). (s. 515-521).
- Beccari, G., Colasante, V., Tini, F., Senatore, M. T., Prodi, A., Sulyok, M., & Covarelli, L. (2018). Causal agents of *Fusarium* head blight of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in central Italy and their in vitro biosynthesis of secondary metabolites. *Food microbiology*. 70. (s. 17-27).
- Beccari, G., Senatore, M. T., Tini, F., Sulyok, M. and Covarelli, L. (2018). Fungal community, *Fusarium* head blight complex and secondary metabolites associated with

- malting barley grains harvested in Umbria, central Italy. *International Journal of Food Microbiology*. 273. (s. 33-42).
- Beccari, G., Arellano, C., Covarelli, L., Tini, F., Sulyok, M. and Cowger, C. (2019). Effect of wheat infection timing on *Fusarium* head blight causal agents and secondary metabolites in grain. *International journal of food microbiology*. 290. (s. 214-225).
- Beccari, G., Prodi, A., Senatore, M. T., Balmas, V., Tini, F., Onofri, A. and Covarelli, L. (2020). Cultivation area affects the presence of fungal communities and secondary metabolites in Italian durum wheat grains. *Toxins*. 12(2). 97.
- Belderok, B., Mesdag, H., Donner, A. D. (2000). Bread-Making Quality of Wheat. (s. 3). Springer Science & Business Media. ISBN: 0-7923-6383-3.
- Berger, U., Oehme, M. and Kuhn, F. (1999). Quantitative determination and structure elucidation of type A-and B-trichothecenes by HPLC/ion trap multiple mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47(10). (s. 4240-4245).
- Bernhardt, K., Valenta, H., Kersten, S., Humpf, H. U. and Dänicke, S. (2016). Determination of T-2 toxin, HT-2 toxin, and three other type A trichothecenes in layer feed by high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS)—comparison of two sample preparation methods. *Mycotoxin research*. 32(2). (s. 89-97).
- Bernhoft, A., Torp, M., Clasen, P. E., Løes, A. K., Kristofersen, A. B. (2012) Influence of agronomic and climatic factors on *Fusarium* infestation and mycotoxin contamination of cereals in Norway. *Food Addit Contam Part A*. 29: (s. 1129-1140).
- Beule, L., Lehtsaar, E., Rathgeb, A. and Karlovsky, P. (2019). Crop diseases and mycotoxin accumulation in temperate agroforestry systems. *Sustainability*. 11(10). 2925.
- Birzele, B., Meier, A., Hindorf, H., Krämer, J. and Dehne, H. W. (2002). Epidemiology of *Fusarium* infection and deoxynivalenol content in winter wheat in the Rhineland, Germany. In *Mycotoxins in Plant Disease*. (s. 667-673). Springer: Dordrecht.
- Brennan, J. M., Fagan, B., Van Maanen, A., Cooke, B. M. and Doohan, F. M. (2003). Studies on in vitro growth and pathogenicity of European *Fusarium* fungi. *European Journal of Plant Pathology*. 109(6). (s. 577-587).
- Browne, R. A., & Cooke, B. M. (2005). Resistance of wheat to *Fusarium* spp. in an in vitro seed germination assay and preliminary investigations into the relationship with *Fusarium* head blight resistance. *Euphytica*, 141(1). (s. 23-32).
- Bryla, M., Ksieniewicz-Wozniak, E., Waskiewicz, A., Szymczyk, K. and Jedrezejczak, R. (2018). Co-occurrence of nivalenol, deoxynivalenol and deoxynivalenol-3-glucoside in beer samples. *Food Control*. 92: (s. 319-324).
- Booth, C. (1977). *Fusarium* laboratory guide to the identification of the major species. Kew, Surrey. England. Commonwealth Mycological Institute.
- Bottalico, A. (1998). *Fusarium* diseases of cereals: species complex and related mycotoxin profiles, in Europe. *Journal of plant Pathology*. (s. 85-103).
- Bottalico, A., Perrone, G. (2002). Toxigenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe. *Eur Journal Plant Pathology*. 108: (s. 611-624). doi: <https://doi.org/10.1023/A:1020635214971>.
- Bowden, R. L., Hunger, R. M., Morrill, W. L., Murray, T. D. and Smiley, R. W. (2010). Compendium of wheat diseases and pests. W. W. Bockus (eds.). *APS Press*. (s. 171). St Paul: USA.
- Busby, W. F. Jr., Wogan, G. N. (1984). "Aflatoxins". in: *Chemical Carcinogens*. Edwards, F., (eds.). York: Maple Press Co. (s. 945-1136).

- Campbell, H., Choo, T. M., Vigier, B., Underhill, L. (2000). Mycotoxins in barley and oat samples from eastern Canada. *Can. Journal Plant Science*. 80: (s. 977-980).
- Cheat, S., Gerez, J. R., Cognié, J., Alassane-Kpembé, I., Bracarense, A. P., Raymon-Letron, I., Kolf-Clauw, M. (2015). Nivalenol has a greater impact than deoxynivalenol on pig jejunum mucosa in vitro on explants and in vivo on intestinal loops. *Toxins*. 7. (s. 1945-1961).
- Cheng, B., Zhang, Y., Tong, B. and Yin, H. (2017). Influence of selenium on the production of T-2 toxin by *Fusarium poae*. *Biological trace element research*. 178(1). (s. 147-152).
- Chrpová, J., Šíp, V., Sumíková, T., Salava, J., Palicová, J., Štočková, L. and Hajšlová, J. (2016). Occurrence of *Fusarium* species and mycotoxins in wheat grain collected in the Czech Republic. *World Mycotoxin Journal*. 9(2). (s. 317-327).
- Concon, J. M. (1988). Food toxicology. Part A: Principles and concepts; Part B: Contaminants and additives. *Marcel Dekker Inc*.
- Cook, R. J. (1968). Fusarium root and foot rot of cereals in the Pacific Northwest. *Phytopathology*. 58. (s. 127-131).
- Cowger, C., Patton-Özkurt, J., Brown-Guedira, G. And Perugini, L. (2009). Post-anthesis moisture increased Fusarium head blight and deoxynivalenol levels in North Carolina winter wheat. *Phytopathology*. 99(4). (s. 320-327).
- Cowger, C., Arrellano, C. (2010). Plump kernels with high deoxynivalenol linked to late *Gibberella zeae* infection and marginal disease conditions in winter wheat. *Phytopathology*. 100. (s. 719-728).
- Covarelli, L., Beccari, G., Prodi, A., Generotti, S., Etruschi, F., Juan, C. and Mañes, J. (2015). *Fusarium* species, chemotype characterisation and trichothecene contamination of durum and soft wheat in an area of central Italy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 95(3). (s. 540-551).
- Culler, M. D., Miller-Gavin, J. E., Dill-Macky, R. (2007). Effect of extended irrigation and host resistance on deoxynivalenol accumulation in Fusarium-infected wheat. *Plant Dis*. 91. (s. 1464-1472).
- Da Rocha, M. E. B., Freire, F. D. C. O., Maia, F. E. F., Guedes, M. I. F. and Rondina, D. (2014). Mycotoxins and their effects on human and animal health. *Food Control*. 36(1). (s. 159-165).
- Dawidziuk, A., Koczyk, G., Popiel, D., Kaczmarek, J., and Buško, M. (2014). Molecular diagnostics on the toxigenic potential of *Fusarium* spp. plant pathogens. *Journal of applied microbiology*. 116(6). (s. 1607-1620).
- De Boevre, M., Diana Di Mavungu, J., Landschoot, S., Audenaert, K., Eeckhout, M., Maene, P., Haesaert, G., De Saeger, S. (2012). Natural occurrence of mycotoxins and their masked forms in food and feed products. *World Mycotoxin Journal*. 5: (s. 207-219).
- De Kuppler, A. M., Steiner, U., Sulyok, M., Krska, R. and Oerke, E. C. (2011). Genotyping and phenotyping of *Fusarium graminearum* isolates from Germany related to their mycotoxin biosynthesis. *International journal of food microbiology*. 151(1). (s. 78-86).
- Dellafiora, L., Galaverna, G. and Dall'Asta, C. (2017). In silico analysis sheds light on the structural basis underlying the ribotoxicity of trichothecenes-A tool for supporting the hazard identification process. *Toxicology letters*. 270. (s. 80-87).
- Demirci, E., Dane, E. (2003). Identification and pathogenicity of *Fusarium* spp. from stem bases of winter wheat in Erzurum, Turkey. *Phytoparasitica*. 31(2): (s. 170-173).

- Desjardins, A. E., Jarosz, A. M., Plattner, R. D., Alexander, N. J., Brown, D. W. and Jurgenson, J. E. (2004). Patterns of trichothecene production, genetic variability, and virulence to wheat of *Fusarium graminearum* from smallholder farms in Nepal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52(20). (s. 6341-6346).
- Desjardins, A. E. (2006). *Fusarium Mycotoxins: Chemistry, Genetics, and Biology*. APS. St Paul: MN.
- Detrixhe, P., Chandelier, A., Cavelier, M., Buffet, D. and Oger, R. (2003). Development of an agrometeorological model integrating leaf wetness duration estimation to assess the risk of head blight infection in wheat. *Aspects of Applied Biology*. 68. (s. 199-204).
- Dinolfo, M. I. and Stenglein, S. (2014). *Fusarium poae* and mycotoxins: potential risk for consumers. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. 49.
- D'Mello, J. P. F., Placinta, C. M., Macdonald, A. M. C. (1999). Fusarium mycotoxins: a review of global implications for animal health, welfare and productivity. *Animal Feed Science and Technology*. 80. (s. 183-205).
- Doohan, F., Parry, D. and Nicholson, P. (1999). Fusarium ear blight of wheat: the use of quantitative PCR and visual disease assessment in studies of disease control. *Plant pathology*. 48(2). (s. 209-217).
- EC (European Commission). (1999). Scientific committee on plants. Opinion on the relationship between the use of plant protection products on food plants and the occurrence of mycotoxins in foods. *SCP/RESI/063*. 30 November. Brussel.
- Edwards, S., Barrier-Guillot, B., Clasen, P. E., Hietaniemi, V. and Pettersson, H. (2009). Emerging issues of HT-2 and T-2 toxins in European cereal production. *World Mycotoxin Journal*. 2(2). (s. 173-179).
- Edwards, S. G., Imathiu, S. M., Ray, R. V., Back, M., Hare, M. C. (2012) Molecular studies to identify the *Fusarium* species responsible for HT-2 and T-2 mycotoxins in UK oats. *Int J Food Microbiology*. 156. (s. 168-175).
- Efsa. (2004). Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain on a request from the Commission related to zearalenone as undesirable substance in animal feed. Question No EFSA0-2003-037. *The EFSA Journal*. 89. (1-35).
- Eggert, K., Rawel, H. M. and Pawelzik, E. (2011). In vitro degradation of wheat gluten fractions by *Fusarium graminearum* proteases. *Eur Food Res Technol*. 233. (s. 697-705).
- Fang, H., Cong, L., Zhi, Y., Xu, H., Jia, X. and Peng, S. (2016). T-2 toxin inhibits murine ES cells cardiac differentiation and mitochondrial biogenesis by ROS and p-38 MAPK-mediated pathway. *Toxicology letters*. 258. (s. 259-266).
- Fraeyman, S., Croubels, S., Devreese, M. and Antonissen, G. (2017). Emerging Fusarium and Alternaria mycotoxins: Occurrence, toxicity and toxicokinetics. *Toxins*. 9(228). (s. 1-30).
- Gäumann, E., Jaag, O., and Braun, R. (1947). Antibiotika als pflanzliche Plasmagifte. *Experientia*. 3(2). (s. 70-71).
- Gautam, P., Dill-Macky, R. (2012). Free water can leach mycotoxins from Fusarium-infected wheat heads. *J. Phytopathology*. 60. (s. 484-490).
- Gale, L. R. (2003). "Population biology of *Fusarium* species causing head blight of grain crops. Fusarium Head Blight of Wheat and Barley". Leonard, K. J., Bushnell, W. R. (eds.). in: *American Phytopathological Society*. St. Paul. (s. 120-143).

- Gang, G., Miedaner, T., Schumacher, U., Schollenberger, M., Geiger, H. H. (1998). Deoxynivalenol and nivalenol production by *Fusarium culmorum* isolates differing in aggressiveness toward winter rye. *Phytopathology*. 88. (s. 879-884).
- Giancaspro, A., Giove, S. L., Zito, D., Blanco, A., Gadaleta, A. (2016). Mapping QTLs for *Fusarium* head blight resistance in an interspecific wheat population. *Front. Plant Science*. 7. 1381.
- Girgin, G., Başaran, N. and Şahin, G. (2001). Dünyada Ve Türkiye de İnsan Sağlığını Tehdit Eden Mikotoksinler. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*. 58(3), 97-118.
- Goswami, R. S. and Kistler, H. C. (2004). Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. *Molecular plant pathology*. 5(6). (s. 515-525).
- Gräfenhan, T., Patrick, S. K., Roscoe, M., Trelka, R., Gaba, D., Chan, J. M. and Tittlemier, S. A. (2013). *Fusarium* damage in cereal grains from Western Canada. 1. Phylogenetic analysis of moniliformin-producing *Fusarium* species and their natural occurrence in mycotoxin-contaminated wheat, oats, and rye. *Journal of agricultural and food chemistry*. 61(23). (s. 5425-5437).
- Guan, F., Li, S., Wang, Z. L., Yang, H., Xue, S., Wang, W. and Hughes, C. (2013). Histopathology of chondronecrosis development in knee articular cartilage in a rat model of Kashin–Beck disease using T-2 toxin and selenium deficiency conditions. *Rheumatology international*. 33(1). (s. 157-166).
- Hendrickse, R. G. (1997). Of sick turkeys, kwashiorkor, malaria, perinatal mortality, heroin addicts and food poisoning: research on the influence of aflatoxins on child health in the tropics. *Annals of Tropical Medicine & Parasitology*. 91(7). (s. 787-793).
- Hietaniemi, V., Rämö, S., Yli-Mattila, T., Jestoi, M., Peltonen, S., Kartio, M., Sieviläinen, E., Koivisto, T., Parikka, P. (2016) Updated survey of *Fusarium* species and toxins in Finnish cereal grains. *Food Addit Contam Part A* 33: (s. 831-848).
- Hjelkrem, A. G. R., Torp, T., Brodal, G., Aamot, H. U., Strand, E., Nordskog, B., Dill-Macky, R., Edwards, S. G., Hofgaard, I. S. (2016). DON content in oat grains in Norway related to weather conditions at different growth stages. *European Journal of Plant Pathology* 147. (s. 1-18).
- Hofgaard, I. S., Seehusen, T., Aamot, H. U., Riley, H., Razzaghian, J., Le, V. H. and Brodal, G. (2016). Inoculum potential of *Fusarium* spp. relates to tillage and straw management in Norwegian fields of spring oats. *Frontiers in Microbiology*. 7. 556.
- Hope, R. and Magan, N. (2003). Twodimensional environmental profiles of growth, deoxynivalenol and nivalenol production by *Fusarium culmorum* on a wheatbased substrate. *Letters in applied microbiology*. 37(1). (s. 70-74).
- Hsueh, C. C., Liu, Y., & Freund, M. S. (1999). Indirect electrochemical detection of type-B trichothecene mycotoxins. *Analytical chemistry*. 71(18). (s. 4075-4080).
- Imathiu, S. M., Ray, R. V., Back, M. I., Hare, M. C. and Edwards, S. G. (2013). A survey investigating the infection of *Fusarium langsethiae* and production of HT-2 and T-2 mycotoxins in UK oats fields. *Journal of Phytopathology*. 161. (s. 553-561).
- Imathiu, S. M., Edwards, S. G., Ray, R. V., Back, M. A. (2013) *Fusarium langsethiae*-a HT-2 and T-2 toxins producer that needs more attention. *Journal Phytopathology*. 161. (s. 1-10).
- Imathiu, S. M., Ray, R. V., Back, M., Hare, M. C. and Edwards, S. G. (2009). *Fusarium langsethiae* pathogenicity and aggressiveness towards oats and wheat in wounded and unwounded in vitro detached leaf assays. *European Journal of Plant Pathology*. 124(1). (s. 117-126).

- Infantino, A., Santori, A. and Shah, D. A. (2012). Community structure of the *Fusarium* complex on wheat seed in Italy. *European Journal of Plant Pathology*. 132(4). (s. 499-510).
- Ioos, R., Belhadj, A. and Menez, M. (2004). Occurrence and distribution of *Microdochium nivale* and *Fusarium* species isolated from barley, durum and soft wheat grains in France from 2000 to 2002. *Mycopathologia*. 158(3). (s. 351-362).
- Ioos, R., Belhadj, A., Menez, M., Faure, A. (2005) The effects of fungicides on *Fusarium* spp. and *Microdochium nivale* and their associated trichothecene mycotoxins in French naturally-infected cereal grains. *Crop Protection*. 24. (s. 894-902).
- Isebaert, S., De Saeger, S., Devreese, R., Verhoeven, R., Maene, P., Heremans, B. and Haesaert, G. (2009). Mycotoxin-producing *Fusarium* species occurring in winter wheat in Belgium (Flanders) during 2002–2005. *Journal of Phytopathology*. 157(2). (s. 108-116).
- Iwahashi, Y., Kitagawa, E. and Iwahashi, H. (2008). Analysis of mechanisms of T-2 toxin toxicity using yeast DNA microarrays. *International journal of molecular sciences*. 9(12). (s. 2585-2600).
- Iwase, C. H., Piacentini, K. C., Giomo, P. P., Čumová, M., Wawroszová, S., Běláková, S., and Rocha, L. O. (2020). *Fusarium sambucinum* tür kompleksinin karakterizasyonu ve Brezilya arpa örneklerinde çoklu mikotoksin tespiti. *Food Research International*. 136. 109336.
- Janssen, E. M., Liu, C., Van der Fels-Klerx, H. J. (2018). *Fusarium* infection and trichothecenes in barley and its comparison with wheat. *World Mycotoxin Journal* 11(1). (s. 33-46).
- Jones, R. K. (2000). Assessments of *Fusarium* head blight of wheat and barley in response to fungicide treatment. *Plant Disease*, 84(9), 1021-1030.
- Juan, C., Mañes, J., Raiola, A. and Ritieni, A. (2013). Evaluation of beauvericin and enniatins in Italian cereal products and multicereal food by liquid chromatography coupled to triple quadrupole mass spectrometry. *Food chemistry*. 140(4). (s. 755-762).
- Karlsson, I., Friberg, H., Kolseth, A. K., Steinberg, C. and Persson, P. (2017). Agricultural factors affecting *Fusarium* communities in wheat kernels. *International journal of food microbiology*. 252. (s. 53-60).
- Kazan, K., Gardiner, D. M. and Manners, J. M. (2012). On the trail of a cereal killer: recent advances in *Fusarium graminearum* pathogenomics and host resistance. *Molecular plant pathology*. 13(4). (s. 399-413).
- Kelly, A. C., Clear, R. M., O'Donnell, K., McCormick, S., Turkington, T. K., Tekauz, A., Gilbert, J., Kistler, H. C., Busman, M., Ward, T. J. (2015). Diversity of *Fusarium* head blight populations and trichothecene toxin types reveals regional differences in pathogen composition and temporal dynamics. *Fungal Genetic Biology*. 82. (s. 22-31).
- Khan, N., Maymon, M. and Hirsch, A. M. (2017). Combating *Fusarium* infection using *Bacillus*-based antimicrobials. *Microorganisms*. 5(4). 75.
- Kikot, G. E., Moschini, R., Consolo, V. F., Rojo, R., Salerno, G., Hours, R. A., ... & Alconada, T. M. (2011). Occurrence of different species of *Fusarium* from wheat in relation to disease levels predicted by a weather-based model in Argentina pampas region. *Mycopathologia*, 171(2). (s. 139-149).
- Kriss, A. B., Paul, P. A. and Madden, L. V. (2010). Relationship between yearly fluctuations in *Fusarium* head blight intensity and environmental variables: a window-pane analysis. *Phytopathology*. 100(8). (s. 784-797).

- Kochiieru, Y., Mankevičienė, A., Cesevičienė, J., Semaškienė, R., Dabkevičius, Z., & Janavičienė, S. (2020). The influence of harvesting time and meteorological conditions on the occurrence of *Fusarium* species and mycotoxin contamination of spring cereals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 100(7). (s. 2999-3006).
- Kokkonen, M., Ojala, L., Parikka, P. and Jestoi, M. (2010). Mycotoxin production of selected *Fusarium* species at different culture conditions. *International journal of food microbiology*. 143(1-2). (s. 17-25).
- Kotowicz, N. K., Frac, M., Lipiec, J. (2014) The importance of *Fusarium* fungi in wheat cultivation-pathogenicity and mycotoxins production: a review. *J Anim Plant Science*. 21: (s. 3326-3243).
- Kuca, K., Dohnal, V., Jezkova, A. and Jun, D. (2008). Metabolic pathways of T-2 toxin. *Current drug metabolism*. 9(1). (s. 77-82).
- Kuchynková, H. and Kalinová, J. P. (2021). Influence of variety and growing conditions on *Fusarium* occurrence, mycotoxicological quality, and yield parameters of hulled oats. *Cereal Research Communications*. (s. 1-9).
- Kussak, A., Andersson, B. and Andersson, K. (1995). Immunoaffinity column clean-up for the high-performance liquid chromatographic determination of aflatoxins B1, B2, G1, G2, M1 and Q1 in urine. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*. 672(2). (s. 253-259).
- Langevin, F., Eudes, F., Comeau, A. (2004). Effect of trichothecenes produced by *Fusarium graminearum* during *Fusarium* head blight development in six cereal species. *Eur. J. Plant Pathology*. 110. (s. 735-746).
- Langseth, W. and Rundberget, T. (1999). The occurrence of HT-2 toxin and other trichothecenes in Norwegian cereals. *Mycopathologia*. 147(3). (s. 157-165).
- Lindblad, M., Gidlund, A., Sulyok, M., Börjesson, T., Krska, R., Olsen, M. and Fredlund, E. (2013). Deoxynivalenol and other selected *Fusarium* toxins in Swedish wheat—Occurrence and correlation to specific *Fusarium* species. *International Journal of Food Microbiology*. 167(2). (s. 284-291).
- Llorens, A., Mateo, R., Hinojo, M. J., Valle-Algarra, F. M. and Jiménez, M. (2004). Influence of environmental factors on the biosynthesis of type B trichothecenes by isolates of *Fusarium* spp. from Spanish crops. *International journal of food microbiology*. 94(1). (s. 43-54).
- Luginbuhl, S. (2010). A class project for PP728 Soilborne Plant Pathogens. *Fusarium solani*. *North Carolina State University*. 3.
- Maiorano, A., Blandino, M., Reyneri, A., Vanara, F. (2008) Effects of maize residues on the *Fusarium* spp. infection and deoxynivalenol (DON) contamination of wheat grain. *Crop Protection*. 27: (s. 182-188).
- Mallebrera, B., Prosperini, A., Font, G. and Ruiz, M. J. (2018). In vitro mechanisms of beauvericin toxicity: A review. *Food and Chemical Toxicology*. 111. (s. 537-545).
- Manafí, M., Pirany, N., Ali, M. N., Hedayati, M., Khalaji, S. and Yari, M. (2015). Experimental pathology of T-2 toxicosis and mycoplasma infection on performance and hepatic functions of broiler chickens. *Poultry science*. 94(7). (s. 1483-1492).
- Mankevičienė, A., Jablonskytė-Raščė, D., Maikštėnienė, S. (2014). The occurrence of mycotoxins in spelt and common wheat grain and their products. *Food additives & contaminants. Part A*. 31: (s. 132-138).
- Mankevičienė, A., Semaškienė, R., Dabkevičius, Z., Kochiieru, Y., Janavičienė, S., Jonavičienė, A. (2019). Do black dots on wheat grains have an impact on deoxynivalenol accumulation? *Zemdirbyste-Agriculture* 106 (3): (s. 249-256).

- Marín, P., Moretti, A., Ritieni, A., Jurado, M., Vázquez, C. and González-Jaén, M. T. (2012). Phylogenetic analyses and toxigenic profiles of *Fusarium equiseti* and *Fusarium acuminatum* isolated from cereals from Southern Europe. *Food microbiology*. 31(2). (s. 229-237).
- Martínez, M., Arata, A. F., Lázaro, L., Stenglein, S. A. and Dinolfo, M. I. (2019). Effects of waterlogging stress on plant-pathogen interaction between *Fusarium poae* and wheat/barley. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 41.
- Martínez, M., Ramírez Albuquerque, L., Arata, A. F., Biganzoli, F., Fernández Pinto, V. and Stenglein, S. A. (2020). Effects of *Fusarium graminearum* and *Fusarium poae* on disease parameters, grain quality and mycotoxins contamination in bread wheat (Part I). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 100(2). (s. 863-873).
- Mateo, J. J., Mateo, R., Hinojo, M. J., Llorens, A., Jimenez, M. (2002). Liquid chromatographic determination of toxigenic secondary metabolites produced by *Fusarium* strains. *Journal of Chromatography A*. 955. (s. 245-256).
- McCormick, S. P., Kato, T., Maragos, C. M., Busman, M., Lattanzio, V. M., Galaverna, G. and Kurtzman, C. P. (2015). Anomerism of T-2 toxin-glucoside: Masked mycotoxin in cereal crops. *Journal of agricultural and food chemistry*. 63(2). (s. 731-738).
- McMullen, M., Jones, R. and Gallenberg, D. (1997). Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact. *Plant disease*. 81(12). (s. 1340-1348).
- Mesterházy, Á. (2003). "Breeding wheat for *Fusarium* head blight resistance in Europe. *Fusarium Head Blight of Wheat and Barley*". Leonard, K.J., Bushnell, W.R. (eds.). *American Phytopathological Society*: St. Paul: USA. (s. 211-240).
- Miller, J. D. (2008). Mycotoxins in small grains and maize: old problems, new challenges. *Food Additives and Contaminants*. 25(2). (s. 219-230).
- Mills, K., Salgado, J. D. and Paul, A. (2016). *Fusarium* head blight or head scab of wheat, barley and other small grain crops.
- Mosmann, T. (1983). Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assays. *Journal of immunological methods*. 65(1-2). (s. 55-63).
- Munkvold, G. P. (2017). "*Fusarium* species and their associated mycotoxins". A. Moretti and A. Susca (eds.). in: *Mycotoxigenic Fungi: Methods and Protocols*. (s. 51-106). New York: Human Press.
- Nagashima, H., Nakagawa, H. and Kushiro, M. (2009). The in vitro approach to the cytotoxicity of a trichothecene mycotoxin nivalenol. *Jpn Agr Res Q*. 43. (s. 7-11).
- Nathanail, A. V., Syvähuoko, J., Malachová, A., Jestoi, M., Varga, E., Michlmayr, H. and Peltonen, K. (2015). Simultaneous determination of major type A and B trichothecenes, zearalenone and certain modified metabolites in Finnish cereal grains with a novel liquid chromatography-tandem mass spectrometric method. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 407(16). (s. 4745-4755).
- Nazari, L., Manstretta, V. and Rossi, V. (2016). A non-linear model for temperature-dependent sporulation and T-2 and HT-2 production of *Fusarium langsethiae* and *Fusarium sporotrichioides*. *Fungal biology*. 120(4). (s. 562-571).
- Nazari, L., Patteri, E., Manstretta, V., Terzi, V., Morcia, C., Somma, S. and Rossi, V. (2018). Effect of temperature on growth, wheat head infection, and nivalenol production by *Fusarium poae*. *Food microbiology*. 76. (s. 83-90).
- Nielsen, G. C., Jensen, J. E., Spliid, N. H., Thomsen, I. K., Justesen, A. F., Collinge, D. B., Jørgensen, L. N. (2011). *Fusarium* head blight of cereals in Denmark: species complex and related mycotoxins. *Phytopathology*. 101. (s. 960-969).

- Nielsen, L. K., Cook, D. J., Edwards, S. G. and Ray, R. V. (2014). The prevalence and impact of *Fusarium* head blight pathogens and mycotoxins on malting barley quality in UK. *International Journal of Food Microbiology*. 179. (s. 38-49).
- Obanor, F., Erginbas-Orakci, G., Tunali, B., Nicol, J. M. and Chakraborty, S. (2010). *Fusarium culmorum* is a single phylogenetic species based on multilocus sequence analysis. *Fungal Biology*. 114(9). (s. 753-765).
- O'Donnell, K., Rooney, A. P., Proctor, R. H., Brown, D. W., McCormick, S. P., Ward, T. J. and Geiser, D. M. (2013). Phylogenetic analyses of RPB1 and RPB2 support a middle Cretaceous origin for a clade comprising all agriculturally and medically important fusaria. *Fungal Genetics and Biology*. 52. (s. 20-31).
- Orlando, B., Grignon, G., Vitry, C., Kashefifard, K. and Valade, R. (2019). *Fusarium* species and enniatin mycotoxins in wheat, durum wheat, triticale and barley harvested in France. *Mycotoxin research*. 35(4), 369-380.
- Osborne, L. E. and Stein, J. M. (2007). Epidemiology of *Fusarium* head blight on small-grain cereals. *International journal of food microbiology*. 119(1-2). (s. 103-108).
- Paul, P. A., Lipps, P. E. and Madden, L. V. (2005). Relationship between visual estimates of *Fusarium* head blight intensity and deoxynivalenol accumulation in harvested wheat grain: A meta-analysis. *Phytopathology*. 95(10). (s. 1225-1236).
- Paul, P. A., Lipps, P. E., Hershman, D. E., McMullen, M. P., Draper, M. A., Madden, L. V. (2008). Efficacy of triazole-based fungicides for *Fusarium* head blight and deoxynivalenol control in wheat: a multivariate meta-analysis. *Phytopathology*. 98. (s. 999-1011).
- Papadopoulou-Bouraoui, A., Vrabcheva, T., Valzacchi, S., Stroka, J. and Anklam, E. (2007). Screening survey of deoxynivalenol in beer from the European market by an enzyme-linked immunosorbent assay. *Food Addit Contam* 21: (s. 607-617).
- Parry, D. W., Jenkinson, P. and McLeod, L. (1995). *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals-a review. *Plant pathology*. 44(2). (s. 207-238).
- Parry DW and Nicholson P (1996) Development of a PCR assay to detect *Fusarium poae* in wheat. *Plant Pathology*. 45. (s. 383-391)
- Pasquali, M., Beyer, M., Logrieco, A., Audenaert, K., Balmas, V., Basler, R. and Vogelgsang, S. (2016). A European database of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* trichothecene genotypes. *Frontiers in microbiology*. 7. 406.
- Pereira, C. B., Ward, T. J., Del Ponte, E. M., Mara Moreira, G., Busman, M., McCormick, S. P. and Tessmann, D. J. (2021). Five-year survey uncovers extensive diversity and temporal fluctuations among *Fusarium* head blight pathogens of wheat and barley in Brazil. *Plant*.
- Pettersson, H. (1991). Nivalenol production by *Fusarium poae*. *Mycotoxin research*. 7(1). (s. 26-30).
- Piacentini, K. C., Savi, G. D., Pereira, M. E. and Scussel, V. M. (2015). Fungi and the natural occurrence of deoxynivalenol and fumonisins in malting barley (*Hordeum vulgare* L.). *Food Chemistry*. 187. (s. 204-209).
- Placinta, C. M., D'Mello, J. P. F. and MacDonald, A. M. C. (1999). A review of worldwide contamination of cereal grains and animal feed with *Fusarium* mycotoxins. *Anim Feed Sci Technol*. 78. (s. 21-37).
- Pleadin, J. (2015). Mycotoxins in grains and feed: Contamination and toxic effect in animals. *Biotechnology in Animal Husbandry*. 31(4). (s. 441-456).

- Ponts, N. (2015). Mycotoxins are a component of *Fusarium graminearum* stress-response system. *Frontiers in microbiology*. 6. 1234.
- Popovski, S. and Celar, F. A. (2013). The impact of environmental factors on the infection of cereals with *Fusarium* species and mycotoxin production-a review/Vpliv okoljskih dejavnikov na okuzbo zit z glivami *Fusarium* spp. in tvorbo mikotoksinov-pregledni clanek. *Acta Agriculturae Slovenica*. 101(1). 105.
- Puri, K. D., Zhong, S. (2010). The 3ADON population of *Fusarium graminearum* found in North Dakota is more aggressive and produces a higher level of DON than the prevalent 15ADON population in spring wheat. *Phytopathology*. 100.
- Razzazi-Fazeli, E., Böhm, J. and Luf, W. (1999). Determination of nivalenol and deoxynivalenol in wheat using liquid chromatography–mass spectrometry with negative ion atmospheric pressure chemical ionisation. *Journal of chromatography A*. 854(1-2).
- Richard, J. L. (2007). Some major mycotoxins and their mycotoxicoses—An overview. *International journal of food microbiology*. 119(1-2). (s. 3-10).
- Ryu, D., Hanna, M. A., Bullerman, L. B. (1999). Stability of zearalenone during extrusion of corn grits. *Journal of Food Protection*. 62. (1482-1484).
- Sashidhar, R. (1997). Determination of Aflatoxin B 1–DNA Adduct in Rat Liver by Enzyme Immunoassay. *Analyst*. 122(6). (s. 609-613).
- Scala, V., Aureli, G., Cesarano, G., Incerti, G., Fanelli, C., Scala, F., Reverberi, M., Bonanomi, G. (2016). Climate, soil management, and cultivar affect *Fusarium* head blight incidence and deoxynivalenol accumulation in durum wheat of Southern Italy. *Front. Microbiology*. 7. 1014.
- Schaarschmidt, S., Fauhl-Hassek, C. (2018). The fate of mycotoxins during the processing of wheat for human consumption. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 17. (s. 556-593).
- Schollenberger, M., Müller, H. M., Ruffle, M., Suchy, S., Planck, S., Drochner, W. (2004). Survey of *Fusarium* toxins in foodstuffs of plant origin marketed in Germany. *International Journal of Food Microbiology*. 97. (s. 317-326).
- Schöneberg, T., Jenny, E., Wettstein, F. E., Bucheli, T. D., Mascher, F., Bertossa, M., Vogelgsang, S. (2018). Occurrence of *Fusarium* species and mycotoxins in Swiss oats-Impact of cropping factors. *European Journal of Agronomy*. 92. (s. 123-132).
- Scudamore, K. A., Baillie, H., Patel, S., Edwards, S. G. (2007) Occurrence and fate of *Fusarium* mycotoxin during commercial processing of oat in the UK. *Food Addit Contam.* 24. (s. 1374-1385).
- Sezer, İ., Kurt, O. ve Köycü, C. (1997). “Samsun Koşullarında Buğday (*Triticum aestivum* L.) Çeşit ve Hatlarının Uyum Yetenekleri Üzerinde Bir Araştırma”. *Türkiye II. Tarla Bitkileri Kongresi Kitabı*. 22-25 Eylül. (s. 517). Samsun.
- Shi, W., Tan, Y., Wang, S., Gardiner, D. M., De Saeger, S., Liao, Y. and Wu, A. (2017). Mycotoxigenic potentials of *Fusarium* species in various culture matrices revealed by mycotoxin profiling. *Toxins*. 9(1). 6.
- Simas, M. M., Botura, M. B., Correa, B., Sabino, M., Mallmann, C. A., Bitencourt, T. C. and Batatinha, M. J. (2007). Determination of fungal microbiota and mycotoxins in brewers grain used in dairy cattle feeding in the State of Bahia, Brazil. *Food Control*. 18(5). (s. 404-408).
- Siou, D., Géglise, S., Laval, V., Repinçay, C., Canalès, R., Suffert, F. and Lannou, C. (2014). Effect of wheat spike infection timing on *Fusarium* head blight development and mycotoxin accumulation. *Plant pathology*. 63(2). (s. 390-399).

- Somma, S., Alvarez, C., Ricci, V., Ferracane, L., Ritieni, A., Logrieco, A. and Moretti, A. (2010). Trichothecene and beauvericin mycotoxin production and genetic variability in *Fusarium poae* isolated from wheat kernels from northern Italy. *Food Additives and Contaminants*. 27(5). (s. 729-737).
- Stępień, Ł. and Chełkowski, J. (2010). Fusarium head blight of wheat: pathogenic species and their mycotoxins. *World Mycotoxin Journal*. 3(2). (s. 107-119).
- Steyn, P. S., Stander, M. A. (1999). "Mycotoxins with Special Reference to the Carcinogenic Mycotoxins: Aflatoxins, Ochratoxins and Fumonisin". in: *General and Applied Toxicology. 2nd Edition*. Ballantyne, B., Marrs, T. C., Syversen, T. L. M. (eds.). United Kingdom: Macmillan Reference Ltd.
- Strange, R. N. and Smith, H. (1971). A fungal growth stimulant in anthers which predisposes wheat to attack by *Fusarium graminearum*. *Physiological Plant Pathology*. 1(2). (s. 141-150).
- Stenglein, S. A., Dinolfo, M. I., Barros, G., Bongiorno, F., Chulze, S. N. and Moreno, M. V. (2014). Fusarium poae pathogenicity and mycotoxin accumulation on selected wheat and barley genotypes at a single location in Argentina. *Plant Disease*. 98(12). (s. 1733-1738).
- Suproniene, S., Justesen, A. F., Nicolaisen, M., Mankeviciene, A., Dabkevicius, Z., Semaskiene, R., Leistrumaitė, A. (2010). Distribution of trichothecene and zearalenone producing *Fusarium* species in grain of different cereal species and cultivars grown under organic farming conditions in Lithuania. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. 17(1). (s. 79-86).
- Sy-Cordero, A. A., Pearce, C. J., Oberlies, N. H. (2012) Revisiting the enniatins: a review of their isolation, biosynthesis, structure determination and biological activities. *J Antibiot*. 65. (s. 541-549). doi: <https://doi.org/10.1038/ja.2012.71>.
- Tamburic-Ilincic, L., Schaafsma, A. W. (2009) Prevalence of *Fusarium* spp. colonizing seed corn stalks in southwestern Ontario, Canada. *Can J Plant Science*. 89. (s. 103-106).
- Tan, J., Ameye, M., Landschoot, S., De Zutter, N., De Saeger, S., De Boevre, M. et al. (2020). At the scene of the crime: new insights into the role of weakly pathogenic members of the Fusarium head blight disease complex. *Mol. Plant Pathology*. 21. (s. 1559-1572). doi: 10.1111/mpp.12996.
- Tekauz, A., McCallum, B., Ames, N., Fetch, J. M. (2004). Fusarium head blight of oat—current status in western Canada. *Can J Plant Pathology*. 26: (s. 473-479).
- Tian, Y., Tan, Y., Liu, N., Yan, Z., Liao, Y., Chen, J. and Wu, A. (2016). Detoxification of deoxynivalenol via glycosylation represents novel insights on antagonistic activities of *Trichoderma* when confronted with *Fusarium graminearum*. *Toxins*. 8(11). 335.
- Tiryaki, O., Seçer, E. and Temur, C. (2011). Yemlerde mikotoksin oluşumu, toksisiteleri ve mikotoksin kalıntı analizleri. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*. 21(1). (s. 44-58).
- Tittlemier, S. A., Roscoe, M., Trelka, R., Gaba, D., Chan, J. M., Patrick, S. K. and Gräfenhan, T. (2013). Fusarium damage in small cereal grains from Western Canada. 2. Occurrence of Fusarium toxins and their source organisms in durum wheat harvested in 2010. *Journal of agricultural and food chemistry*. 61(23). (s. 5438-5448).
- Tosun, O. (1980). Tarla Ziraatı, Ders Notu. *A.U Zir. Fak.* Teksir No: 44.
- Tseng, T. C. and Liu, C. Y. (1999). Natural occurrence of fumonisins B1 and B2 in domestic maize of Taiwan. *Journal of agricultural and food chemistry*. 47(11). (s. 4799-4801).
- Tunail, N. (2000). Funguslar ve mikotoksinler. *Gıda Mikrobiyolojisi ve Uygulamaları, Genişletilmiş*. 2. (s. 1-50).

- Tunali, B., Nicol, J. M., Uçkun, Z., Büyük, O., Erdurmuş, D., Hekimhan, H., Aktaş, H., Hodson, D., Akbudak, M. A. ve Bağcı S. A. (2008). Root and crown rot fungi associated with spring and winter wheat in Turkey. *Plant Disease*. 92. (s. 1299-1306).
- Tunali, B., Özseven, İ., Büyük, O., Erdurmuş, D. et al. (2012). Fusarium Head Blight and Deoxynivalenol Accumulation of Wheat in Marmara Region and Reactions of Wheat Cultivars and Lines to *F. graminearum* and *F. culmorum*. *Plant Pathology Journal*. vol: 2 (5). (s. 159-156).
- Tunali, B., Kansu, B. (2010). "Pathogenicity study on endophytic *Fusarium* spp. from cultivated wheat (*Triticum aestivum* L.) plants", 11th European Fusarium Seminar" Fusarium-Mycotoxins, Taxonomy and Host Resistance. 20-23 Sept. Radzikov, Poland. *Plant Breeding and Acclimatization Institute*. (s. 335).
- TZOB. (2019). *Türkiye Ziraat Odaları Birliği Zirai ve İktisadi Rapor 2015-2018*. Yayın No: 293, ISBN: 978- 975-8629- 83-1, 27. Genel Kurul 17-19 Mayıs 2019.
- Uçkun, Z., Yıldız, M. (2003). "Hububatta *Fusarium* spp .'nin neden olduğu sorunlar; buğdayda başak yanıklığı mısırdaki koçan çürüklüğü". Eltem, R., Aksoy, U., Meyvacı, K. B. (ed.). in: *Mikotoksinler Biyoteknolojisi; Sorunlar ve Çözümler Çalıştayı*. 17-20 Haziran. Bornova: İzmir.
- Uhlig, S., Jestoi, M. and Parikka, P. (2007). *Fusarium avenaceum*-the North European situation. *International journal of food microbiology*. 119(1-2). (s. 17-24).
- Wachowska, U., Kucharska, K., Jędryczka, M. and Łobik, N. (2013). Microorganisms as biological control agents against Fusarium pathogens in winter wheat. *Polish Journal of Environmental Studies*. 22(2).
- Wan, M. Y. L., Turner, P. C and El-nezami, H. (2013). Individual and combined cytotoxic effects of Fusarium toxins (deoxynivalenol, nivalenol, zearalenone and fumonisins B1) on swine jejunal epithelial cells. *Food Chem Toxicol*. 57. (s. 276-283).
- Wang, J., Wieser, H., Pawelzik, E., Weinert, J., Keutgen, A. J. and Wolf, G. A. (2005). Impact of the fungal protease produced by *Fusarium culmorum* on the protein quality and breadmaking properties of winter wheat. *European Food Research and Technology*. 220(5). (s. 552-559).
- Wegulo, S. N., Bockus, W. W., Hernandez Nopsa, J., De Wolf, E. D., Eskridge, K. M., Peiris, K. H. S., Dowell, F. E. (2011). Effects of integrating cultivar resistance and fungicide application on Fusarium head blight and deoxynivalenol in winter wheat. *Plant Dis*. 95. (s. 554-560).
- Wegulo, S. N. (2012). Factors influencing deoxynivalenol accumulation in small grain cereals. *Toxins*. 4(11). (s. 1157-1180).
- Wiese, M. V. (1987). Compendium of wheat diseases. *Publisher The American Phytopathological Societ*. St. Paul: MN.
- Willyerd, K. T., Li, C., Madden, L. V., Bradley, C. A., Bergstrom, G. C., Sweets, L. E., McMullen, M., Ransom, J. K. Grybauskas, A., Osborne, L., Wegulo, S. N. et al. (2012). Efficacy and stability of integrating fungicide and cultivar resistance to manage Fusarium head blight and deoxynivalenol in wheat. *Plant Dis*. 96. (s. 957-967).
- World Health Organization. (1990). Selected mycotoxins: Ochratoxins, trichothecenes, ergot. *Environmental health criteria 105*. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/39552/9241571055_eng.pdf?sequence

- Vanheule, A., De Boevre, M., Moretti, A., Scauflaire, J., Munaut, F., De Saeger, S. and Audenaert, K. (2017). Genetic divergence and chemotype diversity in the fusarium head blight pathogen *Fusarium poae*. *Toxins*. 9(9). 255.
- Visconti, A., Blais, L. A., ApSimon, J. W., Greenhalgh, R. and Miller, J. D. (1992). Production of enniatins by *Fusarium acuminatum* and *Fusarium compactum* in liquid culture: isolation and characterization of three new enniatins, B2, B3, and B4. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 40(6). (s. 1076-1082).
- Vogelsgang, S., Sulyok, M., Bänziger, I., Krska, R., Schuhmacher, R. and Forrer, H. R. (2008). Effect of fungal strain and cereal substrate on in vitro mycotoxin production by *Fusarium poae* and *Fusarium avenaceum*. *Food Additives and Contaminants*. 25(6). (s. 745-757).
- Vogelsgang, S., Hecker, A., Musa, T., Dorn, B., Forrer, H. R. (2011) On-farm experiments over 5 years in a grain maize/winter wheat rotation: effect of maize residue treatments on *Fusarium graminearum* infection and deoxynivalenol contamination in wheat. *Mycotoxin Res* 27: (s. 81-96).
- Xu, X. M., Parry, D. W., Nicholson, P., Thomsett, M. A., Simpson, D., Edwards, S. G. and Tatnell, J. (2005). Predominance and association of pathogenic fungi causing Fusarium ear blight in wheat in four European countries. *European Journal of Plant Pathology*. 112(2). (s. 143-154).
- Xu, X. M., Monger, W., Ritieni, A. and Nicholson, P. (2007). Effect of temperature and duration of wetness during initial infection periods on disease development, fungal biomass and mycotoxin concentrations on wheat inoculated with single, or combinations of, *Fusarium* species. *Plant Pathology*. 56(6). (s. 943-956).
- Xu, X. M., Nicholson, P., Thomsett, M. A., Simpson, D., Cooke, B. M., Doohan, F. M. & Edwards, S. G. (2008). Relationship between the fungal complex causing Fusarium head blight of wheat and environmental conditions. *Phytopathology*. 98(1). (s. 69-78).
- Xue, S., He, Z. F. and Li, H. J. (2013). Research advances in detection and removal of T-2 toxin in foods. *Food Science*. 34(15). (s. 349-354).
- Yli-Mattila, T., Ward, T. J., O'Donnell, K., Proctor, R. H., Burkin, A. A., Kononenko, G. P. and Gagkaeva, T. Y. (2011). *Fusarium sibiricum* sp. nov, a novel type A trichothecene-producing *Fusarium* from northern Asia closely related to *F. sporotrichioides* and *F. langsethiae*. *International journal of food microbiology*. 147(1). (s. 58-68).
- Yörük, E., Tunali, B., Kansu, B., Ölmez F., Uz, G., Zümrüt, I. M., Sarıkaya, A. and Meyva, G. (2016). Characterization of high-level deoxynivalenol producer *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* isolates caused head blight and crown rot diseases in Turkey. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 123. (s. 177-186).
- Zhang, J. B., Li, H. P., Dang, F. J., Qu, B., Xu, Y. B., Zhao, C. S. and Liao, Y. C. (2007). Determination of the trichothecene mycotoxin chemotypes and associated geographical distribution and phylogenetic species of the *Fusarium graminearum* clade from China. *Mycological research*. 111(8). (s. 967-975).
- Zhu, W., Liu, L., Dong, Y., Meng, G., Tang, L., Li, Y. and Wang, H. (2019). Identification and characterization of a T-2 toxin-producing *Fusarium poae* strain and the anti-tumor effect of the T-2 toxin on human hepatoma cell line SMMC-7721. *RSC advances*. 9(16). (s. 9281-9288).
- Zinedine, A., Fernández-Franzón, M., Mañes, J. And Manyes, L. (2017). Multi-mycotoxin contamination of couscous semolina commercialized in Morocco. *Food Chemistry*. 214. (s. 440-446).

ÖZ GEÇMİŞ

Abdullah Esat ALTINIŞIK, Samsun Mithat Paşa Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü'nden 2018 yılında mezun oldu. 2018 yılında OMÜ LEE Bitki Koruma Anabilim Dalında Tezli Yüksek Lisans programına girdi. Mezuniyetinden bu yana öğrenci olarak görev yapan Abdullah Esat ALTINIŞIK, orta derecede İngilizce bilmektedir. Temel ilgi alanları, bisiklet sürmek, ekstrem sporlar, kamp yapmak, yabancı otlar ve süs bitkileridir (24.06.2022).

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0002-1435-6142

Yayınlar:

1. Altınışik, A. E. ve Tunalı, B. (2022). Pathogenicity of *Fusarium poae* and *Fusarium equiseti* isolates isolated from wheat cultures in different agroecologies. IV. *International Conference Of Food, Agriculture, and Veterinarysciences*. 27-28 Mayıs 2022. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi. Türkiye.