

T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI



*Fusarium proliferatum* (Matsush.) Nirenberg ex Gerlach & Nirenberg ile  
İNDÜKLENMİŞ *Ephestia kuehniella* Zeller (LEPIDOPTERA:  
PYRALIDAE)' İN GELİŞİM BİYOLOJİSİNİN İNCELENMESİ VE  
HEMOLENFİN ANTİMİKROBİYAL AKTİVİTESİNİN  
DEĞERLENDİRİLMESİ

MUHAMMET DENİZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Tülin AŞKUN (Tez Danışmanı)  
Prof. Dr. Aylin ER (Eş Danışman)  
Prof. Dr. Hatice YILDIRIM  
Dr. Öğr. Üyesi Görkem Deniz SÖNMEZ

BALIKESİR, HAZİRAN -2025

## ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “*Fusarium proliferatum* (Matsush.) Nirenberg ex Gerlach & Nirenberg ile İndüklenmiş *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae)’ in Gelişim Biyolojisinin İncelenmesi ve Hemolenfin Antimikrobiale Aktivitesinin Değerlendirilmesi” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

**Muhammet DENİZ**

**TÜBİTAK'a katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Bu tez çalışması TÜBİTAK 122O398 nolu 1001 projesi ile desteklenmektedir.**

## ÖZET

***Fusarium proliferatum* (Matsush.) Nirenberg ex Gerlach & Nirenberg ile İNDÜKLENMİŞ *Ephestia kuehniella* Zeller (LEPIDOPTERA: PYRALIDAE)' İN GELİŞİM BİYOLOJİSİNİN İNCELENMESİ VE HEMOLENFİN ANTİMİKROBİAL AKTİVİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MUHAMMET DENİZ**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**  
**(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. TÜLİN AŞKUN)**  
**(EŞ DANIŞMAN: PROF. DR. AYLİN ER)**  
**BALIKESİR, HAZİRAN-2025**

Bu tezde, depo zararlısı un güvesi *Ephestia kuehniella*'nın (*Lepidoptera: Pyralidae*) gelişim biyolojisi ile hemolenfde ortaya çıkan antimikrobiyal yanıt, *Fusarium proliferatum* suşu enfeksiyonu altında incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı, biyolojik mücadelede kullanılacak mantarların konak üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve konakta tetiklenen fizyolojik yanıtları ortaya koymaktır. Öncelikle un güvesi kolonisi, kontrollü laboratuvar ortamında, besin içeriği standardize edilmiş yapay diyet kullanılarak çoğaltılmış; ardından 14 günlük mantar kültürlerinden elde edilen konidial süspansiyonlar larva evresine farklı dozlarda uygulanmıştır. Enfeksiyon öncesinde mantarın besiyeri, sıcaklık ve pH yönünden optimum kültür koşulları belirlenmiş, böylece konidyum canlılığı maksimize edilmiştir. Bulaşma sonrasında larvalardan ergine kadar koza örme süresi, puplaşma süresi, pupal periyot, ergin öncesi toplam gelişim süresi, ergin ömrü, ergin ağırlığı ve toplam yumurta verimi günlük gözlemlerle kaydedilmiş ve sağlıklı kontrol grubuyla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, enfeksiyonun tüm gelişim parametrelerinde istatistiksel olarak anlamlı gecikmelere ve ağırlık kayıplarına yol açtığını göstermiştir. Ayrıca dördüncü larva evresinde toplanan hemolenf numuneleri disk difüzyon testiyle değerlendirilmiş; *Staphylococcus aureus* ve *Klebsiella pneumoniae* üzerinde inhibisyon zonlarının genişlediği, dolayısıyla enfeksiyonun konak savunma sistemini uyararak hemolenfte antimikrobiyal aktiviteyi artırdığı belirlenmiştir. Elde edilen veriler, *F. proliferatum* enfeksiyonunun hem zararlının gelişimini yavaşlattığını hem de konakta antibakteriyel savunmayı güçlendirdiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, söz konusu mantar-böcek etkileşiminin entegre zararlı yönetiminde değerlendirilebilecek biyolojik bir seçenek olduğunu desteklemektedir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Antimikrobiyal aktivite, biyolojik mücadele, *Ephestia kuehniella*, entomopatojen fungus, *Fusarium proliferatum*, gelişim biyolojisi, hemolenf

## ABSTRACT

**INVESTIGATION OF THE DEVELOPMENTAL BIOLOGY OF *Fusarium proliferatum* (Matsush.) Nirenberg Ex Gerlach & Nirenberg INDUCED *Ephestia kuehniella* Zeller (LEPIDOPTERA: PYRALIDAE) AND EVALUATION OF THE ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF ITS HEMOLYMPH**

**MSC THESIS**

**MUHAMMET DENİZ**

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**BIOLOGY**

**(SUPERVISOR: PROF. DR. TÜLİN AŞKUN )**

**(CO-SUPERVISOR: PROF. DR. AYLİN ER )**

**BALIKESİR, JUNE - 2025**

In this thesis, the developmental biology of the storage pest, the Mediterranean flour moth *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae), and the antimicrobial response elicited in its hemolymph were examined under infection with a *Fusarium proliferatum* strain. The main objective was to assess how fungi that can be used in biological control affect the host and to elucidate the physiological responses triggered within the host organism. A flour-moth colony was first reared under controlled laboratory conditions on an artificial diet with standardized nutrient content; conidial suspensions prepared from 14-day-old fungal cultures were then applied to larvae at various doses. Before inoculation, optimal culture conditions for the fungus growth medium, temperature, and pH were established to maximize conidial viability. After infection, biological parameters—including cocoon-spinning time, pupation time, pupal period, total pre-adult development duration, adult longevity, adult weight, and total egg production were recorded daily from larvae to adults and compared with an uninfected control group. The infection caused statistically significant delays and weight losses across all developmental parameters. Hemolymph samples taken at the fourth larval instar were evaluated using disk-diffusion assays; enlarged inhibition zones against *Staphylococcus aureus* and *Klebsiella pneumoniae* indicated that infection stimulated the host's immune system, leading to increased antimicrobial activity in the hemolymph. Overall, the data show that *F. proliferatum* infection both slows the pest's development and enhances antibacterial defenses in the host, supporting the potential of this fungus–insect interaction as a viable component of integrated pest management strategies.

**KEYWORDS:** Antimicrobial activity, biological control, *Ephestia kuehniella*, entomopathogenic fungus, *Fusarium proliferatum*, developmental biology, hemolymph

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 <i>E. kuehniella</i> Zeller ( Un Güvesi, Değirmen Güvesi) .....	4
1.1.1 Sistematik yeri .....	4
1.1.2 Tanımı ve biyolojisi.....	4
1.1.3 Konukçuları ve yayılış gösterdiği alanlar .....	6
1.1.4 Zarar şekli .....	6
1.2 Depo Zararlıları ile Mücadele Yöntemleri .....	6
1.2.1 Depo zararlıları ile biyolojik mücadele .....	9
1.3 Biyolojik Mücadelede Entomopatojen Funguslar .....	11
1.4 Biyolojik Mücadelede <i>Fusarium</i> 'lar .....	17
1.4.1 <i>Fusarium</i> cinsi genel özellikleri .....	17
1.4.2 <i>Fusarium</i> sistematigi .....	20
1.4.3 Sistematik yeri .....	20
1.4.4 <i>Fusarium</i> üreme özellikleri .....	21
1.4.5 <i>Fusarium</i> cinsinin ekolojisi ve beslenme özellikleri .....	22
1.4.6 Biyolojik mücadelede kullanımları .....	22
1.5 Entomopatojen Fungusların Patojenik Özellikleri ve Konakçıya Enfekte Olma Mekanizmaları.....	24
1.6 Böceklerin Entomopatojen Fungus Enfeksiyonlarına Karşı Geliştirdiği Savunma Mekanizmaları.....	26
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>28</b>
2.1 Deneysel Ortamda Depo Zararlısı Böceklerin Üretilmesi.....	28
2.1.1 <i>E. kuehniella</i> (Lepidoptera: Pyralidae).....	28
2.2 Fungus Kültürünün Hazırlanması.....	29
2.3 <i>F. proliferatum</i> 'un Optimizasyonu.....	29
2.3.1 Fungus izolatu .....	29
2.3.2 Kültür ve ekim yöntemi.....	29
2.3.3 Besiyeri optimizasyonu .....	29
2.3.4 Sıcaklık optimizasyonu.....	30
2.3.5 pH optimizasyonu.....	30
2.4 Klasik Tür Tanımlama Süreci .....	30
2.4.1 Mikroskobik–makroskobik gözlemler.....	30
2.5 Konidial Süspansiyonların Hazırlanması .....	31
2.6 <i>F. proliferatum</i> Doz Düzeylerinin Tanımlanması ve Uygulama Süreci .....	31
2.6.1 Konidial süspansiyon doz düzeylerinin tanımlanması ve uygulanması .....	31
2.7 <i>F. proliferatum</i> 'un <i>E. kuehniella</i> 'nın Gelişim Biyolojisine Etkisi .....	32
2.7.1 Koza örme süresi .....	32

## İÇİNDEKİLER (devam)

2.7.2	Puplaşma süresi .....	32
2.7.3	Pupal periyot.....	33
2.7.4	Ergin öncesi gelişim süresi .....	33
2.7.5	Ergin hayat uzunluğu.....	33
2.7.6	Ağırlık.....	33
2.7.7	Üretilen yumurta miktarının tespiti .....	33
2.8	Hemolenfte Gözlenen Antibakteriyel Özelliklerin Değerlendirilmesi.....	33
2.8.1	Deneyde kullanılan bakteri suşları .....	33
2.8.2	Hemolenfin toplanması.....	34
2.8.3	Disk difüzyon testleri.....	34
<b>3.</b>	<b>BULGULAR .....</b>	<b>36</b>
3.1	<i>E. kuehniella</i> 'nın Gelişim Biyolojisi Çalışmaları.....	36
3.1.1	Koza örme süresi .....	36
3.1.2	Puplaşma süresi .....	36
3.1.3	Pupal periyot.....	37
3.1.4	Erginleşme süresi.....	38
3.1.5	Ergin yaşam süresi.....	39
3.1.6	Ergin ağırlığı.....	40
3.1.7	Üretilen yumurta miktarı .....	41
3.2	<i>F. proliferatum</i> 'un Kültürel Gelişim Koşullarının Belirlenmesi.....	42
3.2.1	Farklı besiyeri ve sıcaklık koşullarında koloni gelişimi.....	42
3.2.2	Farklı pH koşullarında koloni gelişimi .....	51
3.3	<i>F. proliferatum</i> 'un Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi .....	53
3.4	<i>F. proliferatum</i> 'un Mikroskopik Özellikleri .....	55
3.5	Hemolenfin Anti-Bakteriyel Aktivite Sonuçları.....	55
<b>4.</b>	<b>TARTIŞMA.....</b>	<b>59</b>
<b>5.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>61</b>
<b>6.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>64</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>87</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: <i>Ephestia kuehniella</i> 'nın kültür sürecine ait görseller a-b) İlk stok kültürleri ve ardışık (sükseşif) üretim aşamaları, c) Larva dönemi, d) Pupa safhası, e) Erişkin (ergin) birey evresi.....	28
Şekil 2.2: Konidi içerikli süspansiyonların elde edilmesi.....	31
Şekil 3.1: 25 °C sıcaklıkta farklı besiyeri ortamlarında geliştirilen <i>F. proliferatum</i> kolonilerinin yüzey morfolojisine üstten bakış. ....	43
Şekil 3.2: 25 °C sıcaklıkta farklı besiyeri ortamlarında geliştirilen <i>F. proliferatum</i> kolonilerinin yüzey morfolojisine alttan bakış.....	44
Şekil 3.3: 28 °C sıcaklıkta farklı besiyeri ortamlarında geliştirilen <i>F. proliferatum</i> kolonilerinin yüzey morfolojisine üstten bakış.. ....	45
Şekil 3.4: 28 °C sıcaklıkta farklı besiyeri ortamlarında geliştirilen <i>F. proliferatum</i> kolonilerinin yüzey morfolojisine alttan bakış.....	46
Şekil 3.5: 30 °C sıcaklıkta farklı besiyeri ortamlarında geliştirilen <i>F. proliferatum</i> kolonilerinin yüzey morfolojisine üstten bakış. ....	47
Şekil 3.6: 30 °C sıcaklıkta farklı besiyeri ortamlarında geliştirilen <i>F. proliferatum</i> kolonilerinin yüzey morfolojisine alttan bakış.....	48
Şekil 3.7: <i>F. proliferatum</i> 'un SDA besiyerinde, 28 °C'de farklı pH seviyelerinde gösterdiği koloni gelişimlerinin üstten görünümü (3., 5., 7., 10., 12. ve 14. günler).....	51
Şekil 3.8: <i>F. proliferatum</i> 'un SDA besiyerinde, 28 °C'de farklı pH seviyelerinde gösterdiği koloni gelişimlerinin alttan görünümü (3., 5., 7., 10., 12. ve 14. günler).....	52
Şekil 3.9: <i>F. proliferatum</i> 'un mikromorfolojik yapısı. ....	55
Şekil 3.10: Kontrol grubunda gözlenen antibakteriyel etki alanları. ....	57
Şekil 3.11: Deney gruplarının antibakteriyel etki alanları.. ....	58

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 1.1:</b> Depolanan ürünlere zarar veren bazı önemli zararlılar ve zarar verdikleri ürünler.....	3
<b>Tablo 3.1:</b> <i>F. proliferatum</i> 'un <i>E. kuehniella</i> 'nın koza örme süresine etkisi.....	36
<b>Tablo 3.2:</b> <i>F. proliferatum</i> 'un <i>E. kuehniella</i> 'nın puplaşma süresine etkisi.....	37
<b>Tablo 3.3:</b> <i>F. proliferatum</i> 'un <i>E. kuehniella</i> 'nın pupal periyot süresine etkisi.....	38
<b>Tablo 3.4:</b> <i>F. proliferatum</i> 'un <i>E. kuehniella</i> 'nın erginleşme süresine etkisi.....	39
<b>Tablo 3.5:</b> <i>F. proliferatum</i> 'un <i>E. kuehniella</i> 'nın ergin yaşam süresine etkisi.....	40
<b>Tablo 3.6:</b> <i>F. proliferatum</i> 'un <i>E. kuehniella</i> 'nın ergin ağırlığına etkisi.....	41
<b>Tablo 3.7:</b> <i>F. proliferatum</i> 'un <i>E. kuehniella</i> 'nın toplam yumurta sayısına etkisi.....	42
<b>Tablo 3.8:</b> <i>F. proliferatum</i> 'un farklı besiyerler kullanılarak 25 °C'de kolonilerin ölçüleri (mm).....	49
<b>Tablo 3.9:</b> <i>F. proliferatum</i> 'un farklı besiyerler kullanılarak 28 °C'de kolonilerin ölçüleri (mm).....	49
<b>Tablo 3.10:</b> <i>F. proliferatum</i> 'un farklı besiyerler kullanılarak 30 °C'de kolonilerin ölçüleri (mm).....	50
<b>Tablo 3.11:</b> <i>F. proliferatum</i> 'un 28 °C'de, SDA besiyerinde farklı pH seviyelerinde gösterdiği koloni çapları (mm). ....	52
<b>Tablo 3.12:</b> Larvalardan alınan hemolenf miktarları.....	56
<b>Tablo 3.13:</b> Kontrol grubuna ait antibakteriyel etkinliğin ölçümü.....	56
<b>Tablo 3.14:</b> Farklı hemolenf gruplarının <i>S. aureus</i> ve <i>K. pneumoniae</i> üzerindeki inhibisyon zon çapları (mm).....	57

## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>AMP</b>	: Antimikrobiyal Peptidler
<b>CAT</b>	: Katalaz
<b>CDA</b>	: Czapek-Dox-Agar
<b>CLA</b>	: Carnation Leaf Agar
<b>CYEA</b>	: Czapek Yeast Extract Agar
<b>DDT</b>	: Dichlorodiphenyltrichloroethane
<b>DON</b>	: Deoksinivalenol
<b>EDWIP</b>	: Ecological Database of the World's Insect Pathogens
<b>ELEM</b>	: Ekinöz Lokoensefalomalazi
<b>EPF</b>	: Entomopatojen Fungus
<b>FAO</b>	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
<b>GPx</b>	: Glutasyon peroksidaz
<b>GR</b>	: Glutasyon redüktaz
<b>GST</b>	: Glutasyon-S-Transferaz
<b>MEA</b>	: Malt Extract Agar
<b>MHA</b>	: Mueller Hinton Agar
<b>PBS</b>	: Fosfat Tamponlu Tuz Çözeltisi
<b>PDA</b>	: Potato Dextrose Agar
<b>PO</b>	: Profenoloksidaz
<b>PPO</b>	: Fenoloksidaza
<b>ROS</b>	: Reaktif Oksijen Türü
<b>SDA</b>	: Sabouraud Dextrose Agar
<b>SNA</b>	: Spezieller Nährstoffarmer Agar
<b>SOD</b>	: Süperoksit dismutaz
<b>VIDIL</b>	: Viral Diseases of Insect in the Literature Database
<b>YEA</b>	: Yeast Extract Agar
<b>ZEN</b>	: Zearalenon

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Bu tez çalışması, akademik hayatımın en zorlu fakat bir o kadar da öğretici dönemlerinden biri olmuştur. Bilimsel merakla çıktığım bu yolculukta zaman zaman yorulsam da, her adımda bana inanan ve destek olan insanlar sayesinde kararlılıkla ilerledim.

Çalışmam boyunca engin bilgi birikimi, sabrı ve yönlendirmeleriyle yolumu aydınlatan, her zaman destekleyici yaklaşımıyla yanımda olan değerli danışmanım Prof. Dr. Tülin AŞKUN'a en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Aynı şekilde, kıymetli katkıları ve yapıcı eleştirileriyle çalışmama önemli katkılar sağlayan değerli eş danışmanım Prof. Dr. Aylin ER'e şükranlarımı sunarım.

Bu sürecin her anında sadece bir akademisyen değil, aynı zamanda bir abla gibi yanımda duran, desteğiyle, anlayışıyla ve içtenliğiyle bana güç veren, hem hocalık hem de ablalık yapan Dr. Pınar GÜNER'e yürekten teşekkür ederim. Varlığınız benim için tarifsiz bir motivasyon kaynağı oldu.

Tüm hayatım boyunca her zaman yanımda olan, sevgileri ve destekleriyle beni ayakta tutan canım annem Seher DENİZ ve babam Süleyman DENİZ'e teşekkür ederim. Onların sabrı, inancı ve varlığı, bu süreci tamamlamamda en büyük dayanaklarımdan biri olmuştur.

Bu tez, sadece bilimsel bir çalışmanın değil, aynı zamanda inancın, sabrın ve emeğin bir sonucudur. Bu yolculukta yanımda olan herkese kalpten teşekkür ederim.

**Balıkesir, 2025**

**Muhammet Deniz**

# 1. GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusu ile temel gıda kaynaklarına olan ihtiyacın karşılanması ciddi bir problem haline gelmektedir (Küçüktopçu vd., 2023). 2050 yılına kadar dünya nüfusunun yaklaşık olarak 9 milyara ulaşması beklenmektedir (Godfray et al., 2010). Dünya nüfusunun ve refah düzeyinin yükselmesi, gıdaya olan talebin küresel çapta artmasına neden olmuştur. Orta vadede, bu talebin daha da yükseleceği öngörülmektedir (Bajzeli et al., 2014). Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'ne (FAO) göre, tarım arazileri ve meralar temel alınarak tonaj üzerinden ve ürün fiyatlarıyla ağırlıklandırılarak yapılan hesaplamalar, 2050 yılına kadar gıda üretiminde %60'lık bir artış olacağını işaret etmektedir (Alexandratos and Bruinsma, 2012). Bu büyüyen nüfus ile birlikte, gıda üretiminin artan talebi karşılayıp karşılamayacağı konusunda çeşitli endişeler ve tartışmalar bulunmaktadır (Godfray et al., 2010). Artan nüfus artışı aynı zamanda ekolojik dengenin bozulmasına, toprak, hava ve suyun kirlenmesine ve doğal kaynakların azalmasına da neden olmaktadır (Dağ ve Akbay, 2022).

Tahıllar, besin açısından zengin olmaları ve yetiştirilmelerinin görece kolay olması sebebiyle dünya genelinde en önemli gıda kaynaklarından biridir (Güner vd., 2023). Hem dünya genelinde hem de ülkemizde insan beslenmesinde tahıllar temel gıda kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir. Türkiye, ılıman iklim koşullarına sahip olması nedeniyle tarım üretimi açısından dünya ülkeri arasında ön sıralarda yer almaktadır. Türkiye, Avrupa'daki tarım alanlarının yaklaşık %20'sine sahip bir ülkedir ve tahıl için uygun arazilerinin yaklaşık %41'inde tahıl üretimi yapılmaktadır (Eraktan, 2001; TÜİK, 2017). Buğday ve mısır, tahıl grubu içerisinde en fazla üretilen bitkiler arasında yer almaktadır. 2022 yılında ülkemizde buğdaydan 19.8 milyon ton, mısırdan ise 8.5 milyon ton üretim gerçekleştirilmiştir (TÜİK, 2023). Yıllık olarak üretilen bu ürünlerin bir kısmı depolanarak farklı dönemlerde işlenmekte ve iç ile dış pazarlara sunulmaktadır (Akar, 2021).

Tahılların üretimden tüketiciye ulaşana kadar geçen süreçte, yetiştirme, hasat, depolama, işleme ve tüketim gibi farklı aşamalarda kayıplar oluşmaktadır. Bu kayıplar arasında özellikle depolama sırasında meydana gelenler öne çıkmaktadır (Kumar and Kalita, 2017; Yaman ve Şimşek, 2019). Tarım ürünleri hasat edildikten sonra depolama sürecinde mantar, akar, kemirgen ve böcek gibi zararlılar, ürünlerin hem kalitesinde hem de miktarında kayıplara neden olmaktadır (Akar, 2021). Depolanan ürünlere zarar veren zararlılar, çoğunlukla bu ürünlerin depolama alanlarına ya da işletmelere taşınmasıyla ortaya

çıkmaktadır. Ayrıca, önceki dönemlerden kalan zararlılar ya da dış ortamdan gelen bulaşmalar da zararlı nüfusunun artmasına yol açabilmektedir (Emekçi ve Ferizli, 2000). Depolama sırasında hayvansal kökenli organizmaların etkisiyle meydana gelen kayıpların, yıllık %10 seviyesinde gerçekleştiği belirlenmiştir (Ferizli ve Emekçi, 2013; Shah and Khan, 2014).

Depolanmış ürünlere zarar veren böcekler, beslenme ve barınma gereksinimlerini karşılamak için tahılları istila eder, bu durum da ürünlerin kalite ve miktar açısından kayıplara yol açar (Srivastava and Subramanian, 2016). Depolanan gıda ürünlerine böceklerin verdiği zarar, ılıman iklim bölgelerinde yaklaşık %5-10 civarındayken, tropikal bölgelerde bu oran %20-30'a kadar çıkmaktadır (Rajashekar et al., 2010; Manivannan, 2015; Güner, 2023). Depolama koşulları ve ürünün bulaşma seviyesi arttıkça, zarar oranı %40'a kadar yükselme eğilimindedir (Shaaya et al., 1997).

Türkiye'deki iklim ve depolama koşulları, genellikle böcek zararlılarının gelişimine uygun ortamlar sağlamaktadır ve depolanmış tahıllar bu zararlılardan sıkça etkilenmektedir. Bu zararlılar, beslenme yoluyla tahılların ağırlığını, besin içeriğini ve çimlenme yeteneğini olumsuz etkileyerek hem kalite hem de miktar kayıplarına yol açmaktadır. (Sewify et al., 2014; Korkmaz ve Er, 2022). Ülkemizdeki depolama koşullarının yeterli olmaması nedeniyle, bu kayıplar zaman zaman %100'e kadar ulaşabilmektedir (Yıldırım vd., 2001). Tahıl ve gıda ürünlerine zarar veren eklem bacaklılar, araknidler (Arachnid) ve böcekler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Zararlı böcekler arasında öne çıkan gruplar arasında, kın kanatlılar (Coleoptera) ile kelebek ve güve türlerini içeren Lepidoptera takımı yer almaktadır (Nikolaou et al., 2021; Güner, 2024). Ülkemizde depolanan ürünlerde ekonomik zarar oluşturan birçok zararlı tür bulunmaktadır (Tablo 1.1). Un güvesi [*Ephestia kuehniella* Z. (Lepidoptera: Pyralidae)], Kıрма biti [*Tribolium confusum* D. (Coleoptera: Tenebrionidae)], Un biti [*Tribolium castaneum* H. (Coleoptera: Tenebrionidae)] ve Un kurdu [*Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae)] ise zarar görmüş, kırık danelerde ya da işlenmiş depo ürünlerinde beslenirler (Ferizli ve Emekçi, 2013).

**Tablo 1.1:** Depolanan ürünlere zarar veren bazı önemli zararlılar ve zarar verdikleri ürünler

Zararlının Türkçe Adı	Latince Adı	Takımı (Order)	Zarar Verdiği Ürünler	Kaynak
Pirinç biti	<i>Sitophilus oryzae</i>	Coleoptera	Pirinç, buğday, mısır	Ferizli ve Emekçi (2013)
Buğday biti	<i>Sitophilus granarius</i>	Coleoptera	Buğday	Ferizli ve Emekçi (2013)
Arpa güvesi	<i>Sitotroga cerealella</i>	Lepidoptera	Arpa, buğday	Ferizli ve Emekçi (2013)
Khapra böceği	<i>Trogoderma granarium</i>	Coleoptera	Çeşitli tahıllar	Ferizli ve Emekçi (2013)
Ekin kambur biti	<i>Rhyzopertha dominica</i>	Coleoptera	Buğday, arpa, mısır	Ferizli ve Emekçi (2013)

Lepidoptera türü zararlıların etkisiyle tahıllarda hem nicel hem de nitel kayıplar meydana gelmektedir. Bu zararlılar, yağ asidi seviyesini artırarak tahılların tadında acılaşmaya neden olmakta ve dışkılarıyla birlikte ürik asit salarak tahıllarda kirliliğe yol açmaktadır (Chirault et al., 2015; Nikolaou et al., 2021; Güner, 2024). Bu zararlılar, ürün üzerinde beslenerek ağırlık kaybına yol açar, tohumların çimlenme özelliklerini zayıflatır ve kalite ile besin değerini olumsuz etkileyerek ekonomik kayıplara sebep olur (Boxall, 2001). Depolanmış ürünlerde zararlıların yoğun bir şekilde bulunması, küflenme, kokuşma ve kızılaşma gibi olumsuz değişimlerin hızla meydana gelmesine yol açmaktadır. Ayrıca, bu zararlılarla bulaşmış gıdaların tüketilmesi sağlık açısından çeşitli riskler taşıdığı belirlenmiştir (Ferizli ve Emekçi, 2013). Bu durum, solunum yolu alerjileri, astım, kaşıntı, iştahsızlık, gelişim geriliği gibi belirtilerin yanı sıra bakteriyel enfeksiyonların da görülmesine yol açabilmektedir (Akar, 2021).

*E. kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae), dünya çapında yaygın olarak bulunan ve depolanmış ürünlerde büyük zararlara yol açan bir türdür (Karayar, 2023). Değirmen güvesi, unlu mamuller dışında, pirinç, yulaf, darı, çavdar, karabuğday, buğday, mısır ve arpa gibi tahıllara da zarar veren, yaygın olarak karşılaşılan bir zararlıdır. Aynı zamanda, buğday irmiği ve buğday kepeği gibi yan ürünlere de ciddi zararlar vermektedir (Hagstrum et al., 2013). Değirmen güvesinin larvalarının ürettiği ağlar, beslenme yoluyla meydana gelen zarara ek olarak, fabrikalarda ürün işlenirken ciddi bir sorun yaratmaktadır (Jakop and Cox, 1977; Hansen and Jensen, 2002; Tarlack et al., 2015).

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki un fabrikalarında yapılan bir araştırmada, bu zararlının %48 oranında hasara yol açtığı ve kalite kaybına neden olduğu, ayrıca zararlı ile kontamine

olmuş örneklerin 6 aylık depolama süresince %1 oranında ağırlık kaybı yaşadığı belirtilmiştir (Yücel, 1988). Bursa ilindeki un fabrikaları ve değirmenlerde en yaygın zararlı türü olarak değirmen güvesi, önemli bir zarar kaynağı olarak belirlenmiştir (Coşkuncu, 2004).

## **1.1 *E. kuehniella* Zeller ( Un Güvesi, Değirmen Güvesi)**

### **1.1.1 Sistematik yeri**

Alem: Animalia

Alt Alem: Eumetazoa

Şube: Arthropoda

Alt Şube: Hexapoda

Sınıf: Insecta

Takım: Lepidoptera

Üst Familya: Pyraloidea

Familya: Pyralidae

Alt Familya: Phycitinae

Cins: *Ephestia*

Tür: *E. kuehniella* Zeller, 1879

1879 yılında Zeller tarafından tanımlanan *E. kuehniella*, bilimsel literatürde yerini almıştır. Türkiye'de "değirmen güvesi" olarak bilinen bu tür, *Ephestia* cinsinin en büyük boyutlu üyelerinden biri olarak öne çıkar (T.C. Tarım Orman ve Köy işleri Bakanlığı, 1990).

### **1.1.2 Tanımı ve biyolojisi**

Ergin bireylerin vücut rengi dumanlı gridir. Güvelerin boyu 7-12 mm arasında değişmekte olup, kanatlar tamamen açık olduğunda bu uzunluk 24 mm'ye kadar uzayabilir. Ön kanatlar açık gri tonlarında olup, üzerlerinde koyu renkli zikzak desenler yer alır. Arka kanatlar ise mat beyaz renktedir. Dinlenme sırasında, vücudun ön kısmı belirgin bir şekilde kemer biçiminde durur. Gelişim süreleri, sıcaklık ve beslenme koşullarına bağlı olarak yılda 2 ila 6 nesil oluşturabilir (Demirsoy, 2006).

Dişi böcek, un ya da gıda maddelerinin üzerine tek tek 100 ile 600 arasında yumurta bırakabilir. Yumurtalar, oval şekilli ve açık sarı renkte olup, 27°C sıcaklıkta 3 ila 5 gün içinde çatlar. Ortalama boyutları ise 0,57 x 0,30 mm olarak ölçülmüştür (Demirsoy, 2006).

Yumurtadan yeni çıkan larvaların boyu yaklaşık 1,5 mm'dir (Ersin, 1971). Larvaların baş kısmı koyu kahverengi olup, thorax ve abdomen bölgeleri sarımsı beyaz ya da pembemsi tonlarda renklidir. Vücutları ince kıllarla örtülüdür ve kıl köklerinde kahverengi pigment halkaları gözlemlenir. Olgunlaşmış larvaların boyları ise 10 ile 19 mm arasında değişkenlik gösterir (Yıldırım, 2012). Vücutta, baş ve thorax dahil olmak üzere toplamda 13 segment bulunur. Thorax segmentleri, abdomen segmentlerinden daha kısa olup, birinci thorax segmenti ile abdomenin son segmentinde kahverengi lekeler yer alır (Özgür, 1990). Vücudun yan yüzeylerinde ise belirgin şekilde siyah renkli stigma gözlemlenir (Erakay, 1974). Prothorax'tan başlayıp ilk 8 abdomen segmentine kadar toplamda 9 çift stigma mevcuttur (Esin, 1965).

Pupa, gelişimin başlangıcında sarı renkte olup zamanla koyulaşır. Ortalama 9 mm uzunluğa, 2,20 mm genişliğe sahip olan pupa, uzun ve çıkıntısız bir yapıdadır; dorsal yüzeyde orta çizgi ile ikiye ayrılmaktadır. Bu süreç boyunca beş larva evresi gözlemlenir. Olgunlaşan larva, beslenme alanını terk ederek depo duvarlarındaki çatlaklar ve girintiler gibi yerlerde kokon örür ve bu şekilde pupa evresine geçer. Kokon, son segmentindeki bir sıra çengelli kıl ile bağlanır (Esin, 1965; Erakay, 1974; Korku; 2019).

Ergin bireyler, çevresel faktörlere bağlı olarak, özellikle sıcaklık ve ışık yoğunluğundaki değişikliklere tepki olarak gece ya da akşam saatlerinde ortaya çıkar (Hagstrum et al., 2012). Dişi bireylerin, erkek bireylerinden önemli derecede daha erken ortaya çıkan protogynous bir tür olduğu belirtilmiştir (Xu et al., 2008).

Ergin dişi, çiftleşme sırasında ovipozitörünü 2-4 mm kadar dışarı çıkararak abdomen ucunu yukarı kaldırır (Esin, 1965). Çiftleşmenin hemen ardından ya da 1-2 saat sonra yumurta bırakma sürecine başlar. Yaklaşık bir iki hafta yaşam süresi olan dişiler, ortalama olarak 140 yumurta bırakır. Yumurta bırakımı, besin maddelerinin içine veya çuvallar, çatlaklar, yarıklar gibi çevredeki rastgele alanlara bırakılarak gerçekleştirilir (Ullyett, 1945; Esin, 1965; Hill, 2002). Yumurtalar 4 ila 16 gün arasında çatlar. Yumurtadan çıkan birinci dönem larvalar, kendilerini unla oluşturdukları bir kılıfın içine saklar. Larva dönemi 30 ile 113 gün arasında sürerken, genel gelişim süresi 6-8 hafta arasında değişir. (Özer, 1957; Esin, 1965; Özgür, 1990).

### 1.1.3 Konukçuları ve yayılış gösterdiği alanlar

Bu türün kökeni Hindistan'a dayanmaktadır. İlk defa Avrupa'da Amerikan buğdaylarında tespit edilmiştir. Subtropikal ve sıcak bölgelerin büyük bir kısmında yaygın olarak bulunur (Kaygan, 2018). Ülkemizde bu türün yayılış gösterdiği bölgeler arasında İstanbul, Bursa, İzmir, Erzincan, Aydın, Antalya, Diyarbakır, Şanlıurfa, Mardin, Elazığ, Erzurum, Ağrı, Sivas, Ankara, Tokat, Amasya, Ordu, Giresun, Samsun, Sinop, Zonguldak, Kahramanmaraş ve Rize yer almaktadır (Dabbağoğlu, 2004). Bu türün konukçuları arasında buğday, un, mısır, irmik, pirinç, makarna, yulaf, şehriye, bisküvi, kepek, kuru meyveler, kuru üzüm, incir, ayçiçeği, ceviz içi, badem içi ve fındık yer almaktadır (Aktaş, 2016).

### 1.1.4 Zarar şekli

*E. kuehniella* Z. (Lepidoptera: Pyralidae) larvaları önce un ve unlu mamullerde, ardından tahıl ürünlerinde zarar oluşturmaktadır. Un güvesinin ana yaşam alanları arasında değirmenler, un fabrikaları, un depoları, buğday işleme yerleri ve fırınlar bulunmaktadır. Un güvesinin yaşam süresi ve üreme kapasitesi, çeşitli çevresel ve biyolojik faktörlerden etkilenebilmektedir (Polat, 2008). Larvalar, bulaştıkları gıda maddesini yoğun şekilde tüketir ve bu süreçte ürün üzerinde kirlilik, ısınma, bozulma ve kötü koku gibi sorunlara neden olur. Ayrıca, larvaların oluşturduğu ağlar unun topaklanmasına yol açarak ürünün kalitesini ciddi şekilde düşürür (Kiliçoğlu, 2012).

### 1.2 Depo Zararlıları ile Mücadele Yöntemleri

Geçmişten günümüze, tarım ürünleri belli dönemlerde hasat edildikten sonra kurutulularak saklanmaktadır. Kurutma işlemiyle ürünün içindeki su belirli ölçüde uzaklaştırılır, böylece bozulması engellenir. Ayrıca, sudan arındırılan ürünlerin tadı daha yoğun hale gelir ve daha fazla tercih edilir. Ancak, üretimden tüketim aşamasına kadar geçen süreçte, özellikle depolama sırasında zararlı böceklerin neden olduğu ürün ve kalite kayıplarının en aza indirilmesi büyük önem taşımaktadır. Ülkemiz, özellikle tahıllar ve kurutulmuş meyveler başta olmak üzere pek çok ürünün üretimi ve ihracatında dünya genelinde önemli bir konuma sahiptir. Ancak, hasat öncesi ve sonrası ortaya çıkan depo zararlılarının neden olduğu niceliksel ve niteliksel kayıplar, artan tüketici farkındalığı ile birlikte kabul edilemez bir durum haline gelmiştir (Boxall, 2001; Yıldız, 2013; Turmuş ve Güneş, 2020). Depolarda oluşan kayıpları en aza indirmek amacıyla kültürel, fiziko-mekanik, kimyasal ve entegre mücadele yöntemlerinden yararlanılmaktadır.

Depolanabilir tarım ürünlerine zarar veren böcekler, etkilerini öncelikle bahçede göstermeye başlar ve bu zararlar kurutma ile depo süreçlerinde devam eder. Bu nedenle, tarım ürünleriyle mücadeleye bahçede başlanması büyük önem taşır. Bahçe temizliği, kuru dalların budanması, hasat zamanının doğru şekilde planlanması gibi toprakla ilgili önlemler bu kapsamda uygulanır. Ayrıca, ürünlerin saklanacağı depoların temiz tutulması ve zararlıların giriş çıkışını engelleyecek şekilde düzenlenmesi gibi önlemlerle bulaşma riski azaltılarak kültürel mücadele yöntemleri devreye sokulmaktadır (Yıldız, 2013).

Depolanabilir ürünlerde zararlılarla mücadelede, maliyetsiz ve pratik yöntemlerin başında tuzak kullanımı gelmektedir. Işık, yem, yapışkan ve feromon gibi tuzaklar, bu yöntemin en yaygın tercih edilen türleri arasında yer almaktadır. Depolanmış ürünlerle mücadelede, hem ülke içinde hem de uluslararası ürün transferi sırasında kontrol işlemleri gerçekleştirilerek iç ve dış karantina, muayene, ambargo ve sertifika uygulamaları gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Depolanmış organik ürünlere yönelik mücadelede, zaman zaman düşük sıcaklık uygulamaları tercih edilmektedir. Zararlılar,  $-10^{\circ}\text{C}$  ile  $-18^{\circ}\text{C}$  arasında kısa sürede donarak etkisiz hale getirilebilmektedir. Bu nedenle, ürünlerin belirli bir süre bu sıcaklıklarda tutulması, zararlıların yok edilmesini sağlar. Bunun yanı sıra, yüksek sıcaklık kullanımı da alternatif bir yöntemdir. Ancak bu yöntemde sıcaklık düzeyi, zararlıları etkisiz hale getirirken ürünlere zarar vermeyecek şekilde dikkatlice ayarlanmalıdır (Sarıyörük ve Köseoğlu, 1987; Bülbül, 1993; Ferizli vd., 2004).

Organik ürünlerde zararlılarla mücadelede,  $\text{CO}_2$  ve  $\text{N}_2$  gazlarının kullanıldığı değiştirilmiş atmosfer yöntemi öne çıkmaktadır. Bu teknik, hem ekonomik oluşuyla hem de kalıntı bırakmamasıyla dikkat çekmektedir (Ferizli ve Emekçi, 2000; Ferizli vd., 2004). Bu yöntemin uygulamasında en çok karşılaşılan sorunlardan biri, işlemin görece uzun sürmesidir. Bu durumu aşmak için, özellikle düşük nem oranına sahip ürünlerde  $\text{CO}_2$  gazı ve yüksek basınç kullanılarak daha kısa sürede etkili mücadele sağlanmaktadır (Yıldız, 2013).

$\text{CO}_2$  gazı ile yüksek basınç kullanımı, ülkemizde sınırlı sayıda organik işletme tarafından tercih edilmeye başlanmıştır. Bu yöntemin en belirgin avantajı, kısa sürede etkili sonuçlar elde edilmesini sağlamasıdır. Ancak, oldukça yüksek yatırım ve işletme maliyetleri

nedeniyle, standart atmosfer basıncında uygulanan değiştirilmiş atmosfer yöntemine göre yaklaşık 10 kat daha pahalıdır. Bu durum, yöntemin yalnızca değerli ürünlerde uygulanabilir olmasını sınırlandırmaktadır (Ferizli ve Emekçi, 2000).

Depolanabilir ürünlerle zararlılara karşı çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan biri, düşük orantılı nemin etkisinden yararlanmaktır. Zararlılar, %50'nin altındaki orantılı nem seviyelerinde hayatta kalamaz ve üreyemez. Bir diğer yöntem ise mineral tuzlar veya küllerin kullanılmasıdır; bu maddeler, akarlar ve yumuşak vücutlu böceklerin derisinde çizikler oluşturarak vücut sıvılarının kaybına ve sonunda ölümlerine yol açar. Ayrıca, manyetik alan teknolojisi de mücadelede etkili bir yöntemdir. Yüksek gerilimli bir elektrik alanı oluşturularak, zararlıların bulunduğu ürün bu alanın içinden geçirilir ve böylece ürün içindeki zararlılar etkisiz hale getirilir (Yıldız, 2013).

Üreticiler bu tür yöntemlerle depo zararlarının neden olduğu ürün ve kalite kayıplarını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Bu mücadele yöntemleri arasında, üreticilerin en fazla tercih ettiği kimyasal mücadele yöntemidir. Hem uygulama kolaylığı hem de hızlı sonuç vermesi, bu yöntemi öne çıkarmıştır.

1940'larda sentetik pestisitlerin keşfiyle birlikte, kimyasal mücadele yöntemleri 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren zararlılarla mücadelede en yaygın tercih edilen yöntem olmuştur. Bu durumun başlıca nedenleri, pestisitlerin kolay uygulanabilir olması ve kısa sürede etkili sonuçlar vermesidir. Ancak zamanla, bu maddelerin çevreye ve insan sağlığına olumsuz etkileri artan bir endişe kaynağı haline gelmiştir. 1940'ların başlarında, dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) keşfinden önce, zararlılar nedeniyle ürünlerde yaşanan kayıpların dünya genelindeki ortalaması %7 civarındaydı. Ancak 1980'lerin sonlarına gelindiğinde, bu oran %13'e kadar yükselmiştir. Bu kayıp artışı, zararlılara karşı geliştirilen direnç nedeniyle ilaçların etkisinin azalması, zararlı türlerinin ekonomik zarar seviyesine ulaşması ve doğal düşmanların yok edilmesi gibi bir dizi faktörün sonucudur (Uygun, 2002; Canpolat, 2011).

Pestisitlerin aşırı ve yanlış kullanımı, gıda, toprak, su ve hava gibi çevresel unsurlarda bu maddelerin ya da dönüşüm ürünlerinin birikmesine sebep olabilir. Toprak ve bitkilere uygulanan pestisitler, toprak yüzeyinde kalabilir ve yağmur suları ile yüzeye yayılabilir veya

yer altına sızarak yeraltı suyu ve diğer su kaynaklarına karışabilir. Bu süreç, hedef dışı organizmalar ve insanlar için zararlı etkiler oluşturabilir (Bayram, 1999).

Tarımsal ürünlerdeki zararlılarda gelişen farklı dayanıklılık türleri, pestisitlerin etkinliğinde azalma yaratmakta ve bu durumu aşmak için daha yüksek dozlarda uygulama yapılması gerekmektedir. Bu durum, hem maliyetin yükselmesine ve ürün verimliliğinin düşmesine yol açmakta, hem de ürünlerde ve çevrede kalan pestisit kalıntılarını artırarak kirliliğin çoğalmasına sebep olmaktadır. Pestisitlerin kullanımı, yalnızca hedef zararlıları etkilemekle kalmaz, aynı zamanda agroekosistemdeki diğer organizmalar üzerinde de olumsuz etkiler yaratabilir. Bu, özellikle zararlılarla mücadele eden doğal düşmanları zarar vererek, onların popülasyonlarını tehdit edebilir (Yıldırım vd., 2001).

Depolanmış ürünlerdeki zararlılarla etkili bir şekilde mücadele edebilmek için kültürel ve mekanik yöntemlerin yeterli olmadığı görülmüştür. Kimyasal mücadelenin de insan ve hayvan sağlığına yönelik riskleri, gıda ürünlerinde ilaç kalıntıları bırakması, çevre kirliliğini arttırmasına yol açması gibi nedenler, çevre dostu ve daha ekonomik mücadele yöntemlerinin geliştirilmesini kaçınılmaz hale getirmiştir (Uygun vd., 2016). Bu yöntemler arasında en umut vaat eden, çevre dostu, ekonomik ve sürdürülebilir olanı “Biyolojik Mücadele” olarak öne çıkmaktadır.

### **1.2.1 Depo zararlıları ile biyolojik mücadele**

Farklı taksonomik gruplara ait çok sayıda zararlı tür, depolanmış ürünlere kolayca istila edebilir ve bu türler genellikle bir arada bulunur. Bu ciddi sorun, tarım endüstrisi tarafından ağırlıklı olarak pestisitler ve fumigantlar kullanılarak çözülmeye çalışılmaktadır. Bununla birlikte, pek çok yaygın zararlının pestisitlere karşı geliştirdiği direnç, tüketicilerin sağlıklı ürünlere yönelik artan talepleri ve kimyasal kalıntıların çevre üzerindeki olumsuz etkileri, farklı bir yaklaşımın gerekliliğini ortaya koymaktadır (Feroz et al., 2020; Hamel et al., 2020; del Arco et al., 2024). Biyolojik mücadele, doğal düşmanların kullanımıyla böcek popülasyonlarının zararlı seviyelere ulaşmasını engelleyen, hem sürdürülebilir hem de ekonomik bir yöntem olarak kendini kanıtlamıştır (Hervet and Morrison, 2021). Bu nedenle biyolojik mücadele çalışmaları ön plana çıkmaktadır.

"Biyolojik mücadele" terimi, bilimsel literatürde ilk kez 1919 yılında Smith tarafından kullanılmıştır. Bu kavram, birçok bilim insanı tarafından farklı şekillerde tanımlanmış olsa da, Smith biyolojik mücadeleyi basitçe "zararlı popülasyonlarının doğal düşmanlar tarafından kontrol altına alınması ve düzenlenmesi" şeklinde açıklamıştır (Uygun vd., 2016). Daha geniş anlamda zararlıların popülasyonlarını ekonomik zarar sınırının altında tutmak için, doğal düşmanları olan parazitoit, predatör, parazit veya patojenlerin kullanıldığı yöntemlere biyolojik mücadele denilmektedir (Canpolat 2011).

Zararlıların biyolojik mücadele etmenlerine karşı direnç geliştirmesinin karmaşık yapıları nedeniyle daha zor olması, kalıntı probleminin bulunmaması, yalnızca hedef zararlıları etkilemesiyle insanlara ve diğer organizmalara daha güvenli bir seçenek sunması ve kendi döngüsünü sürdürebilme yeteneği gibi birçok avantajı, bu yöntemi en etkili mücadele araçlarından biri haline getirmektedir (Dutta, 2015; Korkmaz, 2017).

Bu avantajlarının yanında, bu yöntem zaman alıcıdır. Zararlılar üzerinde doğal düşman popülasyonunun baskı kurabilmesi ve denge durumunun oluşabilmesi için belirli bir zaman dilimi gereklidir. Bu süre zarfında bir miktar zararın tolere edilmesi kaçınılmazdır. Zararlı popülasyonu ile doğal düşmanları arasında denge durumunun sağlanması için gereken süre, çevresel koşullara, yetiştirilen bitkinin türü ve çeşidine, uygulanan tarımsal yöntemlere, kullanılan diğer mücadele yöntemlerine, zararlı türüne, zararlının popülasyon yoğunluğuna, doğal düşman türüne ve bu türün popülasyon yoğunluğuna bağlı olarak farklılık göstermektedir (Yıldırım vd., 2001).

Biyolojik mücadeleye dair yazılı kaynakların ilk örnekleri, Aristo ve Pliny'in eserlerinde böcek patolojisi kavramlarıyla birlikte karşımıza çıkmaktadır. Canlıların zararlılarla mücadelede kullanılmasıyla ilgili en eski bilgilere ise Çin'de rastlanmıştır. M.S. 900 yılında yayımlanan bir Çin kitabında, turunçgil yetiştiricilerinin bahçelerinde avcı karıncaları kullandığı ve bu karıncaların pazarlarda satışa sunulduğu ifade edilmektedir (Acar, 2014). Ülkemizde biyolojik mücadele çalışmaları, 1910 yılında Sakız Adası'ndan *Rodalia cardinalis* Mulsant'ın torbalı koşnile karşı getirilmesiyle başlamıştır. Ardından, 1912 yılında elma pamuklu bitine karşı Fransa'dan *Aphelinus mali* Haldemann, 1913'te Bursa'da dut koşniline karşı İtalya'dan *Encarsia berlesei* Howard, 1934'te ise İzmir'de incir kurdu *Ephestia cautella* Walker'a karşı Almanya'dan *Bracon hebetor* Say ülkemize getirilmiştir (Uygun ve Şekeroğlu, 1987).

Biyolojik mücadele kapsamında kullanılan organizmalar arasında kuşlar, memeliler, virüsler, nematodlar, akarlar, mantarlar, böcekler, bakteriler, çeşitli balık türleri, kara yumuşakçaları ve tek hücreli organizmalar gibi birçok farklı canlı grubu yer almaktadır. Bu canlı etmenler, görevlerine göre parazitoitler, parazitler, yırtıcılar, entomopatojenler ve antagonist organizmalar şeklinde sınıflandırılabilir. (Uygun vd., 2016; Güner, 2024). EDWIP (The Ecological Database of the World's Insect Pathogens) ve VIDIL (Viral Diseases of Insect in the Literature Database) veri tabanlarında yapılan araştırmalar, 9.407 zararlı türün kontrolünde etkili olduğu belirlenen 2.285 farklı mikroorganizma türü bulunduğunu göstermektedir. Bu mikroorganizmalar arasında, funguslar en yoğun şekilde incelenen mikrobiyal etmenler arasında yer almaktadır (Braxton et al., 2003).

### **1.3 Biyolojik Mücadelede Entomopatojen Funguslar**

Zararlıların sayısını ekonomik zarar seviyesinin altında tutmak için farklı organizmalardan faydalanılan biyolojik mücadele, son yıllarda giderek daha fazla ilgi görmektedir. Bu yöntemin bir dalı olan mikrobiyal mücadelede ise böceklerde hastalık oluşturan bakteri, fungus, virüs, protozoa ve nematod gibi mikroorganizmalar etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Lacey and Goettel, 1995; Eilenberg et al., 2001; Demirbağ vd., 2008).

Bu ajanlar içinde, belirli türler üzerinde etkili olması ve hedef dışındaki canlılara zarar vermemesi nedeniyle en büyük avantaja sahip grup entomopatojen funguslardır (Sharma et al., 2023). Zararlı böceklerin kontrol altına alınmasında entomopatojen funguslar (EPF) uzun süredir kullanılmakta ve pek çok EPF türü ticari olarak üretilip başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Bu funguslar, böceğin dış iskeletine yapışarak enfeksiyon sürecini başlatır (Karabörklü vd., 2018, 2019; Keskin vd., 2019). Bu mekanizma, EPF'lerin zararlılarla mücadelede önemli bir biyolojik ajan olarak öne çıkmasını sağlamaktadır (Goettel et al., 2005; Sevim, 2015).

"Entomojen" terimi, Yunanca kökenli "entomon" (böcek) ve "genes" (oluşan) kelimelerinden türetilmiştir. Bu bağlamda, entomojen mikroorganizmalar ifadesi etimolojik olarak "böceklerin içinde gelişen mikroorganizmalar" anlamına gelmektedir (Sandhu et al., 2012). Böcekler ve diğer eklembacaklılarla çeşitli etkileşimler (parazitlik, kommensalizm, patojenlik ve saprofitlik) kurabilen EPF'ler, bu özellikleriyle önemli bir mantar grubunu oluşturmaktadır (Demirbağ vd., 2008). Mantar âleminde, 100'den fazla cinse ait 1000'i aşkın EPF türü tespit edilmiştir (Chen et al., 2021). Bu türlerin çoğu Ascomycota ve Zygomycota

şubelerinde sınıflandırılır. Ascomycota içinde Hypocreales, Zygomycota ve Entomophthoralean takımları bu gruba dâhil edilir (Roy et al., 2006). EPF'lerin sistematik sınıflandırması incelendiğinde, entomopatojen veya entomoparazitik mantarların çeşitli gruplara ayrıldığı görülmektedir. Biyolojik mücadele amacıyla araştırılan mantar grupları arasında; Blastocladiomycota üyelerinden Coelomomyces türleri ve *Coelomyces simulii*, Entomophthoromycotina, Kickxellomycotina alt bölümüne ait Harpellales ve Asellariales, Eurotiomycetes sınıfından Ascosphaera gibi cinsler, Laboulbeniomycetes sınıfındaki ektoparazitik Ascomyceteler, Dothideomycetes'e ait Myriangium, Sordariomycetes (özellikle Hypocreales takımı içinde yer alanlar) ve Pucciniomycetes gibi birçok farklı takson öne çıkmaktadır (Humber, 2008; Güner vd., 2023). EPF, patates dekstroz agar (PDA) ve malt ekstrakt agar (MEA) gibi yaygın kullanılan besiyerlerinde gelişim gösterebilir ve ilave besin maddelerine ihtiyaç duymaz. Optimum büyüme sıcaklığı 20-35°C aralığında olmakla birlikte, *Beauveria bassiana* 8 ile 35°C arasında geniş bir sıcaklık toleransına sahiptir ve maksimum sıcaklık sınırı 37°C olarak belirlenmiştir (Fernandes et al., 2008). Mantarlar, nemli ortamlarda kültürde veya konakçı üzerinde kolaylıkla enfeksiyona yol açabilen aseksüel sporlar üretirler (Demirbağ vd., 2008; Güner vd., 2023).

EPF'nin doğal ortamda en sık rastlandığı yerlerden biri topraktır ve biyolojik mücadelede önemli bir işlevi vardır (Jackson and Saville, 2000). Ancak, toprak içinde bu fungusların aşırı derecede çoğalması ve yayılması genellikle sınırlıdır. EPF'nin yayılımı, organik madde açısından zengin ve killi topraklarda daha fazla olurken, kumlu ve alkali topraklarda daha düşük seviyelerde görülmektedir (Elkhateeb et al., 2021). Bu mantarların popülasyonu, ölü organizmalardaki bileşenlerin spor formuna geçmesiyle artış gösterir ve enfeksiyon oluşturma potansiyeli kazanır. Patojenin hastalık oluşturma sürecinde, enfeksiyöz yapıların taşınması ve yayılması belirleyici bir faktördür (Güner vd., 2023).

EPF'ler, geleneksel olarak eklembacaklılara özgü patojenler arasında değerlendirilmiştir (Lacey et al., 2015). Tarımsal üretimde zarar veren birçok farklı eklembacaklı türüne karşı biyolojik mücadelede etkin bir şekilde kullanılmaktadırlar (Moore et al., 2000; Zimmerman, 2007a; 2007b; 2008; Goettel et al., 2010). EPF'ler üzerine yapılan ilk araştırmalar 19. yüzyılın başlarında başlamış olup, Fransa'daki ipekböceği endüstrisini tehdit eden hastalıklarla mücadele amacıyla geliştirilmiştir. Agostino Bassi (1773-1856), *B. bassiana*'nın ipek böceklerinde muskardin hastalığına yol açan bulaşıcı bir etken olduğunu ortaya koymuş ve zararlı böceklerle mücadelede fungal patojenlerin kullanımına yönelik

fikirlerin yaygınlaşmasına öncülük etmiştir. Pasteur (1874) ve LeConte (1874), fungusların böceklerle mücadelede etkili bir şekilde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Rusya’da ise Elie Metchnikoff (1845–1916), yeşil muskardin hastalığı üzerinde yaptığı çalışmalar sonucunda, *Entomophthora anisopliae* Metschn. (= *Metarhizium anisopliae*)’yi biyolojik kontrol ajanı olarak tanımlamıştır. Bu fungus, Krassiltchik (1888) tarafından üretildikten sonra, şeker pancarı bitlerine karşı tarlarda kullanıma sunulmuştur (Avan and Kotan, 2021).

EPF’ler, ekolojik tarımda biyolojik pestisit olarak kimyasal insektisitlere kıyasla daha güvenli bir seçenek olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, bazı türleri biyoteknolojik uygulamalarda ve Çin'deki geleneksel tıpta da yer almaktadır. Bu fungusların, antitümör etkiler, antioksidan özellikler, immün sistem üzerinde düzenleyici etkiler, iltihaplanmayı azaltıcı ve mikroplara karşı savaşan özellikler gibi çeşitli tıbbi ve farmasötik faydaları olduğu bilinmektedir (Tuli vd., 2014; Jaihan et al., 2016; Rios-Moreno et al., 2016; Lovett and Leger, 2017). Son yıllarda yapılan çalışmalara göre, fungal biyoajanların bitki hastalıkları ve zararlılarıyla biyolojik mücadelede etkili bir şekilde kullanılabilceği gösterilmiştir. Özellikle *Metarhizium* cinsine ait türler (*M. anisopliae*, *M. robertsii*, *M. brunneum*, *M. globosum*, *M. lepidiotae*, *M. acridum*, *M. majus*, *M. flavoviride*, *M. rileyi*, *M. pinghaense*, *M. guizhouense*) ve *Beauveria* cinsine ait türler (*B. bassiana*, *B. brongniartii*) bu alanda dikkat çekmiştir. *Isaria* cinsine ait türler (*Isaria fumosorosea* – eski adı *Paecilomyces fumosoroseus*, *I. farinosa*, *I. tenuipes*), *Ophiocordyceps* (*O. sinensis* – eski adıyla *Cordyceps sinensis*, *O. unilateralis*), *Cordyceps* (*C. militaris*), *Torrubiella* (*T. ratticaudata*), *Pochonia* (*P. chlamydosporia*), *Lecanicillium* türleri (*L. lecani* – eski adı *Verticillium lecanii*, *L. longisporum*), *Hirsutella* (*H. thompsonii*, *H. nodulosa*, *H. aphidis*), *Paecilomyces variotii* ve *Purpureocillium lilacinum* türlerinin de tarımda etkili bir şekilde kullanılabilceği rapor edilmiştir (Khan et al., 2012; Tkaczuk et al., 2015; Jaihan et al., 2016).

Toprak ortamında konak organizmalar, EPF’ler dışında birçok farklı patojenle etkileşim içindedir. Bu ortamda, entomopatojen türlerin yanı sıra, fırsatçı ve saprofit olarak sınıflandırılan pek çok başka tür de yer almaktadır (Teeter-Barch and Roberts, 1983). Mikrofungus çeşitliliği içerisinde, *Penicillium*, *Fusarium* ve *Aspergillus* gibi yaygın cinsler de entomopatojen özellik gösterebilmektedir. (Yu et al., 2005). *Aspergillus flavus*, düşük virülansa sahip olup, farklı konak türlerinde enfeksiyon oluşturabilen fırsatçı bir patojen

olarak bilinir. *Fusarium* spp., böcek ölülerinde varlık gösteren ve patojenik etkisi düşük olan bir mantar türüdür (Teetor-Barch and Roberts, 1983; Yu et al., 2005; Güner, 2023).

Bitkilerde hastalıklara yol açtığı bilinen *Fusarium* ve *Penicillium* türlerinden bazıları, aynı zamanda böceklerde enfeksiyon gelişmesine neden olarak ölümlerine sebep olan EPF'ler arasında da sınıflandırılmıştır (Al-Keridis, 2016; Jaber and Ownley, 2018). Bazı entomopatojen *Fusarium* türlerinin, Hemiptera ve Diptera takımlarındaki böceklerde daha sık enfeksiyona yol açtığı, buna karşın *Lepidoptera* ve *Coleoptera* türlerinde enfeksiyon oranının daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, bu mantarların ölü böceklerin kalıntıları üzerinde saprofit olarak yaşayabildiği de belirlenmiştir (Jaber and Ownley, 2018). EPF'ler, konak böceğin dış yapısını delip içeriye girdikten sonra, hifleriyle çoğalarak ölüme yol açabilir. Buna karşın, *Fusarium* türleri, hifleri aracılığıyla ürettiği beauvericin adlı siklopeptide toksini ile böceklerin ölümüne neden olabilir. *Penicillium* ise, ürettiği penisilik asit gibi toksinlerle benzer şekilde öldürücü etkiler gösterir (Louw and Korsten, 2014).

Son yıllarda, depo zararlılarının kontrolünde EPF'lerin kullanımına yönelik araştırmalar giderek yaygınlaşmıştır. Çoğu çalışmada, bu fungusların tahıllara uygulanarak etkilerinin değerlendirildiği, boş ambar ilaçlamasının ise daha az incelendiği belirtilmiştir (Lord, 2001; 2005a; 2007a, 2007b; Akbar et al., 2004; Vassilakos et al., 2006; Michalaki et al., 2006; Kavallieratos et al., 2006; Chery et al., 2007; Hansen and Steenberg, 2007; Athanassiou et al., 2008). Depolanmış ürün zararlılarıyla yapılan biyolojik mücadelede parazitoit ve predatörlerin kullanımı, bu etmenlerin neden olduğu ek kirlenmeler sebebiyle sınırlı kalırken, EPF'ler, uygulandıkları tahılların kalitesinde herhangi bir düşüşe yol açmadığı için tercih edilme açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır (Steenberg, 2006; Wakefield, 2006). Wildey et al., (2002) tarafından yapılan araştırmada, *B. bassiana* suşlarının *E. kuehniella* üzerinde biyolojik mücadelede başarılı olduğu ve pestisitlere karşı güçlü bir alternatif oluşturabileceği belirlenmiştir. Ayrıca, *B. bassiana*'nın *Cadra cautella*'nın tüm yaşam evrelerinde etkili olduğu da ortaya konmuştur (Alwaneen et al., 2020a ; Güner, 2023).

Bitki zararlılarıyla mücadelede ticari olarak üretilen *M. anisopliae* izolatlarının, arılara zarar vermediği ve biyolojik mücadele ajanı olarak kullanılabilmesi ifade edilmiştir (Uzuner vd., 2017). *B. bassiana*, *B. brongniartii*, *M. anisopliae*, *Lecanicillium* spp. ve *Isaria* spp. gibi önemli EPF'ler, birçok kabuk böceği ve ambrosya böceği türünden izole edilmiştir (Landa et al., 2001; Draganova et al., 2007; Sevim vd., 2010a, 2010b; Esmer, 2011; Kushiyevev, 2015). Elde edilen türler arasında *B. bassiana*, *B. brongniartii* ve *I. farinosa*, ormanlarda

başlıca zararlılar olan *Ips sexdentatus* ve *Ips typographus* gibi kabuk böceklerinden yaygın olarak izole edilmiştir (Landa et al., 2001; Draganova et al., 2007).

Irak'ın kuzeyindeki Gara Dağları'nda bazı bitki türlerinde yaşayan böceklerden elde edilen örneklerde, EPF ile fırsatçı mantar türlerinin birlikte bulunduğu belirlenmiştir. Yürütülen bu çalışmada; *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Beauveria bassiana*, *Curvularia* türleri, *Alternaria alternata*, *Fusarium spp.*, *Penicillium spp.*, *Humicola spp.*, *Rhizopus stolonifer*, *Ulocladium atrum* ve *Trichoderma spp.* gibi farklı mantar türlerine rastlanmıştır. Ayrıca buğdayın önemli zararlılarından biri olan *Eurygaster integriceps* bireylerinden de *Metarhizium brongniartii* türü izole edilmiştir. (Assaf et al., 2011).

Ülkemizde biyolojik mücadelede fungusların kullanımıyla ilgili yapılan bazı çalışmalar şu şekilde sıralanabilir; *Pulvinaria floccifera*'nın doğal koşullarda salgın hale gelmesini, *V. lecanii* (eski adıyla *Cephalosporium lecanii* Zimm.) isimli mantarın baskıladığı; yapılan çok sayıda gözlem ve sayım sonucunda belirlenmiştir (Alay,1965). Fındık zararlısı *Parthenolecanium corni*'nin doğal popülasyonları, EPF *V. lecanii* tarafından enfekte edilerek baskılanmakta ve biyolojik mücadelede etkili bir kontrol sağlamaktadır (İren 1970). Yaprak biti türlerine karşı etkili EPF *Erynia neoaphidis*, Çukurova bölgesinde doğal olarak yayılım göstermekte ve zararlı popülasyonlarını baskılayarak biyolojik mücadelede potansiyel bir ajan olarak değerlendirilmektedir (Zeren vd., 1986). Pamuk yaprak biti *Aphis gossypii*'ye karşı yapılan çalışmalarda, EPF *Fusarium subglutinans*'ın biyolojik etkinliğe sahip olduğu ve zararlı popülasyonlarını baskılayabildiği belirlenmiştir (Satar ve Koç, 2004). Patates böceği *Leptinotarsa decemlineata* ile mücadelede EPF'lerin kullanım potansiyeli değerlendirilmiş; çalışmada *B. bassiana*, *M. anisopliae* ve *Paecilomyces lilacinus*'un bu zararlıya karşı etkili olduğu bildirilmektedir (Kılıç, 2006). *L. lecanii*'nin, *A. gossypii*, *Macrosiphum rosae*, *Coccus hesperidum* ve *Bemisia tabaci* gibi fitofag Hemiptera türleri üzerinde yüksek mortalite oranlarıyla etkili olduğu ve biyolojik mücadelede kullanılabilir bir EPF olduğu belirlenmiştir (Telli vd., 2014). Thysanoptera takımından zararlı bir tür olan *Frankliniella occidentalis*'e karşı yapılan çalışmada, spinosad (Lazer 48 SC) ve bazı bitkisel kökenli biyopestisitlerin yüksek mortalite oranlarıyla etkili olduğu ve bu türlerin biyolojik mücadelesinde kullanılabileceği belirlenmiştir (Uçak vd., 2014). Fındık bahçelerinde zararlı olan yazıcı böcek türlerinden izole edilen *B. bassiana* ve *M. anisopliae*'nin, bu zararlı türler üzerinde biyolojik mücadelede etkili olabilecek entomopatojen funguslar olduğu belirlenmiştir (Kushiyeu, 2015). *L. decemlineata*'ya karşı yapılan başka bir çalışmada, *B.*

*bassiana* izolatlarının özellikle larva döneminde yüksek mortalite oranlarıyla etkili olduğu ve biyolojik mücadelede kullanılacak EPF arasında yer aldığı belirlenmiştir (Güven vd., 2015). *Thaumetopoea wilkinsoni*'ye karşı yapılan çalışmada, *B. bassiana*'nın özellikle larva dönemlerinde yüksek mortalite oranlarıyla etkili olduğu ve bu zararlının biyolojik mücadelesinde kullanılacak potansiyel bir entomopatojen fungus olduğu belirlenmiştir (Gök vd., 2018). *Myzus persicae*'ye karşı yürütülen çalışmada, *B. bassiana*'nın iki farklı izolatının yüksek mortalite oranlarıyla etkili olduğu ve bu yaprak biti türünün biyolojik mücadelesinde kullanılacak entomopatojen funguslar arasında yer aldığı belirlenmiştir (Berber ve Birgücü, 2020).

Parker (1998) tarafından yapılan çalışmada, Güneydoğu Anadolu bölgesinde, özellikle Gaziantep'te *Eurygaster* sp. ve coccinellidlerden, Kahramanmaraş'ta ise yalnızca *Eurygaster* sp.'den *Paecilomyces farinosus*'un izole edildiği belirlenmiştir (Anonymous, 1998; Polat, 2023). Farklı bir çalışmada, *L. decemlineata*'dan izole edilen fungal etmenlerin varlığı ortaya konmuş ve ayrıca *B. bassiana*'nın patates böceğiyle biyolojik mücadeledeki etkisi ele alınmıştır (Çam vd., 2002). Gökçe ve Er'in, (2002) çalışmasında ise *P. fumosoroseus*'un sera beyazsineği (*Trialeurodes vaporariorum*) üzerinde %70'in üzerinde ölüme neden olduğu ortaya konmuştur.

Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki fındık bahçelerinden toplanan 301 farklı toprak örneğinin incelendiği araştırmada, *Metarhizium* sp., *M. Anisopliae*, *B. bassiana*, *I. fumosorosea* ve *Evlachovaea* sp. gibi EPF'leri içeren 62 izolat elde edilmiştir. Çalışmanın bulgularına göre, bu türlerin fındık bahçelerinde yaygın olarak bulunabileceği ve fındık ile orman zararlılarının biyolojik mücadelesinde potansiyel olarak kullanılabileceği belirtilmiştir (Sevim vd., 2010a). Sevim vd., (2010b), Doğu Karadeniz Bölgesi'nden izole ettikleri entomopatojen fungusların, *Dendroctonus micans* türüne karşı etkili bir biyolojik kontrol aracı olarak kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Kocatürk vd. (1994), Orta Anadolu Bölgesi'ndeki hububat alanlarında *Aelia rostrata* gibi önemli zararlının kışlaklardaki gelişimini etkileyebilen EPF'leri incelemişlerdir. Çalışmada, *B. bassiana*'nın güçlü bir böcek patojeni olduğu, buna karşın *Alternaria* spp., *Mucor* spp., *Penicillium* spp. ve *Aspergillus* spp. türlerinin ise düşük seviyede ölüme yol açabilen funguslar olarak tespit edildiği belirtilmiştir. Memişoğlu ve Özer (1994), kışlaklardan toplanan ölü *Eurygaster maura* örneklerinde *Penicillium* spp., *Cladosporium* sp., *Mucor* sp.,

*Alternaria* sp., *Stemphylium* sp., *Beauveria* sp. ve *Aspergillus* spp. türlerini tespit etmişlerdir (Güner, 2023).

## 1.4 Biyolojik Mücadelede *Fusarium* 'lar

### 1.4.1 *Fusarium* cinsi genel özellikleri

*Fusarium* cinsi, Latince'de "fusus" kelimesinden türetilmiş olup, tipik olarak enine bölmeli konidilere sahip olmasıyla bilinir. Bu cinse ait mantarlar, ilk olarak 1809 yılında Link tarafından tanımlanmış ve 1821'de Fries tarafından doğrulanmıştır (Geiser et al., 2013). *Fusarium*'un taksonomik sınıflandırması ise 1935 yılında Wollenweber ve Reinking tarafından oluşturulmuştur (Öztaş, 2024).

*Fusarium* cinsi mantarları, organik maddelerin üzerinde yer almalarının yanı sıra, hava, su ve toprak gibi farklı ortamlarda da gözlemlenebilmektedir. Ürettikleri toksinler, zengin tür çeşitliliği ve geniş ekolojik yayılımları sayesinde, çeşitli konukçular üzerinde belirgin etkilere sahiptir.

Mantarlar, sahip oldukları eşeyli yapılar ve spor üretim şekillerine göre dört ana gruba ayrılmaktadır. Bu temel gruplar; sporların oluştuğu yapıların farklılığına bağlı olarak belirlenir. Guarro et al., (1999) göre, günümüzden yaklaşık 550 milyon yıl önce Zygomycetes, Ascomycetes ve Basidiomycetes gibi mantar gruplarının ortak atasının Chytridiomycetes olduğu belirtilmektedir. *Fusarium* türleri genel olarak ılıman bölgelerde bitkiler üzerinde patojen olarak bulunurlar ve insanlarla hayvanlarda ise nadiren enfeksiyonlara yol açarlar. Dünyada günümüze kadar yaklaşık 61 farklı *Fusarium* türü tanımlanmıştır; bunlardan bazıları *Fusarium avenaceum*, *Fusarium virguliforme*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium verticillioides*, *Fusarium graminearum* ve *Fusarium oxysporum*'dur. Bu türlerin her ikisi de Ascomycota bölümüne aittir; *F. graminearum*, Hypocreales takımının Nectriaceae ailesinde yer alırken, *F. culmorum* da güncel taksonomik çalışmalara göre aynı aile içerisinde sınıflandırılmaktadır (Leslie and Summerell, 2006; Keleş, 2021).

*Fusarium* cinsi, çürükçül yaşam tarzına sahip olup, toprak ve organik materyaller üzerinde yaşayan, bitki ve hayvanlarda hastalıklara yol açan mikotoksin üreten mantarları içerir. Bu cinsin *Fusarium* spp. üyeleri; Zearalenon (ZEN), Triketesenler, Deoksinivalenol (DON), Nivalenol, Dasetoksisirpenol, T-2 toksin, HT2 toksin, Tremortin, Fusarin-C, Fumonisin B1, Moniliformin ve Enniatins gibi toksinleri sentezleyerek zararlı etkilere neden olmaktadır. Bu toksinlerin tahıllarda tespit edilip, bu ürünlerin insan ve çiftlik hayvanları tarafından

tüketilmesi halinde gelecekte çeşitli sorunların ortaya çıkabileceği ifade edilmiştir (Eriksen, 1998). *Fusarium* mikotoksinleri, hayvanların büyümesini, üremesini ve hormonal durumunu etkiler. Bu mikotoksinlerin hayvanlar üzerindeki etkisi, alınan mikotoksin miktarına bağlıdır. Alındıktan sonra, bu mikotoksinler goblet hücreleri tarafından salgılanan mukusla kaplı gastrointestinal epitel hücre tabakasına ulaşır (Askun, 2018). DON ve fumonisin-B1 (FB1), insanlarda, hayvanlarda ve kuşlarda bağırsak epitel hücre tabakasının geçirgenliğini artırsa da, bağırsak epitel hücrelerinin canlılığını ve çoğalmasını olumsuz etkiler. Yüksek dozda mikotoksinler, karın rahatsızlığı, ishal, kalp yetmezliği, kusma ve hatta domuzlarda ölüme, atlarda ise ekinöz lökoensefalomalaziye (ELEM) neden olabilir (Devreese et al., 2013; Askun, 2018). Laboratuvar ve canlı organizma temelli deneylerde, ZEN ve onun türevlerinin üreme organlarındaki östrojen düzeylerini anlamlı ölçüde yükselttiği tespit edilmiştir. (Cortinovis et al., 2013). ZEN, kısırılık, süt üretiminde azalma ve hiperöstrojenizm ile yakından ilişkilidir (Minervini and Dell'Aquila, 2008). Cortinovis et al., (2013) gerçekleştirdiği in vitro deneylerde, ZEN'in over hücrelerine doğrudan etki ederek oositlerin olgunlaşma sürecinde değişikliklere yol açtığı gözlemlenmiştir. Buna karşın, in vivo yapılan çalışmalar, bu mikotoksinin ovülasyon ve ergenliğin başlangıcını etkilediğini; ayrıca yapısal ve işlevsel bozukluklara neden olduğunu ortaya koymuştur. Diğer yandan, T-2 toksini (T-2), ağız ve bağırsak zarında deri lezyonları oluşturarak kümes hayvanlarında yumurta veriminde düşüşe yol açmaktadır (Weber et al., 2010; Askun, 2018).

*Fusarium* mantarları, eşeysiz spor üretiminde oldukça çeşitli yapı örüntüleri sunar. Bu yapıların arasında, orak şeklinde veya silindirik, kavisli ve enine bölmeli olan makrokonidiler, sporoşium (sporodochium) veya pionnotlar üzerinde gelişir. Bazı türlerde, mikro- ve makrokonidilerin yanı sıra, bu iki grup arasında yer alan orta boyutlu mesokonidilerin de üretildiği gözlemlenmiştir. Mesokonidiler, kuru koşullar altında, holoblastik konidiogen hücreler aracılığıyla ortaya çıkar. Genellikle, küçük boyuttaki mikro veya mesokonidiler, ayrı dallara sahip ya da dallanmayan miselial konidioforlar vasıtasıyla oluşmaktadır. Konidiosporların üretimi, konidiogen hücrelerin uç sayısına bağlı olarak, ya tek uçlu (monofialidik) ya da çok uçlu (polifialidik) varyantlar şeklinde gerçekleşir. Ayrıca, *Fusarium* türlerinde hifler ve konidiler arasında ya da onlarla ilişkili olarak, tekil, zincir veya salkım düzeninde oluşan, kalın duvarlı ve genellikle küresel formda klamidiosporlar (hallosporlar) da gözlemlenmektedir (Öztaş, 2024). *Fusarium*'un bazı soylarında makrokonidilerin bulunmadığı, diğerlerinde ise mikrokonidilerin gözlenmediği rapor

edilmiştir. Ayrıca, benzer kladlarda vertisillat anamorfların ortaya çıktığı durumlar tespit edilmiştir.

*Fusarium* türleri, genellikle morfolojik, biyolojik ve filogenetik yaklaşımların veya bu yöntemlerin birleşiminin kullanılmasıyla tanımlanır. Tür tanımlamalarında, *Fusarium* tanımlama kitapları rehber olarak kullanılır ve bu süreç; makro ve mikrokonidilerin morfolojik özellikleri, fiyalid yapısı, misel karakterleri, PDA ortamında oluşan koloni pigmentasyonu ile büyüme oranları gibi kriterlere dayanmaktadır (Leslie and Summerell, 2006).

Makromorfolojik gözlemler: PDA ortamında oluşan koloniler tipik olarak beyaz, krem, sarımsı, pembe, kırmızımsı veya menekşe tonlarında sergilenir. Havadaki miselyum ise, kadifemsi ve pamuk dokusunu andıran bir yapıya sahip olup, taze izolatlarda belirgin şekilde bulunurken, bol spor üreten suşlarda bu yapı ya azalmakta ya da tamamen gözlenmeyebilmektedir.

Mikromorfolojik açıdan incelendiğinde, *Fusarium* türlerinin büyük çoğunluğu, pediselat bazal hücreye sahip olup, genellikle fusoid veya lunatseptalı makrokonidiler üretir. Bu yapılar, çoğunlukla berrak, sarı, turuncu, mavimsi ya da kahverengimsi balçık benzeri bir ortamda meydana gelirken, bazı suşlarda hava miselyumunda optimal gelişim göstermeyen varyantları da gözlemlenmektedir. Makrokonidiler, çok dallı konidiofor üzerinde yer alan ince phialidlerin oluşturduğu verimli açıklıklardan meydana gelir. Buna ek olarak, birçok *Fusarium* türü, zincir veya kümeler şeklinde, tek veya iki hücreli mikrokonidiler üretmektedir. Mikrokonidilerin şekilleri; elipsoidal, oval, allantoid, küresel, piriform veya sitriform olabilmekte olup, türlere özgü karakteristik kombinasyonlar sergiler. Bu mikrokonidiler, genellikle hava miselyumundan veya doğrudan agar yüzeyinde bulunan, az dallanmış ya da dallanmamış konidioforlar tarafından sentezlenir. Phialidler ise ince, sivri yapılarıyla öne çıkar; bazı türlerde kısa, bazılarında ise daha uzun olup, bir veya birden fazla verimli açıklığa sahip olabilirler. Ayrıca, bazı türlerde hava miselyumundaki polifialidlerden soliter, kuru ve 1-4 bölmeli fusiform konidiler üretilmekte, bu yapılara bazı bilim insanları tarafından mezokonidia denildiği kaydedilmektedir.

#### 1.4.2 *Fusarium* sistematigi

*Fusarium* cinsi, belirgin morfolojik özelliklere sahip türlerin karşılaştırılması neticesinde farklı seksiyonlara ayrılmaktadır. Türlerin morfolojik markerlarla ayırt edilmesi oldukça güç olup, bu sınıflandırma izolatların morfolojik özelliklerine dayanmaktadır. Bununla birlikte, DNA dizi analizleri tek başına yeterli ayrımcılığı sağlayamamaktadır. Bu sebeple, *Fusarium* izolatlarının seksiyon ve tür düzeyinde tanımlanması için, özet (synoptic) ve ikili (dichotomous) anahtarlar geliştirilmiştir (Biçici, 2021).

*Fusarium* cinsi için yapılan sınıflandırmalarda farklı yaklaşımlar göze çarpmaktadır. Bazı çalışmalar bu cinsi 30 tür olarak ele alırken, diğerleri 26 tür ve 3 varyete şeklinde tanımlamıştır. Örneğin, Burgess et al., (1994), üç ayrı çizelge anahtarı kullanarak 30 tür ve 5 alt türü belirlemiştir. Buna karşılık, Gerlach and Nirenberg (1982) herhangi bir anahtar uygulamadan *Fusarium*'u 73 türe ayırmıştır. Synder and Toussou (1965) ise, makrokonidi, mikrokonidi ve klamidospor özelliklerinin yanı sıra ascospor yapılarına dayanarak, tek bölmeli, 2-4 bölmeli ve ascospor içermeyen türlerden sırasıyla 2, 5 ve 2 tür belirleyerek toplamda 9 farklı tür ortaya koymuşlardır (Biçici, 2021).

#### 1.4.3 Sistematik yeri

Alem: Mantar

Şube: Ascomycota

Sınıf: Sordariomycetes

Takım: Hypocreales

Aile: Nectriaceae

Cins: *Fusarium*

Sinaptik anahtarlar, bir taksona ulaşmaya kadar çeşitli karakteristik özellikleri değerlendirip, diğer taksonları eleyerek ilerler; bu yöntem bilgisayar uygulamalarında son derece verimli sonuçlar verir. Diğer yandan, ikili (dichotomous) anahtarlar, her karakter için sunulan iki olasılığı hiyerarşik olarak analiz ederek en doğru taksonomik sınıflandırmaya ulaşmayı amaçlar (Biçici, 2021).

Summer et al., (2003), hastalıklı bitkilerden izolatların elde edilip saflaştırılması sonrasında, bu örneklerin morfolojik ve fizyolojik özellikleri ile konukçuları ve coğrafi dağılımları yeniden incelenmiş; ardından izolatlar PDA, Carnation Leaf Agar (CLA) ve Spezieller

Nährstoffarmer Agar (SNA) ortamlarında kültüre alınıp morfolojik karakterleri detaylı olarak belirlenmiştir. Bu morfolojik değerlendirme sonucunda 21 ek tür tanımlanmıştır. Ancak, morfolojik ayırım tek başına yeterli bulunmadığından, izolatların tür olarak tanımlanması için üretken melez oluşturma ve DNA dizi analizi gibi iki ek teknik de kullanılmıştır (Biçici, 2021).

Filogenetik incelemeler, *Fusarium* cinsine ait türlerin tek bir ortak atadan türemediğini göstermiştir. Bu analizler, askomiset Netriaceae/Hypocreales ailesi içinde *Fusarium* mantarlarının iki ana gruba ayrıldığını ortaya koymaktadır; bir grup bazal konumda yer alırken, diğer grup *Calonectria* ve *Volutella* gibi cinslerle terminal pozisyonda bulunmaktadır. Ayrıca, bazı türlerin hariç tutulmasıyla geniş bir tanım altında toplanan *Fusarium* kavramı "*Fusarium* Sensus Wollenweber" olarak adlandırılmaktadır. Bunun yanı sıra, Nectriaceae ailesi kapsamında *Fusarium*'nun *Gibberella*, *Haematonectria* ve *Nectria* gibi altı telemorf cinsle ilişkili olduğu saptanmıştır (Grafenhan, 2011).

#### **1.4.4 *Fusarium* üreme özellikleri**

Vejetatif miselyum, dallanmış ve bölmeli bir yapı sergiler; hiyalin görünümü ve belirgin renkleriyle öne çıkar. Hifler ise, hücrelerarası veya hücre içi konumlanarak tek çekirdekli olur. Eşsyz üreme sürecinde, mikro konidia, makro konidia ve klamidospor olmak üzere üç farklı spor türü meydana gelir (Biçici, 2021).

Mikrokonidiler, genellikle vejetatif hiflerden kolayca ayırt edilemeyen konidioforların uçlarında çok sayıda oluşan küçük boyutlu sporlardır. Bu sporlar yuvarlak, kavisli veya elips şeklinde olabilirler. Genelde tek hücrelidirler ve kümeler halinde meydana gelirler. Ayrıca konidioforların uç kısımlarında sahiptirler ve nadiren dallanma gösterirler.

Makrokonidiler, uzun yapılı olup hilal ya da orak benzeri şekiller gösteren spor tipleridir. Bu sporların uçları sivrilmiş, gövdeleri ise bölmeli (septat) yapıdadır. Makrokonidiler, genellikle stromatik yapıda, minder benzeri oluşumlar üzerinde gelişmektedir. Bu sporlar, stromalar üzerindeki konidiofor uçlarından meydana gelir ve uç kısımları belirgin şekilde incelmış yapıdadır. Sporların üretildiği stromalar, "sporodoşiyum" olarak isimlendirilir.

Klamidosporlar, kalın hücre duvarına sahip, oval veya küresel biçimdeki hücreler olup hiflerin içinde gelişir. Bu yapılar tek tek ya da zincirler şeklinde görülür ve hiflerin uç kısımlarında veya ara bölgelerinde oluşabilir. Klamidosporlar gelişimlerini tamamladıktan

sonra bağılı buldukları hiften koparak ayrılır ve genellikle dirençli sporlar olarak görev yaparlar (Biçici, 2021).

#### **1.4.5 *Fusarium* cinsinin ekolojisi ve beslenme özellikleri**

*Fusarium* türleri, diğer mantarlar gibi heterotrof bir beslenme şekline sahiptir. Bu mantarlar, ölü ya da canlı kaynaklardan besin sağlayabilirler. Ayrıca, sahip oldukları çeşitli sindirim enzimleri sayesinde organik maddeleri parçalayarak besinlerini elde ederler. Bu enzimatik sistem, *Fusarium* türlerinin farklı substratlardan etkili bir şekilde enerji elde edebilmelerini sağlar.

*Fusarium* cinsi mantarlar, çok farklı ortamlar ve koşullarda bulunabilir. En yaygın olarak hava, toprak ve bitkilerde yaşarlar. Bu cins, genellikle arpa, mısır, çavdar, buğday ve yulaf gibi tahıllarla yakın ilişki içinde olduğundan, özellikle bu tip ürünlerde sıkça rastlanır. *Fusarium* türleri, hem iç hem de dış ortamlarda yaygın olarak görülür. Özellikle yaz döneminde, şehir içi ve kırsal bölgelerde yaygın şekilde karşılaşılır. Bir ortamda *Fusarium* mantarlarının bulunması, o bölgedeki nem seviyesinin yüksek olduğunun güçlü bir göstergesi olarak kabul edilir (Biçici, 2021).

#### **1.4.6 Biyolojik mücadelede kullanımları**

Biyolojik mücadele, entomopatojenik mantarların kullanılması gibi alternatif yöntemleri kapsamaktadır. Entomophthoromycota, Ascomycota ve Basidiomycota dahil olmak üzere böceklerle saldırıp onları öldürebilen binlerce mantar türü bulunmaktadır (Vega et al., 2012). Ascomycota'nın bazı türleri, *Fusarium* ve *Beauveria* gibi türler dahil olmak üzere böceklerle karşı kullanılmıştır (de Faria, 2007). *Fusarium* cinsi, ipliksi yapıya sahip oldukça ilginç bir mantar grubudur ve bitkiler, böcekler ve insanlar gibi çeşitli organizmalar için patojen olarak iyi bilinmektedir. Teeter-Barsch and Roberts (1983), entomopatojenik *Fusarium* türlerinin böceklerle biyolojik mücadelede kullanılmasının avantajlı olabileceğini öne sürmüşlerdir. Çünkü bazı böcek-patojeni *Fusarium* suşları:

- (a) yüksek konakçı özgüllüğü gösterir,
- (b) laboratuvar ortamında kolayca üretilebilir,
- (c) bitkilere zarar vermez ve
- (d) toprakta saprofit olarak daha iyi hayatta kalabilirler.

Bununla birlikte, *Fusarium* iyi bilinen bir bitki patojeni olduğundan, bu alandaki çalışmalar hiçbir zaman gereken ilgiyi görmemiştir. *Fusarium*'un böceklerle karşı biyolojik mücadele etmeni olarak kullanılması, fitopatojenlerin tarım ekosistemlerine salınmasına yol açabileceği endişesini doğurmuştur. O'Donnell et al., (2012) entomopatojenik *Fusarium* türlerinin, genetik belirteçler kullanılarak fitopatojenik suşlardan ayırt edilebilmesi halinde, böceklerle biyolojik mücadelede kullanılabileceğini savunmuştur. *Fusarium* türlerinin bazıları, sadece böceklerle patojen olup bitkilere patojen değildir (Kuruvilla and Jacob, 1979a, 1979b, 1980).

*Fusarium* cinsine ait birçok tür, Hymenoptera, Hemiptera, Diptera, Lepidoptera ve Coleoptera gibi çeşitli böcek takımlarına karşı patojeniktir (Teetor-Barsch and Roberts, 1983; Humber, 1992). Pek çok *Fusarium* türü entomopatojeniktir ve bu türler, konak böceklerin ölümüne neden olan toksinler (siklodepsipeptitler) üretebilir ve hifleriyle konağa nüfuz edebilir (Gupta et al., 1991). *Fusarium* türleri, böceklerin vücutlarının farklı gelişim evrelerinden izole edilebilmektedir (Vannini et al., 2017). Ayrıca, *Fusarium solani* şeker pancarı kök sineğinden izole edilmiş ve *Tetanops myopaeformis* için doğal bir entomopatojen olarak tanımlanmıştır (Majumdar et al., 2008). Bununla birlikte, *F. oxysporum*'un sekonder metabolitlerinin, laboratuvar ortamında *Anopheles stephensi* ve *Culex quinquefasciatus* larvalarına karşı toksik olduğu belirlenmiştir (Prakash et al., 2010). *F. verticillioides*, çekirge türleri üzerinde entomopatojenik bir mantar olarak değerlendirilmiştir (Pelizza et al., 2011).

*Fusarium incarnatum-equiseti* kompleksine ait iki suşun gal arısına karşı patojenik etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (Addario and Turchetti, 2011). Ayrıca, *F. avenaceum*, pirinç biti (*S. oryzae* L.)'ye karşı entomopatojenik mantar olarak kayıt altına alınmıştır (Batta, 2012). Tosi et al., (2015), gal arısından *Fusarium proliferatum* I3 izolatını izole etmiş ve bu izolatu Asya kestane gal arısı (*Dryocosmus kuriphilus*)'na karşı biyolojik mücadele etmeni olarak değerlendirmiştir.

Yapılan literatür taramaları sonucunda, *Fusarium* türlerinin birçok bitkide hastalıklara neden olan önemli etmenler olduğu ve özellikle bazı türlerinin mikotoksin üretimiyle insan ve hayvan sağlığını tehdit ettiği belirlenmiştir (Logrieco et al., 2002; Leslie and Summerell, 2008). Bu çalışmada kullanılan *F. proliferatum* (Matsush.) Nirenberg ex Gerlach &

Nirenberg, ilk olarak mısır bitkisinden izole edilmiş olup, mısır, buğday, pirinç, arpa ve çeşitli sebzelerde yaygın olarak rastlanan bir türdür. (Logrieco et al., 2002).

### **1.5 Entomopatojen Fungusların Patojenik Özellikleri ve Konakçıya Enfekte Olma Mekanizmaları**

Gauthier (2015) tarafından belirtildiği üzere, insanlarda, bitkilerde ve böceklerde hastalık yapıcı özellik gösteren fungal etmenlerin etkili bir patojen olabilmeleri için, dimorfik yapıdan maya formuna dönüşüm gerçekleştirmeleri gerekmektedir. İnsanlarda enfeksiyona yol açan mantarlarda dimorfik form değişimini tetikleyen en temel unsur sıcaklık farkıdır; çevrede yaklaşık 22–25 °C’de bulunan funguslar, konak organizmadaki 37 °C’ye ulaşan sıcaklıkta form değiştirirler. Ayrıca, CO<sub>2</sub>, sistein ve östradiol gibi bazı moleküllerin de bu dönüşüm süreci ve mantarın gelişimi üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir (Klein and Tebbets, 2007). Bitki patojeni funguslarda, maya ve miselyum formu arasındaki dönüşümü etkileyen faktörler arasında; azotlu bileşikler, bazı dallı zincirli amino asitler ile lipoksijenaz ve siklooksijenaz enzimlerinin aktiviteleri öne çıkmaktadır (Berrocal et al., 2012; Naruzawa and Bernier, 2014). Böceklerde hastalık oluşturan mantarların enfeksiyon süreci incelendiğinde, başlangıçta germ tüplerinin hif yapısına dönüşmesinin ve sonraki aşamalarda hiflerin miselyum formuna geçişinin altında yatan mekanizmalar henüz net biçimde tanımlanamamıştır (Boucias et al., 2016). Ancak, hemoselde mevcut olan yüksek ozmotik basıncın bu geçiş aşamasını uyarabileceği yönünde bulgular elde edilmiştir (Butt et al., 2016).

Böceklerin gelişim ve büyüme süreçleri, çeşitli biyolojik ve biyolojik olmayan unsurların etkisi altındadır. Bu unsurlar arasında en belirgin biyolojik etkenlerden biri, EPF’lerdir. Patojenlerin konak organizmada üreyip gelişebilmesi için yüksek metabolik hız gereksinimi vardır. Ayrıca, ev sahibi üzerinde oksidatif stres oluşturarak parazitlerin salgıladığı toksin ve yan ürünlerin büyük miktarlarda ortaya çıkmasına yol açarlar. EPF’lerin yaşam döngüsünün, konak organizmanın büyüme evreleriyle uyumlu bir şekilde seyrettiği gözlemlenmiştir (Shah and Pell, 2003). EPF’ler, böcek konaklarına ulaşmada yalnızca sindirim sistemini kullanmakla kalmaz; aynı zamanda solunum delikleri ve dış yüzeyler aracılığıyla da organizmaya girerler. Bu durum, mantarların enfeksiyonu başlatabilmesi için konakların beslenme alışkanlıklarına bağlı kalmadan doğrudan etkili olabilmesini mümkün kılar. Böylece, enfeksiyon sürecinde konak tarafından mantarın tüketilmesi gerekmeksizin,

etkili bir patojenite sağlanır ve enfeksiyon yalnızca çiğneme organına sahip böceklerle sınırlı kalmaz (Shah and Pell, 2003; Castrillo et al., 2005).

Entomopatojenik mantarların böceklere bulaşma süreci, konidilerin böceklerin dış kabuğu (kutikula) ile etkileşime girerek yapışmasıyla başlar. Bu yapışma, konidi-kutikula arasındaki hidrofobik ve elektrostatik kuvvetler tarafından yönlendirilir. Fungal sporlar, konak böceğin kutikulasının herhangi bir noktasına bağlanabilme özelliğine sahiptir. Ayrıca, kutikulanın kimyasal ve yapısal özellikleri, böceğin türüne ve gelişim evresine göre değişiklik gösterebilir (Ye et al., 2021). *B. bassiana* konidilerinin dış yüzeyinde, hidrofobin adı verilen proteinlerle kaplı hidrofobik uzantılar bulunduğu belirtilmektedir. Bu mantarda *Hyd1* ve *Hyd2* adlı iki hidrofobin, söz konusu hidrofobik uzantılar ve konidilerin su itici özelliklerinin temelini oluşturur (Cho et al., 2007). Öte yandan, sucul ortamlarda üreyen entomopatojenik mantarlarda, mantarın böceğe tutunmasından sonra zoosporlar tarafından oluşturulan keseciklerin belirmesiyle enfeksiyon süreci ilerler (Castrillo et al., 2005).

Enfeksiyonun ilerleyen aşamasında, böcek kutikulasına yapışmış olan mantar sporlarının çimlenme süreci devreye girer. Bu çimlenme; sıcaklık, pH, nem, oksijen varlığı ve yeterli besin gibi çeşitli çevresel etkenlerden etkilenir. Mantarın türüne göre farklılık göstermekle beraber, genellikle 20 ila 30°C aralığındaki sıcaklıklarda çimlenme için uygun koşullar sağlanmaktadır (Skinner et al., 2014). Yapılan bazı araştırmalar, geniş bir konak spektrumuna sahip mantarların çimlenme aşamasında, konak kutikulasındaki belirli karbon ve azot kaynaklarına bağımlı olmadığını göstermiştir. Buna karşın, konak çeşitliliği sınırlı olan mantarların ise böcek kutikulasında bulunan spesifik bileşiklere gereksinim duydukları tespit edilmiştir (Ortiz-Urquiza et al., 2013).

Entomopatojenik mantarın konağın kutikulasına girmesi, penetrasyon adı verilen üçüncü evrede gerçekleşir. Bu evrede fungus, “appresorium” olarak bilinen özel bir oluşum geliştirerek, konak kutikulasını delmek amacıyla fiziksel kuvvet uygular. Aynı zamanda mantar tarafından salgılanan ve kutikülayı parçalayabilen enzimler, konağın dış kabuğuna nüfuz etme sürecini kolaylaştırır (Ortiz-Urquiza and Keyhani, 2013; Soliman, 2020). Böcek konaklarının epikutikulası; protein, lipit, sterol ve yağ asitlerinden meydana gelmektedir. Lipaz, proteaz ve kitinaz gibi kutikül parçalama özelliği olan enzimler, mantarın konağa girişini kolaylaştırır. Mantarın salgıladığı lipaz enzimi, epikutikuladaki lipit ve lipoproteinleri yıkarak bu süreçte kritik bir görev üstlenir (Pedrini et al., 2007). Ayrıca

lipazların, mantarla konak kutikulasının yüzeyi arasındaki hidrofobik etkileşimi güçlendirdiği ifade edilmektedir (Santi et al., 2010).

Böcek kutikulasındaki proteinler, mantar kökenli proteolitik enzimlerle parçalanarak kitin fibrillerinin açığa çıkmasına zemin hazırlar. Bu noktada, kitinaz enzimi devreye girerek söz konusu fibrilleri çözünür hale getirir ve mantarın kutikula içerisinde yayılmasına olanak tanır. Hemolenfe ulaşıktan sonra, mantar aynı dokuda çoğalmaya devam ederek “blastospor” adı verilen maya benzeri hücreleri üretir ve böylece konağın doku bütünlüğünü olumsuz etkiler. Ayrıca mantar, böceğin bağışıklık sistemini zayıflatabilecek çeşitli ikincil metabolitler sentezler. Bunun yanı sıra, asit trehalaz enzimi salgılayarak hemolenfteki trehalozu enerji kaynağı olarak kullanmak üzere parçalar; bu durum konağın beslenme sürecini aksatır (Litwin et al., 2020). Yakın zamanda gerçekleştirilen bir araştırma, *M. acridum* mantarındaki *ATM1* geninin (asit trehalaz enzimini üreten) devre dışı bırakılmasının, söz konusu mantarın böcekleri enfekte etme ve öldürme yetisini çarpıcı biçimde azalttığını göstermiştir (Jin et al., 2015). Enfeksiyon sürecinin sonunda, mantar ölmüş böceğin üzerinde sporlanır; bu yeni sporlar elverişli koşullarda farklı konakları da enfekte ederek döngünün sürmesine neden olur.

### **1.6 Böceklerin EPF Enfeksiyonlarına Karşı Geliştirdiği Savunma Mekanizmaları**

Böceklerin patojenlere karşı savunması, hücrel ve humoral yanıtların birlikte çalıştığı karmaşık bir bağışıklık sistemi aracılığıyla gerçekleşir (Cooper and Eleftherianos, 2017; de Oliveira Barbosa Bitencourt et al., 2020). Bu bağlamda, hücrel savunma tepkileri içerisinde fagositoz, kapsül oluşturma ve patojenlerin nodülleştirilmesi süreçlerini yöneten hemositler kilit öneme sahiptir (Strand, 2008).

Böceklerdeki humoral bağışıklık tepkisi, patojenik mikroorganizmaların yüzeyinde yer alan patojenle ilişkili moleküler örüntülerin (PAMP’ler) algılanmasıyla başlar. Bu algılama, lektinler, profenoloksidaz kaskadı ve antimikrobiyal peptitler (AMP’ler) gibi çeşitli savunma bileşenlerinin üretimini tetikleyerek koruyucu bir yanıt oluşturur (Hultmark, 2003; Pal and Wu, 2019). Enfeksiyonun başarılı olabilmesi için mantarın, zararlı fiziksel ve kimyasal koşulların yanı sıra böceğin bağışıklık korumasını da etkisiz hale getirmesi gerekir. Buna karşılık böceğin humoral bağışıklığı, antifungal bileşikler ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) sentezini artırarak, ayrıca melanoz ve fagositoz gibi temel bağışıklık yanıtlarını harekete geçirerek enfeksiyona tepki verir (Zibae and Malagoli, 2014).

Böceklerde kapsülleme ve antimikrobiyal peptit üretimi gibi önemli savunma süreçlerinde melanin öne çıkar (Langfelder et al., 2003). Öte yandan, mantarlar savunma sistemine karşı koymak için süperoksit dismutaz (SOD) gibi enzimlerin üretimini yükselterek ROS etkisizleştirebilir (Xie et al., 2010). Örneğin, *B. bassiana*'nın sentezlediği oosporein adı verilen metabolit, profenoloksidazun (PO) fenoloksidaza (PPO) dönüşümünü ve Gal geninin ürettiği antifungal peptit Gallerimycin'in ifadesini engelleyerek böceğin bağışıklık tepkisini baskılar (Feng et al., 2015). Buna ek olarak, aynı mantarın MCL1 proteini, böcek hemolenfindeki hemosit hücrelerinden kaçabilmesini sağlayarak konağın savunma mekanizmalarını aşmasında rol oynar (Wang et al., 2021).

Böceklerde, omurgalılara benzer şekilde hem enzimatik hem de enzimatik olmayan savunma yolları bulunur. Enzimatik savunmanın temel öğelerini süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), glutatyon peroksidaz (GPx), glutatyon redüktaz (GR) ve glutatyon-S-transferaz (GST) enzimleri oluşturur (Krishnan et al., 2006). Bu mekanizmalar sayesinde böcekler, çevredeki zararlı maddeleri etkili şekilde dönüştürerek vücuttan uzaklaştırır ve böylece çeşitli çevresel stres faktörlerine başarıyla uyum sağlar (Wu et al., 2004). Bu enzimler, böcekleri sadece insektisitlerin, bitki kaynaklı kimyasalların veya entomopatojenik mikroorganizmaların zararlı etkilerinden korumakla kalmaz. Aynı zamanda, ksenobiyotik olarak değerlendirilen EPF enfeksiyonlarında da önemli rol oynar. Bu mantarlar, böceklerdeki detoksifikasyon enzimlerinin aktivitelerini azaltabilmekte veya tamamen engelleyebilmektedir (Serebrov et al., 2006).

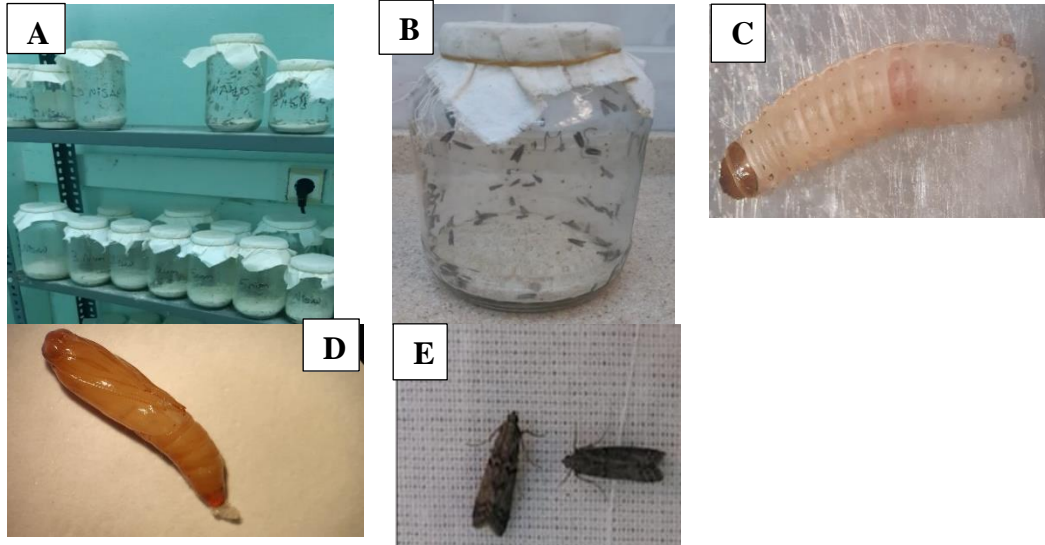
Pestisit kullanımını azaltmaya yönelik doğa dostu alternatiflerin araştırılması kapsamında, bu tezde fungus-böcek etkileşimine dayalı bir biyolojik kontrol potansiyeli ele alınmıştır. Çalışma kapsamında, *F. proliferatum* sporları ile indüklenen *E. kuehniella* larvalarının gelişim biyolojisi üzerindeki etkiler değerlendirilmiştir; bu veriler indüklenmemiş kontrol grubu ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, her iki gruba ait larvalardan elde edilen hemolenf örneklerinde antimikrobiyal aktivite düzeyleri analiz edilmiştir. Farklı konidyal süspansiyon konsantrasyonlarının etkileri 24 ve 48 saatlik zaman dilimlerinde incelenerek, fungusun larva fizyolojisi ve bağışıklık sistemi üzerindeki etkileri ortaya konmuştur. Bu çalışma, *F. proliferatum*'un doğrudan entomopatojen olmamakla birlikte, biyolojik mücadelede kullanılabilir potansiyele sahip olduğunu göstermesi açısından literatüre önemli katkılar sunmaktadır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1 Deneysel Ortamda Depo Zararlısı Böceklerin Üretilmesi

#### 2.1.1 *E. kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae)

Çalışma kapsamında biyolojik ajanların etkisinin incelenmesinde *Ephestia kuehniella* türü tercih edilmiştir. Araştırma laboratuvarımızda yer alan ve larva, pupa ve ergin evrelerini içeren çekirdek kültürler, laboratuvar stokları ve süksesif kültürlerin kaynağını oluşturmuştur (Şekil 2.1). Bu kültürlerden elde edilen dişi ve erkek ergin bireyler, her gün (hafta sonları hariç) çeşitli boyutlardaki cam kavanozlara aktarılmış ve ağızları hava sirkülasyonuna olanak sağlayacak şekilde bez ile kapatılmıştır. Beslenme ortamı için, buğday unu (%40), mısır unu (%20), arpa unu (%20) ve ince kepek (%20) kullanılarak dengeli bir karışım oluşturulmuştur. Kültürlerin tamamı, yaklaşık 26 °C sıcaklıkta, %65 civarında bağıl nemde ve 12:12 saatlik aydınlık-karanlık döngüsüne sahip sabit bir laboratuvar ortamında tutulmuştur. (Boz, 2013; Shakarami et al., 2015). Sıcaklık kontrolü, 9000 BTU kapasiteli klima ve termostatlı radyatör aracılığıyla sağlanırken; bağıl nem düzeyi, radyatörlerin yanına yerleştirilen içinde su olan kovalarla korunmuştur. Çalışma süresince sıcaklık ile nem düzeyleri, iç ve dış ortam koşullarını ölçebilen TFA 30.5013 model cihaz ve minimum–maksimum değerleri gösteren bir analog termometre yardımıyla düzenli olarak kontrol edilmiştir. (Usta, 2021).



**Şekil 2.1:** *Ephestia kuehniella*'nın kültür sürecine ait görseller a-b) İlk stok kültürleri ve ardışık (süksesif) üretim aşamaları, c) Larva dönemi, d) Pupa safhası, e) Erişkin (ergin) birey evresi

## 2.2 Fungus Kültürünün Hazırlanması

Fungus kültürlerinin elde edilmesinde besiyeri olarak, ticari kaynaklı Malt Ekstrakt Broth (kod: CM0057B) ve Oxoid firmasına ait Agar (kod: CM59) birlikte kullanılmıştır. Tespit sürecinde ise farklı amaçlara yönelik olarak çeşitli besiyerlerinden faydalanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan besiyerleri arasında; Millipore firmasına ait Czapek-Dox Agar (CDA; kod: 70185), Sabouraud Dextrose Agar (SDA; kod: 1.05438), Potato Dextrose Agar (PDA; kod: P6685), Oxoid kaynaklı Malt Extract Agar (MEA; kod: CM59), HiMedia üretimi Czapek Yeast Extract Agar (CYEA; kod: M1335) ile Merck tarafından sağlanan Yeast Extract Agar (YEA) bulunmaktadır. Bu besiyerleri, fungusun hem makroskopik hem de mikroskopik karakteristiklerinin değerlendirilmesinde ve konidial süspansiyon hazırlanmasında kullanılmıştır (Raper and Thom, 1949; Domsch et al., 1980; Samson et al., 1981). Bu çalışmada kullanılan fungal stok örneği, Balıkesir Üniversitesi'ne bağlı Mikrobiyoloji Laboratuvarı bünyesindeki Mantar Koleksiyonu'nda P4-EP19 numarasıyla kayıt altına alınmış ve MEA besiyerinde -20 °C'de derin dondurucuda saklanmıştır..

## 2.3 *F. proliferatum*'un Optimizasyonu

### 2.3.1 Fungus izolatu

Bu çalışmada kullanılan *F. proliferatum* izolatu, Balıkesir Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Mikrobiyoloji Laboratuvarı Mantar Herbaryumu'nda P4-EP19 kod numarası ile kayıtlıdır. İzolat, MEA ortamında hazırlanmış stok kültür olarak -20°C'de derin dondurucuda muhafaza edilmiştir.

### 2.3.2 Kültür ve ekim yöntemi

Optimizasyon çalışmaları için 3 nokta ekim yöntemi kullanılmıştır. Spor süspansiyonu steril koşullarda hazırlanmış, besiyerlerinin ortasına üçgen formunda üç ayrı noktaya inokülasyon yapılmıştır. Gelişim çapı ölçümleri, çapraz iki yönlü olarak cetvelle mm cinsinden kaydedilmiştir.

### 2.3.3 Besiyeri optimizasyonu

Farklı besiyerlerinin *F. proliferatum*'un gelişimi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 6 farklı hazır besiyeri kullanılmıştır: CDA, SDA, MEA, CYEA, PDA, YEA. Her bir besiyerine üç nokta ekim yöntemi ile inokülasyon yapılmış ve 28°C'de karanlık koşullarda inkübasyona bırakılmıştır. Koloni gelişimi 3., 5., 7., 10., 12. ve 14. günlerde çap ölçümüyle değerlendirilmiştir.

### **2.3.4 Sıcaklık optimizasyonu**

Sıcaklığın *F. proliferatum* gelişimi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 6 farklı besiyeri (CDA, SDA, MEA, CYEA, PDA ve YEA) kullanılmıştır. Her bir besiyerine üç nokta ekim yöntemi ile inokülasyon yapılmış ve kültürler 25°C, 28°C ve 30°C sıcaklıklarda karanlık koşullarda inkübasyona bırakılmıştır. Koloni gelişimi 3., 5., 7., 10., 12. ve 14. günlerde cetvel ile ölçülerek mm cinsinden kayıt altına alınmıştır. Bu veriler doğrultusunda optimum sıcaklık belirlenmiştir.

### **2.3.5 pH optimizasyonu**

En uygun sıcaklık (28°C) ve besiyeri (SDA) belirlendikten sonra, ortamın pH düzeyinin *F. proliferatum* gelişimine etkisi araştırılmıştır. SDA ortamı hazırlanırken pH değerleri 4, 5, 6, 7 ve 8 olacak şekilde ayarlanmıştır. Her bir pH düzeyi için bir petri kutusu hazırlanmış ve üç nokta ekim yöntemi uygulanmıştır. Kültürler 28°C’de karanlık koşullarda 14 gün süreyle inkübasyona bırakılmıştır. Gelişim yine 3., 5., 7., 10., 12. ve 14. günlerde çap ölçümüyle takip edilmiştir. Bu ölçümler doğrultusunda fungusun optimum pH düzeyi belirlenmiştir.

## **2.4 Klasik Tür Tanımlama Süreci**

### **2.4.1 Mikroskobik–makroskobik gözlemler**

Tanımlama aşamasında, steril petri kutularına üçlü nokta tekniğiyle inoküle edilen kültürler; CDA, MEA, PDA, CYA, YEA ve SDA gibi farklı besiyerleri üzerinde hazırlanmıştır. Aşılana kültürler, 28 °C’de 14 gün boyunca inkübasyona bırakıldı. Makroskobik değerlendirmeler kapsamında koloni çapı, üst yüzeyin rengi ve dokusu, koloni kokusu, alt yüzey rengi, zon oluşumu ve eksüda varlığı gibi morfolojik kriterler göz önünde bulunduruldu. Mikroskobik yapıların incelenmesinde ise; sporlar, fiyalidler, konidioforlar, konidyalar, kleistotheciumlar ve varsa eşeyli üremeye ait yapılar tespit edilmeye çalışıldı. Bu doğrultuda; yüzeysel örneklerin hazırlanmasında Larone (1995) tarafından tanımlanan şeffaf bant (Scotch tape) yöntemi ile Fujita’nın (2013) geliştirdiği lam ve lamel üzerine dayalı kültür tekniği kullanılmıştır. Şeffaf bant yönteminde mikroskobik örnekleme sırasında, lam üzerine Lactophenol Cotton Blue (Sigma, Aldrich) çözeltilisinden bir damla damlatılarak boyama işlemi gerçekleştirildi.

## 2.5 Konidial Süspansiyonların Hazırlanması

Fungus, 28 °C sıcaklıkta, MEA besiyerinde 14 gün süreyle inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresinin ardından gelişen koloni yüzeyine, %0.01 oranında Tween 20 içeren 10 mL'lik steril distile su ilave edilmiş; ardından cam çubuk kullanılarak yüzeyden nazikçe kazınan sporlar, bu sıvı içerisine aktarılmıştır. Elde edilen süspansiyon, miselyum ve agar kalıntılarından arındırmak amacıyla dört katlı steril gazlı bezden süzülerek 50 mL'lik steril tüplerde toplanmıştır (Şekil 2.2). Süspansiyondaki konidiyum sayısı, Thoma lamı üzerinde mikroskopik sayım yöntemiyle belirlenmiş; ardından gerekli dilüsyonlar hazırlanarak 1 mL süspansiyonda  $1 \times 10^9$  konidiyum olacak şekilde standartlaştırılmıştır (Fancelli et al., 2013).



Şekil 2.2: Konidi içerikli süspansiyonların elde edilmesi

## 2.6 *F. proliferatum* Doz Düzeylerinin Tanımlanması ve Uygulama Süreci

### 2.6.1 Konidial süspansiyon doz düzeylerinin tanımlanması ve uygulanması

Son dönem *E. kuehniella* larvalarına ( $25 \pm 4$  mg) yönelik uygulamalarda, *F. proliferatum* konidiyum süspansiyonlarından  $1 \times 10^7$  konidia/mL konsantrasyonunda hazırlanan tek dozluk çözelti, her bireyin toraks dorsal bölgesine mikropipet aracılığıyla 2  $\mu$ L olacak şekilde topikal olarak uygulanmıştır (Safavi et al., 2010). Konidiyum dozlarının larva gelişim biyolojisi üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla doz aralığını belirlemeye yönelik ön çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Fungal sporların olası toksik etkilerinin tespitine yönelik olarak, bir kontrol grubuna ek olarak  $1 \times 10^5$ ,  $1 \times 10^6$ ,  $1 \times 10^7$ ,  $1 \times 10^8$  ve  $1 \times 10^9$  konidia/mL olmak üzere beş farklı konsantrasyonda konidial süspansiyonlar hazırlanmış ve olgun larvaların dorsal yüzeyine 2  $\mu$ L'lik hacimde uygulanmıştır.

### **2.7 F. proliferatum'un E. kuehniella'nın Gelişim Biyolojisine Etkisi**

Farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış konidial süspansiyonlar ( $10^5$ ,  $10^6$ ,  $10^7$ ,  $10^8$  ve  $10^9$  konidia/mL), *E. kuehniella* larvalarına uygulandıktan sonra bireyler  $60 \times 15$  mm boyutlarında plastik petri kaplarına transfer edilmiştir. Bu petri kapları,  $65 \pm 5$  bağıl nem oranına ve  $26 \pm 2$  °C sıcaklığa ayarlanmış etüv cihazında, 12:12 saatlik ışık:karanlık (fotoperiyot) döngüsü altında inkübasyona bırakılmıştır. Uygulanan dozların larvaların gelişim biyolojisi üzerindeki etkilerini takip edebilmek amacıyla, uygulamadan sonraki 40 gün boyunca günlük olarak gözlem çizelgeleri oluşturulmuş ve veriler kaydedilmiştir.

#### **2.7.1 Koza örme süresi**

Farklı konidial süspansiyon dozları uygulanan deney grubu larvaları ile kontrol grubundaki larvalarda, bireylerin petri kaplarına alındıkları andan itibaren koza oluşumlarını tamamen tamamladıkları güne kadar geçen süre, “koza örme süresi” olarak kayıt altına alınmıştır. Her larvanın gelişim süreci her gün olarak teker teker izlenmiş ve bireysel değişimler düzenli şekilde takip edilmiştir.

#### **2.7.2 Puplaşma süresi**

Farklı konidial süspansiyon dozlarına maruz bırakılan deney grubu larvaları ile kontrol grubundaki bireylerde, larvaların petri kaplarına alındıkları andan pupa evresine geçiş yaptıkları güne kadar geçen süre, “puplaşma süresi” olarak kaydedilmiştir. Her bir larvanın gelişim süreci günlük olarak bireysel düzeyde izlenmiş ve değişimler düzenli şekilde kayıt altına alınmıştır.

#### **2.7.3 Pupal periyot**

Farklı konsantrasyonlardaki konidial süspansiyonlarla muamele edilmiş deney grubu ile kontrol grubundaki larvalarda, pupa evresinde geçirilen süre “pupal periyot” olarak tanımlanmış ve her bireyin gelişim süreci günlük olarak ayrı ayrı izlenmiştir.

#### **2.7.4 Ergin öncesi gelişim süresi**

Farklı konsantrasyonlardaki konidial süspansiyonların uygulandığı deney grubu ile kontrol grubundaki larvalarda, bireylerin ergin formuna ulaşmaya kadar geçen toplam süre “ergin öncesi gelişim süresi” olarak tanımlanmış ve bu süreç gün bazında kaydedilmiştir.

### **2.7.5 Ergin hayat uzunluğu**

Farklı konidial konsantrasyonlara tabi tutulan deneme grubu ile kontrol grubu bireyelerinin günlük gelişim seyri, her biri için sabit bir zaman diliminde düzenli olarak gözlemlenmiştir. Her bir bireyin ergin evreye geçişi ile ölüm anı arasındaki süreç “ergin yaşam süresi” olarak tanımlanmış ve bu sreye ilişkin veriler günlük olarak kaydedilmiştir.

### **2.7.6 Ağırlık**

Farklı konidial süspansiyon yoğunluklarına maruz bırakılan deney grubu bireyleri ile hiçbir uygulama yapılmamış kontrol grubundaki ergin bireyelerin ağırlıkları, yüksek hassasiyetli bir terazi yardımıyla ölçülmüş ve sonuçlar miligram (mg) olarak kayda geçirilmiştir.

### **2.7.7 üretilen yumurta miktarının tespiti**

Deney grubunda (farklı konidial süspansiyon konsantrasyonları uygulanmış) ve kontrol grubunda erginleşen dişi bireyeler tespit edildiğinde, yumurtlamayı teşvik etmek amacıyla petri kaplarına sarı renkli ve zikzak Şekilde katlanmış kâğıt parçaları yerleştirilmiştir. Dişi bireyelerin ömürleri boyunca bıraktıkları yumurtalar her gün aynı saatte sayılarak, günlük yumurta verimleri kayıt altına alınmıştır.

## **2.8 Hemolenfte Gözlenen Antibakteriyel zelliklerin Değerlendirilmesi**

### **2.8.1 Deneyde kullanılan bakteri suşları**

Antibakteriyel etkilerin belirlenmesi amacıyla Gram pozitif bakterilerden *Staphylococcus aureus* (ATTC 6538P); Gram negatif bakterilerden ise *Klebsiella pneumoniae* (CCM 26 2318) suşları kullanılmıştır. Tüm bu bakteriyel mikroorganizmalara ait stok kültürleri, Balıkesir Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Mikrobiyoloji Araştırma Laboratuvarı'nda muhafaza edilmektedir.

### **2.8.2 Hemolenfin toplanması**

Bu alışmada, *F. proliferatum* suşuna ait konidial süspansiyonun *E. kuehniella* larvaları üzerindeki olası etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla, laboratuvar koşullarında yetiştirilen larvalar kullanılmıştır. Deneysel uygulamalarda yalnızca  $1 \times 10^9$  konidia/mL yoğunluğunda hazırlanan konidial süspansiyon kullanılmıştır. Süspansiyonlar her deney öncesinde taze olarak hazırlanmış ve bekletilmeden bireyelerin toraks dorsal bölgesine mikropipet yardımıyla, topikal uygulama yöntemiyle damlatılmıştır. Uygulama sonrası larvalar, 60×15 mm boyutlarındaki plastik petri kaplarına alınmış ve  $26 \pm 2$  °C sıcaklık, %65 ± 5 bağlı nem

ve 12:12 saatlik aydınlık-karanlık döngüsüne sahip inkübasyon koşullarında tutulmuştur (Güner vd., 2023b). Uygulamadan 24 ve 48 saat sonra, bireylerin birinci arka bacak bölgesinden lanset yardımıyla açılan delik üzerinden hemolenf örnekleri toplanmıştır. Bu işlemde 5 µL kapasiteli mikrokapiler tüpler (Hirschmann) kullanılmıştır. Toplanan hemolenf örnekleri analiz süreci boyunca buz üzerinde tutulmuş; örneklerin melanizasyonunu engellemek amacıyla her bir eppendorf tüpüne Merck firmasının üretmiş olduğu 1-phenyl-2-thiourea maddesinden 0,001 gram (CAS No: 103-85-5) eklenmiştir (Zupko et al., 1993; Du et al., 2020; Radwan et al., 2022; Scieuzo et al., 2023). Kontrol grupları, işlem uygulanmamış larvalar ile PBS (phosphate buffered saline) solüsyonu ile muamele edilmiş 24 ve 48 saatlik bireylerden oluşturulmuştur. Tüm deneysel gruplarda hemolenf örnekleme, her biri 10 larvadan oluşan üç tekrar şeklinde ve farklı zamanlarda gerçekleştirilmiştir.

### **2.8.3 Disk difüzyon testleri**

Antibakteriyel aktivitenin kalitatif olarak değerlendirilmesinde disk difüzyon (Kirby-Bauer) yöntemi tercih edilmiş ve Mueller Hinton Agar (MHA, Merck) besiyeri kullanılmıştır. Uygulamalarda, 24 saat inkübe edilmiş bakteriyel kültürlerden 0,5 McFarland standardına uyumlu bulanıklıkta süspansiyonlar hazırlanmıştır (El-Saadony et al., 2021). Deney ve kontrol gruplarına ait hemolenf örneklerinden her biri, 6 mm çapındaki steril kâğıt disklerin (Oxoid, CT0998B) üzerine 10 µL hacminde emdirilmiştir. Hemolenf içeren diskler, bakteri süspansiyonu ile kaplanmış agar yüzeyine steril pens yardımıyla ve 2 cm aralıklarla yerleştirilmiştir. Ardından, petri kapları  $37 \pm 0,1$  °C sıcaklıkta 24 saat boyunca inkübasyona alınmıştır. İnkübasyonun sonunda oluşan inhibisyon zonlarının çapları milimetre (mm) cinsinden ölçülmüş ve bu ölçümler standart antibiyotik disklerinin oluşturduğu zonlarla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir (Marshall and Arenas, 2003). Pozitif kontroller olarak Sulfametaxozole trimethoprim (Oxoid, CT0052B/SXT-25 µg) ve Cephalothin (Oxoid, CT007B/KF-30 µg) kullanılırken; negatif kontrol grubunda PBS yer almıştır.

### 3. BULGULAR

#### 3.1 *E. kuehniella*'nın Gelişim Biyolojisi Çalışmaları

##### 3.1.1 Koza örme süresi

*E. kuehniella*'da farklı konsantrasyonlarda konidial süspansiyon uygulamasının koza örme süresine etkisi Tablo 3.1'de verilmektedir. Farklı *F. proliferatum* konidial süspansiyon dozlarının *E. kuehniella* larvalarının koza örme süresine etkisi değerlendirildiğinde, doz uygulanan gruplar ile kontrol ve PBS grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark belirlenmemiştir. Ortalama değerler incelendiğinde, en kısa koza örme süresi  $6.10 \pm 0.489$  gün ile  $10^5$  konidia/mL dozunda, en uzun süre ise  $7.30 \pm 0.632$  gün ile PBS grubunda gözlenmiştir. Doz grupları arasında gözlenen farklılıklara rağmen, aynı istatistiksel harf grubunda yer almaları bu varyasyonların anlamlı olmadığını göstermektedir. Bu sonuç, konidial süspansiyon uygulamalarının larvaların koza örme davranışı üzerinde belirgin bir değişikliğe neden olmadığını ortaya koymaktadır ( $F=0.594$ ;  $sd=6, 203$ ;  $p= 0.735$ ).

**Tablo 3.1:** *F. proliferatum*'un *E. kuehniella*'nın koza örme süresine etkisi

Doz	N	Koza Örme Süresi (Gün)	
		<i>E. kuehniella</i>	
		En az-En çok	$\bar{x} \pm SH^*$
Kontrol	30	2-19	7.22±0.798a
PBS	30	2-21	7.30±0.632a
$10^5$	30	2-15	6.10±0.489a
$10^6$	30	2-16	6.46±0.574a
$10^7$	30	2-14	6.23±0.572a
$10^8$	30	1-13	7.03±0.551a
$10^9$	30	2-17	6.70±0.674a

Sütun içerisindeki ortalamalar, benzer harf taşıdığına istatistiksel olarak birbirinden farklı kabul edilmemiştir ( $P>0,05$ ).  
N: Denemeye alınan birey sayısı; SH: Standart hata değeri.

##### 3.1.2 Puplaşma süresi

*E. kuehniella*'da farklı konsantrasyonlarda konidial süspansiyon uygulamasının puplaşma süresine etkisi Tablo 3.2'de verilmektedir. *F. proliferatum* konidial süspansiyonlarının *E. kuehniella* bireylerinin puplaşma süresi üzerine etkileri değerlendirildiğinde, farklı doz grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. En uzun ortalama puplaşma süresi kontrol grubunda ( $3.10 \pm 0.283$  gün) gözlenirken, en kısa süre  $10^5$

konidia/mL uygulamasında ( $2.03 \pm 0.114$  gün) belirlenmiştir.  $10^7$  konidia/mL grubunda da ortalama süre ( $2.20 \pm 0.074$  gün) düşük bulunmuş olup, bu değer istatistiksel olarak kontrol grubundan farklılık göstermiştir. Bununla birlikte, doz artışına bağlı olarak puplaşma süresinde bir azalma veya artış eğilimi gözlenmemiştir. Elde edilen veriler, bazı doz gruplarının puplaşma süresi üzerinde etkili olabileceğini ortaya koymaktadır ( $F=4.717$ ;  $sd=6, 203$ ;  $p=0.000$ ).

**Tablo 3.2:** *F. proliferatum*'un *E. kuehniella*'nın puplaşma süresine etkisi

Doz	N	Puplaşma Süresi (Gün)	
		<i>E. kuehniella</i>	
		En az-En çok	$\bar{x} \pm SH^*$
<b>Kontrol</b>	30	2-9	3.10±0.285a
<b>PBS</b>	30	1-9	3±0.318ab
<b>10<sup>5</sup></b>	30	2-5	2.23±0.114bc
<b>10<sup>6</sup></b>	30	2-3	2.23±0.078bc
<b>10<sup>7</sup></b>	30	2-3	2.20±0.074c
<b>10<sup>8</sup></b>	30	2-5	2.30±0.118bc
<b>10<sup>9</sup></b>	30	2-5	2.23±0.114bc

Sütun içerisindeki ortalamalar, benzer harf taşıdığına istatistiksel olarak birbirinden farklı kabul edilmemiştir ( $P>0,05$ ).  
N: Denemeye alınan birey sayısı; SH: Standart hata değeri.

### 3.1.3 Pupal periyot

*E. kuehniella* bireylerine uygulanan farklı konidial konsantrasyonların pupa dönemine olan etkilerine ilişkin bulgular Tablo 3.3'te sunulmuştur. Farklı *F. proliferatum* konidial dozlarının *E. kuehniella* bireylerinin pupal periyot süresi üzerindeki etkileri değerlendirildiğinde, uygulanan dozlara bağlı olarak ortalama sürelerde değişiklikler gözlenmiştir. En uzun pupal periyot süresi kontrol grubunda ( $10.73 \pm 0.383$  gün), en kısa ise  $10^5$  konidia/mL dozunda ( $9.36 \pm 0.340$  gün) ölçülmüştür. İstatistiksel analizler sonucunda, kontrol grubu ile  $10^5$  konidia/mL grubu arasında anlamlı fark olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bazı konidial konsantrasyonların pupal periyot süresini etkileyebileceğini göstermektedir; ancak genel olarak doz artışına paralel bir etki gözlenmemiştir ( $F=2.045$ ;  $sd=6, 203$ ;  $p=0.061$ ).

**Tablo 3.3:** *F. proliferatum*'un *E. kuehniella*'nın pupal periyot süresine etkisi

Doz	N	Pupal Periyot (Gün)	
		En az-En çok	$\bar{x} \pm SH^*$
<b>Kontrol</b>	30	6-14	10.73±0.383a
<b>PBS</b>	30	4-16	9.60±0.433ab
<b>10<sup>5</sup></b>	30	4-14	9.36±0.340b
<b>10<sup>6</sup></b>	30	7-14	9.96±0.255ab
<b>10<sup>7</sup></b>	30	7-12	9.73±0.203ab
<b>10<sup>8</sup></b>	30	7-12	9.60±0.195ab
<b>10<sup>9</sup></b>	30	7-14	10.03±0.297ab

Sütun içerisindeki ortalamalar, benzer harf taşıdığına istatistiksel olarak birbirinden farklı kabul edilmemiştir (P>0,05).  
N: Denemeye alınan birey sayısı; SH: Standart hata değeri.

### 3.1.4 Erginleşme süresi

*E. kuehniella*'da farklı konsantrasyonlarda konidial süspansiyon uygulamasının erginleşme süresine etkisi Tablo 3.4'de verilmektedir. Farklı *F. proliferatum* konidial dozlarının *E. kuehniella* bireylerinin erginleşme süresi üzerindeki etkileri incelendiğinde, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlenmiştir. En uzun erginleşme süresi kontrol grubunda ( $13.83 \pm 0.395$  gün) belirlenirken, en kısa süre  $10^5$  konidia/mL dozunda ( $11.60 \pm 0.273$  gün) tespit edilmiştir. Kontrol grubu ile PBS ve tüm uygulama grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur. Ancak, dozlar arasında erginleşme süresinde düzenli bir artış veya azalma eğilimi gözlenmemiştir. Bu durum, konidial süspansiyon uygulamasının gelişim süresini kısaltabileceğini, ancak bu etkinin doza bağlı olarak tutarlı bir şekilde artmadığını göstermektedir (F=7.520; sd=6, 203; p=0.000).

**Tablo 3.4:** *F. proliferatum*'un *E. kuehniella*'nın erginleşme süresine etkisi

Doz	N	Erginleşme Süresi (Gün)	
		En az-En çok	$\bar{x} \pm SH^*$
<b>Kontrol</b>	30	10-18	13.83±0.395a
<b>PBS</b>	30	9-18	12.60±0.290b
<b>10<sup>5</sup></b>	30	9-16	11.60±0.273b
<b>10<sup>6</sup></b>	30	10-16	12.20±0.236b
<b>10<sup>7</sup></b>	30	10-14	11.93±0.203b
<b>10<sup>8</sup></b>	30	10-14	11.90±0.161b
<b>10<sup>9</sup></b>	30	10-16	12.26±0.248b

Sütun içerisindeki ortalamalar, benzer harf taşıdığı anda istatistiksel olarak birbirinden farklı kabul edilmemiştir (P>0,05).  
N: Denemeye alınan birey sayısı; SH: Standart hata değeri.

### 3.1.5 Ergin yaşam süresi

Farklı konidial süspansiyon seviyelerinin *E. kuehniella*'nın ergin dönem süresine etkisi Tablo 3.5'te sunulmuştur. Farklı *F. proliferatum* konidial dozlarının *E. kuehniella* bireylerinin ergin yaşam süresi üzerindeki etkileri incelendiğinde, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar tespit edilmiştir. En kısa yaşam süresi PBS grubunda ( $6.53 \pm 0.620$  gün), en uzun ise  $10^5$  konidia/mL dozunda ( $11.63 \pm 0.758$  gün) gözlenmiştir.  $10^5$ ,  $10^6$  ve  $10^7$  konidial dozları, kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha uzun yaşam süresi sağlamıştır. Diğer doz grupları kontrol ile aynı harf grubunda yer almakta olup, aralarındaki farklar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bu sonuçlar, bazı konidial uygulamaların bireylerin yaşam süresini uzatabileceğini, ancak bu etkinin doza bağlı olarak düzenli bir eğilim göstermediğini ortaya koymaktadır (F=7.056; sd=6, 203; p=0.000).

**Tablo 3.5:** *F. proliferatum*'un *E. kuehniella*'nın ergin yaşam süresine etkisi

Doz	N	Ergin Yaşam Süresi (Gün)	
		En az-En çok	$\bar{x} \pm SH^*$
<b>Kontrol</b>	30	2-14	9.16±0.641ab
<b>PBS</b>	30	2-12	6.53±0.620b
<b>10<sup>5</sup></b>	30	2-21	11.63±0.758a
<b>10<sup>6</sup></b>	30	4-21	11.40±0.781a
<b>10<sup>7</sup></b>	30	2-17	11.13±0.631a
<b>10<sup>8</sup></b>	30	3-18	9.13±0.642ab
<b>10<sup>9</sup></b>	30	3-18	10±0.619a

Sütun içerisindeki ortalamalar, benzer harf taşıdığına istatistiksel olarak birbirinden farklı kabul edilmemiştir (P>0,05).  
N: Denemeye alınan birey sayısı; SH: Standart hata değeri.

### 3.1.6 Ergin ağırlığı

*E. kuehniella*'da farklı konsantrasyonlarda konidial süspansiyon uygulamasının ergin ağırlığına etkisi Tablo 3.6'da verilmektedir. *F. proliferatum* konidial süspansiyonlarının *E. kuehniella* ergin bireylerinin ağırlığı üzerine etkileri değerlendirildiğinde, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. En düşük ortalama ağırlık PBS grubunda ( $9.40 \pm 0.320$  mg), en yüksek ise  $10^5$  konidia/mL dozunda ( $15.01 \pm 0.805$  mg) ölçülmüştür.  $10^5$ ,  $10^6$ ,  $10^7$  ve  $10^9$  konidial dozları, kontrol grubuna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek ergin ağırlığına yol açmıştır.  $10^8$  dozu ise kontrol grubu ile istatistiksel olarak benzerlik göstermektedir. Bu bulgular, belirli dozlarda uygulanan konidial süspansiyonların ergin bireylerde morfolojik gelişimi destekleyebileceğini göstermektedir. Ancak, doz artışına bağlı olarak ağırlıkta düzenli bir artış eğilimi gözlenmemiştir (F=7.800; sd=6, 203; p=0.000).

**Tablo 3.6:** *F. proliferatum*'un *E. kuehniella*'nın ergin ağırlığına etkisi

Doz	N	Ergin Ağırlığı (mg)	
		En az-En çok	$\bar{x} \pm SH^*$
<b>Kontrol</b>	30	2.90-17	10.06±0.579a
<b>PBS</b>	30	5-13	9.40±0.320a
<b>10<sup>5</sup></b>	30	6.80-22.80	15.01±0.802b
<b>10<sup>6</sup></b>	30	5.80-26.20	13.23±0.897b
<b>10<sup>7</sup></b>	30	4.70-21.60	13.15±0.839b
<b>10<sup>8</sup></b>	30	5.20-23	11.99±0.808ab
<b>10<sup>9</sup></b>	30	8-21.20	13.97±0.720b

Sütun içerisindeki ortalamalar, benzer harf taşıdığına istatistiksel olarak birbirinden farklı kabul edilmemiştir (P>0,05).  
N: Denemeye alınan birey sayısı; SH: Standart hata değeri.

### 3.1.7 Üretilen yumurta miktarı

*E. kuehniella*'ya uygulanan farklı konidial dozların yumurta üretimine etkisine dair bulgular Tablo 3.7'de sunulmuştur. *F. proliferatum*'un farklı konidial süspansiyon dozlarının *E. kuehniella* bireylerinin yumurta bırakma kapasitesi üzerindeki etkileri değerlendirildiğinde, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir. Ortalama yumurta sayısı en düşük kontrol grubunda ( $30.16 \pm 7.490$ ), en yüksek ise  $10^5$  konidia/mL dozunda ( $57.96 \pm 10.417$ ) gözlenmiştir. Ancak, tüm gruplar aynı istatistiksel harf grubunda (a) yer aldığından, bu farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmemiştir. Bu durum, konidial süspansiyon uygulamalarının *E. kuehniella*'nın toplam yumurtlama miktarı üzerinde belirgin bir etkisi olmadığını göstermektedir (F=1.440; sd=6, 203; p=0.201).

**Tablo 3.7:** *F. proliferatum*'un *E. kuehniella*'nın üretilen yumurta miktarına etkisi

Doz	N	Üretilen yumurta miktarı	
		<i>E. kuehniella</i>	
		En az-En çok	$\bar{x} \pm SH^*$
<b>Kontrol</b>	30	0-204	30.16±7.490a
<b>PBS</b>	30	0-163	36.20±7.007a
<b>10<sup>5</sup></b>	30	0-202	57.96±10.417a
<b>10<sup>6</sup></b>	30	0-175	53.66±9.742a
<b>10<sup>7</sup></b>	30	0-138	46.70±8.098a
<b>10<sup>8</sup></b>	30	0-160	41.33±7.870a
<b>10<sup>9</sup></b>	30	0-220	56.70±10.923a

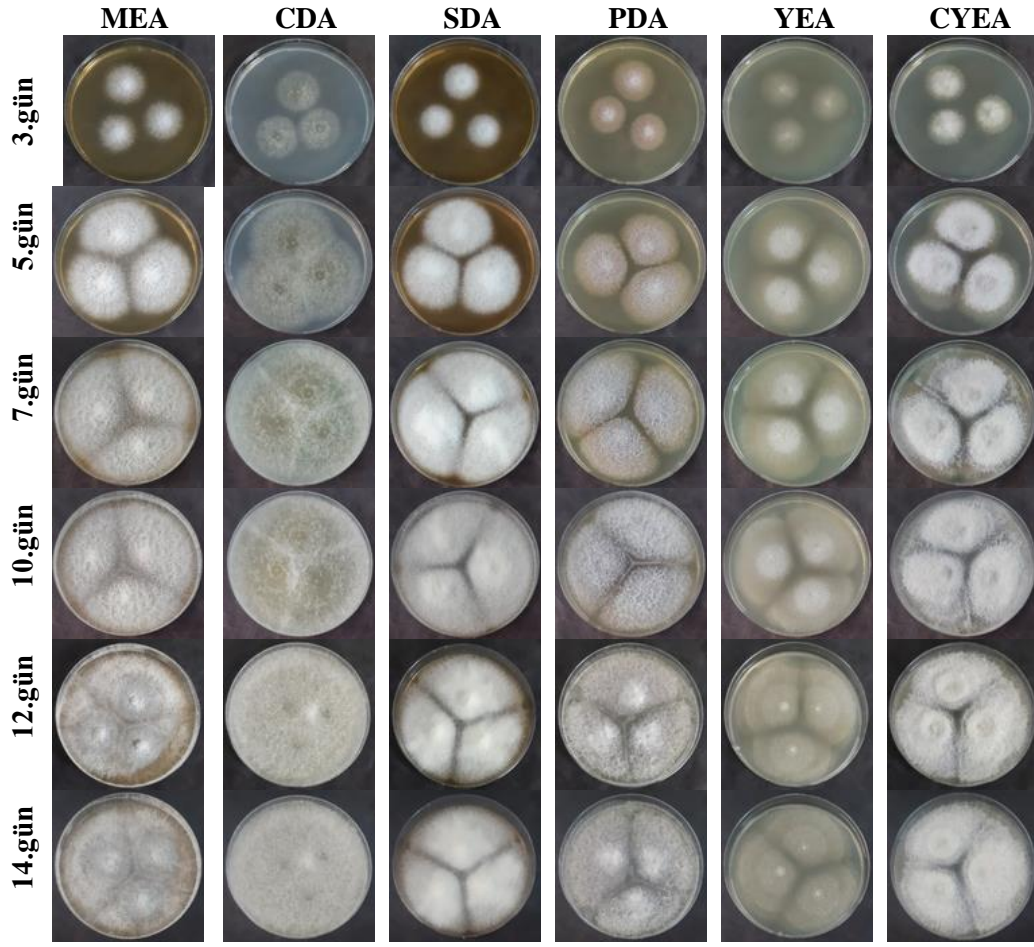
Sütun içerisindeki ortalamalar, benzer harf taşıdığına istatistiksel olarak birbirinden farklı kabul edilmemiştir (P>0,05).  
N: Denemeye alınan birey sayısı; SH: Standart hata değeri.

### 3.2 *F. proliferatum*'un Kültürel Gelişim Koşullarının Belirlenmesi

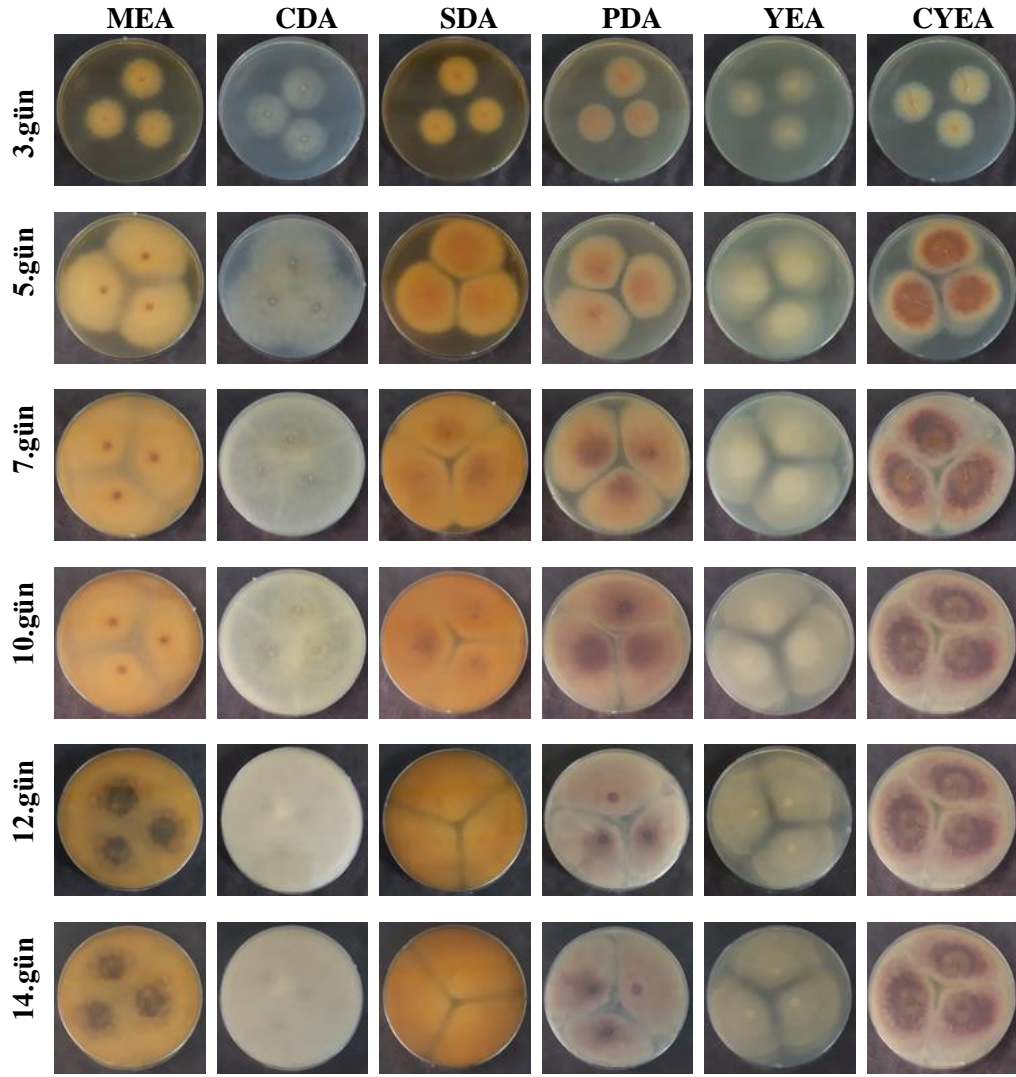
Bu bölümde, çalışmanın ilk aşamasını oluşturan *F. proliferatum* suşunun kültürel gelişim performansı değerlendirilmiştir. Gelişim ortamlarının optimizasyonuna yönelik olarak farklı besiyeri tipleri (PDA, SDA, CDA, MEA, YEA ve CYEA), üç farklı sıcaklık derecesi (25 °C, 28 °C ve 30 °C) ve beş farklı pH seviyesi (pH 4, 5, 6, 7 ve 8) kullanılmıştır. Her besiyeri ve sıcaklık kombinasyonunda, 3., 5., 7., 10., 12. ve 14. günlerde koloni çapı ölçümleri yapılarak gelişim hızı takip edilmiştir. Ayrıca, sabit ortam koşullarında farklı pH seviyelerinde gelişim durumu karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda, *F. proliferatum* suşunun optimum gelişim gösterdiği besiyeri, sıcaklık ve pH koşulları belirlenmiştir.

#### 3.2.1 Farklı besiyeri ve sıcaklık koşullarında koloni gelişimi

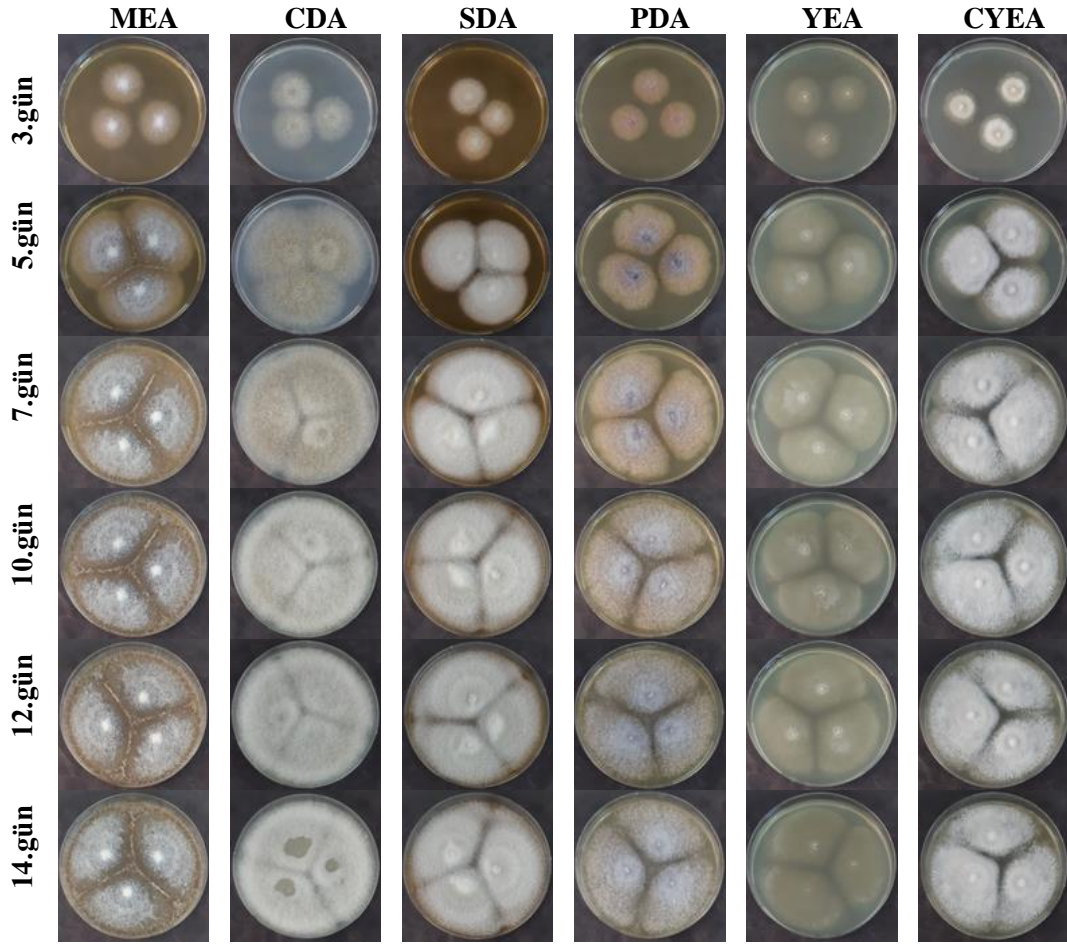
Bu bölümde, *F. proliferatum* suşunun farklı besiyeri ve sıcaklık koşullarında gösterdiği koloni gelişimi değerlendirilmiştir. Koloni çapları, 25 °C, 28 °C ve 30 °C sıcaklıklarda; PDA, SDA, MEA, YEA, CDA ve CYEA besiyerlerinde 3., 5., 7., 10., 12. ve 14. günlerde ölçülmüştür. Gelişim takibine ek olarak, morfolojik özellikler de gözlemlenmiş; koloni rengi, dokusu, pigment üretimi ve eksüda oluşumu kayıt altına alınmıştır. Kolonilerin hem üstten hem de alttan görünümüleri fotoğraflanarak belge haline getirilmiştir. Her sıcaklık derecesi için tüm besiyerlerinde morfolojik ve kantitatif veriler birlikte değerlendirilmiş, buna göre optimum gelişim ortamı belirlenmiştir.



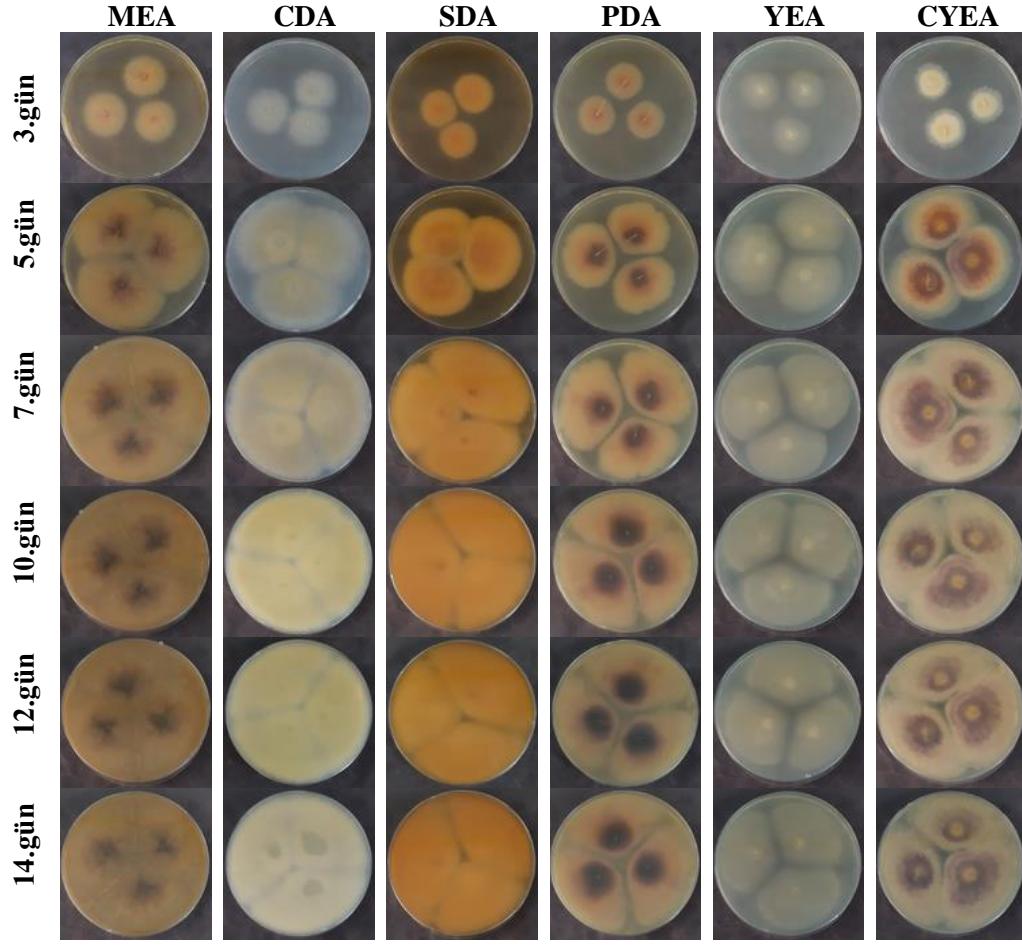
Şekil 3.1: 25 °C sıcaklıkta farklı besiyeri ortamlarında geliştirilen *F. proliferatum* kolonilerinin yüzey morfolojisine üstten bakış



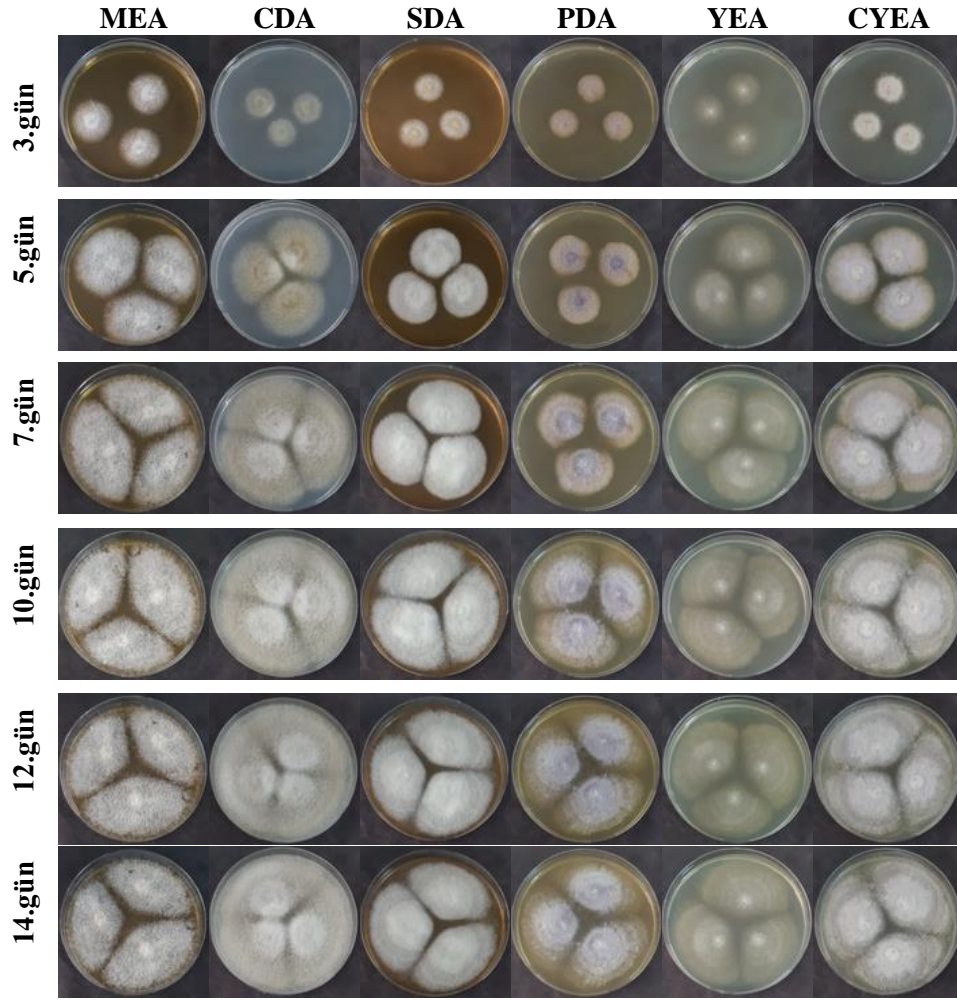
Şekil 3.2: 25 °C sıcaklıkta farklı besiyeri ortamlarında geliştirilen *F. proliferatum* kolonilerinin yüzey morfolojisine alttan bakış



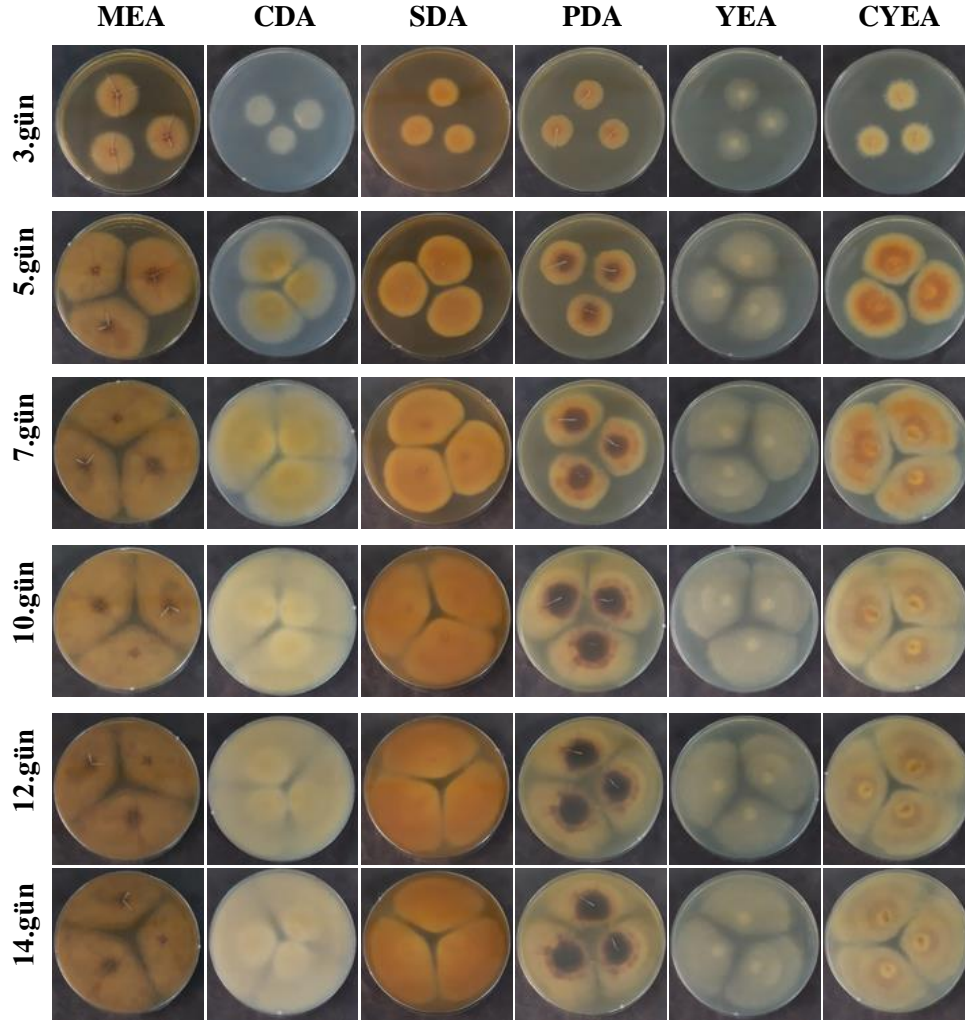
Şekil 3.3: 28 °C sıcaklıkta farklı besiyeri ortamlarında geliştirilen *F. proliferatum* kolonilerinin yüzey morfolojisine üstten bakış



Şekil 3.4: 28 °C sıcaklıkta farklı besiyeri ortamlarında geliştirilen *F. proliferatum* kolonilerinin yüzey morfolojisine alttan bakış



Şekil 3.5: 30 °C sıcaklıkta farklı besiyeri ortamlarında geliştirilen *F. proliferatum* kolonilerinin yüzey morfolojisine üstten bakış



**Şekil 3.6:** 30 °C sıcaklıkta farklı besiyeri ortamlarında geliştirilen *F. proliferatum* kolonilerinin yüzey morfolojisine alttan bakış

Petri kutularında 3, 5, 7, 10, 12 ve 14. günlerde üstten ve alttan görüntülenen koloni gelişimleri, görsel olarak değerlendirilmiştir. Ancak ortam ve sıcaklık koşullarının *F. proliferatum* üzerindeki etkisini daha objektif biçimde ortaya koymak amacıyla, farklı kombinasyonlarda oluşan koloni çapları da ölçülmüş ve tablo halinde sunulmuştur. Bu sayede, hem görsel hem sayısal veriler birlikte değerlendirilerek optimal gelişim koşulu belirlenmiştir.

**Tablo 3.8:** *F. Proliferatum* 'un farklı besiyerler (SDA,PDA,CDA,MEA,YEA,CYEA) kullanılarak 25 C' de farklı günlerde (3, 5, 7, 10, 12 ve 14) kolonilerin ölçüleri (mm)

Besiyeri	SDA	PDA	CDA	MEA	YEA	CYEA
Sıcaklık	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C	25 °C
3. gün	30-30-31	27-28-28	30-31-32	30-31-31	25-26-28	29-29-29
5. gün	41-42-43	37-38-40	41-43-44	42-43-45	37-39-40	40-43-44
7. gün	41-43-44	41-43-45	45-45-46	42-43-45	37-42-46	40-44-46
10. gün	41-44-46	42-45-45	45-45-46	42-44-45	38-42-48	40-44-48
12. gün	42-44-46	42-45-45	45-45-46	43-44-45	39-42-48	40-44-48
14. gün	42-44-46	42-45-45	45-45-46	42-44-45	39-42-48	40-44-48

**Tablo 3.9:** *F. Proliferatum* 'un farklı besiyerler (SDA,PDA,CDA,MEA,YEA,CYEA) kullanılarak 28 C' de farklı günlerde (3, 5, 7, 10, 12 ve 14) kolonilerin ölçüleri (mm)

Besiyeri	SDA	PDA	CDA	MEA	YEA	CYEA
Sıcaklık	28 °C	28 °C	28 °C	28 °C	28 °C	28 °C
3. gün	27-28-28	25-25-26	27-27-28	28-28-28	27-28-28	24-24-25
5. gün	42-42-44	33-36-36	37-38-38	41-42-42	39-41-42	36-37-38
7. gün	44-44-45	39-40-41	41-43-45	41-42-42	39-41-44	38-43-44
10. gün	44-44-46	42-43-44	41-43-45	42-43-43	39-43-45	42-44-44
12. gün	44-44-46	42-43-44	41-43-45	42-43-43	39-43-45	42-44-44
14. gün	44-44-46	42-43-44	41-43-45	42-43-43	39-43-45	42-44-44

**Tablo 3.10:** *F. Proliferatum*'un farklı besiyerler (SDA,PDA,CDA,MEA,YEA,CYEA) kullanılarak 30 C' de farklı günlerde (3, 5, 7, 10, 12 ve 14) kolonilerin ölçüleri (mm)

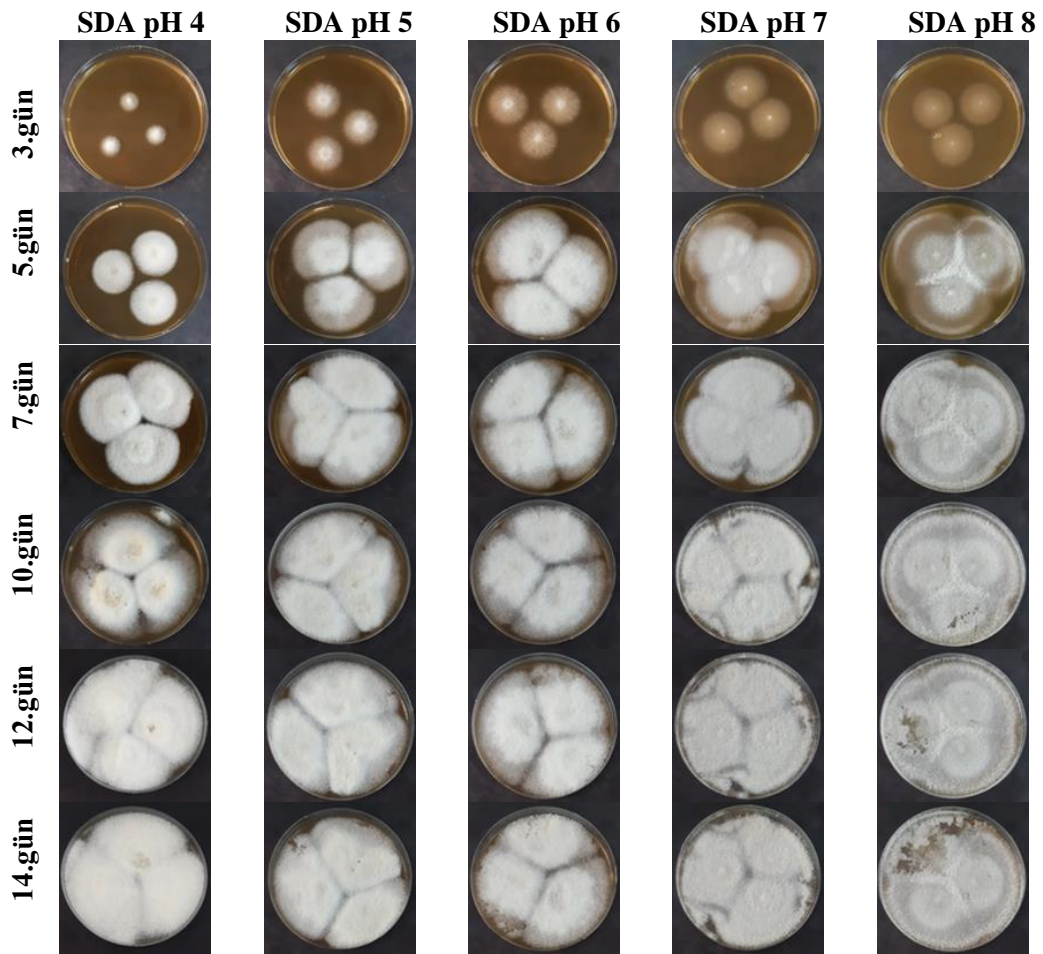
Besiyeri	SDA	PDA	CDA	MEA	YEA	CYEA
Sıcaklık	30 °C	30 °C	30 °C	30 °C	30 °C	30 °C
3. gün	22-23-23	19-20-21	21-22-22	22-23-23	22-23-23	21-22-23
5. gün	33-33-34	28-28-29	38-38-38	36-37-37	35-35-35	35-36-36
7. gün	37-37-38	36-37-37	42-42-45	42-43-44	39-39-40	39-42-43
10. gün	41-41-42	39-43-44	42-43-45	43-43-45	40-42-42	40-42-45
12. gün	42-43-43	40-44-44	42-43-45	43-44-46	42-43-43	40-42-45
14. gün	42-43-43	40-44-44	42-43-45	43-44-46	42-43-43	40-42-45

28 °C sıcaklıkta, özellikle SDA besiyerinde koloni çapları erken dönemden itibaren yüksek değerlere ulaşmış; 5. günde 42–44 mm, 7. günde ise 45 mm'ye kadar ilerlemiştir. Ayrıca 10., 12. ve 14. günlerde bu büyüklük korunmuş, çap değerleri stabil seyretmiştir (46 mm'ye kadar). Bu durum, yalnızca hızlı değil aynı zamanda istikrarlı bir gelişim sağlandını da göstermektedir.

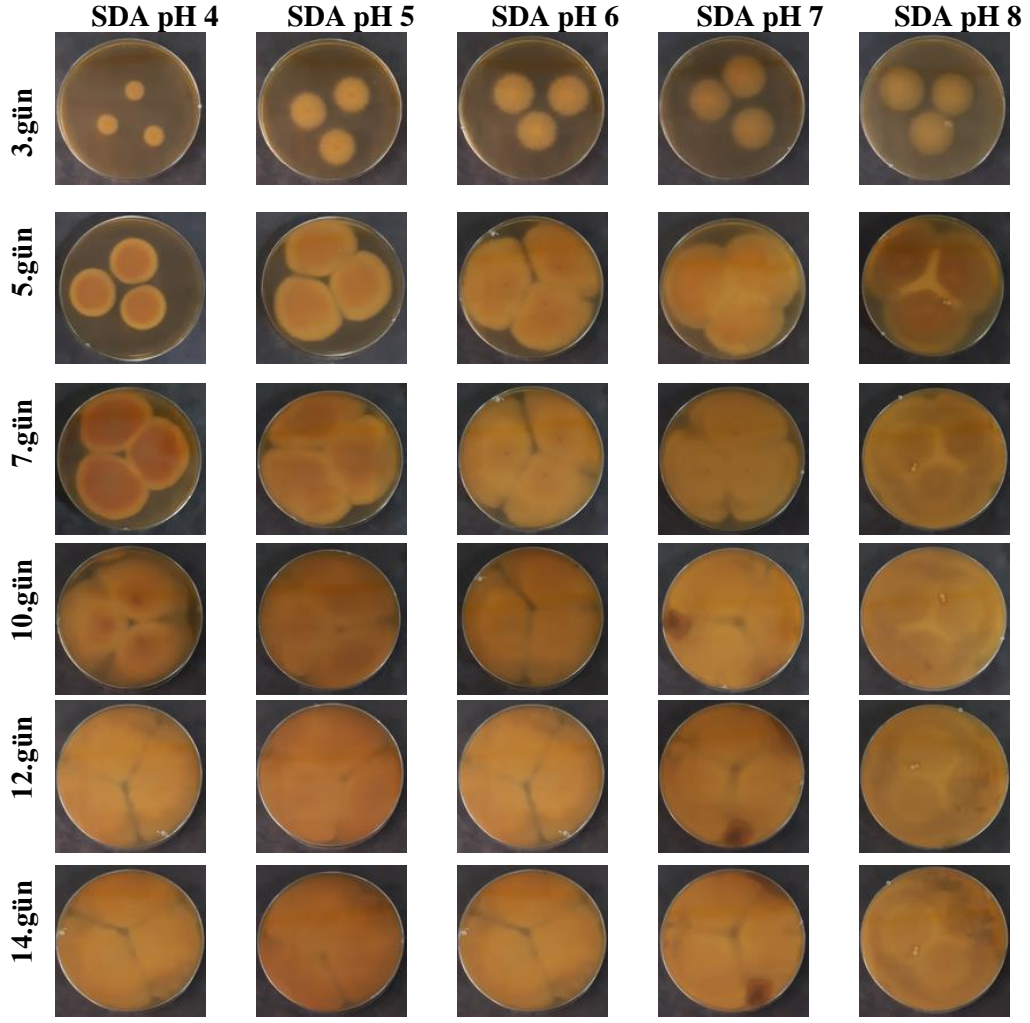
Görsel incelemelerde ise SDA ortamında koloni dokusunun homojen, rengi tipik ve yayılımının simetrik olduğu gözlemlenmiştir. Diğer besiyerleriyle kıyaslandığında, MEA ve PDA gibi ortamlar başlangıçta hızlı gelişim gösterse de koloni kenarlarında düzensizlikler ve pigment fazlalığı gözlemlenmiştir. 30 °C sıcaklıkta ise çaplar benzer seviyede olmasına rağmen bazı ortamlar (örneğin CDA, MEA) görsel olarak düzensiz ve baskılanmış koloni dokusu göstermiştir. Bunun yanı sıra, 28 °C'deki SDA ortamında gelişen kolonilerin sadece çap açısından değil, aynı zamanda yükseklik açısından da belirgin şekilde fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, mantarın biyokütle üretiminin de bu koşulda daha yoğun olduğunu göstermektedir. Tüm bu veriler birlikte değerlendirildiğinde, hem kantitatif gelişim (koloni çapı ve yüksekliği) hem de morfofizyolojik özellikler açısından *F. proliferatum* suşu için en uygun kültür koşulu 28 °C sıcaklık ve SDA besiyeri olarak belirlenmiştir.

### 3.2.2 Farklı pH Koşullarında Koloni Gelişimi

Sabit sıcaklık (28 °C) ve besiyeri (SDA) koşulları altında, farklı pH düzeylerinde (pH 4, 5, 6, 7 ve 8) koloni gelişim performansı hem görsel hem de kantitatif olarak takip edilmiştir. Gelişimin objektif biçimde değerlendirilmesi amacıyla, 3., 5., 7., 10., 12. ve 14. günlerde koloni çapları ölçülmüş; aynı günlerdeki petri kutusu görüntüleri görsel karşılaştırma amacıyla kayıt altına alınmıştır. Bu veriler doğrultusunda *F. proliferatum* için optimum pH koşulu belirlenmiştir.



Şekil 3.7: *F. proliferatum*'un SDA besiyerinde, 28 °C'de farklı pH seviyelerinde gösterdiği koloni gelişimlerinin üstten görünümü (3., 5., 7., 10., 12. ve 14. günler)



**Şekil 3.8:** *F. proliferatum*'un SDA besiyerinde, 28 °C'de farklı pH seviyelerinde gösterdiği koloni gelişimlerinin alttan görünümü (3., 5., 7., 10., 12. ve 14. günler)

**Tablo 3.11:** *F. proliferatum*'un 28 °C'de, SDA besiyerinde farklı pH seviyelerinde gösterdiği koloni çapları (mm)

Gün/pH	pH4	pH5	pH6	pH7	pH8
3. gün	15-16-16	27-28-30	29-30-30	31-31-31	31-32-32
5. gün	28-31-31	36-40-41	37-44-44	38-42-42	38-41-44
7. gün	38-41-41	36-46-49	37-44-45	38-42-44	39-42-44
10. gün	40-43-44	36-46-49	37-44-46	38-42-44	39-42-44
12. gün	40-43-44	36-46-49	37-45-46	38-42-44	39-42-44
14. gün	40-43-44	36-46-49	37-45-46	38-42-44	39-42-44

Yapılan kültürel değerlendirmeler sonucunda, *F. proliferatum* suşunun SDA besiyerinde, farklı pH seviyelerinde gösterdiği gelişim performansı hem görsel hem de kantitatif olarak analiz edilmiştir. Ölçüm verilerine göre, pH 8 ortamı tüm günlerde yüksek koloni çapı değerleri göstermiş; özellikle 3. günden itibaren hızlı bir büyüme eğilimi sergileyerek 14. gün sonunda çapların 44 mm'ye kadar ulaştığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, petri kutularında yapılan görsel gözlemlerde pH 8'de gelişen kolonilerin yayılımı düzgün, kenarları simetrik ve pigment üretimi dengeli bulunmuştur. Buna karşılık pH 4 ortamında gelişim oldukça sınırlı kalmıştır. pH 5–7 arasında da çap değerleri yüksek olmakla birlikte görsel olarak pH 8'deki kadar homojen bir yayılım izlenmemiştir.

Tüm bu veriler doğrultusunda, 28 °C sıcaklıkta ve SDA besiyerinde, *F. proliferatum* suşunun optimum gelişim gösterdiği pH değeri pH 8 olarak belirlenmiştir.

### **3.3 *F. proliferatum*'un Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi**

Sabouraud Dekstroz Agar besiyerinde 28 °C'de inkübe edilen *F. proliferatum* kolonileri, düzgün sınırlı ve dairesel yapıda gelişim göstermiştir. Koloni yüzeyi pamuksu dokuda olup, merkezden çevreye doğru yayılım gösteren homojen bir yapı sergilemektedir. Renk dağılımı beyazdan açık krem tonlarına doğru geçişlidir. Koloni merkezinde daha yoğun bir misel yığını gözlemlenmiş; kenarlara doğru bu yapı incelmış ve yayılma eğilimi artmıştır. Kolonilerin alt görünümünde ise belirgin şekilde turuncumsu pigmentasyon dikkat çekmiştir. Eksüda oluşumu gözlenmemiştir veya oldukça sınırlı düzeyde kalmıştır.

Czapec Dox Agar besiyerinde 28 °C'de inkübe edilen *F. proliferatum* kolonileri, düzenli sınırlı, dairesel ve yoğun pamuksu bir dokuya sahiptir. Koloni yüzeyi homojen olup, dış kenarlardan merkez bölgeye doğru yoğunlaşan bir yapı gözlenmiştir. Renk dağılımı, kenarlardan merkeze doğru beyazdan açık krem tonlarına geçiş göstermektedir. Alt görünümünde ise koloni tabanı, dış bölgelerde beyaz-krem renkte başlayıp merkeze doğru aynı tonlarda ancak daha yoğun olarak ilerleyen bir görünüm sunmuştur. Pigment üretimi gözlenmemiş, koloni yüzeyi mat ve kompakt bir doku sergilemiştir. Eksüda oluşumu gözlenmemiştir. Koloni genel olarak yavaş fakat düzenli bir yayılım göstermiştir.

Patates Dekstroz Agar besiyerinde 28 °C'de inkübe edilen *F. proliferatum* kolonileri dairesel, düzgün sınırlı ve belirgin pamuksu yüzey dokusuna sahiptir. Koloninin renk dağılımı merkezden kenara doğru değişkenlik göstermektedir. Kenarlarda beyazdan açık

pembe tonlarına geçiş gözlenirken, merkez bölgede ise lila tonları hâkimdir. Yüzey yayılımı homojen olup, kenarlardan merkeze doğru giderek artan bir yoğunluk sergilemektedir. Koloninin alt görünümünde ise dış kenarlarda açık mor tonları gözlenmiş, merkez bölgede bu renk koyu mora dönüşerek yer yer beyaz tonlarla iç içe geçmiştir. Bu renk farklılıkları, PDA ortamındaki pigment üretiminin merkezi odaklı arttığını düşündürmektedir. Eksüda oluşumu sınırlıdır ve koloni yüzeyi genel olarak mat bir görünüm sergilemiştir.

Malt Ekstrakt Agar besiyerinde 28 °C'de inkübe edilen *F. proliferatum* kolonileri, düzgün sınırlı ve dairesel formda gelişmiş olup yüzeyi belirgin pamuksu dokudadır. Koloni renk dağılımı, kenardan merkeze doğru beyazdan açık krem tonlarına geçiş göstermektedir. Merkez bölgede daha yoğun krem renkli bir yapı gözlemlenmiş ve bu bölge hafif kabarık görünüm kazanmıştır. Koloni alt yüzeyinde, dış kenarlardan merkeze doğru ilerleyen belirgin bir renk geçişi mevcuttur. Bu geçiş, açık turuncudan koyu turuncu ve kahverengi tonlarına doğru ilerlemekte olup özellikle koloni merkezinde pigment yoğunluğu artmaktadır. Eksüda oluşumu gözlenmemiştir. MEA ortamında koloni yayılımı dengeli, ancak diğer ortamlara kıyasla merkezde daha belirgin bir kabarıklık sergilemiştir.

Czapek Yeast Extract Agar besiyerinde 28 °C'de inkübe edilen *F. proliferatum* kolonileri, düzgün sınırlı ve pamuksu doku yapısında gözlenmiştir. Koloni renk dağılımı kenarlardan merkeze doğru beyazdan açık krem tonlarına geçiş göstermektedir. Merkez bölgede krem rengi daha yoğun ve belirgin olarak izlenmiş; bu bölge aynı zamanda daha kabarık ve yoğun bir yapı sergilemiştir. Koloni genelinde, merkezden kenarlara doğru azalan yoğunlukta, homojen bir yayılım gözlemlenmiştir. Koloni alt yüzeyinde ise dış kenarlarda kırık beyaz renk hâkimken, merkez bölgede belirgin mor tonları dikkat çekmiştir. Bu durum, pigment üretiminin koloni merkezinde lokalize olduğunu göstermektedir. CYEA ortamında koloni gelişimi istikrarlı seyretmiş, özellikle merkez yoğunluğu ile dikkat çekmiştir. Eksüda oluşumu gözlenmemiştir.

Yeast Extract Agar besiyerinde 28 °C'de inkübe edilen *F. proliferatum* kolonileri, gelişim açısından diğer ortamlara kıyasla daha yavaş yayılım göstermiştir. Koloni yüzeyi pamuksu yapıda olup, dairesel ve düzgün sınırlı bir görünüm sergilemiştir. Renk dağılımı, kenarlardan merkeze doğru beyazdan açık krem tonlarına geçmekte olup, merkez bölge daha belirgin bir yoğunlukla gözlenmiştir. Alt görünümde pigment üretimi oldukça sınırlı olup koloni tabanı genel olarak açık krem-beyaz tonlarında kalmıştır. Eksüda oluşumu gözlenmemiştir. YEA

ortamında koloni yayılımı istikrarlı fakat zayıf olup, *F. proliferatum*'un bu ortamda sınırlı gelişim potansiyeline sahip olduğu değerlendirilmiştir.

### 3.4 *F. proliferatum*'un Mikroskopik Özellikleri

*F. proliferatum*'un morfolojik özellikleri incelendiğinde, konidiyoforların genellikle düzgün, septalı ve dallanmış yapıda olduğu, genellikle monofiyalidik ya da polifiyalidik tipte konidiyoforlar geliştirdiği, bu yapıların silindirik formda ve renksiz (hiyalin) olduğu belirlenmiştir. Fiyalitlerin uçları ampul şeklinde olup uzunlukları yaklaşık 7–15 µm, genişlikleri ise 2–3 µm arasında değişmektedir. Mikrokonidiler elips veya yuvarlak şekilli, renksiz, genellikle tek hücreli ve 5–12 × 2–3 µm boyutlarındadır; zincir veya yalancı başak şeklinde dizilir. Makrokonidiler ise daha nadir olup, hilal şeklinde, 3–5 septalı ve ortalama 20–40 × 3–5 µm boyutlarındadır. Konidiler genellikle sporodokyum adı verilen yapıların üzerinde gelişir. Kültür ortamında ise koloniler beyazımsı, pamuksu yapıda olup zamanla mor-pembe renge dönüşmekte, yüzeyden konidiyal oluşumlar yoğun şekilde gözlenmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9: *F. proliferatum*'un mikromorfolojik yapısı

### 3.5 Hemolenfin Anti-Bakteriyel Aktivite Sonuçları

Hemolenfin olası antibakteriyel etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla, her grup ve doz düzeyi için *E. kuehniella* larvalarından mikropapiler tüpler kullanılarak hemolenf örnekleri toplanmıştır. Deney boyunca elde edilen hemolenf miktarları Tablo 3.12'de sunulmuştur.

Kontrol grubu petri kaplarında, yalnızca SXT (25 µg) ve KF (30 µg) antibiyotik diskleri ile PBS emdirilmiş diskler kullanılmıştır. Her bir bakteri türü için oluşturulan petri kaplarında, bu üç disk tipi karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen zon çapı ölçümleri Tablo 3.13 ve Şekil 3.10'da sunulmuştur. *S. aureus* suşu ile yapılan uygulamalarda, SXT ve KF disklerinin her ikisi de 42 mm çapında belirgin inhibisyon zonu oluşturmuştur. Buna karşılık, PBS emdirilmiş disklerde herhangi bir antibakteriyel etki gözlenmemiştir. *K.*

*pneumoniae* suşu için yapılan testlerde ise SXT diski 44 mm, KF diski 41 mm zon çapı oluşturmuştur. PBS diskinde ise inhibisyon zonu oluşmamıştır. Bu sonuçlar, kullanılan antibiyotiklerin her iki bakteri üzerinde de güçlü antibakteriyel etki sağladığını, PBS'nin ise hiçbir inhibisyon göstermediğini ortaya koymuştur.

**Tablo 3.12:** Larvalardan alınan hemolenf miktarları

Gruplar	Toplanan Hemolenf (µL)	Larva Sayısı
Kontrol (normal)/24h	67,1 µL	30
Kontrol (normal)/48h	80 µL	30
PBS/24h	107,8 µL	30
PBS-48h	98 µL	30
10 <sup>9</sup> konidia/mL-24h	106,2 µL	30
10 <sup>9</sup> konidia/mL-48h	98,4 µL	30

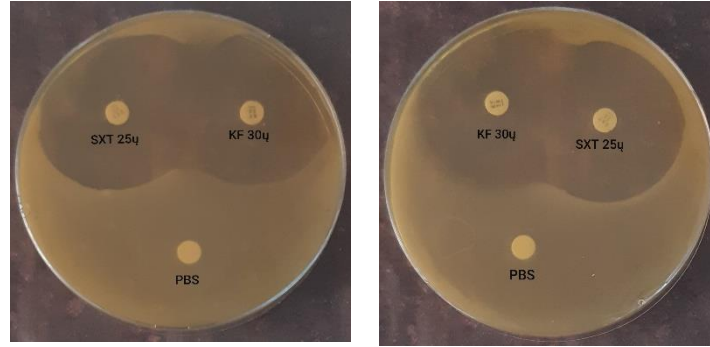
**Tablo 3.13:** Kontrol Grubuna Ait Antibakteriyel Etkinliğin Ölçümü

Bakteri suşları	Kontrol Grupları		
	PBS	Sulfamethoxazole 25µg	Cephalothin 30 µg
<i>S. aureus</i>	-	42	42
<i>K. pneumoniae</i>	-	44	41

Zon oluşmayan durumlar “(-)” sembolüyle tanımlanmış olup, ölçülen inhibisyon alanlarının çapları milimetre cinsinden kaydedilmiştir.

*S. aureus*

*K. pneumoniae*



**Şekil 3.10:** Kontrol grubunda gözlenen antibakteriyel etki alanları

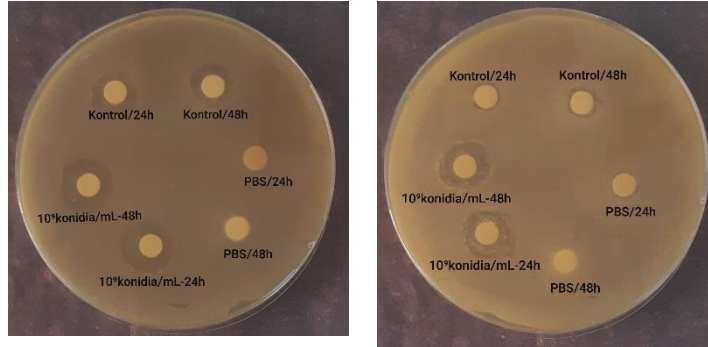
*F. proliferatum* uygulaması yapılan larvalardan elde edilen hemolenflerin *S. aureus* ve *K. pneumoniae* üzerindeki antibakteriyel etkileri, disk difüzyon yöntemiyle değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 3.14 ve Şekil 3.11’de sunulmuştur. *S. aureus* için,  $10^9$  konidia/mL dozunda uygulanan larvalardan elde edilen hemolenflerin hem 24 saatlik hem de 48 saatlik örneklerinde 16 mm çapında inhibisyon zonları gözlenmiştir. PBS ile muamele edilen bireylerden elde edilen hemolenflerde zon oluşumu gözlenmemiştir. İşlem görmemiş larvalardan elde edilen hemolenflerde ise sırasıyla 12 mm (24 saat) ve 13 mm (48 saat) çapında zon oluşmuştur. *K. pneumoniae* suşu için, deney grubu hemolenflerinde 24 saatlik örnekte 16 mm, 48 saatlik örnekte ise 17 mm zon çapı ölçülmüştür. PBS uygulanan bireylerden elde edilen hemolenflerde 9 mm (24 saat) ve 8 mm (48 saat) zon çapı oluşmuştur. İşlem uygulanmamış larvalardan alınan hemolenflerde ise her iki sürede 9 mm çapında zonlar gözlenmiştir. Her iki bakteri türü için elde edilen veriler, *F. proliferatum* uygulamasının hemolenf kaynaklı antibakteriyel aktiviteyi artırdığını göstermektedir. Özellikle *K. pneumoniae* suşuna karşı 48 saatlik örnekte daha yüksek zon çapı ölçülmesi, etkinliğin zamana bağlı olarak artabileceğini düşündürmektedir

**Tablo 3.14:** Farklı Hemolenf Gruplarının *S. aureus* ve *K. pneumoniae* Üzerindeki İnhibisyon Zon Çapları (mm)

Mikroorganizmalar	Deney Grupları		PBS/24h	PBS/48h	Kontrol (normal)/24h	Kontrol (normal)/48h
	$10^9$ konidia/mL-24h	$10^9$ konidia/mL-48h				
<i>S. aureus</i>	16	16	-	-	12	13
<i>K. pneumoniae</i>	16	17	9	8	10	9

*S. aureus*

*K. pneumoniae*



Şekil 3.11: Deney gruplarının antibakteriyel etki alanları

#### 4. TARTIŞMA

Biyolojik mücadele, günümüzde tarımsal zararlılarla çevreye zarar vermeden ve direnç gelişimini en aza indirerek başa çıkmanın sürdürülebilir yollarından biri olarak öne çıkmaktadır. Kimyasal pestisitlerin yaygın kullanımı, yalnızca hedef zararlılar üzerinde değil; toprak mikroflorası, su ekosistemleri ve insan sağlığı üzerinde de kalıcı etkiler yaratmaktadır. Bu nedenle, özellikle mikroorganizmalar gibi doğal kaynaklı biyo-ajanlara dayanan alternatif mücadele yöntemleri giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan *F. proliferatum* suşu, entomopatojen olarak tanımlanmamış olmasına rağmen, hem kültürel gelişim parametreleri hem de konidial temasın konukçu fizyolojisi üzerindeki olası etkileri açısından incelenmeye değerdir. Çalışma kapsamında fungusun altı farklı besiyeri ortamında (PDA, SDA, MEA, CDA, YEA ve CYEA) ve üç farklı sıcaklık derecesinde (25 °C, 28 °C, 30 °C) kültürel gelişim performansı değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, *F. proliferatum*'un optimum gelişim sıcaklığının 28 °C olduğunu göstermektedir. Bu sıcaklıkta koloni çapı en yüksek değere ulaşmış ve homojen, yoğun bir yayılım sergilemiştir.

SDA ortamı, 28 °C'de en verimli sonuçların alındığı besiyeri olmuş, koloni tersi turuncumsu, yüzeyi ise beyazdan açık krem tonlarına geçiş gösteren pamuksu bir yapı sergilemiştir. Bu gelişim morfolojisi hem görsel homojenlik hem de yüzey kalınlığı açısından diğer ortamlara kıyasla daha iyi bulunmuştur. PDA ortamında merkezden çevreye doğru lila ve açık pembe tonları, tersi ise mor-siyah geçişli görünüm sunmuştur. CDA ve MEA ortamlarında ise daha sınırlı çapta ama düzgün kenarlı gelişimler gözlenmiştir. Bu farklılıkların ortamın besin içeriğine, özellikle karbon/azot oranına bağlı olduğu düşünülmektedir.

pH değişkeninin koloni gelişimi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde ise pH 4, 5, 6, 7 ve 8 ortamlarında yapılan karşılaştırmalar sonucunda, pH 8'in optimum değer olduğu sonucuna ulaşılmıştır. pH 8'de sadece çap bakımından değil, aynı zamanda koloni yoğunluğu, kenar düzgünlüğü ve ters renk bakımından da en homojen gelişim sağlanmıştır. Asidik koşullarda (özellikle pH 4 ve 5) gelişim belirgin şekilde baskılanmış, bazı ortamlarda kontaminasyon da gözlenmiştir. Bu sonuçlar, *F. proliferatum*'un hafif alkali koşullarda daha yüksek metabolik aktivite gösterebildiğini ve sekonder metabolit üretiminin bu tür pH aralığında daha etkin olabileceğini düşündürmektedir.

Koloni morfolojisi değerlendirmeleri, sadece çap ölçümleriyle sınırlı kalmayıp, yüzey dokusu, kabarıklık, kenar yapısı ve renklenme gibi parametreleri de kapsamıştır. Özellikle SDA ve MEA ortamlarında kolonilerin merkezde daha kabarık, kenarlarda ise yaygın ve pamuksu bir görünüm sergilediği belirlenmiştir. Ters renklerin turuncu, sarı ve mor tonlarında değişim göstermesi, ortamın içeriğine bağlı pigment üretimini de işaret etmektedir. Bu bulgular, pigment üretim potansiyelinin araştırılması açısından da değer taşımaktadır.

Gelişim biyolojisi açısından yapılan konidial doz uygulamaları, çalışmanın ikinci temel aşamasını oluşturmaktadır.  $10^5$ ,  $10^6$ ,  $10^7$ ,  $10^8$  ve  $10^9$  konidia/mL yoğunluklarında hazırlanan sporlular, *E. kuehniella* larvalarına topikal olarak uygulanmıştır. En yüksek doz olan  $10^9$  konidia/mL uygulanan bireylerin tamamında gelişim duraksamış, ölüm gerçekleşmiştir.  $10^8$  dozda koza örme gecikmiş, larvalar düzensiz davranışlar sergilemiş ve pupal gelişim çoğunlukla tamamlanamamıştır.  $10^6$  ve  $10^7$  dozlarında gelişim süreci uzamış, ancak erişkin birey çıkışı tamamlanmıştır.  $10^5$  doz grubunda ise gelişimsel parametreler en iyi düzeyde gerçekleşmiş, bireylerin koza örme süresi kısalmış ve pupal ağırlık değerleri en yüksek düzeyde kaydedilmiştir.

Toplam yumurta sayısı, erişkin çıkışı, birey ağırlığı ve gelişim süresi gibi parametrelerin değerlendirilmesi sonucunda,  $10^5$  dozun larval gelişimi uyarıcı yönde etkilediği; buna karşılık  $10^8$  ve üzeri dozlarda gelişimin baskılandığı anlaşılmıştır. Bu bulgular, *F. proliferatum*'un doğrudan entomopatojen olmamakla birlikte, konidial temas yoluyla konak organizmada fizyolojik bir yanıt oluşturabileceğini göstermektedir. Düşük dozlarda bağışıklık sisteminin hafif uyarılması yoluyla gelişimsel fayda sağlanabildiği; yüksek dozda ise bu etkinin toksisiteye dönüştüğü değerlendirilmektedir.

Bu fizyolojik etkilerin bağışıklıkla ilişkili olabileceği düşünülerek, çalışmanın üçüncü aşamasında  $10^9$  doz konidial uygulama sonrası elde edilen hemolenf örneklerinin antibakteriyel etkisi incelenmiştir. Sadece bu gruptaki bireylerden alınan hemolenf, *S. aureus* ve *K. pneumoniae*'ye karşı 16 mm ve 17 mm çapında inhibisyon zonları oluşturmuştur. PBS ile muamele edilmiş ve uygulama yapılmamış kontrol gruplarında ise antibakteriyel etki gözlenmemiştir. Bu sonuçlar, fungusun doğrudan antibiyotik üretiminden ziyade, larval bağışıklık sistemini uyararak endojen savunma bileşiklerinin salınmasına neden olduğunu düşündürmektedir. Bu bağlamda, larval organizmaların stres yanıtı olarak

antimikrobiyal peptit (AMP) üretimini artırması, hemolenf sıvısında antimikrobiyal etkiye neden olmuş olabilir.

Sonuç olarak bu tez çalışması, laboratuvar koşullarında *F. proliferatum*'un kültürel gelişim performansını farklı çevresel koşullar altında belirlemiştir; pH 8 ve 28 °C sıcaklık ile SDA ortamının optimum gelişim kombinasyonu olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca konidial dozların *E. kuehniella* larvalarının gelişim biyolojisi üzerindeki etkileri kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir;  $10^5$  dozun gelişimi destekleyici,  $10^9$  dozun ise letal etki gösterdiği kanıtlanmıştır. Hemolenf örneklerinde gözlenen antibakteriyel aktivite ise bu temasın sadece gelişimsel değil, aynı zamanda immünolojik etkiler de oluşturabileceğini göstermektedir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında; un güvesi *E. kuehniella*'nın gelişim parametreleri ile hemolenfinde ortaya çıkan antibakteriyel yanıt, *F. proliferatum* suşu ile gerçekleştirilen enfeksiyon koşullarında ayrıntılı olarak incelenmiştir. *F. proliferatum* için en yüksek koloni çapı ve homojen yayılım, Sabouraud Dextrose Agar (SDA) ortamında 28 °C ve pH 8 koşullarında sağlanmıştır.

Enfekte larvaların koza örme süresi, puplaşma süresi ve toplam ergin öncesi gelişim süresi kontrol grubuna göre anlamlı biçimde uzamış; ergin ağırlığı ve yumurta verimi azalmıştır. Enfekte larvalardan alınan hemolenf, *S. aureus* ve *K. pneumoniae* üzerinde geniş inhibisyon zonları oluşturarak konak savunma sisteminin aktive olduğunu göstermiştir.

*F. proliferatum* enfeksiyonu, zararlının gelişimini yavaşlatırken konakta antibakteriyel yanıtı kuvvetlendirmiş; böylece zararlı popülasyonunu baskılayabilecek çift etkili bir ajan olarak öne çıkmıştır. Alan denemeleri ve formülasyon çalışmaları yapılarak spor formülasyonlarının raf ömrü, dozajları ve depo koşullarındaki performansı belirlenmelidir. Hemolenfte artan antibakteriyel aktivitenin moleküler temeli, bağışıklıkla ilişkili genlerin düzenlenmesi ve enzimatik yanıtların incelenmesiyle açıklığa kavuşturulmalıdır.

*F. proliferatum* uygulaması, düşük sıcaklık veya modifiye atmosfer gibi fiziksel yöntemlerle entegre edilerek sinerjik etki potansiyeli araştırılmalıdır. İnsan sağlığı, tarım ekosistemindeki faydalı böcek türleri ve tahıl kalitesi üzerindeki uzun vadeli güvenlik çalışmaları tamamlanmalıdır. Üretim maliyeti etkinlik analizi yapılarak yerli endüstri için uygulanabilir proses akış şemaları oluşturulmalı ve ticarileştirme adımları planlanmalıdır.

## 6. KAYNAKLAR

- Acar, K. F.** (2014). *Akdeniz un güvesi (Ephestia kuehniella, Lep.: Pyralidae)'nin hastalık etmenlerinin belirlenmesi, karakterizasyonu ve biyolojik mücadelede kullanılma potansiyelleri* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 360888).
- Addario, E., and Turchetti, T.** (2011). Parasitic fungi on *Dryocosmus kuriphilus* in *Castanea sativa* necrotic galls.
- Akar, H.** (2021). *Entomopatojen nematodların bazı depo zararlılarına karşı etkilerinin in vitro koşullarında belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez no 679107).
- Akbar, W., Lord, J. C., Nechols, J. R. and Howard, R. W.** (2004). Diatomaceous earth increases the efficacy of *Beauveria bassiana* against *Tribolium castaneum* larvae and increases conidia attachment. *Journal of Economic Entomology*, 97(2), 273–280, doi.org/10.1603/0022-0493-97.2.273
- Aktaş, A. G.** (2016). *Tıbbi veya aromatik açıdan değerli çeşitli bitki türlerinin, Ephestia kuehniella üzerine antifeedant etkilerinin belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No: 449407).
- Alay, K.** (1965). *Pulvinaria fluccifera*'ya karşı *Verticillium lecanii* ile biyolojik savaş imkânları üzerinde araştırmalar. *Bitki Koruma Bülteni*, 5 (3): 113-120.
- Alexandratos, N. and Bruinsma, J.** (2012). *World agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision* (ESA Working Paper No. 12-03). Food and Agriculture Organization of the United Nations, doi.org/ 10.22004/ag.econ.288998.
- Al-Keridis, L. A.** (2016). Application of *Penicillium* sp. as entomopathogenic fungi to control the red rust beetle *Tribolium castaneum* (Hbst.) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 12(Spl. Edn. 2), 7-12, doi.org/10.13005/bbra/2165.
- Alwaneen, W.S., Mureed, H., Koko, D.S., Rasool, K.G., Mehmood, K., Tufail, M. et al.** (2020a). Entomopathogenicity of *Beauveria Bassiana* Against Immature Life Stages Of Almond Moth, *Cadra cautella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 57(5), 1230-1235, doi.org/ 10.21162/PAKJAS/20.708.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Anonymous.** (1998). Entomopathogenic fungal cultures, ARSEF, ARSEF catalogs. Retrieved from <http://www.ppru.cornell.edu/mycology/ARSEFculturecollection.html>.
- Askun, T.** (2018). Introductory chapter: *Fusarium*: pathogenicity, infections, diseases, mycotoxins and management. *Fusarium: Plant Diseases, Pathogen Diversity, Genetic Diversity, Resistance and Molecular Markers, 1*, doi.org/10.5772/intechopen.76507.
- Assaf, L.H., Haleem, R.A. and Abdullah, S.K.** (2011). Association of Entomopathogenic and Other Opportunistic Fungi with Insect in Dormant Locations. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 4(2), 87-92.
- Athanassiou, C.G., Kavallieratos, N.G., Vayias, B.J., Tsakiri, J.B., Mikeli, N.H., Meletsis, C.M., Tomanovic, Z.,** (2008). Persistence and Efficacy of *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin (Deuteromycotina: Hyphomycetes) and Diatomaceous Earth Against *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) and *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) on wheat and maize. *Crop Protection*, 27 (10): 1303-1311, doi.org/10.1016/j.cropro.2008.03.004.
- Atmaca, S., Yüksel, E., and Canhilal, R.** (2022). Evaluation of Turkish isolates of entomopathogenic fungi against the adults of *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 6(3), 444-452, doi.org/10.24180/ijaws.747422.
- Avan, M. and Kotan, R.** (2021). Fungusların mikrobiyal gübre veya biyopestisit olarak tarımda kullanılması. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 3(1), 167–191, doi.org/10.47898/ijeased.849817.
- Bajželj, B., Richards, K. S., Allwood, J. M., Smith, P., Dennis, J. S., Curmi, E. and Gilligan, C. A.** (2014). Importance of food-demand management for climate mitigation. *Nature Climate Change*, 4(10), 924–929, doi.org/10.1038/NCLIMATE2353.
- Batta, Y. A.** (2012). The first report on entomopathogenic effect of *Fusarium avenaceum* (Fries) Saccardo (Hypocreales, Ascomycota) against rice weevil (*Sitophilus oryzae* L.: Curculionidae, Coleoptera). *Journal of Entomological and Acarological Research*, 44(3), e11-e11, doi.org/10.4081/jear.2012.e11.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bayram, A.** (1999). *Yumurta parazitoiti Trichogramma evanescens Westwood (Hymenoptera, Trichogrammatidae)'in Mısır Koçankurdu Sesamia nonagrioides Lefebvre (Lepidoptera, Noctuidae) Yumurtası Üzerinde Farklı Sıcaklıklarda Bazı Biyolojik Özelliklerinin Saptanması Üzerine Araştırmalar* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 85983).
- Berber, G., ve Birgücü, A. K.** (2020). Entomopatojen fungus, *Beauveria bassiana* (Balsamo)'nın iki farklı izolatının *Myzus persicae* üzerine ölümcül etkileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(Ek (Suppl.) 1), 266-272, doi.org/10.29048/makufebd.763018.
- Berrocal, A., Navarrete, J., Oviedo, C., and Nickerson, K. W.** (2012). Quorum sensing activity in *Ophiostoma ulmi*: effects of fusel oils and branched chain amino acids on yeast-mycelial dimorphism. *Journal of applied microbiology*, 113(1), 126-134, doi.org/10.1111/j.1365-2672.2012.05317.x.
- Biçici, M.** (2021). Bölüm V-B h. *Fusarium E. Fries 1821*. In *Mantar Bilimi*.
- Bitencourt, R. D. O. B., Salcedo-Porras, N., Umaña-Diaz, C., da Costa Angelo, I., and Lowenberger, C.** (2021). Antifungal immune responses in mosquitoes (Diptera: Culicidae): A review. *Journal of Invertebrate Pathology*, 178, 107505, doi.org/10.1016/j.jip.2020.107505.
- Boucias, D., Liu, S., Meagher, R., and Baniszewski, J.** (2016). Fungal dimorphism in the entomopathogenic fungus *Metarhizium rileyi*: Detection of an in vivo quorum-sensing system. *Journal of invertebrate pathology*, 136, 100-108, doi.org/10.1016/j.jip.2016.03.013.
- Boxall, R. A.** (2001). Post-harvest losses to insects: A world overview. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 48(1-4), 137-152. https://doi.org/10.1016/S0964-8305(01)00076-2.
- Boz, A.** (2013). *Üç farklı konak türünün parazitoit Venturia canescens grav. (Hymenoptera: Ichneumonidae) erginlerindeki toplam protein, lipit, karbohidrat miktarlarına ve parazitoitin bazı biyolojik özelliklerine etkileri*. (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 334888).

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Braxton, S. M., Onstad, D. W., Dockter, D. E., Giordano, R., Larsson, R. ve Humber, R. A.** (2003). Description and analysis of two internet-based databases of insect pathogens: EDWIP and VIDIL. *Journal of Invertebrate Pathology*, 83(3), 185-195. [https://doi.org/10.1016/S0022-2011\(03\)00089-2](https://doi.org/10.1016/S0022-2011(03)00089-2).
- Brownbridge, M.** (2006). Entomopathogenic fungi: Status and considerations for their development and use in integrated pest management.
- Butt, T. M., Coates, C. J., Dubovskiy, I. M., and Ratcliffe, N. A.** (2016). Entomopathogenic fungi: new insights into host–pathogen interactions. *Advances in genetics*, 94, 307-364, [doi.org/10.1016/bs.adgen.2016.01.006](https://doi.org/10.1016/bs.adgen.2016.01.006).
- Bülbül, S.** (1993). *Researchs on the possibilities of the use of cooling technique for the controlling of the dried fig moth,(Cadra cautella Wlk.(Lepidoptera: Pyralidae)* (Doctoral dissertation, Ph. D thesis. Ege University, Graduate School. 114 p).
- Canpolat, Ü.** (2011). *Ephestia kuehniella Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) in mücadelesinde yumurta parazitoiti Trichogramma türleri ve larva parazitoiti Bracon hebetorum (Hymenoptera: Braconidae) birlikte kullanımı üzerine araştırmalar* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 317985).
- Castrillo, L. A., Roberts, D. W., and Vandenberg, J. D.** (2005). The fungal past, present, and future: germination, ramification, and reproduction. *Journal of invertebrate pathology*, 89(1), 46-56.
- Castrillo, L. A., Roberts, D. W., and Vandenberg, J. D.** (2005). The fungal past, present, and future: germination, ramification, and reproduction. *Journal of invertebrate pathology*, 89(1), 46-56, [doi.org/ 10.1016/j.jip.2005.06.005](https://doi.org/10.1016/j.jip.2005.06.005).
- Chen, W., Xie, W., Cai, W., Thaochan, N. and Hu, Q.** (2021). Entomopathogenic fungi biodiversity in the soil of three provinces located in Southwest China and first approach to evaluate their biocontrol potential. *Journal of Fungi*, 7(11), 984, [doi.org/10.3390/jof7110984](https://doi.org/10.3390/jof7110984).

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Cherry, A. J., Abalo, P., Hell, K., and Korie, S.** (2007). Farm-scale trials to compare the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* with pirimiphos methyl+ deltamethrin and essential oil of lemon grass for protection of stored cowpea against *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae). *Annals of applied Biology*, 151(1), 1-10, doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00146.x.
- Cho, E. M., Kirkland, B. H., Holder, D. J., and Keyhani, N. O.** (2007). Phage display cDNA cloning and expression analysis of hydrophobins from the entomopathogenic fungus *Beauveria (Cordyceps) bassiana*. *Microbiology*, 153(10), 3438-3447, doi.org/ 10.1099/mic.0.2007/008532-0.
- Cooper, D., and Eleftherianos, I.** (2017). Memory and specificity in the insect immune system: current perspectives and future challenges. *Frontiers in immunology*, 8, 539, doi.org/10.3389/fimmu.2017.00539.
- Cortinovis, C., Pizzo, F., Spicer, L. J., and Caloni, F.** (2013). Fusarium mycotoxins: Effects on reproductive function in domestic animals—A review. *Theriogenology*, 80(6), 557-564, doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.06.018.
- Cortinovis, C., Pizzo, F., Spicer, L. J., and Caloni, F.** (2013). Fusarium mycotoxins: Effects on reproductive function in domestic animals—A review. *Theriogenology*, 80(6), 557-564, doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.06.018.
- Coşkuncu, K. S.** (2004). Bursa ili un fabrika ve değirmenlerinde zararlı böcek türleri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(1), 33-44.
- Çam, H., Gökçe, A., Yanar, Y., ve Kadioğlu, İ.** (2002). Entomopatojen fungus *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill.'nın patates böceği, *Leptinotarsa decemlineata* Say., üzerindeki etkisi. *Türkiye 5. Biyolojik Mücadele Kongresi, 4-7 Eylül 2002, Erzurum*.
- Dabbağoğlu, S.** (2004). Parazitoit *Bracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) ile konukçuları *Plodia interpunctella* Hübner (Lepidoptera: Pyralidae) ve *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) arasındaki biyolojik ilişkiler üzerine araştırmalar (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 151062).

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Dağ, M. M. ve Akbay, C.** (2022). Sürdürülebilir tarımsal uygulamalar ile küresel gıda krizine karşı alternatif çözümler. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 101–113.
- de Faria, M. R., and Wraight, S. P.** (2007). Mycoinsecticides and mycoacaricides: a comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. *Biological control*, 43(3), 237-256, doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.08.001.
- del Arco, L., Castañé, C. and Riudavets, J.** (2024). Biological control of pests of stored cereals with the predatory mites *Blattisocius tarsalis* and *Cheyletus malaccensis*. *Journal of Pest Science*, 1–12, doi.org/10.1007/s10340-024-01857-z.
- Demirbağ, Z., Nalçacıoğlu, R., Katı, H., Demir, İ., Sezen, K. ve Ertürk, Ö.** (2008). *Entomopatojenler ve biyolojik mücadele*. Trabzon: Esen Ofset Matbaacılık.
- Demirsoy, A.** (2006). *Yaşamın temel kuralları: Omurgasızlar/Böcekler, Entomoloji* (Cilt II, Kısım II). Ankara: Meteksan A.Ş.
- Devreese, M., De Backer, P., and Croubels, S.** (2013). Overview of the most important mycotoxins for the pig and poultry husbandry. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift*, 82(4), doi.org/ 10.21825/vdt.v82i4.16694.
- Dizlek, H., Gül, H. ve Kılıçdağı, R.** (2008). Tahılların depolanmasında en sık karşılaşılan sorunlar ve bu sorunların çözüm önerileri. *Türkiye 10. Gıda Kongresi içinde* (21–23 Mayıs, Erzurum), 391–394.
- Domsch, K.H., Gams, W. and Anderson, T.H.** (1980). *Compendium Of Soil Fungi*. London: Academic Press.
- Draganova, S. L. A. V. I. M. I. R. A., Takov, D. A. N. A. I. L., and Doychev, D. A. N. A. I. L.** (2007). Bioassays with isolates of *Beauveria bassiana* (bals.) Vuill. and *Paecilomyces farinosus* (holm.) Brown & Smith against *Ips sexdentatus* Boerner and *Ips acuminatus* Gyll.(Coleoptera: Scolytidae). *Plant science*, 44(1), 24-28.
- Du, M., Liu, X., Xu, J., Li, S., Wang, S., Zhu, Y. and Wang, J.** (2020). Antimicrobial Effect of *Zophobas morio* Hemolymph against Bovine Mastitis Pathogens. *Microorganisms*, 8(10),1488, doi.org/10.3390/microorganisms8101488.
- Dutta, S.** (2015). Biopesticides: An ecofriendly approach for pest control. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 4(6), 250–265.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Eilenberg, J., Hajek, A. ve Lomer, C.** (2001). Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*, 46, 387-400. <https://doi.org/10.1023/A:1014193329979>.
- El-Adawy, A.M.M., Sayed, A. and Abd El-Gawad, H.A.S.** (2012). *Anagasta kuehniella* as an Isolation Bait of Entomopathogenic Agents. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 90(2), 601-606.
- Elkhateeb, W. A., Mousa, K. M., ELnahas, M. O. and Daba, G. M.** (2021). Fungi against insects and contrariwise as biological control models. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31, 1–9, [doi.org/10.1186/s43170-021-00031-1](https://doi.org/10.1186/s43170-021-00031-1).
- El-Saadony, M.T., Sitohy, M.Z., Ramadan, M.F. and Saad, A.M.** (2021). Green nanotechnology for preserving and enriching yogurt with biologically available iron (II). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 69, 102645. [doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102645](https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102645).
- Emekci, M., and Ferizli, A. G.** (2000). Current status of stored products protection in Turkey. *IOBC WPRS Bulletin*, 23(10), 39–46.
- Erakay, S.** (1974). Ege Bölgesinde un ve undan mamul maddelerde bulunan zararlı böcekler üzerinde araştırmalar (Teknik Bülten No: 23). İzmir: T.C. Gıda-Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Zirai Mücadele ve Zirai Karantina Genel Müdürlüğü Araştırma Eserleri Serisi, İstiklal Matbaası.
- Eraktan, G.** (2001). *Tarım politikasının temelleri ve Türkiye’de tarımsal destekleme politikası*. Ankara, Türkiye: Uzel Yayınları.
- Eriksen, G. S. (Ed.)**. (1998). *Fusarium toxins in cereals: A risk assessment*. Nordic Council of Ministers.
- Esin, T.** (1965). *Hububat anbar böcekleri tanınması, yaşayışı, zararları, sürveyi ve mücadelesi*. Ankara: Zirai Mücadele ve Zirai Karantina Genel Müdürlüğü Yayınları..
- Esmer, E. T.** (2011). *Dendroctonus micans’tan entomopatojenik fungusların izolasyonu, karakterizasyonu ve mikrobiyal mücadele potansiyelinin araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 275495).

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Feng, P., Shang, Y., Cen, K., and Wang, C.** (2015). Fungal biosynthesis of the bibenzoquinone oosporein to evade insect immunity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(36), 11365-11370, doi.org/ 10.1073/pnas.1503200112.
- Ferizli, A. G. and Emekci, M.** (2000, November). Carbon dioxide fumigation as a methyl bromide alternative for the dried fig industry. In *Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions* (Vol. 81), Orlando, Florida.
- Ferizli, A. G., Emekci, M., Tütüncü, S. and Navarro, S.** (2004). The efficacy of phosphine fumigation against dried fruit pests in Turkey. *IOBC WPRS (OILB SROP) Integrated Protection of Stored Products*, 27, 265–269.
- Ferizli, A. G., ve Emekci, M.** (2013). Depolanmış ürün zararlılarının kimyasal ve kimyasal olmayan yöntemlerle savaşımı. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 3–12.
- Ferizli, A. G., ve Emekçi, M.** (2013). Depolanmış ürün zararlılarının kimyasal ve kimyasal olmayan yöntemlerle savaşımı. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 17–20.
- Fernandes, E. K., Rangel, D. E., Moraes, A. M., Bittencourt, V. R. and Roberts, D. W.** (2008). Cold activity of Beauveria and Metarhizium, and thermotolerance of Beauveria. *Journal of Invertebrate Pathology*, 98(1), 69–78, doi.org/10.1016/j.jip.2008.01.001.
- Feroz, A., Shakoori, F. R., Riaz, T. and Shakoori, A. R.** (2020). Development of resistance in stored grain pest, *Trogoderma granarium* (Everts) against deltamethrin and its effective control by synergistic toxicity of bifenthrin and chlorpyrifos. *Journal of Stored Products Research*, 88, 101673, doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101673.
- Fujita, S.** (2013). Simple modified method for fungal slide preparation. *Medical mycology journal*, 54(2), 141-146, doi.org/10.3314/mmj.54.141.
- Gauthier, G. M.** (2015). Dimorphism in fungal pathogens of mammals, plants, and insects. *PLoS Pathogens*, 11(2), e1004608, doi.org/10.1371/journal.ppat.1004608.
- Geiser, D. M., Aoki, T., Bacon, C. W., Baker, S. E., Bhattacharyya, M. K., Brandt, M. E., and Zhang, N.** (2013). One fungus, one name: defining the genus *Fusarium* in a scientifically robust way that preserves longstanding use. *Phytopathology*, 103(5), 400-408, doi.org/10.1094/PHYTO-07-12-0150-LE.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., and Toulmin, C.** (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812–818, <https://doi.org/10.1126/science.1185383>.
- Goettel, M. S., Eilenberg, J., and Glare, T.** (2005). Entomopathogenic fungi and their role in regulation of insect populations. L. I. Gilbert, K. Iatrou, ve S. S. Gill (Ed.), *Comprehensive Molecular Insect Science* içinde (ss. 361-405). Elsevier.
- Gök, S., Güven, Ö., ve Karaca, İ.** (2018). Entomopatojen fungus *Beauveria bassiana*'nın çam keseböceği (*Thaumetopoea wilkinsoni* Tams)'nin farklı dönemlerine etkileri. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 9(1), 7-18, [doi.org/doi.org/10.31019/tbmd.436218](https://doi.org/10.31019/tbmd.436218).
- Gökçe, A., and Er, M.K.** (2002). Entomopatojenik fungus *Paecilomyces fumosroseus* (Wise) Brown & Smith kullanılarak sera beyazsineğinin, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood, biyolojik mücadelesi ve sıcaklığın fungusun büyümesine etkisi. *Türkiye 5. Biyolojik Mücadele Kongresi Bildiri Özetleri*, 4-7 Eylül 2002, Erzurum. 345-352.
- Gräfenhan, T., Schroers, H. J., Nirenberg, H. I., and Seifert, K. A.** (2011). An overview of the taxonomy, phylogeny, and typification of nectriaceous fungi in *Cosmospora*, *Acremonium*, *Fusarium*, *Stilbella*, and *Volutella*. *Studies in Mycology*, 68(1), 79-113, [doi.org/10.3114/sim.2011.68.04](https://doi.org/10.3114/sim.2011.68.04).
- Gupta, S., Krasnoff, S. B., Underwood, N. L., Renwick, J. A. A., and Roberts, D. W.** (1991). Isolation of beauvericin as an insect toxin from *Fusarium semitectum* and *Fusarium moniliforme* var. *subglutinans*. *Mycopathologia*, 115, 185-189, [doi.org/10.1007/BF00462223](https://doi.org/10.1007/BF00462223).
- Güner, P.** (2024). *Penicillium mallochii*'nin DNA barkodlaması ve sürdürülebilir biyolojik mücadelede parazitoit *Venturia canescens* ile etkileşimleri (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No: 869035).
- Güner, P., Aşkun, T. and Er, A.** (2023b). Evaluation of antibacterial activity Induced by *Penicillium mallochii* in the hemolymph of *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *International Journal of Nature and Life Sciences*, 7 (2), 79-88, [doi.org/10.47947/ijnls.1362362](https://doi.org/10.47947/ijnls.1362362).

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Güner, P., Aşkun, T., and Er, A.** (2023). Entomopathogenic fungi and their potential role in the sustainable biological control of storage pests. *Commagene Journal of Biology*, 7(1), 90–97, doi.org/10.31594/commagene.1284354.
- Güven, Ö., Çayır, D., Baydar, R., ve Karaca, İ.** (2015). Entomopatojen fungus *Beauveria bassiana* (Bals.) Vull. izolatlarının patates böceği [*Leptinotarsa decemlineata* Say. (Coleoptera: Chrysomelidae)] üzerindeki etkisi. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 6(2), 105-114.
- Hagstrum, D. W., Phillips, T. W. and Cuperus, G.** (2012). *Stored product protection*. Kansas: Kansas State University.
- Hagstrum, D., Klejdysz, T., Subramanyam, B., and Nawrot, J.** (2013). *Atlas of stored-product insects and mites*. AACC International.
- Hamel, D., Rozman, V. and Liška, A.** (2020). Storage of cereals in warehouses with or without pesticides. *Insects*, 11(12), 846, doi.org/10.3390/insects11120846.
- Hansen, L. S. and Jensen, K. M.** (2002). Effect of temperature on parasitism and host-feeding of *Trichogramma turkestanica* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology*, 95(1), 50-56, doi.org/10.1603/0022-0493-95.1.50.
- Hansen, L. S., and Steenberg, T.** (2007). Combining larval parasitoids and an entomopathogenic fungus for biological control of *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae) in stored grain. *Biological control*, 40(2), 237-242, doi.org/10.1016/j.biocontrol.2006.09.012.
- Hervet, V. A. and Morrison III, W. R.** (2021). Prospects for use of biological control of insect and mites for the food industry in North America. *Agronomy*, 11(10), 1969, doi.org/10.3390/agronomy11101969.
- Hill, D. S.** (2002). *Pests of stored foodstuffs and their control*. Springer Science and Business Media.
- Hultmark, D.** (2003). Drosophila immunity: paths and patterns. *Current opinion in immunology*, 15(1), 12-19, doi.org/10.1016/S0952-7915(02)00005-5.
- Humber, R. A.** (1992). *Collection of entomopathogenic fungal cultures: Catalog of strains*.
- Humber, R. A.** (2008). Evolution of entomopathogenicity in fungi. *Journal of Invertebrate Pathology*, 98(3), 262–266, doi.org/10.1016/j.jip.2008.08.002.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- İren, S.** (1970). *Düzce ve Tirebolu'da fındıklara arız olan Parthenolecanium corni (Bouche) 'yi parazitleyen Cordyceps clavulatus (Schw.) Ellis et ev. ve Verticillium lecanii (Zimm.) Viegas üzerinde bir araştırma.* Tarım Bakanlığı Zirai Mücadele ve Zirai Karantina Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Jaber, L. R., and Ownley, B. H.** (2018). Can we use entomopathogenic fungi as endophytes for dual biological control of insect pests and plant pathogens?. *Biological control*, 116, 36-45, doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.01.018.
- Jackson, T. A. and Saviile, D. J.** (2000). Bioassays of replicating bacteria against soil-dwelling insect pests. In *Bioassays of Entomopathogenic Microbes and Nematodes* (pp. 73–93). Wallingford, UK: CABI, doi.org/10.1079/9780851994222.0073.
- Jacob, T. A. and Cox, P. D.** (1977). The influence of temperature and humidity on the life-cycle of *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Stored Products Research*, 13(3), 107-118, doi.org/10.1016/0022-474X(77)90009-1.
- Jaihan, P., Sangdee, K. and Sangdee, A.** (2016). Selection of entomopathogenic fungus for biological control of chili anthracnose disease caused by *Colletotrichum* spp. *European Journal of Plant Pathology*, 146, 551–564, doi.org/10.1007/s10658-016-0941-7.
- Jaihan, P., Sangdee, K. and Sangdee, A.** (2016). Selection of entomopathogenic fungus for biological control of chili anthracnose disease caused by *Colletotrichum* spp. *European Journal of Plant Pathology*, 146, 551–564, doi.org/10.1007/s10658-016-1083-4.
- Jin, K., Peng, G., Liu, Y., and Xia, Y.** (2015). The acid trehalase, ATM1, contributes to the in vivo growth and virulence of the entomopathogenic fungus, *Metarhizium acridum*. *Fungal Genetics and Biology*, 77, 61-67, doi.org/10.1016/j.fgb.2015.03.013.
- Karabörklü, S., Altın, N. and Keskin, Y.** (2019). Native entomopathogenic fungi isolated from Duzce, Turkey and their virulence on the mealworm beetle *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). *Philippines Agricultural Scientist*, 102(1), 82–89.
- Karabörklü, S., Azizoglu, U. and Azizoglu, Z. B.** (2018). Recombinant entomopathogenic agents: A review of biotechnological approaches to pest insect control. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34, 1–12, doi.org/10.1007/s11274-017-2397-0.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Karayar, Ş.** (2023). *Değirmen Güvesi, Ephestia kuehniella Zeller (Lepidoptera: Pyralidae)'nın bazı glütensiz unlarda popülasyon parametrelerinin karşılaştırılması* (Yüksek lisans tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No: 869035).
- Kavallieratos, N. G., Athanassiou, C. G., Michalaki, M. P., Batta, Y. A., Rigatos, H. A., Pashalidou, F. G., and Vayias, B. J.** (2006). Effect of the combined use of *Metarhizium anisopliae* (Metschinkoff) Sorokin and diatomaceous earth for the control of three stored-product beetle species. *Crop Protection*, 25(10), 1087-1094, doi.org/ 10.1016/j.cropro.2006.02.009.
- Kaygan, E.** (2018). *Farklı miktarda verilen Ephestia kuehniella Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) yumurtasının Orius laevigatus Fieber (Heteroptera: Anthocoridae)'un biyolojik özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 498141).
- Keleş, E.** (2021). *Bacillus megaterium'un Fusarium türlerinde antagonistik etkisinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 798906).
- Kesin, Y., Karabörklü, S., ve Altın, N.** (2019). Bazı yerel entomopatojen fungusların toprak koşullarındaki etkinliklerinin *Tenebrio molitor* L. (Col.: Tenebrionidae) larvaları kullanılarak araştırılması. *Türkiye Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 2(1), 26-31.
- Khan, S., Guo, L., Maimaiti, Y., Mijit, M. and Qiu, D.** (2012). Entomopathogenic fungi as microbial biocontrol agent. *Molecular Plant Breeding*, 3(7), doi.org/ 10.5376/mpb.2012.03.0007.
- Kılıç, E.** (2006). Patates böceğinin mücadelesinde entomopatojenlerin kullanılma olanakları. 4. *Ulusal Patates Kongresi*, 330-335.
- Kılıçoğlu, H.** (2012). *Ephestia kuehniella Zell (Pyralidae: Lepidoptera) üzerine radyasyon etkisinin tek hücre jel elektroforez tekniği (komet testi) ile izlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No: 320838).
- Klein, B. S., and Tebbets, B.** (2007). Dimorphism and virulence in fungi. *Current opinion in microbiology*, 10(4), 314-319, doi.org/10.1016/j.mib.2007.04.002.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kocatürk, S., Barış, M., Özmen, O. ve Gülay, T.** (1994, Ocak). Orta Anadolu Bölgesi'nde kımıl (*Aelia rostrata* Boh.)'da saptanan entomopatojen funguslar ve etkinlikleri üzerinde araştırmalar. C. Öncüler (Ed.), *Türkiye 3. Biyolojik Mücadele Kongresi* (s. 299-308), İzmir.
- Korkmaz, H. Y.** (2017). *Depolanmış tahıl zararlılarındaki yerel fungal etmenlerin tespiti ve bazı depolanmış tahıl zararlıları için coleoptera türlerine karşı kullanım olanakları* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 473150).
- Korkmaz, H. Y. ve Er, M. K.** (2022). Uygulama sonrası zararlı bulaşmasından depolanmış buğdayın korunması bakımından *Beauveria bassiana* etkinliğinin kalıcılığı. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 25(Özel Sayı), 1-6, doi.org/10.18016/ksutarimdoga.vi.1018408.
- Korku, B.** (2019). *Plodia interpunctella* (Hübner) ve *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) ile mücadelede mikrodalga enerjisinin kullanımı (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 610879).
- Krishnan, N., and Kodrik, D.** (2006). Antioxidant enzymes in Spodoptera littoralis (Boisduval): are they enhanced to protect gut tissues during oxidative stress?. *Journal of Insect Physiology*, 52(1), 11-20, doi.org/10.1016/j.jinsphys.2005.08.009.
- Kumar, D. and Kalita, P.** (2017). Reducing postharvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries. *Foods*, 6(1), 8, https://doi.org/10.3390/foods6010008.
- Kuruvilla, S. and Jacob, A.** 1979a. Comparative susceptibility of nymphs and adults of *Nilaparvata lugens* to *Fusarium oxysporum* and its use in microbial control. *Agricultural Research Journal Kerala*. 17 : 287-288.
- Kuruvilla, S. and Jacob, A.** 1979b. Host range of the entomogenous fungus *Fusarium oxysporum* Schlecht and its safety to three crop plants. *Current Science*. 48: 603.
- Kuruvilla, S. and Jacob, A.** 1980. Studies on *Fusarium oxysporum* Schlecht infecting rice brown plant hopper, *Nilaparvata lugens* Stal. *Agricultural Research Journal Kerala*. 18 : 51-54.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kushiyeu, R.** (2015). *Fındıkta önemli yazıcı böcek türlerindeki fungusların belirlenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 406143).
- Küçüktopcu, Y., Can, B. ve Saruhan, İ.** (2023). Bazı bitki ekstraktlarının *Tribolium confusum*'un Jacquelin Du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) larva ve ergin dönemleri üzerine etkileri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 26(3), 570–578, doi.org/ 10.18016/ksutarimdog.vi.1109845.
- Lacey, L. A. and Goettel, M. S.** (1995). Current developments in microbial control of insect pests and prospects for the early 21st century. *Entomophaga*, 40, 3–27.
- Lacey, L. A., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D. I., Frutos, R., Brownbridge, M. and Goettel, M. S.** (2015). Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of Invertebrate Pathology*, 132, 1–41, doi.org/10.1016/j.jip.2015.03.001.
- Landa, Z., Horňák, P., Osborne, L. S., Nováková, A., and Bursová, E.** (2001). Entomogenous fungi associated with spruce bark beetle *Ips typographus* L.(Coleoptera, Scolytidae) in the Bohemian Forest. *Silva Gabreta*, 6, 259-272.
- Langfelder, K., Streibel, M., Jahn, B., Haase, G., and Brakhage, A. A.** (2003). Biosynthesis of fungal melanins and their importance for human pathogenic fungi. *Fungal genetics and biology*, 38(2), 143-158, doi.org/ 10.1016/s1087-1845(02)00526-1.
- Larone, D.H.** (1995). *Medically Important Fungi, A Guide To Identification*. Washington: ASM press.
- LeConte, J. L.** (1874). Hints for the promotion of economic entomology. *Proceedings of the American Association for the Advancement of Science*, 22, 10–22.
- Leslie, J. F., and Summerell, B. A.** (2006). *Fusarium* laboratory workshops—A recent history. *Mycotoxin Research*, 22(2), 73-74, doi.org/ 10.1007/BF02956766.
- Leslie, J. F., and Summerell, B. A.** (2008). *The Fusarium laboratory manual*. John Wiley and Sons.
- Litwin, A., Nowak, M., and Różalska, S.** (2020). Entomopathogenic fungi: unconventional applications. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 19(1), 23-42, doi.Org/10.1007/S11157-020-09524-1.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Logrieco, A., Visconti, A., Moretti, A., and Bottalico, A.** (2002). Mycotoxins produced by *Fusarium* species in cereal crops: A review of their occurrence and toxicological effects. *European Journal of Plant Pathology*, 108(7), 639–650.
- Lord, J. C.** (2001). Desiccant dusts synergize the effect of *Beauveria bassiana* (Hyphomycetes: Moniliales) on stored-grain beetles. *Journal of Economic Entomology*, 94(2), 367–372, doi.org/10.1603/0022-0493-94.2.367.
- Lord, J. C.** (2005a). Low humidity, moderate temperature, and desiccant dust favor efficacy of *Beauveria bassiana* (Hyphomycetes: Moniliales) for the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bruchidae). *Biological Control*, 34(2), 180–186, doi.org/ 10.1016/j.biocontrol.2005.05.004.
- Lord, J. C.** (2007a). Desiccation increases the efficacy of *Beauveria bassiana* for stored grain pest insect control. *Journal of Stored Products Research*, 43(4), 535–539, doi.org/ 0.1016/j.jspr.2007.03.002.
- Lord, J. C.** (2007b). Enhanced efficacy of *Beauveria bassiana* for red flour beetle with reduced moisture. *Journal of Economic Entomology*, 100(4), 1071-1074, doi.org/ 10.1603/0022-0493(2007)100[1071:eeobbf]2.0.co;2.
- Louw, J. P., and Korsten, L.** (2014). Pathogenic *Penicillium* spp. on apple and pear. *Plant Disease*, 98(5), 590-598, doi.org/10.1016/S1130-1406(05)70043-7.
- Lovett, B. and Leger, R. J. S.** (2017). The insect pathogens. *Microbiology Spectrum*, 5, 1–19, doi.org/ 10.1128/microbiolspec.FUNK-0001-2016.
- Majumdar, A., Boetel, M. A., and Jaronski, S. T.** (2008). Discovery of *Fusarium solani* as a naturally occurring pathogen of sugarbeet root maggot (Diptera: Ulidiidae) pupae: prevalence and baseline susceptibility. *Journal of Invertebrate Pathology*, 97(1), 1-8, doi.org/10.1016/j.jip.2007.05.003.
- Manivannan, S.** (2015). Toxicity of phosphine on the developmental stages of rust-red flour beetle, *Tribolium castaneum* Herbst over a range of concentrations and exposures. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10), 6810–6815, doi.org/10.1007/s13197-015-1799-y.
- Marshall, S. and Arenas, G.** (2003). Antimicrobial peptides: A natural alternative to chemical antibiotics and a potential for applied biotechnology. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6, 271-284, doi.org/10.4067/S0717-34582003000300011.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Memişoğlu, H. and Özer, M.** (Ocak, 1994). Ankara ilinde Avrupa sünesi (*Eurygaster maura* L., Hemiptera: Scutelleridae)'nin doğal düşmanları ve etkinlikleri. *Türkiye 3. Biyolojik Mücadele Kongresi* Ege Üniversitesi, Bildiri Kitabı, (s. 175- 186), İzmir.
- Michalaki, M. P., Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Batta, Y. A., and Balotis, G. N.** (2006). Effectiveness of *Metarhizium anisopliae* (Metschinkoff) Sorokin applied alone or in combination with diatomaceous earth against *Tribolium confusum* Du Val larvae: Influence of temperature, relative humidity and type of commodity. *Crop Protection*, 25(5), 418-425, doi.org/ 10.1016/j.cropro.2005.07.003
- Minervini, F., and Dell'Aquila, M. E.** (2008). Zearalenone and reproductive function in farm animals. *International journal of molecular sciences*, 9(12), 2570-2584, doi.org/10.3390/ijms9122570.
- Moore, D., Lord, J. C. and Smith, S. M.** (2000). Pathogens. In B. H. Subramanyam and D. W. Hagstrum (Eds.), *Alternative pesticides in stored product IPM* (pp. 193–227). Kluwer Academic Publishers.
- Naruzawa, E. S., and Bernier, L.** (2014). Control of yeast-mycelium dimorphism in vitro in Dutch elm disease fungi by manipulation of specific external stimuli. *Fungal biology*, 118(11), 872-884, doi.org/10.1016/j.funbio.2014.07.006.
- Nikolaou, P., Marciniak, P., Adamski, Z., and Ntalli, N.** (2021). Controlling stored products pests with plant secondary metabolites: A review. *Agriculture*, 11(9), 879. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090879>.
- O'Donnell, K., Humber, R. A., Geiser, D. M., Kang, S., Park, B., Robert, V. A., and Rehner, S. A.** (2012). Phylogenetic diversity of insecticolous fusaria inferred from multilocus DNA sequence data and their molecular identification via *FUSARIUM-ID* and *Fusarium* MLST. *Mycologia*, 104(2), 427-445, doi.org/10.3852/11-179.
- Orozco, R.A., Lee, M.M. and Stock, S.P.** (2014). Soil sampling and isolation of entomopathogenic nematodes (Steinernematidae, Heterorhabditidae). *Journal of Visualized Experiments*, 11 (89), 52083. doi.org/ 10.3791/52083.
- Ortiz-Urquiza, A., and Keyhani, N. O.** (2013). Action on the surface: entomopathogenic fungi versus the insect cuticle. *Insects*, 4(3), 357-374, doi.org/10.3390/insects4030357.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Özer, M.** (1957). Türkiye’de depo, ambar, fabrika ve silolarda muhtelif hububat taneleri, un ve mamulleri ile kuru meyvalar ve tütünlerde önemli zarar yapan böcek türlerinin morfolojileri, kısa biyolojileri ve yayılışları üzerinde araştırmalar (Yayın No: 125). Ankara: Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Özgür, A. F.** (1990). *Depolanmış ürün zararlıları* (Ders Kitabı No: 23). Adana: Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Öztaş, S.** (2024). *Bilecik Pazaryeri bölgesindeki Humulus lupulus (şerbetçiotu) ve yetiştirildiği topraklardaki Fusarium cinsi üyelerinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 854792).
- Pal, S., and Wu, L. P.** (2009). Lessons from the fly: pattern recognition in *Drosophila melanogaster*. *Target Pattern Recognition in Innate Immunity*, 162-174, doi.org/10.1007/978-1-4419-0901-5\_11.
- Pasteur, L.** (1874). Observations (au sujet des conclusions de M. Dumas) relatives au phylloxera. *C. R. Hebd. Séances Acad. Sci.*, 79, 1233–1234.
- Pedrini, N., Crespo, R., and Juárez, M. P.** (2007). Biochemistry of insect epicuticle degradation by entomopathogenic fungi. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 146(1-2), 124-137, doi.org/10.1016/j.cbpc.2006.08.003.
- Pelizza, S. A., Stenglein, S. A., Cabello, M. N., Dinolfo, M. I., and Lange, C. E.** (2011). First record of *Fusarium verticillioides* as an entomopathogenic fungus of grasshoppers. *Journal of Insect Science*, 11(1), 70, doi.org/10.1673/031.011.7001.
- Polat, A.** (2023). Erzurum Yöresinde Patates Böceği (*Leptinotarsa decemlineata* Say, 1824) Mücadelesinde Fungal Entomopatojenlerin Kullanım Olanakları. *Uluslararası Gıda Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 3(1), 9-23.
- Polat, P.** (2008). *Larval dönemde üç farklı doğal besinle beslenen Ephestia kuehniella (Zeller, 1879) (Lepidoptera: Pyralidae) da ergin ömür uzunluğu, verim ve eşey oranı* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No: 213420).

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Prakash, S., Singh, G., Soni, N., and Sharma, S.** (2010). Pathogenicity of *Fusarium oxysporum* against the larvae of *Culex quinquefasciatus* (Say) and *Anopheles stephensi* (Liston) in laboratory. *Parasitology research*, 107, 651-655, doi.org/10.1007/s00436-010-1911-1.
- Radwan, M.H, Alaidaroos, B. A., Jastaniah, S.D., Abu El-Naga, M.N., El-Gohary, E.E., Barakat, E. M. S., El Shafie, A.M., Abdou, M.A., Mostafa, N.G., El-Saadony, M.T. and Momen, S.A.A.** (2022). Evaluation of antibacterial activity induced by *Staphylococcus aureus* and Ent A in the hemolymph of *Spodoptera littoralis*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29 (4), 2892-2903. doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.01.025.
- Rajashekar, Y., Gunasekaran, N., and Shivanandappa, T.** (2010). Insecticidal activity of the root extract of *Decalepis hamiltonii* against stored-product insect pests and its application in grain protection. *Journal of Food Science and Technology*, 47(3), 310–314. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0049-6>.
- Raper, K.B. and Thom, C.** (1949). *A manual of the Penicilli*, Baltimore, The Williams and Wilkins Company.
- Ríos-Moreno, A., Garrido-Jurado, I., Resquín-Romero, G., Arroyo-Manzanares, N., Arce, L. and Quesada-Moraga, E.** (2016). Destruxin A production by *Metarhizium brunneum* strains during transient endophytic colonisation of *Solanum tuberosum*. *Biocontrol Science and Technology*, 26(11), 1574–1585, doi.org/10.1080/09583157.2016.1223274.
- Roy, H. E., Steinkraus, D. C., Eilenberg, J., Hajek, A. E. and Pell, J. K.** (2006). Bizarre interactions and endgames: entomopathogenic fungi and their arthropod hosts. *Annual Review of Entomology*, 51(1), 331–357, doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.150940.
- Safavi, S.A., Kharrazi, A., Rasoulia, G.R. and Bandani, A.R.** (2010). Virulence of Some Isolates of Entomopathogenic Fungus, *Beauveria bassiana* on *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae) Larvae. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 12, 13-21, Erşim adresi: <https://jast.modares.ac.ir/article-23-8866-en.pdf>.
- Samson, R.A., Hoekstra, E.S. and Oorschot, C.A.** (1981). *Introduction To Food-Borne Fungi*. Delft: Centraalbureau Voor Schimmelcultures.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sandhu, S. S., Sharma, A. K., Beniwal, V., Goel, G., Batra, P., Kumar, A., Jaglan, S., Sharma, A. K. and Malhotra, S.** (2012). Myco-biocontrol of insect pests: Factors involved, mechanism, and regulation. *Journal of Pathogens*, 2012, 126819, doi.org/10.1155/2012/126819.
- Santi, L., da Silva, W. O. B., Berger, M., Guimarães, J. A., Schrank, A., and Vainstein, M. H.** (2010). Conidial surface proteins of *Metarhizium anisopliae*: Source of activities related with toxic effects, host penetration and pathogenesis. *Toxicon*, 55(4), 874-880, doi.org/10.1016/j.toxicon.2009.12.012.
- Sariyörük, N., & Köseoğlu, A.** (1987). *Effect of freezing methods to the fig insects in the natural dried figs* (Doctoral dissertation, B. Sc. Thesis. Ege Univ., Food Engineering Depth. 37 p).
- Satar, H., ve Koç, N. K.** (2004). Entomopatojen fungus *Fusarium subglutinans*'ın *Aphis gossypii* Glover'ye karşı biyolojik etkinliğinin belirlenmesi. *Türkiye 6. Biyolojik Mücadele Kongresi Bildirileri*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü, 58-59.
- Scieuzo, C., Giglio, F., Rinaldi, R., Lekka, M.E., Cozzolino, F., Monaco, V., Monti, M., Salvia, R. and Falabella, P.** (2023). In Vitro Evaluation of the Antibacterial Activity of the Peptide Fractions Extracted from the Hemolymph of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Insects*, 14(5),464. doi.org/10.3390/insects14050464.
- Serebrov, V. V., Gerber, O. N., Malyarchuk, A. A., Martemyanov, V. V., Alekseev, A. A., and Glupov, V. V.** (2006). Effect of entomopathogenic fungi on detoxification enzyme activity in greater wax moth *Galleria mellonella* L.(Lepidoptera, Pyralidae) and role of detoxification enzymes in development of insect resistance to entomopathogenic fungi. *Biology Bulletin*, 33, 581-586, doi.org/10.1134/S1062359006060082.
- Sevim, A.** (2015). Entomopatojenik fungusların genel biyolojileri ve Türkiye'de zararlı böceklerin mücadelesinde kullanılma potansiyelleri. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 115-147, doi.org/10.18185/eufbed.33883.
- Sevim, A., Demir, I., Höfte, M., Humber, R. A., and Demirbağ, Z.** (2010a). Isolation and characterization of entomopathogenic fungi from hazelnut-growing region of Turkey. *Biocontrol Science and Technology*, 55, 279-297, doi.org/10.1007/s10526-009-9235-8.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sevim, A., Demir, I., Tanyeli, E., and Demirbağ, Z.** (2010b). Screening of entomopathogenic fungi against the European spruce bark beetle, *Dendroctonus micans* (Coleoptera: Scolytidae). *Biocontrol Science and Technology*, 20, 3-11, doi.org/ doi.org/10.1080/09583150903305737.
- Sewify, G. H., El Shabrawy, H. A., Eweis, M. E., and Naroz, M. H.** (2014). Efficacy of entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*, for controlling certain stored product insects. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 24(1), 191–196, doi.org/ 10.1186/s41938-020-00219-y.
- Shaaya, E., Kostjucovski, M., Eilberg, J. and Sukprakarn, C.** (1997). Plant oils as fumigants and contact insecticides for the control of stored-product insects. *Journal of Stored Products Research*, 33, 7–15, doi.org/10.1016/S0022-474X(96)00032-X.
- Shah, M. A. and Khan, A. A.** (2014). Imaging techniques for the detection of stored product pests. *Applied Entomology and Zoology*, 49, 201–212, doi.org/ 10.1007/s13355-014-0254-2.
- Shah, P. A., and Pell, J. K.** (2003). Entomopathogenic fungi as biological control agents. *Applied microbiology and biotechnology*, 61(5), 413-423, doi.org/ 10.1007/s00253-003-1240-8.
- Shakarami, J., Eftekharifar, R., Latifian, M., and Jafari, S.** (2015). Insecticidal activity and synergistic effect of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. and three botanical compounds against third instar larvae of *Ephestia kuehniella* Zeller. *Research on Crops*, 16(2), 296-303, doi.org/ 10.5958/2348-7542.2015.00044.3.
- Sharma, A., Sharma, S., and Yadav, P. K.** (2023). Entomopathogenic fungi and their relevance in sustainable agriculture: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1), 2180857, doi.org/10.1080/23311932.2023.2180857.
- Skinner, M., Parker, B. L., and Kim, J. S.** (2014). Role of entomopathogenic fungi in integrated pest management. *Integrated pest management*, 169-191, doi.org/10.1016/B978-0-12-398529-3.00011-7.
- Soliman, N. A.** (2020). Toxicological and biochemical effects of *Beauveria bassiana* (Bals.) on peach fruit fly, *Bactrocera zonata* (Saunders) immature stages. *Journal of Plant Protection and Pathology*, 11(11), 579-585, doi.org/ 10.21608/jppp.2020.133805.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Srivastava, C. and Subramanian, S.** (2016). Storage insect pests and their damage symptoms: An overview. *Indian Journal of Entomology*, 78(Special), 53–58, doi.org/10.5958/0974-8172.2016.00025.0.
- Steenberg, T.** (2006). Safety aspects related to the use of entomopathogenic fungi in stored products. In V. M. Scussel (Ed.), *Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection*, 15–18 October 2006, São Paulo, Brazil (pp. 855–862).
- Strand, M. R.** (2008). The insect cellular immune response. *Insect science*, 15(1), 1-14, doi.org/10.1111/j.1744-7917.2008.00183.x.
- T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı.** (1990). *Bitki koruma el kitabı* (878 s.). İzmir: Memleket Gazetecilik ve Matbaacılık.
- Tarlack, P., Mehrkhou, F., and Mousavi, M.** (2015). Life history and fecundity rate of *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) on different wheat flour varieties. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 48(1), 95–103. https://doi.org/10.1080/03235408.2014.880494
- Teetor-Barch, G.H. and Roberts, D.W.** (1983). Entomogenous *Fusarium* species. *Mycopathologia*, 84; 3–16, doi.org/10.1007/BF00436991.
- Telli, S., Derviş, S., ve Yiğit, A.** (2014). Entomopatojen fungus, *Lecanicillium lecanii* (Sordariomycetes: Hypocreales)'nin bazı fitofag Hemiptera türlerine etkisi.
- Tkaczuk, C., Harasimiuk, M., Król, A. and Bereś, P. K.** (2015). The effect of selected pesticides on the growth of entomopathogenic fungi *Hirsutella nodulosa* and *Beauveria bassiana*. *Journal of Ecological Engineering*, 16(3), doi.org/10.12911/22998993/2952.
- Tosi, L., Beccari, G., Rondoni, G., Covarelli, L., and Ricci, C.** (2015). Natural occurrence of *Fusarium proliferatum* on chestnut in Italy and its potential entomopathogenicity against the Asian chestnut gall wasp *Dryocosmus kuriphilus*. *Journal of pest science*, 88, 369-381, doi.org/10.1007/s10340-014-0624-0.
- Tuli, H. S., Sandhu, S. S. and Sharma, A. K.** (2014). Pharmacological and therapeutic potential of *Cordyceps* with special reference to cordycepin. *3 Biotech*, 4(1), 1–12, doi.org/10.1007/s13205-013-0121-9.
- Turmuş, E. ve Güneş, E.** (2020). Dünyada ve Türkiye’de gıda güvenliği/güvencesinin hububat sektörü yönüyle değerlendirilmesi. *Türkiye Biyoetik Dergisi*, 7(3), 124-143.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Türkiye İstatistik Kurumu.** (2017). Web sayfası: Türkiye İstatistik Kurumu. <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist> (Erişim tarihi: Ocak 2017).
- Türkiye İstatistik Kurumu.** (2023). Türkiye İstatistik Kurumu. <http://www.tuik.gov.tr/> (Erişim tarihi: 10 Temmuz 2023).
- Uçak, H., Karaca, İ., ve Güven, Ö.** (2014). Bazı biyopestisitlerin *Frankliniella occidentalis* (Pergande)(Thripidae: Thysanoptera) üzerine etkileri. *Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 5(2), 137-148.
- Ulyett, G. C.** (1945). Oviposition by *Ephestia kuehniella* Zell. *Journal of the Entomological Society of Southern Africa*, 8(2), 53-59.
- Usta, G.** (2021). *Xylocoris flavipes* Reuter (Heteroptera: Anthocoridae)'in depolanmış ürün zararlılarından *Ephestia kuehniella* zeller (Lepidoptera: Pyralidae) yumurtalarında biyolojisi ve av tercihleri üzerine araştırmalar. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Iğdır Üniversitesi Tarım Bilimleri Anabilim Dalı, Iğdır.
- Uygun, N.** (2002). Zararlılara karşı biyolojik mücadelede gelişmeler. In *Türkiye 5. Biyolojik Mücadele Kongresi*, Eylül 4-7, 2002 (ss. 23-31). Erzurum.
- Uygun, N. ve Şekeroğlu, E.** (1987). Çukurova'ya ithal edilen bazı doğal düşmanların biyolojik savaşta kullanılma olanakları. *Türkiye I. Entomoloji Kongresi Bildirisi*, 13-16 Ekim, Adana, ss. 553-562.
- Uygun, N., Ulusoy, M. R., ve Satar, S.** (2016). *Biyolojik mücadele. Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi*, 1 (1), 1-14.
- Uzuner, S., Güner, B. G., Ayar, Ö. ve Yaman, M.** (2017). Biyolojik mücadelede kullanılan entomopatojenlerin arılar üzerine etkileri. *Arıcılık araştırma dergisi*, 9(1), 9-19.
- Vannini, A., Vettraino, A., Martignoni, D., Morales-Rodriguez, C., Contarini, M., Caccia, R., ... and Speranza, S.** (2017). Does *Gnomoniopsis castanea* contribute to the natural biological control of chestnut gall wasp?. *Fungal Biology*, 121(1), 44-52, doi.org/10.1016/j.funbio.2016.08.013.
- Vassilakos, T. N., Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G. and Vayias, B. J.** (2006). Influence of temperature on the insecticidal effect of *Beauveria bassiana* in combination with diatomaceous earth against *Rhizopertha dominica* and *Sitophilus oryzae* on stored wheat. *Biological Control*, 38(2), 270-281, doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.11.007

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Vega, F. E., Meyling, N. V., Luangsa-ard, J. J., and Blackwell, M.** (2012). Fungal entomopathogens. *Insect pathology*, 2, 171-220.
- Wakefield, M. E.** (2006). Factors affecting storage insect susceptibility to the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. In V. M. Scussel (Ed.), *Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection*, 15–18 October 2006, São Paulo, Brazil (pp. 855–862).
- Wang, H., Peng, H., Li, W., Cheng, P., and Gong, M.** (2021). The toxins of *Beauveria bassiana* and the strategies to improve their virulence to insects. *Frontiers in microbiology*, 12, 705343, doi.org/10.3389/fmicb.2021.705343.
- Weber, M., Balogh, K., Fodor, J., Erdélyi, M., Ancsin, Z., and Mézes, M.** (2010). Effect of T-2 and HT-2 toxin during the growing period on body weight, lipid peroxide and glutathione redox status of broiler chickens. *Acta Veterinaria Brno*, 79(1), 27-31, doi.org/10.2754/avb201079010027.
- Willey, K. B., Cox, P. D., Wakefield, M., Price, N. R., Moore, D., and Bell, B. A.** (2002). The use of entomopathogenic fungi for stored product pest control-the "MYCOPEST" project.
- Wu, G., Jiang, S., and Miyata, T.** (2004). Effects of synergists on toxicity of six insecticides in parasitoid *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Aphidiidae). *Journal of Economic Entomology*, 97(6), 2057-2066, doi.org/10.1093/jee/97.6.2057.
- Xie, X. Q., Wang, J., Huang, B. F., Ying, S. H., and Feng, M. G.** (2010). A new manganese superoxide dismutase identified from *Beauveria bassiana* enhances virulence and stress tolerance when overexpressed in the fungal pathogen. *Applied microbiology and Biotechnology*, 86, 1543-1553, doi.org/ 10.1007/s00253-010-2437-2.
- Xu, J., Wang, Q. and He, X. Z.** (2008). Emergence and reproductive rhythms of *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae). *New Zealand Plant Protection*, 61, 277-282, doi.org/10.30843/nzpp.2008.61.6806.
- Yaman, C. ve Şimşek, Ş.** (2019). Biberiye ekstraktlarının buğday çimlenmesi ve tahıl depo zararlıları üzerine etkileri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 22, 243–250, doi.org/ 10.18016/ksutarimdog.vi.548708.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ye, C., Song, Z., Wu, T., Zhang, W., Saba, N. U., Xing, L., and Su, X.** (2021). Endocuticle is involved in caste differentiation of the lower termite. *Current Zoology*, 67(5), 489-499, doi.org/ 10.1093/cz/zoab005.
- Yıldırım, E.** (2012). *Depolanmış ürün zararlıları ve mücadele yöntemleri* (Yayın No: 191). Erzurum: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Yıldırım, E., Özbek, H. ve Aslan, İ.** (2001). *Depolanmış ürün zararlıları*. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 191, s. 117.
- Yıldırım, E., Özbek, H. ve Aslan, İ.** (2001). *Depolanmış ürün zararlıları* (Yayın No: 191). Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
- Yıldırım, E., Özbek, H., ve Aslan, İ.** (2001). Depolanmış ürün zararlıları. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, 191, 77-103.
- Yıldız, İ.** (2012). *Kuru incir kurdu, Ephestia (Cadra) cautella'nın bakteriyal mücadele etmeninin araştırılması* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No: 324640).
- Yu, J., Cleveland, T.E., Nierman, W.C. and Bennett, J. W.** (2005). *Aspergillus flavus* genomics: gateway to human and animal health, food safety, and crop resistance to 139 disease. *Revista iberoamericana de micología*, 22, 194–202, doi.org/10.1016/S1130-1406(05)70043-7.
- Yücel, A.** (1988). Güneydoğu Anadolu Bölgesinde un fabrikaları ve un değirmenlerinde bulunan zararlılar ve zarar durumları üzerinde ön çalışmalar. *Bitki Koruma Bülteni*, 28(1-2), 57-77.
- Zeren, O., Güncü, M. ve Yabaş, C.** (1986, 12–14 Şubat). *Erynia neoaphidis*'in Çukurova bölgesinde sebzelerde yayılış ve konukçuları üzerinde çalışmalar. In *Türkiye I. Biyolojik Mücadele Kongresi Bildirileri* (s. 468–476). Adana.
- Zibae, A., and Malagoli, D.** (2014). Immune response of *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Crambidae) larvae to different entomopathogenic fungi. *Bulletin of Entomological Research*, 104(2), 155-163, doi.org/10.1017/S0007485313000588.
- Zimmermann, G.** (2007a). Review on safety of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*. *Biocontrol Science and Technology*, 17(6), 553–596, doi.org/10.1080/09583150701309006.

## **KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Zimmermann, G.** (2007b). Review on safety of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Biocontrol Science and Technology*, 17(9), 879–920, doi.org/10.1080/09583150701593963.
- Zimmermann, G.** (2008). The entomopathogenic fungi *Isaria farinosa* (formerly *Paecilomyces farinosus*) and the *Isaria fumosorosea* species complex (formerly *Paecilomyces fumosoroseus*): Biology, ecology and use in biological control. *Biocontrol Science and Technology*, 18(9), 865–901, doi.org/10.1080/09583150802471812.
- Zupko, K., Sklan, D. and Lensky, Y.** (1993). Proteins of the honeybee (*Apis mellifera* L.) body surface and exocrine glands. *Journal of Insect Physiology*, 39, 41-46, doi.org/10.1016/0022-1910(93)90016-K.

# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Muhammet DENİZ  
Doğum tarihi ve yeri : 16.04.2000/ Adana  
e-posta : mt.deniz.01@gmail.com

## Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Biyoloji	2023-2025
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Biyoloji	2019-2023
Lise	İlhan Atış Anadolu Lisesi	2014-2018