

**MİKROYEŞİLLİK ÜRETİMİNDE PATOJEN
TRANSFERİNİN TAKİBİ VE ULTRAVİYOLE-
C'NİN PATOJEN REDÜKSİYONUNDAKİ
ETKİNLİĞİNİN TESPİTİ**

Sefa IŞIK

Danışman: Prof. Dr. Bülent ÇETİN

İkinci Danışman: Doç. Dr. Zeynal TOPALCENGİZ

Doktora Tezi

Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2023

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**MİKROYEŞİLLİK ÜRETİMİNDE PATOJEN TRANSFERİNİN TAKİBİ VE
ULTRAVİYOLE-C'NİN PATOJEN REDÜKSİYONUNDAKİ ETKİNLİĞİNİN
TESPİTİ**

(Monitoring of Pathogen Transfer in Microgreen Production and Determination of The
Effectiveness of Ultraviolet-C in Pathogen Reduction)

DOKTORA TEZİ

Sefa IŞIK

Danışman: Prof. Dr. Bülent ÇETİN
İkinci Danışman: Doç. Dr. Zeynal TOPALCENGİZ
Erzurum
Mayıs, 2023

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Sefa IŞIK tarafından hazırlanan “Mikroyeşillik Üretiminde Patojen Transferinin Takibi ve Ultraviyole-C’nin Patojen Redüksiyonundaki Etkinliğinin Tespiti” başlıklı çalışması 05/05/2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. İhsan Güngör ŞAT <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Danışman:	Prof. Dr. Bülent ÇETİN <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
İkinci Danışman	Doç. Dr. Zeynal TOPALCENGİZ <i>Muş Alparslan Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Haluk Çağlar KAYMAK <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Hilal YILDIZ <i>Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Çağlar FIRAT <i>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet YÜKSEL <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır

Enstitü Yönetim Kurulunun
.../.../.... tarih ve sayılı
kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: FDK-2021-9918

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Doktora Tezi olarak *Prof. Dr. Bülent ÇETİN* danışmanlığında sunulan “Mikroyeşillik Üretiminde Patojen Transferinin Takibi ve Ultraviyole-C’nin Patojen Redüksiyonundaki Etkinliğinin Tespiti” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	3	30
Kuramsal Temeller	9	30
Materyal ve Yöntem	9	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	9	20
Sonuç ve Öneriler	3	20
Tezin Geneli	10	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5’den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Sefa IŞIK	Prof. Dr. Bülent ÇETİN
5.5.2023	5.5.2023
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

- ☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/.../..... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.
- ☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/.../..... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca akademik tecrübesi, iş ahlakı ve vizyonuyla bana rehberlik eden, doktora tezimin her safhasında büyük katkısı ve emeği olan, yoğun temposu ve iş yüküne rağmen büyük sabır ve anlayışla her zaman yanımda olan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Bülent ÇETİN'e,

Uzun süredir birlikte çalıştığım, bana akademisyenliğin ve iyi bir araştırmacının nasıl olması gerektiğini öğreten, vizyonu ve bilgisiyle yolumu aydınlatan, bu zorlu süreçte maddi-manevi desteğini esirgemeyen değerli ikinci danışman hocam Sayın Doç. Dr. Zeynal TOPALCENGİZ'e

Görüş ve önerileriyle tez çalışmamın daha nitelikli olmasını sağlayan Tez İzleme Komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. İhsan Güngör ŞAT ile Sayın Prof. Dr. Haluk Çağlar KAYMAK'a,

Tez çalışmamı maddi olarak destekleyen Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (Proje no: FDK-2021-9918),

Hayatımın her aşamasında maddi ve manevi destekçilerim olan, bu süreçteki heyecanı, stresi, yorgunluğu ve mutluluğu benimle birlikte yaşayan değerli aileme, kıymetli eşim Dr. Sümeyra IŞIK'a ve kızlarım Fatma Betül ile Zeynep Erva'ya tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Sefa IŞIK

ÖZET

DOKTORA TEZİ

MİKROYEŞİLLİK ÜRETİMİNDE PATOJEN TRANSFERİNİN TAKİBİ VE ULTRAVİYOLE-C'NİN PATOJEN REDÜKSİYONUNDAKİ ETKİNLİĞİNİN TESPİTİ

Sefa IŞIK

Danışman: Prof. Dr. Bülent ÇETİN

İkinci Danışman: Doç. Dr. Zeynal TOPALCENGİZ

Amaç: Bu çalışmada, *Salmonella enterica*, Shiga toksin üreten *Escherichia coli* O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in bitki besin solüsyonu ve perlitteki davranışlarının belirlenmesi, perlit ve tohumun bu patojenler ile düşük ve yüksek seviyede kontamine olması halinde mikroyeşilliklere transfer olma düzeylerinin tespiti ve tohum özelliklerinin transfer düzeyine etkisinin saptanması, mikroyeşilliklere uygulanan UV-C'nin bu patojenleri inhibe etmedeki etkinliğinin tespiti ve Glo-Germ tozu yardımıyla patojenlerin mikroyeşillik yüzeyindeki muhtemel lokalizasyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Yöntem: Öncelikle STEC O157:H7, *S. enterica* ve *L. monocytogenes*'in herbiri düşük (10^2 - 10^3 kob/g) ve yüksek (10^5 - 10^6 kob/g) seviyelerde bitki besin solüsyonu ve perlite inoküle edilerek popülasyonda meydana gelen değişim 28 gün boyunca yayma plak yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Perlitin STEC O157:H7, *S. enterica* ve *L. monocytogenes* ile kontamine olması durumunda patojenlerin mikroyeşilliklere transfer düzeylerinin belirlenmesi için 20 farklı mikroyeşillik türü yetiştirilmiştir. Ayrıca, tohumların düşük ve yüksek seviyelerde kontamine olması durumunda mikroorganizmaların mikroyeşilliklere transfer düzeylerinin tespiti için ise 5 farklı mikroyeşillik türü yetiştirilmiştir. Mikroyeşillikler üzerindeki patojen popülasyonu ve mikrobiyal yük tespit edilmiştir. Ardından, ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerine farklı mesafeler (10, 20 ve 30 cm), farklı yönler (tek ve çift yönlü) ve farklı sürelerde (5, 10, 20, 30, 60 ve 120 s) UV-C uygulanmış ardından +4 °C'de depolanarak mikrobiyal yükteki değişim incelenmiştir. Ayçiçeği ve turp tohumları Glo-Germ tozu ile kaplanarak, STEC O157:H7, *S. enterica* ve *L. monocytogenes* ile kontamine edilmiş perlite ekilmiştir. UV-C lamba altında floresan ışımının yüksek olduğu ya da az olduğu/olmadığı kotiledon bölgeleri kesilerek bu bölgelerdeki ilgili bakterilerin popülasyon farklılığı araştırılmıştır. Ayrıca Glo-Germ ile kaplı turp tohumları jenerik *E. coli* ile kontamine edilmiş perlit kullanılarak yetiştirilmiş ve mikroyeşillik yüzeyi SEM ile görüntülenmiştir.

Bulgular: Perlitin ve bitki besin solüsyonunun *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile düşük düzeyde bile kontamine olması halinde ilk 24 saat içerisinde patojenlerin yüksek popülasyonlara ulaşabildiği görülmüştür. Hem düşük hem de yüksek düzeyde kontamine edilen perlit ve tohum kullanılarak yetiştirilen mikroyeşilliklerin tümüne *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in transfer olabildiği ayrıca tohum özelliklerinin patojenlerin transferini etkilediği görülmüştür. UV-C uygulamasının *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* popülasyonunda önemli düzeyde redüksiyon sağladığı özellikle yakın mesafeden çift yönlü ve uzun süreli UV-C uygulamasının redüksiyonu arttırdığı belirlenmiştir. UV-C uygulaması sonrası patojen popülasyonunda önemli düzeyde azalma olmasına rağmen depolama süresince popülasyon artışı gözlenmiştir. Glo-Germ uygulaması sonrası her iki mikroyeşillikte floresan ışımının yoğun olduğu bölgelerdeki patojen popülasyonunun, ışımının az ya da olmadığı bölgelerdekine göre yüksek olduğu ancak floresan ışımının olmadığı bölgelerde de yüksek seviyede patojen varlığının olduğu belirlenmiştir.

Sonuç: Mikroyeşillik üretiminde kullanılan bitki besin solüsyonu, perlit ve tohumların patojenler ile muhtemel kontaminasyonu sonrası gıda güvenliği açısından risk oluşturduğu, UV-C uygulamasının patojen inhibisyonunu sağladığı ancak tek başına yeterli olmadığı kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikroyeşillik, *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica*, *Listeria monocytogenes*, UV-C, Glo-Germ

Mayıs 2023, 135 Sayfa

ABSTRACT

DOCTORAL DISSERTATION

MONITORING OF PATHOGEN TRANSFER IN MICROGREEN PRODUCTION AND DETERMINATION OF THE EFFECTIVENESS OF ULTRAVIOLET-C IN PATHOGEN REDUCTION

Sefa İŞİK

Supervisor: Prof. Dr. Bülent ÇETİN

Co-Advisor: Assoc. Prof. Dr. Zeynal TOPALCENGİZ

Purpose: The aim of this study was to determine the behavior of *Salmonella enterica*, Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O157:H7, and *Listeria monocytogenes* in plant nutrient solution and perlite, to detect the levels of transfer to microgreens when perlite and seeds are contaminated with these pathogens at low and high levels, to determine the effect of seed properties on transfer levels, to assess the effectiveness of UV-C treatment on inhibiting these pathogens in microgreens, and to identify the possible localization of pathogens on the surface of microgreens using Glo-Germ powder.

Method: Initially, changes in the populations of STEC O157:H7, *S. enterica*, and *L. monocytogenes* in plant nutrient solution and perlite were determined by inoculating each pathogen at low (10^2 - 10^3 kob/g) and high (10^5 - 10^6 kob/g) levels and incubating for 28 days. To determine the transfer levels of pathogens from perlite to microgreens, 20 different microgreen species were grown after perlite was contaminated with STEC O157:H7, *S. enterica*, and *L. monocytogenes*. Similarly, to determine the transfer levels of microorganisms from contaminated seeds to microgreens, 5 different microgreen species were grown after seeds were contaminated with pathogens at low and high levels. Pathogen population and microbial load on microgreens were determined. Afterwards, UV-C was applied to sunflower and radish microgreens at different distances (10, 20, and 30 cm), directions (single and double), and durations (5, 10, 20, 30, 60, and 120 s), stored at +4 °C, and changes in microbial load were examined. Sunflower and radish seeds were coated with Glo-Germ powder and grown in perlite contaminated with STEC O157:H7, *S. enterica*, and *L. monocytogenes*. The cotyledon regions with high or low/absent fluorescence under UV-C light were harvested, and the population differences of relevant bacteria in these regions were investigated. Furthermore, radish seeds coated with Glo-Germ powder were grown in perlite contaminated with generic *E. coli*, and the microgreen surface was imaged using SEM.

Findings: It has been observed that even low levels of contamination with *S. enterica*, STEC O157:H7, and *L. monocytogenes* in perlite and plant nutrient solution can result in high pathogen populations within the first 24 hours. It has also been shown that all microgreens grown using both low and high levels of contaminated perlite and seeds can transfer *S. enterica*, STEC O157:H7, and *L. monocytogenes*. Additionally, seed characteristics can affect the transfer of pathogens. UV-C treatment has been found to significantly reduce *S. enterica*, STEC O157:H7, and *L. monocytogenes* populations, especially with close-range and long-duration UV-C treatment. However, despite significant reductions in pathogen populations after UV-C treatment, an increase in population has been observed during storage. After Glo-Germ application, it was found that the presence of pathogens was high in areas with intense fluorescent radiation in both microgreens, but also high in areas without fluorescent radiation.

Results: It has been concluded that the plant nutrient solution, perlite, and seeds used in microgreen production pose a risk to food safety following potential contamination with pathogens. While UV-C treatment can inhibit pathogens, it has been deemed insufficient on its own

Keywords: Microgreen, *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica*, *Listeria monocytogenes*, UV-C, Glo-Germ

May 2023, 135 Pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	xii
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	5
Mikroyeşillikler.....	5
Mikroyeşilliklerin Besin İçeriği ve Sağlık Üzerindeki Rolü	6
Mikroyeşilliklerin Yetiştirilmesi ve Hasat Edilmesi.....	8
Mikroyeşilliklerin Muhafazası	10
Mikroyeşilliklerde Kontaminasyon.....	11
Ultraviyole C (UV-C) Uygulaması	19
Glo-Germ	22
MATERYAL ve YÖNTEM	23
Materyal	23
Mikroyeşillik çeşitleri	23
Patojen bakteriler	23
Mikroyeşillik yetiştirme materyalleri.....	24
Yöntem.....	24
Tohum ağırlığı ve yüzey alanının hesaplanması	24
STEC O157:H7 ve <i>S. enterica</i> 'nın ampiciline dirençli hale getirilmesi	25
<i>S. enterica</i> , STEC O157:H7 ve <i>L. monocytogenes</i> 'in aktifleştirilmesi ve inokülasyona hazırlanması	26
Perlite <i>S. enterica</i> , STEC O157:H7 ve <i>L. monocytogenes</i> 'in inokülasyonu ve tohum ekimi.....	28
Tohumlara <i>S. enterica</i> , STEC O157:H7 ve <i>L. monocytogenes</i> 'in inokülasyonu ve tohum ekimi.....	28
Mikroyeşilliklerin yetiştirilmesi.....	28

Mikroyeşilliklerin hasadı ve mikrobiyolojik analizler	29
UV-C uygulaması	31
Renk analizi.....	32
Glo-Germ tozu ile mikroyeşilliklere patojen transferinin görselleştirilmesi ve SEM ile görüntülenmesi	32
İstatistiksel analizler.....	34
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	36
Mikroyeşilliklere Patojen Transferi	36
Perlitte ve bitki besin solüsyonunda <i>S. enterica</i> , STEC O157:H7 ve <i>L. monocytogenes</i> 'in sağ kalımı	37
Kontamine perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklere mikroorganizmaların transferi	40
Kontamine tohum kullanılarak yetiştirilen mikroyeşilliklere mikroorganizmaların transferi	50
Tohum ve perlit kontaminasyonu ile yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki patojen popülasyonunun kıyaslanması	57
Mikroyeşilliklerdeki patojenlerin popülasyonu üzerine tohum özellikleri ve hasat süresinin etkisi.....	61
Mikroyeşilliklerde Bulunan Mikroorganizmaların UV-C ile İnhibisyonu	70
<i>S. enterica</i> 'nın UV-C ile inhibisyonu.....	70
STEC O157:H7'in UV-C ile inhibisyonu	74
<i>L. monocytogenes</i> 'in UV-C ile inhibisyonu.....	77
TMAB inhibisyonu	80
TMK inhibisyonu	84
UV-C sonrası mikroyeşilliklerin depolanması.....	86
UV-C uygulamasının mikroyeşilliklerin renk değerleri üzerine etkisi	92
Glo-Germ Tozu ile Mikroyeşilliklere Patojen Transferinin Görselleştirilmesi ve SEM ile Görüntülenmesi	95
Glo-Germ tozu kullanımı	95
SEM analizi.....	99
SONUÇ VE ÖNERİLER	100
KAYNAKLAR.....	106
ÖZ GEÇMİŞ.....	119

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Mikroyeşillikler ve Filizlerin Karşılaştırılması	6
Tablo 2. STEC O157:H7 ve <i>S. enterica</i> Suşlarının Ampisiline Dirençli Hale Getirilmesinde Uygulanan Protokol.....	26
Tablo 3. Farklı süre ve mesafelerde UV-C dozu	32
Tablo 4. Düşük ve Yüksek Oranda <i>Salmonella</i> , STEC O157:H7 ve <i>L. monocytogenes</i> ile Kontamine Perlitte Yetiştirilen Mikroyeşilliklere Transfer Olan Patojen Popülasyonu	42
Tablo 5. <i>S. enterica</i> ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Perlitte Yetiştirilen 20 Tür Mikroyeşillığe Transfer Olan Patojenlerin Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları	43
Tablo 6. STEC O157:H7 ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Perlitte Yetiştirilen 20 Tür Mikroyeşillığe Transfer Olan Patojenlerin Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları	44
Tablo 7. <i>L. monocytogenes</i> ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Perlitte Yetiştirilen 20 Tür Mikroyeşillığe Transfer Olan Patojenlerin Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları	45
Tablo 8. Düşük ve Yüksek Oranda STEC O157:H7 ile Kontamine Perlitte Yetiştirilen Mikroyeşilliklerdeki TMAB ve TMK Popülasyonu (log kob/g).....	48
Tablo 9. STEC O157:H7 ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Perlitte Yetiştirilen 20 Tür Mikroyeşillğin TMAB Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları.....	49
Tablo 10. STEC O157:H7 ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Perlitte Yetiştirilen 20 Tür Mikroyeşillğin TMK Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları.....	49
Tablo 11. Düşük ve yüksek oranda <i>S. enterica</i> , STEC O157:H7 ve <i>L. monocytogenes</i> ile kontamine tohumlardan yetiştirilen mikroyeşilliklere transfer olan patojen düzeyi	51
Tablo 12. <i>S. enterica</i> ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Tohum Kullanılarak Yetiştirilen Mikroyeşilliklere Transfer Olan Patojenlerin Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları.....	52
Tablo 13. STEC O157:H7 ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Tohum Kullanılarak Yetiştirilen Mikroyeşilliklere Transfer Olan Patojenlerin Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları	52

Tablo 14. <i>L. monocytogenes</i> ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Tohum Kullanılarak Yetiştirilen Mikroyeşilliklere Transfer Olan Patojenlerin Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları	53
Tablo 15. Düşük ve Yüksek Oranda STEC O157:H7 ile Kontamine Tohumdan Yetiştirilen Mikroyeşilliklerdeki TMAB ve TMK Popülasyonu	55
Tablo 16. STEC O157:H7 ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Tohum Kullanılarak Yetiştirilen Mikroyeşilliklerin TMAB Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları	56
Tablo 17. STEC O157:H7 ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Tohum Kullanılarak Yetiştirilen Mikroyeşilliklerin TMK Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları	56
Tablo 18. Tohum ve Perlit İnokülasyonu ile Yetiştirilen Mikroyeşilliklerdeki Patojen Popülasyonunun Kıyaslanması.....	60
Tablo 19. Çeşitli Tohum Özellikler ve Hasat Süresine Ait Ortalama Değerler.....	61
Tablo 20. <i>S. enterica</i> , STEC O157:H7 ve <i>L. monocytogenes</i> ile Düşük ve Yüksek Oranlarda Kontamine Edilmiş Perlit Kullanılarak Yetiştirilen Mikroyeşilliklerdeki Patojenlerin Popülasyonu Üzerine Tohum Yüzey Alanı, Tohum Ağırlığı ve Hasat Süresinin Etkisine Ait Korel.....	66
Tablo 21. <i>S. enterica</i> , STEC O157:H7 ve <i>L. monocytogenes</i> ile Düşük ve Yüksek Oranlarda Kontamine Edilmiş Tohum Kullanılarak Yetiştirilen Mikroyeşilliklerdeki Patojenlerin Popülasyonu Üzerine Tohum Yüzey Alanı, Tohum Ağırlığı ve Hasat Süresinin Etkisine Ait Korelasyon (R^2) Değerleri.....	66
Tablo 22. Çalışma Kapsamında Kullanılan Tohum ve Yetiştirilen Mikroyeşilliklere Ait Özellikler	69
Tablo 23. Ayçiçeği ve Turp Mikroyeşilliklerine Farklı Süre, Mesafe ve Yönlerden Uygulanan UV-C Sonrası <i>S. enterica</i> , STEC O157:H7 ve <i>L. monocytogenes</i> Popülasyonları	71
Tablo 24. <i>S. enterica</i> ile Kontamine Edilmiş Perlitte Yetiştirilen Ayçiçeği ve Turp Mikroyeşilliklerine Farklı Süre, Mesafe ve Yönlerden Uygulanan UV-C Sonrası Belirlenen Popülasyonlara Ait Varyans Analiz Sonuçları	72
Tablo 25. STEC O157:H7 ile Kontamine Edilmiş Perlitte Yetiştirilen Ayçiçeği ve Turp Mikroyeşilliklerine Farklı Süre, Mesafe ve Yönlerden Uygulanan UV-C Sonrası Belirlenen Popülasyonlara Ait Varyans Analiz Sonuçları	74
Tablo 26. <i>L. monocytogenes</i> ile Kontamine Edilmiş Perlitte Yetiştirilen Ayçiçeği ve Turp Mikroyeşilliklerine Farklı Süre, Mesafe ve Yönlerden Uygulanan UV-C Sonrası Belirlenen Popülasyonlara Ait Varyans Analiz Sonuçları	77

Tablo 27. Ayçiçeği ve Turp Mikroyeşilliklerine Farklı Süre, Mesafe ve Yönlerden Uygulanan UV-C Sonrası TMAB ve TMK Popülasyonu	81
Tablo 28. STEC O157:H7 ile Kontamine Edilmiş Perlitte Yetiştirilen Ayçiçeği ve Turp Mikroyeşilliklerine Farklı Süre, Mesafe ve Yönlerden Uygulanan UV-C Sonrası Belirlenen TMAB Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları.....	82
Tablo 29. STEC O157:H7 ile Kontamine Edilmiş Perlitte Yetiştirilen Ayçiçeği ve Turp Mikroyeşilliklerine Farklı Süre, Mesafe ve Yönlerden Uygulanan UV-C Sonrası Belirlenen TMK Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları	84
Tablo 30. UV-C Sonrası Depolama Periyodunda Ayçiçeği ve Turp Mikroyeşilliklerindeki <i>S. enterica</i> , STEC O157:H7 ve <i>L. monocytogenes</i> Popülasyonunda Meydana Gelen Değişim.....	87
Tablo 31. UV-C Sonrası <i>Salmonella</i> Popülasyonuna Ait Varyans Analiz Sonuçları	88
Tablo 32. UV-C Sonrası STEC O157:H7 Popülasyonuna Ait Varyans Analiz Sonuçları.....	88
Tablo 33. UV-C Sonrası <i>L. monocytogenes</i> Popülasyonuna Ait Varyans Analiz Sonuçları...	88
Tablo 34. UV-C Sonrası Depolama Periyodunda Ayçiçeği ve Turp Mikroyeşilliklerindeki TMAB ve TMK Popülasyonunda Meydana Gelen Değişim.....	90
Tablo 35. UV-C Sonrası TMAB Popülasyonuna Ait Varyans Analiz Sonuçları	90
Tablo 36. UV-C Sonrası TMK Popülasyonuna Ait Varyans Analiz Sonuçları.....	91
Tablo 37. Farklı Süre, Mesafe ve Yönlerden Uygulanan UV-C Sonrası Ayçiçeği Mikroyeşilliğine Ait Renk Değerleri.....	93
Tablo 38. Farklı Süre, Mesafe ve Yönlerden Uygulanan UV-C Sonrası Turp Mikroyeşilliğine Ait Renk Değerleri.....	94
Tablo 39. Patojenler ile Kontamine Perlitte Glo-Germ ile Kaplı Tohumlar Kullanılarak Yetiştirilen Mikroyeşilliklerde Floresan Işıma Düzeyine Göre Popülasyon Değişim	98

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Mikroyeşillik ve filizlerin gelişimine ait görsel	6
Şekil 2. Bazı mikroyeşilliklere ait görseller	9
Şekil 3. Mikroyeşillik üretiminde kullanılan bazı tohumlar.....	23
Şekil 4. Tohum yüzey alanı hesaplama aşamaları.....	25
Şekil 5. Turp mikroyeşilliğine ait çimlenme, filizlenme ve olgunlaşma dönemleri	29
Şekil 6. UV ışık altında Glo-Germ ile kaplanmış ayçiçeği ve turp tohumları ile mikroyeşilliklerinin görüntüleri.....	33
Şekil 7. <i>Salmonella</i> , STEC O157:H7 ve <i>L. monocytogenes</i> 'in, perlite ve bitki besin solüsyonuna, düşük ve yüksek oranda inokülasyonu sonrası popülasyonunda meydana gelen değişim	39
Şekil 8. <i>S. enterica</i> , STEC O157:H7 ve <i>L. monocytogenes</i> ile düşük ve yüksek oranlarda kontamine edilmiş perlit ve tohum kullanılarak yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki patojen popülasyonu ile tohum yüzey alanı tohum ağırlığı ve hasat süresi arasındaki ilişkiyi gösteren lineer regresyon eğrileri.....	65
Şekil 9. Epigeal ve hipogeal çimlenmeye sahip mikroyeşilliklere ait büyüme aşamaları.	67
Şekil 10. Glo-Germ tozu ile kaplanmış tohumlardan yetiştirilen ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinin UV ışık altında adaksiyal ve abaksiyal yüzeylerine ait görüntüler	95
Şekil 11. Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde kotiledonun abaksiyal yüzeylerini abiyotik vekilin kontaminasyonu.....	96
Şekil 12. Kontamine tohumların diğer mikroyeşilliklere teması	97
Şekil 13. Mikroyeşilliğin adaksiyal yüzeyine ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri ..	99

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ATCC	: Amerikan Tipi Kültür Koleksiyonu
Ca	: Kalsiyum
CaCl₂	: Kalsiyum Klorür
CDC	: ABD Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezleri
CO₂	: Karbondioksit
dH₂O	: Distile Su
DNA	: Deoksiribo Nükleik Asit
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
EAEC	: Enteroagregatif
EHEC	: Enterohemorajik
EIEC	: Enteroinvazif
EPEC	: Enteropatojenik
ETEC	: Enterotoksijenik
FDA	: Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi
Fe	: Demir
Fe-DTPA	: Ferro-diethylenetriaminepentaasetik Asit
FW	: Taze Ağırlık
HC	: Hemorajik Kolitis
HPS	: Yüksek Basınçlı Sodyum
HUS	: Hemolitik Üremik Sendrom
K₂O	: Suda Çözünür Potasyum Oksit
K₂O	: Suda Çözünür Potasyum Oksit
LDL	: Düşük Yoğunluklu Lipoprotein
LED	: Işık Yayan Diyot
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
NH₄	: Amonyum
NM	: Non-Motile
NO₃	: Nitrat
O₂	: Oksijen

P₂O₅	: Suda Çözünür Fosfor Pentaoksit
PDA	: Patates Dekstroz Agar
SAEW:	: Hafif Asidik Elektrolize Su
Se	: Selenyum
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SMAC-A	: Ampisilinli Sorbitol Macconkey Agar
spp	: Türler
STEC	: Shiga Toksin Üreten Escherichia Coli
TE	: Trolox Equivalents
TMAB	: Toplam Mezofilik Aerobik Bakteri
TMK	: Toplam Maya ve Küf
TSA	: Triptik Soy Agar
TSB	: Triptik Soy Broth
UK	: Birleşik Krallık
US	: Ultrasound
UV	: Ultraviyole
UV-C	: Ultraviyole-C
XLD	: Ksiloz Lizin Desoksikolat
Zn	: Çinko

Simgeler

%	: Yüzde
°	: Derece
μM	: Mikromolar
C	: Celsius
cm	: Santimetre
cm²	: Santimetre kare
dk	: Dakika
g	: Gram
J	: Joule
kJ	: Kilojoule
kob	: Koloni Oluşturan Bakteri
kV	: Kilovolt
L	: Litre
log	: Logaritma
m	: Metre
M	: Molarite
m²	: Metre kare
m³	: Metre küp
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
mm	: Milimetre
mM	: Milimolar
N	: Normalite
nm	: Nanometre
ppm	: mg/kg
s	: Saniye
W	: Watt
μg	: Mikrogram
μL	: Mikrolitre
μm	: Mikrometre

GİRİŞ

Günümüzde yaşam standartlarının değişmesi ve eğitim seviyesinin artması gibi faktörler tüketicilerin beslenme konusundaki bilinç düzeyini arttırmıştır. Bu durum yüksek besin değerine sahip ve sağlık üzerinde olumlu etkileri bulunan fonksiyonel gıdaların önemini arttırmıştır (Gülbandılar vd 2017). Fonksiyonel gıda olarak kabul edilen mikroyeşillikler de son yıllarda popüler hale gelmiştir.

Yeşillikler, tüketim tercihlerine göre farklı gelişme evrelerinde hasat edilerek tüketilebilmektedir. Tohumdan oluşan ilk çimlenmiş yapıya “filiz” adı verilmektedir. Filizler tohumların çimlenmesinden sonra, gerçek yapraklar gelişmeden önce hasat edilen ve tohumu dâhil bütün olarak tüketilebilen ürün olarak tanımlanmaktadır. “Mikroyeşillikler” ise tohumun çimlenmesi sonrası ilk gerçek yaprakların oluşmasıyla hasat edilen bitkilerdir (Bergspica *et al.* 2020; Işık vd 2022). Mikroyeşillikler topraklı veya topraksız (hidroponik) tarım uygulamalarıyla üretilebilirken (Xiao *et al.* 2014a), yetiştirme materyali olarak torf, vermikülit, perlit gibi materyaller kullanılmaktadır (Treadwell *et al.* 2010). Mikroyeşilliklerin toprak üzerinde kalan gövde ve yaprakları tüketilmekte, kökleri ise tüketilmemektedir (Ebert 2022). Tohum ekiminden hasata kadar geçen süre, 1-3 hafta arasında değişmektedir. Hasat edilen mikroyeşillikler mümkün olan en kısa sürede yıkanarak soğutulmakta ve genellikle polietilen ambalajlarda paketlenerek pazara veya tüketicilere sunulmaktadır (Mir *et al.* 2017). Son hasat tüketici tarafından da yapılabilmekte ve hasat sonrası herhangi bir işleme gerek olmadan taze ve yüksek kaliteli olarak tüketilebilmektedirler (Di Gioia *et al.* 2015).

Çeşitli yenilebilir sebze ve bitki türlerinin spesifik bir sınıfı olan mikroyeşillikler, yoğun aromaya, canlı renklere ve yumuşak bir tekstüre sahip olmalarından dolayı salatalarda, içeceklerde ve yemeklerde garnitür olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Delian *et al.* 2015; Renna *et al.* 2017). Bunun yanı sıra mikroyeşilliklere giderek artan ilginin temelinde besleyici değeri ve sağlık üzerindeki olumlu etkileri de bulunmaktadır. Çeşitli vitamin, mineral ve fenolik bileşiklere ek olarak yüksek oranda biyoaktif bileşen içermesi nedeniyle beslenmede önemli bir yere sahiptir (Supapvanich *et al.* 2020). Bu sayede antiinflamatuvar, antikanserojenik, antidiyabetik ve antiaterosklerotik gibi sağlık açısından önemli özellikleri taşımaktadır (De la Fuente *et al.* 2019).

Mikroyeşillikler genellikle çiğ olarak tüketildikleri, ayrıca sıcak ve nemli koşullarda üretildikleri için mikroorganizma gelişimi için hassas ürünlerdir (Bergspica *et al.* 2020). Bu nedenle gıda kaynaklı patojenler için potansiyel risk unsuru olarak görülmektedirler (Işık *et al.*

2022). Bugüne kadar mikroyeşilliklerle ilgili bir salgın hastalık rapor edilmemiştir (Lenzi *et al.* 2022). Ancak mikroyeşillikler ile filizlerin benzer üretime sahip olması ve filizlerle ilgili rapor edilen salgın hastalıkların bulunması mikroyeşilliklerin mikrobiyolojik güvenliği konusunda endişeye sebep olmaktadır (Renna *et al.* 2017). Nitekim filizlerin de içinde bulunduğu taze tarımsal ürünlerle ilgili salgınlar ABD, İngiltere ve dünyanın diğer bölgelerinde rapor edilmiştir (Waje and Kwon, 2007; Nagar and Bandekar, 2009; Goodburn and Wallace, 2013). Bununla birlikte ABD’de 1995 ile 1999 yılları arasında gerçekleşen 9 ticari filiz salgınından 7’sinin *Salmonella*’nın farklı serotiplerinden, 2’sinin de *E. coli* O157:H7 ve *E. coli* O157:NM’den kaynaklandığı bildirilmiştir (NACMCF 1999). Bunlardan ötürü gıda kaynaklı salgın ve hastalıklara neden olmasından dolayı ABD Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezleri (CDC) filizleri yüksek riskli gıdalar kategorisine dâhil etmiştir (NACMCF 1999). Ayrıca son birkaç yılda tohumlardaki *Salmonella* ve *Listeria* kontaminasyonu nedeniyle ABD ve Kanada’da çok sayıda mikroyeşillik geride çağrıldığı bildirilmiştir (Du *et al.* 2022). Şimdiye kadar mikroyeşilliklerden kaynaklanan herhangi bir salgın hastalık rapor edilmemesine rağmen, filizlerin neden olduğu hastalıklar göz önüne alındığında mikroyeşilliklerle ilgili kontaminasyon risklerinin kontrolü önem taşımaktadır (Işık *et al.* 2022).

Gıdaların muhafaza edilmesi amacıyla geliştirilen yeni teknolojiler gıda kalitesinin iyileştirilmesinde ve güvenilirliğinin sağlanmasında veya sürdürülmesinde önemli faydalar sağlamaktadır (Korkmaz ve Gündüz 2018). Ayrıca taze kesilmiş ürünlerde mikrobiyal kontaminasyonu azaltmak için insan sağlığına zararlı olan dezenfeksiyon ajanlarının kullanımı da alternatif yöntemlerin önemini arttırmıştır (Kasım ve Kasım 2016). Bu amaçla kullanılan ısı olmayan muhafaza yöntemleri gıdalarda besin değerini ve duyu kaliteyi korumanın yanı sıra patojen ve saprofit bakterilerin inaktivasyonunda da oldukça etkilidir (Choudhary and Bandla 2012). Bu yöntemlerden biri olan UV uygulamasının gıdalarda bulunan bakteriler, mayalar, küfler ve virüsler üzerinde germisidal özelliğe sahip olduğu ifade edilmektedir (Guneser and Yuceer 2012). UV ışınları, hücrenin genetik mutasyona uğramasına neden olarak mikroorganizmaların çoğalmasını engellemekte ve inaktif hale gelmesini sağlamaktadır (Kasım ve Kasım 2007). UV uygulaması gıda sanayiinde çoğunlukla su, meyve suyu gibi sıvı gıdaların ve gıdayla temas eden yüzeylerin dezenfeksiyonu için kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda meyve ve sebzelerde bulunan patojen ve küflerin inaktivasyonu için de çalışmalar yapılmıştır (Koca vd 2018).

Glo-Germ, kontaminasyonu simüle etmek ve enfeksiyon kontrol yöntemlerini öğretmek için kullanılan, sıvı/jel veya toz olarak temin edilebilen ticari bir üründür (Anonim 2020). Bu psödokontaminant toz ultraviyole ışık altında çevresel kontaminasyonu gösteren floresan parıltı

oluşturmaktadır. Glo-Germ kullanımının yapılan birçok araştırmada kontaminasyonların belirlenmesinde yardımcı olduğu görülmüştür (Gardiner *et al.* 2020; Matava *et al.* 2020).

Bu çalışmanın amacı, patojen mikroorganizmaların mikroyeşillik yetiştiriciliğinde tohumu ve perliti kontamine etmesi halinde bitkiye hangi düzeyde transfer olduğunu, patojen türü, mikroyeşillik çeşidi, tohum ağırlığı ve tohum yüzey alanının bu transferi nasıl etkilediğini, ortaya çıkan riskin azaltılması ve/veya ortadan kaldırılmasında UV-C'nin etkinliğini ve patojenlerin mikroyeşillik yüzeyindeki muhtemel lokalizasyonlarını belirlemektir.

Mikroyeşilliklerin yetiştirilmesinde kullanılan perlit ve bitki besin solüsyon ortamında patojenlerin popülasyonunda meydana gelen değişikliği belirlemek amacıyla perlite ve bitki besin solüsyonuna STEC O157:H7, *S. enterica* ve *L. monocytogenes* düşük ve yüksek oranlarda ayrı ayrı inoküle edilerek 28 gün boyunca bitki yetiştirme odasında depolanmıştır. Depolamanın 0., 1., 3., 5., 7., 14. ve 28. günlerinde mikrobiyolojik analizler yapılarak patojenlerin perlit ve bitki solüsyonundaki popülasyonları belirlenmiştir.

Yetiştirme materyali olan perlitin kontamine olması halinde mikroyeşilliklere transfer olan patojen popülasyonunu belirlemek amacıyla STEC O157:H7, *S. enterica* ve *L. monocytogenes*'in herbiri için düşük (10^2 - 10^3 kob/g) ve yüksek (10^5 - 10^6 kob/g) oranlarda perlite inoküle edilerek mikroyeşillikler yetiştirilmiş ardından yenilebilir dokulara transfer olan patojen, toplam maya-küf (TMK) ve toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) popülasyonu tespit edilmiştir. Tohumun STEC O157:H7, *S. enterica* ve *L. monocytogenes* ile kontamine olması halinde mikroyeşilliklere transfer olan patojen popülasyonunu belirlemek amacıyla farklı tohum boyut ve özelliklere sahip beş mikroyeşillik (buğday, ayçiçeği, turp, hardal, bezelye) tohumuna düşük ve yüksek oranlarda STEC O157:H7, *S. enterica* ve *L. monocytogenes* inokülasyonu yapılmış ve yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki patojen, TMK ve TMAB popülasyonları belirlenmiştir. Ayrıca tohum ağırlığı ve yüzey alanının patojen mikroorganizmaların transferi üzerine etkisi de araştırılmıştır.

Turp ve ayçiçeği mikroyeşilliklerine farklı mesafe (10 cm, 20 cm, 30 cm), farklı yön (tek yönlü, iki yönlü) ve farklı sürelerde (5, 10, 20, 30, 60 ve 120 s) UV-C (253.7 nm) uygulamasının bu mikroyeşilliklere transfer olan STEC O157:H7, *S. enterica* ve *L. monocytogenes* ile TMK ve TMAB'i inhibisyon etkinliği incelenmiştir. UV-C uygulaması sonrası optimum süre ve mesafe belirlenerek turp ve ayçiçeği mikroyeşilliklerine UV-C uygulanmış ve buzdolabında 14 gün depolanmıştır. Depolamanın 0., 1., 3., 5., 7. ve 14. günlerinde mikrobiyolojik analiz yapılarak mikroyeşilliklerdeki patojen, ayrıca STEC O157:H7 uygulaması için de TMAB ve TMK popülasyonunda meydana gelen değişim tespit edilmiştir.

Son aşamada ise mikroyeşillik yüzeyinde yayılan kontaminasyonu görselleştirmek ve mikroyeşilliklere transfer olan patojen mikroorganizmalar için iyi bir abiyotik indikatör olup olmadığını belirlemek amacıyla turp ile ayçiçeği tohumları Glo-Germ tozu ile kaplanmış ve STEC O157:H7, *S. enterica* ve *L. monocytogenes* ile kontamine perlite ekim yapılarak yetiştirilmiştir. Yetişen mikroyeşilliklerde UV-C lamba varlığında floresan ışımının yüksek olduğu yapraklar ile ışımının az olduğu/olmadığı yapraklar hasat edilerek bu bölgelerdeki ilgili bakterilerin popülasyon farklılığı araştırılmıştır. Ayrıca Glo-Germ ile kaplı turp tohumları jenerik *E. coli* ile kontamine edilmiş perlit kullanılarak yetiştirilmiş ve mikroyeşillik yüzeyi SEM ile görüntülenmiştir.

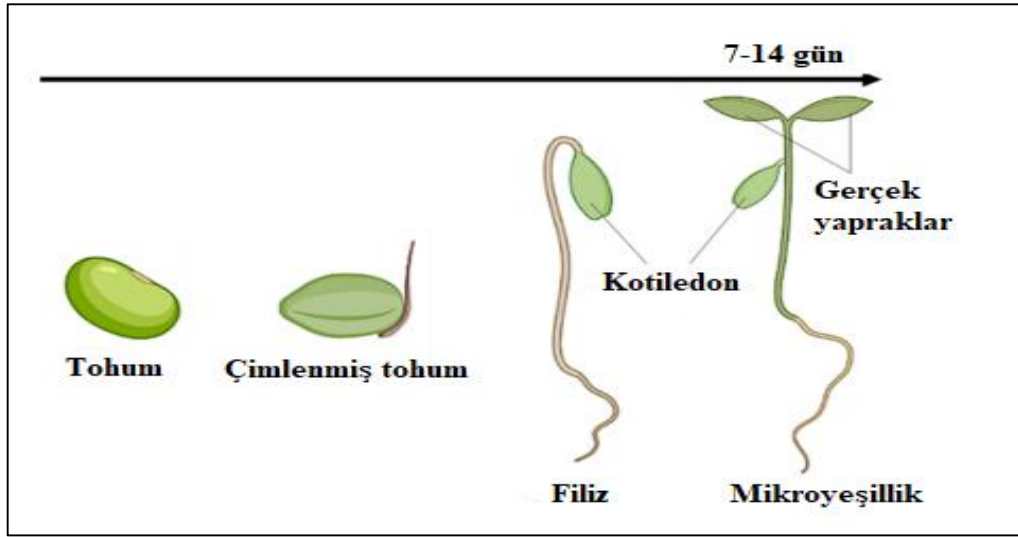
KURAMSAL TEMELLER

Mikroyeşillikler

Mikroyeşillikler boyutları 5-10 santimetre arasında değişen sebzelerin, otların veya diğer bitkilerin tohumlarından üretilen spesifik bir ürün sınıfıdır (Delian *et al.* 2015). İlk olarak 1980'lerde Güney Kaliforniya'da üretilen mikroyeşillikler (Ebert 2022), günümüzde de lüks restoranlarda şefler ve tüketiciler tarafından tercih edilmektedir (Xiao *et al.* 2014b; Mir *et al.* 2017). Mikroyeşillikler çekici renklere, hassas tekstüre ve yoğun aromalara sahip olduğundan dolayı salatalarda, çorbalarda, sandviçlerde ve çeşitli yemeklerde yenilebilir garnitür olarak kullanılarak duyuusal kalite artırılmaktadır (Mir *et al.* 2017; Sharma *et al.* 2022).

Mikroyeşillikler ve filizler, benzer şekilde tam olgunlaşmadan hasat edilip tüketilen ürünler olmalarına rağmen bazı özellikler açısından birbirinden farklılık arz etmektedir. Tohumun çimlenmesiyle oluşan ilk yapıya 'filiz' denilmektedir. Filizler gerçek yaprak içermeyen, sadece kotiledon yapraklarından oluşan, tomurcuk halinde satılan ve tohumun çimlenmesinden hemen sonra tüketilen ürünlerdir. Tohumun 3-5 gün karanlık ve nemli ortamda çimlenmesiyle oluşan filizler, topraksız tarım uygulamasıyla yetiştirilmektedir. Filizler kökleri ile birlikte bir bütün halinde tüketilmektedirler (Treadwell *et al.* 2010; Mir *et al.* 2017).

Mikroyeşillikler ise çeşitli sebze, bitki veya tahıl tohumlarının çimlenmesinden sonra ilk gerçek yapraklarının oluşmasının ardından toplanan yeşilliklerdir. Tohumların çimlenmesinden sonra türlere bağlı olarak genellikle 7-14 gün sonra hasat edilir ve 2,5-7,6 cm yüksekliğe sahiptir (Xiao *et al.* 2012). Topraklı veya topraksız (hidroponik) tarım uygulamalarıyla üretilebilen mikroyeşilliklerin, gövdesinin toprak üzerinde olan kısmı ve yaprakları tüketilebilirken, kökleri ise tüketilmemektedir. Üretiminde tohumun çimlenmesinden sonra gelişimi için ışığa ihtiyaç duyulmaktadır (Murphy and Pill, 2010; Treadwell *et al.* 2010; Mir *et al.* 2017;). Mikroyeşillik ve filizlerin gelişimine ait görsel Şekil 1'de; arasındaki farklılıklar ise karşılaştırmalı olarak Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Mikroyeşillik ve filizlerin gelişimine ait görsel (Maluin *et al.* 2021)

Tablo 1. Mikroyeşillikler ve Filizlerin Karşılaştırılması (Işık vd 2022)

	Mikroyeşillik	Filiz
Yetiştirme süresi (gün)	7-21	3-5
Yetiştirildiği ortam	Topraklı ve topraksız (hidroponik)	Topraksız
Yaprak oluşumu	Gerçek yaprak	Sadece tohum yaprakları
Tüketimi	Kökler haricindeki kısımlar	Tüm kısımlar
Işığa ihtiyaç	Var	Yok
Gübre kullanımı	Gerekebilir	Yok

Mikroyeşilliklerin Besin İçeriği ve Sağlık Üzerindeki Rolü

Sebzelerin zengin bir vitamin ve mineral kaynağı olduğu ve oksidatif strese bağlı hastalıklara karşı koruyucu etkisinin bulunduğu bilinmektedir. Sebze tüketimiyle kanser ve kardiyovasküler hastalık gibi kronik hastalıklardaki azalmaların ilişkili olduğu kabul edilmektedir (Pinto *et al.* 2015). Sağlıklı bir diyetin en önemli bileşeni olan sebze tüketiminin bu yüzden artırılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Son yıllarda mutfak ve restoranlarda popüler hale gelen mikroyeşilliklerin besin değeri ve sağlık üzerindeki rolü üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Xiao *et al.* 2014b; Islam *et al.* 2019; Ghoora *et al.* 2020; Wojdylo *et al.* 2020; Di Bella *et al.* 2020). Mikroyeşilliklerin olgun türlerine göre daha yüksek miktarda fitokimyasal bulundurduğu, mineral ve vitamin açısından ise mükemmel kaynak oldukları bildirilmiştir. Ayrıca eser elementler, amino asitler, antioksidanlar bakımından da zengin oldukları için sağlık açısından oldukça değerli oldukları ifade edilmektedir (Mir *et al.* 2017; Zhang *et al.* 2021b). Nitekim yapılan bir çalışmada marul mikroyeşilliğinin mineral ve nitrat içeriği olgun marullar ile karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar mikroyeşilliklerin olgun marullara göre Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Se ve Mo içeriğinin önemli derecede yüksek, NO₃ içeriğinin ise oldukça düşük olduğunu belirtmişlerdir (Pinto *et al.* 2015). 25 çeşit mikroyeşilliğin vitamin ve karotenoid içeriğinin araştırıldığı bir çalışmada ise en

yüksek C vitamini, E vitamini ile K vitamini sırasıyla kırmızı lahana, yeşil daikon turpu ve horozibiği mikroyeşilliklerinde; en yüksek karotenoid içeriği ise kişniş mikroyeşilliğinde tespit edilmiştir (Xiao *et al.* 2012). Diğer bir araştırmada 30 çeşit mikroyeşillik antioksidan kapasitesi açısından incelenmiştir. Araştırmada incelenen tüm mikroyeşilliklerin antioksidan aktivite gösterdiği ve en yüksek antioksidan kapasitesinin (806,3 µmol TE/100 g FW) kırmızı turp mikroyeşilliğinde olduğu belirlenmiştir (Xiao *et al.* 2019).

Fenolik bileşikler esas olarak antioksidan, antikanserojenik, antimikrobiyal, antiinflamatuvar aktiviteye sahip ve yaşlanmayı önleyici etkilerle ilişkilendirilen metabolitlerdir (Kumar and Goel 2019). Ayrıca bitki kaynaklı polifenollerin bilişsel işlevleri iyileştirdiği, alzheimer gibi belirli nörodejeneratif hastalıkları önlemede önemli bir rol oynadığı belirtilmektedir (Villaflares *et al.* 2012; Malar and Devi, 2014; Tęcza and Zylinska, 2016; Thenmozhi *et al.* 2016). Beş *Brassica* türü mikroyeşilliğin polifenol içeriğinin analiz edildiği bir araştırmada 30 antosiyanin, 105 flavonol glikozit ve 29 hidroksisinamik asit olmak üzere toplam 164 polifenol madde belirlenmiş ve *Brassica* türü mikroyeşilliklerin gıda polifenolleri açısından iyi birer kaynak olabileceği rapor edilmiştir (Sun *et al.* 2013). Marchioni *et al.* (2021) tarafından yapılan bir çalışmada ise 5 tür mikroyeşillik arasında en yüksek total polifenol içeriğinin (3.63 µg/g FW) brokoli mikroyeşilliğine ait olduğu bildirilmiştir. İlâveten kamferol, kuersetin, apigenin gibi flavonoidlerin, bağırsak mikrobiyotası üzerinde olumlu etkilerinin bulunduğu da belirtilmiştir (Sharma *et al.* 2022).

Yapılan araştırmalarda mikroyeşillik tüketiminin kilo alımı ve kolesterol metabolizması üzerine olumlu katkılar sağladığı görülmüştür. Nitekim Jiang *et al.* (2016) ve Huang *et al.* (2016), kırmızılahaana mikroyeşilliği ile beslenen farelerde LDL seviyesinin önemli derecede düştüğünü ve mikroyeşilliklerin kardiyovasküler hastalıklara karşı koruma sağlayabileceğini belirtmişlerdir. Diyabetli fareler üzerinde yapılan araştırmalarda ise mikroyeşillik tüketiminin insülin seviyesini düşürdüğü, glukoz toleransını iyileştirdiği böylece antidiyabetik etki gösterdiği rapor edilmiştir (Li *et al.* 2021b; Ma *et al.* 2022). Bunun yanı sıra mikroyeşilliklerin birtakım metabolik etkileri sayesinde enflamatuvar yolları etkilediği ve antikanser özellik sergilediği de ifade edilmiştir (Sharma *et al.* 2022). De la Fuente *et al.* (2020) tarafından yapılan bir çalışmada brokoli, lahana, hardal ve turp mikroyeşilliklerinin kolon kanseri hücreleri üzerinde antiproliferatif etkisi incelenmiştir. Bu mikroyeşilliklerde bulunan antioksidan bileşikler sayesinde apoptotik hücre ölümlerinin gerçekleştiği ve tümör hücrelerinin çoğalmasının yavaşladığı bildirilmiştir. Sonuç olarak dengeli bir diyet içinde günlük mikroyeşillik alımının, kolon kanseri gibi hastalıkları önleyebileceği rapor edilmiştir.

Mikroyeşilliklerin Yetiştirilmesi ve Hasat Edilmesi

Mikroyeşilliklerin üretimi fazla zaman, enerji ve deneyim gerektirmeyen nispeten basit bir süreçtir (Delian *et al.* 2015). Mikroyeşillikler ticari ölçekli üretimlerde çoğunlukla seralarda ya da yüksek tünellerde kontrollü olarak yetiştirilirken (Sharma *et al.* 2022), evlerde bireyler tarafından küçük ölçekli olarak da yetiştirilebilmektedir (Treadwell *et al.* 2010).

Mikroyeşilliklerin üretiminde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden ilki, yüksekliği 3-5 cm arasında değişen, farklı boyutlara sahip plastik tepsilerde yetiştirilmesidir. Bu yöntem, genellikle ürünün yetiştirme ortamıyla birlikte ticarileştirilmesine izin vererek ürünün piyasaya sürülmeden önce kesilmesi ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. İkinci bir yöntemde, büyütme ortamı doğrudan kanalların içine veya tezgahlara yerleştirilerek, mikroyeşillikler kanallarda veya farklı boyutlardaki tezgahlarda yetiştirilmektedir. Oldukça basit ancak ticari düzeyde nadiren kullanılan üçüncü yetiştirme sistemi ise "yüzer sistem"dir. Bu sistemde farklı boyutlardaki polistiren tepsiler besin çözeltisi üzerinde yüzerken hücrelerde bulunan yetiştirme ortamı alttan ıslanmaktadır. Bu yöntem besin çözeltisinin dolaşmadığı statik bir yetiştirme sistemi olduğundan, oksijen seviyesini korumak için besin çözeltisini hava ile zenginleştirmek gerekmektedir (Renna *et al.* 2017).

Tür seçimi, tohum ekim oranı, yetiştirme ortamı, gübreleme ve aydınlatma gibi faktörler mikroyeşillik üretiminde dikkat edilmesi gereken önemli parametrelerdir. Mikroyeşillik üretiminde tür seçimi, tüketici için kabul edilebilir olması, lezzetli ve yüksek albeniye sahip olması bakımından önemli rol oynamaktadır. Ayrıca mikroyeşillik türünün yenilebilir olması da dikkat edilmesi gereken faktörlerdendir (Renna *et al.* 2017). Mikroyeşillik üretiminde genellikle Brassicaceae, Asteraceae, Chenopodiaceae, Lamiaceae, Apiaceae, Amarillydaceae, Amaranthaceae familyasına ait türler kullanılmaktadır. Brassicaceae familyasına ait mikroyeşilliklerin üretim süresinin kısa olması, hızlı çimlenmesi ve istenen morfolojik ve duysal özelliklere sahip olması nedeniyle yetiştiriciler tarafından sıklıkla tercih edilmektedir (Sharma *et al.* 2022). Ticari olarak roka, boğa kan pancarı, kereviz, Çin gül turp, kişniş, garnet amaranth (horozibiği), altın bezelye dalları, yeşil fesleğen, yeşil daikon turp, macenta ıspanağı (kırmızı ıspanak), mizuna, opal fesleğen, opal turp, bezelye dalları, tere, patlamış mısır sürgünleri, alabaş, mor hardal, kırmızı pancar, kırmızilahana, kırmızı hardal, kırmızı orach (dağ ıspanağı), kırmızı kuzukulağı, kuzukulağı ve vasabi olmak üzere 25 tür mikroyeşilliğin üretildiği bildirilmiştir (Işık vd 2022). Ancak günümüzde 80-100 kadar bitki türünün mikroyeşillik olarak kullanıldığı ifade edilmektedir (Treadwell *et al.* 2010). Şekil 2’de bazı mikroyeşilliklere ait görseller bulunmaktadır.



Şekil 2. Bazı mikroyeşilliklere ait görseller (A:Kırmızı pancar, B:Kışniş, C:Turp, D:Pirinç otu) (Kyriacou *et al.* 2016)

Tohum oranı, mikroyeşilliklerin gelişmesinde birim alandan elde edilecek verim açısından önem taşımaktadır. Yetiştiricilerin birim alandan daha fazla verim elde etmek amacıyla tohum oranını artırdığı bilinmektedir. Ancak yoğun tohumlamanın uzun gövde oluşumunu teşvik etme, hastalık riskinde artış ve sürgün kuru ağırlığında azalma gibi sorunlara sebep olduğu bildirilmiştir (Treadwell *et al.* 2010; Mir *et al.* 2017).

Yetiştirme ortamı, mikroyeşilliklerin kalitesi ve üretim sürecinin sürdürülebilirliğini etkileyen temel faktörlerden biridir. Mikroyeşillikler topraklı veya topraksız (hidroponik) ortamda yetiştirilebilmektedir. Hidroponik ortamda toprak ikame maddesi olarak turba, vermikülit, perlit, Hindistan cevizi lifi gibi materyaller başarıyla kullanılmaktadır (Treadwell *et al.* 2010). İyi bir çimlenme ve optimum büyüme için yetiştirme ortamının bazı fiziksel koşulları sağlaması önem arz etmektedir. İdeal bir yetiştirme ortamının toplam hacmin %85'inden fazla gözenekli yapıya, %55-70'i oranında su tutma kapasitesine ve %20-30'u oranında havalandırma seviyesine sahip olması gerektiği belirtilmektedir (Di Gioia *et al.* 2015). İlaveten yetiştirme ortamının mikrobiyolojik kalitesinin önemli olduğu, bu nedenle steril materyallerin kullanılması gerektiği bildirilmiştir (Renna *et al.* 2017). Işık *et al.* (2020a) tarafından yapılan bir çalışmada STEC O157:H7 ve jenerik *E. coli*'nin turba yosunu ve perlitte yetiştirilen marul ve turp mikro yeşilliklerine kontaminasyonu incelenmiştir. Sonuç olarak perlitteki *E. coli* popülasyonlarının turba yosununa göre daha yüksek olduğu ve yetiştirme ortamının kontaminasyon kaynağı olabileceği belirlenmiştir.

Gübreleme, hızlı büyümeyi ve mikroyeşilliklerin yüksek verimini teşvik etmek için bir diğer önemli husustur. Gübreleme uygulaması yetiştirme ortamına ekim öncesi yeterli oranda basit/kompleks mineral gübreler katılarak veya çimlenme tamamlandıktan sonra besin çözeltisi ilave edilmek suretiyle yapılabilir (Di Gioia *et al.* 2015). Gübre olarak ise nitrat, amonyum veya kalsiyum tuzları gibi bileşikler kullanılmaktadır (Murphy and Pill 2010). Mikroyeşilliklerin gübre gereksiniminin büyüme zamanına göre farklılık gösterdiği ifade edilmiştir (Li *et al.* 2021a). Bir çalışmada brokoli mikroyeşilliklerine hasat öncesi farklı konsantrasyonlarda (1,10, 20 mM) CaCl_2 uygulaması yapılmış ve 10 mM CaCl_2 işleminin biyokütleyle %50'den fazla artırdığı sonucuna varılmıştır (Kou *et al.* 2014).

Işık, bitkilerin büyümesini ve gelişmesini etkileyen önemli bir çevresel faktördür. Işık ortamı, tohum çimlenmesi, fotosentetik üretkenlik, bitki metabolizması ve ikincil metabolitlerin üretimi için kritik öneme sahiptir (Ebert 2022). Seralarda yetiştirilen mikroyeşillikler için genelde iç mekan lambaları kullanılmaktadır (Turner *et al.* 2020). Metal halojenür, floresan, akkor, yüksek basınçlı sodyum (HPS) ve gelişmiş ışık yayan diyot (LED) yaygın olarak kullanılan lambalardır (Işık vd 2022). Kullanılan ışığın dalga boyu, atım sıklığı, yoğunluğu ve süresi gibi faktörler bitki gelişimini ve fotosentetik aktiviteyi etkileyen faktörlerdir (Turner *et al.* 2020; Du *et al.* 2022). Nitekim bir çalışmada mavi, beyaz ve kırmızı LED ışıklarının amaranth ve şalgam mikroyeşilliklerine etkisi incelenmiştir. Mavi LED ışığı ile her iki türde de taze ağırlığın önemli ölçüde arttığı ve polifenol oranının maksimum olduğu belirlenmiştir. İlaveten mavi LED ışığı altında amaranth mikroyeşilliğinin “klorofil a” içeriğinin en yüksek seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir (Toscano *et al.* 2021). Benzer şekilde Samuoliene *et al.* (2017) hardal, pancar ve maydanoz mikroyeşilliklerine % 0-33 arasında farklı oranlarda mavi LED ışığı uygulamışlardır. %33 ışık muamelesi altında mikroyeşilliklerin klorofil, karotenoid, karoten, lutein konsantrasyonlarının daha düşük dozdaki ışıklara göre 1,2-4,3 kat arttığını bildirmişlerdir.

Mikroyeşillikler, ilk gerçek yaprakların oluşumuyla hasat edilmektedir. Hasat bir makas vasıtasıyla yapılabilir (Treadwell *et al.* 2010). Mikroyeşillikler, hasat edilmeden de satılabilir. Böylece şef veya tüketici, ürünü tüketmeden birkaç dakika önce mutfağında kendisi kesebilir. Henüz büyürken satılabilme imkânına sahip olması, hem tazelik hem de besin değeri açısından daha kaliteli olmasını sağlamaktadır (Renna *et al.* 2017).

Mikroyeşilliklerin Muhafazası

Olgun türlerine göre daha fazla solunum yapan ve olgunlaşmamış dokulardan oluşan mikroyeşillikler, hasat sonrası işlemlere karşı hassas ürünler olduğundan sınırlı raf ömrüne

sahiptirler. Solunum hızını ve bozulmayı yavaşlatmak için hasat sonrası hızlı bir şekilde yıkanarak soğutulmaları gerekmektedir (Kyriacou *et al.* 2016). Bu nedenle paketlenme ve depolama koşulları mikroyeşilliklerin hasat sonrası raf ömrünü korumak için dikkate alınması gereken önemli faktörlerden bazılarıdır (Sharma *et al.* 2022).

Depolama sırasında mikroyeşilliklerin kalitesini etkileyebilecek tüm değişkenler arasında, depolama sıcaklığı en önemli faktörlerden biridir. Depolama sıcaklığının etkin yönetimi, bozulmanın önlenmesi, besin değerinin korunması ve raf ömrünün uzatılması açısından hayati öneme sahiptir. Düşük depolama sıcaklıkları, mikroyeşilliklerin solunum hızı gibi fizyolojik aktivitelerini azaltmakla birlikte üründe bozulmaya neden olabilecek mikroorganizmaların faaliyetlerini de yavaşlatmaktadır (Sharma *et al.* 2022). Optimum depolama sıcaklığı türlere göre değişmekle birlikte (Yan *et al.* 2022), ortam sıcaklığında 2-4 gün, 5 °C'de 10-14 gün kadar raf ömürleri bulunmaktadır (Kyriacou *et al.* 2016). Konu ile ilgili yapılan bir çalışmada depolama sıcaklığının turp mikroyeşilliklerinde kaliteyi önemli ölçüde etkilediği ve bu üründe optimum depolama koşullarının 1 °C'de 14 gün olduğu belirlenmiştir (Xiao *et al.* 2014b). Yan *et al.* (2022) ise karabuğday mikroyeşilliklerini farklı depolama sıcaklıklarında (5, 10, 15 ve 20 °C) muhafaza etmişlerdir. Araştırmacılar depolama sıcaklığı yükseldikçe mikroyeşilliklerde ağırlık kaybı olduğunu ifade ederek, düşük sıcaklıkta depolamanın solunum hızını engelleyebileceğini ve ağırlık kaybının daha yavaş olacağını bildirmişlerdir.

Uygun ambalaj seçimi, mikroyeşilliklerin kalitesi ve raf ömrü için diğer bir önemli faktördür. Mikroyeşilliklerin paketlenmesinde yaygın olarak polietilen (PE) veya polipropilen (PP) ambalaj filmleri kullanılmaktadır (Chandra *et al.* 2012). Bununla birlikte modifiye atmosfer paketlenme ile solunum, terleme ve oksidasyon sınırlandırılarak mikroyeşilliklerin tazeliği daha uzun süre korunmakta ve raf ömürleri uzatılabilmektedir (Sharma *et al.* 2022).

Mikroyeşilliklerde Kontaminasyon

Dünya çapında her 10 kişiden 1'inin bulaşıcı ajanlarla kontamine olmuş gıdalardan ötürü hastalığa yakalandığı ve bu vakaların 420,000'inin ölümle sonuçlandığı bildirilmiştir (Riggio *et al.* 2019). Bununla birlikte, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezlerinden (CDC) alınan doğrulanmış gıda kaynaklı hastalık vakalarına ilişkin en son rapora göre, yalnızca 2015 yılında 15,202 hastalığa yakalanma, 950 hastaneye yatış, 15 ölüm ve 20 gıda ürününü geri çağırma ile sonuçlanan 902 gıda kaynaklı hastalık salgını olduğu belirtilmiştir (Riggio *et al.* 2019). Gıda kaynaklı hastalıkların en yaygın nedeninin viral veya bakteriyel kontaminasyon olduğu bilinmektedir. Gıda ürünlerinin hasat, işleme veya paketlenme

aşamalarındaki kontaminasyonu yaygın gıda kaynaklı hastalık salgınlara yol açmaktadır (Pigott 2008).

Çiğ tüketilen taze meyve ve sebzelerin çeşitli etkenler sonucu patojen bakteriler ile kolaylıkla kontamine olabileceği bildirilmiştir (Riggio 2019). Bu nedenle çiğ tüketilen sebzeler arasında yer alan filiz ve mikroyeşilliklerde de potansiyel kontaminasyon riski bulunduğu belirtilmektedir (Galieni *et al.* 2020; Du *et al.* 2022). 1973-2005 yılları arasında, kontamine filizlerin dünyadaki 37 gıda kaynaklı salgından sorumlu olduğu rapor edilmiştir (Zhang *et al.* 2011). 1996-2018 yılları arasında ise FDA tarafından, filizlerin 52 salgın ve 2,700 gıda kaynaklı hastalık vakasından sorumlu olduğu bildirilmiştir (Fahey *et al.* 2022). Benzer şekilde Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi, filizlerin sebep olduğu 43 gıda kaynaklı salgını rapor etmiştir (EFSA 2011). Bu salgın hastalıklara ise çoğunlukla *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. ve *Listeria* spp.'nin neden olduğu ifade edilmiştir (Baker *et al.* 2019). Nitekim Almanya'da 2011 yılında *Escherichia coli* O104:H4 ile kontamine olmuş filizlerin 4000 kişiyi enfekte ettiği (Frank *et al.* 2011), ABD'de ise 1995-1999 yıllarında 7'si *Salmonella*'nın farklı serotiplerinden, 2'si *E. coli* O157:H7 ve *E. coli* O157:NM (non-motile)'den kaynaklanan 9 ticari filiz salgını bildirilmiştir (NACMCF 1999). ABD Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezleri (CDC)'nin (2016) raporunda, 2000-2014 yılları arasında ABD'de filizlerle ilişkili meydana gelen 42 salgından 29'una *Salmonella*'nın neden olduğu belirtilmiştir.

Araştırmacılara göre filizlerin salgın hastalıklarda bu kadar sık rol almasının nedeni, yetiştirme ortamının (sıcak, nemli, besin açısından zengin) patojen bakterilerin gelişimi için uygun olması ve hasat sonrası bir ısıtım işlemi olmaksızın çiğ tüketilmesidir (Baker *et al.* 2019; Fahey *et al.* 2022). Mikroyeşilliklerle ilişkili bilinen bir salgın olmamasına rağmen, mikroyeşillik ve filiz üretiminin benzerlik gösterdiği, bu yüzden benzer gıda güvenliği riskleri taşıdıkları bildirilmiştir (Misra and Gibson 2021; Ali *et al.* 2022). Bunun yanı sıra mikroyeşilliklerde kontaminasyon risklerinin kontrol edilmesinin önemli olduğu vurgulanmış (Ali *et al.* 2022) ve mikroyeşilliklerin güvenlik ölçütleri, çiğ tüketilen diğer ürünlerde olduğu gibi Güvenlik Üretimi Kuralı kapsamında ele alınmıştır (Riggio *et al.* 2019). Ancak filizlerin üretim ve dağıtım aşamaları için çok sayıda ulusal ve uluslararası standart bulunmasına rağmen, mikroyeşilliklerin mikrobiyolojik güvenliği hakkında eksiklikler bulunduğu belirtilmiştir (Işık vd 2022).

Mikroyeşillikler üretim ve hasat sırasında birçok faktörden dolayı patojen kontaminasyonu riski taşıyabilmektedir. Kontamine tohum, sulama suyu, yetiştirme ortamı ve üretici hijyeni kontaminasyonun ana etkenleridir (Ali *et al.* 2022). Nitekim Amerika Birleşik Devletleri'nde ve Kanada'da *Salmonella enterica* subsp. *enterica* ve *Listeria monocytogenes*'in

sebebi olduğu kontaminasyon şüphesiyle çok sayıda mikroyeşilliğin geri çağrıldığı rapor edilmiştir (Misra and Gibson 2021).

Yeşillikler ile ilgili salgınlardan sorumlu patojenlerin ana kaynağının kontamine tohumlar olduğu ifade edilmiştir. Bu nedenle, sertifikalı ve iyi tarım uygulamaları kullanılarak üretilmiş tohumların elde edilmesi yetiştiriciler için önemli bir adımdır. Ayrıca tohumların birtakım işlemlerden (hipoklorit uygulaması gibi) geçirilerek tohum dezenfeksiyonunun sağlanması da tavsiye edilmektedir (Turner *et al.* 2020). Reed *et al.* (2018) tarafından yapılan bir araştırmada *Salmonella* Hartford ve *Salmonella* Cubana, pazı mikroyeşilliği tohumlarına iki farklı seviyede (10 ve 10^2 kob/g tohum) inoküle edilmiştir. Kontamine tohumların 7 gün depolanmasından sonra, *Salmonella* Hartford açısından numunelerin %100'ü pozitifken, *Salmonella* Cubana açısından numunelerin %50'sinin pozitif olduğu belirlenmiştir. Ayrıca inokülasyon seviyeleri açısından mikroyeşillikler arasında önemli derecede farklılıklar bulunduğu bildirilmiştir.

Sulama suyu özellikle hidroponik üretimde mikroyeşillikler için diğer önemli bir kontaminasyon kaynağı olarak görülmektedir (Ali *et al.* 2022). Borular, kanallar veya hendekler vasıtasıyla sulama suyunun nakliyesi sırasında patojenlerin suya kontamine olduğu bildirilmekle beraber, sulama tipinin de kontaminasyon riskini etkilediği ifade edilmiştir. Yağmur suyu toplama tankları gibi bazı "sürdürülebilir" sulama sistemlerinin mikrobiyal kontaminasyon riskini artırdığı, buna karşılık damla sulama sistemlerinin, bitkilerin yenilebilir kısımlarının suya maruz kalmasını sınırlandırdığı için, kontaminasyon riskini azalttığı belirtilmiştir (Riggio *et al.* 2019). Wright and Holden (2018) tarafından yapılan bir çalışmada *E. coli* (STEC O157:H7) ile inoküle edilen tohum ve sulama suyu ile yetiştirilen dokuz çeşit mikroyeşillikte *E. coli* popülasyonu incelenmiştir. Doğrudan kontamine ($3 \log$ kob/g) tohumlar ve kontamine sulama suyu ($7 \log$ kob/g) ile yetiştirilen dokuz çeşit mikroyeşilliğin sekizinde *E. coli* popülasyonunun $8 \log$ kob/g'dan fazla olduğu belirlenmiştir.

Mikroyeşillikler için potansiyel kontaminasyon kaynaklarından biri de yetiştirme ortamıdır. Yetiştirme ortamının çeşitli etkenler sonucu patojenler ile kontamine olması durumunda bu bakterilerin yetiştirme ortamında uzun süre canlı kalabildiği ve bitkiye transfer olabildiği bildirilmiştir (Işık *et al.* 2020a). Konu ile ilgili yapılan bir çalışmada rapini mikroyeşilliklerini yetiştirmek için turba ve elyaf karışımı büyüme ortamları kullanılmıştır. Mikrobiyal popülasyonların elyaf ortamında büyüyen mikroyeşilliklerde daha düşük olduğu bildirilmiştir. Ayrıca turbada yetişen mikroyeşilliklerin en yüksek Enterobacteriaceae ($5,46 \log$ kob/g) ve *E. coli* ($1,46 \log$ kob/g) popülasyonuna sahip olduğu ifade edilmiştir (Di Gioia *et al.* 2017).

Tohum kontaminasyonunun önlenmesi, sulama suyunun mikrobiyolojik ve kimyasal açıdan kaliteli olması, patojen transferinin daha düşük olduğu yetiştirme ortamlarının tercih edilmesi ve hasat sonrası gerekli tedbirlerin alınması mikroyeşilliklerde söz konusu riskleri azaltmak için etkili olmaktadır (Işık vd 2022). Çiğ olarak tüketilen gıdaların güvenliğine yönelik çok sayıda araştırma bulunmasına rağmen mikroyeşilliklerin potansiyel risk unsurları hakkında az sayıda araştırma bulunmaktadır. Bu konuyla ilgili daha fazla bilimsel bilgiye ihtiyaç bulunmakla birlikte, yapılan bazı araştırmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Deng *et al.* (2021) tarafından yapılan bir çalışmada kontamine yetiştirme ortamından mikroyeşilliklere patojen transferi incelenmiştir. Öncelikle elyaf ve turba yetiştirme ortamlarına *Salmonella enterica* subsp. *enterica* ser. Javiana ve *Listeria monocytogenes* inoküle edilmiş (2,2-2,6 log kob/g), ardından bezelye ve ayçiçeği mikroyeşillikleri bu ortamlara ekilerek 10 gün boyunca depolanmıştır. Depolama sonucu bezelye ve ayçiçeği mikroyeşilleri arasında patojen transferi açısından önemli farklılıklar gözlenmiştir ($p<0.05$). Bezelye ve ayçiçeği mikroyeşillerine patojen transferinin sırasıyla elyaftan 1,53 ve 5,29 log kob/g; turbadan ise $<1,0$ ve 2,64 log kob/g düzeyinde olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak patojen transferinin yetiştirme ortamı ve mikroyeşillik türlerinden etkilendiği rapor edilmiştir.

Xiao *et al.* (2014c), kontamine tohumlardan mikroyeşilliklere patojen transferini belirlemek için yaptıkları çalışmada, turp tohumları *E. coli* O157: H7 ve O104: H4 ile inoküle edilerek, bu tohumlardan turp mikroyeşilliği yetiştirilmiştir. *E. coli* O157:H7 ve O104:H4 suşlarının filizlenme sırasında hızla büyüyerek tohumların ilk aşılama seviyelerine bağlı olarak sırasıyla 5,8-8,1 log kob/g ve 5,2-7,3 log kob/g seviyelerine ulaştığı belirlenmiştir.

Işık *et al.* (2022), *S. Typhimurium* ve *E. coli* O157:H7 ile inoküle ettikleri perlitte yetişen turp mikroyeşilliklerinde klorlu su uygulamasının söz konusu bakteri popülasyonları üzerindeki etkinliğini incelemişlerdir. Mikroyeşilliklerin büyümesi sırasında üç farklı konsantrasyondaki (0,50, 1,00 ve $2,00\pm0,05$ ppm serbest klor) klorlu suyu hasat öncesi spreyle sulama şeklinde uygulamışlardır. Araştırmacılar klorlu suyun *Salmonella* ve *E. coli* O157:H7 popülasyonlarını sırasıyla 1,1 log kob/g ve 0,9 log kob/g kadar azalttığını bildirmişlerdir. Sonuç olarak klorlu suyun mikrobiyal yükün azaltılmasına yardımcı olabileceğini, ancak tek başına kontrol yöntemi olarak kullanılamayacağını ifade etmişlerdir.

Misra and Gibson (2020) tarafından yapılan çalışmada farklı yetiştirme ortamlarında (Biostrate, kenevir, turba/vermikülit, hindistan cevizi) *L. monocytogenes* ve *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovar Javiana popülasyonları incelenmiştir. Her iki bakterinin de Biostrate ve kenevirde canlılığını yüksek oranda koruduğu buna karşılık turba/vermikülit ve

hindistan cevizinde daha düşük oranda sağkalım gösterdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak karbon bakımından zengin ve yüksek oranda su tutma kapasitesine sahip yetiştirme ortamlarının gıda kaynaklı patojenler için önemli derecede risk oluşturduğu ifade edilmiştir.

Xiao *et al.* (2015), turp mikroyeşilliklerini *E. coli* O157:H7 ile inoküle edilmiş tohumlardan, turbada ve hidroponik olarak üretmişlerdir. *E. coli* O157:H7'nin mikroyeşillikte her iki üretim sisteminde de önemli ölçüde hayatta kaldığını, hidroponik üretim sisteminde ise daha yüksek bir seviyeye ulaştığını belirlemişlerdir. *E. coli* popülasyonunun yenilebilir kısımlar için turbada 2,3 ve 2,1 log kob/g'ye; hidroponik üretimde 5,7 log kob/g'ye ulaştığını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar sonuç olarak kontamine tohumların hem yenilebilir hem de yenmeyen kısımlar dâhil bitkinin tümünde kontaminasyona yol açtığını ve tohum kabuklarının *E. coli* O157:H7'nin çoğalması için uygun bir ortam olduğunu belirtmişlerdir.

Jablasonea *et al.* (2005), tarafından yapılan bir çalışmada *E. coli* O157:H7, *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes*'in çeşitli bitki türleri (havuç, tere, marul, turp, ıspanak ve domates) üzerinde yetiştirme dönemleri boyunca büyümesi ve kalıcılığı incelenmiştir. Patojenlerin tohumlara inoküle edilmesinden sonra bitkiler yetiştirilmiş ve bakterilerin tümünün çimlenmeden kısa bir süre sonra bitkilere yerleşerek 5,5-6,5 log kob/g seviyesine ulaştığı belirlenmiştir. İlaveten *E. coli* O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in sürgünlerde *Salmonella*'dan önemli ölçüde daha yüksek seviyelere ulaştığı da rapor edilmiştir.

Solomon *et al.* (2002) farklı sulama yöntemleri ile marul bitkisinde kontaminasyon düzeyini incelemişlerdir. Bu amaçla *E. coli* O157:H7'yi, sprey ve yüzey sulama ile marul bitkisine kontamine etmişlerdir. Araştırmacılar sprey sulamanın ardından *E. coli* O157:H7 pozitif bitki sayısının (32 bitkinin 29'u), yüzey sulamanın ardından pozitif bitki sayısından (32 bitkinin 6'sı) daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca *E. coli* O157:H7'nin, sprey sulamanın ardından 11 bitkinin 9'unda 20 gün boyunca varlığını sürdürdüğünü rapor etmişlerdir.

Wang and Kniel (2016) tarafından yapılan çalışmada hidroponik olarak yetiştirilen mikroyeşilliklerin köklerinden yenilebilir dokularına norovirüsün transferi incelenmiştir. Norovirüsün inoküle edilmesinden 2 saat sonra yenilebilir dokularda ve köklerde tespit edildiği, ilk 12 saat boyunca popülasyonunun genellikle stabil kaldığı bildirilmiştir.

Namli *et al.* (2021) tarafından yapılan çalışmada kontamine tohum ve sulama suyu ile yetiştirilen tere mikroyeşilliklerinde patojen transferi incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre *Salmonella* ve *E. coli*'nin hasada kadar canlılıklarını koruduğu (~4,5–6,0 log MPN/g) bildirilmiştir. Ayrıca SEM görüntülerine göre bu patojenlerin tere yaprakları üzerinde biyofilmler oluşturduğu gözlenmiştir.

Escherichia coli

Escherichia coli, kısa çomak şeklinde, Gram negatif, fakültatif anaerob ve sporsuz bir bakteri olup, Enterobacteriaceae familyasında yer almaktadır (Sağlam ve Şeker 2016; Aijuka and Buys 2019). Mezofil karaktere sahip olan *E. coli*'nin bazı suşlarının peritrik flagellar sayesinde hareket ettiği bildirilmiştir (Sağlam ve Şeker 2016).

E. coli insan ve hayvanların bağırsaklarındaki normal floranın bir parçasını oluşturmakta ve çoğu *E. coli*'nin insanlar için zararsız olduğu kabul edilmektedir. Bununla birlikte, belirli patojenik *E. coli* suşları bağırsak bölgesini enfekte ederek ciddi hastalıklara neden olmaktadır (Yang *et al.* 2017). Bu patojenik türler virülans özellikleri, patojenite mekanizmaları, klinik sendromlar ve O:H serotiplerine göre (Tosun ve Gönül 2003), enteropatojenik (EPEC), Shiga toksin üreten/enterohemorajik (STEC O157:H7/EHEC), Shigella/enteroinvazif (EIEC), enteroagregatif (EAEC) ve enterotoksijenik (ETEC) olmak üzere beş grupta sınıflandırılmaktadır (Yang *et al.* 2017).

Enterohemorajik *E. coli* (EHEC) grubunda yer alan *E. coli* O157:H7/H serotipinin, insanlarda ciddi enfeksiyonlara neden olduğu ve gıda kaynaklı hastalıkların en yaygın nedeni olduğu bildirilmiştir (Sağlam ve Şeker 2016; Namli *et al.* 2021). *E. coli* O157:H7, O111:NM ve STEC O157:H7 serotiplerinin oluşturduğu gıda kaynaklı salgınlar Avustralya, Kanada, Japonya, Amerika Birleşik Devletleri gibi birçok ülkede bildirilmiştir. *E. coli* O157:H7 kaynaklı en büyük salgınlar arasında 1992-1993 yıllarında Amerika Birleşik Devletleri'nde 700'den fazla kişinin etkilendiği, 1996 yılında ise Japonya'da 8000'den fazla kişinin etkilendiği ve iki ölümün meydana geldiği salgınlar bulunmaktadır (Güner vd 2012). O157:H7 enfeksiyonlarının ABD'de yıllık olarak tespit edilen 265,000 STEC O157:H7 vakasının yaklaşık %40'ını oluşturduğu rapor edilmiştir (Namli *et al.* 2021).

E. coli O157:H7'nin shiga toksinleri (verotoksin) salgılayarak, bağırsak hücrelerine bağlanıp epitellerin yüzeyinde silinme tarzında lezyonlara sebep olduğu bilinmektedir (Güner vd 2012). *E. coli* O157: H7'nin enfeksiyon dozunun 100 hücreden az olduğu ve insanlarda hemorajik kolitis (HC), hemolitik üremik sendrom (HUS) gibi hastalıklara yol açtığı belirtilmiştir (Kaper *et al.* 2004). STEC O157:H7 enfeksiyonlarının çoğunlukla az pişmiş kıyma, çiğ süt, salata, çiğ meyve ve sebze gibi çeşitli gıdalardan kaynaklandığı (Yang *et al.* 2017), başlıca kaynağının ise sığır dışkısı olduğu ve bu bakterinin, fekal yollarla kontamine olmuş toprak veya sulama sularının aracılığıyla ekili ürünlere taşındığı ifade edilmiştir (Tosun ve Gönül 2003).

Amerika Birleşik Devletleri'nde, gıdalar arasında en büyük salgınların yapraklı sebzeler ile ilişkili olduğu ve *E. coli* O157: H7'nin 1973-2012 yılları arasında yapraklı sebzelerle ilişkili salgınların %18'iyle bağlantılı olduğu belirtilmiştir (Yang *et al.* 2017). ABD'de, *E. coli* O157: H7'nin 2006 yılında paketlemiş ıspanak kaynaklı (205 vaka, 3 ölüm), 2011 yılında ise marul kaynaklı (58 vaka) salgınlara sebep olduğu rapor edilmiştir (Yang *et al.* 2017).

E. coli enfeksiyonunu önlemek için, tarımsal üretimden, gıdaların işlenmesi ve hazırlanmasına kadar olan her aşamada kontrol önlemlerinin alınması önemli rol oynamaktadır. Hijyenik kesim uygulamaları, uygun sıcaklıkta pastörizasyon, çapraz kontaminasyon ve personel hijyeni bakterinin insanlara geçişini en aza indirmek için dikkat edilmesi gereken faktörlerdendir (Temelli 2002).

***Salmonella* spp.**

Salmonella türleri Enterobacteriaceae familyasında yer alan Gram-negatif, sporsuz, çoğu peritrik flagellaları ile hareketli, fakültatif anaerobik özellikte bakterilerdir (Sağlam ve Şeker 2016). *Salmonella* dünya çapında bakteriyel gastroenteritlerin önde gelen nedenlerinden biri olarak görülmektedir (Zweifel and Stephan 2012). Gıda kaynaklı salgınların yaklaşık %22'sinin *Salmonella* kaynaklı olduğu ve temel bulaşma yolunun fekal-oral döngü ile gerçekleştiği bildirilmektedir (Has ve Akçelik 2021).

Salmonella'nın 2500'den fazla serotipi olup, bunlardan bir kısmı sıklıkla gıda kaynaklı hastalıklarla ilişkilendirilmektedir (Mahmoud 2012). ABD'de salgınlara neden olan en yaygın serotiplerin Enteritidis (%26,73) ve Typhimurium (%13,04) olduğu ifade edilmiştir. Bu bakteriler çoğunlukla kümes hayvanları ve yumurta gibi gıdalarda görülmesine rağmen, doğal yaşam alanları dışında da canlılıklarını sürdürmelerinden dolayı fekal kontaminasyon ile meyve-sebzelere ve süt ürünlerine de bulaşabilmektedir (Mahmoud 2012; Özer 2021). Nitekim 2021'de Finlandiya'da *S. Typhimurium* ile kontamine olan sebzelerden 728 kişinin etkilendiği rapor edilmiştir (Food Safety News 2022). 2007 yılında ise Güneydoğu Asya'dan ithal edilen taze ot ve yapraklı sebzelerin % 28'inde ve % 15'inde *Salmonella* bulunduğu tespit edilmiştir (Zweifel and Stephan 2012).

İnsan veya hayvan atıkları ile kontamine su ya da toprağın *Salmonella* dâhil olmak üzere birçok patojenin bitkileri kontamine etmesinde önemli bir etken olduğu bildirilmiştir (Has ve Akçelik 2021).

Salmonella enfeksiyonlarından korunmak ve gıda güvenliğini sağlamak için gıdaların piyasaya sunulmadan önce gerekli önlemlerin alınması önem arz etmektedir. Bu yüzden üretimde hijyenik koşulların sağlanması, gıdaların uygun sıcaklıkta pişirilmesi, pastörize

edilmesi, uygun ısıya soğutulması, soğukta muhafazası ve personel hijyeni gibi faktörler dikkat edilmesi gereken hususlardır (Sağlam ve Şeker 2016).

Listeria monocytogenes

Gram-pozitif, fakültatif anaerobik, kapsülsüz ve sporsuz bir bakteri olan *Listeria monocytogenes* kısa, yuvarlak uçlu çubuk veya kokobasil şeklindedir (Yavuz ve Korukluoğlu, 2010). *Listeria* türleri içinde sadece *L. monocytogenes* ve *L. ivanovii*'nin patojen, diğer türlerin ise saprofit karakterde olduğu bildirilmiştir (Thakur *et al.* 2018). *L. monocytogenes* tipik olarak yaşlıları, hamile kadınları, yenidoğanları ve bağışıklığı düşük bireyleri etkileyerek menenjit, ensefalit, düşük ve ölü doğumlarla sonuçlanan listeriozise neden olmakla birlikte mide bulantısı, karın krampları ve ishal ile karakterize olan gastroenterite de yol açmaktadır (Thakur *et al.* 2018).

Listeriozisin halk arasında nadir görülmesine ve tüm gıda kaynaklı hastalıkların yaklaşık %0,02'sini oluşturmalarına rağmen, gıda kaynaklı hastalıklardan dolayı gerçekleşen ölümlerin yaklaşık %28'inden sorumlu olduğu bildirilmiştir. Bu oran özellikle yüksek risk altında olan bireylerin (bağışıklığı düşük bireyler, yenidoğanlar vb.) bu hastalığa maruz kalmasını önlemenin gerekliliğini vurgulamaktadır (Tompkin 2002).

L. monocytogenes açısından en riskli gıdalar tüketime hazır, soğukta uzun süre depolanmış ve 10^2 kob/g'dan fazla sayıda *L. monocytogenes* içeren gıdalardır (Sağlam ve Şeker, 2016). 1980 yıllarından başlayarak özellikle Kuzey Amerika ve Avrupa ülkelerinde *L. monocytogenes* ile kontamine olmuş süt, yumuşak peynir, lahana salatası, az pişmiş tavuk, sosis, çiğ et ürünleri, balık ve kabuklu deniz ürünleri gibi gıdaların toplu tüketimleri sonucu büyük salgınların ortaya çıktığı bildirilmiştir (Güner vd 2012).

Sebzeler, toprak yüzeyleri, nehirler ve kanal suları ile doğrudan kontaminasyonları, uygun olmayan hasat ve işleme prosedürleri nedeniyle listeriozis için temel bulaşma kaynağı olarak tanımlanmıştır (Ajayeoba *et al.* 2015). Ayrıca *Listeria*'nın buzdolabı şartlarında canlılığını sürdürmesi ve çoğalabilmesi de, soğukta muhafaza edilen ve çiğ tüketilen sebzelerin yüksek risk altında olmasına sebebiyet vermektedir (Ramos *et al.* 2020). Nitekim 2014 yılında, ABD'de maş fasulyesi filizi tüketimi sonrası (5 vaka, 2 ölüm); İsviçre'de ise hazır salata tüketimi sonrası (32 vaka, 4 ölüm) *L. monocytogenes* kaynaklı salgınlar rapor edilmiştir (Miceli and Settanni 2019).

L. monocytogenes enfeksiyonlarının kontaminasyonla kolaylıkla yayılabilmesi ve geniş sıcaklık aralıklarında canlılığını sürdürebilmesi alınacak önlemlerin önemini artırmaktadır (Yavuz ve Korukluoğlu, 2010). Bu nedenle ham madde ve ambalajlama, gıdanın işlenmesi,

depolama ve dağıtım sırasında hijyenik şartlara uyulmalı, çapraz kontaminasyon riski en aza indirilmelidir (Sağlam ve Şeker, 2016).

Ultraviyole C (UV-C) Uygulaması

Tüketiciler, gıda tüketimi ve sağlık arasındaki ilişkinin farkına varmış ve bu konuda daha bilinçli hale gelmeye başlamıştır. Gıda endüstrisi, tüketicilerin bu yöndeki beklentilerini karşılamak için üretilen gıdaların sağlıklı ve güvenli olmasına daha fazla önem vermektedir. Güvenli gıda üretiminde, işleme sırasında/sonrasında mikrobiyal büyüme ve kontaminasyonun önlenerek mikrobiyal yükün azaltılması veya ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır (Lado and Yousef 2002). Bu amaçla gıdayı pastörize etmek veya sterilize etmek için yaygın olarak ısı işlemleri uygulanmakla birlikte kimyasal inaktivasyon yöntemleri de uygulanabilmektedir (Lado and Yousef 2002; Keklik *et al.* 2012). Ancak ısı işlemleri, gıdanın belirli bileşenlerini azaltarak gıda kalitesini düşürürken; kimyasal yöntemler, toksisite etkisine sahip olup ayrıca istenmeyen kalıntılar bırakabilmektedir. Bu durum gıdaların dekontaminasyonu için çoğu ısı ve kimyasallardan kaçınmayı amaçlayan yeni alternatif teknolojilerin geliştirilmesine yol açmıştır (Keklik *et al.* 2012). Isıl olmayan muhafaza yöntemleri bu amaca yönelik geliştirilen teknolojilerdir.

Isıl olmayan yeni teknolojilerden biri ultraviyole (UV) ışık, elektromanyetik spektrumun 200 ile 400 nm arasında değişen kısmına karşılık gelmekte ve üç bölgeye ayrılmaktadır: 200-280 nm arası UV-C; 280-320 nm arası UV-B; 320-400 nm arası ise UV-A bölgesi olarak adlandırılmaktadır (Cebrian *et al.* 2016).

UV ışığının, özellikle UV-C'nin, germisidal etkiye sahip olduğu bilinmektedir (Choudhary and Bandla 2012; Singh *et al.* 2021). UV ışığı, genel olarak suyun, havanın, ekipman yüzeylerinin ve ambalaj malzemelerinin dekontaminasyonunda kullanılmaktadır (Güven ve Yıldız 2016). Bununla birlikte gıda endüstrisinde katı ve sıvı gıdaların sterilizasyonu veya mikrobiyal yükün azaltılması amacıyla da uygulanmaktadır (Cebrian *et al.* 2016). Gıda endüstrisinde UV-C teknolojisinin geleneksel tekniklere göre daha etkili ve ekonomik olduğu (Singh *et al.* 2021), mikrobiyal yük üzerindeki inhibisyon etkisinin yanı sıra, daha düşük sıcaklıklarda uygulandığı için yüksek sıcaklıklardan kaynaklanan duyu kusurları ve besin değerindeki kayıpları en aza indirdiği belirtilmektedir (Koca vd 2018).

UV-C ışığının, nükleik asitlerde ve hücre zarındaki proteinlerde fotokimyasal değişiklikler meydana getirerek DNA transkripsiyonunu ve replikasyonunu engellediği, böylece mikroorganizmanın ölümüne yol açtığı ifade edilmektedir (Matak *et al.* 2007). Bir mikrobiyal hücrenin DNA yapısına verilen hasar esas olarak nükleik asit omurgasındaki

pirimidin nükleotit molekülleri arasında timin dimerlerinin oluşumuyla gerçekleşmektedir. Oluşan bu dimerler mikroorganizmaların DNA'larını ve diğer hücresel fonksiyonlarını bozarak mikroorganizmanın inaktivasyonuna yol açmaktadır (Keklik *et al.* 2012; Singh *et al.* 2021). 260–270 nm dalga boyu aralığı, nükleik asitler tarafından yoğun bir şekilde absorbe edildiği için en ölümcül aralık olarak kabul edilmektedir. 254 nm'deki UV-C ışığının ise, maksimum antiseptik etki için en uygun dalga boyu olduğu belirtilmiştir (Singh *et al.* 2021).

Son zamanlarda meyve ve sebzelerde de mikrobiyal yükün azaltılması veya patojen inhibisyonu için UV-C uygulaması yaygın olarak kullanılmaktadır (Singh *et al.* 2021). Yapılan çalışmalarda bu gıdalarda patojen ve küf inaktivasyonunun başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği bildirilmiştir (Erkan *et al.* 2001; Ha *et al.* 2011; Hassenberg *et al.* 2012). Ayrıca UV-C ışığının, meyve ve sebzelerde fitoaleksinerler gibi fenolik bileşiklerin üretimini teşvik ettiği, bu bileşiklerin ise meyve ve sebzelerin mikroorganizmalara karşı direncini artırarak mikrobiyal çürümeyi önlediği ifade edilmiştir (Keklik *et al.* 2012).

UV-C ışık ile mikrobiyal inaktivasyonun etkinliği, ışığın özellikleri (güç, dalga boyu, ışınlama modu, süre vb.), gıdanın yapısı (boyut, bileşim, yoğunluk, viskozite, yüzey özellikleri vb.) ve mikrobiyal yük gibi birçok faktöre bağlı olarak değişebilmektedir (Barba *et al.* 2018). Mikroorganizmaların hücre yapıları, morfolojik, fizyolojik özellikleri UV-C ışığa olan dirençlerini etkilemektedir. Genellikle daha basit yapıya sahip olan mikroorganizmaların UV-C ışığa karşı daha hassas olduğu ve kolay bir şekilde inaktive edildiği belirtilmiştir. Dolayısıyla sporlu mikroorganizmaların ve Gram pozitif bakterilerin Gram negatiflere göre, maya ve küflerin ise genetik yapılarından dolayı bakterilere göre UV-C ışığa daha dirençli oldukları ifade edilmektedir (Koca *et al.* 2018). Nitekim bir çalışmada taze kesilmiş brokolide uygulanan UV-C'nin *E. coli*, *S. Enteritidis* ve *L. monocytogenes* üzerindeki inaktivasyon etkisi araştırılmıştır. UV-C ışığına en duyarlı bakterinin *S. Enteritidis*, en dirençli bakterinin ise *L. monocytogenes* olduğu belirtilmiştir (Martinez-Martínez-Hernández *et al.* 2015). Kim *et al.* (2013) tarafından yapılan bir çalışmada ise taze kesilmiş marula çeşitli koşullarda uygulanan UV-C'nin patojenlerin inaktivasyonu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. *E. coli* O157:H7, *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* ile inoküle edilen marullara farklı sıcaklıklarda (4 ve 25 °C), farklı mesafelerde (10 ve 50 cm), farklı dozlarda (1,36-6,80 mW/cm²) ve farklı sürelerde (0,5-10 dakika) tek veya çift yönlü UV-C uygulaması yapılmıştır. 25 °C'de 1 dakika süreyle uygulanan UV-C işleminin, *E. coli* O157:H7, *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes*'de sırasıyla 1.45, 1.35 ve 2.12 log azalma sağladığı, 4 °C'de ise bu azalmaların sırasıyla 0.31, 0.57 ve 1.16 log olduğu belirlenmiştir. UV-C etkisinin 10 cm mesafede ve çift yönlü uygulamada

maksimum olduğu, ayrıca 10 dk süre ile UV-C uygulamasının üç patojen popölasyonunda da önemli ölçüde azalmalar sağladığı bildirilmiştir.

Domates, brokoli, mantar, karnabahar, çilek, armut, kayısı gibi meyve ve sebzelerde UV-C uygulamasına yönelik çok sayıda araştırma bulunmasına rağmen (Schenk *et al.* 2008; Shin *et al.* 2011; Guan *et al.* 2012; Yun *et al.* 2013; Mukhopadhyay *et al.* 2014; Tawema *et al.* 2016; Collazo *et al.* 2019), mikroyeşilliklerde bu konu ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Çeşitli olgun sebzeler ve bebek yeşillikleri ile ilgili yapılan çalışmalarda ise UV-C ile mikrobiyal yükün azaltıldığı bildirilmiştir. Nitekim Escalona *et al.* (2010), tarafından yapılan çalışmada bebek ıspanaklarında *L. monocytogenes* ve *S. enterica*'nın mikrobiyal büyümesini önlemek için farklı dozlarda (0, 2.4, 7.2, 12 ve 24 kJ/m²) UV-C uygulamasının etkisi incelenmiştir. Tüm dozların bakterilerin çoğalmasını azalttığı, özellikle çift taraflı UV-C uygulamasının *L. monocytogenes*'in depolama boyunca düşük seviyelerde kalmasını sağladığı bildirilmiştir. Allende and Artes (2003) tarafından yapılan bir çalışmada marula farklı dozlarda (0,4, 0,81, 2,44, 4,07 ve 8,14 kJ/m²) UV-C uygulanmıştır. Araştırmacılar uygulanan tüm radyasyon dozlarının, psikrotrofik bakteri, koliform ve maya gelişimini azalttığını ayrıca uygun dozda UV-C radyasyonunun marulun duyuşal kalitesini olumsuz etkilemeden mikrobiyal yükünü azaltabileceğini bildirmişlerdir. Diğer bir çalışmada ise hazır salatalarda *E. coli* O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in inaktivasyonu üzerine UV-C'nin uygulanabilirliği incelenmiştir. *E. coli* O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in % 90 azalması için gerekli radyasyon dozunun sırasıyla 0,21 ve 2,48 J/m² olarak belirlendiğı ve patojen popölasyonlarının UV-C ışınlaması ile önemli ölçüde (p<0.05) azaldığı rapor edilmiştir. Ayrıca 8,000 J/m²'de UV-C'nin, salatadaki *E. coli* O157:H7 ve *L. monocytogenes* popölasyonlarını sırasıyla 2,16 ve 2,57 log kob/g azalttığı belirtilmiştir (Chun *et al.* 2010).

UV-C ışığı tek başına kullanılabildiğı gibi sıcaklık, ultrason, modifiye atmosfer vb. yöntemler ile birlikte kombine şekilde de uygulanabilmektedir. Bir çalışmada çeşitli sebzelerde (havuç, kereviz, kırmızıbiber ve lahana) hafif asidik elektrolize su (SAEW), ultrasound (US) ve ultraviyole-C ışığın (UV-C) kombine halde uygulanmasının *E. coli* ve *Staphylococcus aureus* popölasyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sebzelere 3 dakika süreyle uygulanan kombine işlemin (SAEW + US + UV-C) mikrobiyal yükü azaltma etkisinin, tek bir işleme göre önemli ölçüde daha yüksek olduğı (~2,17 log kob/g) belirlenmiştir. İlâveten 15 °C'de uygulanan SAEW + US + UV-C işleminin, havuç ve kerevizde her iki patojenin büyümesini engellediğı ve tüm sebzelerde renk değışikliklerini önleyerek sebzelerin raf ömrünü uzattığı bildirilmiştir (Lee *et al.* 2021). Diğer bir çalışmada ise UV-C ışığı ile modifiye atmosferin birlikte kullanımının marulda mikrobiyal büyüme ve raf ömrü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu

amaçla *Enterobacter*, *Erwinia*, *Escherichia*, *Leuconostoc*, *Pantoea*, *Pseudomonas*, *Rahnella*, *Salmonella*, *Serratia* ve *Yersinia* bakterileri kullanılmış ve bu bakteri suşlarının çoğunun minimum dozla (30 J/m²) inhibe olduğu belirlenmiştir. Radyasyon dozunun modifiye paketlerdeki CO₂ konsantrasyonları ile pozitif korelasyon, O₂ konsantrasyonları ile negatif korelasyon gösterdiği bildirilmiştir (Allende *et al.* 2006).

Glo-Germ

Glo-Germ cilde uygulandığında doğal ışık altında görünmeyen ancak UV ışık altında görülebilen, floresan bazlı toz veya sıvıdır (Ramsden 2019; Harrison *et al.* 2021). Glo-Germ fiziksel temas yoluyla başka bir yüzeye aktarılabildiğinden ve ardından UV ışıkla tekrar tespit edilebildiğinden, bir bireyden ikinci bir bireye veya yüzeye aktarımı göstermek için ideal bir maddedir. Glo-Germ'in mikroorganizmalarla aynı boyutta (0,5 ila 4,0 µm çapında) olduğu, bu nedenle bir bakterinin sergileyebileceği aktarımı etkili bir şekilde taklit etmek için kullanılabileceği bildirilmiştir (Ramsden 2019).

Yapılan çalışmalarda Glo-Germ çeşitli alanlarda kontaminasyon derecesinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Nitekim tıpta endotrakeal, entübasyon, ekstübasyon gibi prosedürler sırasında kontaminasyon derecesini belirlemek için (Moulthrop *et al.* 2021), çiftlik içinde bulunan patojenlerin diğer alanlara yayılma derecesini tespit etmek için (Harrison *et al.* 2021), restoran menülerinden müşterilerin ellerine bakteri transferini belirlemek için (Alsallaiy *et al.* 2016), kontamine bir dilimleme makinesinden pişmiş jambona *L. monocytogenes*'in transfer düzeyini incelemek için (Chaitiemwong *et al.* 2014), marul ve bebek ıspanakların işlenmesi sırasında su ve ekipman yüzeylerinden *E. coli*'nin transfer düzeyini belirlemek için (Buchholz 2012) abiyotik indikatör olarak kullanılmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Mikroyeşillik çeşitleri

Analizler için kullanılan 20 çeşit mikroyeşillik (kekik, mısır, salatalık, arpa, buğday, kıvırcık marul, cin biberi, roka, brokoli, dereotu, fesleğen, tere, fındık turp, kişniş, hardal, karalahana, ayçiçeği, hindiba, bezelye ve kırmızı pancar) tohumunun tümü yerel ve sertifikalı satıcılardan temin edilmiştir. İlaçsız ve koruyucusuz tohumlar buzdolabı sıcaklığında (+4 °C) muhafaza edilmiştir. Mikroyeşillik üretiminde kullanılan bazı tohumlar Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Mikroyeşillik üretiminde kullanılan bazı tohumlar (A: Kişniş, B: Ayçiçeği, C: Hardal, D: Dereotu, E: Cin biberi, F: Brokoli, G: Kırmızı pancar, H: Bezelye, I: Fındık turp)

Patojen bakteriler

Kontamine perlit ve tohumdan mikroyeşilliklere patojen transfer düzeyinin belirlenmesinde, UV-C'nin etkinliğinin belirlenmesinde ve Glo-Germ tozu ile muhtemel

patojen lokalizasyonlarının tespitinde *L. monocytogenes* (ATCC 51774, ATCC 7644, ATCC 13932), ampiciline dirençli hale getirilmiş STEC O157:H7 (3 suşu) ve *S. enterica* [serovar Enteritidis (ATCC 13076), Infantis (DSM12), Typhimurium (ATCC 14028)] kullanılmıştır.

Kontamine perlit ortamında yetiştirilen mikroyeşilliklere transfer olan bakteri varlığını belirlemek için yapılan SEM analizinde ise jenerik *E. coli* ATCC 25922 suşu kullanılmıştır.

Söz konusu patojen suşlar Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı Kültür Koleksiyonu'ndan temin edilmiştir.

Mikroyeşillik yetiştirme materyalleri

Mikroyeşilliklerin yetiştirilmesinde 6,5-7,5 pH değerine ve 3-6 mm partikül büyüklüğüne sahip tarım perlit (Mita Tarım, Türkiye) kullanılmıştır. Perlitler kullanılmadan önce sterilizasyon işlemine (121 °C'de 15 dakika) tabi tutulmuştur.

Bitkilerin sulanması ve gerekli olan besin öğelerinin sağlanması amacıyla bitki besin solüsyonu kullanılmıştır. Bitki besin solüsyonu ürün reçetesinde tarif edildiği gibi A ve B çözeltilerinin dH₂O'ya kullanımdan hemen önce ilaveleriyle elde edilmiştir. A solüsyonu; %8,7 nitrat (NO₃), %8,6 kalsiyum, %7,5 suda çözünür potasyum oksit (K₂O), % 1,6 amonyum (NH₄), % 0,3 ferro-diethylenetriaminepentaasetik asit (Fe-DTPA) kompozisyonuna sahipken, B solüsyonu %11,6 suda çözünür potasyum oksit (K₂O), %6,4 suda çözünür fosfor pentaoksit (P₂O₅), % 2,1 nitrat, %1,6 magnezyum, %0,1 çinko, %0,03 bohriyum ve 0,004 molibden içermektedir. Bitki besin solüsyonları sertifikalı tarımsal ürün firmasından (Tartes Tarım, Türkiye) temin edilmiştir. Son kullanım çözeltisi steril 1 L dH₂O'ya A ve B bitki besin solüsyonlarının her birisinden 2 mL aktarılması suretiyle elde edilmiştir.

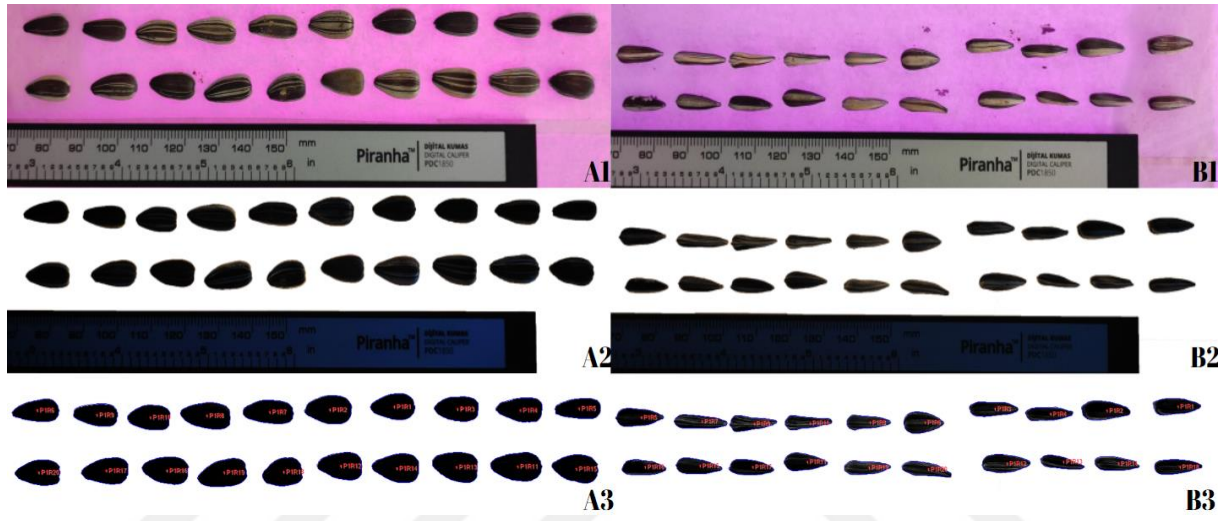
Yöntem

Tohum ağırlığı ve yüzey alanının hesaplanması

Tohum karakteristiklerinin patojen transferi düzeyine etkilerinin belirlenmesi için tohum ağırlıkları ve yüzey alanlarının hesaplanması gerçekleştirilmiştir. 1000 tane ağırlığının hesaplanması amacıyla her bir mikroyeşillik çeşidinin tohumundan rastgele 1000 tane seçilerek 0,001 hassasiyetli hassas terazide tartılmıştır. Ölçüm 3 tekerrürlü gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonunda aritmetik ortalama alınarak 1000 tane ağırlığı hesaplanmıştır.

Tohumların yüzey alanları görüntü işleme programı yardımıyla belirlenmiştir. Boyut ve şekil özelliklerinin belirlenmesi için tohumlar cam macunu kullanılarak şeffaf bir fiberglas yüzey üzerinde yatay ve sütur olmak üzere iki farklı şekilde konumlandırılmıştır. Işık kaynağı fiberglas yüzeyin altına yerleştirilmiştir. Fiberglas yüzey üzerine yerleştirilmiş tohumların

dijital görüntülerini çekmek için kamera (Nikon, D300) belirli bir yüksekliğe ve çekilen alanın ortasına sabitlenerek dijital fotoğraflar elde edilmiştir. Boyları mm cinsinden kalibre edebilmek amacıyla tohum gruplarının yanına 1 mm aralıklara sahip cetvel yerleştirilmiştir (Ercişli ve ark., 2012). Elde edilen fotoğraflar Adobe Photoshop CS6 uygulamasında işlenerek tohum dışındaki arka plan, yüzey alan hesaplamasında gerekli olan kontrast farkını yakalamak amacıyla kaldırılarak, renkli .tiff resim dosyaları olarak kaydedilmiştir. Tohum çeşitlerinin boyut ve şekil özelliklerini belirlemek için ise Image Pro v10 yazılımı kullanılmıştır. Tohum yüzey alanının hesaplanma aşamalarına ait görsel Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Tohum yüzey alanı hesaplama aşamaları (A: Yatay oryantasyon, B: Sütur oryantasyon, 1: Uygun kontrastın sağlandığı renkli zemin, 2: Arka planın kaldırılması, 3: Görüntü işleme uygulamasında tohumların analizi)

STEC O157:H7 ve *S. enterica*'nın ampisiline dirençli hale getirilmesi

S. enterica ve STEC O157:H7 ve suşları aşamalı olarak ampisiline (Sigma-Aldrich, St. Louis, ABD) dirençli hale getirilmiştir. Bu amaçla Parnell *et al.* (2005) tarafından nalidiksik asit için tarif edilen aşamalı prosedür ampisiline uyarlanmıştır. Ampisilin stok çözeltisini (10.000 µg/mL) hazırlamak için 100 mL steril saf suya 1 g ampisilin ilave edilmiştir. 10 mL steril Tryptic Soy Broth (TSB, Merck KGaA, Darmstadt, Almanya) içeren deney tüpüne stok çözeltiden farklı miktarlarda (Tablo 2) eklenerek istenilen konsantrasyonlarda ampisilinli TSB hazırlanmıştır.

Derin dondurucuda (-80 °C'de) saklanan bakteri suşlarının aktivasyonu için Tryptic Soy Agar'a (TSA, Biolife; Milan, İtalya) çizim yapılmış ve petriler 35±2 °C'de 24±2 saat süreyle inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyondan sonra suşların tek bir kolonisi alınarak TSB'ye aşılanmış ve 35±2 °C'de 18 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyondan sonra saflık kontrolü yapılan suşlar çalışmada kullanılmıştır.

Saflık kontrolü yapılan suşlardan 100 µL inokulum alınarak düşük konsantrasyonda ampisilin içeren 10 mL TSB'ye aktarılmış daha sonra 24 saat 35 °C'de tekrar inkübe edilmiştir. Ampisilin konsantrasyon artışı bakteri gelişimine göre seri olarak devam ettirilmiştir. İnkübasyon işleminin ardından inokulumdan 100 µL alınarak daha yüksek konsantrasyonda ampisilin içeren 10 mL TSB'ye aktarılmış, yeniden 24-48 saat ve 35 °C'de inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda TSB'de zayıf bakteri gelişiminin gözlemlendiği durumlarda, inokulumdan 100 µL alınarak aynı konsantrasyonda ampisilin içeren TSB'ye yeniden inoküle edilerek inkübasyona bırakılmıştır. Bu işlem çalışma kapsamında kullanılan *S. enterica* ve STEC O157:H7'nin tüm suşları için gerçekleştirilmiştir. Bu işlem her bir suş için 120 µg/mL düzeyinde ampisilin direnci oluşana kadar devam ettirilmiştir. Hedeflenen direnç oluşuktan sonra suşlardan TSA üzerine çizim yapılmış ve 35 °C'de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda suşlar %30 gliserol ve %70 TSB içeren ortam sıvısı kullanılarak stoğa alınmış ve koleksiyona eklenmiştir.

Tablo 2. *S. enterica* ve STEC O157:H7 Suşlarının Ampisiline Dirençli Hale Getirilmesinde Uygulanan Protokol

Aşama	Ampisilin miktarı* (µL)	TSB miktarı (mL)
0	0	10
1.	2	10
2.	4	10
3.	6	10
4.	12	10
5.	24	10
6.	48	10
7.	60	10
8.	72	10
9.	84	10
10.	96	10
11.	108	10
12.	120	10
13.	Ampisilinli TSA (100 µg/mL) üzerine ekim ve 35 °C' de 24 saat inkübasyon	
14.	Stoğa alma işlemi	

*Üst konsantrasyonlara geçişlerde direnç kazanmış suşun inokülümünden 100 µL alınarak bir daha fazla ampisilin içeren 10 mL TSB'ye aktarılmıştır.

Yapılan ön denemede *L. monocytogenes* suşlarının ampisiline hassasiyeti nedeniyle dirençli hale getirilemediği gözlenmiştir. Selektif supplement (PAC supplement, Neogen, Liverpool, UK) ilaveli PALCAM Agar (Neogen, Heywood, UK)'ın hedef mikroorganizma dışındaki diğer mikroorganizmaların gelişimini etkili şekilde engellediği görülmüştür. Bu sebeple araştırmada *L. monocytogenes* ampisiline dirençli hale getirilmeden kullanılmıştır.

***S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in aktifleştirilmesi ve**

inokülasyona hazırlanması

Ampisilin direnci kazandırılmış *S. enterica* ve STEC O157:H7 suşlarının aktivasyonu için -80 °C'de muhafaza edilen bakteri suşlarından TSA'ya çizim yapılmış ve petriler 35±2 °C'de, 24±2 saat süreyle inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyonun ardından *S. enterica* ve STEC O157:H7 suşlarından tek koloni alınarak ampisilin düzeyi 100 µg/mL olan TSB'ye inoküle edilerek ve 35±2 °C'de 18 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyondan sonra sıvı besiyerinden 100 µl kültür alınarak 100 µg/mL ampisilin içeren 10 mL TSB'nin bulunduğu 15 ml'lik steril santrifüj tüplerine (LABSOLUTE®, Germany) aktarılmış ardından 35±2 °C'de 18 saat inkübe edilmiştir. Daha sonra tüpler 5300 x g'de 10 d boyunca santrifüj edilmiştir. Santrifüj işleminin ardından süpernatant boşaltılarak 10 mL steril peptonlu su (%0,1; Biolife; Milan, Italy) ile hücreler iki kez yıkanmıştır. Yıkama aşamasından sonra pellet üzerine 5 mL peptonlu su ilave edilerek 10⁸-10⁹ kob/mL arasında değişen bakteri popülasyonuna sahip süspansiyon elde edilmiştir. Süspansiyon (10⁸-10⁹ kob/mL), dilüsyon tekniği ile düşük (10²-10³ kob/g) ve yüksek (10⁵-10⁶ kob/g) inokülasyonda kullanılmak üzere seyreltilmiştir.

L. monocytogenes suşlarının aktivasyonu için -80 °C'de muhafaza edilen bakteri suşlarından %6 maya ekstraktı (Biolife, Milan, İtalya) içeren TSA'ya çizim yapılmıştır. Petriler 35±2 °C'de 24±2 saat süreyle inkübasyona bırakılmıştır. Daha sonra aktive edilmiş *L. monocytogenes* suşlarından tek koloni alınarak %6 maya ekstraktı içeren TSB'ye inoküle edilerek 35±2 °C'de 18 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyondan sonra sıvı besiyerinden 100 µl kültür alınarak 10 mL %6 maya ekstraktı içeren TSB'ye aktarılmış ve 35±2 °C'de 18 saat inkübe edilmiştir. Ardından diğer bakteriler için uygulanan hazırlık işlemleri ile inokülasyona uygun hale getirilmiştir.

Perlit ve bitki besin solüsyonunda *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in sağ kalımı

Perlit ortamında patojen popülasyonunda meydana gelen değişimin belirlenmesi amacıyla *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* steril perlite düşük ve yüksek oranda inoküle edilerek bitki yetiştirme kaplarına aktarılmıştır.

Bitki besin solüsyonunda patojen popülasyonunda meydana gelen değişimin belirlenmesi amacıyla steril plastik kaplarda bulunan 100 mL bitki besin solüsyonuna yüksek ve düşük oranda *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* inokülasyonu gerçekleştirilmiştir.

Perlit ve bitki besin solüsyon örnekleri, mikroyeşilliklerle aynı ortamda tutulmuştur. Depolamanın 0., 1., 3., 5., 7., 14. ve 28. günlerinde örnekleme yapılarak yayma plak yöntemiyle patojenlerin popülasyonunda meydana gelen değişim belirlenmiştir.

Perlite *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in inokülasyonu ve tohum ekimi

İnokülasyon işleminden önce 750 mL perlit, stomacher poşetlerine (BagLight®, Interscience, Saint Nom, France) konulmuş ve üzerine 250 mL bitki besin solüsyonu aktararak perlitler ıslatılmıştır. *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in düşük (10^2 - 10^3 kob/g) ve yüksek (10^5 - 10^6 kob/g) inokülasyonunu ayarlamak için gerekli olan inokülüm stomacher poşetlerine ilave edilmiştir. Homojen bir karışım için stomacher poşetleri 2 dakika boyunca karıştırılmıştır. İnoküle perlitlerden yaklaşık 500 mL yetiştirme tepsisi olarak kullanılan kapaksız plastik kaplara (1000 mL) aktarılmıştır. Her bir kaptaki perlit üzerine mikroyeşillik tohumları ayrı ayrı serpiştirilmiş ve kalan inoküle perlitle (~250 mL) tohumların üstü kapatılmıştır (~1 cm) (Işık *et al.* 2022).

Tohumlara *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in inokülasyonu ve tohum ekimi

Kontamine tohumdan mikroyeşilliklere patojen transfer düzeyini belirlemek için hardal, buğday, fındık turp, ayçiçeği ve bezelye tohumları kullanılmıştır. Bu tohumların her birinden 5 g tartılarak steril plastik kaplara aktarılmıştır. Tohumlardaki nihai *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* popülasyonu düşük inokülasyonda 10^2 - 10^3 kob/g, yüksek inokülasyonda ise 10^5 - 10^6 kob/g olacak şekilde uygun dilüsyonlar hazırlanmıştır. Dilüsyon sıvısı tohumların tamamını kapatacak kadar doldurulmuş ve kabın kapağı kapatılarak 5 dk boyunca çalkalanmıştır. Çalkalama sonrası fazla dilüsyon sıvısı boşaltılmış ve tohumlar, steril edilmiş alüminyum folyo üzerine aktararak, biyogüvenlik kabini içerisinde 25 °C'de, 400 m³/saat debi ve 0,2 m/s akış hızına sahip laminar hava akışında 6 saat boyunca kurulmuştur (Kang *et al.* 2019). Ardından patojenler ile kaplanan tohumlar bitki besin solüsyonu ile ıslatılmış perlitlere ekilmiştir.

Mikroyeşilliklerin yetiştirilmesi

Mikroyeşillik ekili plastik kaplar, Muş Alparslan Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı'nda bulunan 16 m²'lik alana ve 2,5 m yüksekliğe sahip bitki yetiştirme odasına taşınmıştır. Çimlenmenin gerçekleşmesi amacıyla kaplar üç gün karanlıkta bekletilmiş ve tohumlar spreylenecek suretiyle sulanmıştır. Üçüncü günün sonunda ışıklar açılmış ve mikroyeşillikler hasat edinceye kadar yaklaşık 400 µmol/m² ışımaya sahip beyaz floresan ışık

altında 12 saat gündüz ve 12 saat gece fotoperiyodu ile yetiştirilmiştir. Mikroyeşilliklerin beslenmesi ve sulanması amacıyla steril 50 mL'lik enjektörler yardımıyla bitki besin solüsyonu ile sulama yapılmıştır. Bitki büyüme odasının sıcaklığı ve bağıl nemi bir veri kaydedici (Loyka Instruments, İstanbul, Türkiye) ile hasat zamanına kadar izlenmiştir (Işık *et al.* 2022). Bitki yetiştirme odasının ortalama sıcaklığı $25\pm6,7$ °C, ortalama bağıl nemi ise $36,5\pm6$ olarak ölçülmüştür. Turp mikroyeşilliğinin çimlenme, filizlenme ve olgunlaşma dönemlerine ait görsel Şekil 5'te sunulmuştur.



Şekil 5. Turp mikroyeşilliğine ait çimlenme (a), filizlenme (b) ve olgunlaşma (c) dönemleri

Mikroyeşilliklerin hasadı ve mikrobiyolojik analizler

Gerçek yaprakların oluşumu sonrası mikroyeşilliklerin hasadı gerçekleştirilmiştir. Hasat işleminde mikroyeşillikler perlitin yaklaşık 1 cm kadar yukarısından steril makas yardımıyla kesilerek stomacher poşetlerine konulmuştur. Yapılarının ince ve düşük ağırlığa sahip olmalarından dolayı kekik, dereotu, tere, kişniş, hindiba ve kırmızı pancar mikroyeşillik

örneklerinden 1'er g hasat edilmiş, üzerlerine 9 mL peptonlu su ilave edilerek 1 dk boyunca stomacher cihazında çalkalanmıştır. Diğer mikroyeşilliklerden ise 5'er g hasat edilerek stomacher poşetlerine alınmış ve üzerlerine 45 mL peptonlu su eklenerek 1 dk boyunca stomacher cihazında çalkalanmıştır (Işık *et al.* 2020a).

S. enterica popülasyonunun belirlenmesi

S. enterica inokülasyonu gerçekleştirilen mikroyeşillikler için gerekli dilüsyonlar hazırlandıktan sonra 100 µl/ml ampisilin içeren Xylose Lysine Deoxycholate (XLD, Oxoid, Basingtoke, UK) Agar üzerine ekim yapılmış ve 35±2 °C'de 24±2 saat inkübasyon sonunda siyah renkli tipik koloniler sayılarak popülasyon belirlenmiştir (Zhang *et al.* 2021a).

STEC O157:H7 popülasyonunun belirlenmesi

STEC O157:H7 inokülasyonu gerçekleştirilen mikroyeşilliklerde popülasyonun belirlenmesi amacıyla örneklerden gerekli dilüsyonlar hazırlandıktan sonra 100 µl/ml ampisilin içeren Sorbitol MacConkey Agar (SMAC-A, Condalab, Madrid, İspanya)'a ekim yapılmış ve 35±2 °C'de 24±2 saat inkübasyon sonunda tipik renksiz koloniler sayılarak popülasyon tespit edilmiştir (Işık *et al.* 2020a).

L. monocytogenes popülasyonunun belirlenmesi

L. monocytogenes inokülasyonu gerçekleştirilen mikroyeşilliklerde popülasyonun belirlenmesi amacıyla örneklerden dilüsyonlar hazırlandıktan sonra supplement (PAC supplement, Neogen, Liverpool, UK) ilaveli seçici besiyeri olan PALCAM Agar (Neogen, Heywood, UK)'a ekim yapılmış ve 35±2 °C'de 48±2 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda 2 mm çapında, gri-yeşil renkli, siyah çökük merkezli ve arka taraftan bakıldığında ortası kiraz kırmızısı olan tipik koloniler sayılarak popülasyon belirlenmiştir (Zhang *et al.* 2021a). Çalışmada önerilen metod ile sayılabilir sınırın altında olduğu görülen örnekler zenginleştirme işlemine tabi tutularak patojen varlığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla örnekler Universal Pre Enrichment Broth'a (Heywood, UK) aktarılmış ve 35±2 °C'de 48±2 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası tüplerden selektif besiyerine (PALCAM Agar) çizim yapılarak patojen mikroorganizma varlığı tespit edilmeye çalışılmıştır. (Nam *et al.* 2004)

TMAB ve TMK popülasyonunun belirlenmesi

Mikroyeşillik örneklerinde TMAB ile maya ve küf popülasyonunun belirlenmesinde STEC O157:H7 inoküle edilen mikroyeşilliklerden örnekleme yapılmıştır.

TMAB sayısının belirlenmesi için TSA'ya (Biolife; Milan, Italy) ekim yapılarak petriler 35 ± 2 °C'de 48 ± 2 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrasında tüm koloniler sayılarak popülasyon belirlenmiştir (Işık *et al.* 2022).

Maya ve küf sayımında tartarik asitle pH değeri 3,5'e düşürülmüş Potato Dextrose Agar (PDA, Condalab, Adrid, İspanya) kullanılmış ve yayma yöntemiyle ekim yapılmıştır. Ekim yapılan plaklar 25 °C'de 3-5 gün inkübasyona bırakılmış ve inkübasyondan sonra koloniler sayılarak maya-küf sayısı belirlenmiştir (Işık *et al.* 2022).

UV-C uygulaması

UV-C uygulamasının mikroyeşilliklerdeki patojen inhibisyonu üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla ayçiçeği ve turp tohumları kullanılmıştır. Bu iki tohumun seçilmesinde bitki doku özellikleri ve raf ömrü uzunluğu etkili olmuştur. Bu amaçla öncelikle *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* perlite yüksek oranda ayrı ayrı inoküle edilmiş ardından turp ve ayçiçeği mikroyeşillikleri yetiştirilmiştir. UV-C işlemi 253,7 nm çıkışlı dalga boyuna sahip UV-C lambasıyla gerçekleştirilmiş ve uygulamada plastik tabaklar (17 cm çap) kullanılmıştır. Plastik tabaklar uygulama öncesi UV-C lamba altında 10 dk bekletilerek dezenfekte edilmiştir. İstenen mesafeyi sağlamak amacıyla plastik raflar kullanılmış ve çalışma öncesi kabin içi sterilize edilmek amacıyla 30 dk UV-C ışınlarına maruz bırakılmıştır. Daha sonra 5 g mikroyeşillik örneği plastik tabaklara konularak üç farklı mesafede (10, 20, 35 cm), altı farklı sürede (5, 10, 20, 30, 60 ve 120 s) ve farklı yönlerden (tek yönlü ve çift yönlü) UV-C uygulaması yapılmıştır (Tablo 3). Biyogüvenlik kabini içerisine örnek koyma ve çıkarma aşamalarında UV-C lamba kapatılmıştır. Çift yönlü UV-C uygulaması için, UV-C uygulaması sonrası lamba kapatılmış ardından örnekler başka steril bir plastik kap yardımıyla ters yüz edilerek yeniden UV-C işlemine tabi tutulmuştur.

UV-C uygulamasında kullanılan lambanın teknik verileri kullanılarak uygulama şiddeti ve dozu hesaplanmıştır. UV-C şiddeti (Eşitlik 1); hedef bölge yüzeyine tüm yönlerden gelen toplam ışık gücünün (Watt, W), hedef bölgenin yüzey alanına bölünmesiyle; UV-C dozu (Eşitlik 2) ise hedef alan üzerine tüm yönlerden gelen toplam ışık enerjisinin (Joule, J) hedef bölgenin yüzey alanına bölünmesiyle belirlenmiştir (Korkmaz ve Gündüz, 2018). Çalışma kapsamında uygulanan UV-C'nin süre ve mesafelere göre değişen dozu Tablo 3'te verilmiştir.

$$\text{UV-C Şiddet (W/m}^2\text{)} = \text{Lambanın gücü (W)} \times \text{Yoğunluk faktörü (1/m}^2\text{)} \quad \text{(Eşitlik 1)}$$

$$\text{UV-C Doz (kJ/m}^2\text{)} = \text{UV-C Şiddeti (W/m}^2\text{)} \times \text{Etki süresi (s)} \quad \text{(Eşitlik 2)}$$

Uygulama sonunda örnekler (5 g) stomacher poşetlerine alınarak üzerine 45 mL peptonlu su eklenmiş ve stomacher cihazında 1 dk boyunca çalkalanmıştır. Peptonlu su örneği

uygun şekilde seyretildikten sonra hedef mikroorganizma besiyerlerine ekim yapılmış ve inkübasyon sonrası koloniler sayılmıştır (Işık *et al.* 2020a).

Tablo 3. Farklı süre ve mesafelerde UV-C dozu

Mesafe (cm)	Süre (s)	UV-C-Dozu(kj/m ²)
10	5	0,09
	10	0,17
	20	0,34
	30	0,52
	60	1,03
	120	2,07
20	5	0,03
	10	0,07
	20	0,14
	30	0,21
	60	0,41
	120	0,83
30	5	0,03
	10	0,05
	20	0,11
	30	0,16
	60	0,32
	120	0,65

Renk analizi

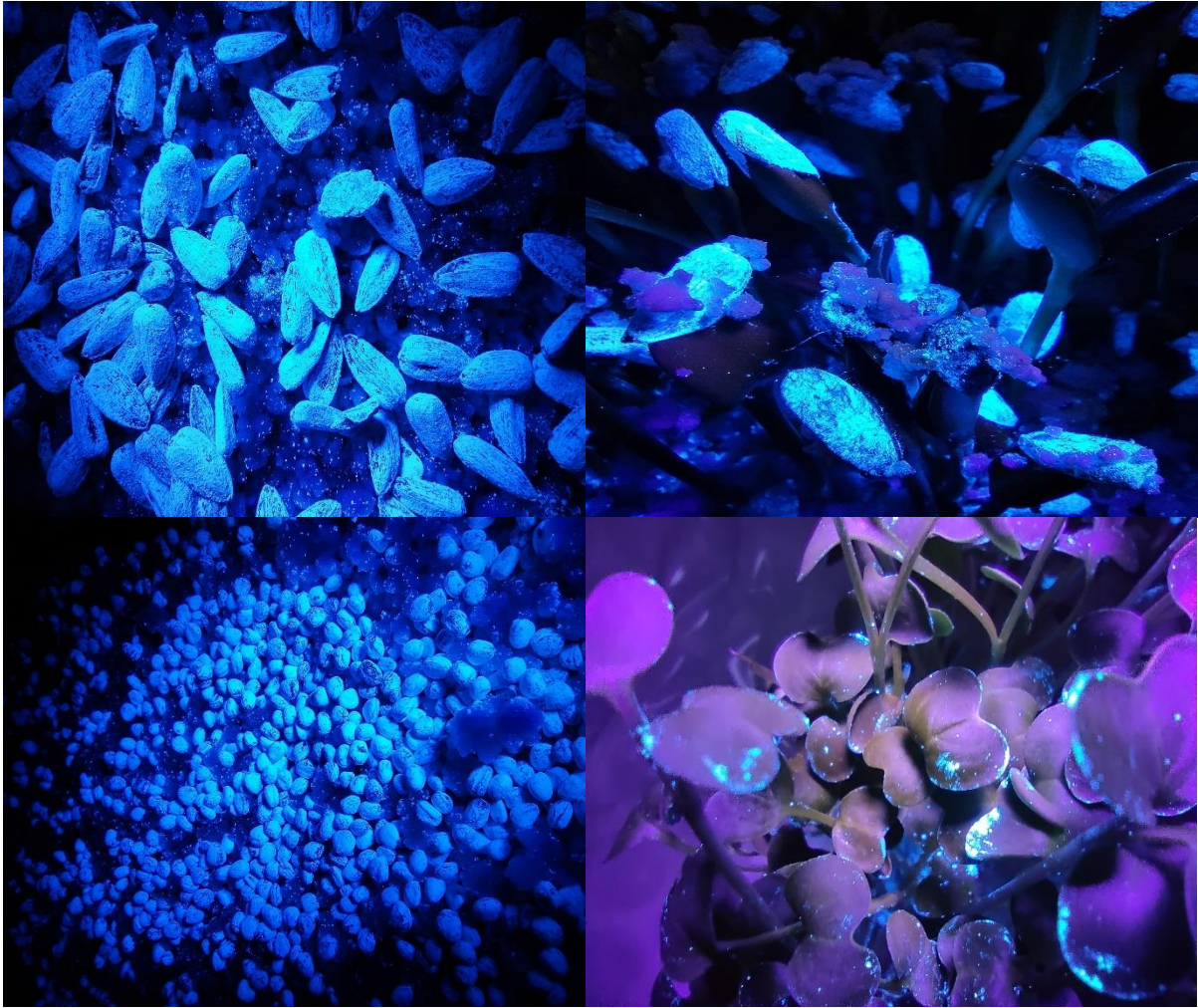
Mikroyeşillik örneklerinin renk profilleri, kolorimetre (Techkon GmbH, Almanya) yardımıyla CIELAB (Commission Internationale de l'Eclairage - International Commission on Illumination) renk modeline göre ölçülmüştür. CIELAB renk modelinde L^* değeri rengin parlaklığını ($L^* = 0$ için siyah, $L^* = 100$ için beyaz), a^* değeri kırmızı (+) ve yeşili (-), b^* değeri ise sarıyı (+) ve maviyi (-) temsil etmektedir (Işık *et al.* 2020b).

Glo-Germ tozu ile mikroyeşilliklere patojen transferinin görselleştirilmesi ve SEM ile görüntülenmesi

Glo-Germ tozunun (Co., Moab, UT, ABD) mikroyeşilliklerde abiyotik indikatör olarak kullanılması ve patojenlerin mikroyeşillik üzerindeki muhtemel lokalizasyonlarının belirlenmesi için ayçiçeği ve turp tohumları kullanılmıştır.

Bu amaçla perlitlere jenerik *E. coli* (ATCC 25922), *S. Typhimurium* (ATCC 14028) ve *L. monocytogenes* (ATCC 13932) inokülasyonu (10^5 - 10^6 kob/g) yapılmıştır. Ayçiçeği ve turp tohumları Glo-Germ ile dolu steril kaplara konularak çalkalanmış ve tüm yüzeyinin Glo-Germ ile kaplanması sağlanmıştır. Tohumlar daha sonra kontamine perlit üzerine serpiştirilmiş

ardından yüzeyi perlitle kapatılarak mikroyeşillikler yetiştirilmiştir. Hasat olgunluğuna erişen ayçiçeği ve turp mikroyeşillikleri yüzeyindeki Glo-Germ kaynaklı floresan ışığın görüntülenmesi amacıyla UV ışık kaynağı (51 LED UV Işıklı El Feneri) ile modifiye edilmiş transilluminatorlü (Nyx Teknik, Inc., San Diego, CA, ABD) jel görüntüleme sistemi (MicroDOC, Cleaver Scientific, Rugby, UK) kullanılmıştır. Şekil 6’da UV ışık altında Glo-Germ ile kaplanmış ayçiçeği ve turp tohumları ve mikroyeşilliklerine ait görseller verilmiştir.



Şekil 6. UV ışık altında Glo-Germ ile kaplanmış ayçiçeği ve turp tohumları ile mikroyeşilliklerinin görüntüleri

Dijital görüntüler elde edildikten sonra floresan ışımının yüksek olduğu yapraklar ile ışımının az olduğu/olmadığı yapraklar hasat edilerek bu bölgelerdeki ilgili bakterilerin sayımları gerçekleştirilmiştir. *S. enterica* için XLD, STEC O157:H7 için SMAC, *L. monocytogenes* için PALCAM agar kullanılarak plak sayım yöntemiyle popülasyon belirlenmiştir (Işık *et al.* 2022; Zhang *et al.* 2021a).

Glo-Germ ile mikroorganizma lokalizasyonunun aynı bölgelerde olup olmadığını kanıtlamak üzere jenerik *E. coli* kullanılmıştır. Jenerik *E. coli* ile kontamine perlitle yetiştirilen turp mikroyeşilliğinin adaksiyal yüzeyi (kotiledonun üst yüzeyi) SEM ile incelenerek abiyotik

indikatör olarak kullanılan Glo-Germ ve jenerik *E. coli*'nin yaprak yüzeyindeki varlıkları görüntülenerek belirlenmiştir. Yaprak örneklerinin yüzeyi, İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi Laboratuvarı'nda taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Leo EVO-40 VPX, Carl Zeiss SMT, Cambridge, İngiltere) ile incelenmiştir. Numuneler analize hazırlanmak amacıyla püskürtme yöntemiyle altın-paladyum ile kaplanmıştır. Daha sonra SEM zeminine yerleştirilerek karbon bantla sabitlenmiştir. Görüntü almak için 20 kV hızlandırıcı voltaj ile sekonder elektron modu ayarlanmıştır. Jenerik *E. coli* hücrelerinin boyutları ImageJ yazılımı (Ver. 1.46r, Bethesda, MD, ABD) ile ölçülmüştür.

İstatistiksel analizler

Bu çalışma veri çeşitliliği ve özellikleri açısından istatistiksel olarak bağımsız üç bölümden oluşmaktadır.

İlk bölüm olan yetiştirme materyallerinden mikroyeşilliklere transfer olan patojen düzeyi ve TMAB ile TMK popülasyonunun belirlenmesinde; iki farklı kontaminasyon kaynağı (perlit ve tohum), iki farklı kontaminasyon seviyesi (düşük inokülasyonu, yüksek inokülasyon) ve üç farklı patojen cinsi (*S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*) ile çalışma yapılmıştır. Perlit kontaminasyonunda 20 tür, tohum kontaminasyonunun da ise 5 tür mikroyeşillik değerlendirilmiştir. Çalışmanın bu bölümü 4 tekerrür ve paralel olarak yürütülmüştür.

İkinci bölüm olan mikroyeşilliklere transfer olan üç farklı patojen cinsinin (*S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*) UV-C ile inhibisyonunda; iki mikroyeşillik (ayçiçeği ve turp), üç farklı mesafe (10, 20 ve 30 cm), 6 farklı süre (5, 10, 20, 30, 60 ve 120 s), iki farklı yönün (tek yön ve çift yön) etkisi incelenmiş ve depolanarak patojen popülasyonunda meydana gelen değişim belirlenmiştir. Ayrıca UV-C'nin renk değerleri üzerindeki etkisi takip edilmiştir. Çalışmanın bu bölümü 3 tekerrür ve paralel olarak yürütülmüştür.

Çalışmanın **üçüncü bölümünde** Glo-Germ kaynaklı floresan ışımının yüksek olduğu ya da az olduğu/olmadığı kotiledon bölgelerdeki patojen popülasyon farklılığının belirlenmesi amacıyla iki farklı mikroyeşillik (ayçiçeği ve turp) ve üç cins patojen (*S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*) ile çalışılmıştır. Araştırmanın bu bölümü 5 tekerrür ve paralel olacak şekilde tamamlanmıştır.

Elde edilen veriler SPSS for Windows Release version 26 (Armonk, NY, IBM Corp., Amerika) paket programında varyans analizine tabi tutulmuş ve Tukey yöntemiyle istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Tohum özellikleri (tohum yüzey alanı, tohum ağırlığı) ve hasat süresi ile mikroyeşilliklerdeki patojen popülasyonu arasındaki ilişkiyi görmek amacıyla, perlit ve tohum kontaminasyonu ile yetiştirilen 5 tür mikroyeşillığe (hardal, turp, buğday, ayçiçeği ve bezelye) transfer olan patojenlerin (*S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*) popülasyonları değerlendirilmiştir. Bu amaçla Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corp, Redmond, WA, ABD) programında lineer regresyon eğrileri çizilerek R^2 değerleri hesaplanmıştır.



ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu çalışma analiz çeşitliliği açısından üç farklı bölümden oluşmaktadır. Bunlar aşağıda sunulmuştur.

- Mikroyeşilliklere Patojen Transferi
- Mikroyeşilliklerde Bulunan Mikroorganizmaların UV-C ile İnhibisyonu
- Glo-Germ Tozu ile Mikroyeşilliklere Patojen Transferinin Görselleştirilmesi ve SEM ile Görüntülenmesi

Mikroyeşilliklere Patojen Transferi

Araştırmanın birinci bölümünde öncelikle mikroyeşillik üretiminde kullanılan perlit ve bitki besin solüsyonu *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile düşük ve yüksek düzeyde kontamine edilerek 28 gün boyunca depolanmış ve patojenlerin popülasyonunda meydana gelen değişim incelenmiştir.

İkinci aşamada, mikroyeşillik üretiminde yetiştirme materyali olarak kullanılan perlit *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile düşük ve yüksek düzeyde kontamine edilerek 20 farklı türde mikroyeşillik yetiştirilip, mikroyeşilliklere bu patojen mikroorganizmaların transferlerinin yanı sıra TMAB ve TMK popülasyonları belirlenmiştir.

Üçüncü aşamada, mikroyeşillik üretiminde kullanılan tohumların kontamine olması halinde oluşabilecek riskleri görmek amacıyla beş farklı tür mikroyeşillik tohumu *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile düşük ve yüksek düzeyde kontamine edilerek mikroyeşillikler yetiştirilmiş ardından patojen, TMAB ve TMK popülasyonları belirlenmiştir.

Kontaminasyon kaynağı ve seviyesinin patojen transferine etkisini görmek amacıyla, perlit ve tohum kontaminasyonu ile yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* popülasyonları istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Son olarak, tohum özellikleri (tohum yüzey alanı ve ağırlığı) ve hasat süresinin patojen popülasyonu üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla lineer regresyon eğrisi analizi ile korelasyon düzeyleri belirlenmiş, çimlenme özelliklerinin (epigeal ve hipogeal) etkisini görmek için ise transfer olan patojen popülasyonları istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Perlitte ve bitki besin solüsyonunda *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in sağ kalımı

Bitki yetiştirme odasındaki ortalama sıcaklık $25\pm6,7$ °C, ortalama bağıl nem ise $36,5\pm6$ olarak ölçülmüştür. Genel olarak depolama periyodunca perlitte ve bitki besin solüsyonunda *S. enterica* ve STEC O157:H7 popülasyonunda benzer bir değişim söz konusu iken *L. monocytogenes* popülasyonunda meydana gelen değişim farklılık göstermiştir. Depolama sürecinin ilk 24 saatinde düşük ve yüksek inokülasyon gerçekleştirilen perlit ile bitki besin solüsyonunda tüm patojen mikroorganizmaların popülasyonunda önemli düzeyde artış meydana gelmiştir (Şekil 7).

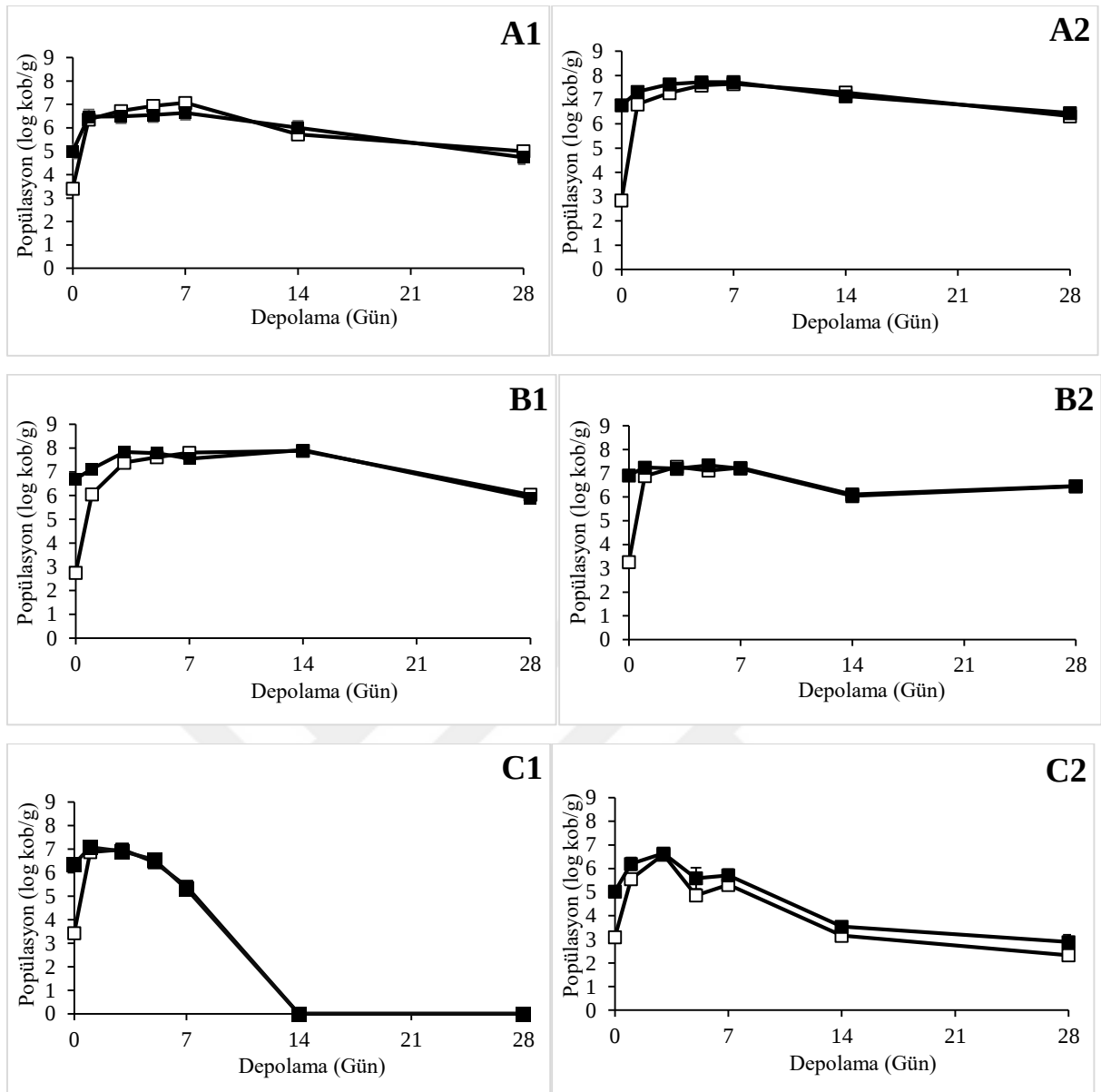
İnokülasyonun 0., gününde düşük ve yüksek inoküle perlitteki *S. enterica* popülasyonu sırasıyla $3,4\pm0,2$, $5,0\pm0,1$ log kob/g olarak belirlenmiştir. İlk 24 saat içerisinde *S. enterica* popülasyonu düşük inoküle perlitte 3 log kob/g artarak $6,4\pm0,2$ log kob/g'a, yüksek inoküle perlitte ise 1,5 log kob/g artarak $6,5\pm0,4$ log kob/g'a yükselmiştir. Depolamanın 7. gününde düşük ve yüksek inoküle perlitteki *S. enterica* popülasyonu sırasıyla $7,1\pm0,1$, $6,6\pm0,1$ log kob/g ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Depolama sonuna kadar düşük ve yüksek inoküle perlitteki *S. enterica* popülasyonunda düşüş meydana gelmiş ve 28. günün sonunda sırasıyla $5,0\pm0,1$, $4,74\pm0,1$ log kob/g'a azalmıştır. (Şekil 7, A1). İnokülasyonun 0. gününde düşük ve yüksek inoküle besin solüsyonundaki *S. enterica* popülasyonu sırasıyla $2,8\pm0,1$, $6,8\pm0,0$ log kob/mL olarak belirlenmiştir. İlk 24 saat içerisinde *S. enterica* popülasyonu düşük inoküle besin solüsyonunda 4 log kob/mL artarak $6,8\pm0,0$ log kob/mL'ye, yüksek inoküle besin solüsyonunda ise 0,5 log kob/mL artarak $7,3\pm0,1$ log kob/mL'ye yükselmiştir. Depolamanın 7. gününde hem düşük hem de yüksek inoküle besin solüsyonunda *S. enterica* popülasyonu 7,7 log kob/mL ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Depolama sonuna kadar besin solüsyonundaki *S. enterica* popülasyonunda düşüş meydana gelmiş, 28. günün sonunda düşük ve yüksek inokülasyonda sırasıyla $6,3\pm0,1$, $6,5\pm0,1$ log kob/mL'ye azalmıştır (Şekil 7, A2).

İnokülasyonun 0., gününde düşük ve yüksek inoküle perlitteki STEC O157:H7 popülasyonu sırasıyla $2,8\pm0,1$, $6,7\pm0,0$ log kob/g olarak belirlenmiştir. İlk 24 saat içerisinde STEC O157:H7 popülasyonu düşük inoküle perlitte 3,3 log kob/g artarak $6,1\pm0,1$ log kob/g'a, yüksek inoküle perlitte ise 0,4 log kob/g artarak $7,1\pm0,1$ log kob/g'a yükselmiştir. Depolamanın 14. gününde düşük ve yüksek inoküle perlitteki STEC O157:H7 popülasyonu sırasıyla $7,9\pm0,2$ ve $7,9\pm0,0$ log kob/g ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. 28. günde düşük ve yüksek inoküle perlitteki STEC O157:H7 popülasyonunda yaklaşık 2 log kob/g düşüş meydana gelerek sırasıyla $6,0\pm0,0$, $5,9\pm0,1$ log kob/g'a azalmıştır (Şekil 7, B1). İnokülasyonun 0. gününde düşük ve yüksek inoküle besin solüsyonundaki STEC O157:H7 popülasyonu sırasıyla $3,3\pm0,0$, $6,9\pm0,0$ log kob/mL olarak belirlenmiştir. İlk 24 saat içerisinde STEC O157:H7 popülasyonu

düşük inoküle besin solüsyonunda 3,6 log kob/mL artarak 6,9±0,0 log kob/mL'ye, yüksek inoküle besin solüsyonunda ise 0,3 log kob/mL artarak 7,2±0,1 log kob/mL'ye yükselmiştir. STEC O157:H7 popülasyonu, düşük inoküle besin solüsyonunda depolamanın 3. gününde, yüksek inoküle besin solüsyonunda ise depolamanın 5. gününde 7,3 log kob/mL ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Depolama sonuna kadar düşük ve yüksek inoküle besin solüsyonundaki STEC O157:H7 popülasyonunda düşüş meydana gelmiş ve 28. günün sonunda sırasıyla 6,3±0,1, 6,5±0,1 log kob/mL'ye azalmıştır (Şekil 7, B2).

İnokülasyonun 0. gününde düşük ve yüksek inoküle perlitteki *L. monocytogenes* popülasyonu sırasıyla 3,4±0,0 ve 6,4±0,1 log kob/g olarak belirlenmiştir. İlk 24 saat içerisinde *L. monocytogenes* popülasyonu düşük inoküle perlitte 3,5 log kob/g artarak 6,9±0,1 log kob/g'a, yüksek inoküle perlitte ise 0,7 log kob/g artarak 7,1±0,1 log kob/g'a yükselmiştir. Depolamanın 3. gününde düşük ve yüksek inoküle perlitteki *L. monocytogenes* popülasyonu sırasıyla 7,0±0,1 ve 6,9±0,1 log kob/g ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Depolamanın 14. ve 28. günlerinde yapılan örneklemelerde düşük ve yüksek inoküle perlitte *L. monocytogenes* zenginleştirme sonrası da tespit edilememiştir (Şekil 7, C1). İnokülasyonun 0. gününde düşük ve yüksek inoküle besin solüsyonundaki *L. monocytogenes* popülasyonu sırasıyla 3,1±0,0 ve 5,0±0,0 log kob/g olarak belirlenmiştir. İlk 24 saat içerisinde *L. monocytogenes* popülasyonu düşük inoküle besin solüsyonunda 2,5 log kob/mL artarak 5,6±0,4 log kob/mL'ye, yüksek inoküle besin solüsyonunda ise 1,2 log kob/mL artarak 6,2±0,3 log kob/mL'ye yükselmiştir. *L. monocytogenes* popülasyonu depolamanın 3. gününde düşük ve yüksek inoküle besin solüsyonunda 6,6 log kob/mL ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Depolama sonuna kadar düşük ve yüksek inoküle besin solüsyonunda *L. monocytogenes* popülasyonunda düşüş meydana gelmiş, 28. günün sonunda sırasıyla 2,3±0,5 ve 2,9±0,3 log kob/mL seviyesine düşmüştür (Şekil 7, C2).

Hidroponik bitki yetiştirme sistemlerinde kullanılan bitki besin solüsyonu ve perlitin, *S. enterica* (Şekil A1, A2), STEC O157:H7 (Şekil B1, B2), ve *L. monocytogenes* (Şekil C1, C2) ile düşük düzeyde bile kontamine olması halinde ilk 24 saat içinde 3 log kob/g üzerinde çoğalarak yüksek popülasyona ulaştığı görülmüştür. Mikroyeşilliklerin çimlenme süresi değişmekle birlikte genellikle 3-6 gün içerisinde tamamlanmakta ve perlitin yüzeyine çıkmaktadır. Bu nedenle mikroyeşillik tohumu ve çimlenme sonrası oluşan ilk sürgün, ekimden sonraki 3-6 gün boyunca bitki besin solüsyonu ve perlitte yüksek seviyede popülasyona ulaşan patojenlerin kontaminasyonuna maruz kaldığı görülmektedir.



Şekil 7. *S. enterica* (A), STEC O157:H7 (B) ve *L. monocytogenes* (C)'in, perlite (1) ve bitki besin solüsyonuna (2), düşük (□) ve yüksek oranda (■) inokülasyonu sonrası popülasyonunda meydana gelen değişim

Hidroponik sistemler ve toprak ikameleri, mikroyeşillik üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Işık *et al.* 2020a). Hidroponik sistemler, muhtemelen rekabetçi mikrobiyota eksikliği ve bol su varlığından dolayı mikroorganizmaların hayatta kalması ve çoğalması için uygun ortam sağlayabilmektedir (Xiao *et al.* 2015). Perlit daha önceki çalışmalarda büyüme substratı olarak kullanılmış (Wright and Holden 2018; Işık *et al.* 2022) ve bitki besin solüsyonuyla desteklenmiştir (Işık *et al.* 2020a). Bitki besin solüsyonu ve perlitin patojenlerin sağ kalımını desteklediği bildirilmiştir (Işık *et al.* 2020a; Işık *et al.* 2022). Ancak bitki besin solüsyonunun ve bitki besin solüsyonuyla desteklenen perlitin *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile düşük ve yüksek düzeyde kontamine olması halinde bu patojenlerin davranışlarıyla ilgili kapsamlı bir araştırmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada *S. enterica*,

STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in perlitte ve bitki besin solüsyonunu düşük ve yüksek oranda kontamine etmesi sonrası popülasyonlarında meydana gelen değişim 28 gün boyunca izlenmiştir. Sonuçlar perlit ve bitki besin solüsyonunun *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile düşük düzeyde bile kontamine olması halinde ilk 24 saat içerisinde popülasyonlarında 3 log'dan fazla artış olduğu görülmüştür. *S. enterica* ve STEC O157:H7, 28 gün boyunca perlit ve bitki besin solüsyonunda yüksek düzeyde canlılığını korumuştur. Nitekim Chitarra *et al.* (2014), turba-perlit karışımına inoküle ettikleri STEC O157:H7 popülasyonunun 20 gün sonra benzer seviyelerde olduğunu gözlemlemişlerdir. STEC O157:H7'in, toprak tipine, nem düzeyine ve sıcaklığa bağlı olarak toprakta 7 ila 25 hafta arasında yaşayabildiği belirtilmektedir (Duffy *et al.* 2005). *L. monocytogenes* ise perlitte ve bitki besin solüsyonunda diğer patojenlerden farklı davranış sergilemiştir. Perlit ortamında inokülasyondan sonraki 24 saat içerisinde 7 log kob/g seviyelerine yükselen *L. monocytogenes* popülasyonu, hızlı bir şekilde azalmış ve depolamanın 14. gününde tespit edilememiştir. Bitki besin solüsyonunda ise inokülasyonun 7. gününden sonra *L. monocytogenes* popülasyonunda azalma olmasına rağmen 28 gün sonunda önemli düzeyde sağ kalım gösterdiği görülmüştür. Misra and Gibson (2020), *L. monocytogenes* popülasyonunun yetiştirme materyali olarak kullandığı turbada önemli düzeyde azaldığını ancak kenevir ve Biostrate'da canlılıklarını büyük oranda koruduklarını ayrıca *L. monocytogenes*'in *Salmonella Javiana*'a kıyasla genel olarak daha az sağkalım gösterdiğini bildirmiştir.

Kontamine perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklere mikroorganizmaların transferi

Bu çalışmada mikroyeşillikleri kapsamlı olarak temsil etmesi adına 20 tür mikroyeşillik, düşük ve yüksek oranlarda *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile kontamine edilmiş perlitte yetiştirilerek bu patojenlerin mikroyeşilliklere transfer olma düzeyleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler perlitin *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile kontamine olması halinde mikroyeşilliklere önemli düzeyde transfer olabildiklerini göstermiştir.

Kontamine perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklere ait patojen popülasyonları Tablo 4'te gösterilmiştir. 20 tür içerisinde en yüksek STEC O157:H7 popülasyonu turp, en yüksek *S. enterica* popülasyonu roka, en yüksek *L. monocytogenes* popülasyonu ise dereotu mikroyeşilliklerinde bulunmuştur. Mikroyeşilliklerdeki *S. enterica* popülasyonu $1,6 \pm 0,18 - 6,8 \pm 0,2$ log kob/g, STEC O157:H7 popülasyonu $1,8 \pm 0,4 - 7,2 \pm 0,2$ log kob/g, *L. monocytogenes* popülasyonu ise $1,7 \pm 0,1 - 6,6 \pm 0,3$ log kob/g arasında değişiklik göstermiştir. Yetiştirilen mikroyeşillikler içerisinde en yüksek patojen popülasyonu ($7,2 \pm 0,2$ log kob/g) yüksek oranda STEC O157:H7 inoküle edilmiş perlitte yetiştirilen turp mikroyeşilliklerinde, en düşük patojen

popölasyonu ($1,6\pm0,2$ log kob/g) ise düşük oranda *S. enterica* inoköle edilmiş perlitte yetiştirilen cin biberi mikroyeşilliklerinde tespit edilmiştir.



Tablo 4. Düşük ve Yüksek Oranda *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile Kontamine Perlitte Yetiştirilen Mikroyeşilliklere Transfer Olan Patojen Popülasyonu

Mikroyeşillikler	Popülasyon (log kob/g)					
	<i>S. enterica</i> İnokülasyonu		STEC O157:H7 İnokülasyonu		<i>L. monocytogenes</i> İnokülasyonu	
	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
Arpa	2,3±1,6 ^{Bij}	3,1±0,4 ^{Bjk}	4,8±0,3 ^{Afgh}	5,5±0,2 ^{Afg}	2,0±0,5 ^{Bhi}	2,6±0,2 ^{Bj}
Fesleğen	4,9±0,3 ^{Bbcdef}	5,4±0,2 ^{Befg}	4,9±0,2 ^{Bfgh}	6,2±0,5 ^{Acdef}	3,3±0,4 ^{CEefg}	2,9±0,2 ^{Cij}
Karalahana	4,9±0,3 ^{Bbcdef}	6,6±0,3 ^{Aab}	6,2±0,3 ^{Abcd}	6,6±0,1 ^{Aabcd}	4,0±0,1 ^{Bde}	4,8±0,2 ^{Cbcd}
Brokoli	5,4±0,2 ^{Cabcd}	6,2±0,2 ^{ABabc}	5,9±0,2 ^{Bcde}	6,5±0,1 ^{Aabcd}	3,4±0,3 ^{Eefg}	3,9±0,3 ^{Dfg}
Hindiba	3,2±0,4 ^{Cghi}	6,4±0,1 ^{Bhi}	6,2±0,2 ^{Abcd}	6,4±0,1 ^{Abcde}	6,2±0,2 ^{Aa}	6,4±0,1 ^{Aa}
Kışniş	4,6±0,6 ^{Bcdefg}	5,4±0,2 ^{Adef}	5,4±0,4 ^{Aefg}	5,7±0,3 ^{Aefg}	2,7±0,1 ^{Cgh}	4,1±0,2 ^{Bef}
Mısır	3,6±0,4 ^{Afghi}	3,8±0,2 ^{Aij}	3,9±0,4 ^{Ai}	3,8±0,6 ^{Aj}	1,7±0,1 ^{Bi}	2,8±0,2 ^{Bj}
Tere	6,4±0,2 ^{Aa}	6,6±0,2 ^{Aab}	6,4±0,1 ^{Aabc}	6,8±0,3 ^{Aabcd}	5,0±0,2 ^{Bbc}	4,6±0,3 ^{Bcde}
Hıyar	4,0±0,4 ^{Cdefgh}	4,8±0,2 ^{Bfgh}	6,5±0,3 ^{Aabc}	6,5±0,2 ^{Abcd}	4,9±0,1 ^{Bbc}	4,9±0,1 ^{Bbc}
Kıvırcık marul	2,4±0,2 ^{Dij}	3,5±0,6 ^{Cjk}	4,7±0,5 ^{Agh}	4,4±0,1 ^{ABij}	3,7±0,1 ^{BCdef}	3,6±0,6 ^{BCfgh}
Dereotu	5,1±0,9 ^{Cabcde}	6,2±0,1 ^{ABabcd}	5,0±0,3 ^{Cfgh}	5,5±0,3 ^{BCfgh}	5,5±0,2 ^{BCab}	6,6±0,3 ^{Aa}
Cin biberi	1,6±0,2 ^{Dj}	3,0±0,2 ^{Ck}	5,6±0,3 ^{Adef}	5,3±0,3 ^{Agh}	3,0±0,4 ^{Cfg}	4,1±0,1 ^{Bdef}
Hardal	5,8±0,3 ^{Aabc}	6,0±0,3 ^{Abcde}	5,8±0,2 ^{Acde}	6,1±0,1 ^{Adef}	3,3±0,1 ^{Befg}	3,6±0,1 ^{Bfghi}
Bezelye	2,9±0,6 ^{Chij}	3,9±0,2 ^{Aij}	1,8±0,4 ^{Dj}	3,8±0,3 ^{ABj}	2,7±0,2 ^{Cgh}	3,1±0,1 ^{BChij}
Turp	5,7±0,3 ^{BCabc}	5,8±0,2 ^{Bcde}	7,1±0,1 ^{Aa}	7,2±0,2 ^{Aa}	5,4±0,1 ^{Dab}	5,4±0,1 ^{CDb}
Kırmızı pancar	5,9±0,3 ^{Aabc}	5,4±0,5 ^{ABdef}	4,5±0,4 ^{Bhi}	4,8±0,3 ^{Bhi}	4,9±0,9 ^{Bbc}	5,1±0,4 ^{ABbc}
Roka	6,1±0,0 ^{Cab}	6,8±0,2 ^{ABa}	6,5±0,2 ^{ABabc}	7,0±0,2 ^{Aab}	4,5±0,2 ^{Dcd}	4,8±0,1 ^{Dbcde}
Ayçiçeği	4,5±0,3 ^{Bcdefg}	4,5±0,3 ^{Bhi}	6,8±0,3 ^{Aab}	6,9±0,2 ^{Aabc}	3,3±0,1 ^{Cefg}	3,3±0,1 ^{Cghij}
Kekik	5,0±0,0 ^{Abcdef}	5,8±0,1 ^{Acde}	5,2±0,1 ^{Aefgh}	5,7±0,1 ^{Aefg}	1,9±0,7 ^{Bhi}	1,8±0,6 ^{Bk}
Buğday	3,9±0,9 ^{CDefgh}	4,6±0,7 ^{BCgh}	5,8±0,4 ^{ABcde}	6,3±0,4 ^{Abcde}	2,7±0,3 ^{Egh}	2,7±0,2 ^{DEj}

A, B, C, D, E, F: aynı satırda istatistiksel olarak farklılığı, a, b, c, d, e, f, g, h, i, j: aynı sütundaki istatistiksel farklılığı gösterir, (p<0,05).

***S. enterica* transferi**

S. enterica ile düşük ve yüksek oranda kontamine edilmiş perlitte yetiştirilen 20 tür mikroyeşillığe transfer olan patojenlerin popülasyonu Tablo 4'te, varyans analiz sonuçları ise Tablo 5'te verilmiştir. Mikroyeşilliklere transfer olan *S. enterica*'nın popülasyonu üzerine mikroyeşillik türü, kontaminasyon seviyesi ve mikroyeşillik türü x kontaminasyon seviyesinin etkisi $p<0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tablo 5. *S. enterica* ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Perlitte Yetiştirilen 20 Tür Mikroyeşillığe Transfer Olan Patojenlerin Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik türü (A)	20	64,375	0,000**
Kontaminasyon Düzeyi (B)	1	96,631	0,000**
A*B	19	2,916	0,000**
Hata	119		
Genel	160		

*($p<0,05$) düzeyinde önemli; ** ($p<0,01$) düzeyinde önemli

Düşük oranda inoküle edilmiş perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerle kıyaslandığında, yüksek inoküle perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki patojen popülasyonu çoğunlukla daha yüksek bulunmuştur. Yüksek oranda *S. enterica* inoküle edilen perlitlerde yetiştirilen karalahana, hindiba, kişniş, hıyar, kıvırcık marul, dereotu, cin biberi, bezelye, roka ve kekik mikroyeşilliklerindeki *S. enterica* popülasyonu, düşük inoküle perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerden önemli düzeyde yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Mikroyeşillikler arasında en yüksek *S. enterica* popülasyonu ($6,8\pm0,2$ log kob/g) yüksek inoküle perlitte yetiştirilen roka mikroyeşilliklerinde, en düşük *S. enterica* popülasyonu ($1,6\pm0,2$ log kob/g) ise düşük inoküle perlitte yetiştirilen cin biberi mikroyeşilliklerinde görülmüştür.

S. enterica mikroyeşilliklere transfer olabilmekte (Işık *et al.* 2022) ve bitki dokusunda uzun süre hayatta kalabilmektedir (Reed *et al.* 2018). *S. enterica*'nın mikroyeşilliklere transferi üzerine bazı araştırmalar yapılmış olsa da bu çalışmalar sınırlı mikroyeşillik türü ve yetiştirme şartları üzerinedir (Deng *et al.* 2021; Reed *et al.* 2018; Namlı, 2021; Işık *et al.* 2022; Barak *et al.* 2008). Bu araştırmadan elde edilen verilerle benzer olarak Barak *et al.* (2008) tarafından yapılan çalışmada da *S. enterica* transferinin hindiba ve kişniş mikroyeşilliklerinde marula göre daha fazla olduğu rapor edilmiştir. Ancak aynı çalışmada *Salmonella* ile kontamine olan toprakta yetiştirilen turp ($3,3$ log kob/g), brokoli ($3,2$ log kob/g), marul ($3,3$ log kob/g), hindiba ($2,6$ log kob/g) ve kişniş ($2,3$ log kob/g) mikroyeşilliklerindeki popülasyonlar bu çalışmada belirlenen popülasyonlardan (düşük kontamine kıvırcık marul mikroyeşillliği hariç) daha düşük bulunmuştur. Bu araştırmadaki patojen popülasyonunun daha yüksek olması steril perlit ve

bitki besin solüsyonunun kullanılmasından dolayı rekabetçi mikrobiyotanın az olması ile açıklanabilir.

STEC O157:H7 transferi

STEC O157:H7 ile düşük ve yüksek oranda kontamine edilmiş perlitte yetiştirilen 20 tür mikroyeşillığe transfer olan patojenlerin popülasyonu Tablo 4’de, varyans analiz sonuçları ise Tablo 6’te verilmiştir. Mikroyeşilliklere transfer olan STEC O157:H7’in popülasyonu üzerine mikroyeşillik türü, kontaminasyon seviyesi ve mikroyeşillik türü x kontaminasyon seviyesinin etkisi $p<0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tablo 6. STEC O157:H7 ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Perlitte Yetiştirilen 20 Tür Mikroyeşillığe Transfer Olan Patojenlerin Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik türü (A)	20	114,452	0,000**
Kontaminasyon Düzeyi (B)	1	76,941	0,000**
A*B	19	6,874	0,000**
Hata	119		
Genel	160		

*($p<0,05$) düzeyinde önemli; ** ($p<0,01$) düzeyinde önemli

Yüksek oranda STEC O157:H7 inoküle edilen perlitlerde yetiştirilen fesleğen, brokoli, bezelye ve roka mikroyeşilliklerindeki STEC O157:H7 popülasyonu, düşük inoküle perlitte yetiştirilen aynı mikroyeşilliklerden önemli düzeyde yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). STEC O157:H7 inokülasyonu yapılan perlitlerde yetiştirilen mikroyeşillikler arasında en yüksek popülasyon turp mikroyeşilliklerinde görülmüştür. Yüksek ve düşük inoküle perlitte yetiştirilen turp mikroyeşilliklerinde STEC O157:H7 popülasyonu sırasıyla $7,2\pm0,2$ ve $7,1\pm0,1$ log kob/g olarak belirlenmiştir. En düşük STEC O157:H7 popülasyonu ($1,8\pm0,4$ log kob/g) düşük inoküle perlitte yetiştirilen bezelye mikroyeşilliklerinde tespit edilmiştir. Yüksek inoküle perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerde en düşük STEC O157:H7 popülasyonu (3,8 log kob/g) ise bezelye ve mısır mikroyeşilliklerinde tespit edilmiştir (Tablo 4).

Benzer olarak Işık *et al.* (2020a), kontamine perlit ortamında taban sulama ile yetiştirdiği marul ve turp mikroyeşilliklerine transfer olan STEC O157:H7 popülasyonunda önemli farklılıklar olduğunu ve popülasyonlarının sırasıyla 4,51 ve 7,18 log kob/g olduğunu bildirmiştir. Wright *et al.* (2018) ise 3 log kob/mL düzeyinde STEC O157:H7 (Sakai) ile kontamine ettiği brokoli, hardal, kişniş, roka, fesleğen, turp, horoz ibiği, kıvırcık lahana ve maydanoz tohumlarını 7 log kob/g düzeyinde kontamine sulama suyu kullanarak yetiştirmiştir. Araştırmacılar en yüksek popülasyonun (8,70 log kob/g) roka mikroyeşilliğinde, en düşük

popölasyon ise fesleğinde (7,21 log kob/g) olduğunu bildirmiştir. Bu araştırmada elde edilen sonuçların Wright *et al.* (2018)'ın rapor ettiğı *E. coli* popölasyonundan daha düşük olduğu belirlenmiştir.

L. monocytogenes transferi

L. monocytogenes ile düşük ve yüksek oranda kontamine edilmiş perlitte yetiştirilen 20 tür mikroyeşillığe transfer olan patojenlerin popölasyonu Tablo 4'te, varyans analiz sonuçları ise Tablo 7'de verilmiştir. Mikroyeşilliklere transfer olan *L. monocytogenes*'in popölasyonu üzerine mikroyeşillik türü, kontaminasyon seviyesi ve mikroyeşillik türü x kontaminasyon seviyesinin etkisi $p<0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tablo 7. *L. monocytogenes* ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Perlitte Yetiştirilen 20 Tür Mikroyeşillığe Transfer Olan Patojenlerin Popölasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik türü (A)	20	133,625	0,000**
Kontaminasyon Düzeyi (B)	1	56,955	0,000**
A*B	19	5,611	0,000**
Hata	119		
Genel	160		

*($p<0,05$) düzeyinde önemli; ** ($p<0,01$) düzeyinde önemli

Yüksek oranda *L. monocytogenes* inoküle edilen perlitlerde yetiştirilen karalahana, kişniş, mısır, dereotu ve cin biberi mikroyeşilliklerindeki *L. monocytogenes* popölasyonu, düşük inoküle perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerden önemli düzeyde yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Mikroyeşillikler arasında en yüksek *L. monocytogenes* popölasyonu ($6,6\pm0,3$ log kob/g) yüksek inoküle yetiştirilen ile dereotu mikroyeşilliklerinde, en düşük *L. monocytogenes* popölasyonu ($1,7\pm0,1$ log kob/g) ise düşük inoküle perlitte yetiştirilen mısır mikroyeşilliklerinde görülmüştür.

L. monocytogenes, gıda kaynaklı hastalıklarla ilgili birçok hastaneye yatış ve ölüme neden olan patojenlerden biridir (CDC, 2016). Son yıllarda taze ürünlerle ilişkili *L. monocytogenes* salgınlar ve geri çağırmlar üretici ve tüketicilerde endişeleri artırmıştır (Gu *et al.* 2022). Ancak mikroyeşillikler ve patojen kontaminasyon riskleri üzerine yapılan çalışmalar çoğunlukla STEC O157:H7 ve *Salmonella* serotiplerine odaklanırken (Xiao *et al.* 2014; Xiao *et al.* 2015; Wright *et al.* 2018; Işık *et al.* 2020a; Işık *et al.* 2022; Lenzi *et al.* 2022), *L. monocytogenes* üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır (Gu *et al.* 2022; Du *et al.* 2022; Sangwan, 2022). Wang *et al.* (2015), hidroponik ve toprak ikamesine dayalı üretim sistemlerinde *L. monocytogenes* ile aşılınmış turp tohumlarını kullanarak mikroyeşillik üretmiş

ve 10 günlük yetiştirme süreci sonunda tohum kabuğu, kök ve kotiledonun *L. monocytogenes* tarafından yüksek oranda kontamine olduğunu belirlemiştir. Bu araştırma kapsamında elde edilen veriler Wang *et al.* (2015)'ın raporunu doğrulamaktadır. Nitekim *L. monocytogenes* ile kontamine perlitte yetiştirilen mikroyeşillikler içerisinde en düşük *L. monocytogenes* popülasyonunun 1,7 log kob/g (mısır) olduğu ve 6,4 log kob/g'a (hindiba) kadar mikroyeşillığe transfer olabildiği görülmüştür. Perlit ve bitki besin solüsyonuna inoküle edilen *L. monocytogenes*'in popülasyonunda meydana gelen değişim incelendiğinde 14. günde perlitte tespit edilemediği, bitki besin solüsyonunda ise önemli düzeyde azalma ($p<0,01$) gerçekleştiği görülmektedir. 14. günde perlit ortamında *L. monocytogenes* tespit edilememesine rağmen, çalışma kapsamında yetiştirilen ve 23 günü bulan yetiştirme süresine sahip mikroyeşilliklerde *L. monocytogenes* varlığının tespit edilmesi, mikroyeşilliklerin patojenlerin sağkalımını desteklediğini göstermektedir.

Yapılan araştırmalar göz önüne alındığında; mikroyeşillik türleri arasındaki genotipik ve morfolojik özelliklerin yanısıra tohum ve yaprak yüzey bileşimindeki farklılıkların, patojenlerin mikroyeşilliklere transfer düzeyini ve sağ kalımını etkilemiş olabileceği düşünülmektedir. İnsan bakteriyel patojenlerin polisakkaritler, bakteriyel lektinler, fimbria ve flagella gibi yapısal adezinler aracılığıyla yapraklı bitkilere tutunabildiği ifade edilmiştir (Deng and Gibson 2017). Bakteriyel patojenlerin bitkiler üzerindeki kolonizasyonunun bitki genotipine bağlı olduğu gibi (Deng and Gibson 2017) yaprak morfolojisine de bağlı olabileceği bildirilmiştir (Hunter *et al.* 2010; Lenzi *et al.* 2022). Mikroyeşilliklerde aynı türün farklı kültivarları da (Lenzi *et al.* 2021) dâhil olmak üzere farklı türler arasında enterobakterilerin tutunmasında ve sağkalımında farklılıklar olduğu rapor edilmiştir (Lenzi *et al.* 2022). Barak *et al.* (2011), dört çeşit domatesin filosferindeki *S. enterica* kolonizasyonu arasında önemli düzeyde farklılıklar olduğunu tespit etmiştir. Hood *et al.* (1998) ise metanol, fruktoz ve kalsiyum gibi bileşiklerin *Enterobacter cloacae*'nin pamuk tohumuna tutunmasını arttırdığını rapor etmiştir. Mikroyeşillik türlerindeki *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* popülasyonlarındaki bu farklılıklar diğer araştırmalarda belirtilen bitki çeşidi ve türünün patojenlerin kalıcılığı ve transferi üzerine etkili olabileceğini doğrulamaktadır (Erickson *et al.* 2019; Işık *et al.* 2020a; Deng *et al.* 2021).

Kontamine perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerin TMAB ve TMK popülasyonları

STEC O157:H7 ile düşük ve yüksek oranda kontamine edilmiş perlitte yetiştirilen 20 tür mikroyeşillığın TMAB popülasyonuna ait veriler Tablo 8'de, varyans analiz sonuçları ise Tablo 9'da verilmiştir. Mikroyeşilliklerin TMAB popülasyonu üzerine mikroyeşillik türü ve

mikroyeşillik türü x kontaminasyon seviyesinin etkisi $p<0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Kontaminasyon seviyesinin etkisi ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

Yetiştirilen mikroyeşilliklerin içerisinde TMAB popülasyonu en yüksek ($8,4\pm0,2$ log kob/g) brokoli mikroyeşilliklerinde, en düşük ($5,5\pm0,5$ log kob/g) ise bezelye mikroyeşilliklerinde görülmüştür.

Genel olarak patojen popülasyonu yüksek olan mikroyeşilliklerde beklenildiği üzere TMAB sayısının daha yüksek olduğu görülmüştür. Hipogeal çimlenmeye sahip mikroyeşilliklerde genel olarak TMAB sayısının daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum hipogeal çimlenmeye sahip mikroyeşilliklere transfer olan patojen popülasyonunun düşük olmasıyla açıklanabilir. Kıvırcık marul ve kekik mikroyeşilliklerinde TMAB popülasyonu epigeal çimlenmeye sahip diğer mikroyeşilliklerden daha düşük bulunmuştur. Dees *et al.* (2015), bitkinin olgunlaşması esnasında bakteri çeşitliliğinin değişebildiğini nitekim marul yapraklarının olgunlaşması sırasında bakteri çeşitliliğinin azaldığını bildirmişlerdir. Işık *et al.* (2020a), perlit ortamında taban sulamayla yetiştirdiği marul mikroyeşilliklerindeki TMAB popülasyonunun ($6,6$ log kob/g), turp mikroyeşilliklerindeki TMAB popülasyonundan ($8,3$ log kob/g) daha düşük olduğunu rapor etmiştir. Araştırmacılar bu durumun marul mikroyeşilliğine bakteriyel tutunmanın zayıf olması ve hasat süresinin uzun olmasından kaynaklanmış olabileceğini rapor etmişlerdir.

Tablo 8. Düşük ve Yüksek Oranda STEC O157:H7 ile Kontamine Perlitte Yetiştirilen Mikroyeşilliklerdeki TMAB ve TMK Popülasyonu (log kob/g)

Mikroyeşillikler	Popülasyon (log kob/g)			
	TMAB		TMK	
	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
Arpa	6,3±0,3 ^{Aefg}	6,0±0,5 ^{Ahi}	3,0±0,2 ^{Agh}	2,8±0,5 ^{Afg}
Fesleğen	7,8±0,2 ^{Aabc}	7,6±0,2 ^{Aabcdef}	3,9±0,1 ^{Adef}	3,6±0,2 ^{Bef}
Karalahana	7,8±0,2 ^{Babc}	8,2±0,2 ^{ABab}	2,8±0,3 ^{Ah}	2,6±0,4 ^{Ag}
Brokoli	8,3±0,4 ^{Aa}	8,4±0,2 ^{Aa}	4,9±0,2 ^{Aa}	4,8±0,3 ^{Aab}
Hindiba	7,0±0,3 ^{Acdef}	7,3±0,1 ^{Acdefg}	4,8±0,3 ^{Aabc}	4,8±0,2 ^{Aab}
Kışniş	7,1±0,4 ^{Acde}	7,4±0,1 ^{Abcdef}	4,0±0,2 ^{Acdef}	4,1±0,2 ^{Abcde}
Mısır	5,7±0,3 ^{Ag}	5,8±0,3 ^{Ahi}	3,4±0,1 ^{Afgh}	4,1±0,6 ^{Abcde}
Tere	7,8±0,3 ^{Aabc}	7,3±0,6 ^{Adefg}	4,8±0,5 ^{Aa}	4,6±0,8 ^{Aabc}
Hıyar	7,4±0,2 ^{Babc}	7,8±0,1 ^{Aabcde}	4,5±0,4 ^{Aabcd}	4,3±0,5 ^{Aabcde}
Kıvırcık marul	6,4±0,4 ^{Adefg}	6,0±0,0 ^{Ahi}	2,8±0,1 ^{Ah}	2,6±0,2 ^{Afg}
Dereotu	7,3±0,1 ^{Abcd}	7,5±0,2 ^{Abcdef}	4,5±0,3 ^{Aabcd}	4,5±0,2 ^{Aabcd}
Cin biberi	7,5±0,1 ^{Aabc}	7,7±0,4 ^{Aabcde}	4,4±0,6 ^{Aabcde}	4,7±0,2 ^{Aab}
Hardal	8,0±0,3 ^{Aab}	8,1±0,4 ^{Aabcd}	3,7±0,3 ^{Aefg}	3,8±0,1 ^{Acde}
Bezelye	6,1±0,4 ^{Afg}	5,5±0,5 ^{Ai}	4,5±0,6 ^{Aabcd}	3,7±0,5 ^{Ade}
Turp	7,6±0,4 ^{Aabc}	7,8±0,2 ^{Aabcde}	4,0±0,1 ^{Bbcdef}	4,4±0,1 ^{Aabcde}
Kırmızı pancar	7,5±0,3 ^{Aabc}	6,9±0,2 ^{Bfg}	4,8±0,2 ^{Aab}	5,1±0,3 ^{Aa}
Roka	7,9±0,4 ^{Aabc}	8,1±0,2 ^{Aabc}	4,5±0,2 ^{Aabcd}	4,3±0,1 ^{Aabcde}
Ayçiçeği	7,4±0,6 ^{Abc}	7,2±0,5 ^{Aefg}	4,7±0,2 ^{Aabc}	4,3±0,2 ^{Aabcde}
Kekik	6,0±0,2 ^{Bg}	6,5±0,3 ^{Agh}	3,9±0,2 ^{Adef}	3,8±0,3 ^{Acde}
Buğday	7,1±0,2 ^{Abcde}	7,2±0,2 ^{Aefg}	3,6±0,2 ^{Aefgh}	3,7±0,3 ^{Acde}

A, B, C, D, E, F: aynı satırda istatistiksel olarak farklılığı, a, b, c, d, e, f, g, h, i, j: aynı sütundaki istatistiksel farklılığı gösterir, (p<0,05).

Tablo 9. STEC O157:H7 ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Perlitte Yetiştirilen 20 Tür Mikroyeşilliğin TMAB Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik türü (A)	20	43,920	0,000**
Kontaminasyon Düzeyi (B)	1	0,010	0,920
A*B	19	2,561	0,001**
Hata	119		
Genel	160		

*(p<0,05) düzeyinde önemli; ** (p<0,01) düzeyinde önemli

STEC O157:H7 ile düşük ve yüksek oranda kontamine edilmiş perlitte yetiştirilen 20 tür mikroyeşilliğin TMK popülasyonu Tablo 8’de, varyans analiz sonuçları ise Tablo 10’da verilmiştir. Mikroyeşilliklerin TMK popülasyonu üzerine mikroyeşillik türünün etkisi p<0,01 düzeyinde, mikroyeşillik türü x kontaminasyon seviyesinin etkisi ise p<0,05 düzeyinde önemli bulunmuştur. Kontaminasyon seviyesinin etkisi ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (p>0,05).

Tablo 10. STEC O157:H7 ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Perlitte Yetiştirilen 20 Tür Mikroyeşilliğin TMK Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik türü (A)	20	31,968	0,000**
Kontaminasyon Düzeyi (B)	1	0,436	0,510
A*B	19	1,920	0,018*
Hata	119		
Genel	160		

*(p<0,05) düzeyinde önemli; ** (p<0,01) düzeyinde önemli

Mikroyeşillikler içerisinde TMK popülasyonu en yüksek ($5,1 \pm 0,3$ log kob/g) kırmızı pancar mikroyeşilliklerinde, en düşük (2,6 log kob/g) ise kıvırcık marul ve karalahana mikroyeşilliklerinde görülmüştür. Işık *et al.* (2020a), perlit ortamında yetiştirdikleri turp ve marul mikroyeşilliklerinin TMK popülasyonlarının sırasıyla 3,08 ve 3,36 log kob/g olduğunu bildirmiştir. TMK sayısındaki farklılıkların tohumların mikrobiyal yüklerindeki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kontamine tohum kullanılarak yetiştirilen mikroyeşilliklere mikroorganizmaların transferi

Bu aşamada; 5 tür mikroyeşillik tohumu (hardal, bezelye, turp, ayçiçeği ve buğday) *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile düşük ve yüksek oranda kontamine edildikten sonra perlitlere ekilerek yetiştirilen mikroyeşilliklerde patojenlerin popülasyonu belirlenmiştir.

Yetiştirilen 5 tür içerisinde en yüksek *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* popülasyonu hardal mikroyeşilliklerinde bulunmuştur. En düşük *S. enterica* ve *L. monocytogenes* popülasyonu bezelye mikroyeşilliklerinde, en düşük STEC O157:H7 popülasyonu ise buğday mikroyeşilliklerinde tespit edilmiştir. Düşük ve yüksek oranlarda kontamine tohumlardan üretilen mikroyeşilliklerdeki *S. enterica* popülasyonu $2,9 \pm 0,5$ - $7,1 \pm 0,1$ log kob/g, STEC O157:H7 popülasyonu $2,8 \pm 0,6$ - $7,7 \pm 0,1$ log kob/g, *L. monocytogenes* popülasyonu ise $2,7 \pm 0,7$ - $6,9 \pm 0,1$ log kob/g arasında değişmiştir. Yetiştirilen mikroyeşillikler içerisinde en yüksek patojen popülasyonu (7,7 log kob/g), düşük ve yüksek oranda STEC O157:H7 inoküle tohumdan yetiştirilen hardal mikroyeşilliklerinde, en düşük patojen popülasyonu ($2,7 \pm 0,2$ log kob/g) ise düşük oranda *L. monocytogenes* inoküle edilmiş bezelye tohumlarından yetiştirilen mikroyeşilliklerde tespit edilmiştir (Tablo 11).

Düşük oranda patojen inoküle edilmiş tohumlardan yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki popülasyonlar genel olarak yüksek inoküle tohumlardan elde edilen mikroyeşilliklerdeki popülasyonlardan daha düşük bulunmuştur.

***S. enterica* transferi**

S. enterica ile düşük ve yüksek oranda kontamine edilmiş tohum kullanılarak yetiştirilen 5 tür mikroyeşillikçe transfer olan patojenlerin popülasyonu Tablo 11’de, varyans analiz sonuçları ise Tablo 12’de verilmiştir. Mikroyeşilliklere transfer olan *S. enterica*’nın popülasyonu üzerine mikroyeşillik türü, kontaminasyon seviyesi ve mikroyeşillik türü x kontaminasyon seviyesinin etkisi $p < 0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tablo 11. Düşük ve yüksek oranda *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile kontamine tohumlardan yetiştirilen mikroyeşilliklere transfer olan patojen düzeyi

Mikroyeşillikler	Popülasyon (log kob/g)					
	<i>S. enterica</i> İnokülasyonu		STEC O157:H7 İnokülasyonu		<i>L. monocytogenes</i> İnokülasyonu	
	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
Hardal	6,8±0,1 ^{Ba}	7,1±0,1 ^{Ba}	7,7±0,1 ^{Aa}	7,7±0,1 ^{Aa}	6,0±0,4 ^{Ca}	6,9±0,1 ^{Ba}
Bezelye	2,9±0,5 ^{Bc}	3,3±0,7 ^{ABd}	3,6±0,4 ^{ABc}	4,2±0,6 ^{Acđ}	2,7±0,2 ^{Bc}	2,9±0,8 ^{ABd}
Turp	4,9±0,6 ^{Cb}	6,0±0,2 ^{ABb}	5,8±0,1 ^{ABb}	6,4±0,1 ^{Ab}	5,5±0,6 ^{BCab}	5,9±0,1 ^{ABb}
Ayçiçeği	3,5±0,6 ^{Bc}	4,6±0,2 ^{Ac}	3,6±0,7 ^{Bc}	4,3±0,2 ^{ABc}	4,6±0,3 ^{Ab}	4,4±0,2 ^{Ac}
Buğday	3,4±0,4 ^{ABCc}	3,8±0,2 ^{ABd}	2,8±0,7 ^{Cc}	3,6±0,3 ^{ABCđ}	3,1±0,5 ^{BCc}	4,1±0,3 ^{Ac}

A, B, C, D, E, F: aynı satırda istatistiksel olarak farklılığı, a, b, c, d, e, f, g, h, i, j: aynı sütundaki istatistiksel farklılığı gösterir, (p<0,05).

Tablo 12. *S. enterica* ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Tohum Kullanılarak Yetiştirilen Mikroyeşilliklere Transfer Olan Patojenlerin Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik türü (A)	4	9,885	0,000**
Kontaminasyon Düzeyi (B)	1	0,103	0,000**
A*B	4	115,585	0,000**
Hata	30		
Genel	40		

Yüksek oranda *S. enterica* inoküle edilen tohumlardan yetiştirilen turp ve ayçiçeği mikroyeşilliklerindeki popülasyon, düşük inoküle tohumdan yetiştirilen mikroyeşilliklerden yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). *S. enterica* tohum inokülasyonu gerçekleştirilen mikroyeşillikler arasında en yüksek popülasyon, yüksek ve düşük inoküle hardal tohumlarından yetiştirilen mikroyeşilliklerde görülmüş, popülasyonları ise sırasıyla $7,1\pm0,1$, $6,8\pm0,1$ log kob/g olarak belirlenmiştir. En düşük *S. enterica* popülasyonu ise, yüksek ve düşük inoküle bezelye tohumlarından yetiştirilen mikroyeşilliklerde görülmüş, popülasyonları ise sırasıyla $3,3\pm0,7$, $2,9\pm0,5$ log kob/g olarak belirlenmiştir.

STEC O157:H7 transferi

STEC O157:H7 ile düşük ve yüksek oranda kontamine edilmiş tohum kullanılarak yetiştirilen 5 tür mikroyeşillikçe transfer olan patojenlerin popülasyonu Tablo 11’de, varyans analiz sonuçları ise Tablo 13’te verilmiştir. Mikroyeşilliklere transfer olan STEC O157:H7’in popülasyonu üzerine mikroyeşillik türü, kontaminasyon seviyesi ve mikroyeşillik türü x kontaminasyon seviyesinin etkisi $p<0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tablo 13. STEC O157:H7 ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Tohum Kullanılarak Yetiştirilen Mikroyeşilliklere Transfer Olan Patojenlerin Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik türü (A)	4	21,817	0,000**
Kontaminasyon Düzeyi (B)	1	0,038	0,000**
A*B	4	162,898	0,000**
Hata	30		
Genel	40		

STEC O157:H7 ile kontamine edilmiş tohumlardan yetiştirilen mikroyeşillikler arasında en yüksek popülasyon, yüksek ve düşük inoküle hardal tohumlarından yetiştirilen mikroyeşilliklerde görülmüş, popülasyonları ise $7,7$ log kob/g olarak belirlenmiştir. En düşük STEC O157:H7 popülasyonu ise $2,8\pm0,7$ log kob/g ile düşük inoküle buğday tohumlarından yetiştirilen mikroyeşilliklerde görülmüştür.

***L. monocytogenes* transferi**

L. monocytogenes ile düşük ve yüksek oranda kontamine edilmiş tohum kullanılarak yetiştirilen 5 tür mikroyeşillikçe transfer olan patojenlerin popülasyonu Tablo 11’de, varyans analiz sonuçları ise Tablo 14’te verilmiştir. Mikroyeşilliklere transfer olan *L. monocytogenes*’in popülasyonu üzerine mikroyeşillik türü, kontaminasyon seviyesi ve mikroyeşillik türü x kontaminasyon seviyesinin etkisi $p<0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tablo 14. *L. monocytogenes* ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Tohum Kullanılarak Yetiştirilen Mikroyeşilliklere Transfer Olan Patojenlerin Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik türü (A)	4	7,381	0,000**
Kontaminasyon Düzeyi (B)	1	12,004	0,000**
A*B	4	99,499	0,000**
Hata	30		
Genel	40		

Yüksek oranda *L. monocytogenes* inoküle edilmiş hardal ve buğday tohumlarından üretilen mikroyeşilliklerdeki popülasyon, düşük inoküle tohumdan yetiştirilen mikroyeşilliklerden yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). *L. monocytogenes* tohum inokülasyonu gerçekleştirilen mikroyeşillikler arasında en yüksek popülasyon, yüksek ve düşük inoküle hardal tohumlarından yetiştirilen mikroyeşilliklerde görülmüş, popülasyonları ise sırasıyla $6,9\pm0,1$ ve $6,0\pm0,4$ log kob/g olarak belirlenmiştir. En düşük *L. monocytogenes* popülasyonu ise düşük ve yüksek oranda inoküle edilmiş bezelye tohumlarından yetiştirilen mikroyeşilliklerde görülmüş, popülasyonları sırasıyla $2,7\pm0,7$ ve $2,9\pm0,8$ log kob/g olarak belirlenmiştir.

Araştırmacılar tarafından tohumların patojenlerle kontamine olabildiği ve yetiştirilen mikroyeşilliklere transfer olabildiği bildirilmiştir (Xiao *et al.* 2015; Wright and Holden 2018). Ancak patojen türünün ve mikroyeşillik türüne göre bu patojenlerin ne düzeyde transfer olduğuna dair yapılan araştırma sayısı oldukça sınırlıdır. ABD Gıda ve İlaç İdaresi’ne göre, filizle ilgili salgınların çoğu, çimlenme sürecinin başlangıcından önce bakteriyel patojenlerle kontamine olmuş tohumlardan kaynaklanmıştır (NACMCF 1999). Özellikle hidroponik sistemlerde tohumların kontamine olması halinde patojen popülasyonunun artarak mikrobiyal risk oluşturabildiği bildirilmiştir (Reed *et al.* 2018; Wright and Holden 2018). Xiao *et al.* (2015) kontamine tohumların mikroyeşilliklerin hem yenilebilir hem de yenilmez kısımlarında kontaminasyona yol açtığını ve tohum kabuklarının STEC O157:H7’in hayatta kalma ve büyümesinde oldukça önemli olduğunu bildirmiştir. Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar tohumların düşük düzeyde bile kontamine olması halinde, mikroyeşilliklere önemli düzeyde

transfer olabildiğini, patojen transfer düzeyinin tohum özelliklerinden önemli derecede etkilendiğini, hardal gibi çimlenme aşamasında yüksek su çekme özelliği olan tohumlarda patojenlerin mikroyeşilliklere transfer olma düzeyinin daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Kontamine tohum kullanılarak yetiştirilen mikroyeşilliklerin TMAB ve TMK popülasyonları

STEC O157:H7 ile düşük ve yüksek oranda kontamine edilmiş tohum kullanılarak yetiştirilen 5 tür mikroyeşilliğin TMAB popülasyonu Tablo 15’te, varyans analiz sonuçları ise Tablo 16’da verilmiştir. Mikroyeşilliklerin TMAB popülasyonu üzerine mikroyeşillik türü ve mikroyeşillik türü x kontaminasyon seviyesinin etkisi $p<0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Kontaminasyon seviyesinin etkisi ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).



Tablo 15. Düşük ve Yüksek Oranda STEC O157:H7 ile Kontamine Tohumdan Yetiştirilen Mikroyeşilliklerdeki TMAB ve TMK Popülasyonu

Mikroyeşillikler	Popülasyon (log kob/g)			
	TMAB		TMK	
	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
Hardal	8,1±0,2 ^{Aa}	8,2±0,2 ^{Aa}	3,4±0,5 ^{Bb}	4,2±0,3 ^{Aa}
Bezelye	5,0±0,4 ^{Ad}	4,7±0,6 ^{Ae}	4,2±0,2 ^{Aa}	3,8±0,4 ^{Aab}
Turp	7,3±0,2 ^{Bb}	7,6±0,1 ^{Ab}	3,7±0,1 ^{Aab}	3,1±0,4 ^{Bb}
Ayçiçeği	6,3±0,4 ^{Ac}	6,8±0,1 ^{Ac}	3,9±0,4 ^{Aab}	3,0±0,7 ^{Ab}
Buğday	5,1±0,2 ^{Bd}	5,5±0,1 ^{Ad}	3,6±0,1 ^{Ab}	3,8±0,4 ^{Aab}

A, B, C, D, E, F: aynı satırda istatistiksel olarak farklılığı, a, b, c, d, e, f, g, h, i, j: aynı sütundaki istatistiksel farklılığı gösterir, (p<0,05).

Tablo 16. STEC O157:H7 ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Tohum Kullanılarak Yetiştirilen Mikroyeşilliklerin TMAB Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik türü (A)	4	8,751	0,000**
Kontaminasyon Düzeyi (B)	1	1,824	0,187
A*B	4	180,612	0,000**
Hata	30		
Genel	40		

STEC O157:H7 ile düşük ve yüksek oranda kontamine edilmiş tohum kullanılarak yetiştirilen 5 tür mikroyeşilliğin TMK popülasyonu Tablo 15’te, varyans analiz sonuçları ise Tablo 17’de verilmiştir. Mikroyeşilliklerin TMK popülasyonu üzerine mikroyeşillik türünün etkisi $p<0,05$, kontaminasyon seviyesi ve mikroyeşillik türü x kontaminasyon seviyesinin etkisi ise $p<0,01$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Düşük ve yüksek inoküle tohum ile yetiştirilen mikroyeşilliklerin ortalama popülasyonları değerlendirildiğinde, STEC O157:H7 ile düşük inokülasyonu sonrası yetiştirilen örneklerin TMK değerlerinin yüksek, yüksek inokülasyonu sonrası yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki TMK popülasyonunun düşük olduğu görülmüştür. Bu durumun inokülantın ortamdaki substrat kaynakları için maya ve küfler ile yarışından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 17. STEC O157:H7 ile Düşük ve Yüksek Oranda Kontamine Edilmiş Tohum Kullanılarak Yetiştirilen Mikroyeşilliklerin TMK Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik türü (A)	4	3,033	0,033*
Kontaminasyon Düzeyi (B)	1	8,149	0,008**
A*B	4	5,031	0,003**
Hata	30		
Genel	40		

Düşük ve yüksek oranda STEC O157:H7 ile kontamine edilmiş tohumlar kullanılarak yetiştirilen mikroyeşilliklerde TMAB ve TMK (hardal hariç) popülasyonunun inokülasyon oranından bağımsız olduğu ancak mikroyeşillik türüne göre değişebileceği ($p<0,05$) görülmüştür (Tablo 15). Tohum inokülasyonu sonrasında yetiştirilen mikroyeşillikler içerisinde TMAB popülasyonu en yüksek ($8,2\pm0,2$ log kob/g) hardal mikroyeşilliklerinde, en düşük ($4,7\pm0,6$ log kob/g) ise bezelye mikroyeşilliklerinde görülmüştür (Tablo 15). Mikroyeşillikler içerisinde TMK popülasyonu en yüksek ($4,2\pm0,2$ log kob/g) bezelye mikroyeşilliklerinde, en düşük ($3,0\pm0,7$ log kob/g) ise ayçiçeği mikroyeşilliklerinde görülmüştür.

Tohum ve perlit kontaminasyonu ile yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki patojen popülasyonunun kıyaslanması

Mikroyeşillik üretiminde tohum ya da perlitin düşük ve yüksek oranlarda patojen ile kontamine olması halinde mikroyeşilliklere transfer olan patojen popülasyon farklılığını belirlemek amacıyla hardal, bezelye, turp, ayçiçeği ve buğday mikroyeşilliklerinin mikrobiyolojik verileri karşılaştırılmıştır. Kontamine tohum ve perlitte yetiştirilen beş çeşit mikroyeşillığe ait istatistiksel değerlendirme Tablo 18’de gösterilmiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda bir mikroyeşillikteki patojen popülasyonunun, kontaminasyon kaynağına ve patojen cinsine göre değişebileceği belirlenmiştir.

Düşük ve yüksek oranda patojen ile inoküle edilmiş hardal tohumlarından yetiştirilen mikroyeşilliklerin tümünde patojen popülasyonu, aynı oranlarda inoküle edilmiş perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerden yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Hardal mikroyeşilliklerinde en yüksek patojen popülasyonu düşük ve yüksek oranda STEC O157:H7 inoküle edilmiş tohumlardan yetiştirilen mikroyeşilliklerde, en düşük popülasyon ise düşük oranda *L. monocytogenes* inoküle edilmiş perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerde belirlenmiştir (Tablo 18).

STEC O157:H7 inoküle edilmiş bezelye tohumlarından yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki STEC O157:H7 popülasyonunun, aynı oranda inoküle edilmiş perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki STEC O157:H7 popülasyonundan yüksek olduğu ancak sadece düşük inoküle tohumdaki popülasyon farklılığının istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Bezelye mikroyeşilliklerinde en yüksek patojen popülasyonu yüksek oranda STEC O157:H7 inoküle edilmiş tohumlardan yetiştirilen mikroyeşilliklerde, en düşük popülasyon ise düşük oranda STEC O157:H7 inoküle edilmiş perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerde belirlenmiştir. Tohum kontaminasyonu gerçekleştirilen mikroyeşillikler içerisinde bezelyedeki patojen popülasyonunun (STEC O157:H7 hariç) genel olarak daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum; bezelye tohumlarının birim hacimdeki yüzey alanının düşük olması ve hipogeal çimlenmeye sahip olması nedeniyle tohum kabuğunun perlit içinde kalması, diğer mikroyeşilliklere nazaran daha uzun hasat süresine sahip olması ve çimlenme sonrasında gelişen geniş yüzeyli hipokotil ve sürgünlerden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir (Tablo 18).

STEC O157:H7 inoküle edilmiş perlitte yetiştirilen turp mikroyeşilliklerdeki popülasyonun, düşük ve yüksek oranda inoküle edilmiş turp tohumlarından yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki popülasyonundan yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Düşük ve

yüksek oranda *L. monocytogenes* inokülasyonu gerçekleştirilen tohumlardan yetiştirilen turp mikroyeşilliklerindeki popülasyon, inoküle perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki *L. monocytogenes* popülasyonundan yüksek bulunmuştur ($p>0,05$). Turp mikroyeşilliklerinde en yüksek patojen popülasyonu yüksek oranda STEC O157:H7 inoküle edilmiş tohumlardan yetiştirilen mikroyeşilliklerde, en düşük popülasyon ise düşük oranda *S. enterica* inoküle edilmiş perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerde belirlenmiştir (Tablo 18).

Ayçiçeği mikroyeşilliklerinde düşük oranda *S. enterica* inoküle edilmiş perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki *S. enterica* popülasyonunun, aynı oranda inoküle edilmiş ayçiçeği tohumlarından yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki *S. enterica* popülasyonundan yüksek olduğu görülmüştür ($p<0,05$). Ayçiçeği mikroyeşilliklerinde düşük ve yüksek oranda STEC O157:H7 inoküle edilmiş perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki STEC O157:H7 popülasyonunun, aynı oranda inoküle edilmiş ayçiçeği tohumlarından yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki STEC O157:H7 popülasyonundan yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Düşük ve yüksek oranda *L. monocytogenes* inokülasyonu gerçekleştirilen tohumlarda yetiştirilen ayçiçeği mikroyeşilliklerindeki popülasyon, inoküle perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki *L. monocytogenes* popülasyonundan yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Ayçiçeği mikroyeşilliklerinde en yüksek patojen popülasyonu yüksek oranda STEC O157:H7 inoküle edilmiş perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerde, en düşük popülasyon ise düşük ve yüksek oranda *L. monocytogenes* inoküle edilmiş perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerde belirlenmiştir (Tablo 18).

Buğday mikroyeşilliklerinde düşük ve yüksek oranda *S. enterica* inoküle edilmiş perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki *S. enterica* popülasyonunun, aynı oranda inoküle edilmiş ayçiçeği tohumlarından yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki *S. enterica* popülasyonundan yüksek olduğu görülmüştür ($p>0,05$). Düşük oranda STEC O157:H7 inoküle edilmiş perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki STEC O157:H7 popülasyonunun, aynı oranda inoküle edilmiş buğday tohumlarından yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki STEC O157:H7 popülasyonundan yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Yüksek oranda *L. monocytogenes* inokülasyonu gerçekleştirilen tohumlarda yetiştirilen buğday mikroyeşilliklerindeki popülasyon, inoküle perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki *L. monocytogenes* popülasyonundan yüksek bulunmuştur ($p<0,05$). Buğday mikroyeşilliklerinde en yüksek patojen popülasyonu yüksek oranda STEC O157:H7 inoküle edilmiş perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerde, en düşük popülasyon ise düşük ve yüksek oranda *L. monocytogenes* inoküle edilmiş perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerde belirlenmiştir (Tablo 18).

Kontaminasyon kaynağı ve patojen türünün mikroyeşilliklere transfer olan patojen popülasyonu üzerine etkili olduğu görülmüştür ($p<0,05$). STEC O157:H7, hardal ve bezelye mikroyeşilliklerine tohum kontaminasyonunda daha yüksek transfer olurken turp, ayçiçeği ve buğday mikroyeşilliklerinde ise kontamine perlitte daha yüksek popülasyonlara ulaşmıştır. *L. monocytogenes*'in ise bezelye hariç tüm mikroyeşilliklerde tohum kontaminasyonunda daha fazla transfer olduğu görülmüştür (Tablo 18). Araştırmacılar, tohum yüzeyinde STEC O157:H7'in *S. enterica*'ya kıyasla daha düşük sağkalım gösterdiğini rapor etmesine rağmen (Van der Linden *et al.* 2013), kontamine tohum ve perlit ile yetiştirilen mikroyeşillikler incelendiğinde her iki kontaminasyon çeşidinde STEC O157:H7'in *S. enterica*'ya göre daha fazla transfer olduğu en düşük transferin ise *L. monocytogenes*'te meydana geldiği görülmektedir.

Yüksek oranda *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile kontamine edilmiş tohum ve perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklere transfer olan patojen popülasyonunun, düşük oranda kontamine tohum ve perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak düşük oranda inoküle perlit ve tohum kullanılarak yetiştirilen tüm mikroyeşilliklerde de *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* tespit edilmiştir (Tablo 18). Benzer sonuçlar Reed *et al.* (2018) tarafından da bildirilmiş, kontaminasyon seviyesinin *S. enterica*'nın mikroyeşilliklere transfer düzeyini ve kolonizasyonunu etkilediği rapor edilmiştir. Sekiz mikroyeşillik türü ile yapılan bir çalışmada ise STEC O157:H7'in düşük inokülüm seviyelerinde bile mikroyeşilliklere transfer olabildiği tespit edilmiştir (Wright and Holden 2018). Hidroponik sistemlerin mikrobiyal açıdan riskli olduğu (Xiao *et al.* 2015) ve bitki besin solüsyonunun hidroponik sistemde patojenlerin sağ kalımını desteklediği bildirilmiştir (Işık *et al.* 2020a). Nitekim bu durum, araştırmamızda olduğu gibi bitki besin solüsyonu ile desteklenen hidroponik sistemde, tohum veya perlitin düşük düzeyde bile kontaminasyonu halinde yetiştirilen mikroyeşilliklerin gıda güvenliği açısından risk taşıdığını göstermektedir.

Tablo 18. Tohum ve Perlit İnokülasyonu ile Yetiştirilen Mikroyeşilliklerdeki Patojen Popülasyonunun Kıyaslanması

Patojen türü	Kontaminasyon düzeyi	Kontaminasyon kaynağı	Hardal	Bezelye	Turp	Ayçiçeği	Buğday
<i>S. enterica</i>	Düşük	Tohum	6,8±0,1 ^b	2,9±0,5 ^{bcd}	4,9±0,6 ^d	3,5±0,5 ^{de}	3,4±0,4 ^{def}
		Perlit	5,8±0,3 ^c	2,9±0,6 ^{bcd}	5,7±0,3 ^c	4,5±0,3 ^b	3,9±0,9 ^{cde}
	Yüksek	Tohum	7,1±0,1 ^b	3,3±0,7 ^{abc}	6,0±0,2 ^{bc}	4,6±0,3 ^b	3,8±0,2 ^{cdef}
		Perlit	6,0±0,3 ^c	3,9±0,2 ^{ab}	5,8±0,2 ^{bc}	4,5±0,3 ^b	4,6±0,7 ^{def}
STEC O157:H7	Düşük	Tohum	7,7±0,1 ^a	3,6±0,5 ^{abc}	5,8±0,1 ^{bc}	3,6±0,7 ^{cde}	2,8±0,7 ^{ef}
		Perlit	5,8±0,2 ^c	1,8±0,4 ^d	7,1±0,1 ^a	6,8±0,3 ^a	5,8±0,4 ^{ab}
	Yüksek	Tohum	7,7±0,1 ^a	4,2±0,6 ^a	6,4±0,1 ^b	4,3±0,2 ^{bcd}	3,6±0,3 ^{cdef}
		Perlit	6,1±0,1 ^c	3,8±0,3 ^{abc}	7,2±0,2 ^a	6,9±0,2 ^a	6,3±0,4 ^{bc}
<i>L. monocytogenes</i>	Düşük	Tohum	6,0±0,4 ^c	2,7±0,2 ^{cd}	5,5±0,6 ^{cd}	4,6±0,3 ^b	3,1±0,5 ^{def}
		Perlit	3,3±0,1 ^d	2,7±0,2 ^{cd}	5,4±0,1 ^{cd}	3,3±0,1 ^e	2,7±0,3 ^f
	Yüksek	Tohum	6,9±0,1 ^b	2,9±0,8 ^{bc}	5,9±0,1 ^{bc}	4,4±0,2 ^{bc}	4,1±0,3 ^{cd}
		Perlit	3,6±0,1 ^d	3,1±0,1 ^{abc}	5,4±0,1 ^{cd}	3,3±0,1 ^e	2,7±0,2 ^f

a, b, c, d, e, f, g, h, i, j: aynı sütundaki istatistiksel farklılığı gösterir (p<0,05).

Mikroyeşilliklerdeki patojenlerin popülasyonu üzerine tohum özellikleri ve hasat süresinin etkisi

Mikroyeşilliklere transfer olan patojenlerin popülasyonu üzerine tohum özellikleri (tohum yüzey alanı ve ağırlığı) ve hasat süresinin etkisini incelemek amacıyla mikroyeşilliklere transfer olan patojenlerin popülasyonlarının ortalaması alınmış ve tohum özelliklerine karşı lineer regresyon eğrisi çizilmiştir. Elde edilen R^2 değerleri tohum yüzey alanı, tohum ağırlığı ve hasat süresinin mikroyeşilliklere patojenlerin transferi/sağkalımı üzerine etkili olabileceğini göstermektedir. Korelasyon değerlerinin hesaplanmasında kullanılan tohum ve mikroyeşilliklere ait ortalama değerler Tablo 19’da gösterilmiştir. Tohum yüzey alanı, tohum ağırlığı ve hasat süresi ile mikroyeşilliklerdeki patojen popülasyonu arasındaki ilişkiyi görmek amacıyla çizilen lineer regresyon eğrileri Şekil 8’de gösterilmiştir.

Tablo 19. Çeşitli Tohum Özellikler ve Hasat Süresine Ait Ortalama Değerler

Mikroyeşillik	Tohum yüzey alanı (mm ²)	Tohum ağırlığı (g)	Hasat süresi (gün)
Hardal	11,4±1,7	5,5±0,4	10±1
Turp	23,1±3,9	11,1±0,1	8±1
Buğday	46±6,6	39,4±1,2	8±1
Ayçiçeği	151,7±18,7	60,0±3,9	9±1
Bezelye	245,2±36,28	186,5±2,0	15±1

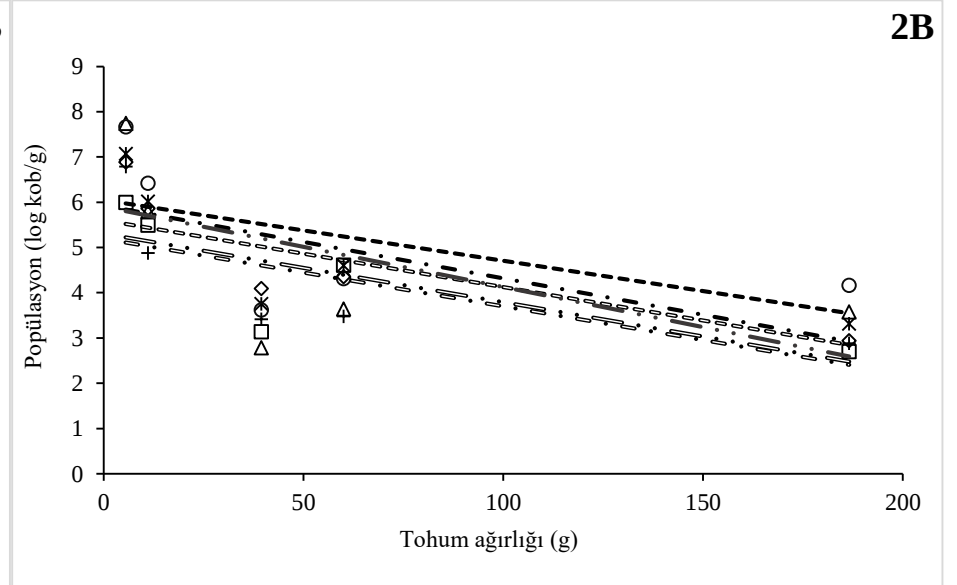
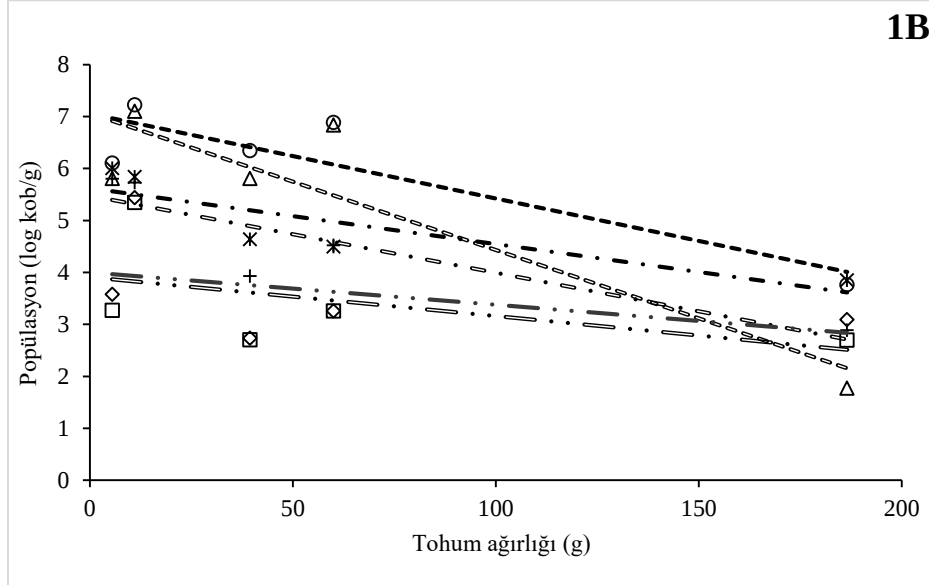
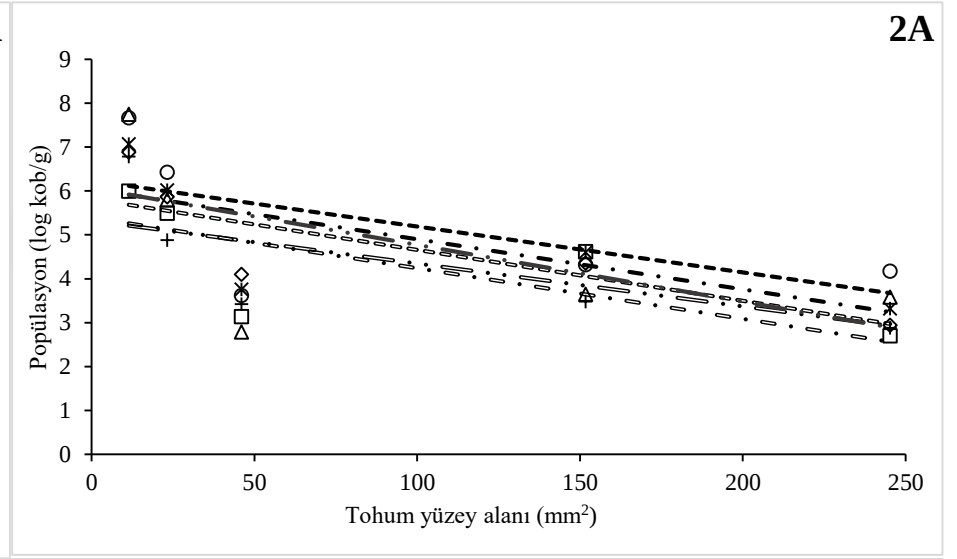
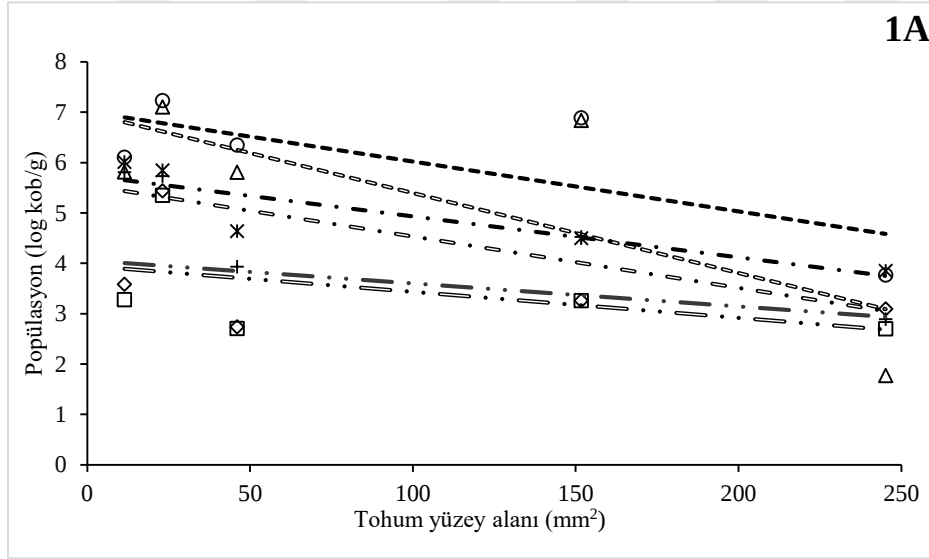
Birim hacimdeki tohum sayısı arttıkça, bu tohumların toplam yüzey alanı artmaktadır. Yani tane büyüklüğü fazla olan tohumlarda yüzey alanı/tohum hacmi oranı küçülmekte, küçük boyutlu tohumlarda ise yüzey alanı/hacim oranı artmaktadır. Yüzey alanı/hacim oranı yüksek olan tohumlar kullanılarak yetiştirilen mikroyeşillikler (hardal ve turp vb.) incelendiğinde, mikroyeşilliklerdeki ortalama patojen popülasyonunun, tohum yüzey alanı/tohum hacmi oranı küçük olan (bezelye vb.) mikroyeşilliklere göre genel olarak daha yüksek olduğu, tohum tane büyüklüğü arttıkça mikroyeşilliklere transfer olan patojen popülasyonunun daha az olduğu görülmüştür. Mikroyeşillik tohumlarının yüzey alanı/hacim oranının yüksek olmasının patojenlerle daha fazla temas etmesine yol açtığı düşünülmektedir. Düşük ve yüksek oranda kontamine perlitte yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki patojen popülasyonu ve tohumların yüzey alanı arasında *S. enterica* popülasyonu açısından kuvvetli negatif korelasyon ($R^2=-0,685$ ile $-0,781$), STEC O157:H7 açısından negatif korelasyon ($R^2=-0,551$ ile $-0,535$), *L. monocytogenes* açısından ise zayıf negatif korelasyon olduğu ($R^2=-0,187$ ile $-0,226$) görülmüştür (Tablo 20). Düşük ve yüksek oranda kontamine tohum ile yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki patojen popülasyonu ve tohumların yüzey alanı arasında ise STEC O157:H7 popülasyonu açısından zayıf ($R^2=-0,329$ ile $-0,370$), *S. enterica* ($R^2=-0,534$ ile $-0,539$) ve *L. monocytogenes* ($R^2=-0,464$

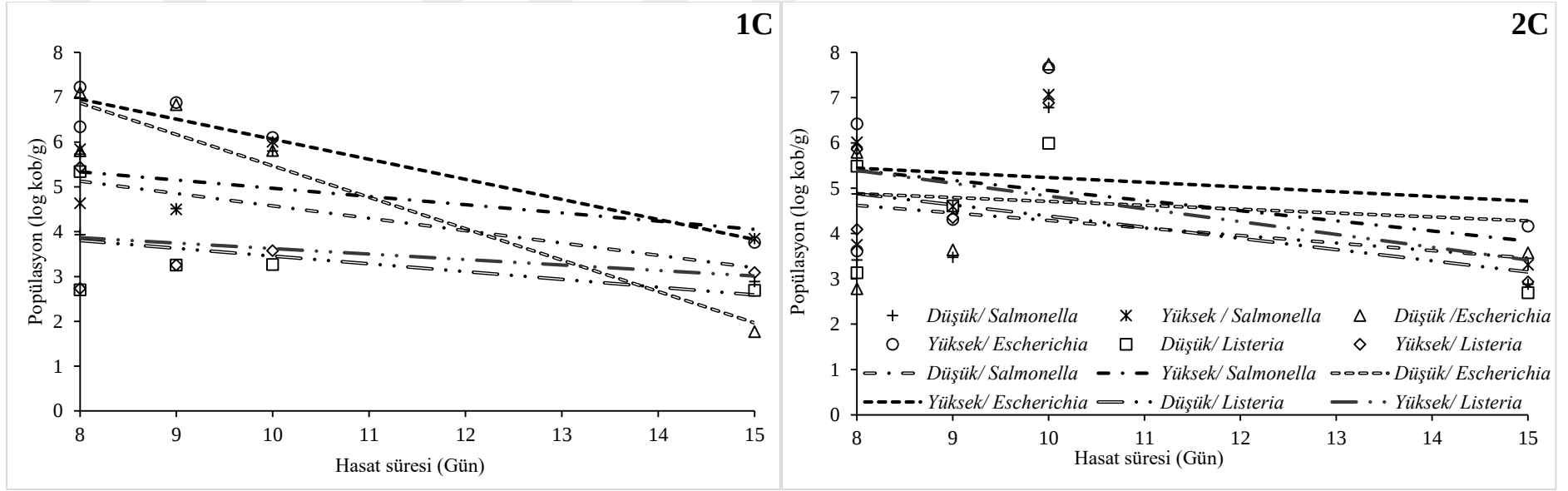
ile -0,699) açısından negatif korelasyon tespit edilmiştir (Tablo 21). Kontamine tohumlardan yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki *L. monocytogenes* popülasyonu ile tohum yüzey alanındaki korelasyon değerinin, kontamine perlite kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. *L. monocytogenes*'teki bu korelasyon farklılığının Tablo 18'de belirtildiği üzere tohum kontaminasyonu gerçekleştirilen mikroyeşilliklerde bezelye gibi yüksek tohum yüzey alanına sahip mikroyeşilliklere kıyasla düşük yüzey alanına sahip tohumlardan yetiştirilen mikroyeşilliklerde (hardal, buğday, ayçiçeği) transferin daha yüksek olmasından kaynaklandığı görülmektedir.

Birim ağırlıkta genellikle küçük boyutlu tohum sayısının büyük tohumlara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Düşük tane ağırlığına sahip tohumlardan (hardal ve turp vb.) yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki ortalama patojen popülasyonunun, tohum tane ağırlığı yüksek olanlara (bezelye) göre genel olarak daha yüksek olduğu görülmüştür. Tohum tane ağırlığı arttıkça mikroyeşillikçe transfer olan patojen popülasyonunun daha az olduğu görülmüştür. Mikroyeşillik tohumlarının tohum ağırlığının patojen transferini doğrudan etkilemediği, genel olarak yüksek tane ağırlığına sahip tohumların yüksek hacimlere sahip olduğu, bu nedenle patojenlerin transferini dolaylı olarak etkilediği düşünülmektedir. Düşük ve yüksek oranda kontamine perlite yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki patojen popülasyonu ve tohumların ağırlığı arasında *S. enterica* ($R^2=0,735-0,787$) ve STEC O157:H7 ($R^2=0,786-0,818$) açısından kuvvetli negatif korelasyon, *L. monocytogenes* açısından ise zayıf negatif korelasyon olduğu ($R^2=0,187-0,255$) görülmüştür (Tablo 20). Düşük ve yüksek oranda kontamine tohum ile yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki patojen popülasyonu ve tohumların tane ağırlığı arasında *S. enterica* ($R^2=0,486-0,571$) ve STEC O157:H7 ($R^2=0,288-0,329$) açısından negatif, *L. monocytogenes* ($R^2=0,464-0,699$) açısından ise kuvvetli negatif korelasyon tespit edilmiştir (Tablo 21). Kontamine tohumlardan yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki *L. monocytogenes* popülasyonu ile tohum ağırlığı arasındaki korelasyon değerinin, kontamine perlite kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. *L. monocytogenes*'teki bu korelasyon farklılığının Tablo 18'de görüleceği üzere tohum kontaminasyonu ile yetiştirilen mikroyeşilliklere *L. monocytogenes*'in perlite göre daha fazla transfer olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Mikroyeşilliklerin hasat süresine göre patojen popülasyonları değerlendirildiğinde genel olarak hasat süresi ile patojen popülasyonu arasında negatif korelasyon olduğu, hasat süresinin artışına bağlı olarak patojen popülasyonunun azaldığı görülmüştür. Düşük ve yüksek oranda kontamine perlite yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki patojen popülasyonu ve mikroyeşilliklerin hasat süresi arasında STEC O157:H7 popülasyonu açısından kuvvetli negatif korelasyon ($R^2=0,903-0,919$), *S. enterica* açısından negatif korelasyon ($R^2=0,332-0,426$), *L.*

monocytogenes açısından ise zayıf negatif korelasyon olduğu ($R^2=0,113-0,212$) görülmüştür (Tablo 20). Düşük ve yüksek oranda kontamine tohum ile yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki patojen popülasyonu ve mikroyeşilliklerin hasat süresi arasında ise *S. enterica* ($R^2=0,095-0,172$), STEC O157:H7 ($R^2=0,015-0,031$) ve *L. monocytogenes* ($R^2=0,250-0,280$) açısından zayıf negatif korelasyon görülmektedir (Tablo 21). Elde edilen verilerle uyumlu olarak araştırmacılar yaprakların olgunlaşması sırasında bakteri çeşitliliği ve popülasyonunun azaldığını (Dees *et al.* 2015) ayrıca çimlenme ve büyüme aşamasında patojen popülasyonundaki değişimin bitki çeşidine bağlı olduğunu rapor etmişlerdir (Choi *et al.* 2020). Buğday, turp ve ayçiçeğinden daha uzun hasat süresine sahip olmasına rağmen hardal mikroyeşilliklerinde *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* popülasyonunun daha yüksek olması, hardal tohumunun ve mikroyeşilliğinin dokusal özelliklerden kaynaklanmış olduğuna işaret etmektedir.





Şekil 8. *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile Düşük ve Yüksek Oranlarda Kontamine Edilmiş Perlit (1) ve Tohum (2) Kullanılarak Yetiştirilen Mikroyeşilliklerdeki Patojenlerin Popülasyonu ile Tohum Yüzey Alanı (A), Tohum Ağırlığı (B) ve Hasat Süresi (C) Arasındaki İlişkiyi Gösteren Lineer Regresyon Eğrileri

Tablo 20. *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile Düşük ve Yüksek Oranlarda Kontamine Edilmiş Perlit Kullanılarak Yetiştirilen Mikroyeşilliklerdeki Patojenlerin Popülasyonu Üzerine Tohum Yüzey Alanı, Tohum Ağırlığı ve Hasat Süresinin Etkisine Ait Korelasyon (R^2) Değerleri

	<i>S. enterica</i> İnokülasyonu		STEC O157:H7 İnokülasyonu		<i>L. monocytogenes</i> İnokülasyonu	
	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
Yüzey Alanı	-0,685	-0,781	-0,551	-0,535	-0,226	-0,187
Tohum Ağırlığı	-0,787	-0,735	-0,818	-0,786	-0,255	-0,187
Hasat Süresi	-0,426	-0,332	-0,903	-0,919	-0,212	-0,113

Tablo 21. *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile Düşük ve Yüksek Oranlarda Kontamine Edilmiş Tohum Kullanılarak Yetiştirilen Mikroyeşilliklerdeki Patojenlerin Popülasyonu Üzerine Tohum Yüzey Alanı, Tohum Ağırlığı ve Hasat Süresinin Etkisine Ait Korelasyon (R^2) Değerleri

	<i>S. enterica</i> İnokülasyonu		STEC O157:H7 İnokülasyonu		<i>L. monocytogenes</i> İnokülasyonu	
	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	Yüksek
Yüzey Alanı	-0,539	-0,534	-0,329	-0,370	-0,464	-0,699
Tohum Ağırlığı	-0,486	-0,571	-0,288	-0,329	-0,603	-0,712
Hasat Süresi	-0,095	-0,172	-0,015	-0,031	-0,250	-0,280

Bu araştırmada kullanılan tohumlar hipogeal ya da epigeal çimlenmeye sahiptir. Çalışma kapsamında kullanılan tohum ve yetiştirilen mikroyeşilliklere ait zellikler Tablo 22’de gösterilmiştir. Hipogeal imlenmede (şekil 9a), kotiledonlar fidenin gelişimi sırasında toprak yüzeyinin altında kalırken, epigeal çimlenmede (şekil 9b) kotiledonlar, hipokotilin uzaması nedeniyle toprak yüzeyinin üzerine uzanmaktadır (King 2003). Çimlenme türüne göre 20 tür mikroyeşillige transfer olan tüm patojenlerin poplasyonlarının ortalaması alındığında epigeal çimlenmeye sahip mikroyeşilliklerdeki patojen popülasyonunun ($4,9 \pm 0,9 \log \text{ kob/g}$) hipogeal çimlenmeye sahip mikroyeşilliklere ($3,5 \pm 0,5 \log \text{ kob/g}$) göre önemli düzeyde ($p < 0,05$) daha yüksek olduğu grlmştir. Epigeal imlenmeye sahip bazı mikroyeşilliklerde (ayçiçeği, hardal, turp vb.) tohum kabuğu, kotiledon ile birlikte yetiştirme materyalinin üzerine çıkmakta ve genellikle kotiledonun gelişimi ile birlikte kendiliğinden ayrılmaktadır. Bu durum yüksek düzeyde kontamine olan tohum kabuğunun kotiledon ile sürekli olarak temas etmesine neden olmaktadır. Aynı zamanda kontamine tohum kabukları yakınındaki diğer mikroyeşillik dokularına da temas etmektedir. Bu durumun çalışmamızdaki epigeal çimlenmeye sahip mikroyeşilliklerdeki ortalama patojen popülasyonunun daha yüksek olmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca lm yapılmamakla birlikte ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinin kotiledonlarına göre hardal mikroyeşilliklerinin dokuları daha hafif ve kotiledonları nispeten daha kktr. Buna bağlı olarak birim ağırlıktaki patojen popülasyonunun yüksek olması muhtemeldir.



řekil 9. Epigeal (a) (Wańkowicz 2011) ve hipogeal (b) (Wańkowicz 2014) imlenmeye sahip mikroyeřilliklere ait büyüme ařamaları.

lm yapılmamakla birlikte hardal tohumlarının çimlenme öncesinde yüksek su absorbe ettiği grlmştir. Bu durumun tohumun daha fazla patojenle kontamine olmasına neden olabileceği düşünülmektedir. Hood *et al.* (1998), pamuk tohumu yüzeyinde *Enterobacter cloacae*’in tüm tohumu kapladığını ancak, su absorpsiyonunun fazla olduğu yerlerde, tohum eksdasının salındığı noktalarda ve çatlakların yakınında daha yoğun olduğunu tespit etmiştir.

Tohum yüzeyinin pürüzlü olması, yarıklar ve buna bağlı olarak tohum yüzey alanının artması çimlenme sonrası ilk sürgünün yüksek düzeyde patojen ile kontamine olmasına neden olmuş olabilir. Bilindiği üzere tohumların çimlenmesinde ilk adım suyun absorbe edilmesidir (Hermann *et al.* 2007). Tüm tohumların çimlenmek için aynı miktarda suya ihtiyaç duymadığı ve aynı miktarı absorbe etmediği belirtilmiştir (Yamamoto 1964). Tohumların absorpsiyon kapasitesine göre patojenlerin tutunma düzeyi ile ilgili literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Ancak, suyun patojenlerle kontamine olması halinde, su absorpsiyonu yüksek olan tohumların yüzeylerinde daha fazla patojen olması muhtemeldir.

Familyalara göre patojenlerin mikroyeşilliklere transfer düzeyi incelendiğinde genel olarak Lamiaceae, Brassicaceae, Asteraceae (kivircik marul hariç), Apiaceae, Cucurbitaceae ve Amaranthaceae üyesi mikroyeşilliklerdeki patojen popülasyonunun Poaceae (buğday hariç), Piperaceae ve Fabaceae üyesi mikroyeşilliklerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Tablo 22. Çalışma Kapsamında Kullanılan Tohum ve Yetiştirilen Mikroyeşilliklere Ait Özellikler

Mikroyeşillikler	Familya	Çimlenme şekli	1000-tane ağırlığı (g)	Yüzey alanı (mm ²)	Hasat süresi (gün±1)
Arpa	Poaceae	Hipogeal	44.4±0.7	-	8
Buğday	Poaceae	Hipogeal	39.4±1.2	46.0	8
Mısır	Poaceae	Hipogeal	159.9±1.2	-	16
Bezelye	Fabaceae	Hipogeal	186.5±2.0	245.2	15
Fesleğen	Lamiaceae	Epigeal	1.9±0.1	-	19
Kekik	Lamiaceae	Epigeal	0,59±0,0	-	17
Kara lahana	Brassicaceae	Epigeal	2.6±0.1	-	14
Brokoli	Brassicaceae	Epigeal	3.1±0.1	-	15
Turp otu	Brassicaceae	Epigeal	1.8±0.1	-	17
Hardal	Brassicaceae	Epigeal	5.5±0.4	11.4	10
Turp	Brassicaceae	Epigeal	11.1±0.1	23.2	8
Roka	Brassicaceae	Epigeal	1.7±0.0	-	12
Hindiba	Asteraceae	Epigeal	1.4±0.0	-	12
Kıvırcık marul	Asteraceae	Epigeal	0.9±0.0	-	10
Ayçiçeği	Asteraceae	Epigeal	60.0±3.9	151.7	9
Kişniş	Apiaceae	Epigeal	8.8±0.5	-	23
Dereotu	Apiaceae	Epigeal	1.2±0.0	-	19
Salatalık	Cucurbitaceae	Epigeal	34.6±0.3	-	6
Cin biberi	Piperaceae	Epigeal	6.1±0.1	-	23
Kırmızı pancar	Amaranthaceae	Epigeal	7.5±0.3	-	20

Mikroyeşilliklerde Bulunan Mikroorganizmaların UV-C ile İnhibisyonu

Araştırmanın ikinci bölümünde mikroyeşilliklere transfer olan patojenlerden kaynaklanan gıda güvenliği riskinin azaltılması veya ortadan kaldırılması için UV-C'nin etkinliğinin değerlendirilmesi ve depolama sürecinde patojen popülasyonunda meydana gelen değişimin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, yüksek seviyede kontamine perlitte yetiştirilen ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerine farklı mesafeler (10, 20 ve 30 cm), farklı yönler (tek ve çift yönlü) ve farklı sürelerde (5, 10, 20, 30, 60 ve 120 s) UV-C uygulanarak patojenlerin (Tablo 23) ve TMAB ile TMK'nın (Tablo 27) popülasyonunda meydana gelen redüksiyon değerlendirilmiştir. Sonraki aşamada ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinin renk ile duyusal özelliklerinde değişikliğe neden olmayan ve en yüksek patojen inhibisyonunun sağlandığı (10 cm mesafe, 60 s, çift yönlü) UV-C işlemi uygulanarak +4 °C'de depolanmış ve mikroyeşilliklerin mikrobiyal yüklerinde meydana gelen değişim incelenmiştir (Tablo 30).

***S. enterica*'nın UV-C ile inhibisyonu**

S. enterica ile kontamine edilmiş perlitte yetiştirilen ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerine farklı süre, mesafe ve yönlerden uygulanan UV-C sonrası belirlenen popülasyonlar Tablo 23'te, varyans analiz sonuçları ise Tablo 24'te verilmiştir.

Tablo 23. Ayçiçeği ve Turp Mikroyeşilliklerine Farklı Süre, Mesafe ve Yönlerden Uygulanan UV-C Sonrası *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* Popülasyonları (log kob/g)

Mesafe (cm)	Süre (s)	<i>S. enterica</i>				STEC O157:H7				<i>L. monocytogenes</i>			
		Ayçiçeği		Turp		Ayçiçeği		Turp		Ayçiçeği		Turp	
		Tek	Çift	Tek	Çift	Tek	Çift	Tek	Çift	Tek	Çift	Tek	Çift
10	0	4,8±0,2 ^{Ca}	4,8±0,2 ^{Ca}	5,9±0,2 ^{Ba}	5,9±0,2 ^{Ba}	6,7±0,1 ^{Aa}	6,7±0,1 ^{Aa}	7,1±0,1 ^{Aa}	7,1±0,1 ^{Aa}	3,5±0,1 ^{Da}	3,5±0,1 ^{Da}	5,6±1 ^{Da}	5,6±0,1 ^{Da}
	5	4,5±0,1 ^{Dabc}	4,2±0,1 ^{Dabcd}	5,6±0,2 ^{Cabcd}	5,5±0,1 ^{Cabc}	6,3±0,2 ^{Babc}	5,4±0,1 ^{Cdefgh}	7,0±0,1 ^{Aabc}	6,6±0,2 ^{ABabcd}	3,9±0,1 ^{Eab}	3,3±0,1 ^{Ea}	5,4±0,2 ^{Cab}	5,3±0,2 ^{Cabcd}
	10	4,3±0,1 ^{Dabcde}	3,7±0,3 ^{Edef}	5,3±0,1 ^{Cbcde}	5,1±0,2 ^{Ccdef}	6,1±0,3 ^{Bbcd}	5,2±0,0 ^{Cefgh}	6,8±0,1 ^{Aabcde}	5,9±0,2 ^{Befg}	3,3±0,1 ^{EFab}	3,1±0,0 ^{Fabc}	5,2±0,1 ^{Cabc}	5,0±0,2 ^{Cbcdef}
	20	4,0±0,1 ^{Fcdef}	3,1±0,2 ^{Gfgh}	4,9±0,2 ^{DEef}	4,5±0,2 ^{Egh}	5,8±0,2 ^{Bcde}	5,1±0,1 ^{CDfghi}	6,6±0,2 ^{ABcdef}	5,5±0,3 ^{BCgh}	3,1±0,1 ^{Gabcd}	2,7±0,2 ^{Gcde}	5,1±0,2 ^{CDabcd}	4,8±0,1 ^{DEefghi}
	30	3,8±0,1 ^{Gefg}	2,6±0,2 ^{Hhi}	4,8±0,1 ^{DEfg}	4,1±0,1 ^{FGhi}	5,5±0,3 ^{Bdef}	4,9±0,2 ^{CDEhij}	6,4±0,2 ^{Aefg}	5,4±0,1 ^{BChi}	3,0±0,2 ^{Hbcd}	2,5±0,2 ^{Hdef}	5,0±0,2 ^{BCDbcd}	4,4±0,2 ^{EFijk}
	60	3,3±0,4 ^{EFgh}	2,2±0,2 ^{Gij}	4,4±0,2 ^{CDgh}	3,8±0,1 ^{DEi}	5,2±0,3 ^{Bef}	4,3±0,3 ^{CDj}	6,0±0,3 ^{Agh}	4,9±0,2 ^{BCij}	2,6±0,3 ^{FGde}	2,0±0,2 ^{Ggh}	4,8±0,1 ^{BCcd}	4,1±0,2 ^{Dkl}
	120	3,0±0,2 ^{FGh}	1,7±0,2 ^{Hij}	4,2±0,3 ^{CDh}	3,2±0,1 ^{EFj}	5,0±0,3 ^{ABf}	3,7±0,3 ^{DEk}	5,6±0,2 ^{Ah}	4,5±0,2 ^{BCj}	2,3±0,3 ^{GHe}	1,6±0,2 ^{lh}	4,6±0,3 ^{BCd}	3,6±0,1 ^{DEl}
20	0	4,8±0,2 ^{Ca}	4,8±0,2 ^{Ca}	5,9±0,2 ^{Ba}	5,90±0,2 ^{Ba}	6,7±0,1 ^{Aa}	6,7±0,1 ^{Aa}	7,1±0,1 ^{Aa}	7,1±0,1 ^{Aa}	3,5±0,1 ^{Da}	3,5±0,12 ^{Da}	5,6±0,1 ^{Ba}	5,6±0,1 ^{Ba}
	5	4,6±0,1 ^{Dab}	4,4±0,2 ^{Dabc}	5,7±0,1 ^{Cabc}	5,72±0,1 ^{Cab}	6,4±0,2 ^{Babc}	5,8±0,1 ^{Cbcde}	7,0±0,2 ^{Aab}	6,8±0,1 ^{ABab}	3,5±0,2 ^{Ea}	3,4±0,1 ^{Ea}	5,5±0,2 ^{Ca}	5,4±0,1 ^{Cabc}
	10	4,4±0,2 ^{Gabcd}	4,1±0,2 ^{Hbcd}	5,6±0,1 ^{CDabc}	5,32±0,1 ^{FGbcd}	6,3±0,2 ^{Babc}	5,6±0,1 ^{DEcdefg}	6,9±0,1 ^{Aabcd}	6,7±0,1 ^{BCabcd}	3,4±0,1 ^{Hab}	3,2±0,0 ^{lab}	5,4±0,2 ^{CDab}	5,2±0,2 ^{EFabcde}
	20	4,1±0,0 ^{Dbcdef}	3,7±0,3 ^{DEdef}	5,3±0,1 ^{Cbcde}	4,90±0,0 ^{Cdefg}	6,2±0,2 ^{Babc}	5,4±0,4 ^{Cdefgh}	6,8±0,1 ^{Aabcde}	6,2±0,1 ^{Bde}	3,3±0,1 ^{EFab}	2,9±0,2 ^{Fbcd}	5,3±0,2 ^{Cab}	4,6±0,2 ^{Ccdefg}
	30	3,9±0,2 ^{Fdef}	3,4±0,2 ^{Gefg}	5,2±0,1 ^{CDcdef}	4,61±0,2 ^{Efgh}	6,1±0,3 ^{Babcd}	5,2±0,1 ^{CDefghi}	6,7±0,2 ^{Aabcde}	6,0±0,0 ^{Befg}	3,2±0,1 ^{Gabc}	2,7±0,2 ^{Hde}	5,2±0,2 ^{Cabc}	4,8±0,2 ^{DEefghi}
	60	3,6±0,2 ^{Dfg}	2,9±0,2 ^{Dgh}	5,0±0,1 ^{Cef}	4,11±0,5 ^{Chi}	5,9±0,1 ^{Bcd}	5,0±0,3 ^{Cghi}	6,5±0,1 ^{Acdefg}	5,6±0,1 ^{ABfgh}	3,0±0,2 ^{Eabcd}	2,3±0,1 ^{Eefg}	5,0±0,2 ^{Cbcd}	4,5±0,2 ^{Chijk}
	120	3,3±0,2 ^{Ggh}	2,7±0,3 ^{Hhi}	4,9±0,1 ^{CDefg}	3,84±0,2 ^{FGi}	5,5±0,3 ^{Bdef}	4,6±0,2 ^{DEij}	6,2±0,1 ^{Afg}	5,2±0,1 ^{BChi}	2,7±0,1 ^{Hcde}	2,1±0,2 ^{Ifg}	4,8±0,2 ^{CDcd}	4,3±0,1 ^{EFjk}
35	0	4,8±0,2 ^{Ca}	4,8±0,2 ^{Ca}	5,9±0,2 ^{Ba}	5,9±0,2 ^{Ba}	6,7±0,1 ^{Aa}	6,7±0,1 ^{Aa}	7,1±0,1 ^{Aa}	7,1±0,1 ^{Aa}	3,5±0,1 ^{Da}	3,5±0,1 ^{Da}	5,6±0,1 ^{Ba}	5,6±0,1 ^{Ba}
	5	4,7±0,2 ^{Da}	4,5±0,2 ^{Dab}	5,8±0,1 ^{Cab}	5,7±0,2 ^{Cab}	6,6±0,1 ^{ABa}	6,3±0,2 ^{Bab}	7,1±0,2 ^{Aab}	7,0±0,1 ^{Aab}	3,5±0,2 ^{Ea}	3,5±0,2 ^{Ea}	5,6±0,2 ^{Ca}	5,5±0,3 ^{Cab}
	10	4,5±0,2 ^{Dabc}	4,3±0,3 ^{Dabcd}	5,7±0,1 ^{Cabc}	5,5±0,0 ^{Cabc}	6,6±0,1 ^{Aab}	6,1±0,1 ^{Bbc}	7,1±0,1 ^{Aab}	6,9±0,1 ^{Aab}	3,5±0,0 ^{Eab}	3,4±0,2 ^{Ea}	5,5±0,2 ^{Ca}	5,3±0,1 ^{Cabcd}
	20	4,3±0,1 ^{Fabcde}	4,0±0,1 ^{Fbcde}	5,6±0,1 ^{Dabcd}	5,2±0,1 ^{DEbcde}	6,4±0,1 ^{Bab}	6,0±0,2 ^{Cbc}	7,0±0,1 ^{Aabc}	6,8±0,1 ^{ABabc}	3,3±0,2 ^{Gab}	3,3±0,2 ^{Gab}	5,4±0,1 ^{DEab}	5,1±0,1 ^{Ebcdef}
	30	4,0±0,2 ^{Gbcdef}	3,8±0,2 ^{Gcde}	5,5±0,1 ^{DEabcd}	5,0±0,1 ^{Fdefg}	6,4±0,2 ^{BCabc}	5,9±0,1 ^{CDbcd}	6,9±0,1 ^{Aabcd}	6,6±0,2 ^{ABbcd}	3,2±0,3 ^{Hab}	3,1±0,2 ^{Habc}	5,3±0,2 ^{EFabc}	4,9±0,1 ^{Fdefgh}
	60	3,7±0,3 ^{Gefg}	3,5±0,1 ^{Gefg}	5,3±0,2 ^{DEbcde}	4,8±0,2 ^{EFefg}	6,1±0,3 ^{BCabcd}	5,6±0,3 ^{CDcdef}	6,8±0,2 ^{Aabcde}	6,3±0,1 ^{ABcde}	3,1±0,1 ^{G^Habc}	2,7±0,1 ^{Hcde}	5,2±0,3 ^{DEFabc}	4,6±0,1 ^{Ffghij}
	120	3,6±0,2 ^{Efg}	3,2±0,3 ^{EFfgh}	5,1±0,1 ^{Cdef}	4,5±0,2 ^{Dgh}	5,9±0,1 ^{Bcd}	5,1±0,1 ^{Cfghi}	6,4±0,2 ^{Adefg}	6,0±0,2 ^{ABef}	3,0±0,1 ^{Fabcd}	2,4±0,1 ^{Gefg}	5,1±0,1 ^{Cabcd}	4,5±0,2 ^{Dghijk}

A, B, C, D, E, F: aynı satırda istatistiksel olarak farklılığı, a, b, c, d, e, f, g, h, i, j: aynı sütundaki istatistiksel farklılığı gösterir, (p<0,05).

Tablo 24. *S. enterica* ile Kontamine Edilmiş Perlitte Yetiştirilen Ayçiçeği ve Turp Mikroyeşilliklerine Farklı Süre, Mesafe ve Yönlerden Uygulanan UV-C Sonrası Belirlenen Popülasyonlara Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik çeşidi (A)	1	3031,803	0,000**
Yön (B)	1	349,774	0,000**
Mesafe (C)	2	218,610	0,000**
Süre (D)	6	450,371	0,000**
A*B	1	1,266	0,262
A*C	2	0,229	0,796
A*D	6	2,474	0,026*
B*C	2	17,120	0,000**
B*D	6	26,256	0,000**
C*D	12	13,499	0,000**
A*B*C	2	7,958	0,000**
A*B*D	6	0,721	0,633
A*C*D	12	0,131	1
B*C*D	12	1,488	0,133
A*B*C*D	12	0,761	0,690
Hata	168		
Genel	252		

*(p<0,05) düzeyinde önemli; ** (p<0,01) düzeyinde önemli

S. enterica'nın inaktivasyonu üzerine mikroyeşillik çeşidi, yön, mesafe, süre, yön x mesafe, yön x süre, mesafe x süre, mikroyeşillik çeşidi x yön x mesafe'nin etkisi p<0,01 düzeyinde, mikroyeşillik çeşidi x süre'nin etkisi p<0,05 düzeyinde önemli bulunmuştur. Mikroyeşillik çeşidi x yön, Mikroyeşillik çeşidi x mesafe, mikroyeşillik çeşidi x yön x süre, mikroyeşillik çeşidi x mesafe x süre, yön x mesafe x süre ve mikroyeşillik çeşidi x yön x mesafe x süre'nin etkisi ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (p>0,05).

Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerine tek yönlü UV-C uygulamasında 10 cm'de sırasıyla 20. ve 10. s'den sonra, 20 cm'de 20. ve 10. s'den sonra, 35 cm'de ise 30. ve 60. s'den sonra *S. enterica* popülasyonunda istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma meydana gelmiştir (p<0.05). Çift yönlü UV-C uygulamasında ise her iki mikroyeşillikte 10 cm'de 10. s'den sonra, 20 cm'de 20. s'den sonra, 35 cm'de ise 20. ve 30. s'den sonra *S. enterica* popülasyonunda önemli düzeyde azalma meydana gelmiştir (p<0.05).

Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde en yüksek *S. enterica* inhibisyonu (sırasıyla 3,1 ve 2,7 log kob/g) 10 cm mesafeden 120 saniyede çift yönlü UV-C uygulamasında elde edilmiştir. Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde en düşük *S. enterica* inhibisyonu (0,1 ve 0,2 log kob/g) ise 35 cm mesafeden 5 s tek yönlü UV-C uygulamasında görülmüştür. Yaun *et al.*

(2004), domateslere ve marul yapraklarına 0,15-2,4 kJ/m² arasında değişen dozlarda tek yönlü UV-C uygulamışlardır. Araştırmacılar domates ve maruldaki *Salmonella* (*S. Montevideo*, *Agona*, *Baildon*, *Michigan*, *Gaminara*) popülasyonunda sırasıyla 1,70-2,19 log kob/g ve 0,15-2,14 log kob/g düzeyinde inhibisyon sağlamışlardır. Kim *et al* (2009) ise taze kesilmiş yonca filizlerine 1 kJ/m² dozunda UV-C uygulayarak *S. Typhimurium* popülasyonunda 1,06 log kob/g düzeyinde inhibisyon sağlamışlardır. Araştırmacıların bildirdiği inhibisyon değerlerinin bu çalışmadaki *S. enterica* popülasyonunda meydana gelen azalmadan daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durumun Yaun *et al* (2004) tarafından yapılan çalışmada UV-C uygulamasının tek yönlü olmasından, Kim *et al.* (2009) tarafından yapılan çalışmada ise ürün özelliklerinin farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tek ve çift yönlü UV-C uygulama sonrası *S. enterica* popülasyonları arasında belirgin farklılıklar bulunmuş ve çift yönlü uygulamada daha yüksek inhibisyon elde edilmiştir (Tablo 23). Ayçiçeği mikroyeşilliğinde 10 cm mesafeden tek yönlü UV-C’de 120 s uygulama sonunda başlangıç popülasyonuna göre 1,8 log kob/g düzeyinde bir azalma, çift yönlü UV-C’de ise 3,1 log kob/g’luk bir azalma meydana gelmiştir. 20 cm mesafeden tek yönlü UV-C’de 120 s uygulama sonunda başlangıç popülasyonuna göre 1,4 log kob/g düzeyinde bir azalma, çift yönlü UV-C’de ise 2,1 log kob/g’luk bir azalma sağlanmıştır. 35 cm mesafeden tek yönlü UV-C’de ise 120 s uygulama sonunda başlangıç popülasyonuna göre 1,2 log kob/g düzeyinde bir azalma, çift yönlü UV-C’de 1,6 log kob/g’lık bir azalma gözlenmiştir. Turp mikroyeşilliğinde 10 cm mesafeden tek yönlü UV-C’de 120 s uygulama sonunda başlangıç popülasyonuna göre 1,7 log kob/g düzeyinde bir azalma, çift yönlü UV-C’de ise 2,7 log kob/g’lık bir azalma meydana gelmiştir. 20 cm mesafeden tek yönlü UV-C’de 120 s uygulama sonunda başlangıç popülasyonuna göre 1,0 log kob/g düzeyinde bir azalma, çift yönlü UV-C’de ise 2,1 log kob/g’luk bir azalma sağlanmıştır. 35 cm mesafeden tek yönlü UV-C’de ise 120 s uygulama sonunda başlangıç popülasyonuna göre 0,8 log kob/g düzeyinde bir azalma, çift yönlü UV-C’de 1,4 log kob/g’lık bir azalma gözlenmiştir (Tablo 23). Bu durum UV-C ışığın temas ettiği bölgenin arttırılmasıyla daha fazla inhibisyon sağlanabileceğini göstermektedir. Bir çalışmada taze kesilmiş marul yüzeyine 0-16,3 kJ/m² arasında değişen dozlarda tek ve çift yönlü UV-C uygulanarak *S. Typhimurium* inhibisyonu incelenmiştir. Uygulama sonrası bütün dozlarda çift yönlü uygulamada tek yönlüye göre daha fazla inhibisyon elde edildiği bildirilmiştir (Kim *et al.* 2013).

Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerindeki *S. enterica*’nın inhibisyonu üzerine UV-C uygulama mesafesinin önemli derecede etkili olduğu ve mesafe arttıkça inhibisyonun azaldığı gözlenmiştir (Tablo 23). Ayçiçeği mikroyeşilliğinde en yüksek *S. enterica* inhibisyonu 10 cm

mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C ile (sırasıyla 1,8 ve 3,1 log kob/g); en düşük *S. enterica* inhibisyonu (ikisinde de 0,1 log kob/g) ise 35 cm mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C uygulamasında gözlenmiştir. Ayçiçeği ile benzer olarak turp mikroyeşilliğinde de en yüksek *S. enterica* inhibisyonu 10 cm mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C ile (sırasıyla 1,7 ve 2,7 log kob/g); en düşük *S. enterica* inhibisyonu (ikisinde de 0,2 log kob/g) ise 35 cm mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C uygulamasında gözlenmiştir (Tablo 23). Bu durum UV-C kaynağına olan yakınlık arttıkça UV ışık dozunun artması (Lindblad *et al.* 2020) ve doz artışına bağlı olarak *Salmonella*'nın daha fazla inhibe olmasından (Lapeña *et al.* 2022; Graça *et al.* 2013; Sommers *et al.* 2010) kaynaklanmaktadır.

STEC O157:H7'in UV-C ile inhibisyonu

STEC O157:H7 ile kontamine edilmiş perlitte yetiştirilen ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerine farklı süre, mesafe ve yönlerden uygulanan UV-C sonrası belirlenen popülasyonlar Tablo 23'te, varyans analiz sonuçları ise Tablo 25'te verilmiştir.

Tablo 25. STEC O157:H7 ile Kontamine Edilmiş Perlitte Yetiştirilen Ayçiçeği ve Turp Mikroyeşilliklerine Farklı Süre, Mesafe ve Yönlerden Uygulanan UV-C Sonrası Belirlenen Popülasyonlara Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik çeşidi (A)	1	869,152	0,000**
Yön (B)	1	653,582	0,000**
Mesafe (C)	2	358,735	0,000**
Süre (D)	6	321,152	0,000**
A*B	1	5,726	0,018*
A*C	2	1,955	0,145
A*D	6	4,564	0,000**
B*C	2	27,950	0,000**
B*D	6	24,455	0,000**
C*D	12	15,914	0,000**
A*B*C	2	3,484	0,033*
A*B*D	6	2,538	0,022*
A*C*D	12	1,003	0,449
B*C*D	12	1,346	0,197
A*B*C*D	12	1,106	0,359
Hata	168		
Genel	252		

*(p<0,05) düzeyinde önemli; ** (p<0,01) düzeyinde önemli

STEC O157:H7'in inaktivasyonu üzerine mikroyeşillik çeşidi, yön, mesafe, süre, mikroyeşillik çeşidi x süre, yön x mesafe, yön x süre, mesafe x süre'nin etkisi p<0,01 düzeyinde, mikroyeşillik çeşidi x yön, mikroyeşillik çeşidi x yön x mesafe, mikroyeşillik çeşidi x yön x süre'nin etkisi ise p<0,05 düzeyinde önemli bulunmuştur. Mikroyeşillik çeşidi x

mesafe, mikroyeşillik çeşidi x mesafe x süre, yön x mesafe x süre ve mikroyeşillik çeşidi x yön x mesafe x süre'nin etkisi ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde STEC O157:H7 popülasyonunda tek yönlü UV-C uygulamasında 10 cm'de sırasıyla 10. ve 20. s'den sonra, 20 cm'de her iki mikroyeşillikte 60. s'den sonra, 35 cm'de ise sırasıyla 60. ve 120. s'den sonra başlangıç popülasyonuna göre istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma meydana gelmiştir ($p<0,05$). Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerine çift yönlü UV-C uygulamasında ise 10 cm'de sırasıyla 5. ve 10. s'den sonra, 20 cm'de 5. ve 10. s'den sonra, 35 cm'de ise 10. ve 30. s'den sonra STEC O157:H7 popülasyonunda istatistiksel olarak önemli düzeyde azalma meydana gelmiştir ($p<0,05$).

Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde en yüksek STEC O157:H7 inhibisyonu (sırasıyla 3,03 ve 2,6 log kob/g) 10 cm mesafeden 120 s'de ($2,07 \text{ kJ/m}^2$) çift yönlü UV-C uygulamasında elde edilmiştir. Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde en düşük STEC O157:H7 inhibisyonu (0,08 ve 0,03 log kob/g) ise 35 cm mesafeden 5 s'de ($0,03 \text{ kJ/m}^2$) tek yönlü UV-C uygulamasında görülmüştür (Tablo 23). Elde edilen verilerle benzer şekilde Adhikari *et al.* (2015) tarafından yapılan bir çalışmada elma ve armutta $0,92 \text{ kJ/m}^2$ (60 s)'lik UV-C sonrası *E. coli* popülasyonunda sırasıyla 2,9 ve 2,1 log kob/g düzeyinde inhibisyon sağlandığı bildirilmiştir. Martínez-Hernández *et al.* (2015), taze kesilmiş Kailan hibrit brokolisi üzerine yapmış olduğu çalışmada $2,5 \text{ kJ/m}^2$ doza sahip UV-C uygulaması ile *E. coli* popülasyonunda 1,22 log kob/g düzeyinde inhibisyon sağlamışlardır. Chun *et al.* (2010) ise tüketime hazır salataya inoküle ettikleri *E. coli* O157:H7 popülasyonunda 2 kJ/m^2 düzeyinde UV-C uygulaması ile depolama başlangıcında 1,18 log kob/g düzeyinde inhibisyon elde etmişlerdir. Çeşitli araştırmalarda belirlenen popülasyonlar arasındaki farklılıkların gıdanın özelliklerinden, çalışılan bakteri suşlarından, UV-C dozu ve UV-C'nin uygulama şeklinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim UV-C yoğunluğu ve maruz kalma süresi ile ilişkili olan UV-C dozunun, UV-C sanitasyonunu önemli ölçüde etkilediği bildirilmiştir (Martínez-Hernández *et al.* 2015).

Tablo 23'te gösterildiği üzere, tek ve çift yönlü UV-C uygulamaları arasında genel olarak farklılıklar bulunduğu ($p<0,05$) ve çift yönlü uygulamada daha yüksek STEC O157:H7 inhibisyonunun elde edildiği görülmektedir. Ayçiçeği mikroyeşilliğinde 10 cm mesafeden tek yönlü UV-C'de 120 s uygulama sonunda başlangıç popülasyonuna göre 1,7 log kob/g düzeyinde bir azalma, çift yönlü UV-C'de ise 3,0 log kob/g'lık bir azalma meydana gelmiştir. 20 cm mesafeden tek yönlü UV-C'de 120 s uygulama sonunda başlangıç popülasyonuna göre 1,2 log kob/g düzeyinde bir azalma, çift yönlü UV-C'de ise 2,3 log kob/g'lık bir azalma

sağlanmıştır. 35 cm mesafeden tek yönlü UV-C’de ise 120 s uygulama sonunda başlangıç popülasyonuna göre 0,8 log kob/g düzeyinde bir azalma, çift yönlü UV-C’de 1,6 log kob/g’lık bir azalma gözlenmiştir. Turp mikroyeşilliğinde 10 cm mesafeden tek yönlü UV-C’de 120 s uygulama sonunda başlangıç popülasyonuna göre 1,5 log kob/g düzeyinde bir azalma, çift yönlü UV-C’de ise 2,6 log kob/g’lık bir azalma meydana gelmiştir. 20 cm mesafeden tek yönlü UV-C’de 120 s uygulama sonunda başlangıç popülasyonuna göre 0,9 log kob/g düzeyinde bir azalma, çift yönlü UV-C’de ise 1,9 log kob/g’lık bir azalma sağlanmıştır. 35 cm mesafeden tek yönlü UV-C’de ise 120 s uygulama sonunda başlangıç popülasyonuna göre 0,7 log kob/g düzeyinde bir azalma, çift yönlü UV-C’de 1,1 log kob/g’lık bir azalma gözlenmiştir. Çift yönlü UV-C uygulamalarında daha fazla inhibisyon gerçekleşmesinin mikroyeşilliğin her iki yüzeyine de UV-C ışığın temas etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim Kim *et al.* (2013) taze kesilmiş marul yüzeyine tek ve çift yönlü UV-C uygulayarak, çift yönlü uygulamada önemli düzeyde daha yüksek inhibisyon elde edildiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar aynı zamanda marul yüzeyine 0.5, 1, 3, 5 ve 10 dakika boyunca çift yönlü UV-C (2,72 mW/cm²) uygulamasının tek yönlüye göre *E. coli* O157:H7 popülasyonunda sırasıyla 0.83, 0.56, 0.73, 0.71 ve 0.52 log'luk ek azalmalara yol açtığını rapor etmişlerdir.

Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde STEC O157:H7 inhibisyonunun UV-C uygulama mesafesinden önemli derecede etkilendiği ve mesafe arttıkça inhibisyonun azaldığı gözlenmiştir (Tablo 23). Taze ürünlerde gıda kaynaklı patojenlerin inaktivasyonu üzerine UV-C uygulama mesafesinin etkisinin incelendiği çalışmalar oldukça sınırlı olmakla birlikte araştırmacılar UV-C uygulama mesafesi arttıkça dozun azaldığını (Fuchs *et al.* 2022) ve patojenlerin daha az inhibe olduğunu (Kim *et al.* 2013) bildirmişlerdir. Ayçiçeği mikroyeşilliğinde en yüksek STEC O157:H7 inhibisyonu 10 cm mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C ile (sırasıyla 1,7 ve 3,0 log kob/g); en düşük inhibisyon (sırasıyla 0,1 ve 0,4 log kob/g) ise 35 cm mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C uygulamasında gözlenmiştir. Ayçiçeği ile benzer olarak turp mikroyeşilliğinde de en yüksek STEC O157:H7 inhibisyonu 10 cm mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C ile (sırasıyla 1,5 ve 2,6 log kob/g); en düşük inhibisyon (sırasıyla 0,03 ve 0,1 log kob/g) ise 35 cm mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C uygulamasında gözlenmiştir. Kim *et al.* (2013) taze kesilmiş marul yüzeyine farklı mesafelerden (10 ve 50 cm) uyguladıkları UV-C işleminin *E. coli*’nin inhibisyonu üzerine etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar 10 cm’den 1 dk boyunca uyguladıkları UV-C işlemi ile yaklaşık 1 log kob/g düzeyinde daha fazla inhibisyon sağladıklarını ve UV-C uygulama mesafesinin *E. coli* inhibisyonunda önemli düzeyde etkili olduğunu bildirmişlerdir.

L. monocytogenes'in UV-C ile inhibisyonu

L. monocytogenes ile kontamine edilmiş perlitte yetiştirilen ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerine farklı süre, mesafe ve yönlerden uygulanan UV-C sonrası belirlenen popülasyonlar Tablo 23'te, varyans analiz sonuçları ise Tablo 26'da verilmiştir.

Tablo 26. *L. monocytogenes* ile Kontamine Edilmiş Perlitte Yetiştirilen Ayçiçeği ve Turp Mikroyeşilliklerine Farklı Süre, Mesafe ve Yönlerden Uygulanan UV-C Sonrası Belirlenen Popülasyonlara Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik çeşidi (A)	1	9538,612	0,000**
Yön (B)	1	264,773	0,000**
Mesafe (C)	2	106,990	0,000**
Süre (D)	6	238,601	0,000**
A*B	1	1,460	0,229
A*C	2	1,279	0,281
A*D	6	0,807	0,566
B*C	2	2,637	0,75
B*D	6	20,101	0,000**
C*D	12	6,917	0,000**
A*B*C	2	0,679	0,508
A*B*D	6	0,154	0,988
A*C*D	12	0,482	0,923
B*C*D	12	0,536	0,889
A*B*C*D	12	0,363	0,975
Hata	168		
Genel	252		

*($p<0,05$) düzeyinde önemli; ** ($p<0,01$) düzeyinde önemli

L. monocytogenes'in inaktivasyonu üzerine mikroyeşillik çeşidi, yön, mesafe, süre, yön x süre, mesafe x süre'nin etkisi $p<0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Mikroyeşillik çeşidi x yön, mikroyeşillik çeşidi x mesafe, mikroyeşillik çeşidi x süre, yön x mesafe, mikroyeşillik çeşidi x yön x mesafe, mikroyeşillik çeşidi x yön x süre, mikroyeşillik çeşidi x mesafe x süre, yön x mesafe x süre ve mikroyeşillik çeşidi x yön x mesafe x süre'nin etkisi ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde *L. monocytogenes* popülasyonunda 10 cm'den tek yönlü UV-C uygulamasında her iki mikroyeşillikte 30. s'den sonra, 20 cm'de ise sırasıyla 120. ve 60. s'den sonra başlangıç popülasyonuna göre önemli düzeyde azalma meydana gelmiştir ($p<0,05$). Ancak 35 cm'den 120 s boyunca tek yönlü uygulanan UV-C sonrasında *L. monocytogenes* popülasyonunda meydana gelen değişiklik istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde çift yönlü UV-C uygulamasında

ise 10 cm'den sırasıyla 20. ve 10. s'den sonra, 20 cm'de 60. ve 20. s'den sonra, 35 cm'de ise 60. ve 20. s'den sonra *L. monocytogenes* popülasyonunda başlangıca göre önemli düzeyde azalma meydana gelmiştir ($p<0.05$) (Tablo 23).

Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde en yüksek *L. monocytogenes* inhibisyonu (sırasıyla 1,9 ve 2,0 log kob/g) 10 cm mesafeden 120 saniyede çift yönlü UV-C uygulamasında elde edilmiştir. Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde en düşük *L. monocytogenes* inhibisyonu (0,1 ve 0,04 log kob/g) ise 35 cm mesafeden 5 s tek yönlü UV-C uygulamasında görülmüştür (Tablo 23). Yonca filizleri üzerine yapılan bir araştırmada 1 kJ/m^2 doz UV-C uygulaması ile 0,79 log kob/g düzeyinde inhibisyon sağlanmıştır (Kim *et al.* 2009). Sommers *et al.* (2010) domates ile bibere uyguladığı UV-C ile sürenin artışına bağlı olarak *L. monocytogenes* inhibisyonun arttığını bildirmişlerdir. Kim *et al* (2013), marul yapraklarına uyguladığı UV-C işleminde sürenin artışına bağlı olarak *L. monocytogenes* inhibisyonunun arttığını ve araştırmamızda elde edilen sonuca benzer olarak 1,6 kJ/m^2 dozda 1,44 log kob/g düzeyinde inhibisyonun gerçekleştiğini bildirmiştir.

Elde edilen veriler çift yönlü uygulamada *L. monocytogenes*'in inhibisyonunun tek yönlüye göre daha fazla olduğunu göstermiştir ($p<0,05$) (Tablo 23). Ayçiçeği mikroyeşilliğinde 10 cm mesafeden 120 s tek yönlü UV-C'de başlangıç popülasyonuna göre 1,2 log kob/g, çift yönlü UV-C'de ise 1,9 log kob/g'lık bir azalma meydana gelmiştir. 20 cm mesafeden tek yönlü UV-C'de 120 s uygulama sonunda başlangıç popülasyonuna göre 0,8 log kob/g düzeyinde bir azalma, çift yönlü UV-C'de ise 1,4 log kob/g'lık bir azalma sağlanmıştır. 35 cm mesafeden tek yönlü UV-C'de ise 120 s uygulama sonunda başlangıç popülasyonuna göre 0,5 log kob/g düzeyinde bir azalma, çift yönlü UV-C'de 1,2 log kob/g'lık bir azalma gözlenmiştir. Turp mikroyeşilliğinde 10 cm mesafeden tek yönlü UV-C'de 120 s uygulama sonunda başlangıç popülasyonuna göre 1,0 log kob/g düzeyinde bir azalma, çift yönlü UV-C'de ise 2,0 log kob/g'lık bir azalma meydana gelmiştir. 20 cm mesafeden tek yönlü UV-C'de 120 s uygulama sonunda başlangıç popülasyonuna göre 0,8 log kob/g düzeyinde bir azalma, çift yönlü UV-C'de ise 1,3 log kob/g'lık bir azalma sağlanmıştır. 35 cm mesafeden tek yönlü UV-C'de ise 120 s uygulama sonunda başlangıç popülasyonuna göre 0,5 log kob/g düzeyinde bir azalma, çift yönlü UV-C'de ise 1,1 log kob/g'lık bir azalma gözlenmiştir. Çift yönlü UV-C uygulaması ile mikroyeşillik yüzeyindeki patojenlerin daha fazla inhibe olduğu görülmüştür (Tablo 23). Benzer şekilde Kim *et al* (2013) marul mikroyeşilliklerine çift yönü UV-C uygulamasında *L. monocytogenes* popülasyonunda tek yönlüye göre daha fazla redüksiyonun sağlandığını bildirmiştir. Ayrıca UV-C ile doğrudan temas etmeyen gölgede kalan bölgelerin varlığı ve taze ürünlerin düzensiz şekli patojenlerin inhibisyonunu sınırlamaktadır (Gamage 2015).

UV-C uygulama mesafesinin ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde *L. monocytogenes*'in inhibisyonunda önemli derecede etkili olduğu ve mesafe arttıkça inhibisyonun azaldığı görülmüştür (Tablo 23). Ayçiçeği mikroyeşilliğinde en yüksek *L. monocytogenes* inhibisyonu 10 cm mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C ile (sırasıyla 1,2 ve 1.9 log kob/g); en düşük *L. monocytogenes* inhibisyonu (0,5 log kob/g) ise 35 cm mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C uygulamasında gözlenmiştir. Ayçiçeği ile benzer olarak turp mikroyeşilliğinde de en yüksek *L. monocytogenes* inhibisyonu 10 cm mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C ile (sırasıyla 1,0 ve 2,0 log kob/g); en düşük *L. monocytogenes* inhibisyonu (sırasıyla 0,04 ve 0,14 log kob/g) ise 35 cm mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C uygulamasında gözlenmiştir. Araştırma bulgularıyla benzer olarak Kim *et al* (2013) marul mikroyeşilliklerine 10 cm mesafeden UV-C uygulaması sonrası *L. monocytogenes*'in inhibisyonun 50 cm'e göre daha fazla olduğunu bildirmiştir.

Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinin UV-C sonrası *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* popülasyonları karşılaştırıldığında, turp mikroyeşilliğinde popülasyonların daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in turp mikroyeşilliklerine transfer oranının ayçiçeği mikroyeşilliklerine göre yüksek olmasından ve buna bağlı olarak UV-C öncesi başlangıç popülasyonunun daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

UV-C uygulama süresinin ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in inhibisyonunda önemli derecede etkili olduğu ve süre arttıkça inhibisyonun arttığı gözlenmiştir (Tablo 23). UV-C uygulanan bütün mesafelerde (10, 20 ve 35 cm) sürenin artışına paralel olarak *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* inhibisyonunun hem tek hem de çift yönlüde arttığı, en yüksek inhibisyonun 120 s, en düşük inhibisyonun ise 5 s UV-C uygulanmış örneklerde meydana geldiği tespit edilmiştir.

Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliğine transfer olan üç patojenin UV-C ile inhibisyonu karşılaştırıldığında UV-C'ye en duyarlı patojenin *S. enterica*, en dirençli patojenin ise *L. monocytogenes* olduğu belirlenmiştir. Araştırma bulgularıyla benzer olarak Kailan hibrit brokolisi üzerine yapılan bir çalışmada *E. coli*, *S. enterica* ve *L. monocytogenes*'in inhibisyonu değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre UV-C ışınlarına en hassas patojenin *S. Enteritidis*, en dirençli patojenin ise *L. monocytogenes* olduğu rapor edilmiştir (Martínez-Hernández *et al.* 2015). Diğer bir çalışmada ise 1 dk boyunca (1,63 kJ/m²) çift yönlü UV-C uygulaması sonrası marulda *S. Typhimurium*'un (1,83 log kob/g) *E. coli* ve *L. monocytogenes* 'e göre (sırasıyla 1,46 ve 1,44 log kob/g) daha fazla inhibe olduğu bildirilmiştir.

(Kim *et al.* 2013). Mikroorganizmaların UV duyarlılığının maruz kalma süresi (doz), fizyolojik durum, suş tipi, onarım mekanizması ve hücre duvarı yapısı gibi çeşitli faktörlere bağlı olduğu bildirilmiştir (Koutchma *et al.* 2009). Unluturk *et al.* (2010) gram pozitif bakterilerdeki kalın peptidoglikan tabakasının UV-C ışığın hücre içine girmesini engellediğini, böylece gram-pozitif bakterilerin gram-negatiflere göre UV-C'ye daha dirençli olduğunu ifade etmişlerdir.

TMAB inhibisyonu

STEC O157:H7 ile kontamine edilmiş perlitte yetiştirilen ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerine farklı süre, mesafe ve yönlerden uygulanan UV-C sonrası belirlenen TMAB popülasyonları Tablo 27'da, varyans analiz sonuçları ise Tablo 28'de verilmiştir.



Tablo 27. Ayçiçeği ve Turp Mikroyeşilliklerine Farklı Süre, Mesafe ve Yönlerden Uygulanan UV-C Sonrası TMAB ve TMK Popülasyonu (log kob/g)

Mesafe (cm)	Süre (s)	TMAB				TMK			
		Ayçiçeği		Turp		Ayçiçeği		Turp	
		Tek	Çift	Tek	Çift	Tek	Çift	Tek	Çift
10	0	7,3±0,1 ^{Ba}	7,3±0,1 ^{Ba}	7,9±0,1 ^{Aa}	7,9±0,1 ^{Aa}	4,5±0,1 ^{Aa}	4,5±0,1 ^{Aa}	4,2±0,2 ^{Aa}	4,2±0,2 ^{Aa}
	5	6,8±0,2 ^{Bbcd}	5,8±0,2 ^{Cefgh}	7,7±0,2 ^{Aabc}	7,4±0,1 ^{Aabcd}	4,4±0,3 ^{Aabc}	4,2±0,1 ^{Aabcd}	4,0±0,2 ^{Aab}	3,9±0,1 ^{Aabc}
	10	6,5±0,2 ^{Bcde}	5,6±0,2 ^{Cfgh}	7,6±0,2 ^{Aabcd}	6,5±0,3 ^{Bef}	4,2±0,2 ^{Aabcde}	3,8±0,1 ^{Bcdefg}	3,9±0,1 ^{Babc}	3,7±0,1 ^{Babcd}
	20	6,2±0,2 ^{Befg}	5,5±0,1 ^{Cgh}	7,3±0,2 ^{Abcdef}	6,1±0,2 ^{Bfg}	3,9±0,1 ^{Abcdefg}	3,4±0,1 ^{Bfgh}	3,7±0,3 ^{ABabcd}	3,5±0,1 ^{ABbcd}
	30	5,8±0,1 ^{Bgh}	5,4±0,1 ^{Chı}	7,0±0,1 ^{Aefg}	5,9±0,2 ^{Bgh}	3,7±0,2 ^{Aefg}	3,1±0,2 ^{Bhı}	3,6±0,3 ^{ABbcd}	3,3±0,1 ^{ABde}
	60	5,5±0,2 ^{Bhı}	4,9±0,1 ^{Cij}	6,7±0,1 ^{Agh}	5,5±0,2 ^{Bhı}	3,4±0,2 ^{Ag}	2,8±0,1 ^{Bı}	3,4±0,1 ^{ABcd}	3,0±0,3 ^{ABef}
	120	5,3±0,1 ^{Bı}	3,8±0,2 ^{Ck}	6,2±0,3 ^{Ah}	5,0±0,1 ^{Bı}	2,9±0,2 ^{Ah}	2,3±0,3 ^{Bj}	3,2±0,1 ^{Ad}	2,3±0,2 ^{Bg}
20	0	7,3±0,1 ^{Ba}	7,3±0,1 ^{Ba}	7,9±0,1 ^{Aa}	7,9±0,1 ^{Aa}	4,5±0,1 ^{Aa}	4,5±0,1 ^{Aa}	4,2±0,1 ^{Aa}	4,2±0,2 ^{Aa}
	5	6,9±0,1 ^{Babc}	6,2±0,2 ^{Ccde}	7,8±0,1 ^{Aab}	7,6±0,2 ^{Aab}	4,5±0,2 ^{Aa}	4,4±0,1 ^{Aab}	4,2±0,1 ^{Aa}	4,1±0,1 ^{Aa}
	10	6,9±0,2 ^{Babc}	6,0±0,2 ^{Cdefg}	7,7±0,1 ^{Aabc}	7,4±0,1 ^{Aabcd}	4,3±0,1 ^{Aabcd}	4,3±0,1 ^{Aabc}	4,1±0,2 ^{Aab}	4,1±0,1 ^{Aa}
	20	6,7±0,2 ^{Bbcde}	5,8±0,1 ^{Cefgh}	7,6±0,2 ^{Aabcd}	6,9±0,1 ^{Bde}	4,2±0,1 ^{Aabcde}	4,1±0,1 ^{Aabcde}	4,1±0,2 ^{Aab}	3,9±0,0 ^{Aabc}
	30	6,6±0,3 ^{Bcde}	5,5±0,2 ^{Cgh}	7,5±0,3 ^{Aabcde}	6,6±0,2 ^{Bef}	3,6±0,1 ^{ABabcdef}	3,7±0,2 ^{ABdefg}	3,9±0,2 ^{Aab}	3,6±0,1 ^{Bbcd}
	60	6,3±0,2 ^{Bdefg}	5,3±0,2 ^{Chij}	7,2±0,1 ^{Acdefg}	6,3±0,1 ^{Bfg}	3,8±0,1 ^{Adefg}	3,3±0,1 ^{Bghı}	3,8±0,2 ^{Aabc}	3,4±0,2 ^{ABd}
	120	5,9±0,3 ^{Bfgh}	4,9±0,2 ^{Cj}	6,8±0,3 ^{Afg}	5,8±0,1 ^{Bgh}	3,5±0,2 ^{Afg}	2,9±0,3 ^{Bı}	3,4±0,2 ^{Acđ}	2,8±0,1 ^{Bf}
30	0	7,3±0,1 ^{Ba}	7,3±0,1 ^{Ba}	7,9±0,1 ^{Aa}	7,9±0,1 ^{Aa}	4,5±0,1 ^{Aa}	4,5±0,1 ^{Aa}	4,2±0,2 ^{Aa}	4,2±0,2 ^{Aa}
	5	7,2±0,2 ^{Bab}	6,8±0,1 ^{Bab}	7,9±0,2 ^{Aa}	7,8±0,2 ^{Aab}	4,4±0,2 ^{Aab}	4,4±0,1 ^{Aa}	4,1±0,1 ^{Aa}	4,1±0,1 ^{Aa}
	10	7,2±0,1 ^{Bab}	6,6±0,2 ^{Cbc}	7,8±0,1 ^{Aab}	7,7±0,2 ^{Aab}	4,3±0,2 ^{Aabcd}	4,3±0,1 ^{Aab}	4,1±0,2 ^{Aa}	4,1±0,1 ^{Aab}
	20	6,9±0,1 ^{Babc}	6,5±0,1 ^{Cbc}	7,7±0,1 ^{Aabc}	7,5±0,2 ^{Aabc}	4,2±0,1 ^{Aabcde}	4,2±0,2 ^{Aabcde}	4,1±0,1 ^{Aab}	4,0±0,2 ^{Aab}
	30	6,9±0,1 ^{Cabc}	6,4±0,1 ^{Dbcd}	7,7±0,2 ^{Aabcd}	7,3±0,1 ^{Bbcd}	4,0±0,2 ^{Aabcđef}	3,9±0,3 ^{Abcđef}	3,9±0,1 ^{Aabc}	3,9±0,1 ^{Aabc}
	60	6,6±0,1 ^{BCcde}	6,0±0,3 ^{Cđef}	7,6±0,2 ^{Aabcd}	7,0±0,3 ^{Bcde}	3,9±0,3 ^{Acđefg}	3,7±0,3 ^{Aefg}	3,8±0,0 ^{Aabc}	3,5±0,1 ^{Acđ}
	120	6,3±0,1 ^{Bđef}	5,6±0,1 ^{Cfgh}	7,12±0,2 ^{Ağefg}	6,7±0,4 ^{ABef}	3,7±0,2 ^{Aefg}	3,3±0,1 ^{Bghı}	3,7±0,2 ^{ABabcd}	3,3±0,1 ^{Bde}

A, B, C, D, E, F: aynı satırda istatistiksel olarak farklılığı, a, b, c, d, e, f, g, h, ı, j: aynı sütundaki istatistiksel farklılığı gösterir, (p<0,05).

Tablo 28. STEC O157:H7 ile Kontamine Edilmiş Perlite Yetiştirilen Ayçiçeği ve Turp Mikroyeşilliklerine Farklı Süre, Mesafe ve Yönlerden Uygulanan UV-C Sonrası Belirlenen TMAB Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik çeşidi (A)	1	1775,719	0,000**
Yön (B)	1	811,040	0,000**
Mesafe (C)	2	480,140	0,000**
Süre (D)	6	450,766	0,000**
A*B	1	3,223	0,074
A*C	2	2,695	0,070
A*D	6	7,841	0,000**
B*C	2	37,525	0,000**
B*D	6	30,154	0,000**
C*D	12	21,608	0,000**
A*B*C	2	7,426	0,001**
A*B*D	6	4,113	0,001**
A*C*D	12	1,300	0,223
B*C*D	12	2,479	0,005**
A*B*C*D	12	1,698	0,071
Hata	168		
Genel	252		

*(p<0,05) düzeyinde önemli; ** (p<0,01) düzeyinde önemli

TMAB'nin inaktivasyonu üzerine mikroyeşillik çeşidi, yön, mesafe, süre, mikroyeşillik çeşidi x süre, yön x mesafe, yön x süre, mesafe x süre, mikroyeşillik çeşidi x yön x mesafe, mikroyeşillik çeşidi x yön x süre, yön x mesafe x süre'nin etkisi p<0,01 düzeyinde önemli bulunmuştur. Mikroyeşillik çeşidi x yön, mikroyeşillik çeşidi x mesafe, mikroyeşillik çeşidi x mesafe x süre ve mikroyeşillik çeşidi x yön x mesafe x süre'nin etkisi ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (p>0,05).

Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde en yüksek TMAB inhibisyonu (sırasıyla 3,5 ve 2,9 log kob/g) 10 cm mesafeden 120 saniyede çift yönlü UV-C uygulamasında elde edilmiştir. Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde en düşük TMAB inhibisyonu (0,1 ve 0,03 log kob/g) ise 35 cm mesafeden 5 s tek yönlü UV-C uygulamasında görülmüştür. Her iki mikroyeşillikteki TMAB popülasyonunun çift yönlü UV-C uygulaması ile daha fazla inhibe olduğu belirlenmiştir (Tablo 27). Mikroyeşillik örneklerinde TMAB popülasyonunda meydana gelen azalma STEC O157:H7 popülasyonundaki azalma ile paralellik göstermiştir. Bu durum TMAB popülasyonunun belirlenmesinde STEC O157:H7 ile kontamine edilmiş mikroyeşilliklerin kullanılmasından kaynaklanmıştır. Ayçiçeği mikroyeşilliklerinde UV-C öncesi STEC O157:H7 popülasyonu 6,7 log kob/g (Tablo 23) iken TMAB popülasyonu 7,3 log kob/g düzeyinde (Tablo 27), turp mikroyeşilliklerinde ise STEC O157:H7 popülasyonu 7,1 log kob/g (Tablo 23) iken

TMAB popülasyonu 7,9 log kob/g (Tablo 27) düzeyindedir. Bu veriler TMAB'lerin büyük kısmını STEC O157:H7'in oluşturduğunu ve UV-C uygulaması ile STEC O157:H7 popülasyonunda meydana gelen azalmanın TMAB popülasyonunu doğrudan etkilediğini göstermektedir.

Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde TMAB'nin inhibisyonunda UV-C uygulama mesafesinin önemli derecede etkili olduğu ve mesafe arttıkça inhibisyonun azaldığı gözlenmiştir. Ayçiçeği mikroyeşilliğinde en yüksek TMAB inhibisyonu 10 cm mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C ile (sırasıyla 2,1 ve 3,5 log kob/g); en düşük TMAB inhibisyonu (sırasıyla 0,1 ve 0,5 log kob/g) ise 35 cm mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C uygulamasında gözlenmiştir. Ayçiçeği ile benzer olarak turp mikroyeşilliğinde de en yüksek TMAB inhibisyonu 10 cm mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C ile (sırasıyla 1,7 ve 2,9 log kob/g), en düşük TMAB inhibisyonu (sırasıyla 0,03 ve 0,13 log kob/g) ise 35 cm mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C uygulamasında gözlenmiştir (Tablo 27). Mukhopadhyay *et al.* (2014) domateslere uyguladığı UV-C'nin doz artışına bağlı olarak TMAB inhibisyonunun arttığını gözlemlemiştir. Collazo *et al.* (2018), brokolilere uygulamış olduğu 0,5 kJ/m² doza sahip UV-C sonrası mezofilik bakteri sayısında 2 log kob/g düzeyinde redüksiyon sağlamıştır.

Pinheiro *et al.* (2015) domateslere 0,97 ile 2,56 kJ/m² dozlarında uyguladığı UV-C ile toplam mezofilik bakteri popülasyonunda sırasıyla 0,6 ve 1,2 log kob/g düzeyinde inhibisyon sağladığını rapor etmiştir. Guan *et al.* (2012) kültür mantarı ile yaptığı çalışmada 0,225-0,90 kJ/m² doz UV-C uygulaması ile toplam aerobik bakteri popülasyonunda 0,63-0,89 log kob/g düzeyinde inhibisyon elde etmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen TMAB inhibisyon düzeyinin Collazo *et al.* (2018) ile benzer ancak diğer araştırmacıların bildirdiği inhibisyon düzeyinden daha fazla olduğu görülmektedir. İnhibisyon düzeyindeki bu farklılıklar UV-C uygulanan ürününün farklılığından kaynaklanmış olabilir. Nitekim birçok araştırmacı UV-C'nin uygulandığı gıdanın ve gıdanın yüzey özelliklerinin UV-C'nin etkinliğini değiştirebileceğini bildirmişlerdir (Syamaladevi *et al.* 2013, Adhikari *et al.* 2015, Fan *et al.* 2017). Ayrıca TMAB'yi oluşturan bakteri florasındaki çeşitliliğin inhibisyon düzeyinin daha yüksek olmasına neden olabileceği düşünülmektedir. Nitekim bakteri hücre duvarı kalınlığı, hücrelerin fizyolojik durumu, DNA molekülünün yapısı, bileşimi, boyutu ve DNA onarım yeteneğindeki farklılıklar mikroorganizmaların UV-C'ye karşı hassasiyetlerini etkilemektedir (Monteiro *et al.* 2021). Castro *et al.* (2019) yabani olmayan kültür mikroorganizmalarının besin rekabeti içinde olmadığı ve stres koşullarına maruz kalmadığından dolayı UV-C gibi olumsuz koşullara karşı direncinin daha az olduğunu bildirmiştir. Bu çalışma kapsamında yetiştirilen mikroyeşilliklerde

TMAB'yi oluşturan çoğunluğun kültür STEC O157:H7 olması nedeniyle inhibisyonun yüksek olduğu düşünülmektedir.

TMK inhibisyonu

STEC O157:H7 ile kontamine edilmiş perlitte yetiştirilen ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerine farklı süre, mesafe ve yönlerden uygulanan UV-C sonrası belirlenen TMK popülasyonları Tablo 27'de, varyans analiz sonuçları ise Tablo 29'de verilmiştir.

Tablo 29. STEC O157:H7 ile Kontamine Edilmiş Perlitte Yetiştirilen Ayçiçeği ve Turp Mikroyeşilliklerine Farklı Süre, Mesafe ve Yönlerden Uygulanan UV-C Sonrası Belirlenen TMK Popülasyonlarına Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik çeşidi (A)	1	45,176	0,000**
Yön (B)	1	117,571	0,000**
Mesafe (C)	2	143,364	0,000**
Süre (D)	6	253,344	0,000**
A*B	1	0,554	0,458
A*C	2	1,670	0,191
A*D	6	8,198	0,000**
B*C	2	10,073	0,000**
B*D	6	14,150	0,000**
C*D	12	9,186	0,000**
A*B*C	2	0,993	0,372
A*B*D	6	0,196	0,978
A*C*D	12	0,473	0,928
B*C*D	12	1,106	0,359
A*B*C*D	12	0,783	0,668
Hata	168		
Genel	252		

*(p<0,05) düzeyinde önemli; ** (p<0,01) düzeyinde önemli

TMK'nın inaktivasyonu üzerine mikroyeşillik çeşidi, yön, mesafe, süre, mikroyeşillik çeşidi x süre, yön x mesafe, yön x süre, mesafe x süre'nin etkisi p<0,01 düzeyinde önemli bulunmuştur. Mikroyeşillik çeşidi x yön, mikroyeşillik çeşidi x mesafe, mikroyeşillik çeşidi x yön x mesafe, mikroyeşillik çeşidi x yön x süre, mikroyeşillik çeşidi x mesafe x süre, yön x mesafe x süre ve mikroyeşillik çeşidi x yön x mesafe x süre'nin etkisi ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (p>0,05).

Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde en yüksek TMK inhibisyonu (sırasıyla 2,2 ve 1,8 log kob/g) 10 cm mesafeden 120 saniyede çift yönlü UV-C uygulamasında elde edilmiştir. Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde en düşük TMK inhibisyonu (0,05 ve 0,02 log kob/g) ise

35 cm mesafeden 5 s tek yönlü UV-C uygulamasında görülmüştür. Her iki mikroyeşillikteki TMK popülasyonunda tek yönlü UV-C'ye göre çift yönlü UV-C uygulama ile daha fazla inhibisyon elde edilmiştir (Tablo 27).

Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde TMK'nın inhibisyonunda UV-C uygulama mesafesinin önemli derecede etkili olduğu ve mesafe arttıkça inhibisyonun azaldığı gözlenmiştir. Ayçiçeği mikroyeşilliğinde en yüksek TMK inhibisyonu 10 cm mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C ile (sırasıyla 1,6 ve 2,2 log kob/g); en düşük TMK inhibisyonu (0,05 log kob/g) ise 35 cm mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C uygulamasında gözlenmiştir. Ayçiçeği ile benzer olarak turp mikroyeşilliğinde de en yüksek TMK inhibisyonu 10 cm mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C ile (sırasıyla 1,0 ve 1,8 log kob/g); en düşük TMK inhibisyonu (sırasıyla 0,02 ve 0,03 log kob/g) ise 35 cm mesafeden uygulanan tek ve çift yönlü UV-C uygulamasında gözlenmiştir. TMK'nın UV-C'ye bakterilerden daha dirençli olduğu, ancak doz artışına bağlı olarak TMK inhibisyonunun arttığı belirlenmiştir (Tablo 27). Benzer şekilde diğer araştırmalarda UV-C'nin doz artışına bağlı olarak domateslerde (Mukhopadhyay *et al.* 2014) ve karnabaharda (Tawema *et al.* 2016) maya ve küf inhibisyonunun arttığı gözlenmiştir. Manzocco *et al.* (2016) ise 0,2 kJ/m² doza sahip UV-C uygulaması ile ananastaki maya popülasyonunda 0,2 log kob/g, küf popülasyonunda ise 0,1 log kob/g düzeyinde redüksiyon sağladıklarını rapor etmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen inhibisyon değeri Manzocco *et al.* (2016)'nın bildirdiği inhibisyon değerinden daha fazladır. Bu durum mikrobiyotadaki farklılıklardan kaynaklanabileceği gibi (Monteiro *et al.* 2021), ürün farklılığından da kaynaklanmış olabilir. Nitekim ananas sap yüzeyinin mikroorganizmaların tutunmasını sağlayan tipik bir pürüzlülüğe sahip olduğu (Rohrbach and Johnson 2003) ve UV-C'nin ulaşamadığı gölge bölgelerde kalan mikrobiyotanın varlığını sürdürebileceği bildirilmiştir (Manzocco *et al.* 2016).

UV-C sonrası mikroyeşilliklerin depolanması

Ayçiçeği mikroyeşilliklerinde 10 cm'den 120 saniye UV-C uygulamasında duyuşal olarak herhangi bir değişiklik görölmemekle birlikte, turp mikroyeşilliklerinde 10 cm'den 120 saniye uygulaması sonucunda mikroyeşilliklerde solma ve istenmeyen (pişmiş) koku algılanmıştır. Çalışma kapsamında uygulanacak UV-C işleminin, ürünün özelliklerinde duyuşal herhangi bir değişikliğe neden olması istenmediğinden, en uygun olan mesafe-süre kombinasyonu tercih edilmiştir. Bu nedenle 10 cm'den 60 saniye çift yönlü UV-C uygulanmış mikroyeşillik örnekleri 14 gün boyunca depolanarak (4 ± 2 °C) patojen, TMAB ve TMK popölasyonları değerlendirilmiştir. Depolama periyodu boyunca mikroyeşilliklerin patojen popölasyonunda meydana gelen değişim Tablo 30'da gösterilmiştir.



Tablo 30. UV-C Sonrası Depolama Periyodunda Ayçiçeği ve Turp Mikroyeşilliklerindeki *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* Popülasyonunda Meydana Gelen Değişim (log kob/g)

Depolama (gün)	<i>S. enterica</i>		STEC O157:H7		<i>L. monocytogenes</i>	
	Ayçiçeği	Turp	Ayçiçeği	Turp	Ayçiçeği	Turp
0	2,19±0,20 ^{Dd}	3,76±0,10 ^{Cc}	4,33±0,27 ^{Bb}	4,93±0,19 ^{Ab}	1,96±0,24 ^{Dd}	4,07±0,18 ^{BCa}
1	2,61±0,24 ^{Ccd}	3,86±0,12 ^{Bbc}	4,41±0,37 ^{Bb}	5,08±0,19 ^{Ab}	2,74±0,18 ^{Cc}	4,16±0,12 ^{Ba}
3	2,95±0,15 ^{Dbc}	4,10±0,25 ^{Cabc}	4,68±0,24 ^{ABb}	5,15±0,05 ^{Aab}	3,13±0,07 ^{Dbc}	4,35±0,19 ^{BCa}
5	3,18±0,16 ^{Dab}	4,21±0,11 ^{Cab}	4,83±0,12 ^{ABab}	5,24±0,20 ^{Aab}	3,22±0,16 ^{Dab}	4,43±0,22 ^{BCa}
7	3,45±0,18 ^{Da}	4,40±0,16 ^{Ca}	5,01±0,28 ^{Bab}	5,59±0,18 ^{Aa}	3,42±0,14 ^{Dab}	4,48±0,12 ^{Ca}
14	3,56±0,13 ^{Ca}	4,46±0,09 ^{Ba}	5,39±0,16 ^{Aa}	5,61±0,18 ^{Aa}	3,64±0,06 ^{Ca}	4,36±0,28 ^{Ba}

A, B, C, D, E, F: aynı satırda istatistiksel olarak farklılığı, a, b, c, d, e, f, g, h, i, j: aynı sütundaki istatistiksel farklılığı gösterir, (p<0,05).

Depolama periyodu boyunca *S. enterica* popülasyon değişimine ait varyans analiz sonuçları Tablo 31’de verilmiştir. *S. enterica* popülasyonu üzerine mikroyeşillik çeşidi ve depolama süresinin etkisi $p<0,01$ düzeyinde, mikroyeşillik çeşidi x depolama süresinin etkisi ise $p<0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tablo 31. UV-C Sonrası *S. enterica* Popülasyonuna Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik çeşidi (A)	1	434,923	0,000**
Depolama (B)	5	35,299	0,000**
A*B	5	3,405	0,018*
Hata	24		
Genel	36		

*($p<0,05$) düzeyinde önemli; ** ($p<0,01$) düzeyinde önemli

Depolama periyodu boyunca STEC O157:H7 popülasyon değişimine ait varyans analiz sonuçları Tablo 32’de verilmiştir. STEC O157:H7 popülasyonu üzerine mikroyeşillik çeşidi ve depolama süresinin etkisi $p<0,01$ düzeyinde önemli bulunmuş, mikroyeşillik çeşidi x depolama süresi interaksiyonunun etkisi ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$).

Tablo 32. UV-C Sonrası STEC O157:H7 Popülasyonuna Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik çeşidi (A)	1	46,638	0,000**
Depolama (B)	5	13,987	0,000**
A*B	5	0,868	0,517
Hata	24		
Genel	36		

*($p<0,05$) düzeyinde önemli; ** ($p<0,01$) düzeyinde önemli

Depolama periyodu boyunca *L. monocytogenes* popülasyon değişimine ait varyans analiz sonuçları Tablo 33’de verilmiştir. *L. monocytogenes* popülasyonu üzerine mikroyeşillik çeşidi, depolama süresi ve mikroyeşillik çeşidi x depolama süresinin etkisi $p<0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tablo 33. UV-C Sonrası *L. monocytogenes* Popülasyonuna Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik çeşidi (A)	1	485,121	0,000**
Depolama (B)	5	27,129	0,000**
A*B	5	10,569	0,000**
Hata	24		
Genel	36		

*($p<0,05$) düzeyinde önemli; ** ($p<0,01$) düzeyinde önemli

Tablo 30’da sunulan veriler incelendiğinde, ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde depolama süresince STEC O157:H7, *S. enterica* ve *L. monocytogenes* popülasyonlarında artış meydana geldiği görülmüştür. Depolama süresi sonunda, ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerindeki STEC O157:H7 popülasyonu sırasıyla 1,1 ile 0,7 log kob/g, *S. enterica* popülasyonu 1,4 ile 0,7 log kob/g ve *L. monocytogenes* popülasyonu ise 1,7 ile 0,3 log kob/g artmıştır. Mezofilik özellik gösteren STEC O157:H7 ve *S. enterica* popülasyonlarındaki artış, buzdolabı sıcaklığındaki saklama koşullarında bile devam ettiği için, mikroyeşilliklerin muhtemel kontaminasyon sonrası riskinin artacağına işaret etmektedir. Araştırma bulgularıyla benzer olarak Tawema *et al.* (2016), 5 ve 10 kJ/m² doz UV-C uyguladıktan sonra 5 °C’de 14 gün depoladıkları karnabaharlarda *E. coli* O157:H7 popülasyonunun sırasıyla 2,50 ve 3,32 log, *L. monocytogenes* popülasyonunun ise 2,77 ve 3,00 log kob/g artış gösterdiğini rapor etmiştir. Araştırmacılar bu artışın yüksek dozda UV-C’nin sebze yüzeyinde hafif doku hasarına yol açması nedeniyle bakterilerin çoğalması için gerekli olan besinlere daha kolay ulaşmasından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Escalona *et al.* (2010) ise bebek ıspanaklarına farklı dozlarda UV-C uygulayarak 5 °C’de 14 gün süren depolama sürecinde *S. enterica* ve *L. monocytogenes* popülasyonunda meydana gelen değişimi incelemişlerdir. 2,4-24 kJ/m² doz UV-C uygulanmış örneklerde depolama başlangıcında 2,2–2,9 log kob/g düzeyinde olan *L. monocytogenes* popülasyonunun depolama periyodu sonunda başlangıcına göre arttığını 2,4-12 kJ/m² doz UV-C uygulanan örneklerde popülasyonun 3,6-4,2 log kob/g arasında değiştiğini ancak 24 kJ/m² doz uygulanmış örneklerde popülasyonun daha fazla artarak 4,5 log kob/g’a yükseldiğini rapor etmişlerdir. Araştırmacılar depolama periyodu başlangıcında kontrol grubu örneklerde *S. enterica* popülasyonunun 5,1 log kob/g, 2,4-24 kJ/m² UV-C uygulanmış örneklerde ise 3,5-4,4 log kob/g olduğunu bildirmişlerdir. Depolama sonunda kontrol grubu örneklerde popülasyon 5,9 log kob/g’a yükselirken UV-C uygulanmış örneklerde daha yüksek değerlere ulaşarak 6,2-7 log kob/g’a yükselmiştir. Araştırmacılar UV-C uygulanmış örneklerde hafif doku hasarının ve diğer bakteri gruplarıyla rekabetin azalmasının *S. enterica* popülasyonunun kontrol grubundan daha yüksek değerlere ulaşmasında etkili olabileceğini rapor etmişlerdir. Mikroyeşilliklerin hassas dokuya sahip olması ve turp mikroyeşilliklerinde 120 saniye uygulama sonrası hissedilen pişmiş koku, UV-C’nin 60 s uygulama sonrası dokularda gözle görülme bile hafif hasarlara yol açtığı ve buna bağlı olarak depolama periyodunda tüm mikroorganizma gruplarında popülasyonun artmasına neden olduğu düşünülmektedir.

TMAB popülasyonu üzerine mikroyeşillik çeşidi ve depolama süresinin etkisi $p < 0,01$ düzeyinde önemli bulunmuş, mikroyeşillik çeşidi x depolama süresi interaksyonunun etkisi ise

istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Depolama periyodu boyunca TMAB popülasyon değişimine ait veriler Tablo 34, varyans analiz sonuçları ise Tablo 35’te verilmiştir.

Tablo 34. UV-C Sonrası Depolama Periyodunda Ayçiçeği ve Turp Mikroyeşilliklerindeki TMAB ve TMK Popülasyonunda Meydana Gelen Değişim

Depolama (gün)	TMAB		TMK	
	Ayçiçeği	Turp	Ayçiçeği	Turp
0	4,94±0,09 ^{Bd}	5,46±0,20 ^{Ab}	2,84±0,11 ^{Ab}	2,95±0,27 ^{Ad}
1	5,23±0,20 ^{Ac}	5,60±0,14 ^{Aab}	2,87±0,19 ^{Ab}	3,06±0,19 ^{Ac}
3	5,51±0,11 ^{Bbc}	5,89±0,06 ^{Aab}	2,93±0,17 ^{Bab}	3,48±0,16 ^{Abc}
5	5,71±0,16 ^{Aab}	6,08±0,34 ^{Aa}	3,11±0,12 ^{Bab}	3,73±0,14 ^{Aab}
7	5,91±0,19 ^{Aab}	6,02±0,23 ^{Aab}	3,20±0,34 ^{Bab}	3,88±0,22 ^{Aab}
14	6,01±0,15 ^{Aa}	6,06±0,14 ^{Aa}	3,47±0,22 ^{Ba}	4,22±0,11 ^{Aa}

A, B, C, D, E, F: aynı satırda istatistiksel olarak farklılığı, a, b, c, d, e, f, g, h, i, j: aynı sütundaki istatistiksel farklılığı gösterir, ($p<0,05$).

Tablo 35. UV-C Sonrası TMAB Popülasyonuna Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik çeşidi	1	26,528	0,000**
(A)			
Depolama (B)	5	20,613	0,000**
A*B	5	1,078	0,397
Hata	24		
Genel	36		

*($p<0,05$) düzeyinde önemli; ** ($p<0,01$) düzeyinde önemli

Depolama başlangıcında ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerindeki (10 cm’den 60 saniye çift yönlü UV-C uygulanmış) TMAB popülasyonu sırasıyla 4,9 ile 5,5 log kob/g olarak belirlenmiştir. 14 günlük depolama periyodunda hem ayçiçeği hem de turp mikroyeşilliklerindeki TMAB popülasyonunda başlangıca göre önemli düzeyde ($p<0,05$) artış meydana gelmiştir. 14 günlük depolama periyodu sonunda ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde TMAB popülasyonu sırasıyla 1,1 ile 0,7 log kob/g düzeyinde artış göstermiştir (Tablo 34). Araştırma bulgularıyla benzer olarak Fonseca and Acele (2006) 4,1 kj/m² doz UV-C uygulanmış taze kesilmiş karpuzları 3 °C’de 7 gün muhafaza etmiş ve depolama boyunca aerobik mikrobiyal yükünün depolama periyodunca arttığını rapor etmiştir. George *et al.* (2015) farklı sürelerde UV-C uyguladıktan sonra 4 °C’de depoladıkları mango ve ananas örneklerinin tümünde 15 günlük depolama boyunca aerobik bakteri popülasyonunda artış meydana geldiğini rapor etmiştir. López-López-Rubira *et al.* (2005) Ekim ve Kasım aylarında hasat edilen nar tanelerine UV-C uygulandıktan sonra pasif modifiye atmosfer oluşturulmuş ambalajda 5 °C’de muhafaza ettiklerini ve 13-15 güne kadar sakladıkları bu örneklerde nar tanelerindeki mezofilik bakteri popülasyonunun arttığını bildirmişlerdir. Wang

et al. (2019) farklı sürelerde UV-C uyguladığı taze kesilmiş nilüfer köklerindeki toplam bakteri sayısının tüm örneklerde depolama periyodunca arttığını rapor etmiştir. Artés-Hernández *et al.* (2009) farklı dozlarda (0; 4,54; 7,94; 11,35 kJ/m^2) UV-C uyguladıktan sonra depolama başlangıcında mezofilik bakteri popülasyonu 4,1-4,9 log kob/g düzeyinde olan örnekleri pasif modifiye atmosfer şartlarında 5 ve 8 °C’de muhafaza etmiş, 13 günlük depolama periyodunda 5 °C’de muhafaza edilen örneklerde mezofilik bakteri popülasyonunun 8,8 log kob/g’a, 8 °C’de depolanan örneklerde ise 9,0 log kob/g’a kadar yükseldiğini belirlemiştir. Araştırmacılar uygulanan yüksek UV-C dozlarının ıspanak yapraklarında doku hasarına neden olarak besin maddelerini mikrobiyal büyüme için kullanılabilir hale getirdiğini bildirmişlerdir.

Depolama periyodu boyunca TMK popülasyon değişimine ait veriler Tablo 34, varyans analiz sonuçları ise Tablo 36’da verilmiştir. TMK popülasyonu üzerine mikroyeşillik çeşidi ve depolama süresinin etkisi $p<0,01$ düzeyinde, mikroyeşillik çeşidi x depolama süresinin etkisi ise $p<0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tablo 36. UV-C Sonrası TMK Popülasyonuna Ait Varyans Analiz Sonuçları

Varyasyon Kaynağı	SD	F	P
Mikroyeşillik çeşidi (A)	1	54,438	0,000**
Depolama (B)	5	20,280	0,000**
A*B	5	2,751	0,042*
Hata	24		
Genel	36		

*($p<0,05$) düzeyinde önemli; ** ($p<0,01$) düzeyinde önemli

Depolama başlangıcında ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde TMK popülasyonu sırasıyla 2,8 ile 3,0 log kob/g olarak belirlenmiştir. 14 günlük depolama periyodunda hem ayçiçeği hem de turp mikroyeşilliklerindeki TMK popülasyonunda başlangıca göre önemli düzeyde ($p<0,05$) artış meydana gelmiştir. 14 günlük depolama periyodu sonunda ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde TMK popülasyonu sırasıyla 0,6 ile 1,3 log kob/g düzeyinde artış göstermiştir (Tablo 36). George *et al.* (2015) farklı sürelerde UV-C uyguladıktan sonra 4 °C’de depoladıkları mango ve ananas örneklerinin tümünde depolama boyunca maya ve küf popülasyonunda artış meydana geldiğini bildirmiştir. Tawema *et al.* (2016) 5 ve 10 kJ/m^2 doz UV-C uyguladıkları karnabaharlardaki toplam maya-küf popülasyonunun 5 °C’de 14 gün depolama sonunda başlangıca göre 1,4 ve 2,1 log kob/g düzeyinde artış gösterdiğini bildirmiştir. Manzocco *et al.* (2016) 0,2 kJ/m^2 doz UV-C uyguladıkları PA/PE torbalarda 6 °C’de 15 gün depoladıkları ananas saptarındaki maya popülasyonunun depolama sonunda başlangıca göre arttığını tespit etmişlerdir. López-Rubira *et al.* (2005) farklı zamanlarda (Ekim

ve Kasım ayları) hasat edilen UV-C uygulandıktan sonra 5 °C’de pasif modifiye atmosfer oluşturulmuş ambalajda muhafaza ettikleri nar tanelerinde 13-15 gün boyunca maya popülasyonunun arttığını bildirmişlerdir. Manzocco *et al.* (2011)’de 1,2 kj/m² doz UV-C uyguladıkları kavun küplerindeki maya ve küf popülasyonunun 14 günlük depolama periyodu sonunda başlangıca göre arttığını bildirmiştir.

UV-C uygulamasının mikroyeşilliklerin renk değerleri üzerine etkisi

Mikroyeşilliklere UV-C uygulamasında en uygun dozun belirlenmesi önemlidir. İdeal dozun belirlenmesinde yüksek seviyede patojen inhibisyonunun yanı sıra, mikroyeşilliklerin duyuşal özelliklerinde herhangi bir değışikliğin olmaması kritik önem taşımaktadır. Ayçiçeğı ve turp mikroyeşilliklerine farklı süre, mesafe ve açılardan UV-C işlemleri sonrasında, 120 saniyede çift yönlü uygulamada en yüksek patojen inhibisyonunun sağlandığı belirlenmiştir.

Ayçiçeğı mikroyeşilliklerinin UV-C işlemleri sonrasında renk değerlerinde anlamlı bir değışiklik tespit edilmezken (Tablo 37), turp mikroyeşilliklerinde 120 saniye UV-C uygulaması renk değışikliğine (Tablo 38), bitki dokusunda solmaya ve pişmiş kokuya neden olmuştur. Bu durum, mikroyeşilliklerin renk özelliklerindeki değışimin bitki türüne ve uygulanan UV-C dozuna bağılı olarak değışebileceğini göstermektedir.

CIELAB renk modelinde L^* değeri rengin parlaklığını ($L^* = 0$ için siyah, $L^* = 100$ için beyaz), a^* değeri kırmızı (+) ve yeşili (-), b^* değeri ise sarıyı (+) ve maviyi (-) temsil etmektedir (İbraheem *et al.* 2012). Renk özellikleri açısından genel olarak bir değışiklik gözlemlenmezken, sadece turp mikroyeşilliklerinde 10 cm mesafeden 120 saniye uygulanan UV-C işlemleri sonrasında L^* , b^* değerlerinde azalma, a^* değerinde ise artış tespit edilmiştir ($p < 0,05$). Benzer şekilde, Ding and Ling (2014), muz meyve kabuklarına uyguladıkları UV-C sonrasında L^* ve b^* değerinin doz artışıyla genel olarak azaldığını, b^* değerinin ise azaldığını rapor etmişlerdir. Kasim and Kasim (2012) ise 30 cm mesafeden 10, 20 ve 30 dk süreyle UV-C uygulayarak 7 gün depoladığı paketlenmiş tere yapraklarının a^* ve b^* değerlerinin UV-C süre artışına paralel olarak azaldığını, L^* değerinin de 10 ve 20 dk uygulanmış yapraklarda kontrol grubuna göre daha düşük olduğunu bildirmişlerdir.

Bu bulgular, UV-C uygulamasında ideal dozun bitki türüne göre değışebileceğini ve ayçiçeğı mikroyeşilliklerinin turp mikroyeşilliklerine göre daha yüksek UV-C dozlarına dayanıklı olduğunu göstermektedir. Turp mikroyeşilliklerindeki renk ve doku özelliklerindeki bu değışim, kotiledon ve hipokotil gibi daha ince ve yumuşak dokuların varlığından kaynaklanmış olabilir. Bu sonuçlar, UV-C işleminin bitki türüne ve özelliklerine göre uygulanması gerektiğini vurgulamaktadır.

Tablo 37. Farklı Süre, Mesafe ve Yönlerden Uygulanan UV-C Sonrası Ayçiçeği Mikroyeşilliğine Ait Renk Değerleri

Mesafe (cm)	Süre (s)	<i>L</i> *		<i>a</i> *		<i>b</i> *	
		Tek yön	Çift yön	Tek yön	Çift yön	Tek yön	Çift yön
10	0	39,07±3,58 ^{Aa}	39,95±0,71 ^{Aa}	-14,08±0,24 ^{Aa}	-14,67±0,62 ^{Aa}	25,45±1,33 ^{Aab}	24,65±1,29 ^{Aab}
	5	39,54±1,92 ^{Aa}	42,20±4,47 ^{Aa}	-14,42±0,25 ^{Aa}	-14,79±0,62 ^{Aa}	25,80±1,77 ^{Aa}	26,14±0,63 ^{Aa}
	10	41,84±1,83 ^{Aa}	41,60±0,73 ^{Aa}	-14,25±0,24 ^{Aa}	-14,77±0,16 ^{Aa}	25,01±0,10 ^{Aabc}	24,90±0,85 ^{Aab}
	20	39,52±1,30 ^{Aa}	40,85±2,07 ^{Aa}	-14,08±0,44 ^{Aa}	-14,48±0,62 ^{Aa}	24,82±0,68 ^{Aabc}	23,77±0,52 ^{Aab}
	30	39,60±1,52 ^{Aa}	40,49±0,83 ^{Aa}	-14,30±0,40 ^{Aa}	-14,61±0,34 ^{Aa}	22,59±0,48 ^{Aabcde}	23,44±0,89 ^{Aab}
	60	40,84±1,70 ^{Aa}	40,91±2,41 ^{Aa}	-14,22±0,66 ^{Aa}	-14,65±0,48 ^{Aa}	23,98±1,10 ^{Aabcd}	24,08±1,78 ^{Aab}
	120	40,51±1,48 ^{Aa}	40,69±0,71 ^{Aa}	-14,11±0,69 ^{Aa}	-14,46±0,72 ^{Aa}	23,35±1,08 ^{Aabcde}	23,19±1,33 ^{Aab}
20	0	40,09±0,78 ^{Aa}	40,42±1,16 ^{Aa}	-14,12±0,19 ^{Aa}	-14,48±0,32 ^{Aa}	23,29±0,21 ^{Ade}	23,99±1,22 ^{Ab}
	5	40,34±0,36 ^{Aa}	40,54±0,72 ^{Aa}	-14,33±0,09 ^{Aa}	-14,20±0,06 ^{Aa}	23,73±0,29 ^{Ae}	23,11±0,54 ^{Ab}
	10	40,00±0,92 ^{Aa}	40,48±0,96 ^{Aa}	-13,93±0,09 ^{Aa}	-14,26±0,38 ^{Aa}	23,27±1,29 ^{Ae}	23,11±1,25 ^{Ab}
	20	40,22±0,50 ^{Aa}	40,74±0,07 ^{Aa}	-14,13±0,40 ^{Aa}	-14,38±0,16 ^{Aa}	23,46±1,80 ^{Ae}	23,55±0,78 ^{Ab}
	30	39,07±1,28 ^{Aa}	40,80±0,83 ^{Aa}	-14,25±0,19 ^{Aa}	-14,68±0,34 ^{Aa}	23,41±0,39 ^{Ae}	24,58±1,03 ^{Aab}
	60	39,33±1,19 ^{Aa}	40,50±0,64 ^{Aa}	-14,27±0,04 ^{Aa}	-14,49±0,47 ^{Aa}	23,82±0,69 ^{Ade}	23,97±1,61 ^{Ab}
	120	40,50±1,03 ^{Aa}	40,68±0,48 ^{Aa}	-14,38±0,13 ^{Aa}	-14,54±0,23 ^{Aa}	23,67±0,52 ^{Ade}	24,38±0,87 ^{Aab}
35	0	39,83±0,65 ^{Aa}	39,30±0,95 ^{Aa}	-14,18±0,37 ^{Aa}	-14,36±0,63 ^{Aa}	24,86±1,46 ^{Acde}	24,09±0,83 ^{Ab}
	5	40,31±1,63 ^{Aa}	39,24±1,66 ^{Aa}	-14,34±0,14 ^{Aa}	-14,57±1,03 ^{Aa}	25,19±0,34 ^{Abcde}	24,72±1,83 ^{Aab}
	10	41,52±2,17 ^{Aa}	40,80±1,03 ^{Aa}	-14,40±0,24 ^{Aa}	-14,55±0,44 ^{Aa}	25,44±0,83 ^{Aabcde}	24,06±0,96 ^{Ab}
	20	42,04±1,70 ^{Aa}	39,34±0,23 ^{Aa}	-14,26±0,43 ^{Aa}	-14,30±0,65 ^{Aa}	25,61±1,69 ^{Aabcde}	24,24±3,46 ^{Ab}
	30	40,19±2,35 ^{Aa}	41,58±1,37 ^{Aa}	-14,12±0,17 ^{Aa}	-14,37±1,17 ^{Aa}	24,76±1,21 ^{Acde}	24,50±2,46 ^{Aab}
	60	41,65±1,48 ^{Aa}	42,37±1,05 ^{Aa}	-14,06±0,38 ^{Aa}	-14,15±0,65 ^{Aa}	24,91±1,52 ^{Acde}	23,66±1,03 ^{Ab}
	120	41,90±1,17 ^{Aa}	41,12±1,89 ^{Aa}	-13,71±0,41 ^{Aa}	-14,03±0,46 ^{Aa}	24,23±1,41 ^{Ade}	24,52±3,01 ^{Aab}

A, B, C, D, E, F: aynı satırda istatistiksel olarak farklılığı, a, b, c, d, e, f, g, h, i, j: aynı sütundaki istatistiksel farklılığı gösterir, (p<0,05).

Tablo 38. Farklı Süre, Mesafe ve Yönlerden Uygulanan UV-C Sonrası Turp Mikroyeşilliğine Ait Renk Değerleri

Mesafe (cm)	Süre (s)	<i>L</i> *		<i>a</i> *		<i>b</i> *	
		Tek yön	Çift yön	Tek yön	Çift yön	Tek yön	Çift yön
10	0	41,28±0,18 ^{Aab}	40,66±1,36 ^{Aa}	-14,90±0,09 ^{Aa}	-14,70±0,16 ^{Abc}	27,10±0,57 ^{Aa}	27,70±0,04 ^{Aa}
	5	41,27±1,74 ^{Aab}	41,54±1,33 ^{Aa}	-14,96±0,64 ^{Aa}	-14,46±0,30 ^{Abc}	26,46±0,36 ^{Aa}	26,06±0,16 ^{Ab}
	10	42,78±0,60 ^{Aa}	42,23±1,51 ^{Aa}	-14,93±0,74 ^{Aa}	-14,96±0,15 ^{Ac}	26,87±1,03 ^{Aa}	26,61±1,62 ^{Aab}
	20	40,73±1,40 ^{Aab}	41,70±1,66 ^{Aa}	-14,96±0,67 ^{Aa}	-14,74±0,86 ^{Abc}	27,36±0,10 ^{Aa}	27,16±0,63 ^{Aab}
	30	41,44±0,94 ^{Aa}	40,61±1,13 ^{Aa}	-15,01±0,56 ^{Aa}	-14,51±0,54 ^{Abc}	27,26±0,57 ^{Aa}	27,19±0,42 ^{Aab}
	60	41,97±1,60 ^{Aa}	41,10±1,28 ^{Aa}	-14,57±0,84 ^{Aa}	-14,49±0,65 ^{Abc}	27,18±0,57 ^{Aa}	26,71±0,38 ^{Aab}
	120	37,55±1,42 ^{Ab}	36,92±1,60 ^{Ab}	-12,48±0,59 ^{Ab}	-12,33±0,21 ^{Aa}	23,01±1,80 ^{Ab}	22,77±0,53 ^{Ac}
20	0	42,00±1,57 ^{Aa}	40,82±0,38 ^{Aa}	-14,36±0,21 ^{Aa}	-14,86±0,21 ^{Abc}	27,34±0,26 ^{Aa}	27,53±0,16 ^{Aab}
	5	41,63±0,61 ^{Aa}	40,88±0,39 ^{Aa}	-14,12±0,13 ^{Aa}	-14,29±0,18 ^{Abc}	27,05±0,18 ^{Aa}	26,96±0,42 ^{Aab}
	10	41,64±0,93 ^{Aa}	41,07±0,54 ^{Aa}	-14,05±0,40 ^{Aa}	-14,05±0,14 ^{Abc}	27,26±0,22 ^{Aa}	27,99±0,20 ^{Aa}
	20	42,45±1,24 ^{Aa}	41,76±0,89 ^{Aa}	-14,11±0,10 ^{Aa}	-14,62±0,09 ^{Abc}	27,11±0,29 ^{Aa}	27,03±0,45 ^{Aab}
	30	41,28±0,15 ^{Aab}	41,20±0,41 ^{Aa}	-14,08±0,20 ^{Aa}	-13,59±1,19 ^{Aab}	26,84±0,31 ^{Aa}	26,99±0,42 ^{Aab}
	60	41,53±1,17 ^{Aa}	41,47±0,63 ^{Aa}	-14,25±0,06 ^{Aa}	-14,39±0,48 ^{Abc}	27,04±0,58 ^{Aa}	27,30±0,34 ^{Aab}
	120	41,52±1,59 ^{Aa}	41,99±0,21 ^{Aa}	-14,26±0,26 ^{Aa}	-14,66±0,26 ^{Abc}	27,27±0,85 ^{Aa}	27,41±0,13 ^{Aab}
35	0	41,66±1,41 ^{Aa}	41,74±0,38 ^{Aa}	-14,14±0,25 ^{Aa}	-14,21±0,21 ^{Abc}	27,25±0,48 ^{Aa}	27,28±0,28 ^{Aab}
	5	41,57±1,46 ^{Aa}	41,18±0,66 ^{Aa}	-14,16±0,08 ^{Aa}	-14,65±0,42 ^{Abc}	26,78±0,35 ^{Aa}	26,86±0,11 ^{Aab}
	10	41,04±1,60 ^{Aab}	41,50±0,78 ^{Aa}	-13,98±0,14 ^{Aa}	-14,46±0,13 ^{Abc}	27,22±0,12 ^{Aa}	26,98±0,20 ^{Aab}
	20	41,78±1,98 ^{Aa}	41,77±0,19 ^{Aa}	-14,08±0,12 ^{Aa}	-14,49±0,13 ^{Abc}	27,27±0,34 ^{Aa}	27,36±0,11 ^{Aab}
	30	41,23±0,09 ^{Aab}	41,74±0,49 ^{Aa}	-14,05±0,05 ^{Aa}	-14,50±0,22 ^{Abc}	27,06±0,16 ^{Aa}	26,94±0,10 ^{Aab}
	60	41,06±0,10 ^{Aab}	41,07±0,54 ^{Aa}	-14,07±0,08 ^{Aa}	-14,53±0,10 ^{Abc}	27,05±0,31 ^{Aa}	27,05±0,38 ^{Aab}
	120	40,91±1,16 ^{Aab}	41,68±0,26 ^{Aa}	-14,09±0,10 ^{Aa}	-14,53±0,28 ^{Abc}	26,97±0,29 ^{Aa}	27,23±0,28 ^{Aab}

A, B, C, D, E, F: aynı satırda istatistiksel olarak farklılığı, a, b, c, d, e, f, g, h, i, j: aynı sütundaki istatistiksel farklılığı gösterir, (p<0,05).

Glo-Germ Tozu ile Mikroyeşilliklere Patojen Transferinin Görselleştirilmesi ve SEM ile Görüntülenmesi

Araştırmanın üçüncü bölümünde patojenlerin mikroyeşillik yüzeyinde muhtemel lokalizasyonlarının tespiti, abiyotik vekil olarak Glo-Germ tozunun etkinliğinin belirlenmesi ve SEM analizi ile Glo-Germ'in mikroyeşillikler üzerinde varlığının tespiti amaçlanmıştır.

Glo-Germ tozu kullanımı

Glo-Germ tozu ile kaplanmış tohumlardan yetiştirilen ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinin UV-C ışık altında adaksiyal (üst) ve abaksiyal (alt) yüzeylerine ait görüntüler Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Glo-Germ tozu ile kaplanmış tohumlardan yetiştirilen ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinin UV-C ışık altında adaksiyal (üst) ve abaksiyal (alt) yüzeylerine ait görüntüler

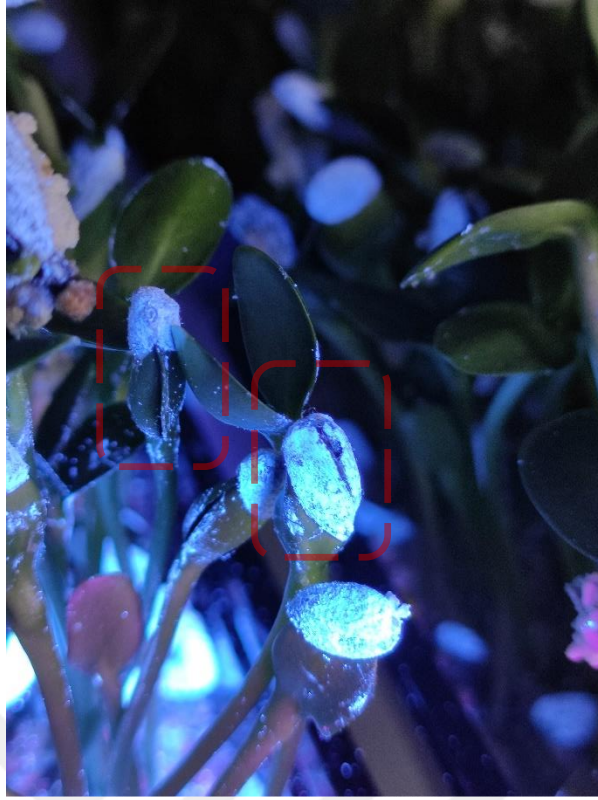
UV-C ışık altında incelendiğinde hipokotil, kotiledon ve gerçek yaprak olmak üzere mikroyeşilliklerin yenilebilir kısımlarının tamamında floresan ışımanın olduğu görülmüştür. Her iki mikroyeşilliğin abaksiyal yüzeylerinde, adaksiyal yüzeylerine göre daha fazla ışıma gözlenmiştir (Şekil 11). Benzer şekilde Beattie and Lindow (1999) yaprakların abaksiyal yüzeylerinde adaksiyal yüzeye göre daha fazla abiyotik vekil yoğunluğuna sahip olduğunu

bildirmiştir. Bu durum kotiledonların abaksial yüzeylerindeki patojen yoğunluğunun daha fazla olabileceğine işaret etmektedir. Her iki mikroyeşillikte kotiledonun kenar kısımlarında daha fazla floresan ışımaya gözlenmiştir. Mikroyeşilliklerin büyüme aşamasındaki fizyolojisinden dolayı bu bölgelerde ışımanın daha fazla olduğu düşünülmektedir. Nitekim Şekil 11’ de büyüme aşamasındaki ayçiçeği ve turp mikroyeşillikleri incelendiğinde kotiledonların abaksial yüzeyleri ve kenar kısımlarının kontamine tohum kabuğuna doğrudan temas ettiği görülmektedir. Şekil 11’ de turp mikroyeşilliklerinde kotiledonun yarı kapalı halindeyken abaksial kısımlarında yoğun floresan ışımaya gözlenirken, gelişmiş kotiledonun adaksial kısımlarında floresan ışımanın az olduğu ya da hiç olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 11. Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde kotiledonun abaksial yüzeylerini abiyotik vekilin kontaminasyonu (kesikli çizgilerle gösterilmiştir)

Tohumların kontamine olması halinde patojenlerin mikroyeşilliklere transfer olabileceği araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Xiao *et al.* 2015; Wright and Holden, 2018). UV-C ışık altında mikroyeşillikler incelendiğinde mikroyeşilliklere patojen kontaminasyonunun sadece kendi kontamine tohumundan kaynaklanmadığı, kontamine tohum ve mikroyeşilliklerin temas ettiği diğer mikroyeşillik dokularını da kontamine ettiği görülmüştür (Şekil 12).



Şekil 12. Kontamine tohumların diğer mikroyeşilliklere teması

Abiyotik vekilin mikroyeşillik dokularına kontaminasyonu, mikroyeşilliğin türünden, tohum kabuğunun tipi ve boyutundan, tohumun boyutundan ve çimlenme hızından etkilenebilmektedir (Işık *et al.* 2022). Bu nedenle mikroyeşillikler üzerinde abiyotik vekilin yoğun olduğu ve az olduğu/olmadığı bölgelerde *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* popülasyon farklılığının tespit edilmesi önem taşımaktadır. Bu amaçla ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinin kotiledonlarında ısımanın yoğun olduğu ve olmadığı/az olduğu bölgelerden örnekleme yapılarak patojen popülasyonları tespit edilmiştir (Tablo 39).

Tablo 39. Patojenler ile Kontamine Perlitte Glo-Germ ile Kaplı Tohumlar Kullanılarak Yetiştirilen Mikroyeşilliklerde Floresan Işıma Düzeyine Göre Popülasyon Değişimi

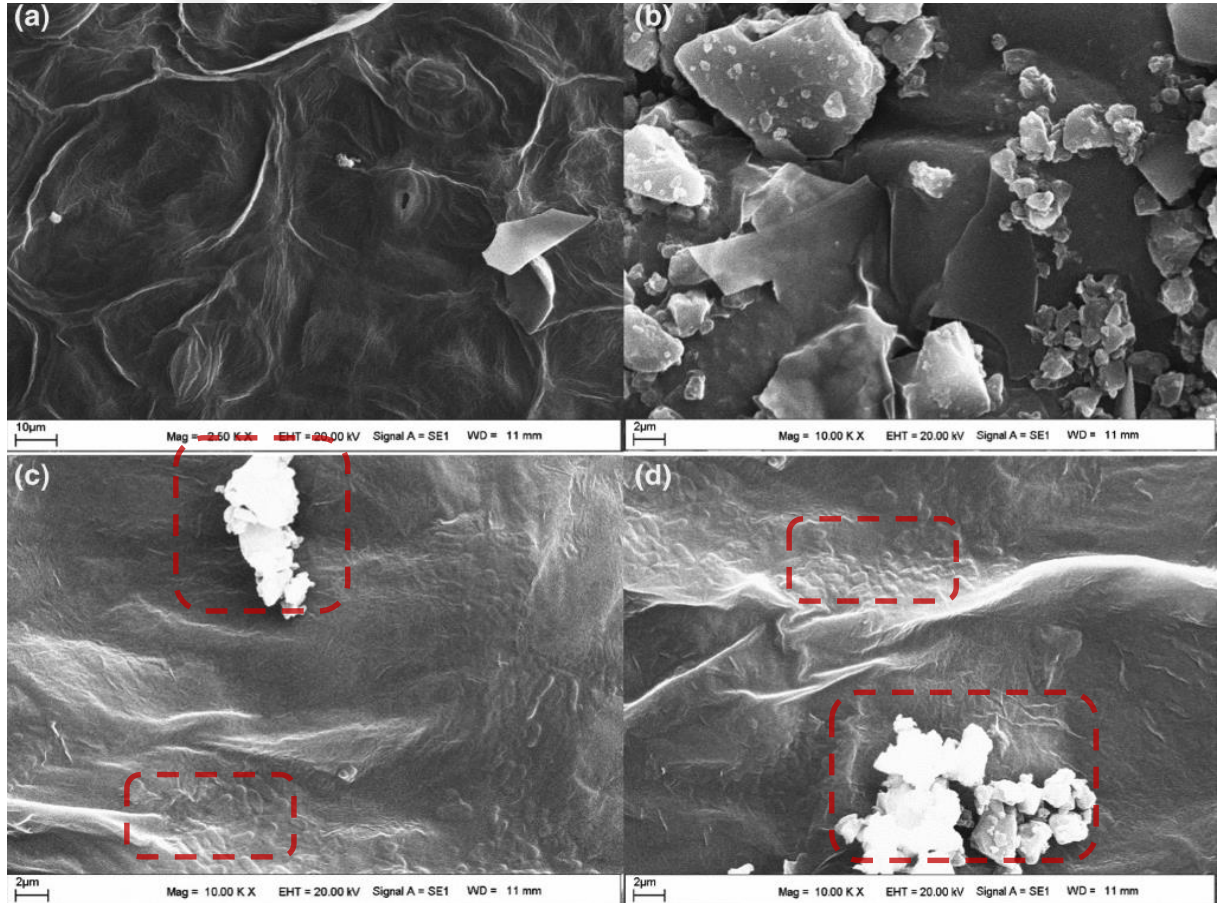
Floresan ışıma düzeyi	<i>S. enterica</i>		STEC O157:H7		<i>L. monocytogenes</i>	
	Ayçiçeği	Turp	Ayçiçeği	Turp	Ayçiçeği	Turp
Yüksek	6,5±0,3 ^a	6,4±0,1 ^a	5,3±0,1 ^a	7,2±0,2 ^a	5,8±0,1 ^a	5,5±0,3 ^a
Zayıf ya da yok	5,7±0,1 ^b	6,3±0,1 ^a	4,0±0,2 ^b	6,8±0,2 ^b	4,5±0,2 ^b	5,0±0,1 ^b

^{a, b}: aynı sütundaki istatistiksel farklılığı gösterir (p<0,05).

Her iki mikroyeşillikte floresan ışımının yoğun olduğu bölgelerdeki patojen popülasyonunun ışımının az ya da olmadığı bölgelerdeki patojen popülasyonuna göre yüksek olduğu ($p<0,05$) (turp mikroyeşilliğinde *S. enterica* hariç) tespit edilmekle birlikte, floresan ışımının olmadığı bölgelerde de yüksek seviyede patojen varlığı belirlenmiştir. Bu nedenle Glo-Germ tozunun abiyotik vekil olarak mikroyeşillik yüzeyindeki mikrobiyal yoğunluk ve yayılım için kalitatif görselleştirmede kullanılabileceğini, ancak abiyotik vekilin olmadığı bölgelerde de patojenlerin var olabileceği sonucuna varılmıştır.

SEM analizi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile turp mikroyeşilliği kotiledonunun üst yüzeyi (adaksiyal) incelendiğinde elde edilen görüntüler jenerik *E. coli* ve abiyotik vekilin (Glo-Germ) aynı lokasyonlarda bulunabileceğini göstermiştir (Şekil 13). SEM görüntülerinde jenerik *E. coli* hücrelerinin uzunlukları (1,0 ila 2,0 μm), El-Hajj and Newman (2015) ile benzer bulunmuştur.



Şekil 13. Mikroyeşilliğin adaksiyal yüzeyine ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri: (a) açık ve kapalı stomalar; (b) abiyotik vekil ve perlit (keskin kenarlı) partikülleri; (c, d) abiyotik vekil parçacıkları ve jenerik *E. coli* kolonizasyonu (kesikli çizgilerle gösterilmiştir)

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma üç ana hedefe odaklanmıştır. **İlk olarak**, mikroyeşillik üretimi sırasında *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in tohum ve perliti düşük ve yüksek seviyelerde kontamine etmesi durumunda, mikroyeşilliklerin yenilebilir dokularına transfer düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. İkinci amaç, oluşan riskin azaltılması veya ortadan kaldırılması için UV-C'nin etkinliğinin değerlendirilmesi ve depolama sürecinde patojen popülasyonunda meydana gelen değişimlerin tespiti olmuştur. Son amaç ise, ilgili patojenlerin mikroyeşillik yüzeyinde muhtemel lokalizasyonlarının tespiti, abiyotik vekil olarak Glo-Germ tozunun etkinliğinin belirlenmesi ve SEM analizi ile Glo-Germ'in mikroyeşillikler üzerinde varlığının tespiti amaçlanmıştır.

Araştırmanın **ilk bölümünde** öncelikle mikroyeşillik üretiminde kullanılan perlit ve bitki besin solüsyonu *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile düşük ve yüksek düzeyde kontamine edilerek 28 gün boyunca depolanmış ve patojenlerin popülasyonunda meydana gelen değişim incelenmiştir. İkinci aşamada, perlit *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile düşük ve yüksek düzeyde kontamine edilerek 20 farklı türde mikroyeşillik yetiştirilmiş ve bu mikroyeşilliklerdeki patojen popülasyonlarının yanı sıra TMAB ve TMK popülasyonları belirlenmiştir. Üçüncü aşamada, beş farklı tür mikroyeşillik tohumu *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile düşük ve yüksek düzeyde kontamine edilerek yetiştirilmiş ardından bu mikroyeşilliklerdeki patojen, TMAB ve TMK popülasyonları belirlenmiştir. Kontaminasyon kaynağı ve seviyesinin patojen transferine etkisini gözlemlemek amacıyla, perlit ve tohum kontaminasyonu ile yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* popülasyonları istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Son olarak, tohum özellikleri (tohum yüzey alanı ve ağırlığı) ve hasat süresi özelliklerinin (epigeal ve hipogel) mikroyeşilliklerdeki patojen popülasyonu üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla lineer regresyon eğrisi analizi ile korelasyon düzeyleri belirlenmiştir.

Araştırmanın ilk bölümünde aşağıda belirtilen bulgular elde edilmiş ve öneriler yapılmıştır.

1. Yetiştirme materyali olan perlitin *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile düşük düzeyde bile kontamine olması halinde ilk 24 saat içerisinde patojenlerin yüksek

popölasyonlara ulaşabildiği, perlitin bu patojenlerin çoğalması için uygun olduğu ve/veya sağkalımı için uygun ortam oluşturduğunu göstermiştir.

2. Mikroyeşillik üretiminde sulama ve gübre amacıyla kullanılan bitki besin solüsyonunun *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile düşük düzeyde bile kontamine olması halinde, patojenlerin ilk 24 saat içerisinde yüksek popölasyonlara ulaşabildiği gözlemlenmiştir. Bitki besin solüsyonunun, patojenlerin hem çoğalması hem de sağkalımı için uygun bir ortam oluşturduğu tespit edilmiştir.

3. Hem düşük hem de yüksek düzeyde kontamine edilen perlit kullanılarak yetiştirilen 20 tür mikroyeşilliğin tümünde yenilebilir dokulara *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in transfer olabildiği görölmüştür.

4. Hem düşük hem de yüksek düzeyde kontamine tohum kullanılarak yetiştirilen 20 tür mikroyeşilliğin tümünde yenilebilir dokulara *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in transfer olabildiği belirlenmiştir.

5. *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in mikroyeşilliklerin yenilebilir dokularına transfer düzeylerinin farklı olduğu, patojen cinsinin transfer düzeyini etkilediği görölmüştür.

6. Mikroyeşillik türünün, yenilebilir dokulara transfer olan patojen cinsi ve popölasyonu üzerine etkili olduğu tespit edilmiştir.

7. Perlit ortamında 14. günden sonra tespit edilemeyen *L. monocytogenes*, 14 günden daha fazla hasat süresine sahip mikroyeşilliklerde tespit edilmiş, bu nedenle mikroyeşilliklerin patojenlerin sağ kalımı/çoğalmasını desteklediği sonucuna varılmıştır.

8. Yüksek düzeyde kontamine edilmiş perlit ve tohumlardan yetiştirilen mikroyeşilliklerde patojen transferinin genel olarak daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

9. Yüzey alanı/hacim oranı yüksek olan tohumlar kullanılarak yetiştirilen mikroyeşilliklere (hardal ve turp vb.), tohum yüzey alanı/tohum hacmi oranı küçük olan (bezelye vb.) mikroyeşilliklere göre patojenlerin daha fazla transfer olduğu belirlenmiştir. Tohum boyutu ile transfer olan patojen popölasyonu arasında negatif korelasyon tespit edilmiştir.

10. Düşük tane ağırlığına sahip tohumlardan (hardal ve turp vb.) yetiştirilen mikroyeşilliklerdeki ortalama patojen popölasyonunun, tohum tane ağırlığı yüksek olanlara

(bezelye) göre genel olarak daha yüksek olduğu görülmüştür. Tohum tane ağırlığı arttıkça mikroyeşillğe transfer olan patojen popülasyonunun daha az olduğu görülmüştür.

11. Mikroyeşilliklerin hasat süresine göre patojen popülasyonları değerlendirildiğinde genel olarak hasat süresi ile patojen popülasyonu arasında negatif korelasyon olduğu, hasat süresinin artışına bağlı olarak patojen popülasyonunun azaldığı görülmüştür.

12. Çimlenme türüne göre 20 tür mikroyeşillğe transfer olan tüm patojenlerin popülasyonlarının ortalaması alındığında epigeal çimlenmeye sahip mikroyeşilliklerdeki patojen popülasyonunun hipogeal çimlenmeye sahip mikroyeşilliklere göre önemli yüksek olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen veriler genel olarak değerlendirildiğinde; perlit ve bitki besin solüsyonunun patojenlerin çoğalma ve sağ kalımını desteklediği belirlenmiştir. Yetiştirme ortamı olarak kullanılan perlitin ve tohumun *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile düşük düzeyde bile kontamine olması halinde bu patojenlerin yetiştirilen mikroyeşilliklerin yenilebilir dokularına transfer olabileceği görülmüştür. Mikroyeşillik dokuları, patojenlerin sağ kalımını desteklemektedir. Mikroyeşilliklere transfer olan patojenlerin popülasyonunun patojen cinsine, mikroyeşillik türüne, kontaminasyon kaynağına ve seviyesine, tohum özelliklerine, hasat süresine ve çimlenme türüne göre değişebileceği belirlenmiştir. Bu nedenle, mikroyeşilliklerin gıda güvenliği açısından yetiştirilmesinde, hasat öncesi ve sonrası kontaminasyon risklerini önlemek için dikkatli bir şekilde seçilmiş yetiştirme materyalleri, sulama suyu ve tohumlar kullanılmalıdır. Ayrıca, mikroyeşilliklerin filizlerle benzer risklere sahip olduğu göz önüne alınarak, muhtemel kontaminasyonu önleyecek ve azaltacak uygulama ve prosedürlerin oluşturulması ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

Araştırmanın **ikinci bölümünde** perlit *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* ile düşük ve yüksek düzeyde kontamine edilerek ayçiçeği ve turp mikroyeşillikleri yetiştirilmiştir. Hasat edilen mikroyeşilliklere farklı mesafelerden (10, 20 ve 35 cm), farklı sürelerde (0, 5, 10, 20, 30, 60 ve 120 s) ve farklı yönlerden (tek yönlü ve çift yönlü) UV-C uygulanarak, UV-C'nin mikroyeşilliklere transfer olan patojenleri inhibe etme etkinliği incelenmiştir. Hem patojen inhibisyon etkinliğinin yüksek olduğu hem de ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinin duyuşal özelliklerinin korunduğu, 10 cm mesafeden çift yönlü 60 s UV-C uygulaması sonrası örnekler buzdolabı şartlarında muhafaza edilerek UV-C sonrası canlı kalan patojenlerin popülasyonunda meydana gelen değişim 14 gün boyunca izlenmiştir.

Araştırmanın ikinci bölümünde aşağıda belirtilen bulgular elde edilmiş ve öneriler yapılmıştır.

1. Mikroyeşillik yüzeyindeki patojenlerin inhibisyon düzeyi ile UV-C uygulama mesafesi arasında ters orantı olduğu, UV-C kaynağından uzaklaştıkça inhibisyonun azaldığı görülmüştür.

2. Tek ve çift yönlü UV-C uygulamalarında *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in inhibisyon düzeylerinde önemli farklılıklar belirlenmiştir. Yapılan incelemelerde, çift yönlü UV-C uygulamasının tek yönlü uygulamaya göre daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

3. UV-C uygulama süresinin ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinde *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in inhibisyonunda önemli derecede etkili olduğu ve süre arttıkça inhibisyonun arttığı gözlenmiştir. UV-C uygulanan bütün mesafelerde (10, 20 ve 35 cm) sürenin artışına paralel olarak *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* inhibisyonunun hem tek hem de çift yönlüde arttığı, en yüksek inhibisyonun 120 s, en düşük inhibisyonun ise 5 s UV-C uygulanmış örneklerde meydana geldiği tespit edilmiştir.

4. Patojen inhibisyon düzeyinin mikroyeşillik türüne göre değişebileceği belirlenmiştir. Araştırma sonuçları, UV-C sonrası turp mikroyeşilliklerindeki patojen popülasyonunun ayçiçeğine göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu durumun, *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes*'in turp mikroyeşilliklerine transfer düzeyinin ayçiçeği mikroyeşilliklerine göre yüksek olması nedeniyle UV-C öncesi başlangıç popülasyonunun daha yüksek olması ve bitki fizyolojisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. Ayçiçeği ve turp mikroyeşilliğine transfer olan üç patojenin UV-C ile inhibisyonu karşılaştırıldığında; UV-C'ye en duyarlı patojenin *S. enterica*, en dirençli patojenin ise *L. monocytogenes* olduğu belirlenmiştir.

6. Ayçiçeği mikroyeşilliklerinde 10 cm'den 120 saniye UV-C uygulamasında duyuşal olarak herhangi bir değışiklik olmamasına rağmen, turp mikroyeşilliklerinde 10 cm'den 120 saniye uygulama sonucunda mikroyeşilliklerde solma ve istenmeyen (pişmiş) koku algılanmıştır. Bu nedenle mikroyeşilliklere uygulanması planlanan maksimum UV-C dozunun mikroyeşillik türüne göre spesifik olarak belirlenmesi gerekmektedir.

7. UV-C sonrası paketlenerek buzdolabı şartlarında muhafaza edilen ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerindeki *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* popülasyonunun

depolama boyunca arttığı görülmüştür. Mezofilik karaktere sahip *S. enterica* ve STEC O157:H7 popülasyonlarındaki artış, buzdolabı sıcaklığındaki saklama koşullarında bile devam etmesi mikroyeşilliklere muhtemel patojen kontaminasyon sonrası gıda güvenliği riskinin artacağını göstermektedir.

Elde edilen bulgular, UV-C uygulamasının *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* popülasyonunda önemli düzeyde redüksiyon sağladığını, UV-C uygulama süresi, mesafesi ve yönünün patojenlerin inhibisyon etkinliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, mikroyeşillik türü ve patojen cinsinin inhibisyon düzeyine etki edebildiği görülmüştür. UV-C uygulamasının mikroyeşilliklerin hijyenik kalitesinin artırılmasında potansiyel bir yöntem olduğu, ancak mikroyeşillik türüne göre uygun doz ve koşulların belirlenmesinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır. UV-C uygulaması sonrası patojen popülasyonunda önemli düzeyde azalma olmasına rağmen depolama sürecinde meydana gelen popülasyon artışı, UV-C uygulamasının mikroyeşilliklerde mutlak gıda güvenliğini sağlayamadığını göstermiştir. Bu nedenle UV-C'nin mikroyeşilliklere diğer gıda muhafaza yöntemleriyle kombine şekilde kullanılmasının daha etkili olacağı sonucuna varılmıştır.

Araştırmanın **üçüncü bölümünde** patojenlerin mikroyeşillik yüzeyinde muhtemel lokalizasyonlarının tespiti, abiyotik vekil olarak Glo-Germ tozunun etkinliğinin belirlenmesi ve SEM analizi ile Glo-Germ'in mikroyeşillikler üzerinde varlığının tespiti amaçlanmıştır. Glo-Germ ile kaplanmış tohum kullanılarak yetiştirilen ayçiçeği ve turp mikroyeşilliklerinin kotiledonlarında ışımanın yoğun olduğu ve az olduğu/olmadığı bölgelerde *S. enterica*, STEC O157:H7 ve *L. monocytogenes* popülasyon farklılığı tespit edilmiştir.

Araştırmanın üçüncü bölümünde aşağıda belirtilen bulgular elde edilmiş ve öneriler yapılmıştır.

1. UV-C ışık altında mikroyeşilliklerin yenilebilir kısımlarının tamamında (hipokotil, kotiledon ve gerçek yapraklar) floresan ışıma gözlenmiştir.

2. Her iki mikroyeşilliğin kotiledonlarının abaksiyal (alt) yüzeylerinde, adaksiyal (üst) yüzeylerine göre daha fazla ışıma gözlenmiştir. Bu durum kotiledonların abaksiyal yüzeylerinde patojen yoğunluğunun daha fazla olabileceğini göstermektedir.

3. Her iki mikroyeşillikte kotiledonun kenar kısımlarında daha fazla floresan ışıma gözlenmiştir.

4. Mikroyeşilliklere patojen kontaminasyonunun sadece kendi kontamine tohumundan kaynaklanmadığı, kontamine tohum ve mikroyeşilliğin temas ettiği diğer mikroyeşillik dokularını da kontamine edebildiği görüntülenmiştir.

5. Her iki mikroyeşillikte floresan ışımının yoğun olduğu bölgelerdeki patojen popülasyonunun ışımının az ya da olmadığı bölgelerdeki patojen popülasyonuna göre yüksek olduğu ancak floresan ışımının olmadığı bölgelerde de yüksek seviyede patojen varlığı belirlenmiştir.

6. SEM analizi ile elde görüntüler patojenlerin ve abiyotik vekilin (Glo-Germ) aynı lokasyonlarda bulunabileceğini göstermiştir.

Glo-Germ tozunun mikrobiyal yoğunluk ve yayılım için kalitatif görselleştirmede kullanılabileceği, ancak ışımının olmadığı bölgelerde de patojenlerin var olabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Adhikari, A., Syamaladevi, R. M., Killinger, K., and Sablani, S. S., 2015. Ultraviolet-C light inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 and *Listeria monocytogenes* on organic fruit surfaces. *International Journal of Food Microbiology*, 210, 136-142.
- Aijuka, M. and Buys, E. M., 2019. Persistence of foodborne diarrheagenic *Escherichia coli* in the agricultural and food production environment: Implications for food safety and public health. *Food Microbiology*, 82, 363-370.
- Ajayeoba, T. A., Atanda, O. O., Obadina, A. O., Bankole, M. O. and Adelowo, O. O., 2016. The incidence and distribution of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat vegetables in South-Western Nigeria. *Food Science and Nutrition*, 4(1), 59-66.
- Ali, S., Nawaz, A., Naz, S., Ejaz, S., Hussain, S. and Anwar, R., 2022. Decontamination of Microgreens. In *Microbial Decontamination of Food* (pp. 125-143). Springer, Singapore.
- Allende, A., McEvoy, J. L., Luo, Y., Artes, F. and Wang, C. Y., 2006. Effectiveness of two-sided UV treatments in inhibiting natural microflora and extending the shelf-life of minimally processed 'Red Oak Leaf' lettuce. *Food Microbiology*, 23(3), 241-249.
- Allende, A. and Artés, F., 2003. UV radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed 'Lollo Rosso' lettuce. *Food Research International*, 36(7), 739-746.
- Alsallaiy, I., Dawson, P., Han, I. and Martinez-Dawson, R., 2016. Recovery, survival and transfer of bacteria on restaurant menus. *Journal of Food Safety*, 36(1), 52-61.
- Anonim, 2020. Glo Germ™ Company, product information. Available at: <https://www.glo-germ.com/bioterrorism.html>. Accessed November 10, 2020.
- Artés-Hernández, F., Escalona, V. H., Robles, P. A., Martínez-Hernández, G. B., and Artes, F., 2009. Effect of UV-C radiation on quality of minimally processed spinach leaves. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(3), 414-421.
- Baker, K. A., Beecher, L. and Northcutt, J. K., 2019. Effect of irrigation water source and post-harvest washing treatment on the microflora of alfalfa and mung bean sprouts. *Food Control*, 100, 151-157.
- Barak, J. D., Kramer, L. C., and Hao, L. Y., 2011. Colonization of tomato plants by *Salmonella enterica* is cultivar dependent, and type 1 trichomes are preferred colonization sites. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(2), 498-504.
- Barak, J. D., Liang, A., and Narm, K. E., 2008. Differential attachment to and subsequent contamination of agricultural crops by *Salmonella enterica*. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(17), 5568-5570.
- Barba, F. J., Ahrné, L., Xanthakis, E., Landerslev, M. G. and Orlén, V., 2018. Innovative technologies for Food Preservation. In *Innovative Technologies for Food Preservation* (pp. 25-51). Academic Press.
- Beattie, G. A., and Lindow, S. E., 1999. Bacterial colonization of leaves: A spectrum of strategies. *Phytopathology*, 89(5), 353-359. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1999.89.5.353>

- Bergspica, I., Ozola, A., Miltiņa, E., Alksne, L., Meistere, I., Cibrovskā, A. and Grantiņa-Ieviņa, L., 2020. Occurrence of pathogenic and potentially pathogenic bacteria in microgreens, sprouts and sprouted seeds on retail market in Riga, Latvia. *Foodborne Pathogens and Disease*, 17(7), 420-428.
- Buchholz, A. L., 2012. Quantitative transfer of *Escherichia coli* O157:H7 during pilot-plant production of fresh-cut leafy greens. Dissertation, Michigan State University.
- Castro, V. S., Rosario, D. K. A., Mutz, Y. D. S., Paletta, A. C. C., Figueiredo, E. D. S., and Conte-Junior, C. A., 2019. Modelling inactivation of wild-type and clinical *Escherichia coli* O26 strains using UV-C and thermal treatment and subsequent persistence in simulated gastric fluid. *Journal of Applied Microbiology*, 127(5), 1564-1575.
- CDC (Centers for Disease Control and Prevention), 2016. Foodborne outbreak online database (FOOD). <http://wwwn.cdc.gov/foodborneoutbreaks/#/>, Erişim Tarihi: 26.05.2020).
- Cebrián, G., Mañas, P. and Condón, S., 2016. Comparative resistance of bacterial foodborne pathogens to non-thermal technologies for food preservation. *Frontiers in Microbiology*, 7, 734.
- Chaitiemwong, N., Hazeleger, W. C., Beumer, R. R. and Zwietering, M. H., 2014. Quantification of transfer of *Listeria monocytogenes* between cooked ham and slicing machine surfaces. *Food Control*, 44, 177-184.
- Chandra, D., Kim, J. G. and Kim, Y. P., 2012. Changes in microbial population and quality of microgreens treated with different sanitizers and packaging films. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 53(1), 32-40.
- Chitarra, W., Decastelli, L., Garibaldi, A., and Gullino, M. L., 2014. Potential uptake of *Escherichia coli* O157: H7 and *Listeria monocytogenes* from growth substrate into leaves of salad plants and basil grown in soil irrigated with contaminated water. *International Journal of Food Microbiology*, 189, 139-145.
- Choi, S. Y., Chu, H. J., Rajalingam, N., Chae, H. B., Yoon, J. H., Hwang, I., and Kim, S. R., 2020. Growth of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* on radish microgreens washed with sodium hypochlorite during storage. *Korean Journal of Food Preservation*, 27(7), 850-858.
- Choudhary, R. and Bandla, S., 2012. Ultraviolet pasteurization for food industry. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 2(1), 12-15.
- Chun, H. H., Kim, J. Y. and Song, K. B., 2010. Inactivation of foodborne pathogens in ready-to-eat salad using UV irradiation. *Food Science and Biotechnology*, 19(2), 547-551.
- Collazo, C., Charles, F., Aguiló-Aguayo, I., Marín-Sáez, J., Lafarga, T., Abadias, M. and Viñas, I., 2019. Decontamination of *Listeria innocua* from fresh-cut broccoli using UV applied in water or peroxyacetic acid and dry-pulsed light. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 52, 438-449.
- Collazo, C., Lafarga, T., Aguiló-Aguayo, I., Marín-Sáez, J., Abadias, M., and Viñas, I., 2018. Decontamination of fresh-cut broccoli with a water-assisted UV technology and its combination with peroxyacetic acid. *Food Control*, 93, 92-100.
- De la Fuente, B., López-García, G., Máñez, V., Alegría, A., Barberá, R. and Cilla, A., 2019. Evaluation of the bioaccessibility of antioxidant bioactive compounds and minerals of four genotypes of Brassicaceae microgreens. *Foods*, 8(7), 250.
- De la Fuente, B., López-García, G., Máñez, V., Alegría, A., Barberá, R. and Cilla, A., 2020. Antiproliferative effect of bioaccessible fractions of four Brassicaceae microgreens on

- human colon cancer cells linked to their phytochemical composition. *Antioxidants*, 9(5), 368.
- Dees, M. W., Lysøe, E., Nordskog, B., and Brurberg, M. B., 2015. Bacterial communities associated with surfaces of leafy greens: shift in composition and decrease in richness over time. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(4), 1530-1539.
- Delian, E., Chira, A., Bădulescu, L. and Chira, L., 2015. Insights into microgreens physiology. *Scientific Papers Series B Horticulture*, 59, 447-454.
- Deng, W., and Gibson, K. E., 2017. Interaction of microorganisms within leafy green phyllospheres: Where do human noroviruses fit in?. *International Journal of Food Microbiology*, 258, 28-37.
- Deng, W., Misra, G. M., Baker, C. A. and Gibson, K. E., 2021. Persistence and transfer of foodborne pathogens to sunflower and pea shoot microgreens during production in soil-free cultivation matrix. *Horticulturae*, 7(11), 446.
- Di Bella, M. C., Niklas, A., Toscano, S., Picchi, V., Romano, D., Lo Scalzo, R. and Branca, F., 2020. Morphometric characteristics, polyphenols and ascorbic acid variation in *Brassica oleracea* L. novel foods: Sprouts, microgreens and baby leaves. *Agronomy*, 10(6), 782.
- Di Gioia, F., De Bellis, P., Mininni, C., Santamaria, P. and Serio, F., 2017. Physicochemical, agronomical and microbiological evaluation of alternative growing media for the production of rapini (*Brassica rapa* L.) microgreens. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(4), 1212-1219.
- Di Gioia F, Santamaria P, 2015. The nutritional properties of microgreens. *Microgreens*, Eds: Di Gioia F, Santamaria. Eco-logica, Bari, Italy, 41-47.
- Ding, P., and Ling, Y. S., 2014. Browning assessment methods and polyphenol oxidase in UV irradiated Berangan banana fruit. *International Food Research Journal*, 21(4).
- Du, M., Xiao, Z., and Luo, Y., 2022. Advances and emerging trends in cultivation substrates for growing sprouts and microgreens toward safe and sustainable agriculture. *Current Opinion in Food Science*, 46, 100863.
- Duffy, G., and McCabe, E., 2015. Veterinary public health approach to managing pathogenic verocytotoxigenic *Escherichia coli* in the agri-food chain. *Enterohemorrhagic Escherichia coli and Other Shiga Toxin-Producing E. coli*, 457-476.
- Ebert, A. W., 2022. Sprouts and microgreens—Novel food sources for healthy diets. *Plants*, 11(4), 571.
- EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ), 2011. Scientific opinion on the risk posed by shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC O157:H7) and other pathogenic bacteria in seeds and sprouted seeds. *EFSA Journal*, 9(11): 2424, pp. 101.
- El-Hajj, Z. W., and Newman, E. B., 2015. How much territory can a single *E. coli* cell control?. *Frontiers in Microbiology*, 6, 309. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00309>
- Ercisli, S., Sayinci, B., Kara, M., Yildiz, C., and Ozturk, I., 2012. Determination of size and shape features of walnut (*Juglans regia* L.) cultivars using image processing. *Scientia Horticulturae*, 133, 47-55.
- Erickson, M. C., Liao, J. Y., Payton, A. S., Cook, P. W., Den Bakker, H. C., Bautista, J., and Pérez, J. C. D., 2019. Pre-harvest internalization and surface survival of *Salmonella* and *Escherichia coli* O157: H7 sprayed onto different lettuce cultivars under field and growth chamber conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 291, 197-204.

- Erkan, M., Wang, C. Y. and Krizek, D. T., 2001. UV irradiation reduces microbial populations and deterioration in *Cucurbita pepo* fruit tissue. *Environmental and Experimental Botany*, 45(1), 1-9.
- Escalona, V. H., Aguayo, E., Martínez-Hernández, G. B., and Artés, F., 2010. UV doses to reduce pathogen and spoilage bacterial growth in vitro and in baby spinach. *Postharvest Biology and Technology*, 56(3), 223-231.
- Fahey, J. W., Smilovitz Burak, J. and Evans, D., 2022. Sprout microbial safety: A reappraisal after a quarter-century. *Food Frontiers*, 4, 318-324.
- Fan, X., Huang, R., and Chen, H., 2017. Application of ultraviolet C technology for surface decontamination of fresh produce. *Trends in Food Science and Technology*, 70, 9-19.
- Fonseca, J. M., and Rushing, J. W., 2006. Effect of ultraviolet-C light on quality and microbial population of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biology and Technology*, 40(3), 256-261.
- Food Safety News, 2022. *Salmonella*. <https://www.foodsafetynews.com/?s=Salmonella> (Erişim tarihi: 17.12.2022).
- Frank, C., Faber, M.S., Askar, M., Bernard, H., Fruth, A., Gilsdorf, A., Höhle, M., Karch, H., Krause, G., Prager, R., Spode, A., Stark, K., Werber, D., HUS Investigation Team, 2011. Large and ongoing outbreak of haemolytic uraemic syndrome. *Eurosurveillance*, Germany, May 2011, 16(21), 19878.
- Fuchs, F. M., Bibinov, N., Blanco, E. V., Pfaender, S., Theiß, S., Wolter, H., and Awakowicz, P., 2022. Characterization of a robot-assisted UV disinfection for the inactivation of surface-associated microorganisms and viruses. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 11, 100123.
- Galieni, A., Falcinelli, B., Stagnari, F., Datti, A. and Benincasa, P., 2020. Sprouts and microgreens: Trends, opportunities and horizons for novel research. *Agronomy*, 10(9), 1424.
- Gamage, G., 2015. Effectiveness of UV irradiation on controlling growth of *L. monocytogenes* on fresh cut broccoli. Doctoral dissertation, Massey University, New Zealand.
- Gardiner, C., Veall, J. and Lockhart, S., 2020. The use of UV fluorescent powder for COVID-19 airway management simulation training. *Anaesthesia*, 75(7), 964.
- George, D. S., Razali, Z., Santhirasegaram, V., and Somasundram, C., 2015. Effects of ultraviolet light (UV-C) and heat treatment on the quality of fresh-cut Chokanan mango and Josephine pineapple. *Journal of Food Science*, 80(2), S426-S434.
- Ghoora, M. D., Babu, D. R. and Srividya, N., 2020. Nutrient composition, oxalate content and nutritional ranking of ten culinary microgreens. *Journal of Food Composition and Analysis*, 91, 103495.
- Goodburn, C. and Wallace, C. A., 2013. The microbiological efficacy of decontamination methodologies for fresh produce: A review. *Food Control*, 32, 418–427.
- Graça, A., Salazar, M., Quintas, C., and Nunes, C., 2013. Low dose UV illumination as an eco-innovative disinfection system on minimally processed apples. *Postharvest Biology and Technology*, 85, 1-7.
- Gu, G., Kroft, B., Lichtenwald, M., Luo, Y., Millner, P., Patel, J., and Nou, X., 2022. Dynamics of *Listeria monocytogenes* and the microbiome on fresh-cut cantaloupe and romaine lettuce during storage at refrigerated and abusive temperatures. *International Journal of Food Microbiology*, 364, 109531.

- Guan, W., Fan, X. and Yan, R., 2012. Effects of UV treatment on inactivation of *Escherichia coli* O157: H7, microbial loads and quality of button mushrooms. *Postharvest Biology and Technology*, 64(1), 119-125.
- Guneser, O. N. U. R. and Yuceer, Y. K., 2012. Effect of ultraviolet light on water-and fat-soluble vitamins in cow and goat milk. *Journal of Dairy Science*, 95(11), 6230-6241.
- Gülbandılar, A., Okur, M. ve Dönmez, M., 2017. Fonksiyonel gıda olarak kullanılan probiyotikler ve özellikleri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 10(1), 44-47.
- Güner, A., Atasever, M. ve Aydemir Atasever, M., 2012. Yeni ortaya çıkan ve tekrar önem kazanan gıda kaynaklı bakteriyel patojenler. *Kafkas Univ Vet Fak Derg*, 18(5), 889-898.
- Güven, E. ve Yıldız, H., 2016. Isıl olmayan yeni gıda muhafaza tekniklerinin sanayi uygulamaları-1. *Gıda*, 41(4), 235-242.
- Ha, J. H., Lee, D. U., Auh, J. H. and Ha, S. D., 2011. Synergistic effects of combined disinfecting treatments using sanitizers and UV to reduce levels of *Bacillus cereus* in oyster mushroom. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 54(2), 269-274.
- Harrison, O. L., Dahmer, P. L., Gebhardt, J. T., Paulk, C. B., Woodworth, J. C. and Jones, C. K., 2021. Evaluation of biosecurity measures on a commercial swine operation using glo germ powder as a visible learning aid. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*, 7(11), 52.
- Has, E. G. ve Akçelik, M., 2021. Behavior of *Salmonella*, a zoonotic pathogen, in plant hosts. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9(11), 2049-2055.
- Hassenberg, K., Huyskens-Keil, S. and Herppich, W. B., 2012. Impact of postharvest UV and ozone treatments on microbiological properties of white asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 85(2), 174-181.
- Hermann, K., Meinhard, J., Dobrev, P., Linkies, A., Pesek, B., Heß, B., Macháčková, I., Fischer, U. and Leubner-Metzger, G., 2007. 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid and abscisic acid during the germination of sugar beet (*Beta vulgaris* L.): a comparative study of fruits and seeds. *Journal of Experimental Botany*, 58(11), 3047-3060.
- Hood, M. A., Van Dijk, K. V., and Nelson, E. B., 1998. Factors affecting attachment of *Enterobacter cloacae* to germinating cotton seed. *Microbial Ecology*, 101-110.
- Huang, H., Jiang, X., Xiao, Z., Yu, L., Pham, Q., Sun, J., Chen, P., Yokoyama, W., Yu, L. L. and Luo, Y. S., 2016. Red cabbage microgreens lower circulating low-density lipoprotein (LDL), liver cholesterol and inflammatory cytokines in mice fed a high-fat diet. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(48), 9161-9171.
- Hunter, P. J., Hand, P., Pink, D., Whipps, J. M., and Bending, G. D., 2010. Both leaf properties and microbe-microbe interactions influence within-species variation in bacterial population diversity and structure in the lettuce (*Lactuca* species) phyllosphere. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(24), 8117-8125.
- Ibraheem, N. A., Hasan, M. M., Khan, R. Z., and Mishra, P. K., 2012. Understanding color models: A review. *ARNP Journal of Science and Technology*, 2(3), 265-275.
- Islam, M. Z., Park, B. J. and Lee, Y. T., 2019. Effect of salinity stress on bioactive compounds and antioxidant activity of wheat microgreen extract under organic cultivation conditions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 140, 631-636.

- Işık, H., Topalcengiz, Z., Güner, S. and Aksoy, A., 2020a. Generic and Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (O157: H7) contamination of lettuce and radish microgreens grown in peat moss and perlite. *Food Control*, 111, 107079.
- Işık, S., Bozkurt, F., Guner, S., Işık, S., Topalcengiz, Z. 2020. Microbiological, physicochemical, textural and volatile characteristics of traditional kashar cheese produced in Muş. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 24(4), 409-419.
- Işık, S., Aytemiş, Z., Çetin, B. and Topalcengiz, Z., 2022. Possible explanation for limited reduction of pathogens on radish microgreens after spray application of chlorinated water during growth with disperse contamination spread of abiotic surrogate on leaves. *Journal of Food Safety*, 42(4), e12984.
- Işık, S., Işık, H., Aytemiş, Z., Güner, S., Aksoy, A., Çetin, B. ve Topalcengiz, Z., 2022. Mikroyeşillikler: Besinsel içeriği, sağlık üzerine etkisi, üretimi ve gıda güvenliği. *Gıda*, 47(4).
- Jablasone, J., Warriner, K. and Griffiths, M., 2005. Interactions of *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella* Typhimurium and *Listeria monocytogenes* plants cultivated in a gnotobiotic system. *International Journal of Food Microbiology*, 99(1), 7-18.
- Jiang, X., Huang, H., Xiao, Z., Yu, L., Pham, Q., Yu, L.L., Luo, Y. and Wang, T.T., 2016. Lipids and cholesterol-lowering activity of red cabbage microgreens. *The FASEB Journal*, 30(1), 431.
- Kang, J. W., Lee, J. I., Jeong, S. Y., Kim, Y. M., and Kang, D. H., 2019. Effect of 222-nm krypton-chloride excilamp treatment on inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella* Typhimurium on alfalfa seeds and seed germination. *Food microbiology*, 82, 171-176.
- Kaper, J. B., Nataro, J. P. and Mobley, H. L., 2004. Pathogenic *Escherichia coli*. *Nature Reviews Microbiology*, 2(2), 123-140.
- Kasım, M. U. ve Kasım, R., 2016. Taze kesilmiş ıspanaklarda farklı dalga boyundaki ultraviyole ışınlarının hasat sonrası kaliteye etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 26(3), 348-359.
- Kasım, U. M. ve Kasım, R., 2007. Sebze ve meyvelerde hasat sonrası kayıpların önlenmesinde alternatif bir uygulama: UV. *Journal of Agricultural Sciences*, 13(04), 413-419.
- Kasim, R., and Kasim, M. U., 2012. UV treatments on fresh-cut garden cress (*Lepidium sativum* L.) enhanced chlorophyll content and prevent leaf yellowing. *World Applied Sciences Journal*, 17(4), 509-515.
- Keklik, N. M., Krishnamurthy, K. and Demirci, A., 2012. Microbial decontamination of food by ultraviolet (UV) and pulsed UV light. In *Microbial Decontamination in the Food Industry*, Ed: A. Demirci, M. O. Ngadi. Woodhead Publishing, 344-369.
- Kim, Y. H., Jeong, S. G., Back, K. H., Park, K. H., Chung, M. S. and Kang, D. H., 2013. Effect of various conditions on inactivation of *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella* Typhimurium and *Listeria monocytogenes* in fresh-cut lettuce using ultraviolet radiation. *International Journal of Food Microbiology*, 166(3), 349-355.
- Kim, Y., Kim, M. and Song, K. B., 2009. Combined treatment of fumaric acid with aqueous chlorine dioxide or UV irradiation to inactivate *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella enterica* serovar Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* inoculated on alfalfa and clover sprouts. *LWT-Food Science and Technology*, 42(10), 1654-1658.
- King, K. E., 2003. Analysis of the Effects of Hypogeal and Epigeal Emergence on Seedling Competition in Legumes. Senior Thesis, Langston University, Langston, Oklahoma.

- Koca, N., Saatli, T. E. ve Urgu, M., 2018. Gıda sanayisinde ultraviyole ışığın yüzey uygulamaları. *Akademik Gıda*, 16(1), 88-100.
- Korkmaz, A. ve Gündüz, G. T., 2018. Meyve ve sebzelerde UV ışık uygulamaları ile küf inhibisyonu. *Akademik Gıda*, 16, 458-469.
- Kou, L., Yang, T., Luo, Y., Liu, X., Huang, L. and Codling, E., 2014. Pre-harvest calcium application increases biomass and delays senescence of broccoli microgreens. *Postharvest Biology and Technology*, 87, 70-78.
- Koutchma, T. (2009). Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods. *Food and Bioprocess Technology*, 2, 138-155.
- Kumar, N. and Goel, N., 2019. Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnology Reports*, 24, 1-10.
- Kyriacou, M. C., Roupheal, Y., Di Gioia, F., Kyrtzis, A., Serio, F., Renna, M., De Pascale, S. and Santamaria, P., 2016. Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. *Trends in Food Science and Technology*, 57, 103-115.
- Lado, B. H. and Yousef, A. E., 2002. Alternative food-preservation technologies: efficacy and mechanisms. *Microbes and Infection*, 4(4), 433-440.
- Lee, J. Y., Yang, S. Y. and Yoon, K. S., 2021. Control measures of pathogenic microorganisms and shelf-life extension of fresh-cut vegetables. *Foods*, 10(3), 655.
- Lenzi, A., Baldi, A., Lombardelli, L., Truschi, S., Marvasi, M. and Bruschi, P., 2022. Contamination of microgreens by *Salmonella enterica* and *Escherichia coli* is influenced by selection breeding in chicory (*Cichorium intybus* L.). *Food Quality and Safety*, 6.
- Lenzi, A., Marvasi, M., and Baldi, A., 2021. Agronomic practices to limit pre-and post-harvest contamination and proliferation of human pathogenic Enterobacteriaceae in vegetable produce. *Food Control*, 119, 107486.
- Li, T., Lalk, G. T. and Bi, G., 2021a. Fertilization and Pre-sowing seed soaking affect yield and mineral nutrients of ten microgreen species. *Horticulturae*, 7(2), 14.
- Li, X., Tian, S., Wang, Y., Liu, J., Wang, J. and Lu, Y., 2021b. Broccoli microgreens juice reduces body weight by enhancing insulin sensitivity and modulating gut microbiota in high-fat diet-induced C57BL/6J obese mice. *European Journal of Nutrition*, 60(7), 3829-3839.
- Lindblad, M., Tano, E., Lindahl, C., and Huss, F., 2020. Ultraviolet-C decontamination of a hospital room: Amount of UV light needed. *Burns*, 46(4), 842-849.
- López-Rubira, V., Conesa, A., Allende, A., and Artés, F., 2005. Shelf life and overall quality of minimally processed pomegranate arils modified atmosphere packaged and treated with UV-C. *Postharvest Biology and Technology*, 37(2), 174-185.
- Ma, S., Tian, S., Sun, J., Pang, X., Hu, Q., Li, X. and Lu, Y., 2022. Broccoli microgreens have hypoglycemic effect by improving blood lipid and inflammatory factors while modulating gut microbiota in mice with type 2 diabetes. *Journal of Food Biochemistry*, e14145.
- Mahmoud, B. S., 2012. Preface. *Salmonella: A Dangerous Foodborne Pathogen*, Ed: B. S. Mahmoud, BoD–Books on Demand. Rijeka, Croatia, XI-XII.
- Malar, D. S. and Devi, K. P., 2014. Dietary polyphenols for treatment of Alzheimer's disease-future research and development. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 15(4), 330-42.

- Maluin, F. N., Hussein, M. Z., Nik Ibrahim, N. N. L., Wayayok, A. and Hashim, N., 2021. Some emerging opportunities of nanotechnology development for soilless and microgreen farming. *Agronomy*, 11(6), 1213.
- Manzocco, L., Da Pieve, S., and Maifreni, M., 2011. Impact of UV light on safety and quality of fresh-cut melon. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12(1), 13-17.
- Manzocco, L., Plazzotta, S., Maifreni, M., Calligaris, S., Anese, M., and Nicoli, M. C. (2016). Impact of UV light on storage quality of fresh-cut pineapple in two different packages. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 1138-1143.
- Marchioni, I., Martinelli, M., Ascrizzi, R., Gabbrielli, C., Flamini, G., Pistelli, L. and Pistelli, L., 2021. Small functional foods: Comparative phytochemical and nutritional analyses of five microgreens of the Brassicaceae family. *Foods*, 10(2), 427.
- Martinez-Hernández, G. B., Huertas, J. P., Navarro-Rico, J., Gómez, P. A., Artés, F., Palop, A. and Artés-Hernández, F., 2015. Inactivation kinetics of foodborne pathogens by UV radiation and its subsequent growth in fresh-cut kailan-hybrid broccoli. *Food Microbiology*, 46, 263-271.
- Matak, K. E., Sumner, S. S., Duncan, S. E., Hovingh, E., Worobo, R. W., Hackney, C. R. and Pierson, M. D., 2007. Effects of ultraviolet irradiation on chemical and sensory properties of goat milk. *Journal of Dairy Science*, 90(7), 3178-3186
- Matava, C.T., Yu, J. and Denning, S., 2020. Clear plastic drapes may be effective at limiting aerosolization and droplet spray during extubation: implications for COVID-19. *Canadian Journal Anaesthesia*, 67, 902-904.
- Miceli, A. and Settanni, L., 2019. Influence of agronomic practices and pre-harvest conditions on the attachment and development of *Listeria monocytogenes* in vegetables. *Annals of Microbiology*, 69(3), 185-199.
- Mir, S. A., Shah, M. A. and Mir, M. M., 2017. Microgreens: Production, shelf life and bioactive components. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*, 57, 2730-2736.
- Misra, G. and Gibson, K. E., 2020. Survival of *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovar Javiana and *Listeria monocytogenes* is dependent on type of soil-free microgreen cultivation matrix. *Journal of Applied Microbiology*, 129(6), 1720-1732.
- Misra, G. and Gibson, K. E., 2021. Characterization of microgreen growing operations and associated food safety practices. *Food Protection Trends*, 41(1), 56-69.
- Monteiro, M. L. G., Rosario, D. K., de Carvalho, A. P. A., and Conte-Junior, C. A., 2021. Application of UV light to improve safety and overall quality of fish: A systematic review and meta-analysis. *Trends in Food Science and Technology*, 116, 279-289.
- Moulthrop, A. J., Kolarczyk, L. M. and Teeter, E. G., 2021. Preventing contamination during transesophageal echocardiography in the face of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic: a Glo Germ experience. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, 35(9), 2824-2826.
- Mukhopadhyay, S., Ukuku, D. O., Juneja, V. and Fan, X. J. F. C., 2014. Effects of UV treatment on inactivation of *Salmonella enterica* and *Escherichia coli* O157: H7 on grape tomato surface and stem scars, microbial loads and quality. *Food Control*, 44, 110-117.
- Murphy, C. J. and Pill, W. G., 2010. Cultural practices to speed the growth of microgreen arugula (roquette; *Eruca vesicaria* subsp. *sativa*). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 85(3), 171-176.

- Nagar, V. and Bandekar, J. R., 2009. Microbiological quality of packaged sprouts from supermarkets in Mumbai, India. *International Journal of Food Safety, Nutrition and Public Health*, 2(2), 165-175.
- Nam HM, Murinda SE, Nguyen LT, Oliver SP. Evaluation of universal pre-enrichment broth for isolation of *Salmonella* spp., *Escherichia coli* O157:H7, and *Listeria monocytogenes* from dairy farm environmental samples. *Foodborne Pathogens and Disease*. 1(1), 37-44.
- Namli, S., Samut, H. and Soyer, Y., 2021. Microbial growth and attachment of *Salmonella* and enterohemorrhagic and enteroaggregative *Escherichia coli* strains on cress microgreens grown in peat soil system. *British Food Journal*.
- Namli, S., Samut, H., and Soyer, Y. 2022. Microbial growth and attachment of *Salmonella* and enterohemorrhagic and enteroaggregative *Escherichia coli* strains on cress microgreens grown in peat soil system. *British Food Journal*, 124(11), 3765-3782.
- National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods (NACMCF), 1999. Microbiological safety evaluations and recommendations on sprouted seeds. *International Journal of Food Microbiology*, 52, 123-53.
- Nicolau-Lapeña, I., Colás-Medà, P., Viñas, I., and Alegre, I., 2022. Inactivation of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* and *Listeria monocytogenes* on apple peel and apple juice by ultraviolet C light treatments with two irradiation devices. *International Journal of Food Microbiology*, 364, 109535.
- Özer, T., 2021. Gıda zehirlenmelerine ve hastalıklara sebep olan *Salmonella* bakterisinin tespiti, *INSAC Advances in Health Sciences*, Ed: M.Dalkılıç, Duvar Yayınları, İzmir, 229-249.
- Parnell T. L., Harris L. J., Suslow T. V., 2005. Reducing *Salmonella* on cantaloupes and honeydew melons using wash practices applicable to postharvest handling, foodservice, and consumer preparation, *International Journal of Food Microbiology*, 99, 59-70.
- Pigott, D. C., 2008. Foodborne illness. *Emergency Medicine Clinics of North America*, 26(2), 475-497.
- Pinheiro, J., Alegria, C., Abreu, M., Gonçalves, E. M., and Silva, C. L., 2015. Use of UV postharvest treatment for extending fresh whole tomato (*Solanum lycopersicum*, cv. Zinac) shelf-life. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 5066-5074.
- Pinto, E., Almeida, A.A., Aguiar, A.A. and Ferreira, I.M., 2015. Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces, *Journal of Food Composition and Analysis*, 37, 38-43.
- Ramos, B., Brandão, T. R., Teixeira, P. and Silva, C. L., 2020. Biopreservation approaches to reduce *Listeria monocytogenes* in fresh vegetables. *Food Microbiology*, 85, 103282.
- Ramsden, D., 2019. Demonstrating Microbial Contamination Routes in Chiropractic Clinics Using Glo-Germ TM as a Surrogate for Microbial Pathogens. Master's Thesis, University of Johannesburg (South Africa).
- Reed, E., Ferreira, C. M., Bell, R., Brown, E. W. and Zheng, J., 2018. Plant-microbe and abiotic factors influencing *Salmonella* survival and growth on alfalfa sprouts and Swiss chard microgreens. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(9), e02814-17.
- Renna, M., Di Gioia, F., Leoni, B., Mininni, C. and Santamaria, P., 2017. Culinary assessment of self-produced microgreens as basic ingredients in sweet and savory dishes. *Journal of Culinary Science and Technology*, 15(2), 126-142.

- Riggio, G. M., Wang, Q., Kniel, K. E. and Gibson, K. E, 2019. Microgreens-A review of food safety considerations along the farm to fork continuum. *International Journal of Food Microbiology*, 290, 76-85,
- Rohrbach, K. G., and Johnson, M. W., 2003. Pests, Diseases and Weeds. In *The Pineapple: Botany, Production and Uses*, Edts: G. M. Sanewski, D. P Bartholomew and R. E. Paull, CAB International, Honolulu, USA, 203-251.
- Sağlam, D. ve Şeker, E., 2016. Gıda kaynaklı bakteriyel patojenler. *Kocatepe Veterinary Journal*, 9(2), 105-113.
- Samuolienė, G., Viršilė, A., Brazaitytė, A., Jankauskienė, J., Sakalauskienė, S., Vaštakaitė, V., Novičkovas, A., Viškelienė, A., Sasnauskas, A. and Duchovskis, P., 2017. Blue light dosage affects carotenoids and tocopherols in microgreens. *Food Chemistry*, 228, 50-56,
- Sangwan, S., Kukreja, B., Mishra, G. P., Dikshit, H. K., Singh, A., Aski, M., Kumar, A., Taak, Y., Stobdan, T., Das, S., Kumar, R.R., Kumar Yadava, D., Praveen, S., Kumar, S. and Nair, R. M., 2022. Yield optimization, microbial load analysis, and sensory evaluation of mungbean (*Vigna radiata* L.), lentil (*Lens culinaris* subsp. *culinaris*), and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) microgreens grown under greenhouse conditions. *Plos One*, 17(5), e0268085.
- Schenk, M., Guerrero, S. and Alzamora, S. M., 2008. Response of some microorganisms to ultraviolet treatment on fresh-cut pear. *Food and Bioprocess Technology*, 1(4), 384-392.
- Sharma, S., Shree, B., Sharma, D., Kumar, S., Kumar, V., Sharma, R. and Saini, R., 2022. Vegetable microgreens: The gleam of next generation super foods, their genetic enhancement, health benefits and processing approaches. *Food Research International*, 111038.
- Shin, Y. J., Jang, S., Song, H. Y., Song, H. J. and Song, K. B., 2011. Effects of combined fumaric acid-UV treatment and rapeseed protein-gelatin film packaging on the postharvest quality of 'Seolhyang' strawberries. *Food Science and Biotechnology*, 20(4), 1161-1165.
- Singh, H., Bhardwaj, S. K., Khatri, M., Kim, K. H. and Bhardwaj, N., 2021. UVC radiation for food safety: An emerging technology for the microbial disinfection of food products. *Chemical Engineering Journal*, 417, 128084.
- Solomon, E. B., Potenski, C. J. and Matthews, K. R., 2002. Effect of irrigation method on transmission to and persistence of *Escherichia coli* O157: H7 on lettuce. *Journal of Food Protection*, 65(4), 673-676.
- Sommers, C. H., Sites, J. E., and Musgrove, M., 2010. Ultraviolet light (254 nm) inactivation of pathogens on foods and stainless steel surfaces. *Journal of Food Safety*, 30(2), 470-479.
- Sun, J., Xiao, Z., Lin, L. Z., Lester, G. E., Wang, Q., Harnly, J. M. and Chen, P., 2013. Profiling polyphenols in five *Brassica* species microgreens by UHPLC-PDA-ESI/HRMS n. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(46), 10960-10970.
- Supapvanich, S., Sangsuk, P., Sripumimas, S. and Anuchai, J., 2020. Efficiency of low dose cyanocobalamin immersion on bioactive compounds contents of ready to eat sprouts (sunflower and daikon) and microgreens (red-amaranth) during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 160, 111033.
- Syamaladevi, R. M., Lu, X., Sablani, S. S., Insan, S. K., Adhikari, A., Killinger, K., Rasco, B., Dhingra, A., Bandyopadhyay, A. and Annature, U., 2013. Inactivation of *Escherichia*

- coli* population on fruit surfaces using ultraviolet-C light: Influence of fruit surface characteristics. Food and Bioprocess Technology, 6, 2959-2973.
- Tawema, P., Han, J., Vu, K. D., Salmieri, S. and Lacroix, M., 2016. Antimicrobial effects of combined UV or gamma radiation with natural antimicrobial formulations against *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7 and total yeasts/molds in fresh cut cauliflower. LWT-Food Science and Technology, 65, 451-456.
- Tęcza, P. and Zylinska, L., 2016. Preventive effects of curcumin and resveratrol in Alzheimer's disease. Przegląd Lekarski, 73(5), 320-323.
- Temelli, S., 2002. Gıda zehirlenmesine neden olan *E. coli* O157: H7 ve önemi. Uludağ Üniv. J. Fac. Vet. Med, 21, 133-138.
- Thakur, M., Asrani, R. K. and Patial, V., 2018. *Listeria monocytogenes*: A food-borne pathogen. In Foodborne Diseases, Ed: A. M. Holban, A. M. Grumezescu, Academic Press, 157-192.
- Thenmozhi, A.J., Manivasagam, T. and Essa, M.M., 2016. Role of plant polyphenols in Alzheimer's disease. Advances in Neurobiology, 12, 153-171.
- Tompkin, R. B., 2002. Control of *Listeria monocytogenes* in the food-processing environment. Journal of Food Protection, 65(4), 709-725.
- Toscano, S., Cavallaro, V., Ferrante, A., Romano, D. and Patané, C., 2021. Effects of different light spectra on final biomass production and nutritional quality of two microgreens. Plants, 10(8), 1584.
- Tosun, H. ve Gönül, Ş. A., 2003. *E. coli* O157: H7'nin aside tolerans kazanması ve asidik gıdalarda önemi. Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi, 1, 10-17.
- Treadwell, D.D., Hochmuth, R., Landrum, L. and Laughlin, W., 2010. Microgreens: A new specialty crop, university of florida. <https://edis.ifas.ufl.edu/hs1164> (Erişim Tarihi: 14.01.2019)
- Turner, E.R., Luo, Y. and Buchanan, R.L., 2020. Microgreen nutrition, food safety and shelf life: A review. Journal of Food Science, 85, 870-882.
- Unluturk, S., Atılgan, M. R., Baysal, A. H., and Unluturk, M. S., 2010. Modeling inactivation kinetics of liquid egg white exposed to UV irradiation. International Journal of Food Microbiology, 142(3), 341-347.
- Van der Linden, I., Cottyn, B., Uyttendaele, M., Vlaemynck, G., Maes, M., and Heyndrickx, M., 2013. Long-term survival of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enterica* on butterhead lettuce seeds, and their subsequent survival and growth on the seedlings. International Journal of Food Microbiology, 161(3), 214-219.
- Villaflores, O.B., Chen, Y.J., Chen, C.P., Yeh, J.M. and Wu, T.Y., 2012. Curcuminoids and resveratrol as anti-Alzheimer agents. Taiwanese Journal of Obstetrics and Gynecology, 51(4): 515-25.
- Waje, C. K. and Kwon, J. H., 2007. Improving the food safety of seed sprouts through irradiation treatment. Food Science and Biotechnology, 16, 171-176.
- Wang, D., Chen, L., Ma, Y., Zhang, M., Zhao, Y., and Zhao, X., 2019. Effect of UV treatment on the quality of fresh-cut lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) root. Food Chemistry, 278, 659-664.
- Wang, Q. and Kniel, K. E., 2016. Survival and transfer of murine norovirus within a hydroponic system during kale and mustard microgreen harvesting. Applied and Environmental Microbiology, 82(2), 705-713.

- Wang, L., Luo, Y., and Nou X., 2015. Proliferation of *Listeria monocytogenes* during Microgreen Production. International Association for Food Protection. Oregon, Portland. July 25-28 2015. (ID: P3-196).
- Wańkowicz B., 2011. Sequence of sunflower sprouts germination. Alamy, <https://www.alamy.com/stock-photo-sequence-of-sunflower-sprouts-germination-41981214.html?imageid=717F2EDE-E2CC-4DB2-B445-947B4F1B13B1&p=95507&pn=1&searchId=7d9c0baa63239db6ab1a9576296d38dc&searcht>. (Erişim tarihi: 09.04.2023).
- Wańkowicz B., 2011. Pea sprouts germinating in soil. Alamy, <https://www.alamy.com/pea-sprouts-germinating-in-soil-image69049970.html>. (Erişim tarihi: 09.04.2023).
- Wojdyło, A., Nowicka, P., Tkacz, K. and Turkiewicz, I. P., 2020. Sprouts vs. microgreens as novel functional foods: Variation of nutritional and phytochemical profiles and their in vitro bioactive properties. *Molecules*, 25(20), 4648.
- Wright, K. M. and Holden, N. J., 2018. Quantification and colonisation dynamics of *Escherichia coli* O157: H7 inoculation of microgreens species and plant growth substrates. *International Journal of Food Microbiology*, 273, 1-10.
- Xiao, Z., Bauchan, G., Nichols-Russell, L., Luo, Y., Wang, Q. and Nou, X., 2015. Proliferation of *Escherichia coli* O157: H7 in soil-substitute and hydroponic microgreen production systems. *Journal of Food Protection*, 78(10): 1785-1790.
- Xiao, Z., Lester, G. E., Luo, Y., Xie, Z. K., Yu, L. L. and Wang, Q., 2014a. Effect of light exposure on sensorial quality, concentrations of bioactive compounds and antioxidant capacity of radish microgreens during low temperature storage. *Food Chemistry*, 151, 472-479.
- Xiao, Z., Lester, G. E., Luo, Y. and Wang, Q., 2012. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 7644-7651.
- Xiao, Z., Luo, Y., Lester, G. E., Kou, L., Yang, T. and Wang, Q., 2014b. Postharvest quality and shelf life of radish microgreens as impacted by storage temperature, packaging film and chlorine wash treatment. *LWT-Food Science and Technology*, 55(2), 551-558.
- Xiao, Z., Nou, X., Luo, Y. and Wang, Q., 2014c. Comparison of the growth of *Escherichia coli* O157: H7 and O104: H4 during sprouting and microgreen production from contaminated radish seeds. *Food Microbiology*, 44, 60-63.
- Xiao, Z., Rausch, S. R., Luo, Y., Sun, J., Yu, L., Wang, Q., Chen, P., Yu, L. and Stommel, J. R., 2019. Microgreens of Brassicaceae: Genetic diversity of phytochemical concentrations and antioxidant capacity. *LWT*, 101, 731-737.
- Yamamoto, M. (1964). Water absorption in strand plant seeds. *Bot. Mag. Tokyo*, 77, 223-235.
- Yan, H., Li, W., Chen, H., Liao, Q., Xia, M., Wu, D., Liu, C., Chen, J., Zou, L., Peng, L., Zhao, G. and Zhao, J., 2022. Effects of storage temperature, packaging material and wash treatment on quality and shelf life of tartary buckwheat microgreens. *Foods*, 11(22), 3630.
- Yang, S. C., Lin, C. H., Aljuffali, I. A. and Fang, J. Y., 2017. Current pathogenic *Escherichia coli* foodborne outbreak cases and therapy development. *Archives of Microbiology*, 199(6), 811-825.
- Yaun, B. R., Sumner, S. S., Eifert, J. D., and Marcy, J. E., 2004. Inhibition of pathogens on fresh produce by ultraviolet energy. *International Journal of Food Microbiology*, 90(1), 1-8.

- Yavuz, M. ve Korukluoğlu, M., 2010. *Listeria monocytogenes*' in gıdalardaki önemi ve insan sağlığı üzerine etkileri. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 24(1), 1-10.
- Yun, J., Yan, R., Fan, X., Gurtler, J. and Phillips, J., 2013. Fate of *E. coli* O157: H7, *Salmonella* spp. and potential surrogate bacteria on apricot fruit, following exposure to UV light. International Journal of Food Microbiology, 166(3), 356-363.
- Zhang, C., Lu, Z., Li, Y., Shang, Y., Zhang, G., and Cao, W., 2011. Reduction of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enteritidis* on mung bean seeds and sprouts by slightly acidic electrolyzed water. Food Control, 22(5), 792-796.
- Zhang, H., Seck, H. L. and Zhou, W., 2021a. Inactivation of *Salmonella* Typhimurium, *Escherichia coli* O157: H7, *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes* in cardamom using 150 KeV low-energy X-ray. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 67, 102556.
- Zhang, Y., Xiao, Z., Ager, E., Kong, L., and Tan, L., 2021b. Nutritional quality and health benefits of microgreens, a crop of modern agriculture. Journal of Future Foods, 1(1), 58-66.
- Zweifel, C. and Stephan, R., 2012. Spices and herbs as source of *Salmonella*-related foodborne diseases. Food Research International, 45(2), 765-769.

ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler
Adı Soyadı: Sefa IŞIK
Eğitim
Lisans:
Yüksek lisans:
Doktora:
Yabancı Dil Bilgisi
İngilizce:
Tezden Üretilmiş Yayınlar
1. Işık, S., Aytemiş, Z., Çetin, B. and Topalcengiz, Z., 2022. Possible explanation for limited reduction of pathogens on radish microgreens after spray application of chlorinated water during growth with disperse contamination spread of abiotic surrogate on leaves. Journal of Food Safety, 42(4), e12984.