



T.C.

Ege Üniversitesi



Fen Bilimleri Enstitüsü

UV-C IŞIK VE BAZI BİTKİSEL MATERYALLERİN *IN VITRO* KOŞULLAR VE MODEL GIDA SİSTEMLERİNDE ANTİMİKROBİYAL, ANTİBİYOFİLM VE ANTİQUORUM SENSİNG (YETERLİ ÇOĞUNLUĞU ALGILAMA SİSTEMİNİN İNHİBİSYONU) AKTİVİTELERİNİN ARAŞTIRILMASI VE UV-C UYGULAMALARININ BİTKİSEL MATERYALLER İLE KOMBİNE OLARAK KULLANIMININ YANIT YÜZEY METODOLOJİSİ İLE OPTİMİZASYONU

Doktora Tezi

Ayça KORKMAZ VURMAZ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir

2024

T.C.

Ege Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

**UV-C IŞIK VE BAZI BİTKİSEL MATERYALLERİN
IN VITRO KOŞULLAR VE MODEL GIDA
SİSTEMLERİNDE ANTİMİKROBİYAL,
ANTİBİYOFİLM VE ANTİQUORUM SENSİNG
(YETERLİ ÇOĞUNLUĞU ALGILAMA SİSTEMİNİN
İNHİBİSYONU) AKTİVİTELERİNİN
ARAŞTIRILMASI VE UV-C UYGULAMALARININ
BİTKİSEL MATERYALLER İLE KOMBİNE OLARAK
KULLANIMININ YANIT YÜZEY METODOLOJİSİ
İLE OPTİMİZASYONU**

Ayça KORKMAZ VURMAZ

Prof. Dr. Gülten GÜNDÜZ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Doktora Programı

İzmir

2024

91180000252 numaralı Ayça KORKMAZ VURMAZ tarafından doktora tezi olarak sunulan “UV-C ışık ve bazı bitkisel materyallerin *in vitro* koşullar ve model gıda sistemlerinde antimikrobiyal, antibiyofilm ve antiquorum sensing (yeterli çoğunluğu algılama sisteminin inhibisyonu) aktivitelerinin araştırılması ve UV-C uygulamalarının bitkisel materyaller ile kombine olarak kullanımının yanıt yüzey metodolojisi ile optimizasyonu” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 09.09.2024 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	:	
Raportör Üye	:	
Üye	:	
Üye	:	
Üye	:	

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “UV-C Işık ve Bazı Bitkisel Materyallerin *in vitro* Koşullar ve Model Gıda Sistemlerinde Antimikrobiyal, Antibiyofilm ve Antiquorum Sensing (Yeterli Çoğunluğu Algılama Sisteminin İnhibisyonu) Aktivitelerinin Araştırılması ve UV-C Uygulamalarının Bitkisel Materyaller ile Kombine Olarak Kullanımının Yanıt Yüzey Metodolojisi ile Optimizasyonu” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

09 / 09 / 2024

Ayça KORKMAZ VURMAZ

ÖZET

**UV-C IŞIK VE BAZI BİTKİSEL MATERYALLERİN *IN VITRO*
KOŞULLAR VE MODEL GIDA SİSTEMLERİNDE ANTİMİKROBİYAL,
ANTİBİYOFİLM VE ANTİQUORUM SENSİNG (YETERLİ
ÇOĞUNLUĞU ALGILAMA SİSTEMİNİN İNHİBİSYONU)
AKTİVİTELERİNİN ARAŞTIRILMASI VE UV-C UYGULAMALARININ
BİTKİSEL MATERYALLER İLE KOMBİNE OLARAK KULLANIMININ
YANIT YÜZEY METODOLOJİSİ İLE OPTİMİZASYONU**

VURMAZ KORKMAZ, Ayça

Doktora Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gülten GÜNDÜZ

Eylül 2024, 292 sayfa

Bu çalışmada, hiren, sarı kantaron, dağ çileği ekstraktları, hidrosolleri ve esansiyel yağlarının antimikrobiyal, antibiyofilm ve antiquorum sensing (anti-QS) özelliklerinin test edilmesi ile yenilebilir kaplamada kullanılabilme potansiyelinin belirlenmesi, çift taraflı UV-C cihazı kullanılarak UV-C uygulamasının etkinliğinin tespiti ve bu iki uygulamanın model gıdalarda kombine olarak kullanım koşullarının optimize edilerek ürünlerin güvenilirliğinin sağlanması amaçlanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında dağ çileği çiçeği, yaprağı; sarı kantaron ve hiren ekstraktlarının yüksek anti-QS aktivitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında çözgen olarak metanolün kullanıldığı ekstraktların daha etkili anti-QS aktivite gösterdiği, dolayısıyla sinyal üretimi üzerinde etkili bileşenler içerdiği tespit edilmiştir. Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının minimum inhibisyon konsantrasyonunda (MİK) kullanıldığında %90.53 oranında viyolasin inhibisyonu sağladığı belirlenmiştir. Ekstraktın anti-QS aktivite üzerinde etkili bileşenler içerdiği, biyofilm inhibisyonu için araştırılan test kültürlerinin tümünde >%70 biyofilm inhibisyonu sağlaması ile desteklenmiştir. Ayrıca MİK ve MİK/2 konsantrasyonlarda ekstraktın test kültürleri tarafından üretilen ekzopolisakkarit miktarını azalttığı tespit edilmiştir. Bitkisel materyalin etken madde içeriğini arttırmak amacıyla Box-Behnken yöntemi kullanılarak ultrasonik destekli ekstraksiyon işlem koşulları (%100 metanol, 57°C, 18 dk) optimize edilmiştir. Optimize edilmiş ekstraktın DPPH radikalini giderme oranı %94.92 olarak belirlenirken, toplam fenolik madde miktarı 163.86 mg GAE/g olarak bulunmuştur. Kimyasal kompozisyon sonuçları incelendiğinde dağ çileği yaprağı

metanol ekstraktının kaempferol, mirisetin, kuersetin, rutin gibi bileşenlerin yanı sıra daha önce literatürde rapor edilmemiş olan florizin, rezerpin ve herbasetin bileşenlerini içerdiği ilk kez tespit edilmiştir. Ayrıca WST analiz sonuçları incelendiğinde IC₅₀ değeri 12.04 mg/mL olarak bulunmuş olup, ekstraktın sitotoksik etki göstermediği belirlenmiştir. Ekstrakt uygulaması ile viyolasin inhibisyonunda en yüksek %90.53-91.86 aralığında azalma sağlanırken, UV-C ışık uygulaması (0.12 kJ/m²) ile %80.54-93.34 aralığında viyolasin inhibisyonu sağlanmıştır. Bunun yanı sıra ekstrakt uygulaması ile en yüksek biyofilm inhibisyonu %87.62 olarak belirlenirken, 0.25 kJ/m² dozda UV-C ışık uygulaması ile %97.92-100 arasında değişen oranlarda yüksek biyofilm inhibisyonu sağlandığı bulunmuştur. Çalışmada model gıda olarak seçilen domates örneklerinin yüzey morfolojisi nedeniyle örneklerle inokule edilen *Salmonella* Typhimurium ve *Listeria monocytogenes* üzerinde UV-C ışık uygulamasının çilek örneklerinden daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde depolama süresince domates örneklerinin doğal mikroflorası üzerinde UV-C ışığın daha düşük doz uygulamasına rağmen çilek örneklerinden daha etkili olduğu belirlenmiştir. Model gıdalara inoküle edilen *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* test kültürlerinin farklı UV-C ışık doz uygulamalarında sergilediği mikrobiyal inaktivasyon kinetikleri sırasıyla en iyi Geeraerd Tail ve Weibull modelleri ile uyum sağlamıştır. Ayrıca UV-C ışığa daha dirençli olduğu tespit edilen *L. monocytogenes* inoküle edilen örneklerde, hasar almış hücrelerin görünür ışık altında DNA hasarını onarabilme kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle UV-C ışık uygulamasının ardından örneklerin buzdolabı koşullarında karanlıkta depolanması gerektiği vurgulanmıştır. Çalışmanın son aşamasında UV-C ışık uygulamalarının ekstrakt ilave edilen yenilebilir kaplamalar ile kombine olarak kullanımı Merkezi Bütünleşik Dizayn Tasarımı yöntemiyle optimize edilmiştir. Elde edilen optimum koşullarda (9.06 kJ/m² UV-C ışık uygulaması ve 13.5 mg/mL bitkisel materyal içeren kaplama) işlem uygulanmış çileklerin depolama süresince (4°C’de 13 gün) mikrobiyolojik, fizikokimyasal ve duyusal değişimleri incelenmiştir. Depolama süresince *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* sayılarında 0.51-1.77 log aralığında azalma sağlanmıştır. Toplam mezofilik aerobik bakteri, psikrofilik bakteri, küf ve maya sayılarında ise sırasıyla 0.50-0.76, 0.23-0.49 ve 0.69-0.81 log azalma sağlanmıştır. Çalışma sonucunda depolama süresince UV-C ışık uygulamaları sonrasında ekstrakt ilave edilen yenilebilir film ile kaplanan çilek örneklerinin kontrol ile kıyaslandığında toplam fenolik madde miktarının (38.83 mg GAE/100 g) ve DPPH radikalini inhibe etme oranının (%98.72) daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (p<0.05). Depolanmanın 10. gününde tek başına UV-C ışık uygulamaları

ile kıyaslandığında kombine uygulamalar sayesinde ilek örneklerinde bozulma sıklığının %37.50'ye düştüğü belirlenmiştir. Depolamanın 13. gününe kadar ilek örneklerinin duysal açıdan kabul edilebilir organoleptik özelliklere sahip olduğu bulunmuştur. Bu tez çalışması sonucunda, dağ ileği yaprağı metanol ekstraktının yüksek antimikrobiyal, antibiyofilm ve anti-QS aktivitelerine sahip olduğu ve bu özellikleri nedeniyle gıda güvenliği ve kalitesinin sağlanması kullanıma potansiyeli taşıdığı belirlenmiştir. UV-C ışık uygulaması ve dağ ileği yaprağı ekstraktının birlikte kullanımının gıda güvenliğinin sağlanması ve ürün kalitesinin korunması için etkili bir yöntem olarak değerlendirilebileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Antimikrobiyal, engelleme teknolojisi, optimizasyon, UV-C ışık



ABSTRACT**INVESTIGATION OF ANTIMICROBIAL, ANTIBIOFILM AND
ANTIQUORUM SENSING ACTIVITIES OF UV-C LIGHT AND SOME
PLANT-DERIVED MATERIALS UNDER *IN VITRO* CONDITIONS AND
MODEL FOOD SYSTEMS AND OPTIMIZATION OF COMBINED
TREATMENTS OF UV-C LIGHT AND PLANT-DERIVED MATERIALS
BY RESPONSE SURFACE METHODOLOGY**

KORKMAZ VURMAZ, Ayça

PhD. in Food Eng.

Supervisor: Prof. Dr. Gülten GÜNDÜZ

September 2024, 292 pages

In this study, it was aimed to investigate the antimicrobial, antibiofilm, and antiquorum sensing (anti-QS) activities of extracts, hydrosols and essential oils of horseradish, St. John's wort and strawberry tree as well as their potential use as edible coating material, to assess the effectiveness of UV-C application using the double-sided UV-C light device, and to ensure the safety of the products by optimizing the conditions for the combined use of these treatments in model foods. The first stage of the study showed that horseradish, St. John's wort, strawberry tree flower and leaf extracts displayed the highest anti-QS activity among the test materials. The results indicated that the methanolic extracts exhibited more potent anti-QS activity, suggesting that they contained components effective in modulating signal production mechanisms. The methanol extract of strawberry tree leaves provided 90.53% inhibition of violacein pigment production at the minimum inhibitory concentration (MIC). The extract was found to contain components that were effective in inhibiting quorum sensing activity, as supported by its ability to provide inhibition rates greater than 70% against biofilm formation in all test cultures examined. Moreover, it was detected that the exopolysaccharide production of the test cultures were significantly reduced when applied at both MIC and MIC/2 concentrations. In addition, the ultrasonic-assisted extraction process conditions were optimized (100% methanol, 57°C, 18 minutes) by using the Box-Behnken method to increase the active ingredient content of the plant material. The DPPH radical inhibition rate and the amount of total phenolic

compounds of the optimized extract were determined as 94.92% and 163.86 mg GAE/g, respectively. Analysis of the chemical composition showed that the strawberry tree leaf methanol extract contained kaempferol, myricetin, quercetin and rutin as well as previously unreported components, including phlorizin, reserpine, and herbacetin. In addition, the WST analysis results revealed an IC_{50} value of 12.04 mg/mL which showed that the extract did not exhibit cytotoxic activity. The highest inhibition of violacein production was observed with a range of 90.53-91.86% with the application of the extract, whereas the use of UV-C light resulted in violacein inhibitions ranging between 80.54-93.34%. In addition, while the highest biofilm inhibition was determined to be 87.62% with extract application, UV-C light treatment at a dose of 0.25 kJ/m² displayed high biofilm inhibition of 97.92-100%. This study showed that due to tomatoes' surface morphology, UV-C light treatment was more effective in reducing *Salmonella* Typhimurium and *Listeria monocytogenes* in tomato samples compared to strawberry samples. Similarly, despite the treatment of a lower dose of UV-C light on tomato samples, the effect of UV-C light on the natural microflora of tomatoes during storage was found to be more pronounced than the effect on strawberry samples. The microbial inactivation kinetics of *S. Typhimurium* and *L. monocytogenes* test cultures inoculated into model foods at different UV-C light dose treatments were best described by Geeraerd Tail and Weibull models, respectively. Additionally, the study revealed that *L. monocytogenes*, which exhibited greater resistance to UV-C light, could repair DNA damage when exposed to visible light in the inoculated samples. Hence, it was recommended to store the samples in a dark, refrigerated environment following the UV-C light application. In the final stage of the study, the process parameters of edible coating containing plant material applications in combination with UV-C light were optimized by the Central Composite Design method. The effects of the optimal conditions (9.06 kJ/m² UV-C light treatment and 13.5 mg/mL plant material in the edible coating) on strawberry quality were assessed through microbiological, physicochemical, and sensory evaluations during storage (4°C for 13 days). During storage, 0.51-1.77 log reduction was obtained on *S. Typhimurium* and *L. monocytogenes* test cultures inoculated into strawberry samples. The total mesophilic aerobic bacteria, psychophilic bacteria, and mold and yeast counts in samples decreased by 0.50-0.76, 0.23-0.49 and 0.69-0.81 log, respectively. As a result of the study, it was found that the total phenolic content (38.83 mg GAE/100 g) and the DPPH radical inhibition (98.72%) were higher in strawberry samples coated with an edible film containing the extract, which had been applied after UV-C light treatment, compared to the control during the

storage period ($p < 0.05$). On the 10th day of storage, the combined UV-C treatment was found to significantly reduce the spoilage rate of strawberry samples to 37.5% compared to UV-C light applications alone. It was determined that strawberry samples retained acceptable organoleptic properties in sensory evaluations throughout the 13-day storage period. The findings of this study indicate that strawberry tree leaf methanol extract, which exhibits potent antimicrobial, antibiofilm, and anti-quorum sensing properties, may have the potential to enhance food safety and quality. The combined treatment of UV-C and strawberry tree leaf methanol extract is an effective method that can be successfully utilized for enhancing food safety and maintaining product quality.

Keywords: Antimicrobial, hurdle technology, optimization, UV-C light





ÖNSÖZ

Son yıllarda tüketicilerin sağlıklı alternatiflere olan yöneliminin artmasına bağlı olarak taze meyve ve sebze tüketiminde artış meydana gelmiştir. Ancak taze çiğ olarak meyve ve sebzelerin tüketiminin artması ile birlikte gıda kaynaklı hastalık vakalarında artış görülmesi bu ürünlerde gıda güvenliğinin sağlanması konusunda önemli bir endişe olduğunu göstermiştir. Özellikle kimyasal koruyucuların insan sağlığı açısından zararlı etkileri de göz önüne alındığında, etkili antimikrobiyal maddelerin araştırma gerekliliği karşımıza çıkmıştır. Bu nedenle tez çalışmasında doğal bitkisel materyallerin kullanılması ile gıda güvenliği sağlanarak gıda kaynaklı hastalıkların önlenmesi ve gıda kalitesinin korunarak gıdaların bozulmasının önlenmesi, dolayısıyla gıda israfının azaltılması hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda ülkemizde önemi yeterince anlaşılmayan bitkisel materyallerin gıda endüstrisine kazandırılması hedeflenmiştir. Ayrıca çeşitli çalışmalarda etkinliği belirlenen çift taraflı UV-C ışık cihazının gıda endüstrisi için umut vaat eden bir yöntem olabileceği gösterilmiştir. Çalışmada UV-C ışık uygulaması ve doğal bitkisel materyal içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplama işlemlerinin kombine edilerek kullanımının etkinliği belirlenmiş olup, depolama süresi boyunca örneklerde mikrobiyolojik, fizikokimyasal ve duyu analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kimyasal koruyuculara alternatif olarak kullanılan kombine yöntemlerin inoküle edilen patojen mikroorganizmaları etkili şekilde inhibe etmesi, kullanılan model gıdanın doğal mikroflorasında bulunan mikrobiyal yükü azaltırken duyu özelliklerinin de geliştirilmesi hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde bu tez çalışmasının hedefine ulaştığı düşünülmektedir.

Bu tez çalışması, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) bünyesinde yer alan Tarım, Ormancılık ve Veterinerlik Araştırma Destek Grubu (TOVAG) tarafından desteklenmiştir (Proje No: 122O048). Ayça KORKMAZ VURMAZ, YÖK 100/2000 Doktora Burs Programı (Gıda Üretimi, İşleme ve Teknolojisi) ve TÜBİTAK 2211/A Yurt İçi Genel Doktora Burs Programı tarafından desteklenmiştir.

İZMİR

09/09/2024

Ayça KORKMAZ VURMAZ



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	xi
ÖNSÖZ	xv
ŞEKİLLER DİZİNİ	xxiv
TABLolar DİZİNİ	xxvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxxiv
1 GİRİŞ	1
2 GENEL BİLGİLER	4
2.1 Dağ Çileği Bitkisi	4
2.1.1 Dağ çileği bitkisinin özellikleri ve kullanım alanları	4
2.1.2 Dağ çileği bitkisinin fenolik içeriği ve antioksidan özellikleri	6
2.1.3 Dağ çileği ekstrakt ve esansiyel yağlarının antimikrobiyal aktivitesi	8
2.1.4 Dağ çileği ekstrakt veya esansiyel yağlarının antibiyofilm ve antiquorum sensing aktiviteleri	11
2.1.5 Gıdalarda dağ çileği ekstrakt veya esansiyel yağ uygulamaları	13
2.2 Sarı Kantaron Bitkisi	14
2.2.1 Sarı kantaron bitkisinin özellikleri ve kullanım alanları	14
2.2.2 Sarı kantaron bitkisinin fenolik içeriği ve antioksidan özellikleri	16

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

2.2.3 Sarı kantaron ekstrakt ve esansiyel yağlarının antimikrobiyal aktivitesi	17
2.2.4 Sarı kantaron ekstrakt ve esansiyel yağlarının antibiyofilm ve antiquorum sensing aktiviteleri	21
2.2.5 Gıdalarda sarı kantaron ekstrakt veya esansiyel yağ uygulamaları	23
2.3 Hiren Bitkisi	24
2.3.1 Hiren bitkisinin özellikleri ve kullanım alanları	24
2.3.2 Hiren bitkisinin fenolik içeriği ve antioksidan özellikleri	25
2.3.3 Hiren ekstrakt ve esansiyel yağlarının antimikrobiyal aktivitesi	26
2.3.4 Hiren ekstrakt ve esansiyel yağlarının antibiyofilm ve antiquorum sensing aktiviteleri	27
2.3.5 Gıdalarda hiren ekstrakt veya esansiyel yağ uygulamaları	28
2.4 Gıda Kaynaklı Patojen Mikroorganizmalar	30
2.4.1 <i>Salmonella</i> spp.	36
2.4.2 <i>Listeria monocytogenes</i>	36
2.5 Yenilebilir Filmler ve Kullanım Alanları	37
2.6 Ultrases (US) Uygulamaları	41
2.7 Ultraviyole (UV) Işık Uygulamaları	41
2.8 Engel Teknolojisi	47

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

2.9	Yanıt Yüzey Metodolojisi	54
3	GEREÇ VE YÖNTEM	56
3.1	Gereç	56
3.1.1	Test kültürleri	56
3.1.2	Bitkisel materyaller	56
3.1.3	Model gıda örnekleri.....	56
3.2	Yöntem	57
3.2.1	Test kültürlerinin hazırlanması.....	57
3.2.2	Ekstraktların hazırlanması	58
3.2.3	Esansiyel yağ ve hidrosollerin elde edilmesi.....	58
3.2.4	Antimikrobiyal aktivitenin belirlenmesi.....	59
3.2.5	Bitkisel materyallerin antibiyofilm aktivitesinin belirlenmesi	60
3.2.6	Bitkisel materyallerin antiquorum sensing aktivitelerinin belirlenmesi.....	63
3.2.7	Bitkisel materyallerin antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi	64
3.2.8	Bitkisel materyallerin toplam fenolik madde miktarının belirlenmesi	65
3.2.9	Tarama analizleri sonucunda etkili bitkisel materyal seçimi.....	65
3.2.10	Seçilen bitkisel materyallerin sitotoksik özelliklerinin belirlenmesi.....	66

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

3.2.11 Seçilen bitkisel materyallerin kimyasal kompozisyonlarının belirlenmesi.	66
3.2.12 Seçilen bitkisel materyalin ultrasonik destekli ekstraksiyon koşullarının optimizasyonu ve validasyonu	67
3.2.13 Model gıda örneklerinin hazırlanması	68
3.2.14 Test kültürlerinin model gıdalara inokülasyonu	69
3.2.15 Yenilebilir film solüsyonunun hazırlanması ve yenilebilir kaplama ile kaplanan çileklerde antimikrobiyal etkinin belirlenmesi	70
3.2.16 UV-C ışık uygulamaları	71
3.2.17 UV-C ışık uygulanan model gıdalarda depolama süresince mikrobiyolojik ve duyuşal özellikler ile fizikokimyasal özelliklerde değişimin belirlenmesi	77
3.2.18 UV-C ışık işlemleri uygulandıktan sonra seçilen bitkisel ekstrakt ile hazırlanan yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çileklerde depolama süresince mikrobiyolojik, fizikokimyasal ve duyuşal özelliklerin belirlenmesi	78
3.2.19 İnaktivasyon verilerinin modellenmesi	82
3.2.20 İstatistiksel analizler	82
4 BULGULAR VE TARTIŞMA	84
4.1 Bitkisel Materyallerin Antimikrobiyal Aktivitesinin Belirlenmesi	84
4.1.1 Disk difüzyon analizi sonuçları	84
4.1.2 Mikrodilüsyon yöntemi analizi sonuçları	87
4.2 Bitkisel Materyallerin Antibiyofilm Aktivitesinin Belirlenmesi	93

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

4.2.1 Test kültürlerinin biyofilm oluşturma yeteneklerinin belirlenmesi.....	93
4.2.2 Test kültürlerinin antibiyofilm aktivesinin belirlenmesi.....	94
4.2.3 Bitkisel materyallerin biyofilm eradikasyonu analiz sonuçları.....	104
4.2.4 Bitkisel materyallerin ekzopolisakkarit (EPS) üretimi üzerine etkisinin belirlenmesi.....	106
4.2.5 Bitkisel materyallerin antiquorum sensing aktivesinin belirlenmesi	111
4.2.6 Bitkisel materyallerin antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde miktarı 121	
4.2.7 Tarama analizleri sonucunda etkili bitkisel materyal seçimi	125
4.2.8 Seçilen bitkisel materyallerin sitotoksik özelliklerinin belirlenmesi	129
4.2.9 Seçilen bitkisel materyallerin kimyasal kompozisyonlarının belirlenmesi	132
4.2.10 Seçilen bitkisel materyalin ultrasonik destekli ekstraksiyon koşullarının optimizasyonu.....	137
4.3 UV-C Işık Uygulamaları	146
4.3.1 147UV-C ışık uygulamalarının in vitro koşullarda katı ve sıvı ortamda test kültürleri üzerinde antimikrobiyal ve antibiyofilm aktivitelerinin belirlenmesi..	147
4.3.2 UV-C ışık uygulamalarının <i>in vitro</i> koşullarda test kültürleri üzerinde anti-QS Aktiviteleri.....	157
4.4 Model Gıdalarda UV-C Işık Uygulaması.....	159

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

4.4.1 Domates örneklerine inokule edilmiş <i>S. Typhimurium</i> ve <i>L. monocytogenes</i> kültürü ile yapılan UV-C uygulamalarına ait bulgular	159
4.4.2 Çilek örneklerine inokule edilmiş <i>S. Typhimurium</i> ve <i>L. monocytogenes</i> kültürü ile yapılan UV-C uygulamalarına ait bulgular	168
4.4.3 UV-C ışık uygulaması sonrasında reaktivasyon mekanizmalarının etkisinin belirlenmesi.....	176
4.4.4 UV-C ışık uygulanan model gıdaların depolama süresince mikrobiyolojik, fizikokimyasal ve duyuşal özellikleri	178
4.4.5 UV-C ışık uygulamalarının işlem sonrasında ve depolama süresince inokülasyon yapılmış model gıdalarda <i>L. monocytogenes</i> ve <i>S. Typhimurium</i> sayıları üzerine etkisi	179
4.4.6 UV-C ışık uygulamalarının işlem sonrasında ve depolama süresince model gıdaların doğal mikroflorası üzerine etkisi	182
4.4.7 UV-C ışık uygulamalarının işlem sonrasında ve depolama süresince model gıdaların fizikokimyasal ve duyuşal özellikleri üzerine etkisi.....	189
4.5 UV-C ışık ve bitkisel materyal içeren yenilebilir kaplama uygulamalarının kombine olarak kullanımının etkisi.....	201
4.5.1 UV-C ışık ve bitkisel materyal içeren yenilebilir kaplama uygulamalarının kombine olarak kullanımının depolama süresince çilek örneklerine inoküle edilen patojen mikroorganizmalar üzerindeki etkisi.....	208
4.5.2 UV-C ışık ve bitkisel materyal içeren yenilebilir kaplama uygulamalarının kombine olarak kullanımının depolama süresince çilek örneklerinin doğal mikroflorası üzerindeki etkisi	210

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam)Sayfa

4.5.3 UV-C ışık ve bitkisel materyal içeren yenilebilir kaplama uygulamalarının
kombine olarak kullanımının depolama süresince çilek örneklerinin
fizikokimyasal ve duyuşal özellikleri üzerine etkisi.....215

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....225

KAYNAKLAR DİZİNİ.....231

TEŞEKKÜR 287

ÖZGEÇMİŞ.....288

EKLER 292

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Dağ çileği bitkisi	4
Şekil 2.2 Sarı kantaron bitkisi	15
Şekil 2.3 Hiren kökleri	24
Şekil 2.4 Gıda kaynaklı salgınlara ait veriler (CDC, 2024)	31
Şekil 3.1 UV-C ışık uygulamaları için kullanılan cihaz	71
Şekil 3.2 Model gıda örneklerine UV-C ışık uygulaması	75
Şekil 4.1 Toplam karbonhidrat içeriği standart eğrisi	107
Şekil 4.2 Test kültürlerinin EPS üretimi üzerine etkisi	108
Şekil 4.3 MTT analiz sonuçları	129
Şekil 4.4 WST analiz sonuçları	130
Şekil 4.5 Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının pozitif mod için toplam iyon kromatogramı	132
Şekil 4.6 Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının negatif mod için toplam iyon kromatogramı	133
Şekil 4.7 Sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktının pozitif mod için toplam iyon kromatogramı	135
Şekil 4.8 Sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktının negatif mod için toplam iyon kromatogramı	135

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.9 Seçilen modele ait RSM grafikleri	140
Şekil 4.10 Valide edilmiş koşullarda elde edilen dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının sitotoksisite sonuçları.....	142
Şekil 4.11 Valide edilmiş koşullarda elde edilen dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının pozitif mod için toplam iyon kromatogramı	145
Şekil 4.12 Valide edilmiş koşullarda elde edilen dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının negatif mod için toplam iyon kromatogramı	145
Şekil 4.13 UV-C uygulamasının koloni gelişimi üzerine etkisi	158
Şekil 4.14 Kombine uygulama sonucunda çilek örneklerindeki <i>S. Typhimurium</i> sayısındaki azalma için yanıt yüzey grafiği.....	206
Şekil 4.15 Kombine uygulama sonucunda çilek örneklerindeki <i>L. monocytogenes</i> sayısındaki azalma için yanıt yüzey grafiği.....	207
Şekil 4.16 Kombine uygulama sonucunda çilek örneklerindeki duyusal renk puanları için yanıt yüzey grafiği	207

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1 Dağ çileği ekstrakt ve esansiyel yağlarının antimikrobiyal aktivitesi	9
Tablo 2.2 Sarı kantaron bitkisinin antimikrobiyal aktivitesi.....	18
Tablo 2.3 CDC tarafından rapor edilmiş meyve ve sebze tüketimine bağlı olarak mikrobiyal hastalıklar	31
Tablo 2.4 UV-C ışık teknolojisinin farklı gıda ürünlerinde kullanımının etkinliği	44
Tablo 2.5 Ultraviyole ışığın FDA tarafından izin verilen kullanım alanları ve şartları.....	47
Tablo 2.6 UV-C ışık teknolojisinin farklı uygulamalar ile kombine kullanımının etkinliği	53
Tablo 3.1 Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının ultrasonik destekli ekstraksiyonu için kullanılan Box-Behnken deneme planı.....	67
Tablo 3.2 Uygulama modeline ait bağımlı ve bağımsız değişkenler ile optimizasyon hedefleri	67
Tablo 3.3 Kombine uygulamaların optimizasyonu için kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenler.....	78
Tablo 4.1 Bitkisel materyallerin disk difüzyon analiz sonuçları	85
Tablo 4.2 Bitkisel materyal ekstraktlarının MİK ve MBK değerleri	88
Tablo 4.3 Bitkisel materyal hidrosol ve esansiyel yağlarının MİK ve MBK değerleri	91
Tablo 4.4 Test kültürlerinin biyofilm oluşturma yetenekleri	93

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.5 <i>S. Typhimurium</i> ATCC 13311 test kültürünün biyofilm oluşumunun inhibisyonu üzerinde farklı konsantrasyonlarda bitkisel materyallerin etkisi	96
Tablo 4.6 <i>S. Typhimurium</i> ATCC 14028 test kültürünün biyofilm oluşumunun inhibisyonu üzerinde farklı konsantrasyonlarda bitkisel materyallerin etkisi	98
Tablo 4.7 <i>L. monocytogenes</i> Scott A test kültürünün biyofilm oluşumunun inhibisyonu üzerinde farklı konsantrasyonlarda bitkisel materyallerin etkisi	101
Tablo 4.8 <i>L. monocytogenes</i> LM17 test kültürünün biyofilm oluşumunun inhibisyonu üzerinde farklı konsantrasyonlarda bitkisel materyallerin etkisi	103
Tablo 4.9 Bitkisel materyallerin biyofilm eradikasyonu analiz sonuçları	104
Tablo 4.10 Sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktının test kültürleri üzerine etkisi	109
Tablo 4.11 Bitkisel ekstrakt, hidrosol ve esansiyel yağlarının <i>C. violaceum</i> ATCC 12472 üzerindeki etkisi	113
Tablo 4.12 Bitkisel ekstrakt, hidrosol ve esansiyel yağlarının <i>C. violaceum</i> ATCC 31532 üzerindeki etkisi	114
Tablo 4.13 Bitkisel materyallerin kantitatif olarak viyolasin pigment inhibisyonu üzerine etkisi	119
Tablo 4.14 Bitkisel materyal ekstrakt ve hidrosollerinin antioksidan aktiviteleri	122
Tablo 4.15 Tarama analizleri sonrasında elde edilen bilgiler kullanılarak bitkisel materyal seçimi	127

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.16 Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktı kimyasal kompozisyonu	133
Tablo 4.17 Sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktı kimyasal kompozisyonu.....	135
Tablo 4.18 Ekstraksiyon optimizasyonu için Box-Behnken dizaynı kullanılarak elde edilen analiz sonuçları	138
Tablo 4.19 <i>S. Typhimurium</i> ATCC 13311 için program tarafından verilen ANOVA tablosu.....	139
Tablo 4.20 Yanıt yüzey metodolojisi sonucundan elde edilen tahmin tablosu....	140
Tablo 4.21 Validasyon uygulaması sonucunda elde edilen ekstraktlar ile ilgili veriler	141
Tablo 4.22 Valide edilmiş koşullarda elde edilen dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının kimyasal kompozisyonu.....	143
Tablo 4.23 UV-C ışık uygulama dozları	146
Tablo 4.24 Katı besiyerine inokule edilen test kültürlerine farklı sürelerde UV-C uygulaması sonrası 24 ve 72 saat inkübasyon sonunda elde edilen mikrobiyal azalmalar (log KOB/petri)	148
Tablo 4.25 Katı besiyerine inokule edilen <i>C. violaceum</i> ATCC 12472 ve <i>C. violaceum</i> ATCC 31532 test kültürlerine farklı sürelerde UV uygulaması sonrası 24 ve 72 saat inkübasyon sonunda elde edilen mikrobiyal azalmalar (log KOB/petri)	151
Tablo 4.26 Sıvı ortama inokule edilmiş bakteri kültürlerine uygulanan farklı uygulama sürelerinde elde edilen mikrobiyal azalmalar.....	152

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.27 Sıvı ortama inokule edilmiş <i>C. violaceum</i> kültürlerine uygulanan farklı uygulama sürelerinde elde edilen mikrobiyal azalmalar	154
Tablo 4.28 Sıvı ortamda UV-C uygulanan kültürlerin biyofilm oluşturma yeteneğinin inhibisyonu.....	155
Tablo 4.29 Sıvı ortamda UV-C uygulama sonrasında % viyolasin inhibisyonu .	157
Tablo 4.30 Domates örneklerine inokule edilmiş <i>S. Typhimurium</i> ve biyofilm oluşturmuş <i>S. Typhimurium</i> üzerine uygulanan UV-C ışık sonrasında elde edilen mikrobiyal azalmalar	160
Tablo 4.31 Domates örneklerine inokule edilen <i>S. Typhimurium</i> üzerinde uygulanan UV-C işlemleri sonucu elde edilen verilerin modellenmesi	161
Tablo 4.32 Domates örneklerinde biyofilm oluşturmuş <i>S. Typhimurium</i> üzerinde uygulanan UV-C işlemleri sonucu elde edilen verilerin modellenmesi	162
Tablo 4.33 Domates örneklerine inokule edilmiş <i>L. monocytogenes</i> kültürüne uygulanan UV-C ışık sonrasında elde edilen mikrobiyal azalmalar	162
Tablo 4.34 Domates örneklerine inokule edilen <i>L. monocytogenes</i> üzerinde uygulanan UV-C işlemleri sonucu elde edilen verilerin modellenmesi	163
Tablo 4.35 Domates örneklerinde biyofilm oluşturmuş <i>L. monocytogenes</i> üzerinde uygulanan UV-C işlemleri sonucu elde edilen verilerin modellenmesi	164
Tablo 4.36 Çilek örneklerine inokule edilmiş <i>S. Typhimurium</i> sayısındaki azalma	168
Tablo 4.37 Çilek örneklerine inokule edilen <i>S. Typhimurium</i> üzerinde uygulanan UV-C işlemleri sonucu elde edilen verilerin modellenmesi.....	169

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.38 Çilek örneklerinde biyofilm oluşturmuş <i>S. Typhimurium</i> üzerinde uygulanan UV-C işlemleri sonucu elde edilen verilerin modellenmesi	170
Tablo 4.39 Çilek örneklerine inokule edilen <i>L. monocytogenes</i> sayısındaki azalmalar	171
Tablo 4.40 Çilek örneklerine inokule edilen <i>L. monocytogenes</i> üzerinde uygulanan UV-C işlemleri sonucu elde edilen verilerin modellenmesi	172
Tablo 4.41 Çilek örneklerinde biyofilm oluşturmuş <i>L. monocytogenes</i> üzerinde uygulanan UV-C işlemleri sonucu elde edilen verilerin modellenmesi	173
Tablo 4.42 Model gıda örnekleri ile yapılan reaktivasyon uygulamaları (1 saat)	176
Tablo 4.43 Model gıda örnekleri ile yapılan reaktivasyon uygulamaları (24 saat)	177
Tablo 4.44 UV-C uygulamasının domates örneklerinde depolama süresince etkisi	179
Tablo 4.45 UV-C uygulamasının çilek örneklerinde depolama süresince etkisi	181
Tablo 4.46 Domates örneklerinde depolama süresince belirlenen toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı	182
Tablo 4.47 Domates örneklerinde depolama süresince belirlenen psikrofilik aerobik bakteri sayısı	184
Tablo 4.48 Domates örneklerinde depolama süresince belirlenen küf ve maya sayısı.....	185

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.49 Çilek örneklerinde depolama süresince belirlenen toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı.....	186
Tablo 4.50 Çilek örneklerinde depolama süresince belirlenen psikrofilik aerobik bakteri sayıları	187
Tablo 4.51 Çilek örneklerinde depolama süresince belirlenen küf ve maya sayıları	188
Tablo 4.52 Domates örneklerinin ağırlık kaybı, bozulma sıklığı ve toplam suda çözünür madde analiz sonuçları.....	189
Tablo 4.53 Domates örneklerinin renk analiz sonuçları.....	191
Tablo 4.54 Domates örneklerinin duyusal analiz sonuçları.....	193
Tablo 4.55 Domates örneklerinin antioksidan aktivitesi	193
Tablo 4.56 Domates örneklerinin toplam fenolik madde miktarı.....	194
Tablo 4.57 Çilek örneklerinin ağırlık kaybı, bozulma sıklığı ve toplam suda çözünür madde analiz sonuçları.....	196
Tablo 4.58 Çilek örneklerinin renk analiz sonuçları	197
Tablo 4.59 Çilek örneklerinin duyusal analiz sonuçları	198
Tablo 4.60 Çilek örneklerinin antioksidan aktivitesi.....	199
Tablo 4.61 Çilek örneklerinin toplam fenolik madde içeriği	200
Tablo 4.62 Çilek örneklerinde UV-C ışık ve yenilebilir kaplama uygulamalarının kombine olarak kullanımının optimizasyonuna ait sonuçlar.....	203

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.63 Program tarafından verilen <i>S. Typhimurium</i> sayısında azalma için ANOVA tablosu.....	204
Tablo 4.64 Program tarafından verilen <i>L. monocytogenes</i> sayısında azalma için ANOVA tablosu.....	205
Tablo 4.65 Program tarafından verilen duyuşal renk puanları için ANOVA tablosu	205
Tablo 4.66 Yanıt yüzey metodolojisi sonucundan elde edilen tahmin tablosu....	206
Tablo 4.67 Kombine yöntemin çilek örneklerine inoküle edilen patojen mikroorganizmalar üzerinde depolama süresince etkisi	208
Tablo 4.68 Kombine yöntemlerin çilek örneklerinde depolama süresince toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı üzerine etkisi.....	210
Tablo 4.69 Kombine yöntemlerin çilek örneklerinde depolama süresince toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısı üzerine etkisi	212
Tablo 4.70 Kombine yöntemlerin çilek örneklerinde depolama süresince toplam küf ve maya sayıları üzerine etkisi.....	214
Tablo 4.71 Kombine yöntemlerin uygulandığı çilek örneklerinin ağırlık kaybı, bozulma sıklığı ve toplam suda çözünür madde analiz sonuçları	216
Tablo 4.72 Kombine yöntemlerin uygulandığı çilek örneklerinin renk analiz sonuçları	218
Tablo 4.73 Kombine yöntemlerin uygulandığı çilek örneklerinin duyuşal analiz sonuçları	220

TABLÖLAR DİZİNİ (devam)TabloSayfa

Tablo 4.74 Kombine yöntemlerin uygulandığı çilek örneklerinin antioksidan aktivite analiz sonuçları 222

Tablo 4.75 Kombine yöntemlerin uygulandığı çilek örneklerinin toplam fenolik madde miktarı analiz sonuçları 223



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
sa	Saat
dk	Dakika
sn	Saniye
kg	Kilogram
g	Gram
L	Litre
mL	Mililitre
μ L	Mikrolitre
mg	Miligram
μ g	Mikrogram
ppm	Milyonda bir birim
GAE	Gallik asit eşdeğeri
TE	Trolox eşdeğeri
DPPH	2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
ITC	İzotiyosiyanat
KOB	Koloni oluşturan birim
log	Logaritmik birim
MBK	Minimum bakterisidal konsantrasyon
MİK	Minimum inhibisyon konsantrasyonu
IC ₅₀	Hücrelerin %50'sini inhibe etmek için gerekli konsantrasyon

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

MTT	3-(4,5-dimetiltiyazol2-yl)-2,5-difeniltetrazolyum-bromür tuzu
WST	2-(4-iodofenil)-3-(4-nitrofenil)-5-(2,4-disülfofenil)-2H-tetrazolyum tuzu
EPS	Ekzopolisakkarit
UV-C	Ultraviyole ışık
US	Ultrases
QS	Quorum sensing
RMSE	Kalıntı standart hata
R^2	Determinasyon katsayısı
k_{max}	İnaktivasyon katsayısı
p	Şekil faktörü
PET	Polietilen tereftalat
AMP	Ampisilin
KLO	Kloramfenikol
İZEF	Ege Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Herbaryumu
FDA	Food and Drug Administration/ Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi
FAO	Gıda Tarım Örgütü
WHO	World Health Organization/Dünya Sağlık Örgütü

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

RASFF	Avrupa Birliği Gıda ve Yem için Hızlı Uyarı Sistemi
CDC	Center for Disease Control and Prevention/ Hastalık Kontrol ve Korunma Merkezleri
RSM/YYM	Response surface methodology/Yanıt yüzey metodolojisi
CCD	Merkezi bütünleşik dizayn tasarımı



1 GİRİŞ

Son yıllarda tüketicilerin uygun ve sağlıklı ürünlere yönelik artan talepleri nedeniyle özellikle meyve ve sebzeler gibi taze ürünler giderek daha popüler hale gelmektedir. Ancak bu taze ürünlerin çiğ tüketilmesinin artışı ile birlikte ürünlerde canlı kalan patojen mikroorganizmaların gıda kaynaklı hastalıklara neden olması önemli bir sorun olarak görülmektedir (Yu and Shi, 2021). Amerika Birleşik Devletleri Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi (CDC) tarafından kayıt altına alınan veriler incelendiğinde, meyve ve sebzelerin tüketimiyle ilişkilendirilen *Salmonella* ve *Listeria monocytogenes* kaynaklı birçok mikrobiyal hastalık vakası olduğu rapor edilmiştir (CDC, 2024).

Mikroorganizmalar yüzeylere zayıf bağlar ile tutunduğunda genellikle dezenfektan uygulamaları ile uzaklaştırılmaktadır. Ancak biyofilm oluşumu meydana geldiğinde mikroorganizmaların uzaklaştırılması veya öldürülmesi daha zor olduğu için biyofilm oluşumunun engellenmesi gıda güvenliği açısından kritik öneme sahiptir (Vairagar et al., 2023). Bu nedenle gıda endüstrisinde; kimyasal kullanımına alternatif olarak adezyon ve biyofilm oluşumunu engellemek için doğal ve güvenli ajanlara olan ilgi giderek artmaktadır (Li et al., 2021).

Son yıllarda araştırmacılar, tüketicilerin artan ve değişen taleplerini karşılamak için mikrobiyal kontaminasyonların engellenmesinde etkili ve çevre dostu yöntemleri araştırmaya yönelmektedir (Leng et al., 2020). Bu doğrultuda gıdalarda ürün kalite kayıplarına neden olan mikrobiyal bozulmaları minimum seviyeye indirmek ve gıda kaynaklı hastalıklara neden olan mikroorganizmaların gelişimini inhibe etmek için bitkisel materyallerin kullanımı çevre dostu bir yaklaşımdır (Yu and Shi, 2021).

Bitkisel materyallerin ekstraksiyonunda kullanılan solventlerin yüksek miktarda kullanımı ve uzun süren ekstraksiyon süreleri gibi olumsuz özelliklerinden dolayı günümüzde yeşil ekstraksiyon kavramı ortaya çıkmıştır. Yeşil ekstraksiyon ile tehlikeli kimyasal kullanımını azaltmak, enerji tüketimini düşürmek ve güvenli bir şekilde ekstraksiyon verimini arttırmak hedeflenmektedir (Živković et al., 2018). Kısa ekstraksiyon süreleri, daha yüksek verim, düşük maliyet ve çevre dostu özellikleri nedeniyle farklı bitkisel materyallerin ekstraksiyonu için ultrasonik destekli ekstraksiyon başarıyla kullanılmaktadır (Živković et al., 2018; Leichtweis et al., 2019).

Son yıllarda gıdalarda ürün kayıplarını ve mikrobiyal gelişmeleri minimum seviyeye indirmek ve raf ömrünü uzatmak amacıyla doğal antimikrobiyal materyaller ile etkinliği arttırılan yenilebilir kaplamaların kullanımı konusunda yapılan araştırmalar artmaktadır (Al-Tayyar et al., 2020; Kumar et al., 2022; Alloh et al., 2024; Sharma et al., 2024). Ancak doğal antimikrobiyal materyallerin etkili olduğu konsantrasyonlarda kullanımının mümkün olmadığı durumlar ile karşılaşılabilir (Guerrero et al., 2017).

Gıda kalitesinin geliştirilmesi ve gıda güvenliğinin korunması için önemli katkılar sağlayan UV-C ışık teknolojisi düşük başlangıç yatırım maliyeti ve düşük enerji tüketimi nedeniyle son yıllarda dikkat çekmektedir (Pierscianowski et al., 2021). Bunun yanı sıra UV-C ışık teknolojisi, meyve ve sebzelerin hasat sonrası korunması ve işlenmesi için güvenli, etkili ve kalıntı bırakmayan bir yöntem olarak etkili bir potansiyele sahiptir (Diesler et al., 2019; Cankal et al., 2023). Ancak yüksek dozlarda UV-C ışık uygulamaları gıdalarda çeşitli kalite kayıplarına yol açan istenmeyen değişikliklere neden olabilmektedir. UV-C ışığın düşük penetrasyon derinliğinde etkili olması bu uygulamanın kullanımında önemli dezavantajlara yol açmaktadır (Butot et al., 2018). Bu dezavantajlar göz önüne alınarak meyve ve sebzelerde gıda güvenliğinin sağlanması ve ürünlerin duyu özelliklerinin korunması gerekliliğini karşılamak için farklı koruma yöntemlerinin ılımlı olarak uygulandığı engel teknolojisi kavramı geliştirilmiştir (Deng et al., 2020).

Yapılan bu tez çalışmasının ilk aşamasında, ülkemizde yetişen dağ çileği, sarı kantaron ve hırcan bitkilerinden elde edilen metanol ve su ekstraktları ile esansiyel yağlar/hidrozoellerinin *in vitro* koşullarda antimikrobiyal, antibiyofilm ve anti-quorum sensing (anti-QS) aktivitelerinin belirlenmesi sonucunda etkili olduğu belirlenen bitkisel materyalin etken madde içeriğinin arttırılması için ultrasonik destekli ekstraksiyon koşullarının optimizasyonu amaçlanmıştır. Çalışmanın diğer aşamasında tasarımı yapılan çift taraflı UV-C ışık uygulamasının *in vitro* koşullarda test kültürleri üzerinde antimikrobiyal, antibiyofilm ve anti-QS aktiviteleri belirlenmiştir. Ardından UV-C ışığın model gıda olarak seçilen çilek ve domates örneklerine inoküle edilmiş patojen mikroorganizma ve model gıdaların doğal mikroflorasında bulunan mikroorganizma sayılarında depolama süresince etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Model gıdalarda UV-C ışık uygulamalarının işlem sonrasında ve depolama süresince duyu özellikleri, renk ve ağırlık kaybı değişimlerinin minimum düzeyde olması hedeflenmiştir.

Belirlenen optimize işlem koşullarında kombine yöntem ile daha düşük antimikrobiyal madde konsantrasyonu ve/veya daha düşük UV-C doz uygulamaları gibi ılımlı koşullarda UV-C ışık uygulaması sonrasında ultrasonik destekli ekstraksiyonu yapılan bitkisel materyal içeren yenilebilir kaplama solüsyonu ile kaplanan model gıdalarda, örneklerin işlem sonrasında ve depolama süresince inokule edilen mikroorganizma sayısında azalma sağlanması, doğal mikroflorada bulunan mikroorganizma sayılarında istatistiksel açıdan anlamlı artış olmaması, duyusal özellikleri, renk ve ağırlık kaybı değişimlerinin minimum düzeyde olması hedeflenmiştir.

Çalışmanın gıda israfının azaltılması, güvenli gıda elde edilmesi için kalite kaybı, maliyet ve enerjinin minimum düzeyde, verimliliğin ise maksimum seviyede tutulduğu dekontaminasyon koşullarının araştırılması konularına ışık tutacağı düşünülmektedir. Elde edilen verilerin, tasarlanan UV-C ışık cihazı ve kullanılan bitkisel materyallerin endüstriye kazandırılabilmesi açısından özgün hipotezlerin kurulmasını sağlayarak yeni araştırmalara yön vermesi amaçlanmıştır.

2 GENEL BİLGİLER

2.1 Dağ Çileği Bitkisi

2.1.1 Dağ çileği bitkisinin özellikleri ve kullanım alanları

Ülkemizde dağ çileği, kocayemiş gibi çeşitli isimler ile anılan *Arbutus unedo* L. Ericaceae ailesine ait bir bitkidir. Dağ çileğinin Akdeniz iklimine sahip olan bölgelerde yer alan ormanlık alanlarda doğal olarak yetiştiği görülmektedir (Erboğa, 2016).

Dağ çileği yaprakları sıralı olarak dizilmiş, dişli kenarları olan, derimsi yapıda, koyu yeşil renkte ve kısa saplı olması ile tanınmaktadır. Dağ çileğinin çiçeklenme süreci 12 ay sürdüğü için bazen ağaç üzerinde aynı anda olgun meyve ve beyaz-pembe çiçekler bulunabilmektedir. Dağ çileği meyveleri küresel şekilli, yeşil ve turuncu ile kırmızı arasında renklere sahiptir (Şekil 2.1). Meyveler genellikle yıl boyunca Eylül ayı sonu, Ekim ayı ortası ile Aralık ayı başında birkaç kez olgunlaşmaktadır (Markovinović et al., 2022). Ülkemizde Giresun ilinde yetişen dağ çileği özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, bitkide bulunan çiçeklerin %5'inin açtığı ilk çiçeklenme döneminin Ekim-Kasım ayları arasında olduğu, bitkide bulunan çiçeklerin %70'inin açtığı tam çiçeklenme döneminin Kasım-Aralık ayları arasında olduğu belirtilmiştir. Meyve olgunlaşmasının ise Ekim ayından Kasım ayı sonuna kadar devam ettiği gözlemlenmiştir (Özcan and Haciseferoğulları, 2007; Pekdemir, 2010).



Şekil 2.1 Dağ çileği bitkisi

Fenolik bileşikler, C ve E vitaminleri ile karotenoidler içeren dağ çileği, iyi bir organik asit ve antioksidan kaynağı olarak bilinmektedir (Ruiz-Rodríguez et al., 2011). Dağ çileği yüksek polifenol ve zengin fitokimyasal içeriğe sahip

olup, antimikrobiyal, antioksidan, antienflamatuar, antiproliferatif ve antidiyabetik etki gibi birçok biyolojik aktivitede rol oynamaktadır (Markovinović et al., 2022). Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre dünya çapında yaşayan insan nüfusunun %80'i, özellikle Asya ve Afrika ülkelerinde, temel sağlık ihtiyacının karşılanması için geleneksel tıbbi kullanmaktadır (WHO, 1998). Tıbbi bitkilerin sağlık üzerindeki yararlı özelliklerinin bir kısmı, fenoller, flavonoidler, tanenler, alkaloidler, karotenoidler, vitaminler ve endojen metabolitler gibi fitokimyasal bileşiklerinin antioksidan aktivitelerine atfedilmektedir (El Haouari et al., 2021).

Yüzyıllardır geleneksel tıpta kullanılan dağ çileği meyve ve yaprakları, fenolik asitler, flavonoidler, tanenler ve antosiyaninler açısından zengin bileşenler içermektedir (Derbassi et al., 2022). Dağ çileği yapraklarının idrar yolları üzerinde antiseptik, diüretik ve astrenjan (kanama durdurucu) özellikleri bulunmakta olup, geleneksel tıpta iltihap, hipertansiyon ve diyabet tedavisi için kullanılmaktadır (Oliveira et al., 2009). Dağ çileği yapraklarından yapılan bitki çayının kan basıncını düşürmek, soğuk algınlığı, diyabet ve diğer solunum yolu hastalıklarına karşı koruma sağlamak için sıklıkla kullanıldığı belirtilmektedir (Rahima et al., 2019). Gerçekleştirilen etnobotanik bir araştırmada geleneksel olarak dağ çileği yapraklarının kaynatıldıktan sonra, meyvenin ise çiğ olarak tüketilmesinin böbrek hastalıklarını tedavi etmek için kullanıldığı rapor edilmiştir (El-Hilaly et al., 2003).

Dağ çileği meyvesinin toplam ağırlığın ~%40'ını karbonhidratlar (597.0 ± 26.7 g/kg) oluşturmaktadır. Meyvelerde bulunan sakkarit miktarı olgunluk aşamalarına göre değişmekle birlikte, olgunlaşmamış meyvelerdeki ana sakkarit 208.0 ± 2.0 g/kg kuru ağırlık ile sakkaroz iken, olgun meyvelerde 87.7 ± 0.6 g/kg kuru ağırlık ile en çok bulunan fruktozdur (Barros et al., 2010). Pektin içeriği nedeniyle genellikle reçel, marmelat, yoğurt ve diğer geleneksel tatlıların üretiminde yaygın olarak kullanılan dağ çileği meyvesi aynı zamanda likör haline de getirilerek tüketilebilmektedir (Morgado et al., 2018). Dağ çileği meyveleri, C vitamini ve diyet lifleri açısından sağlıklı bir alternatif olması nedeniyle diyet takviyeleri veya fonksiyonel gıdalar için biyoaktif bileşiklerin kaynağı olarak da değerlendirilmektedir (Ruiz-Rodríguez et al., 2011). Oliveira et al. (2011) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada, orta olgunluktaki dağ çileği meyvelerinin yüksek E vitamini içeriği ve omega-3 gibi çoklu doymamış yağ asitleri bakımından zengin bir yağ asidi profiline sahip olması nedeniyle önemli bir antioksidan kaynağı olarak kabul edilebileceği vurgulanmaktadır.

2.1.2 Dağ çileği bitkisinin fenolik içeriği ve antioksidan özellikleri

Dağ çileği yapraklarının fenolik fraksiyonu tanenler, kateşin galat, mirisetin, rutin, afzelin, juglanin ve avikularin gibi flavonoidler, kuersitrin, izokuersitrin ve hiperozid gibi fenolik glikozitler ile iridoid glikozitler gibi çeşitli bileşiklerden oluşmaktadır (Morgado et al., 2018). Dağ çileği yapraklarında ana biyoaktif bileşik olarak fenolik glikozit arbutin belirlenmiştir (Fiorentino et al., 2007; Oliveira et al., 2011). Dağ çileği meyvelerinde mineraller, fenolik bileşikler, organik asitler, terpenoidler, vitaminler ve karotenoidler bulunmaktadır. Dağ çileği meyveleri, antosiyaninler, proantosiyanidinler ve flavonoller gibi çeşitli fenolik bileşikler ile birlikte, tanenler ve fenolik asit türevleri (ellajik asit ve galik asit türevleri) de içermektedir. Ayrıca potasyum, kalsiyum ve fosfor gibi mineraller meyvelerde bulunan başlıca minerallerdir (Guimarães et al., 2013; Delgado-Pelayo et al., 2016).

Oksidasyonu önlemek amacıyla sentetik ya da doğal antioksidanların kullanımı oldukça yaygındır (Anwar et al., 2016). Montesinho Doğal Parkı'nda yetişen (Bragança, Kuzeydoğu Portekiz) dağ çileği üzerine yapılan bir çalışmada, ekstraktların flavonoller (kaempferol, mirisetin glukozitleri, kuersetin), flavanol (prosiyanidin dimerleri, galat esterleri ve kateşinler), çeşitli galotaninler ve ellajitanin türevleri içerdiğini göstermiştir. Toplam fenolik madde miktarı sonuçları değerlendirildiğinde meyve ekstraktlarına (16.7±0.4 mg GAE/g) kıyasla yaprak ekstraktlarının (170.3±1.4 mg GAE/g) fenolik madde miktarının daha yüksek olduğu bulunmuştur. Araştırmada dağ çileği yapraklarının, serbest radikallerin neden olduğu oksidatif hasara karşı gösterdiği koruyucu etkilere katkıda bulunma potansiyeline sahip, umut verici bir doğal antioksidan kaynak olduğu belirtilmiştir (Mendes et al., 2011). Dağ çileği yapraklarından kaynatma yöntemi veya sıcak/soğuk infüzyon ile elde edilen çayların araştırıldığı bir çalışmada, kaynatma yöntemi ile hazırlanan çayların tüketilmesi sonucunda en yüksek fenol alımı (220.2 mg GA/200 ml) sağlandığından, en uygun uygulamanın kaynatma yöntemi olduğu belirtilmiştir (Erkekoglou et al., 2017).

Al-Mijalli et al. (2022) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada dağ çileği yaprağı esansiyel yağının önemli antioksidan özelliklere sahip olduğu ve antioksidan aktivitesinden sorumlu bileşiklerin (+)-isomenton (%4.23), α -terpineol (%7.8) ve miristik asit (%3.96) olduğu ifade edilmektedir. Bu sonuçlar dağ çileği yaprağı esansiyel yağının umut verici bir doğal antioksidan kaynağı olarak değerlendirilebileceğini belirtmiştir. Antidiyabetik aktivitenin

belirlenmesine yönelik yapılan analizlerde ise dağ çileği yaprağı esansiyel yağının doğal yağ emilimini durdurucu özelliklere sahip olması nedeniyle obezitenin tedavisinde kullanılabilme potansiyeli olduğu tespit edilmiştir (Al-Mijalli et al., 2022).

Andrade et al. (2009) tarafından yapılan bitkisel materyal olarak dağ çileği dalı, ağaç kabuğu ve yapraklarının bir arada kullanıldığı çalışmada, %95 etanol ekstraktı ve aseton:su ekstraktının (60:40) toplam fenolik madde içeriğinin sırasıyla 254.5 ± 4.60 mg GAE/g ve 328.58 ± 33.36 mg GAE/g olduğu tespit edilmiştir. Serbest radikal temizleme aktivitesi (DPPH) analiz sonuçlarına göre EC_{50} ($\mu\text{g/mL}$) sonuçları etanol ve aseton ekstraktları için sırasıyla $21.20 \mu\text{g/mL}$ ve $26.00 \mu\text{g/mL}$ olarak belirlenmiştir. Elde edilen veriler karşılaştırıldığında, aseton ekstraktlarının fenolik ve antioksidan aktivitesinin önemli ölçüde etanol ekstraktından daha yüksek olduğu rapor edilmiştir.

Dağ çileği meyvesinin farklı olgunluk dönemlerinde toplam fenolik madde içeriklerinin araştırıldığı Oliveira et al. (2011) tarafından yapılan çalışmada ise dağ çileği meyvesinin toplam fenolik madde içeriğinin olgunlaşmamış (108 mg GAE/g) ve orta olgunluk (111 mg GAE/g) aşamasında, olgunlaşmış aşamadan (60 mg GAE/g) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Olgunlaşmamış, orta olgun ve olgun meyvelerin sırasıyla DPPH radikalini indirgeme gücü analizi ile elde edilen EC_{50} değerlerinin sırasıyla $0.58 \pm 0.02 \text{ mg/mL}$, $0.37 \pm 0.02 \text{ mg/mL}$ ve $0.25 \pm 0.02 \text{ mg/mL}$ olduğu belirlenmiştir. Antioksidan aktivite ile meyve olgunlaşma aşaması arasında olgunluk arttıkça bir azalma olduğu ve bu iki faktör arasında güçlü bir negatif doğrusal korelasyon olduğu rapor edilmiştir. Isbilir et al. (2012) tarafından yapılan çalışmada ise dağ çileği çiçeklerinin (232.38 mg GAE/g) toplam fenolik madde içeriğinin farklı olgunluk aşamalarındaki dağ çileği meyvelerinden (5.24 - 15.71 mg GAE/g) daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Dağ çileği meyvesi etanol ekstraktının araştırıldığı farklı bir çalışmada ise ekstraktın toplam fenolik madde içeriği $16.46 \pm 3.66 \text{ mg GAE/g}$ kuru ağırlık olarak belirlenirken, antosiyanin içeriği $76.26 \pm 9.85 \text{ mg siyanin-3-glukozit/100 g}$ kuru ağırlık olarak belirlenmiştir. Antioksidan aktivite değeri ise $11.66 \pm 2.01 \text{ mmol TE/100 g}$ kuru ağırlık olarak tespit edilmiştir (Fortalezas et al., 2010).

Dağ çileği meyvelerin hidroksisinnamik ve hidrosibenzoik asit, gallik asit, kuersetin, kuersetin-3-glukozit, rutin, kaempferol içerdiği tespit edilirken, olgunlaşmamış meyvelerde (+)-kateşin, procyanidin B2, epigallokateşin ve (-)-

epigallokateşin gallat gibi bileşenlerin yüksek miktarlarda olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada meyvelerin trans-resveratrol ve trans-piceid gibi stilbenler içerdiği ilk kez tespit edilmiştir. Bu meyvelerin yüksek antioksidan aktiviteye sahip (özellikle flavanol bakımından zengin) biyoaktif bileşiklerin önemli bir kaynağı olduğu gösterilmiş olup, dağ çileği meyvesinin nutrasötik veya fonksiyonel gıda tasarımı için yeni bir kaynak olarak kullanılabileceği belirtilmiştir (Izcara et al., 2021).

Literatürde yapılan araştırmalar incelendiğinde, dağ çileği çiçeği ile ilgili sınırlı sayıda çalışma olması nedeniyle çalışmaların artırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

2.1.3 Dağ çileği ekstrakt ve esansiyel yağlarının antimikrobiyal aktivitesi

Mikroorganizmaların antibiyotiklere karşı gösterdiği direnç, antibiyotiklerin gösterdiği yan etki ve yüksek maliyet gibi durumlar geleneksel antibiyotiklerin yanı sıra bitki temelli ajanların kullanımına yönelik çalışmalarda artışa neden olmuştur (Aleksic and Knezevic, 2014). Dağ çileği yaprağında bulunan bileşenler güçlü antioksidan ve antimikrobiyal aktivite sergilemektedir (Carcache-Blanco et al., 2006; Sanjust et al., 2008; Jurica et al., 2017). Yapılan literatür taraması sonrasında dağ çileği ekstrakt ve esansiyel yağlarının antimikrobiyal aktivitesi Tablo 2.1’de özetlenmiştir.

Tablo 2.1 Dağ çileği ekstrakt ve esansiyel yağlarının antimikrobiyal aktivitesi

Esansiyel yağ/ ekstrakt	Mikroorganizma	Antimikrobiyal etki	Referans
Ekstrakt Metanol	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella enteritidis</i>	Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktlarının (10, 20 ve 30 µL/disk) agar kuyucuk yöntemi analiz sonuçları <i>S. aureus</i> üzerinde sırasıyla 10.5, 13.8 ve 21.1 mm olarak saptanırken, <i>S. enteritidis</i> ve <i>E. coli</i> üzerinde ise inhibisyon saptanmamıştır.	Orak et al., 2011
Esansiyel yağ Su distilasyon	<i>Escherichia coli</i> <i>Yersinia pseudotuberculosis</i> <i>Pseudomonas</i> <i>Listeria monocytogenes</i> <i>Bacillus cereus</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Enterococcus faecalis</i> <i>Candida tropicalis</i> <i>Candida albicans</i>	Dağ çileği çiçeği esansiyel yağının <i>L. monocytogenes</i> ve <i>E. faecalis</i> 'e karşı MİK değeri 750 µg/100 µL olarak belirlenmiştir. Dağ çileği meyvesi esansiyel yağı ise 750 µg/100 µL MİK değerinde <i>L. monocytogenes</i> 'e karşı etki göstermiştir.	Kahriman et al., 2010
Ekstrakt Metanol, etanol, n hekzan	<i>Escherichia coli</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Listeria monocytogenes</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Dağ çileği yaprağı metanol, etanol ve n hekzan ekstraktlarının agar kuyucuk yöntemi analiz sonuçları tüm mikroorganizmalar üzerindeki etkileri sırasıyla 12-27 mm, 9-41 mm ve 19-40 mm olarak belirlenirken, etanol ekstraktı <i>P. aeruginosa</i> üzerinde etki göstermemiştir. Dağ çileği yaprağı metanol, etanol ve n hekzan ekstraktlarının MİK değerleri sırasıyla 0.5–8 mg/mL, 1–>8 mg/mL ve 0.25–2 mg/mL olarak saptanmıştır. Ekstraktların minimum bakterisidal	Bouyahya et al., 2016

Ekstrakt	<i>E. coli</i> <i>S. Typhimurium</i> <i>S. aureus</i> <i>B. subtilis</i> <i>P. aeruginosa</i> <i>E. faecium</i> <i>Streptocoque B</i> <i>Candida albicans</i>	Dağ çileği meyvesi etanol ekstraktı test kültürleri üzerinde 7-15 mm arasında değişen inhibisyon zonu göstermiştir.	Salem et al., 2018
Ekstrakt	<i>Bacillus cereus</i> <i>Bacillus subtilis</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Staphylococcus epidermis</i> <i>Candida albicans</i> <i>Candida krusei</i> <i>Candida parapsilosis</i> <i>Candida glabrata</i>	Dağ çileği yaprağı su ekstraktının test edilen bakteri türlerine karşı MİK değerleri 1-5 mg/mL olarak belirlenirken, test edilen maya türlerine karşı antimikrobiyal etki gözlemlenmediği rapor edilmiştir.	Malheiro et al., 2012

Hırvatistan'da yetişen dağ çileği yaprakları kullanılarak hazırlanan su ve metanol ekstraktlarının *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterococcus faecalis* ile *C. albicans* ve *C. parapsilosis* gibi farklı patojen üzerindeki antimikrobiyal etkisi belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; *C. albicans* ve *C. parapsilosis* test kültürlerine karşı ekstraktların MİK değerleri 51.2 mg/mL olarak belirlenirken, *C. parapsilosis* 38304 test kültürüne karşı yaprak su ekstraktının 27 mm inhibisyon zonu oluşturduğu tespit edilmiştir. En yüksek inhibisyon zonunun yaprak metanol ekstraktında (28 mm) olduğu belirlenmiştir. Ancak arbutinin veya arbutinin β -glukozidaz ile hidrolizi sonucunda açığa çıkan hidrokinonun test edilen konsantrasyonlarda *C. parapsilosis* test kültürüne karşı zon oluşumuna neden olmadığı gözlemlenmiştir. Dağ çileği yaprağı içerisinde en çok bulunan biyoaktif bileşik olan arbutin ve metaboliti hidrokinonun mevcut antimikrobiyal aktivite üzerindeki rolünün değerlendirildiği çalışmada; su ve metanolik hidrokinon çözeltileri, *E. faecalis* test kültürü için güçlü antibakteriyel aktivite gösterirken (MİK= 0.2 mg/mL), arbutin çözeltilerinin test edilen mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal aktivite göstermediği belirlenmiştir. Çalışma sonucunda hidrokinonun, yaprak ekstraktları ve arbutine kıyasla daha güçlü antimikrobiyal etki gösterdiği rapor edilmiştir (Jurica et al., 2017).

Al-Mijalli et al. (2022) tarafından yapılan çalışmada dağ çileği esansiyel yağının *Escherichia coli* ATCC 25934, *Proteus mirabilis* ATCC 25933, *Salmonella* Typhimurium ATCC 700408, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Listeria monocytogenes* ATCC 13932, *Candida albicans* (klinik izolat), *Trichophyton rubrum* (klinik izolat) ve *Aspergillus niger* (gıda izolatu) test kültürleri üzerinde antimikrobiyal etkisi araştırılmıştır. Örneklerde disk difüzyon analiz sonuçlarının 8.00-16.9 mm arasında değiştiği tespit edilirken, MİK değerlerinin 5->40 mg/mL arasında değiştiği belirlenmiştir.

2.1.4 Dağ çileği ekstrakt veya esansiyel yağlarının antibiyofilm ve antiquorum sensing aktiviteleri

Yapılan araştırmalar sonucunda mikroorganizmaların çevresindeki mikrobiyal popülasyon ile ilgili bilgi edindikleri ve bu bilgileri gen ekspresyonunun modülasyonu amacıyla kullandıkları belirlenmiştir (Abisado et al., 2018; Quecan et al., 2019). Bahsi geçen mekanizma, çoğunluk anlamına gelen “quorum” ve algılama anlamına gelen “sensing” kelimelerinden türetilen “quorum

sensing” olarak tanımlanmaktadır (Sala et al., 2019). Çoğunluk algılama mekanizması (QS) virülans, biyofilm oluşumu, mikrobiyal rekabet gibi birçok özellikten ve popülasyonun fizyolojisinde birçok düzenlemeden sorumludur (Hense and Schuster, 2015; Delago et al., 2016; Peng et al., 2018).

Gıda bozulmalarına ve gıda kaynaklı hastalıklara neden olan mikroorganizmaların çoğunun biyofilm oluşturduğu bilinmektedir (Erhabor et al., 2019). Birbirine ve/veya bir yüzeye tutunan ve kendi ürettiği hücre dışı bir matris içinde bulunan mikroorganizma kümeleri mikrobiyal biyofilm olarak adlandırılmaktadır (Al-Shabib et al., 2017). QS mekanizmasının inhibe edilmesi sonucunda bakteriyel iletişim kesilerek mikroorganizmaların biyofilm oluşturmaları engellenebilmektedir (Christiaen et al., 2014).

Hastaların idrarından elde edilen *Enterococcus* cinsine ait izolatlar üzerinde dağ çileği yaprağının etanol su ekstraktının (4:1) etkisinin incelendiği çalışmada MİK değerinin 1.25 mg/mL olduğu tespit edilmiştir. Örneklerin antibiyofilm aktivitesi ile ilgili yapılan analizlerde MİK değerinde 24 saat sonucunda biyofilm inhibisyonun %26.5±1.7 ile %82.2±0.9 arasında olduğu tespit edilmiştir. 48 saat sonucunda ise biyofilm inhibisyonun %54.4±0.7 ile 81.2±0.5 arasında olduğu belirlenmiştir (Dimkić et al., 2021).

Bitkisel materyaller antimikrobiyal etkiden sorumlu olan fenolik asitler, terpenoidler ve alkaloidler gibi çeşitli fitokimyasal maddeleri içermektedir. Bu sebeple QS mekanizmasını inhibe edici ajan olarak bitkisel materyallerin iyi bir kaynak olduğu ifade edilmektedir (Ahmed et al., 2019; Ekşi et al., 2020; Molina et al., 2020). QS mekanizmasını inhibe etme yeteneğini tespit etmek için viyolasin pigmenti üreten *Chromobacterium violaceum* suşları biyosensör olarak kullanılmaktadır (Snoussi et al., 2018; Ekşi et al., 2020).

Dağ çileği meyvesinin metanol ve etil asetat ekstraktlarının antimikrobiyal ve anti-QS aktivitelerinin araştırıldığı bir çalışmada, etil asetat ekstraktlarının test kültürleri üzerinde agar kuyucuk yöntemi test sonuçları incelendiğinde, inhibisyon zonlarının 9.0±1.73 ile 14.66±2.08 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. Viyolasin agar kuyucuk yöntemi test sonuçları incelendiğinde, metanol ve etil asetat ekstraktlarının *C. violaceum* ATCC 12472 ve *C. violaceum* ATCC 31532 test kültürleri üzerinde şeffaf zon oluşumuna neden olduğu belirtilmiştir (Esertaş, 2020). Bu nedenle dağ çileği bitkisinin antibiyofilm ve anti-QS aktivitesinin belirlenmesine yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

2.1.5 Gıdalarda dağ çileği ekstrakt veya esansiyel yağ uygulamaları

Dağ çileği ekstrakt veya esansiyel yağlarının gıda uygulamaları ile ilgili yapılan literatür taramasında sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bouhanna et al. (2021) tarafından yapılan çalışmada, *S. aureus*, *L. monocytogenes* ve *P. aeruginosa* test kültürleri sardalya örneklerine inoküle edildikten sonra dağ çileği meyvesinden elde edilen metanol ekstraktı (1 mg/mL) içeren yenilebilir jelatin film uygulanmıştır. Başlangıç toplam mezofilik aerobik mikroorganizma sayısının kabul edilebilir bir taze balık kalitesinde (1.18×10^4 KOB/g) olduğu belirlenmiştir. Elde edilen filmlerin etkisinin belirlenmesi için inokülasyon yapılan balıklarda 4°C'de 12 gün depolanan örneklerde mikrobiyolojik analizler yapılmıştır. *P. aeruginosa* ve *L. monocytogenes* sayılarında tüm örneklerde depolamanın 5. güne kadar artış olduğu belirlenirken ($p < 0.05$), 5. günden sonra depolama süresi sonuna kadar sayıların giderek azaldığı tespit edilmiştir. Depolama süresinin sonunda dağ çileği meyvesinden elde edilen metanol ekstraktı içeren film örneklerinde, *S. aureus* sayısında ~4 logaritmik birim azalma sağlanmıştır ($p < 0.01$). Ekstrakt içerisinde baskın olarak bulunan prosiyanidinlerin, hücre duvarı ve hücre zarının bütünlüğünü ve geçirgenliğini bozarak *S. aureus* üzerinde çok güçlü bir inhibe edici ve bakterisidal etki gösterme yeteneği gösterdiği belirtilmiştir (Li et al., 2017). Öte yandan, herhangi bir uygulama yapılmayan örneklerde *S. aureus* sayısı depolama süresince kademeli olarak artmış olup, sayıların depolama süresinin 8. gününden itibaren diğer örneklerden istatistiksel açıdan anlamlı derecede ($p < 0.05$) yüksek olduğu bulunmuştur.

Takwa et al. (2018) tarafından yapılan çalışmada kateşin içeriği yüksek olan dağ çileği meyvesi ve rosmarinik asit içeriği yüksek olan fesleğen yaprağı etanol ekstraktlarının antibakteriyal aktivesinin test edilen mikroorganizmalar için sırasıyla MİK değerinin 0.10-0.60 mg/mL ve 0.10-0.45 mg/mL arasında değiştiği belirlenmiştir. Antifungal aktivesinin ise 0.15-0.30 mg/mL ve 0.20-0.60 mg/mL arasında değiştiği tespit edilmiştir. Bitkisel ekstraktlar ile zenginleştirilmiş ekmeklerin antioksidan aktivitesinin askorbik asit ve potasyum sorbat ile zenginleştirilmiş ekmeklere kıyasla daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bitkisel materyallerin 400 mg/mL konsantrasyonda herhangi bir toksisiteye neden olmadan antioksidan aktivite sergilediği belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlar, bitkisel materyallerin ekmeklerin besin değerini etkilemeden sentetik katkı maddelerinin yerine kullanılabileceğini göstermiştir.

Derbassi et al. (2022) tarafından yapılan çalışmada quark üretiminde peyniraltı suyuna ilave edilen dağ çileği yaprak ekstraktının koruyucu etkisini belirlemek için potasyum sorbat ilave edilen örnekler ile kıyaslama yapılmıştır. Depolama süresince aerobik mezofilik bakteri, psikrotrofik laktik asit bakteri sayısı ile küf ve maya sayısı üzerinde potasyum sorbatın daha az etkili olduğu bulunmuştur. Dağ çileği yaprak ekstraktının 400 µg/mL konsantrasyonunda domuz karaciğerinden elde edilen kanserli olmayan bir hücre hattında (PLP2) toksisite göstermemiş olması da dağ çileği yapraklarının gıdalarda güvenle kullanılabileceğini göstermiştir.

Yapılan çalışmalarda farklı gıda maddelerinde etkilerinin belirlenmesi amacıyla, gıdalarda dağ çileği bitkisi ekstrakt ve esansiyel yağ uygulamaları ile ilgili daha fazla çalışma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

2.2 Sarı Kantaron Bitkisi

2.2.1 Sarı kantaron bitkisinin özellikleri ve kullanım alanları

Sarı kantaron (*Hypericum perforatum*), Clusiaceae familyasına ait sarı çiçekli, çok yıllık tıbbi bir bitkidir (Oliveira et al., 2016; Far et al., 2024). Dünya çapında ~400 türü bulunan *Hypericum* cinsinin bir üyesi olan sarı kantaron Avrupa, Batı Asya, Kuzey Afrika, Kuzey Amerika ve Avustralya gibi birçok bölgede doğal olarak yetişmektedir (Saddiqe et al., 2010).

Binbir delik otu, yara otu, kan otu, mayasıl otu, kuzu kıran olarak da bilinen Şekil 2.2’de belirtilen sarı kantaron bitkisi geniş bir alana yayılan sürünücü kökleri ve dik bir gövdeye sahiptir. Bitkinin yeşil oval şekilli yaprakları ve parlak sarı renkte beş taç yapraklı çiçekleri bulunmakta olup, sarı kantaron bitkisi 1 metre yüksekliğe kadar büyüebilmektedir (Akkaya et al., 2024; Mosalem et al., 2024).



Şekil 2.2 Sarı kantaron bitkisi

Haziran ile Eylül ayları arasında çiçeklenen sarı kantaron bitkisi ülkemizde de Marmara, Ege, Akdeniz, Karadeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu gibi farklı coğrafi bölgelerde yaygın olarak bulunmaktadır (Özbek et al., 2019; Guler and Okmen, 2024).

Sarı kantaron antik çağlardan beri şifalı bir bitki olarak farklı alanlarda çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır (Saddiqe et al., 2010; Far et al., 2024). Sarı kantaron bitkisinin yara iyileştirilmesi için kullanımı birçok bilimsel araştırmanın konusu olmaktadır. Ülkemizde kesik ve yanıkların hızlı iyileşmesi için taze veya kuru sarı kantaron çiçeklerinin zeytinyağı dolu bir kavanozda yaklaşık 4 hafta güneş altında maserasyonu sonucunda elde edilen karışımın haricen uygulanması yaygın olarak kullanılmaktadır (Süntar et al., 2010; Güler, 2022). Bu etki fibroblast proliferasyonu ve kollajen lif üretiminin artması sonucunda doku yenilenme hızının artması ile mümkün olabilmektedir (Yadollah-Damavandi et al., 2015; Ashkani-Esfahani et al., 2019; Okur et al., 2020).

Sarı kantaron bitkisinin depresyon, ülser, hazımsızlık, karın ve baş ağrısına karşı da etkili olduğu rapor edilmektedir (Zdunić et al., 2009). Ayrıca sarı kantaron bitkisi antiproliferatif, sitotoksik etkiler gösteren, antioksidan ve çeşitli kanser hücrelerine karşı antikanser aktivite göstermesi ile tanınmaktadır (Antoniadou et al., 2024). Sarı kantaron böbrek ve safra kesesi taşlarının, sarılık ve karaciğer kanseri gibi karaciğerle ilgili hastalıkların, hepatit ve tüberküloz gibi viral enfeksiyonların, sıtma, diyabet ve ateşin tedavisinde de kullanılabilen alternatif bir tedavi yöntemidir (Çelen et al., 2008). Sarı kantaronun bu etkilerinin yanı sıra bitkinin antimikrobiyal, antifungal, antiinflamatuvar ve antiviral aktiviteye sahip olduğu belirtilmektedir (Barnes et al., 2006; Saddiqe et al., 2010).

2.2.2 Sarı kantaron bitkisinin fenolik içeriği ve antioksidan özellikleri

Sarı kantaron bitkisinde bulunan başlıca aktif bileşenlerin hiperforin ve hiperisin olduğu kabul edilmektedir. Hiperisin ve psödohiperisin sarı kantaron yaprak ve çiçek kısımlarında en bol bulunan bileşenlerdir (Zou et al., 2004; Ayan and Çirak, 2008; Silva et al., 2018; Kimáková et al., 2018). Sarı kantaron konsantrasyonları mevsimsel değişikliklere ve bitkinin kökenine bağlı olarak değişen hiperozid, rutin, kuersetin ve kateşinler gibi diğer aktif bileşikler de bulunmaktadır (Antoniadou et al., 2024). Ayrıca, C vitamini, tanen, karofilen, pîen, limonen, mirsen, hiperikasit ve karoten içermektedir (Çelen et al., 2008).

Hypericum türleri genel olarak uçucu yağlar açısından fakir (genellikle yağ verimi <%1) bitkiler olarak sınıflandırılmakta ve uçucu yağ miktarının %0.1 ile 0.35 arasında değiştiği gözlemlenmektedir (Morshedloo et al., 2015; Özbek et al., 2019). *Hypericum perforatum* ssp. *veronense* (Schrank) H. Lindb. türü olan sarı kantaron bitkisinden elde edilen esansiyel yağ ve hidrosolünün kimyasal bileşiminin belirlendiği bir çalışmada, genel olarak monoterpenler ve oksijenli monoterpenlerin baskın olduğu tespit edilmiştir. Esansiyel yağ örneklerinde en baskın bileşikler α -pînen ve n-nonan olarak belirlenirken, hidrosol örneklerinde en baskın bileşikler mirtenol, karvakrol ve α -pînen olduğu ortaya konulmuştur (Vuko et al., 2021).

Stamenković et al. (2013) tarafından gerçekleştirilen sarı kantaron metanol ekstraktında bulunan bileşenlerin tanımlanması ile ilgili bir çalışmada izole edilen bileşenlerin izokuersitrin (%79.84), kuersetin (%92.71), psödohiperisin (%96.66), hiperisin (%97.12) ve hiperforin (%98.26) olduğu belirtilmiştir. Amasya'dan toplanılan sarı kantaron bitkisi kullanılarak elde edilen etanol:su (3:7) ekstraktının toplam fenolik madde miktarının 128.82 ± 6.31 mg GAE/kuru madde olduğu ve yüksek oranda hiperisin (9.57 ± 0.07) ve psödohiperisin (7.82 ± 0.05 µg/mL) içerdiği belirlenmiştir (Seyrekoglu et al., 2022).

Marmara bölgesinden toplanılan 24 farklı bitkisel materyalin araştırıldığı bir çalışmada en yüksek toplam fenolik içeriği sarı kantaron metanol ekstraktında (0.268 mg GAE/g ekstrakt) tespit edilmiştir (Meriç et al., 2024). Kahramanmaraş'tan toplanan sarı kantaron bitkisinin metanol ekstraktının toplam fenolik madde içeriğinin 60.22 mg GAE/g olduğu belirlenirken, toplam flavonoid madde miktarının 7.68 µg QE/g flavonoid olduğu bulunmuştur (Akkaya et al., 2024).

Muğla'da yetiştirilen sarı kantaron bitkisinin aseton ve su ile ekstraksiyonu sonucunda elde edilen ekstraktların toplam fenolik madde içeriklerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, çözgen olarak aseton kullanıldığında elde edilen sarı kantaron ekstraktında toplam fenolik bileşik miktarı 150.44 mg GAE/g olarak tespit edilmiş olup, bu değerın çözgen olarak su kullanılarak yapılan ekstraksiyona göre yaklaşık beş kat daha fazla olduğu (33.01 mg GAE/g) belirlenmiştir (Çelen et al., 2008).

Sarı kantaron bitkisinin su, etanol (%40 ve %60) ekstraktı ve enzimatik ekstraktlarını (%1 pepsin) hazırlamak için maserasyon yönteminin kullanıldığı bir çalışmada, ekstraktlar içerisinde en yüksek toplam fenolik bileşik miktarının çözgen olarak %60 etanolün kullanıldığı örneklerde 92.39 ± 2.06 mg GAE/g olduğu tespit edilmiştir. Toplam fenolik bileşik miktarının en düşük olduğu örneklerin ise enzimatik ekstraksiyon sonucunda elde edilen örnekler olduğu tespit edilmiştir (49.2 ± 0.83 mg GAE/g). Ancak toplam flavonoid miktarının en yüksek olduğu örneklerin enzimatik olarak ekstraksiyon yapılan örnekler olduğu belirlenmiştir (33.63 ± 1.3 mg CE/g). Elde edilen ekstraktlarda tespit edilen fitokimyasal bileşik gruplarının alkaloid, antrakınon, terpenoid, flavonoid, tannin ve glikosid olduğu rapor edilmiştir. DPPH analizlerinde ise en yüksek antioksidan kapasiteye sahip olan ekstraktların %40 ve %60 etanol kullanılarak yapılan ekstraksiyon sonucunda sırasıyla %87.95 ve %89.16 olduğu tespit edilmiştir (Antoniadou et al., 2024). Ancak bu çalışmanın tersine Guler ve Okmen (2024) tarafından yapılan çalışmada sarı kantaron metanol ekstraktının (100 mg/mL) serbest radikalleri inhibe etme oranı %53 olarak belirlenmiştir. Bu farklılıkların bitkinin yetiştirildiği bölge, iklim koşulları, toprak kalitesi, genetik yapı ve büyüme faktörleri gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Akkaya et al., 2024).

2.2.3 Sarı kantaron ekstrakt ve esansiyel yağlarının antimikrobiyal aktivitesi

Sarı kantaron bitkisinin *in vitro* koşullarda antimikrobiyal etkisinin araştırıldığı çalışmalar Tablo 2.2'de özetlenmiştir.

Tablo 2.2 Sarı kantaron bitkisinin antimikrobiyal aktivitesi

Esansiyel yağ/ ekstrakt	Mikroorganizma	Antimikrobiyal etki	Referans
Esansiyel yağ su distilasyon	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Bacillus cereus</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Candida tropicalis</i>	Belirtilen tüm mikroorganizmalar üzerindeki etkili olan MİK değerleri 0.156–5 mg/mL olarak tespit edilirken, disk difüzyon yöntemi analiz sonuçları 10–24 mm arasında belirlenmiştir.	Susamış, 2019
Esansiyel yağ buhar distilasyon	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Micrococcus luteus</i> <i>Sarcina lutea</i> <i>Bacillus cereus</i> <i>Candida albicans</i> <i>Salmonella enteritidis</i> <i>Pseudomonas tolaasii</i> <i>Agrobacterium tumefaciens</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Proteus mirabilis</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Belirtilen tüm mikroorganizmalar üzerindeki sarı kantaron çiçeği esansiyel yağının etkili olan MİK değerleri 12.5–50 µg/mL olarak tespit edilmiştir.	Saroglou et al., 2007
Ekstrakt	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Escherichia coli</i>	Sarı kantaron çiçeği etanol ekstraktının disk difüzyon yöntemi analiz sonuçları 6–15 mm olarak belirlenmiştir.	Reichling et al., 2001
Etanol	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Candida albicans</i>		
Ekstrakt	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Escherichia coli</i>	50 mg/mL ekstrakt uygulanması, <i>S. aureus</i> üzerinde 17.72±1.31 mm, <i>E. coli</i> üzerinde 14.51±1.22 mm, <i>P. aeruginosa</i> üzerinde 13.97±1.18 mm ve <i>A. baumannii</i> üzerinde 10.20±0.56 mm inhibisyon zonu oluşmasını sağlamıştır.	Ghodrati and Kachoei, 2024
Etanol	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Acinetobacter baumannii</i>		

Ekstrakt	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Proteus vulgaris</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Listeria monocytogenes</i> <i>Clostridium perfringens</i> <i>Salmonella enterica</i> <i>Bacillus subtilis</i> <i>Streptococcus mutans</i> <i>Micrococcus luteus</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Yersinia enterocolitica</i> <i>Bacillus cereus</i> <i>Candida albicans</i> <i>Aspergillus niger</i>	Sarı kantaron etanol ve hekzan ekstraktlarına ait disk difüzyon yöntemi analiz sonuçları sırasıyla 6.20–10.60 mm ve 6.15–15.25 mm olarak belirlenmiştir. Aydın, 2019
Etanol, Hekzan		
Ekstrakt	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Salmonella enteritidis</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Candida albicans</i> <i>Escherichia coli</i>	Sarı kantaron çiçek ve yapraklarının metanol ekstraktlarının disk difüzyon yöntemi analiz sonuçları sırasıyla 18.27–30.34 mm ve 14.23–24.11 mm olarak belirlenmiştir. Radulović et al., 2007
Metanol		
Ekstrakt	<i>Staphylococcus aureus</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Sarı kantaron metanol, etanol ve su ekstraktlarının agar kuyucuk yöntemi analiz sonuçları sırasıyla 13.20–13.85 mm, 12.50–14.97 mm ve 9.22–10.23 mm olarak belirlenmiştir. Burunkaya et al., 2021
Metanol, Etanol, Su		

Guler and Okmen (2024) tarafından yapılan çalışmada sarı kantaronun antimikrobiyal aktivitesi disk difüzyon yöntemi ve broth dilüsyon yöntemi ile belirlenmiştir. Farklı test kültürleri üzerinde MİK değerlerinin 1625 µg/mL ile 6500 µg/mL arasında değiştiği saptanırken, en yüksek inhibisyon zon çapının 100 mg/mL sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktında *L. monocytogenes* üzerinde (16.00±0.47 mm) olduğu belirlenmiştir. Sarı kantaron n-hekzan, etil asetat ve metanol ekstraktlarının antibakteriyel aktivitesinin belirlendiği Kisa et al. (2023) tarafından yapılan çalışmada, n-hekzan, etil asetat ve metanol ekstraktlarının sırasıyla MİK₅₀ değerleri 6.25-12.5 µg/mL, 6.25-100 µg/mL ve 100-800 µg/mL olarak tespit edilmiş olup, örneklerin geniş spektrumlu antibiyotiklerin duyarlılık eşik değerlerinden daha iyi antibakteriyel aktivite gösterdiği belirlenmiştir.

Sarı kantaron çiçeklerinin etanol ekstraktı ve ekstraktan izole edilen kuersetinin antimikrobiyal etkisini araştıran bir çalışmada, örnekler *S. aureus* üzerinde sırasıyla 19.53 ve 21.36 mm inhibisyon zonu oluşurken, *E. coli* üzerinde sırasıyla 7.76 ve 8.77 mm inhibisyon zonu oluşmasına neden olmuştur. Çalışma sonucunda özellikle kuersetinin mikroorganizmalar üzerinde daha etkili olduğu belirlenmiştir (Mosalem et al., 2024).

Özdemir et al. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada Batı Karadeniz bölgesinde yetişen sarı kantaron çiçek ve yaprak etanol ekstraktlarının farklı test kültürlerine karşı antimikrobiyal aktivitesi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda sarı kantaron çiçeği etanol ekstraktlarının test kültürleri üzerinde MİK değerleri 4-1024 µg/mL arasında değişirken, sarı kantaron yaprağı etanol ekstraktlarının test kültürleri üzerinde MİK değerlerinin 16-1024 µg/mL arasında değiştiği belirlenmiştir. Test edilen materyallerin geniş bir antibakteriyel spektrum sergilediği rapor edilmiştir.

Antoniadou et al. (2024) tarafından yapılan sarı kantaron bitkisinin su, etanol (%40 ve %60) ekstraktı ve enzimatik ekstraktlarının antimikrobiyal aktivitesinin araştırılmıştır. Çalışmada *S. aureus* test kültürü üzerinde enzimatik ekstraksiyon ile elde edilen ekstrakt (%100 konsantrasyonda) 48.2±1.1 mm ortalama inhibisyon zon çapı ile en güçlü antimikrobiyal etkiye sahipken, bunu %60 etanol ekstraktının (31.7±7.5 mm) takip ettiği belirlenmiştir. Benzer şekilde enzimatik ekstraksiyon ile elde edilen ekstraktın diğer tüm mikroorganizmalara karşı da 29.2 ile 40.7 mm arasında değişen inhibisyon zonları ile etkili olduğu belirlenirken, %60 etanol ekstraktının test edilen diğer tüm mikroorganizmalara karşı 20±0.2 mm ile 43.1±1.6 mm arasında etkili olduğu tespit edilmiştir.

2.2.4 Sarı kantaron ekstrakt ve esansiyel yağlarının antibiyofilm ve antiquorum sensing aktiviteleri

Mikroorganizmaların birbirine ve/veya yüzeylere tutunarak ürettikleri hücre dışı bir matris içinde dış etmenlerden korunmasını sağlayan karmaşık biyolojik yapılar biyofilm olarak tanımlanmaktadır (Al-Shabib et al., 2017). Biyofilmler bir kez oluşturulduktan sonra antibiyotikler ve kimyasal ajanlara karşı planktonik hücrelere göre daha yüksek dirence sahip olmaktadır. Bu durum gıda işletmelerinde mikroorganizmalar ile mücadeleyi zorlaştırdığı için büyük bir sorun haline gelmiştir (Sandasi et al., 2008; Bazargani and Rohloff, 2016). Kimyasal koruyucuların potansiyel yan etkileri nedeniyle de gıda bozulmalarını önlemek amacıyla antimikrobiyal ve antibiyofilm özelliklere sahip doğal bitkisel alternatifler araştırılmaktadır (Devadharshini et al., 2024).

Ankara'dan toplanan sarı kantaron bitkisi etanol ekstraktı ve alt-ekstraktları olan n-hekzan, kloroform, etil asetat, n-bütanol ve su ekstraktlarının antimikrobiyal ve antibiyofilm aktivitesinin araştırıldığı bir çalışmada test kültürleri üzerinde MİK değerlerinin 8-64 µg/mL arasında değiştiği belirlenmiştir. Biyofilm oluşumuna karşı ise hücrelerin %50'sini inhibe etmek için gerekli konsantrasyonların (IC₅₀) 7.23–29.91 µg/mL aralığında benzer aktivite gösterdiği rapor edilmiştir (Süntar et al., 2016).

Antoniadou et al. (2024) tarafından yapılan sarı kantaron bitkisinin sadece su kullanılarak yapılan ekstraksiyon işlemi sonucunda elde edilen su ekstraktı hariç etanol: su ve enzimatik ekstraktların yüksek biyofilm inhibisyonu (>%95) gösterdiği belirtilmiştir. Schiavone et al. (2013) tarafından yapılan çalışmada sarı kantaronun ana bileşeni hiperforinin *Staphylococcus aureus* ve *Enterococcus faecalis* üzerinde biyofilm inhibisyon etkisi değerlendirilmiştir. Örneklerin test kültürlerine karşı MİK değerinin 0.5-4 µg/mL arasında değiştiği belirlenirken, minimum biyofilm inhibisyonu konsantrasyonu (MBİK) değerlerinin 25-150 µg/mL aralığında olduğu tespit edilmiştir.

Antimikrobiyal polimerler tıp, gıda ve tekstil sektörlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Nazlı et al. (2019) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada *C. albicans*, *E. coli* ve *S. aureus* test kültürleri üzerinde sarı kantaron etanol ekstraktının antimikrobiyal etkisi araştırılmıştır. Sarı kantaron ekstraktının (100 mg/mL) sadece *S. aureus* üzerinde etkili olarak 23 mm çapında inhibisyon zonu oluşturduğu tespit edilmiştir. Antibiyofilm analiz sonuçları incelendiğinde,

ekstraktın *S. aureus* tarafından üretilen biyofilm oluşumunu %56.85 oranında inhibe ettiği belirlenmiştir. Sarı kantaron etanol ekstraktının poliüretan içerisine dahil edilerek kombine olarak kullanıldığı durumda, kontrol grubuyla karşılaştırıldığında *S. aureus* tarafından oluşturulan biyofilmde %92.85 azalma sağlandığı ortaya konmuştur. Bu nedenle sarı kantaron ekstraktının, yara iyileştirme yeteneği ve özellikle dirençli *S. aureus* enfeksiyonlarına karşı farmasötik ve biyomedikal uygulamalarda etkili bir şekilde kullanılabilme potansiyeli olduğu rapor edilmiştir.

Biyofilm oluşumunun inhibisyonu ve mikrobiyal tutunmanın azaltılması, mikroorganizmaların öldürülmesinden daha umut verici bir stratejidir (Nazlı et al., 2019). QS; biyofilm oluşumu, antibiyotiklere direnç gelişimi, toksik maddelerin üretimi gibi popülasyon fizyolojisini düzenleyen mekanizmaların kontrolü için kimyasal sinyal molekülleri aracılığıyla hücreler arası etkileşim sağlayan mikrobiyal iletişim sürecidir (Tako et al., 2020). Ultrasonik destekli sarı kantaron etanol (%70) ekstraktının QS biyosensör suşları olan *Chromobacterium violaceum* CV026 ve *Chromobacterium violaceum* ATCC 12472 test kültürleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. *C. violaceum* CV026 test kültürü üzerinde MİK değerinin 0.625 mg/mL olduğu belirlenmiş olup, MİK değerinde herhangi bir inhibisyon zonu oluşumu meydana gelmediği gözlemlenmiştir. *C. violaceum* ATCC 12472 test kültürü üzerinde ise MİK değerinin 1.25 mg/mL olarak belirlenirken, viyolasin inhibisyonunun MİK ve MİK/2 değerlerinde sırasıyla %29.1 ve %14.1 olduğu tespit edilmiştir (Tamfu et al., 2022).

P. aeruginosa iki ana sinyal sistemi (LasIR ve RhlIR) tarafından kontrol edilen en iyi tanımlanmış QS sistemine sahip olan fırsatçı patojen bir mikroorganizmadır. Doğan et al. (2019) tarafından yapılan çalışmada Kastamonu'dan toplanan sarı kantaron bitkisi ile hazırlanan etanol, metanol, aseton ekstraktlarının antibiyofilm ve anti-QS aktivitesi belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, sarı kantaron metanol ekstraktlarının kontrol grupları ile karşılaştırıldığında *P. aeruginosa* tarafından üretilen biyofilm oluşumunu arttırdığı, dolayısıyla metanol ve metanol+ultrasonikasyon uygulanan ekstraktlarda (63 µg/mL) sınırlı bir biyofilm inhibisyonu gözlemlendiği belirtilmiştir. Sarı kantaron ekstraktların LasIR ve RhlR yolu için sırasıyla %55.9-71.3 ile %37.73-57.41 oranları arasında değişen anti-QS aktivitesine sahip olduğu tespit edilse de kullanılan ekstraktların *P. aeruginosa* tarafından biyofilm oluşumunu düzenleyen sinyal yollarını inhibe etmekte yeterli olmadığı belirlenmiştir.

2.2.5 Gıdalarda sarı kantaron ekstrakt veya esansiyel yağ uygulamaları

Gıda endüstrisinde en yaygın kullanılan malzemelerden biri olan jelatin tabanlı hidrojeller gıdaların ağızda hissedilen dokusunu oluşturmaktadır. Farklı doku ve renk özellikleri gösterme potansiyeline sahip olabilen jeller içerisine biyoaktif maddeler gibi katkı maddeleri eklenebilmektedir (Wiedenmann et al., 2018).

Literatürde sarı kantaron yaprağı ve çiçeğinin ekstrakt/esansiyel yağının model gıda uygulamalarının olduğu sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır (Jarzębski et al., 2020; Jakubczyk et al., 2021). Sarı kantaron ekstraktı ilave edilmiş agar ve aljinat kullanılarak hazırlanan jeller ile ilgili bir araştırmada jellerin rengi önemli ölçüde değişirken, ekstrakt ilavesinin pektin jellerinin rengini değiştirmedeği belirlenmiştir. Ayrıca ekstrakt eklenmesinin hidrojellerdeki gevşeme süresini en aza indirerek su parçacıklarıyla etkileşimi arttırdığı belirtilmiştir. Bu çalışma ile sarı kantaronun yeni fonksiyonel gıdalar tasarlamak için kullanılma potansiyeli olduğu rapor edilmiştir (Jarzębski et al., 2020).

%0.5 ve %1.0 oranında sarı kantaron ile zenginleştirilmiş kurabiyelerin karakterizasyonunu ve bu kurabiyelerin *in vitro* sindirim koşullarında hidroliz özelliklerini belirlemek için yapılan çalışmada en yüksek polifenol (2.32 mg/mL), flavonoid (4.93 µg/mL) ve fenolik asit (12.35 µg/mL) içeriğine sahip kurabiyelerin %1.0 oranında sarı kantaron ile zenginleştirilmiş kurabiyeler olduğu tespit edilmiştir. *In vitro* hidroliz sonrasında, en yüksek peptit içeriği %1.0 sarı kantaron ekstraktı içeren kurabiyelerde gözlemlenmiştir (0.52 mg/mL). Biyoaktif bileşikler yüksek potansiyel biyoerişilebilirlik ancak düşük biyoyararlanabilirlik ile karakterize edilirken, sarı kantaron ekstraktı eklenmesi ACE, α -amilaz ve LOX inhibitör etkisini arttırmış ancak pankreatik lipaz inhibisyonunu azaltmıştır. Aynı zamanda sarı kantaron içeren kurabiyelerin test edilen *E. coli* ATCC 25922 ve *B. cereus* ATCC 14579 üzerinde antimikrobiyal aktiviteye (MİK=12.5 mg/mL) sahip olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, sarı kantaron ekstraktı içeren kurabiyelerin daha yüksek biyoaktif bileşik içeriğine sahip olduğunu göstermektedir (Jakubczyk et al., 2021).

2.3 Hiren Bitkisi

2.3.1 Hiren bitkisinin özellikleri ve kullanım alanları

Brassicaceae familyasında yer alan bayır turpu, acırğa ve hiren olarak bilinen *Armoracia rusticana* 120 cm yüksekliğine ulaşabilen bir bitkidir. Fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum gibi zengin bir mineral kaynağı olan hirenin genellikle kullanılmak için tercih edilen kök gelişimini arttırmak için yaz aylarında yüksek sıcaklık, sonbaharda ise daha düşük sıcaklıklarda büyümesi gerekmektedir (Şekil 2.3). Hasat genellikle kışın sonundan ilkbaharın başına kadar devam etmektedir (Walters and Wahle, 2010). Hiren kökü beyaz, silindirik veya sivri uçlu olup, gevşek toprakta 60 cm uzunluğa ulaşabilen ve birkaç yan kökten oluşmaktadır (Nguyen et al., 2013).



Şekil 2.3 Hiren kökleri

Hiren yetiştiren başlıca ülkeler Amerika Birleşik Devletleri ve Macaristan iken; Kanada, Çin, Polonya, Avusturya, Almanya ve Avrupa'nın diğer bölgelerinde de hiren yetiştiriciliği yapılmaktadır (Nguyen et al., 2013). Ülkemizde de Kars yöresinde hiren yetiştirildiği bilinmektedir (Alkan vd., 2021). Ayrıca Trakya ve Nevşehir bölgesinde tüketilen geleneksel bir ürün olan üzüm turşusunda belirtilen bölgelerde yetişen hiren kökleri kullanılmaktadır (Gündüz and Göral, 2022).

Sampliner and Miller (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, hirenin kullanım alanlarını araştırmak için farklı bölgelerdeki insanlar üzerinde yapılan anketler sonucunda katılımcıların %50'si hireni bir gıda türü olarak, %30.3'ü tıbbi amaçlar için, geri kalanı ise koruyucu antiseptik ve yem gibi diğer amaçlar için kullandığını belirtmiştir. Gıda veya şifalı bitki olarak hiren kullanımı Orta Çağ boyunca Doğu ve Akdeniz bölgelerinden hem kuzeye hem de batıya doğru

yayılmıştır (Agneta et al., 2013). Kükürt içeren bileşiklerden kaynaklanan yoğun ve keskin tadı nedeniyle gastronomi alanında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Hiren sitotoksite, antiinflamatuvar ve antibakteriyel aktivitelerinin yanı sıra antikarsinojenik ve proinflamatuvar aktiviteleri inhibe edici farmakolojik etkileri nedeniyle de ilgi görmektedir (Lee et al., 2019). Hiren, üst solunum yolu enfeksiyonları ve komplike olmayan idrar yolu enfeksiyonlarının tedavisinde kullanılan bir bitkidir (Göral, 2019; Alkan vd., 2021; Negro et al., 2022).

2.3.2 Hiren bitkisinin fenolik içeriği ve antioksidan özellikleri

Hiren, bitkilerin savunma sisteminde önemli rol oynayan ikincil ürünler olan glukozinolatlar açısından zengin bir bitkidir. Glukozinolatlar içerisinde sinigrin (2-propenil veya alil glukozinolat) ve glukonasturtiin (fenetilglukosinolat) diğerlerine kıyasla daha yüksek miktarda bulunmaktadır (Nguyen et al., 2013). Glukozinolatların yaygın olarak mirosinaz olarak bilinen enzim tarafından izotiyosiyanatlar, nitriller, tiyosiyanatlar, epitionitriller ve oksazolidinler gibi çeşitli bileşiklere hidrolize edilmektedir (Bones and Rossiter, 2006). Glukozinolatların hidrozolizi sonucunda en yaygın elde edilen antioksidan bileşik izotiyosiyanatlardır. Yapılan çalışmada hirenin bütillenmiş hidroksianizol (BHA), bütillenmiş hidroksitolüen (BHT) ve α -tokoferol ile karşılaştırıldığında yüksek bir antioksidan aktiviteye sahip olduğunu bildirilmiştir (Kim et al., 2015). LC-MS/MS analizi ile hiren kökünün polifenoller açısından zengin olduğu, malik asit, gallik asit, ferulik asit ve (-) epigallokateşin-3-gallat gibi bileşenler içerdiği belirlenmiştir (Aissani et al., 2013).

Li and Kushad (2004) tarafından yapılan farklı hiren çeşitlerinin köklerinin incelendiği çalışmada, hiren köklerinde toplam glukozinolat konsantrasyonu kuru ağırlık (DW) başına 2 ile 296 $\mu\text{mol/g}$ arasında değiştiği, sinigrin miktarının ise toplam glukozinolatların %83'ünü, gluconasturtiin %11'ini ve glucobrassicin %1'ini temsil ettiğini belirtmiştir. Bazı hiren çeşitlerinde ise progoitrin, gluconapin, 4-hidroksiglucobrassicin ve 4-metoksiglucobrassicin gibi diğer glukozinolatların düşük konsantrasyonlarda (<%1) bulunduğu rapor edilmiştir.

Farklı çevresel koşullar altında yetişen farklı türdeki hiren yaprak ve kök ekstraktları ile yağlarının antioksidan özellikleri değerlendirildiği bir çalışmada, yaprak ve kök ekstraktları güçlü antioksidan özellikler göstermemiş olsa da hiren örneklerinin farklı çevresel koşullarda yetişmesinin bu özellikleri önemli ölçüde etkilediği belirtilmiştir. Hiren kökünden elde edilen uçucu yağın, saf allil

izotiyosiyannattan daha güçlü antioksidan özellikler ortaya koyduğu tespit edilmiştir (Majewska et al., 2004).

Farklı genotiplerde ve hasat zamanlarındaki hiren örnekleri inceleyen bir araştırmada örneklerin toplam fenolik madde içeriğinin, 100 gram kuru ağırlık başına 160.14 mg GAE ile 503.54 mg GAE arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Antioksidan aktivitenin ise %2.19 ile %29.68 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Çalışmada toplam fenolik madde ve DPPH radikal süpürücü aktivitenin hasat zamanı ile değiştiği belirtilirken, Eylül ayında hasat edilen hiren köklerinin toplam fenolik madde içeriği ve antiradikal aktivite arasında pozitif bir korelasyon olduğu saptanmıştır (Tomsone et al., 2012).

Manuguerra et al. (2020) tarafından yapılan çalışmada toplam polifenol içeriğinin hiren su ekstraktlarında hidroalkolik ekstraktlardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir. 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil radikali aracılığıyla belirlenen antioksidan aktivitenin hidroalkolik ekstraktın kullanılan konsantrasyonda su ekstraktlarından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Hidroalkolik ekstrakta polifenollerin daha düşük olmasına karşın radikalleri engelleme gücünün daha yüksek olması olası fenolik olmayan antioksidan bileşiklerin varlığından ve polifenollerin değişken kimyasal yapısından kaynaklanabileceği düşünülmektedir (Calabrone et al., 2015). *In vitro* testler, hirenin hücreleri oksidatif stresin neden olduğu ölüme karşı önemli ölçüde koruduğunu göstermiştir. Test edilen en yüksek konsantrasyonda (16 µg/mL), hirenin sağladığı koruyucu etki %100 olarak tespit edilmiş olup, hirenin sentetik bir antioksidan olan N-asetilsisteinin indüklediği etkilerle karşılaştırılabilir düzeyde olduğu belirtilmiştir.

2.3.3 Hiren ekstrakt ve esansiyel yağlarının antimikrobiyal aktivitesi

Bitki dokusu bozulduğunda veya ezildiğinde mirosinaz enzimi hiren kökünde bulunan glukozinolatları hidrolize etmektedir. Hidroliz sonucunda açığa çıkan ürünler içerisinde özellikle izotiyosiyanatların, biyolojik ve antikanserojen aktivite dahil olmak üzere çeşitli biyolojik aktivitelere sahip oldukları bildirilmiştir (Kim et al., 2015).

Hiren kökü esansiyel yağının veya esansiyel yağlardan ekstrakte edilmiş allil izotiyosiyanatların farklı mikroorganizmalara karşı antimikrobiyal etkisi bulunmaktadır (Nedorostova et al., 2009; Kloucek et al., 2012; Park et al., 2013). Hiren ekstraktının geniş spektrumdaki antimikrobiyal etkisi, özellikle içeriğinde

bulunan allil izotiyosiyanatlar, 2-feniletil izotiyosiyanatlar ve diğer minör bileşenlerle bağlantılıdır. Antibakteriyel etkinin temel mekanizmaları arasında, enzimlerin S-S köprülerinin kırılması, ATP sentezinin engellenmesi, oksidatif stresten kaynaklanan DNA hasarı, hücrelerin çoğalmasının ve proliferasyon düzenleyicilerinin engellenmesi bulunmaktadır (Petrović et al., 2017).

Hiren esansiyel yağının antimikrobiyal etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, esansiyel yağın test edilen tüm mikroorganizmalar üzerindeki etkili MİK değerinin $0.0083 \mu\text{L}/\text{cm}^3$ hava olduğu belirtilmiştir (Nedorostova et al., 2009). Benzer bir çalışmada, hiren esansiyel yağının MİK değeri $31.25 \mu\text{L}/\text{L}$ hava olarak bulunmuştur (Kloucek et al., 2012). Hiren esansiyel yağı ile ilgili başka bir çalışmada ise test edilen tüm mikroorganizmalar üzerinde hiren esansiyel yağının MİK değerlerinin 0.52 ile $6.67 \text{ mg}/\text{mL}$ arasında olduğu belirtilmiştir (Park et al., 2013).

Hiren köklerinin dietil eter ekstraktı ile yapılan bir çalışmada test edilen mikroorganizmalar üzerinde ekstraktın MİK değerlerinin 0.07 ile $1.25 \text{ mg}/\text{mL}$ arasında değiştiğini rapor edilmiştir. Ancak, *Candida albicans* üzerinde test edilen en yüksek konsantrasyonda ($5 \text{ mg}/\text{mL}$) bile inhibisyon etkisi gözlenmediği belirtilmiştir (Dekić et al., 2017).

Ticari olarak satılan hiren tozunun farklı kültürleri üzerindeki antimikrobiyal etkisinin incelendiği çalışmada, MİK değerlerinin 0.075 ile $15 \text{ mg}/\text{mL}$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, hirenin doğal bir antimikrobiyal ajan olarak değerlendirilme potansiyeli olduğunu desteklemiştir (Manuguerra et al., 2020).

2.3.4 Hiren ekstrakt ve esansiyel yağlarının antibiyofilm ve anti-quorum sensing aktiviteleri

Biyofilm, mikroorganizmaların çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik streslere karşı korunmasını sağlayan, hücre dışı polisakkaritler, DNA ve proteinlerden oluşan karmaşık bir yapıdır. Bu yapı, mikroorganizmaların rekabet ederek ortamda hayatta kalabilmesini ve çeşitli yüzeylerde kalıcılığını artırmasını sağlamaktadır. Özellikle patojen mikroorganizmalar yüksek biyofilm oluşturma yeteneğine sahip olması nedeniyle bu durum gıda endüstrisinde önemli bir sağlık riski oluşturabilmektedir. Gıdalarda ve gıdayla temas eden yüzeylerde biyofilm oluşması, mikroorganizmaların insan sağlığını olumsuz etkileme riskini

arttırmaktadır. Bu nedenle biyofilm oluşumunun inhibe edilmesi gıda güvenliği açısından kritik öneme sahiptir (Vairagar et al., 2023).

Mikroorganizmaların biyofilm oluşturmalarını kontrol altına alacak stratejiler geliştirmek oldukça önemlidir. Mikroorganizmalar virülans ve biyofilm oluşumu da dahil olmak üzere çeşitli hücresel fonksiyonlarını düzenlemek için QS mekanizmasını kullanmaktadır. QS mekanizmasının mikrobiyal biyofilm oluşumunu kontrol altına alarak antimikrobiyal aktiviteleri düzenleme potansiyeli nedeniyle QS inhibe edici ajanların biyofilm oluşumunu azaltmak için umut verici bir yaklaşım olduğu görülmektedir (Zhou et al., 2020). Yapılan literatür taramasında hirenin antibiyofilm ve anti-QS aktivite üzerine etkisi ile ilgili sınırlı sayıda çalışma olduğu belirlenmiştir (Jakobsen et al., 2012; Kaiser et al., 2017; Cosa et al., 2019).

Anti-QS ajanlarının, bakteriyel biyofilmlerin ve çoklu ilaca dirençli bakterilerin neden olduğu enfeksiyonları tedavi etmek için geleneksel antibiyotiklerin kullanımıyla ilişkili eksikliklere alternatif oluşturabileceği düşünülmektedir. Yapılan bir araştırmada, *Pseudomonas aeruginosa*'ya karşı altmış dokuz farklı bitki materyal ekstraktının anti-QS aktivitesi araştırılmış olup, çalışılan tüm ekstraktlar içerisinde anti-QS aktivitesi açısından hirenin daha yüksek anti-QS aktivite gösterdiği saptanmıştır. Çalışmanın devamında hiren ekstraktının içerisinde aktif bir anti-QS bileşiği olarak bilinen iberin (1-izotiyosiyano-3-(metilsülfinil) propan) olduğu belirtilmiştir (Jakobsen et al., 2012).

Hiren örneklerinden ekstrakte edilen izotiyosiyanatların 27 farklı *P. aeruginosa* izolatının oluşturduğu biyofilmlere karşı etkisi incelenmiş olup, 50 µg/mL allilizotiyosiyanat ve 500 µg/mL benzilizotiyosiyanat antibiyofilm aktivite göstermezken, 500 µg/mL feniletizotiyosiyanat ve 100 µg/mL izotiyosiyanat karışımının biyofilm oluşumunda anlamlı bir düşüş sağladığı tespit edilmiştir. Bu araştırmada, izotiyosiyanatların biyofilm oluşumunu önleme ve oluşan biyofilmin etkinliğini azaltma üzerinde etkili olduğunu belirtilmiştir (Kaiser et al., 2017).

2.3.5 Gıdalarda hiren ekstrakt veya esansiyel yağ uygulamaları

Hiren kökü (*Armoracia rusticana*) kullanılarak elde edilen esansiyel yağ ve izotiyosinatlardan farklı model gıdalara uygulandığı sınırlı sayıda çalışma bulunmakta olup, çalışmalarda genel olarak esansiyel yağların ürün ile direkt

teması olmayıp, esansiyel yağın hava ortamı içerisinde buharı kullanılmaktadır (Ward et al., 1998; Delaquis et al., 1999; Choi et al., 2015a; Ren et al., 2020).

Rozbif örneklerine kapalı bir sistemde 20000 nl/L hava konsantrasyonunda hiren kökü esansiyel yağı uygulamasının patojenlerin gelişimini tamamen inhibe ettiği rapor edilmiştir (Ward et al., 1998). Fermente bir deniz ürünü olan *Myeong-ran Jeotgal* örneklerinin raf ömrünün uzatılması için buhar fazında hiren kökünden ekstrakte edilen izotiyosiyanat uygulamasının etkisinin incelendiği bir çalışmada 0.50 ve 0.75 mL izotiyosiyanat ile işleme tabi tutulan örneklerin 5 ve 10°C'de depolandığında toplam canlı hücre, laktik asit bakterisi ve proteolitik bakterilerin inhibe edildiği sonucunda varılmıştır. 0.75 mL (200 mg/mL) buhar fazında hiren kökünden ekstrakte edilen izotiyosiyanat uygulaması yapılan örneklerin tazeliğini kontrollere göre daha iyi korunduğunu ve kontrollere göre 5°C'de yaklaşık 4 gün, 10°C'de 2 gün daha uzun bir raf ömrüne sahip olduğu belirtilmiştir (Choi et al., 2015a).

Yapılan bir çalışmada olgun yeşil domates üzerinde hiren esansiyel yağı ve sekiz izotiyosiyanatın (propil ITC, izopropil ITC, n-butil ITC, 3-bütenil ITC, fenil ITC, benzil ITC, 2-feniletil ITC ve allil ITC) hasat sonrası domates hastalığının kontrolünde koruyucu ve antifungal ajan olarak etkisi incelenmiştir. Test materyallerinin depolama sırasında olgun yeşil domatesin bozulmasına neden olabilen test kültürlerine karşı antifungal aktivite gösterdiği ortaya konmuştur. Uygulamalar sonucunda domateslerin çürüme hızının yavaşladığı, yumuşama sürecinin geciktiği, ağırlık kaybının daha yavaş gerçekleştiği ve asitlik seviyesinin daha yavaş azaldığı gözlemlenmiştir. Hiren esansiyel yağı, 2-feniletil ITC, benzil ITC ve allil ITC uygulanmaları ile diğer izotiyosinatlarla göre daha etkili sonuçlar elde edildiği rapor edilmiştir (Ren et al., 2020).

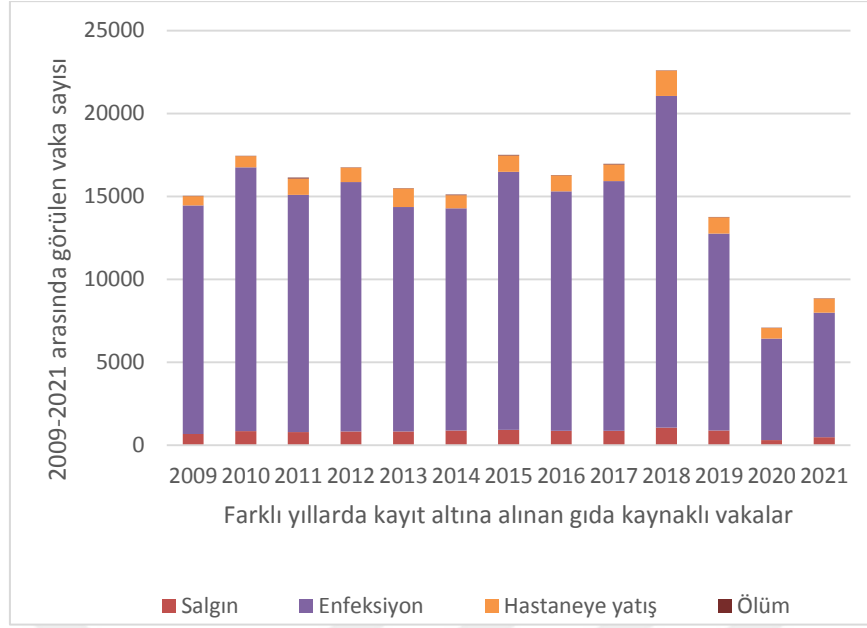
Shin et al. (2010) tarafından yapılan çalışmada hiren kökü esansiyel yağından ekstre edilen izotiyosiyanat 0, 25, 50, 100, 200 ve 300 ppm konsantrasyonlarda tofu örneklerinin içinde bulunduğu pakete enjekte edildikten sonra başlangıçta toplam mezofilik aerobik canlı sayısının 2.50 ile 3.15 log KOB/g olduğu belirtilmiştir. 10°C'de 10 günlük depolama süresinin sonunda ise izotiyosinat eklenmemiş tofu örneklerinde toplam mezofilik aerobik canlı sayısı 8.14 log KOB/g olarak belirtilirken, 300 ppm konsantrasyonda izotiyosiyanat içeren tofu örneklerinde 4.40 log KOB/g olarak rapor edilmiştir.

Trakya yöresine ait siyah yaş üzümünden üretilen, geleneksel, alkolsüz bir içecek olan Hardaliye üretiminde, üzümlerden gelen maya gelişimini inhibe ederek, alkol oluşumunu engellemek amacıyla sodyum benzoat ilavesi yapılmaktadır. Gündüz et al. (2024) tarafından yapılan çalışmada geleneksel alkolsüz bir içecek olan hardaliye üretiminde hiren köklerinin (%5) sodyum benzoata alternatif olarak hardaliye üretiminde kullanılma potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir.

Gıdanın mikrobiyal kontaminasyonunun yol açtığı gıda kaynaklı hastalıkların dünya çapında yayılmasının bir sonucu olarak, gıdanın güvenliğinin sağlanması günümüzde halk sağlığının karşı karşıya olduğu en acil sorunlardan biridir (Onyeaka and Nwabor, 2022). Gıda güvenliği sağlanırken gıda kalitesinin korunması için yüksek konsantrasyonda antibakteriyel madde içeren bitki ekstraktları, organik asitler veya uçucu yağlar gibi doğal antimikrobiyal ajanlar, sentetik kimyasal antimikrobiyallere tercih edilen alternatifler olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle araştırmacılar tarafından, patojen mikroorganizmalara karşı etkili koruyucu olarak kullanılabilecek bitkisel kaynaklar ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır (Premanath et al, 2022; Ghosh et al., 2024).

2.4 Gıda Kaynaklı Patojen Mikroorganizmalar

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Gıda Tarım Örgütü (FAO) gibi uluslararası kuruluşlar, gıda kaynaklı salgınlarda meydana gelen artış ve gıda zincirindeki mikrobiyolojik kontaminasyonlar konusundaki endişelerini dile getirmiştir (Sanz-Puig et al., 2016). CDC’de yer alan veriler incelendiğinde, gıda tüketimiyle ilişkilendirilen birçok gıda kaynaklı hastalığın rapor edildiği görülmektedir (CDC, 2024). 2009-2021 yılları arasında Amerika’da kayıt altına alınan gıda kaynaklı salgınlara ait veriler Şekil 2.4’te gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Gıda kaynaklı salgınlara ait veriler (CDC, 2024)

2011-2023 yılları arasında CDC tarafından rapor edilmiş meyve ve sebze kaynaklı salgınlar Tablo 2.3'te özetlenmiştir.

Tablo 2.3 CDC tarafından rapor edilmiş meyve ve sebze tüketimine bağlı olarak mikrobiyal hastalıklar

Gıda	Patojen	Vaka sayısı	Ölüm	Yıl
Patates	<i>Clostridium botulinum</i>	8	0	2011
Çilek	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	21	2	2011
Marul	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	108	0	2011
Kavun	<i>Listeria monocytogenes</i>	147	33	2011
Kavun	<i>Salmonella enterica</i>	45	0	2011
Domates	<i>Salmonella enterica</i> Newport	176	0	2011
Papaya	<i>Salmonella enterica</i> Agona	104	0	2011
Marul	<i>Bacillus cereus</i>	14	0	2012
Pancar	<i>Clostridium botulinum</i>	3	1	2012
Yeşil yapraklı sebzeler	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	33	0	2012
Marul	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	105	0	2012

Marul	<i>Escherichia coli</i> O145	16	0	2012
Ispanak	<i>Escherichia coli</i> O157	10	0	2012
Domates	<i>Salmonella enterica</i> Newport	102	0	2012
Kavun	<i>Salmonella enterica</i> Newport	57	1	2012
Kavun	<i>Salmonella enterica</i> Typhimurium	275	3	2012
Mango	<i>Salmonella enterica</i> Worthington	129	0	2012
Salatalık	<i>Salmonella enterica</i> Javiana	49	0	2012
Marul	<i>Salmonella enterica</i> Newport	15	0	2012
Çilek	Norovirus	26	0	2012
Patates	<i>Clostridium perfringens</i>	57	0	2013
Domates	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	20	0	2013
Yeşil yapraklı sebzeler	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	14	1	2013
Marul	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	141	0	2013
Marul	<i>Escherichia coli</i> O26	26	0	2013
Salatalık	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	9	0	2013
Salatalık	<i>Salmonella enterica</i>	12	0	2013
Salatalık	<i>Salmonella enterica</i> Saintpaul	84	0	2013
Domates	<i>Salmonella enterica</i> Enteritidis	27	0	2013
Domates	<i>Salmonella enterica</i> Saintpaul	131	0	2013
Papaya	<i>Salmonella enterica</i> Thompson	13	1	2013
Kavun	<i>Salmonella enterica</i> Typhimurium	14	0	2013
Karpuz	<i>Salmonella enterica</i>	7	0	2013
Çilek	Hepatit A	2	0	2013
Kereviz	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	57	0	2014
Ispanak	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	4	0	2014
Marul	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	13	0	2014
Lahana	<i>Escherichia coli</i> O111	16	0	2014
Şeftali	<i>Listeria monocytogenes</i>	2	1	2014
Elma	<i>Listeria monocytogenes</i>	35	7	2014

Marul	<i>Listeria monocytogenes</i>	18	3	2014
Marul	<i>Salmonella enterica</i>	11	0	2014
Marul	<i>Salmonella enterica</i> Miami	7	0	2014
Salatalık	<i>Salmonella enterica</i> Newport	296	1	2014
Salatalık	<i>Salmonella enterica</i> Javiana	40	0	2014
Biber	<i>Salmonella enterica</i> Paratyphi B	21	0	2014
Üzüm	<i>Salmonella enterica</i> Saintpaul	27	0	2014
Mango	<i>Salmonella enterica</i> Minnesota	4	0	2014
Kabak	<i>Bacillus cereus</i>	8	0	2015
Patates	<i>Clostridium botulinum</i>	29	2	2015
Pancar	<i>Clostridium botulinum</i>	2	0	2015
Yeşil yapraklı sebzeler	<i>Escherichia coli</i> O145	7	0	2015
Marul	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	16	0	2015
Marul	<i>Listeria monocytogenes</i>	19	1	2015
Marul	<i>Salmonella enterica</i> Enteritidis	252	0	2015
Marul	<i>Salmonella enterica</i> Paratyphi B	11	0	2015
Salatalık	<i>Salmonella enterica</i> Poona	907	6	2015
Salatalık	<i>Salmonella enterica</i> Thompson	3	0	2015
Domates	<i>Salmonella enterica</i> Hartford	19	0	2015
Tatlı patates	<i>Bacillus cereus</i>	87	0	2016
Roka	<i>Escherichia coli</i>	11	0	2016
Marul	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	11	0	2016
Karpuz	<i>Listeria monocytogenes</i>	6	2	2016
Avokado	<i>Listeria monocytogenes</i>	10	1	2016
Avokado	<i>Salmonella enterica</i> Enteritidis	59	0	2016
Salatalık	<i>Salmonella enterica</i> Oslo	14	0	2016
Salatalık	<i>Salmonella enterica</i> Saintpaul	14	0	2016
Soğan	<i>Salmonella enterica</i> Javiana	29	0	2016
Kavun	<i>Salmonella enterica</i> Minnesota	10	0	2016

Çilek	Hepatit A	137	0	2016
Patates	<i>Clostridium perfringens</i>	2	0	2017
Ispanak	<i>Escherichia coli</i> O26	7	0	2017
Yeşil yapraklı sebzeler	<i>Escherichia coli</i> O157	96	1	2017
Yeşil yapraklı sebzeler	<i>Listeria monocytogenes</i>	10	3	2017
Yeşil yapraklı sebzeler	<i>Salmonella enterica</i> Javiana	27	0	2017
Marul	<i>Salmonella enterica</i> Enteritidis	151	0	2017
Mango	<i>Salmonella enterica</i> Infantis	48	0	2017
Kavun	<i>Salmonella enterica</i> Newport	24	1	2017
Bezelye	<i>Salmonella enterica</i> Thompson	21	0	2017
Papaya	<i>Salmonella enterica</i>	279	1	2017
Hindistan cevizi	<i>Salmonella enterica</i>	57	0	2017
Bezelye	<i>Clostridium botulinum</i>	5	0	2018
Marul	<i>Escherichia coli</i>	427	5	2018
Domates	Norovirus	16	0	2018
Domates	<i>Salmonella enterica</i> Newport	65	0	2018
Soğan	<i>Salmonella enterica</i> Javiana	266	0	2018
Kavun	<i>Salmonella enterica</i> Adelaide	77	1	2018
Patates	<i>Clostridium botulinum</i>	4	1	2019
Marul	<i>Escherichia coli</i> O157	253	0	2019
Marul	<i>Salmonella enterica</i> Montevideo	32	0	2019
Domates	<i>Salmonella enterica</i> Braenderup	24	0	2019
Çilek	<i>Salmonella enterica</i> Saintpaul	97	0	2019
Kavun	<i>Salmonella enterica</i> Carrau	149	0	2019
Papaya	<i>Salmonella enterica</i> Uganda	81	0	2019
Kuşkonmaz	<i>Clostridium botulinum</i>	2	0	2020
Yeşil yapraklı sebzeler	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	40	0	2020

Domates	<i>Salmonella enterica</i> Miami	65	0	2020
Domates	<i>Salmonella enterica</i> Baildon	6	0	2020
Mango	<i>Salmonella enterica</i> Rubislaw	37	0	2020
Şeftali	<i>Salmonella enterica</i> Enteritidis	101	0	2020
Karpuz	<i>Salmonella enterica</i> Newport	80	0	2020
Soğan	<i>Salmonella enterica</i> Newport	1142	0	2020
Elma	<i>Escherichia coli</i> O55	11	0	2021
Ispanak	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	15	0	2021
Marul	<i>Escherichia coli</i>	20	0	2021
Yeşil yapraklı sebzeler	<i>Listeria monocytogenes</i>	12	5	2021
Domates	<i>Salmonella enterica</i> Saintpaul	60	0	2021
Karpuz	<i>Salmonella enterica</i> Enteritidis	24	0	2021
Kavun	<i>Salmonella enterica</i> Javiana	70	3	2021
Soğan	<i>Salmonella enterica</i> Oranienburg	1040	0	2021
Mantar	<i>Listeria</i>	5	0	2022
Çilek	Hepatit A	19	0	2022
Yeşil yapraklı sebzeler	<i>Listeria monocytogenes</i>	19	0	2023
Şeftali	<i>Listeria</i>	11	1	2023
Kavun	<i>Salmonella enterica</i> Sundsvall <i>Salmonella enterica</i> Oranienburg	407	6	2023
Soğan	<i>Salmonella enterica</i> Thompson	80	1	2023
Salatalık	<i>Salmonella enterica</i> Braenderup	449	0	2024

CDC tarafından belirtilen meyve ve sebze tüketimine bağlı olarak görülen vakalar kıyaslandığında, *Salmonella* türleri gıda kaynaklı hastalıkların en yaygın sebeplerinden biri olarak öne çıkmaktadır. *Listeria* kaynaklı vakaların ise daha az sayıda olmasına rağmen, daha ciddi sonuçları olduğu görülmektedir. Bu nedenle tez çalışmasında kapsamında model gıda olarak seçilen domates ve çilek örneklerine inokülasyonu yapılan test kültürleri *Salmonella* Typhimurim ve *Listeria monocytogenes* olarak seçilmiştir. Tez kapsamında kullanılan test kültürleri hakkındaki bilgiler alt başlıklarda verilmiştir.

2.4.1 *Salmonella* spp.

Salmonella, Enterobacteriaceae ailesinde yer alan Gram-negatif, spor oluşturmeyen, çubuk şekilli, fakültatif anaerobik bir bakteridir (Punchihewage-Don et al., 2022). *Salmonella* insanlarda ve kuşlar da dahil olmak üzere hayvan türlerinde zoonotik enfeksiyonlardan sorumlu olan, tüketilen hayvanlardan sıklıkla izole edilen en yaygın gıda kaynaklı patojenlerdendir. *Salmonella* Typhimurium, *Salmonella* Enteritidis, *Salmonella* Heidelberg ve *Salmonella* Newport epidemiyolojik olarak kümes hayvanları ve bu hayvanlardan elde edilen ürünler ile ilişkilendirilmiştir (Jajere, 2019). *Salmonella* Typhimurium dünya çapında gıda kaynaklı hastalıkların başlıca nedenlerinden biridir. Enfeksiyonlar, antimikrobiyal tedavinin gerekli olduğu ciddi invazif hastalıklara neden olabilmektedir. Ancak çoklu ilaca dirençli suşların ortaya çıkışı tedavilerin başarısı açısından önemli zorluklar oluşturduğu için bu durum küresel sağlığın en ciddi tehditlerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Perry et al., 2024).

Salmonellozun belirtileri arasında ishal, ateş, karın krampları ve kusma yer almaktadır. Bu semptomlar ciddi dehidrasyon, sepsis ve hatta ölüm vakalarına yol açabilmektedir. Salmonelloz vakalarının %90'ının antibiyotik tedavisi gerektirmemesine rağmen, antibiyotiğe dirençli *Salmonella* suşlarının ortaya çıkması, tedaviye ihtiyaç duyan enfeksiyonların kontrol ve yönetimini zorlaştırmaktadır (Braun et al., 2024).

2.4.2 *Listeria monocytogenes*

Listeria monocytogenes, spor oluşturmeyen ve Gram-pozitif gıda kaynaklı patojenlerden biridir. Çevrede ve hayvanların sindirim sistemlerinde yaygın olarak bulunmakta olup, taze meyve ve sebzelerin tedarik zinciri için önemli bir tehdit oluşturmaktadır (Townsend et al., 2021). Kontamine gıdaların tüketimi yoluyla *L. monocytogenes* alınması gastrointestinal enfeksiyonlara ve nadir ancak ciddi gıda kaynaklı hastalıklardan biri olan listeriozise neden olabilmektedir. İnvasiv listeriozis, yaşlılarda, bağışıklığı baskılanmış bireylerde ve diyabet hastalığı olan yüksek riskli hastalarda septisemi ve menenjit gibi ciddi durumlara yol açabilmektedir (Grima et al., 2022). Sağlıklı bireylerde nadir görülmesine rağmen, listeriozisin hamile kadınlara bulaşma olasılığı yaklaşık 13-100 kat daha fazla olup, hamileliğin ilerleyen dönemlerinde fetal ölümlerle sonuçlanabilen durumlara neden olabilmektedir (Xu et al., 2022). *L. monocytogenes* için optimum gelişme sıcaklık aralığı 30-37°C arasındaki değişse de psikrotrof özellikte olması nedeniyle gıda işleme ve depolama sırasında aktif olarak canlılığını sürdürebilmektedir (Rajalingam et al., 2024).

2.5 Yenilebilir Filmler ve Kullanım Alanları

Hızlı nüfus artışı ve gıda tedarik zinciri krizi, küresel açlık yönetimini daha da derinleştirirken, birçok jeopolitik, sosyo-ekonomik ve eş zamanlı salgın sonrası olaylar küresel gıda krizini daha da ağırlaştırmıştır (Liyanapathirane et al., 2023). Bu nedenle küresel gıda israfını azaltma gerekliliği konusunda siyasi ve bilimsel topluluklar biraya gelmekte, gıda güvenliği ve iklim değişikliği gibi diğer sürdürülebilirlik endişelerinin azaltılmasına katkı sağlayabilmeyi hedeflemektedir (Shakil Ar Salan and Imran Hossain, 2024). İsraf edilen gıdaların ekonomik maliyetine en büyük etki, toplam maliyetin %23'ünü oluşturan sebzelerden kaynaklanırken, bu veriyi takip eden örnekler et (%21), meyve (%19) ve tahıl (%18) olarak sıralanabilmektedir (FAO, 2018).

Avrupa Birliği Gıda ve Yem için Hızlı Uyarı Sistemi (RASFF) gıda ve yemlerin güvenliği ile ilgili Avrupa Birliği ülkeleri ve diğer ülkeler arasında bilgi paylaşımını sağlayan bir mekanizmadır. Türkiye'nin 2024 RASFF raporları incelendiğinde, gıda kaynaklı patojen mikroorganizmalara ilişkin bildirimlerde 2021 yılı ile kıyaslandığında büyük bir artış olduğu dikkat çekmektedir (RASFF, 2024). Bu durum ürünlerde gıda güvenliğini sağlamak için mevcut uygulamaların yetersiz olduğunu göstermektedir. Küresel gıda güvenliği ve sürdürülebilirlikle ilgili artan zorlukları göz önünde bulundurarak, yeni gıda koruma teknolojilerinin geliştirilmesi kritik bir önem taşımaktadır (Wang et al., 2020).

Sağlıklı bir yaşam tarzına olan artan ilgi, gıdaların raf ömrünü koruyucu madde kullanmadan artıran yenilikçi yaklaşımların araştırılmasına neden olmaktadır. Yenilebilir kaplamalar, gıda koruma ihtiyacına doğrudan bir yanıt olarak ortaya çıkmış olup, gıda koruma standartlarını yeniden tanımlama potansiyeli taşıyan, sürdürülebilir ve çevre dostu bir çözüm sunmaktadır (Nunes et al., 2023).

Son yıllarda gıdalarda ürün kayıplarını ve mikrobiyal bozulmaları minimum seviyeye indirmek ve depolama süresini uzatmak amacıyla doğal antimikrobiyal materyaller ile etkinliği artırılan yenilebilir kaplamaların kullanımı konusunda yapılan araştırmalar artmaktadır (Al-Tayyar et al., 2020; Liu et al., 2021). Film içine bitkisel antimikrobiyal materyaller eklenmesi, bu bileşiklerin gıdalarla doğrudan temas ederek veya paket içindeki hava boşluğunda bulunarak mikroorganizmalar üzerinde etki göstermesine olanak tanımaktadır. Bu yaklaşım, antimikrobiyal etkinliği arttırmayı amaçlamakta ve depolama ve dağıtım süreçlerinde gıda güvenliği ve kalitesinin korunmasını sağlamaktadır

(Otoni et al., 2016). Kaplamalar gıda ürünü ile dış ortam arasında yarı geçirgen bir bariyer oluşturarak kalite özelliklerindeki kaybın önemli ölçüde azaltılmasına yardımcı olmaktadır (Miteluț et al., 2021).

Kaplamalar yarı geçirgen bir bariyer görevi görerek gıda ile çevresel ortam arasındaki çözücü moleküllerin etkileşiminde ve gaz değişiminde iyi bariyer özellikleri sağlama yeteneğine sahiptir. Bu sayede ürünün nem kaybını azaltmasının yanı sıra solunum hızının yavaşlamasının bir sonucu olarak ürünlerin olgunlaşması geciktirilmektedir. Mikrobiyal bozulma da en aza indirgenirken kaplama sayesinde ürünlerin raf ömrü etkili bir şekilde uzamaktadır. Aynı zamanda kaplama sayesinde ürünlerin görünümü iyileştirilerek tüketiciler için daha çekici hale getirilebilmektedir (Marringal et al., 2020).

Yenilebilir kaplama ve filmler temel olarak yağlar (bal mumu, karnauba mumu ve bitkisel yağlar), polisakkaritler (kitosan, alginat, selüloz, pektin ve nişasta) ve proteinler (jelatin, zein, soya proteini ve kazein) gibi bileşenler içermektedir. Bununla birlikte, su buharı geçirgenliğini önlemeye yardımcı olmak için reçineler, gerilme dayanımını arttırmak için çözücüler ve gerilme dayanımını arttırmak için gliserin, propilen glikol, sorbitol, sükroz, polietilen glikol gibi plastikleştiriciler de yenilebilir kaplamalara ilave özellikler kazandırmak için kullanılmaktadır (Ulusoy et al., 2018; Kumar, 2019).

Kaplama malzemesinin çözeltideki konsantrasyonu diğer bir kritik parametredir. Yüksek viskoziteye sahip bir çözelti kalın ve düzgün olmayan bir kaplamaya neden olabileceği için ürünün görünümünü ve solunum hızını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Aksine, düşük viskoziteli bir çözelti ürünün korunması için yeterli koşulları sağlayamayabilmektedir (Du et al., 2022).

Yenilebilir kaplamalar taze veya taze kesilmiş meyvelerin yüzeyine daldırma veya püskürtme gibi teknikler kullanılarak uygulanabilmektedir. Daldırma yöntemi ile gıdaların kaplanması için ürünün hazırlanan çözeltiye batırılması gerekmektedir. Bu yöntem ürün üzerinde daha kalın kaplamalara ve kaplamanın fazlalığının giderilmesi için daldırma sonrasında uzun bir kurutma aşamasına ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır. Yine de daldırma, mikrobiyal stabiliteyi arttırmada ve taze kesilmiş meyvelerde kahverengileşmeyi önlemede basitliği ve etkinliği nedeniyle tercih edilen bir uygulamadır (Suhag et al., 2020). Püskürtme ile kaplama ise yüksek hız ile kaplama sıvısını ince damlacık halinde

ürünün üzerine dağılmasını sağlayan düşük maliyetli bir uygulamadır (Valdés et al., 2017).

Uygun kaplama yönteminin seçimi, gıda ürünleri üzerinde oluşan kaplamanın koruyucu etkisini etkilemekle kalmayıp, aynı zamanda üretim maliyetini ve prosesin verimliliğini de etkilemektedir (Suhag et al., 2020). Yenilebilir kaplamaların üretimindeki çeşitlilik, kaplama formülasyonunda proteinler, lipitler, selüloz, kitosan, nişasta ve pektin gibi birçok yapısal maddeyi kullanma fırsatı sunmaktadır (Menezes and Athmaselvi, 2016). Bitkilerden ve deniz yosunlarından elde edilen polisakkaritler, süt ürünlerinden veya bitkisel kaynaklardan elde edilen proteinler ve doğal yağlardan elde edilen lipitler, yenilenebilir doğası ve minimum çevresel etkiler nedeniyle tercih edilmektedir (Rahman et al., 2024).

Aljinat bazlı yenilebilir kaplamalar ve filmler, ürünlerde dehidrasyonu azaltarak, ürün görünümünü iyileştirerek, mikrobiyal üremeyi baskılayarak ve mekanik özellikleri iyileştirerek meyvelerin kalitesini iyileştirme/koruma ve raf ömrünü uzatma gibi üstün özellikler kazandırabilmektedir (Senturk et al., 2018). Guerreiro et al. (2015a) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, öjenol ve sitral içeren yenilebilir aljinat bazlı kaplama oluşturulmuş ve elde edilen yenilebilir kaplama materyali dağ çileği meyvesine uygulanarak etkileri incelenmiştir. Depolama süresince kontrol grubu örneklerde kaplama yapılan örneklerden daha yüksek küf ve maya sayısı ile aerobik mikroorganizma sayısı tespit edilmiştir. %1 sodyum aljinat ile kaplanan dağ çileği meyvesinde 28 günde örneklerinin küf ve maya sayısı 1.53 log KOB/g olarak belirlenirken, kontrol örneklerin küf ve maya sayısının istatistiksel açıdan anlamlı bir fark ile daha yüksek (3.26 log KOB/g) olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada %0.15 sitral+%0.1 öjenol içeren aljinat kaplamaların küf ve maya sayısı üzerinde en etkili uygulama olduğu belirtilmiştir. Dağ çileği meyvelerinin hasat sonrası kalitesini ve depolama süresince kalitesinin korunması için en iyi yöntemin %1 aljinat içeren yenilebilir kaplama uygulanan dağ çileği meyvesinin depolama süresince (0.5°C) meyve özelliklerini korumak için en iyi yöntem olduğu rapor edilmiştir.

Nişasta, maliyet etkinliği ve iyi film oluşturma yeteneği nedeniyle yenilebilir kaplama filmlerinin geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılan en popüler bitkisel polisakkaritlerdir (Thakur et al., 2021). Biyopolimer bazlı yenilebilir kaplamaların gıda ürünleri üzerine uygulanması, gaz difüzyonuna, aroma değişikliklerine ve farklı çözünen madde değişimine karşı bariyer tabakası

görevi görmektedir (Ulusoy et al., 2018). En çok ticarileştirilen asidik heteropolisakkaritlerden biri olan pektin genellikle turuncgillerden ve elma posasından elde edilen suda çözünür bir anyonik biyopolimer olarak yenilebilir kaplamalarda kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde pektin genellikle jelleştirici, koyulaştırıcı, stabilize edici ve emülsifiye edici bir madde olarak kullanılmaktadır. Jel ve film oluşturma yeteneği biyolojik olarak parçalanabilen gıda ambalajlarının veya gıda muhafazasına yönelik yenilebilir kaplamaların geliştirilmesinde kullanımını açıklamaktadır (Freitas et al., 2021).

Pektinler, yüksek dereceli esterleşme ($>50\%$) veya düşük dereceli esterleşme ($\leq 50\%$) olarak sınıflandırılmaktadır. Yüksek dereceli esterleşme gösteren pektinler, moleküller arası hidrojen bağları ve metil esterler arasındaki hidrofobik etkileşimlerle stabilize edilmiştir. Bu özellikleri sayesinde yüksek dereceli esterleşme gösteren pektinler yüksek konsantrasyonda çözünür katı madde ve asidik ortamda ($\text{pH} < 3.5$) jel oluşturma kabiliyetine sahip olup, genellikle jöle, şekerleme ve tatlı üretiminde tercih edilmektedir. Düşük dereceli esterleşme gösteren pektinler ise daha az metil ester grubuna sahip oldukları için daha fazla serbest karboksil grubu içermektedir. Bu durumda, çözeltiye sukroz eklemeyen, ancak iyonik kuvvet yoluyla iki farklı zincirden iki karboksilat arasında çapraz bağlanmak için uygun kalsiyum iyonları konsantrasyonu ile jel oluşumu ($\text{pH} 2-6$) sağlanmaktadır (Wang et al., 2018).

Pektin kullanılarak hazırlanan yenilebilir film ve kaplamalar mükemmel mekanik özellikler ve düşük su bariyeri özellikleri sergilemektedir (Maftoonazad et al., 2007). Gıda ürünlerinin hasat sonrası fizyolojik özelliklerini iyileştirmenin yanı sıra raf ömrünü artırmak veya uzatmak için biyopolimer bazlı yenilebilir kaplamalar içerisinde pektinin kullanıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda kullanılan gıda örnekleri çilek (Abdi et al., 2017; Pavinatto et al., 2020; Abdullah et al., 2023), domates (Rodriguez- Garcia et al., 2016; Chaturvedi et al., 2019; Aguilar-Veloz et al., 2022; Pholsin et al., 2024), ahududu (Guerreiro et al., 2016), salatalık (Alvarez et al., 2014), mantar (Dhawan et al., 2024), mango (Salinas- Roca et al., 2016) şeklinde özetlenmektedir. Gıda atığı olan pektinin çevre dostu biyobozunur materyal olması ve toksik olmaması nedenleriyle yenilebilir kaplamalar içerisine dahil edilmesinin iyi bir seçenek olduğu düşünülmektedir (Al-Tayyar et al., 2020).

2.6 Ultrases (US) Uygulamaları

Bitkisel materyallerin ekstraksiyonunda kullanılan etanol, metanol, aseton vb. gibi solventlerin yüksek miktarda kullanımı ve uzun süren ekstraksiyon süreleri gibi olumsuz özelliklerden dolayı günümüzde yeşil ekstraksiyon kavramı ortaya çıkmıştır. Yeşil ekstraksiyon ile tehlikeli kimyasal kullanımını azaltmak, enerji tüketimini düşürmek ve güvenli bir şekilde ekstraksiyon verimini arttırmak hedeflenmektedir (Živković et al., 2018).

Ultrasonik destekli ekstraksiyon yeşil ekstraksiyon yöntemleri arasında yer almaktadır. Son yıllarda daha kısa ekstraksiyon süreleri, daha yüksek verim, düşük maliyet ve çevre dostu özellikleri nedeniyle farklı bitkisel materyallerin ekstraksiyonu için ultrasonik destekli ekstraksiyon başarıyla kullanılmaktadır (Živković et al., 2018; Leichtweis et al., 2019).

Ultrasonik destekli ekstraksiyon tekniğinde, üretilen ses dalgaları kavitasyon baloncukları oluşturarak hücresel yapının zarar görmesine neden olarak çözücünün bitkisel materyale penetrasyonu kolaylaştırılmaktadır. Kütle transferinin artırılması sayesinde ekstraksiyon veriminin artışına katkı sağlanmaktadır (Leichtweis et al., 2019). Sonikasyon sırasında meydana gelen kavitasyon süreci hücrelerin şişmesine veya hücre duvarlarının parçalanmasına neden olarak hedef bileşiklerin solvent fazı ile etkileşimini arttırmaktadır (Okur et al., 2019).

Ultrasonik destekli ekstraksiyon etkinliğini etkileyen faktörler; ultrasonikasyon işleminin yapıldığı cihaz, cihazın çalışma frekansı ve yoğunluğu, kullanılan süre, sıcaklık, çözücü türü ve çözücü ile malzeme arasındaki etkileşim olarak sıralanmaktadır (Carranza Carranza et al., 2024). Çeşitli bitkilerden ve yan ürünlerinden birçok bileşenin (polifenoller, karotenoidler, aromalar ve polisakkaritler) başarıyla ekstrakte edilmesinde mekanik dalgaların (>20 kHz) kullanılmasına dayanan ultrasonik destekli ekstraksiyon yöntemi geleneksel yöntemlerin eksikliklerini telafi etmek için alternatif olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır (Ouatmani et al., 2024).

2.7 Ultraviyole (UV) Işık Uygulamaları

Taze meyve ve sebzeler dünyanın birçok bölgesinde tüketilen, bol miktarda vitamin, mineral, lif ve antioksidan içerdiği için insan sağlığı üzerine olumlu etkileri bulunan temel besin gruplarıdır. Ancak taze meyve ve sebzelerin işlenmesinde, yumuşak meyveler ve yeşil yapraklı sebze çeşitlerinde morfolojik

özellikler ve olgunluktaki farklılıklar, dezenfeksiyon yöntemlerinin etkinliğini etkileyebilmektedir. Taze meyve ve sebze tüketimindeki artış ve özellikle bu ürünlerin pişmemiş olarak tüketilmesi nedeniyle de gıda kaynaklı hastalıkların görülme sıklığının artmaktadır (Thomas et al., 2023).

Taze meyve ve sebzelerin dekontaminasyonu ile ilgili mevcut literatürde yer alan bilgiler incelendiğinde yapılan yıkama işlemlerinin, ürün yüzeyindeki mikrobiyal popülasyonun yaklaşık 2-3 log KOB/g aralığında bir azalmaya yol açtığı sonucuna varılmaktadır. Ancak ürünlerin başlangıçtaki mikrobiyal yüküne ve ürünün musluk suyuyla/sanitasyon solüsyonuyla yıkanmasına bakılmaksızın depolama sonrasında ürünlerin toplam mikrobiyal yükünün aynı olması nedeniyle bu yöntemlerin sınırlı bir etkisi olduğu söylenebilmektedir (Mendoza et al., 2022; Liao et al., 2024).

Güvenli, etkili ve kalıntı bırakmayan bir yöntemi olarak UV-C ışık teknolojisi, meyve ve sebzelerin hasat sonrası korunması ve işlenmesi için etkili bir potansiyele sahiptir (Diesler et al., 2019; Cankal et al., 2023). UV-C ışık teknolojisi gıdaların mikrobiyolojik açıdan güvenliğinin sağlanmasında ve gıdaların raf ömrünü arttırmak için de önemli faydalar sağlarken gıda kalitesinin korunmasını da sağlayan önemli bir prosestir (Bintsis et al., 2000).

Fotokimyasal çalışmalarda UV ışığın elektromanyetik spektrumun 100 ile 400 nm arasında değişen kısmını oluşturduğu belirtilmektedir. UV ışık insan cildinde bronzlaşma gibi değişimlerden sorumlu olan UV-A (315-400 nm), ciltte güneş yanıklarına ve cilt kanserine yol açan UV-B (280-315 nm), RNA, DNA ve proteinler tarafından emilerek hücre mutasyonlarına, kansere veya hücre ölümüne neden olan UV-C (200-280 nm) ve tüm maddeler tarafından soğurulduğu için yalnızca vakum içeren koşullarda iletilen UV-V (100-200 nm) olarak 4 farklı sınıfta incelenmektedir (Bolton and Cotton, 2011). Mikroorganizmalar üzerinde en etkili olduğu dalga boyları 250 ile 270 nm arasında olup, özellikle 254 nm dalga boyunda fotonların DNA tarafından daha iyi absorbe edilmesi nedeniyle UV-C ışığın daha etkili olduğu belirtilmektedir (Koutchma and Popović, 2019). Belirli bir süre boyunca belirli bir alandaki ışık enerjisinin etkisini gösteren uygulama dozu UV ışığın etkisinin belirlenmesinde önemli bir faktördür. UV dozu belirli bir mikroorganizma tarafından emilen UV fotonlarının toplam sayısı ile doğru orantılıdır. UV ışık şiddeti, belirlenmiş bir bölge üzerine gelen toplam ışık gücünün (Watt, W) belirlenmiş bölge alanına bölünmesiyle ifade edilirken, UV ışık dozu; belirlenmiş bir alan (m^2) üzerine gelen toplam ışık

enerjisinin (Joule, J) belirtilen alana bölünmesini ifade etmektedir (Koutchma et al., 2009; Ramos et al., 2024).

UV-C ışık teknolojisi herhangi bir kimyasal madde kullanmayı gerektirmeyen, kimyasal kalıntı bırakmayan, kolay uygulanabilir, ucuz ve etkili olması gibi nedenlerden dolayı gıdaların mikrobiyolojik açıdan güvenliğinin sağlanmasında ve gıda kaynaklı hastalıklara yol açan patojen mikroorganizmaların kontrolünde kullanılan yaklaşımlar arasında yer almaktadır (Chun et al., 2009; Srey et al., 2014; Mukhopadhyay et al., 2014).

UV-C ışık uygulaması yapılacak hedef mikroorganizmanın ışığa olan duyarlılığı, uygulama yapılacak UV-C ışık dozunun seçilmesinde kullanılan önemli bir etmendir (Koutchma et al., 2009). UV-C ışık uygulaması sonucunda önemli miktardaki foton nükleotitler tarafından absorplanmaktadır. UV-C ışığın pirimidin ve pürin nükleik asit bazları tarafından doğrudan absorbe edilmesi nedeniyle foto ürünlerin oluşumu indüklenmektedir (López-Malo and Palou 2005). Hem pirimidin hem de purin bazları güçlü UV-C ışık absorplayicisi olmalarına rağmen, pirimidinler UV-C ışığı pürinlerden yaklaşık 10 kat daha fazla absorbe etmektedir. Bu nedenle pirimidinlerden türetilen foto ürünler oldukça önemlidir (Kowalski, 2009). Absorplanan UV ışığı mikroorganizmaların DNA'sında bulunan H bağlarını kırmaktadır. UV-C ışık uygulanan mikroorganizmaların DNA sarmalında bulunan komşu pirimidin bazlarının birbirine bağlanması nedeniyle pirimidin dimerleri oluşmaktadır (López-Malo and Palou, 2005). Oluşan bu dimerler DNA'nın normal konfigürasyonu bozarak replikasyonu durdurmakta, transkripsiyon ve translasyonu engelleyerek mikrobiyal üremeyi inhibe etmektedir (Gayán et al., 2012). Ancak nükleik asitin hasar görmesi hücrenin tüm fonksiyonlarını gerçekleştirmesini engellememektedir. Hücre içindeki enzim mekanizmaları, nükleik asitte meydana gelen hasarın bir kısmını onarma yeteneğine sahip olduğu bilinmektedir. Mikroorganizmalar UV ışığının neden olduğu hasarı onarmak için görünür ışığa bağlı (fotoreaktivasyon) ve görünür ışıktan bağımsız (karanlık reaktivasyon) mekanizmalarla DNA hasarını onarabilme kapasitesine sahiptir (Ochoa-Velasco et al., 2018). Mikroorganizma türleri ve UV-C ışık dozlarının farklılıklarına bağlı olarak fotoreaktivasyon ve karanlık reaktivasyon mekanizmalarının etkinliği değişmektedir. Fotoreaktivasyon, UV-C ışık uygulaması ile hasar gören hücrelerin görünür ışığa maruz bırakıldığında meydana gelen, UV-C işleminin olumsuz etkilerini en aza indirmek için kullanılan etkili bir onarım mekanizmasıdır. Mikrobiyal hücrelerde görünür ışık ile aktive edilen fotoliyaz enzimi sayesinde

pirimidin dimerleri arasındaki bağ kırılarak DNA hasarı onarabilmektedir. Bu durum, uygulanan dozda UV-C işleminin etkinliğini azaltmaktadır (López-Malo and Palou, 2005). Bazı mikroorganizmalarda ise görünür ışık olmadan meydana gelebilen karanlık reaktivasyon adı verilen bir onarım mekanizması bulunmaktadır. Bu sistemde timin dimerleri taşıyan kısa DNA zincirleri kesilerek atılmaktadır. Ancak belirli bir sürede gerçekleşen bu onarım meydana gelirse, mikroorganizmaya verilen zarar geri dönüşümlü olabilmektedir (Salcedo et al., 2007). Yapılan çalışmalarda uygulanan UV-C ışık dozuna bağlı olarak, bazı mikroorganizmalarda ölümcül olmayan şekilde hasar gören hücrelerin UV-C işleminden sonra kendini onarabilmesinden dolayı sadece UV-C uygulaması ile mikrobiyal popülasyonlarda sınırlı azalma sağlandığı rapor edilmiştir (Lasagabaster and de Marañón, 2014; Chen et al., 2015; Choi et al., 2015b).

UV-C teknolojisinin dekontaminasyonundaki etkinliğinde UV-C işleminin dozu önemli bir parametredir. Ayrıca uygulama yapılacak ürünün şekli, yüzey/hacim oranı, yüzey yapısı gibi çeşitli faktörler de UV-C ışık etkinliğinde farklılıklara neden olmaktadır (Escalona et al., 2010; Choi et al., 2015b; Yan et al., 2017). UV-C ışık teknolojisinin farklı gıda ürünlerinde kullanımının etkinliği ile ilgili çalışmalardan bazıları Tablo 2.4'te özetlenmiştir.

Tablo 2.4 UV-C ışık teknolojisinin farklı gıda ürünlerinde kullanımının etkinliği

Gıda	UV uygulaması	Azalma (log KOB/g)	Mikroorganizma	Referans
Elma	0.5-1 kJ/m ²	~2	<i>E. coli</i> O157:H7 NCTC 12900	Graca et al., 2013
		~2	<i>Salmonella</i> Michigan	
		~3	<i>Listeria innocua</i> CECT-910	
Domates	5-40 kJ/m ²	3.13-3.62	<i>S. aureus</i> (3 farklı suş)	Sommers et al., 2010
		2.59-3.06	<i>L. monocytogenes</i> (3 farklı suş)	
		3.02-3.79	<i>Salmonella</i> (3 farklı suş)	
Ispanak	2.4-24 kJ/m ²	1.5-2.2	<i>L. monocytogenes</i> CECT 4032	Escalona et al., 2010
		0.7-1.16	<i>Salmonella</i> CECT 4300	
		1.1-1.9	<i>P. marginalis</i> CECT 229 T	

Brokoli	2.5-15 kJ/m ²	1.20-1.22 2.61-3.29 0.72-1.14	<i>E. coli</i> CETC 510T <i>S. Enteritidis</i> CETC 4300 <i>L. monocytogenes</i> CETC 935	Martínez-Hernandez et al., 2015
Çilek	2.12-13.31 kJ/m ²	<1	<i>E. coli</i> O157:H7 <i>S. Typhimurium</i> <i>L. monocytogenes</i>	Butot et al., 2018
Kayısı	15- 90 sn (10 W/m ²)	1.0-1.2 1.3-1.8	<i>E. coli</i> ATCC 25922 <i>E. coli</i> O157:H7	Yan et al., 2014
Şeftali	0-7.56 kJ/m ²	<2.91	<i>E. coli</i> ATCC 23716	Syamaladevi et al., 2013
Defne yaprağı	3942-13622 mJ/cm ²	2.7-3.93	<i>E. coli</i> O157:H7 <i>S. enterica</i> <i>P. aeruginosa</i> <i>L. monocytogenes</i> <i>S. aureus</i>	Gabriel et al., 2020
Yer fıstığı	2.5- 30 dk (10 mW/cm ²)	0.68	<i>S. Typhimurium</i> ATCC 14028	Ruiz-Hernández et al., 2021
Badem		2.39		
Kaşar peyniri	0.32-9.63 kJ/m ²	0.34->3.19	Küf maya sayısı	Koca and Öztürk, 2020
Siyah zeytin	0-4770 mJ/cm ²	0.53-1.71 0.31-1.43	Mezofilik aerobik bakteri sayısı Küf maya sayısı	Barut Gök and Pazır, 2019

Uygun dozlarda kullanılan ultraviyole ışık teknolojisi gıdalarda olumsuz bir etki yaratmamaktadır. Ancak uzun süren yüksek doz uygulamalarında gıdalarda çeşitli kalite kayıplarına yol açan istenmeyen değişiklikler söz konusu olabilmektedir. UV-C ışığın gölgeleme etkisi ve penetrasyon derinliğinin yetersiz

olması bu uygulamanın kullanımında önemli dezavantajları oluşturmaktadır (Butot et al., 2018). Yapılan çalışmalarda, UV-C ışığın düzgün yüzeyler ile kıyaslandığında, pürüzlü gıda yüzeylerinde mikroorganizmalar üzerindeki inaktivasyon etkinliğinin daha düşük olduğu belirlenmiştir (Adhikari et al., 2015; Syamaladevi et al., 2015). Etkili bir dekontaminasyonun sağlanması için tek bir yüzeyin UV-C ışığa maruz kalması yeterli olmamakta, tüm gıda yüzeyinin UV-C ışığa maruz kalması gerekmektedir (Manzocco and Nicoli, 2015). Gıdanın tüm yüzeylerine aynı anda UV-C ışık uygulamasına maruz bırakılması için gıda örneğinin bir film tabakası üzerine yerleştirilmesi veya UV-C ışık uygulaması sırasında diğer yöne çevrilmesi gerekmektedir (Koca vd., 2018). Bu durum UV-C ışık teknolojisinin diğer teknolojilerle birlikte kullanılmasının daha etkili bir çözüm olacağını göstermektedir.

Taze and Ünlütürk, (2018) tarafından Şalak kayısılarının doğal mikroflorası üzerine UV-C ışığın etkisinin belirlenmesi için yapılan bir çalışmada; meyve yüzeyleri arasında homojen UV-C ışık yoğunluğunun sağlanması için hareketli rulman üzerine ürünler yerleştirilerek UV-C işlemi uygulanmıştır. Kayıslara 31.01 kJ/m^2 UV-C ışık uygulaması toplam mezofilik aerobik bakteri sayısında 3 log azalma sağlarken, 7.75 kJ/m^2 UV-C ışık uygulaması sonucunda maya ve küf sayısında 2.38 log azalma sağlanmıştır. Ancak mekanik yaralanmalara karşı hassas, kısa sürede bozulabilen meyve ve sebzelerde ürünlerin dönen makaralı rulman üzerinde hareketinin ürünlerin yapısal bütünlüğünün bozulmasına neden olabileceği düşünülmektedir (Shafiee et al., 2010). Bu dezavantajlar düşünüldüğünde gıda kalitesinin korunması ve gıda güvenliğinin sağlanabilmesi için gıdalarda UV-C ışık uygulamalarının optimize edilmesi ve diğer yöntemler ile kombine edilerek kullanılması hakkında yeni yaklaşımların araştırılması gerektiği görülmektedir (López-Malo and Palou, 2005; Kim et al., 2021).

Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi tarafından 253.7 nm dalga boyunda, ozon gazı üretmeyen, emisyonun %90'ını yayan, düşük basınçlı civa lamba kullanımı ile UV-C ışığın gıda ve gıda ürünlerinin yüzeyindeki mikroorganizmaların kontrolünde, gıda üretiminde kullanılan içilebilir suyun sterilizasyonunda, meyve ve sebze sularında patojen ve diğer mikroorganizmaların azaltılmasında (Tablo 2.5) kullanılmasına onay verilmiştir (FDA, 2000).

Tablo 2.5 Ultraviyole ışığın FDA tarafından izin verilen kullanım alanları ve şartları

Kullanım alanı	Kullanım şartları	Kullanım amacı
Gıda ve ürünleri	Ozon gazı üretimi olmadan, yağ içeriği yüksek olan gıdalarda vakum altında veya inert atmosferde; radyasyon şiddeti 1 W (2.537 A.) / 5-10 ft ²	Gıda yüzeylerinde bulunan mikroorganizmaların kontrolü
İçme suyu	Ozon gazı üretimi olmadan, absorpsiyon sabiti her cm için 0.19 veya daha az; 1 Watt için akış hızı 100 gal/h; su derinliği 1 cm veya daha az; lambanın çalışma sıcaklık aralığı 36-46°C	Gıdaların üretiminde kullanılan suların sterilizasyonu
Meyve-sebze suları	Reynolds sayısının en az 2200 olduğu türbülanslı akış	Patojenlerin ve diğer mikroorganizmaların azaltılması

Bu nedenle gıda sanayisinde UV-C ışık uygulamaları, süt, et ve fırıncılık sektörlerinde ekipman yüzeylerinin, konveyörler ile şişe ve kutu vb. ambalajlama ürünlerinin dekontaminasyonu için kullanılmaktadır (Koutchma and Popović, 2019). Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, Hindistan ve Avrupa Birliği gibi bazı ülkelerde gıdalara UV-C ışık uygulamalarını tanımlayan ve/veya düzenleyen mevzuatlar bulunmaktadır. Genel olarak bu düzenlemeler, teknolojinin genel bir şekilde uygulanmasına izin vermekte olup, bazı gıda grupları için işleme parametrelerini de belirtmektedir (Ramos et al., 2024). Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi tarafından yapılan değerlendirmeler kapsamında pastörizasyondan sonra UV ışık uygulamasının sütün raf ömrü ve D vitamini içeriğini arttırdığı belirtilmiştir (EFSA, 2016). Ülkemizde ise sadece gıda ve gıda bileşenlerinin iyonlaştırıcı radyasyonla ışınlanması hakkında yasal düzenlemeler mevcuttur (Türk Gıda Kodeksi, Gıda Işınlama Yönetmeliği, 2019).

2.8 Engel Teknolojisi

Antik çağlarda gıda muhafaza teknikleri esas olarak su aktivitesi (a_w), pH ve çevre koşulları gibi parametrelerin kontrolünden oluşurken, zamanla yüksek sıcaklık işlemleri ve kimyasal koruyucuların kullanımı gibi geleneksel yöntemler de kullanılmaya başlanmıştır (Kaavya et al., 2021). Ancak yüksek sıcaklıklar, gıdanın besin değerlerini ve organoleptik özelliklerini olumsuz etkilemekte olup, insan sağlığına zararlı kimyasal türevler üreterek gıda kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir (Rifna et al., 2019). Yüksek dozaj veya maruz kalma süresine

sahip gıda işleme teknolojileri, gıdaların organoleptik ve besinsel özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek tüketiciler tarafından ürünün kabul edilebilirliğini azaltabilmektedir (Khan et al., 2017). Meyve ve sebzelerde gıda güvenliğinin sağlanması ve ürünlerin duyuşal özelliklerinin korunması gerekliliğini karşılamak için engel teknolojisi kavramı geliştirilmiştir (Deng et al., 2020).

İlk olarak 1978 yılında su içeriği yüksek olan gıdaların korunması amacıyla ortaya konan engel teknolojisi, bir dizi koruyucu engel oluşturmak için mevcut ve yeni koruma tekniklerinin birlikte kullanımı anlamına gelmektedir (Gül, 2020). Gıdaların besin değeri ve duyuşal özelliklerini korumak ve gıda güvenliğini sağlamak için farklı yöntemlerin hafif düzeylerde ardışık olarak veya eşzamanlı uygulanmasından oluşan engel teknolojisi stratejisi, daha düşük bireysel işlem yoğunlukları kullanılarak gıda ürünlerinin kalitesini korumayı hedeflenmektedir (Liao et al., 2024). Ürün özelliklerine göre seçilmiş, hafif yoğunluklarda farklı koruyucu faktörlerin eşzamanlı veya ardışık olarak uygulanması, belirli bir gıda ürününün kalite özelliklerini olumsuz etkilemeden korunması için yüksek yoğunlukta tek koruyucu faktörlerden çok daha etkili olabilmektedir (Bigi et al., 2023).

Birden çok dekontaminasyon işleminin bir arada kullanıldığı engel teknolojisi ile uygulanan her bir işlemin yoğunluğunu/konsantrasyonu azaltılırken hem gıda güvenliğini sağlanması hem de gıdaların duyuşal özelliklerinin korunması amaçlanmaktadır (Park and Kang, 2015). Engel teknolojisi ile hedeflenen mikroorganizmaları fiziksel, kimyasal ve çevresel streslere maruz bırakarak üreme ve stabiliteleri engellenmektedir. Bu durum; homeostaz durumunun engellenmesi, metabolik tükenme ve stres reaksiyon mekanizmasının yoksunluğunun bir sonucu olarak gerçekleşmektedir (Pal et al., 2017). Homeostaz, mikroorganizmaların stabilize durumunu sürdürmeye yönelik doğal eğilimini temsil etmektedir (Tsironi et al., 2020). Mikroorganizmaların homeostazisini bozmanın en uygun yolu sürekli ve çoklu engellerin uygulanmasıdır. Bu durum gerçekleştiğinde mikroorganizmalar homeostaz durumlarını yeniden sağlamaya çalıştığı için çok fazla enerji kaybı meydana gelmektedir. Bu enerji kaybı mikroorganizmaların metabolik olarak tükenmesine neden olmaktadır (Pal et al., 2017). Ayrıca, farklı stres faktörlerinin bir arada bulunması, bazı mikroorganizmalar tarafından stres koşullarından korunmak için yaygın olarak üretilen stres şok proteinlerinin senteziyle ilgili genlerin ekspresyonunu engellemektedir (Bigi et al., 2023).

Son yıllarda ürün kalitesinin korunduğu ve etkili mikrobiyal inhibisyonun sağlandığı farklı koruma yöntemlerinin ılımlı olarak uygulandığı engel teknolojisinin kullanım etkinliğinin araştırıldığı çalışmalar artmaktadır (Deng et al., 2020). Engelleme teknolojisi sayesinde tek başına yapılan uygulamalara kıyasla antimikrobiyal madde kullanımı azalmakla birlikte maliyetler düşmekte olup, aynı zamanda raf ömrünün uzaması sağlandığı için bu yaklaşım endüstriyel açıdan da ilgi görmektedir (Khan et al., 2017).

Engel teknolojisinde, gıda koruma yöntemleri yenilikçi yöntemler ile kombine olarak kullanılmaktadır (Ramesh, 2003). Cheon et al. (2015) tarafından yapılan çalışmada, toz kırmızı biber üzerinde *E. coli* ve *S. Typhimurium*'u inaktive etmek için UV-C ışık uygulamasının (20.4 kJ/m^2) hafif ısıtma işlemi ile (65°C ; 10 dk) kombine olarak etkinliği araştırılmıştır. UV-C ışık tek başına uygulandığında *S. Typhimurium* ve *E. coli* popülasyonları sırasıyla 0.29 ve 0.22 log KOB/g azalma sağlanırken, ısıtma işlemi ile kombine edildiğinde patojen sayısında sırasıyla 3.06 ve 2.88 log azalma sağlanmıştır. Bu iki teknolojinin kombinasyonu, kalite parametreleri üzerinde minimum etkiyle kırmızı toz biberin mikrobiyolojik kalitesi üzerinde sinerjistik bir etki göstermiştir. Benzer şekilde, UV-C ışık ve hafif ısıtma işlemi uygulamalarının *Cronobacter sakazakii*, *L. innocua*, *Staphylococcus aureus* dahil olmak üzere patojen ve bozulmaya neden olan mikroorganizmalar üzerinde sinerjistik bir etki gösterdiği belirlenmiştir (Arroyo et al., 2011; Gayán et al., 2012; Hilton et al., 2017; Fan et al., 2017).

Füme somonda gıda kaynaklı patojenlerin kontrolü için UV-C ışık ve atmosferik plazma uygulamalarının kombinasyonlarının değerlendirildiği Colejo et al. (2018) tarafından yapılan çalışmada; yüksek enerjileri UV-C (500 mJ/cm^2) ve uzun (≥ 4 dk) atmosferik soğuk plazmaya maruz kalma sürelerini içeren antagonistik bir etkileşim gösteren bu kombine uygulama dışında, UV-C ışık ve atmosferik soğuk plazmanın ardışık uygulanmasının ilave bir inaktivasyona neden olduğu belirlenmiştir. Tek başına 15 dk atmosferik soğuk plazma uygulaması veya 900 mJ/cm^2 UV-C ışık uygulaması işlenmiş ürünlerin duyu kalite özelliklerinde önemli bir değişiklik olmadan mikrobiyal popülasyonda 0.5–1.3 log birim azalma sağlamıştır. Kombine uygulamaların füme somonun kalite özellikleri üzerinde küçük etkilere neden olarak ilave bir antimikrobiyal etki gösterdiği belirlenmiş olup, uygulamaların mikrobiyal popülasyonda 0.1-1.57 log birim arasında değişen bir azalma sağladığı tespit edilmiştir.

Soğuk plazma ve UV-C ışığın eş zamanlı olarak kombine edildiği karabiber tanelerinin mikrobiyal dekontaminasyonu hakkında yapılan çalışmada; tek başına UV-C ışık veya soğuk plazma uygulamasının sırası ile 1.5 ve 1.2 log KOB/g azalma sağladığı belirlenirken, UV-C ışık ve soğuk plazma uygulamalarının eş zamanlı olarak kombinasyonu sonucunda ürün renginde herhangi bir değişikliğe neden olmadan 3.4 log KOB/g azalma sağlandığı belirlenmiştir. Kombine uygulamalar sonucunda elde edilen mikrobiyal inaktivasyonun (3.4 log KOB/g), tek başına soğuk plazma ve UV-C ışığın mikrobiyal inaktivasyonun toplamından (2.7 log KOB/g) daha yüksek olduğu dikkat çekici bir durum olarak değerlendirilmektedir (Bang et al., 2020).

Esansiyel yağlar ile UV-C ışığın kombinasyonu, mikrobiyal inaktivasyon oranının artmasını sağlarken gerekli esansiyel yağ konsantrasyonunu ve UV-C ışık yoğunluğunu azaltabilecek umut verici alternatif bir yaklaşım sunmaktadır (Iturralde-García et al., 2022). Liao et al. (2024) tarafından yapılan çalışmada esansiyel yağ ile UV-C uygulamalarının *E. coli* O157:H7 üzerindeki etkisini araştırmak için geçirimli elektron mikroskobu kullanılmıştır. Elde edilen görüntüler incelendiğinde; kontrol grubunda membran bütünlüğü korunurken, %0.8 greyfurt esansiyel yağı püskürtülen marul örneklerine 8 dk sonunda 100 mJ/cm^2 UV-C ışık uygulaması sonucunda esansiyel yağın UV-C uygulamasının etkisini arttıran bakteriyel membranların denatürasyonunu indüklediği belirlenmiştir. Greyfurt esansiyel yağında bulunan limonenin, membran geçirgenliğini artırarak bakteri zarına zarar vermesi sonucunda hücre içerikleri salınmakta ve bu durumun şekil değişikliklerine neden olduğu düşünülmektedir (Jugreet et al., 2020; He et al., 2022). Bu çalışmada kombine yöntemlerin kullanımının depolama sürecince ürün kalitesinden ödün vermeden taze meyve ve sebzelerin kalitesini korurken, gıda kaynaklı patojenleri kontrol etme potansiyeli de ortaya koyulmuştur.

Possas et al. (2021) tarafından yapılan UV-C ışık ($0\text{--}15 \text{ J/cm}^2$) ve kafeinin ($0\text{--}20 \text{ mM/g}$) çiğ tavuk göğsü filetosuna inoküle edilen *E. coli* üzerindeki kombine etkisinin araştırıldığı çalışmada; 12 J/cm^2 'den yüksek UV-C ışık dozlarında kafein uygulanmayan numunelerde 5 log KOB/g'nin üzerinde azalmalar gözlenirken, numunelerin kafeinle (20 mM/g) ön işleme tabi tutulmasından sonra 6 J/cm^2 'den yüksek dozlarda UV-C işlemleri uygulaması ile *E. coli* sayısının belirleme limitinin altında olduğu belirlenmiştir.

Byun et al. (2022) tarafından yapılan çalışmada; peroksiasetik asit veya laktik asit ile UV-C ışık uygulamasının kombine etkisi araştırılmıştır. Gıdayla temas eden yüzeylerde ve tavuk derisindeki *S. Enteritidis* tarafından üretilen biyofilmlerine karşı UV-C ışık uygulamaları sonucunda; peroksiasetik asit (50–500 µg/mL) ile UV-C ışık (5–10 dk) kombinasyonunun *Salmonella* popülasyonunu 3.10–6.41 log KOB/cm² oranında azalttığı belirlenirken, laktik asit (%0.5–2.0) ile UV-C ışık kombinasyonunun yüzeylerde 3.35–6.41 log KOB/cm² azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Peroksiasetik asit (500 µg/mL) veya laktik asit (%2.0) ile UV-C (10 dk) ışık uygulamasının kombine olarak kullanılması sonucunda tavuk derisinde ürünün rengini ve dokusunda çok az bir değişikliğe neden olarak biyofilm oluşturan *S. Enteritidis* sayısında yaklaşık 2 log KOB/g azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir.

Soğuk depolama sırasında UV-C ışık ve modifiye atmosferde paketlenen çeri domatesler üzerindeki kombine etkisinin araştırıldığı çalışmada, tek başına UV-C (2-10 kJ/m²) ışık uygulamalarının *S. Typhimurium* sayısında 1.27-1.29 log KOB/g azalma sağladığı belirlenirken, UV-C (2 kJ/m²) ışık uygulanmış çeri domateslerin modifiye atmosfer (%5.3 CO₂ + %5.5 O₂) altında soğukta depolanmasının *S. Typhimurium* sayısında 2.79 log KOB/g azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Ayrıca depolama sırasında çeri domateslerin olgunlaşmasını geciktirmede en etkili yöntemin kombine uygulamalar olduğu tespit edilmiştir (Choi et al., 2015b).

Mikrobiyal kontaminasyon, minimum düzeyde işlenmiş taze meyve ve sebzelerin tüketilmesiyle ilişkili en önemli risktir. Ultrases destekli yıkamanın işlem süresinin genellikle 5 dk süreyi aşmasından dolayı işlem süresini azaltmak için çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaçla serbest klorun (10 ppm) veya perasetik asidin (80 ppm) etkilerini korumak veya geliştirmek için UV-C ışık uygulamasının etkinliği araştırılmıştır. Çeri domatesin serbest klor veya perasetik asit içeren ultrasonik su banyosunda 5 dk boyunca dezenfeksiyonu uygulaması ile bu uygulamaya dahil edilen UV-C ışığın (1.71 kJ/m²) kombinasyonu karşılaştırıldığında, ≤3 dk sürede *E. coli* ATCC 25922 ve *S. Typhimurium* ATCC 14028 sayılarında 0.45–0.73 log KOB/g aralığında azalma sağlandığı belirlenirken, doğal mikroflorada bulunan aerobik mezofilik bakteri, psikrofilik bakteri, küf ve maya sayılarında 0.28-0.50 log KOB/g aralığında azalma sağlamıştır. Ürünün duyuusal özellikleri, antioksidan aktivite, fenolik madde, askorbik asit, likopen ve klorofil içeriği hiçbir uygulamadan olumsuz etkilenmemiştir. Bu sonuçlar, eşzamanlı olarak serbest klor veya perasetik asit

içeren ultrasonik su banyosu ve UV-C ışık uygulanmasının, işlem süresini azaltan etkili bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Maydanoz örneklerine inoküle edilen *S. Typhimurium* test kültürünün su destekli UV-C ışık uygulamaları ile inaktivasyonu hakkında yapılan çalışmada optimize edilmiş koşullar altında su destekli UV-C uygulaması ile sitrik asit (39.27°C, 6 dk, %0.55 sitrik asit) uygulamaları sonucunda *S. Typhimurium* sayısında 3.43 log KOB/g azalma sağlanırken, su ile sitrik asit (39.60°C, 7 dk, %1.41 sitrik asit) uygulamaları sonucunda 3.49 log KOB/g azalma sağlandığı belirlenmiştir. Çalışmada optimum koşullarda yapılan bu uygulamalarının 100 ppm klorla yıkama uygulamalarına alternatif olduğu rapor edilmiştir (Güleryüz, 2023).

UV-C ışık teknolojisinin farklı uygulamalar ile kombine kullanımının etkinliği ile ilgili çalışmalar Tablo 2.6'da özetlenmiştir.

Tablo 2.6 UV-C ışık teknolojisinin farklı uygulamalar ile kombine kullanımının etkinliği

Gıda örneği	Kombine edilen uygulama türü	Hedeflenen mikroorganizma	Etki	Kaynak
Füme somon	Atmosferik soğuk plazma	<i>L. innocua</i> <i>L. monocytogenes</i> <i>E. coli</i> <i>S. aureus</i> <i>S. Enteritidis</i>	Ürün kalite özellikleri üzerinde küçük etkilere neden olarak ilave bir antimikrobiyal etki gösterdiği belirlenmiş olup, uygulamaların mikrobiyal popülasyonda 0.1-1.57 log birim arasında değişen bir azalma sağladığı tespit edilmiştir.	Colejo et al., 2018
Kuru Trabzon hurması	Esansiyel yağ	<i>R. oryzae</i> <i>A. tenuissima</i> <i>A. niger</i>	%1.56 karanfil yağı ile UV-C (3.6 kJ/m ²) ışığın kombine kullanımı mikrobiyal popülasyonda 0.64-0.68 log KOB/cm ² azalma sağlarken, ürünlerin raf ömrünü en az 28 gün uzatmıştır.	Vurmaz and Gündüz (2020)
Keçi eti	Limon otu yağı	<i>E. coli</i> K12	%1 limon otu yağı ve 2 dk 200 µW/cm ² UV-C ışık uygulamasının <i>E. coli</i> K12 sayısının belirleme limitinin altında kalmasını sağlamıştır. Ayrıca kombine uygulamanın ürün dokusu üzerinde olumsuz bir etkisi tespit edilmemiştir.	Degala et al. (2018)
Kayısı nektarı	Sodyum benzoat / Potasyum sorbat	<i>A. flavus</i> <i>A. niger</i>	En yüksek mikrobiyal inaktivasyon <i>A. flavus</i> için sodyum benzoat (500-1000 ppm) uygulamaları ile kombine edilen UV-C (0-200 kJ/m ²) ışık işlemi ile elde edilmiştir.	Flores-Cervante s et al. (2013)
Kültür mantarı	H ₂ O ₂	<i>E.coli</i> 0157:H7 Doğal mikroflora	Su ile yıkama (kontrol), %3 H ₂ O ₂ ile yıkama, 0.45 kJ/m ² UV-C ışık, H ₂ O ₂ ve UV-C kombinasyonu ile <i>E. coli</i> 0157:H7 sayısında sırasıyla 0.44, 0.77, 0.85 ve 0.87 log KOB/g azalma sağlanmıştır. Sonuç olarak kombine uygulamaların besin kalitesinde azalmaya neden olmadan lezyon gelişimini azaltarak ürünün raf ömrünü uzattığı belirlenmiştir.	Guan et al. (2013)

2.9 Yanıt Yüzey Metodolojisi

Gıda endüstrisinde maliyet ve zamanı arttırmadan sistem performansını iyileştirmek ve süreç verimliliğini arttırmak için geleneksel optimizasyon yöntemleri kullandığında tek faktörün etkisini araştırmak için diğer değişkenler sabit bir seviyede tutularak yapılan optimizasyon çalışmalarında bu araştırmayı yürütmek için gereken deney sayısı, maliyet ve harcanan zaman artmaktadır. Ayrıca bu yöntemin en önemli dezavantajı dikkate alınmayan değişkenler arasındaki etkileşimlerinin yanıt üzerindeki tam etkisinin açıklanmamasıdır (Yolmeh and Jafari, 2017). Bu dezavantajları gidermek için çok değişkenli istatistiksel yöntemlerin kullanıldığı optimizasyon çalışmaları kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan Yanıt Yüzey Metodolojisi (YYM), bir veya birden fazla yanıt ile bağımsız değişkenler arasındaki işlevsel bağlantıyı tanımlayan bir dizi matematiksel ve istatistiksel tekniktir (Weremfo et al., 2023). Bu teknikte deneysel çalışmalar ile veriler toplanarak farklı süreç parametreleri arasındaki etkileşimleri ve bu parametrelerin uygulama performansı üzerindeki etkilerini anlamaya yardımcı olabilecek matematiksel modeller geliştirmek için sistematik bir yaklaşım kullanılmaktadır. YYM modellerinin farklı koşullar altında güvenilirliğini ve tahmin yeteneğini doğrulamak amacıyla farklı istatistiksel yöntemler arasında varyans analizi (ANOVA), elde edilen modellerin performansını değerlendirmek için deneysel çalışmalar sırasındaki varyasyonu doğal olarak rastgele hataların neden olduğu değişkenlikler karşılaştırarak model geçerliliğini belirlemek için kullanılmaktadır. Deneysel değerlerin ortalaması tahminlenen değerlerle uyumlu veya %95 güven aralığında belirtilen değerler arasında kalıyorsa, elde edilen YYM modelinin istenen yanıtı optimize etmekte doğru ve güvenilir olduğuna karar verilmektedir (Reza and Chen, 2022).

Kullanılan deney tasarımları incelendiğinde, en yaygın olarak kullanılan tasarımların merkezi bütünlük dizayn tasarımı (CCD), Box-Behnken ve Taguchi olduğu gözlemlenmiştir (de Oliveira et al., 2023). CCD, iki ve ikiden fazla değişken içeren, uygulaması kolay ve ekonomik olması nedeniyle yaygın olarak tercih edilen bir tasarımıdır. Küresel bir deneysel tasarım olan Box-Behnken, diğer istatistiksel tasarımlara göre daha az deney gerektiren, küre üzerine bindirilmiş bir küpün kenarlarında bir merkezi nokta ve birkaç orta noktadan oluşan bir tasarımıdır (Rebollo-Hernanz et al., 2021).

YYM kimya, ilaç ve gıda endüstrilerinde proses optimizasyonunda kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde YYM ekstraksiyon, kurutma, haşlama,

enzimatik hidroliz ve berraklaştırma, mikrobiyal metabolitlerin üretimi ve formülasyon gibi farklı gıda işlemlerinin optimizasyonu gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Yolmeh and Jafari, 2017; Rebollo-Hernanz et al., 2021).



3 GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Gereç

3.1.1 Test kültürleri

Yapılan bu tez çalışmasında *Salmonella* Typhimurium ATCC 13311, *S. Typhimurium* ATCC 14028, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538P, *Bacillus cereus* ATCC 10876, *Escherichia coli* ATCC 25922, *E. coli* O157:H7 ATCC 43895, *Listeria monocytogenes* Scott A ve *L. monocytogenes* LM17 test kültürleri Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü Mikrobiyoloji Laboratuvarı'ndan temin edilmiştir. *Chromobacterium violaceum* ATCC 12472 ve *C. violaceum* ATCC 31532 test kültürleri ise Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi Prof. Dr. Ali Osman Kılıç'tan temin edilmiştir.

3.1.2 Bitkisel materyaller

Çalışma kapsamında kullanılan dağ çileği (*Arbutus unedo*) yaprağı, dağ çileği çiçeği ve meyvesi Kasım ayında; sarı kantaron (*Hypericum perforatum*) yaprağı ve çiçeği Mayıs ayında Tire-İzmir'de bulunan Güme dağı eteklerinden toplanmıştır. Hiren kökleri (*Armoracia rusticana*) Tekirdağ'da bulunan yerel üreticiden Eylül ayında toplanmıştır. Toplanan bitkisel materyaller çöplerinden ayrılarak temizlenmiştir. Daha sonra yaprak ve çiçek örnekleri gölgede 7-10 gün boyunca oda sıcaklığında (25°C) sabit ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulmuştur (Lemus-Mondaca et al., 2018). Kurutulan örnekler 4°C, yaş olarak analiz edilecek meyve ve hiren örnekleri ise -30°C'de depolanmıştır. Toplanan hiren, dağ çileği ve sarı kantaron Ege Üniversitesi Farmasötik Botanik Bölümü'nden Dr. Serdar Demir tarafından tanımlanarak sırasıyla İZEF 6720, İZEF 6725 ve İZEF 6726 numaraları ile Ege Üniversitesi (İZEF), Eczacılık Fakültesi Herbaryumu, İzmir, Türkiye'de kayıt altına alınmıştır.

3.1.3 Model gıda örnekleri

3.1.3.1 Domates

Tez çalışmasında model gıda olarak kullanılan domates (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*) İzmir'de yer alan yerel üreticilerden satın alınmıştır.

3.1.3.2 Çilek

Tez çalışmasında model gıda olarak kullanılan çilek (*Fragaria ananassa*) İzmir’de bulunan yerel üreticilerden temin edilmiştir.

3.2 Yöntem

3.2.1 Test kültürlerinin hazırlanması

Test kültürleri olarak *S. Typhimurium*, *S. aureus*, *B. cereus*, *E. coli*, *L. monocytogenes*, *C. violaceum* kullanılmıştır. Test kültürlerinin hazırlanması için *S. Typhimurium*, *S. aureus*, *B. cereus* ve *E. coli* Tryptic Soy Broth (TSB, pH 7.3 ± 0.2 , Neogen Corporation Lansing, Michigan, USA) besiyerinde, *L. monocytogenes* test kültürleri ise %0.6 yeast ekstrakt içeren TSB besiyerinde iki kez aktifleştirilerek 37°C ’de 24 saat inkübe edilmiştir. *C. violaceum* ATCC 12472 ve *C. violaceum* ATCC 31532 test kültürleri Luria Bertani Broth (LB, pH 7.3 ± 0.2 , Neogen, Lansing, United Kingdom) besiyerinde 30°C ’de 24 saat inkübe edilmiştir (Alvarez et al., 2014). İnkübasyon sonunda kültürler iki kez peptonlu su (%0.1 w/v) ile yıkandıktan sonra, kültürlerin yoğunluğu DEN-1 McFarland Densitometer (Grant Bio, Grant Instruments Ltd., Shepreth, Cambridgeshire, England) cihazında *in vitro* analizler için McFarland standart bulanıklık derecesine göre $0.5 (10^8 \text{ KOB/mL})$ olacak şekilde ayarlanmıştır (Lim and Harrison, 2016; Akyuz et al., 2018). Kültür süspansiyonlarındaki mikroorganizma sayılarının doğrulanması için desimal dilüsyonlar hazırlandıktan sonra, uygun besiyerlerine ekim yapıp, petriler uygun süre ve sıcaklıklarda (*S. Typhimurium*, *S. aureus*, *B. cereus*, *E. coli* ve *L. monocytogenes* için 37°C ’de 24 saat; *C. violaceum* kültürleri için 30°C ’de 24 saat) inkübe edilmiştir.

Model gıdalara inoküle edilecek test kültürleri ise 50 ppm nalidiksik aside (≥ 98 , Sigma-Aldrich, ABD) dirençli *S. Typhimurium* ATCC 13311 ve *S. Typhimurium* ATCC 14028 kültürleri 1:1 oranında birleştirilerek, benzer şekilde 50 ppm nalidiksik aside dirençli *L. monocytogenes* Scott A ve *L. monocytogenes* LM17 kültürleri birleştirilerek kullanılmıştır. Kültürlerin yoğunluğu DEN-1 McFarland Densitometer (Grantbio) cihazında McFarland standart bulanıklık derecesine göre 3 McF (10^9 KOB/mL) olacak şekilde ayarlanmıştır. Kültür süspansiyonlarındaki mikroorganizma sayılarının doğrulanması için desimal dilüsyonlar hazırlandıktan sonra, Tryptone Soya Broth (TSB-N, 0.05 g nalidiksik asit/L) besiyerlerine ekim yapıp, petriler 37°C ’de 24 saat inkübe edilmiştir.

İnkübasyon süresinin sonunda test kültür süspansiyonlarının mililitresindeki sayılar hesaplanmıştır.

3.2.2 Ekstraktların hazırlanması

Çalışma kapsamında su ekstraktının hazırlanması için, 10 g bitkisel materyal ev tipi öğütücünden (Touch Me, Türkiye) geçirilerek küçültülmüştür. Ardından örnekler 100 mL destile su ile karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra ultrasonik su banyosunda (Elmasonic S30H, Elma Schmidbauer GmbH, Singen, Germany) 15 dk tutulan örnekler Whatman No.4 filtre kâğıdı (Cytiva, Marlborough, MA, USA) kullanılarak süzülükten sonra liyofilize edilmiştir. Elde edilen ekstraktlar koyu renkli steril şişelerde 4°C’de saklanmıştır. Metanol ekstraksiyonu için; 10 g bitkisel materyal 100 mL metanol ($\geq$ %99.9, Merck, Germany) ile karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. Ardından ultrasonik su banyosunda 15 dk tutulduktan sonra Whatman No.4 filtre kâğıdından süzülen örneklerden çözgen, 45°C’de vakum altında Rotary evaporatör (Heidolph, Germany) kullanılarak uzaklaştırılmıştır. Elde edilen ekstraktlar su ile balondan alındıktan sonra liyofilize edilerek (Vacuum Freeze Drier FT 33, Armfield Ltd., Ringwood, Hampshire, England) koyu renkli steril şişelerde 4°C’de saklanmıştır (Jung et al., 2009; Orak et al., 2011). Elde edilen ekstraktlar analizler öncesinde steril su ile hazırlanmış olup, membran filtrasyon (0.45 μ m, Minisart Syringe Filters, Sartorius Stedim Biotech Ltd., Goettingen, Germany) uygulandıktan sonra analizlerde kullanılmıştır.

3.2.3 Esansiyel yağ ve hidrosollerin elde edilmesi

Clevenger aparatı kullanılarak su distilasyon yöntemi ile esansiyel yağlar elde edilmiştir. Bu amaçla öğütülen bitkisel materyaller üzerine distile su eklenerek 3 saat boyunca kaynatılmıştır. Hidrodistilasyon işleminden sonra bitkisel materyallerden elde edilen esansiyel yağlar toplanmıştır. Elde edilen esansiyel yağ verimi hacim/ağırlık cinsinden Eşitlik 1’de verilen yöntem kullanılarak hesaplanmıştır (Jaradat et al., 2016).

$$\text{Esansiyel yağ verimi} = \frac{\text{Elde edilen yağ hacmi}}{\text{Analize alınan örnek miktarı}} \times 100 \quad (1)$$

Hidrodistilasyon işleminin uygulandığı her bitkisel materyalin, Clevenger aparatının ölçekli kısmında yer alan hidrozölü (su fazı) alınıp membran filtrasyon

(0.45 μm) ile sterilize edildikten sonra koyu renkli steril viallerde 4°C’de depolanmıştır (Nedorostova et al., 2009).

3.2.4 Antimikrobiyal aktivitenin belirlenmesi

Esansiyel yağ, hidrosol ve ekstraktların (metanol ve su) antimikrobiyal etkilerinin belirlenmesinde disk difüzyon ve broth mikrodilüsyon yöntemleri kullanılmıştır.

3.2.4.1 Disk difüzyon yöntemi

Hazırlanan test kültürüne ait 100 μL inokulum (1×10^7 KOB/mL) Mueller Hinton Agar (MHA, pH 7.3 ± 0.2 , Oxoid Co., Basingstoke, Hampshire, England) içeren petrilere L çubuk yardımıyla yayılmıştır. Ardından petrilere steril diskler (6 mm) yerleştirildikten sonra 30 μL test materyali ilave edilmiş olup, petriler 37°C’de 24 saat inkübe edilmiştir. Pozitif kontrol olarak antibiyotik içeren (ampisilin, 10 μg , Oxoid Co., England; kloramfenikol, 30 μg , Oxoid Co., England) diskler kullanılmıştır. Sonuçlar, disk çevresinde oluşan inhibisyon bölgesinin ortalama çapı olarak verilmiştir (Gursoy et al, 2018). Tüm analizler 3 tekerrür olacak şekilde yürütülmüş olup, analizler her tekerrürde iki paralelli olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.4.2 Ekstrakt, esansiyel yağ ve hidrosollerin minimum inhibisyon konsantrasyonu (MİK) değerlerinin belirlenmesi

Tüm kuyucuklara 100 μL MHB ilavesinden sonra mikropalakaların ilk sırasındaki kuyucuklara 200 μL test materyali ilave edilmiş ve 100 μL ’si bir sonraki kuyucuğa aktararak seyreltme işlemi uygulanmıştır. Ardından tüm kuyucuklara 100 μL test kültür süspansiyonu (1×10^7 KOB/mL) ilave edilmiştir. Hazırlanan mikropalakalar 37°C’de 18-24 saat inkübe edildikten sonra kuyucuklara 20 μL 2,3,5-Triphenyltetrazolium chloride (TTC, %1, v/v Merck, Germany) eklenmiştir. Kırmızı-pembe renk değişiminin gözlemlenmediği, en düşük kuyucuktaki test materyali konsantrasyonu, mikroorganizmanın gelişimini engelleyen MİK değeri olarak belirlenmiştir.

3.2.4.3 Bitkisel materyallerinin minimum bakterisidal konsantrasyonu (MBK) değerlerinin belirlenmesi

MİK değerleri belirlendikten sonra üremenin inhibe edildiği (herhangi bir renk değişikliğinin tespit edilmediği) kuyucuklardan mikropipet ile alınan inokulum (10 µL) MHA besiyeri içeren petrilere ekilmiştir. 37°C’de 24 saatlik inkübasyon sonucunda petrilere 10’dan az koloni gelişimi görülen (3 logaritmik birimlik azalma sağlayan) konsantrasyon MBK olarak seçilmiştir (Thwaites et al., 2018).

3.2.5 Bitkisel materyallerin antibiyofilm aktivitesinin belirlenmesi

3.2.5.1 *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* test kültürlerinin biyofilm oluşturma yeteneklerinin belirlenmesi

Test kültürlerinin biyofilm oluşturma yeteneğinin belirlenmesi için 96 kuyucuklu mikrolakalar kullanılmıştır. Mikrolakalara 100 µL TSB ilave edildikten sonra tüm kuyucuklara 100 µL kültür süspansiyonu (10^7 KOB/mL) inoküle edilmiştir. 37°C’de 24 saat inkübasyon sonunda tutunamayan hücreleri kuyucuklardan uzaklaştırılmak için kuyucuklarda bulunan kültür+besiyerleri boşaltılmış, boşaltılan kuyucuklar 3 kez steril distile su ile yıkanmıştır. Yıkama işlemi sonucunda kuyucuklarda bulunan mikroorganizmaları fiks etmek amacıyla mikrolakalar 60°C’de 45 dk etüvde bekletilmiştir. Süre sonunda kuyucuklara 200 µL kristal viyole (%0.4, w/v, Merck, Germany) ilave edilmiş ve mikrolakalar oda sıcaklığında 15 dk bekletilmiştir. Kuyucukların içeriği uzaklaştırıldıktan sonra 3 kez steril distile su ile yıkama işlemi uygulanmış, yıkamadan sonra kuyucuklara 200 µL etanol (%96 v/v Tekkim Chemical Co., Bursa, Türkiye) ilave edilerek 30 dk bekletilmiştir. Bekleme süresi sonunda mikrolaka okuyucu (Epoch 2, Microplate Spectrophotometer) kullanılarak 570 nm’de her bir kuyucuğun optik yoğunluğu (OD) ölçülmüştür. Kontrol ($OD_{kontrol}$) olarak kültür süspansiyonu ilave edilmemiş olan kuyucuklar kullanılmıştır. Örneklerin optik yoğunluk değerleri kontrol örnekleri ile kıyaslanmış, elde edilen sonuçlar biyofilm oluşturma yeteneğine göre sınıflandırılmıştır (Kuhn et al., 2019; Wang et al., 2020; Liu et al., 2020). Örneklerin optik yoğunluk sonuçlarına göre biyofilm oluşturma yetenekleri aşağıdaki kriterlere göre belirlenmiştir (Liu et al., 2020).

- Negatif: $OD_{örnek} < OD_{kontrol}$
- Zayıf: $OD_{kontrol} < OD_{örnek} < 2 \times OD_{kontrol}$
- Orta derecede: $2 \times OD_{kontrol} < OD_{örnek} < 4 \times OD_{kontrol}$
- Güçlü: $4 \times OD_{kontrol} < OD_{örnek}$

3.2.5.2 Bitkisel materyallerin antibiyofilm aktivitesinin belirlenmesi

96 kuyucuklu mikrolakalara 100 µL TSB ilavesinden sonra mikrolakaların ilk sırasındaki kuyucuklara 200 µL ekstrakt ilave edilmiş ve 100 µL'si bir sonraki kuyucuğa aktararak seyreltme işlemi uygulanmıştır. Ardından tüm kuyucuklara 100 µL test kültür süspansiyonu (1×10^7 KOB/mL) ilave edildikten sonra mikrolakalar 37°C'de 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrasında tutunmayan hücrelerin uzaklaştırılması için kuyucuk içerikleri uzaklaştırıldıktan sonra kuyucuklar 3 kez steril distile su ile yıkanmış ve mikrolakalar kuruması için 60°C'de 45 dk etüve kaldırılmıştır. Süre sonunda 200 µL %0.4 (w/v) kristal viyole ilave edilip mikrolakalar oda sıcaklığında 15 dk bekletilmiştir. Daha sonra içeriği uzaklaştırılan kuyucuklar 3 kez steril distile su ile yıkanmasının ardından içerisine 200 µL %96 (v/v) etanol ilave edilerek 30 dk bekletilmiştir. Kristal viyole konsantrasyonu mikrolaka okuyucu (Epoch 2, Microplate Spectrophotometer) kullanılarak 570 nm'de her kuyucuğun optik yoğunluğu (OD) ölçülerek belirlenmiştir. Ekstrakt ilave edilmemiş olan kuyucuklar kontrol ($OD_{kontrol}$) olarak kullanılmıştır. Optik yoğunluk değerleri kontrol örneklerinin değeri ile karşılaştırılarak sonuçlar aşağıda bulunan Eşitlik 2'deki denklem ile hesaplanmıştır (Kuhn et al., 2019; Wang et al., 2020).

$$\text{İnhibisyon (\%)} = \frac{OD_{kontrol} - OD_{örnek}}{OD_{kontrol}} * 100 \quad (2)$$

Elde edilen sonuçlar her test materyali ve her mikroorganizma için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca özet olarak verilerin değerlendirilmesi için Liu et al. (2020) tarafından belirtilen şekilde, bitkisel materyallerin belirlenen sub-MİK değerlerinde %70'in üzerinde biyofilm oluşumu inhibisyonu saptanarak hangi test materyallerinin güçlü biyofilm inhibisyonuna neden olduğu belirlenmiştir. Tüm analizler 3 tekerrür olacak şekilde yürütülmüş olup, her tekerrürde iki paralelli olarak analizler gerçekleştirilmiştir.

3.2.5.3 Bitkisel materyallerin biyofilm eradikasyon aktivitesinin belirlenmesi

Minimum biyofilm eradikasyon konsantrasyonun belirlenmesi için, 200 µL TSB broth içerisindeki, kültür süspansiyonu (1×10^7 KOB/mL) biyofilm oluşumu için 96 kuyucuklu mikrolakanın her bir kuyucuğuna eklenmiştir. 37°C'de 24 saat inkübasyondan sonra kuyucuklardan içerikler uzaklaştırılıp, her kuyucuk üç kez steril su ile yıkanmıştır. Daha sonra, biyofilm içeren kuyucuklara ekstraktlar için 2xMİK konstantrasyonda test materyalleri, hidrosoller için MİK

konsantrasyonda test materyalleri ilave edilip mikroplakalar 37°C'de 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda mikroplakalar hazırlanarak Bölüm 3.2.5.2'de belirtilen spektroskopik yöntemle biyofilm eradikasyon aktivitesi (%) belirlenmiştir (Wang et al., 2020; Liu et al., 2020).

3.2.5.4 Bitkisel materyallerin ekzopolisakkarit (EPS) üretimi üzerine etkisinin belirlenmesi

Bitkisel materyallerin ekzopolisakkarit üretimi üzerine etkisinin belirlenmesi için öncelikle test edilen mikroorganizmaların EPS üretme yetenekleri belirlenmiştir. Bu amaçla test kültürleri olarak *Salmonella Typhimurium* ATCC 13311, *S. Typhimurium* ATCC 14028, *Listeria monocytogenes* Scott A ve *L. monocytogenes* LM17 kullanılmıştır.

Test edilen mikroorganizmaların EPS üretme yeteneklerinin belirlenmesi için, 37°C'de 24 saat inkübe edilen test kültürlerinden ($OD_{600}=0.4$) 50 µL inokulum 5 mL TSB besiyerine eklendikten sonra 37°C'de 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresinin sonucunda örnekler 5000 x g 30 dk (1620 A rotor, Universal 320 R., Germany) santrifüjlendikten sonra süpernatant 0.22 µm filtre ile filtrelenmiştir. Elde edilen hacmin üzerine 3 katı soğutulmuş etanol ilave edildikten sonra EPS'yi çöktürmek için örnekler 2°C'de 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra örnekler 5000 x g'de 30 dk süreyle 2°C'de santrifüj uygulandıktan sonra pellet ultra saf su içinde çözündürülmüştür. Bu örneklerin fenol-sülfirik asit yöntemine göre toplam karbonhidrat içeriğinin belirlenebilmesi için içeriğin üzerine 0.05 mL %80 fenol (Tekkim Chemical Co., Bursa, Türkiye) ve 5 mL sülfirik asit (Tekkim Chemical Co., Bursa, Türkiye) eklendikten sonra 10 dk bekletilmiştir. Soğuduktan sonra örneklerin 490 nm'de absorbans değerleri mikropilaka okuyucu (Epoch 2, Microplate Spectrophotometer) ile ölçülmüştür. Fenol-sülfirik asit yöntemine göre toplam karbonhidrat miktarının belirlenmesi için farklı konsantrasyonlarda (0-100 mg/L) glikoz içeren standart çözeltiler (2 mL) hazırlanmış ve bu çözeltilere 0.05 mL %80'lik fenol çözeltisi ve 5 mL sülfirik asit ilave edilmiştir. Örnekler 10 dk 25°C'de ve 10 dk daha soğuması için suda bekletildikten sonra vortekslenip absorbans değerleri 490 nm'de kaydedilmiştir (Zhang et al., 2018). Bulunan sonuçlar ile konsantrasyon-absorbans değeri grafiği oluşturulmuş olup, grafikten elde edilen denklem kullanılarak kültürlerin EPS üretme yetenekleri belirlenmiştir.

Bitkisel materyallerin EPS oluşumunu inhibe etme yeteneğinin belirlenmesi için seçilen ekstraktların sub-MİK değerleri ile yapılan EPS

analizlerinde biyofilm inhibisyonunun $>70\%$ olduğu test kültürleri ile çalışılmıştır. Bitkisel materyallerin liyofilize formunun steril distile su ile çözündürülmesi ile 2xMİK konsantrasyonda stok çözelti elde edilip, bu stok çözelti kullanılarak TSB besiyeri ile MİK, MİK/2 ve MİK/4 test materyali konsantrasyonları hazırlanmıştır. 37°C'de 24 saat inkübe edilen test kültürlerinden ($OD_{600}=0.4$) 50 µL inokulum 5 mL sub-MİK konsantrasyonlarda bitkisel materyal içeren TSB besiyeri içerisine eklenmiş ve 37°C'de 24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresinin sonucunda örnekler 5000 x g 30 dk santrifüjlendikten (Tekkim Chemical Co., Bursa, Türkiye) sonra süpernatant 0.22 µm şırınga ucu filtre (ISOLAB, Eschau, Germany) ile filtrelenmiştir. Ardından elde edilen hacmin üzerine 3 katı soğutulmuş etanol ilave edildikten sonra EPS'yi çöktürmek için örnekler 2°C'de 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonunda örnekler 5000 x g 2°C'de 30 dk süreyle santrifüj uygulandıktan sonra pellet ultra saf su içinde çözündürülmüştür. Bu örneklerin fenol-sülfirik asit yöntemine göre toplam karbonhidrat içeriğinin belirlenebilmesi için içeriğin üzerine 0.05 mL %80 fenol (Tekkim Chemical Co., Bursa, Türkiye) ve 5 mL sülfirik asit (Tekkim Chemical Co., Bursa, Türkiye) ilave edildikten sonra 10 dk bekletilmiştir. Soğuduktan sonra örneklerin 490 nm'de absorban değerleri mikropilaka okuyucu (Epoch 2, BioTek Instruments, Inc., Winooski, VT, USA) ile ölçülmüştür. Elde edilen eğrinin denklemi kullanılarak bitkisel materyallerin test kültürlerinin EPS üretimi üzerine etkisi belirlenmiştir. Sonuçlar mg glikoz/L olarak verilmiştir (Zhang et al., 2018).

3.2.6 Bitkisel materyallerin antiquorum sensing aktivitelerinin belirlenmesi

Elde edilen bitkisel materyal ekstrakt, hidrozol ve esansiyel yağlarının *in vitro* koşullarda anti-QS aktivitelerinin belirlenmesi için kalitatif ve kantitatif olarak viyolasin pigment inhibisyonunun belirlenmesine yönelik analizler gerçekleştirilmiştir.

3.2.6.1 Bitkisel materyallerin kalitatif olarak viyolasin pigment inhibisyonunun belirlenmesi

Kalitatif olarak viyolasin pigment inhibisyonunun belirlenmesi için belirtilen yöntem modifiye edilerek uygulanmıştır. 5 mL eritilmiş %0.3 agar bulunan yarı-katı Luria-Bertani (LB) besiyerine 200 µL *C. violaceum* ATCC 12472 ve *C. violaceum* ATCC 31532 (1×10^7 KOB/mL) inoküle edildikten sonra, içerisinde önceden hazırlanmış LBA içeren petrilere aktarılmıştır. Açılan 6 mm çaplı kuyucuklara 20, 50 ve 100 µL test materyali ilave edilmiştir. Antibiyotik

içeren (gentamisin 30 µg, Bioanalyse, Ankara, Türkiye) kuyucuklar pozitif kontrol olarak kullanılmıştır. İnkübe edilen petrilere kuyucuk etrafında oluşan renksiz pigment inhibisyon bölgesinin ortalama çapı verilmiştir (Chenia, 2013; Husain et al., 2017).

3.2.6.2 Bitkisel materyallerin kantitatif olarak viyolasin pigment inhibisyonunun belirlenmesi

Bitkisel materyallerin kantitatif olarak viyolasin pigment inhibisyonunun belirlenmesi için Bai and Vittal (2014) ile İlk et al. (2017) tarafından kullanılan yöntemler modifiye edilerek uygulanmıştır. Kuyucuk içerisine 100 µL *C. violaceum* ATCC 12472 ve *C. violaceum* ATCC 31532 kültür süspansiyonu (OD₆₀₀=0.5) ve antimikrobiyal aktivite analizlerinden elde edilen sub-MİK (MİK/4, MİK/2) konsantrasyonlarında test materyali ilave edildikten sonra mikropalakalar 30°C'de 24 saat inkübe edilmiştir. Ardından kuyucuklar içerisinden 200 µL içerik steril ependorf tüpleri içerisine aktarılmıştır. Ependorflar üzerine 200 µL sodyum dodesil sulfat (%10, SDS, AFC Bioscience LLC, Northbrook, USA) ilave edilip, örnekler 5 sn vorteks uygulandıktan sonra 5 dk bekletilmiştir. Ardından 900 µL doymuş n-bütanol (%83.3 Carlo Erba, France) ilave edilip 5 sn vorteks uygulanan örnekler 10000 x g'de 5 dk santrifüjlenmiştir. Santrifüj işlemi sonrasında üst fazda bulunan viyolasin pigmentinden 200 µL alınıp mikropalakalara aktarma yapıldıktan sonra 585 nm dalga boyunda absorbanlar ölçülmüştür. Sonuçlar Eşitlik 3'te verilen formül kullanılarak hesaplanmış ve % inhibisyon olarak verilmiştir (Bai and Vittal, 2014; İlk et al., 2017).

$$\text{Viyolasin inhibisyonu (\%)} = \frac{A_{\text{kontrol}} - A_{\text{örnek}}}{A_{\text{kontrol}}} \times 100 \quad (3)$$

A_{kontrol} : Ekstrakt uygulanmamış *C. violaceum* kültürü; $A_{\text{örnek}}$: Ekstrakt uygulanmış *C. violaceum* kültürü

3.2.7 Bitkisel materyallerin antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi

Filtre edilen bitkisel materyal (0.1 mL) örneğine 3 mL 0.01 mM DPPH çözeltisi (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA) eklendikten sonra vorteks kullanılarak örnek karıştırılmıştır. Karışım 25°C'de 30 dk boyunca karanlıkta bekletildikten sonra, 515 nm dalga boyunda spektrofotometre (Cary 60 UV-Vis, Agilent Technologies) kullanılarak köre karşı okuma yapılmıştır (Maleki et al., 2016). Sonuçlar, DPPH radikalinin yüzde

inhibisyonu olarak ifade edilmiştir. Analizler iki paralel üç tekerrür olacak şekilde yapılmıştır.

3.2.8 Bitkisel materyallerin toplam fenolik madde miktarının belirlenmesi

Bitkisel materyallerde bulunan toplam fenolik madde miktarı Folin-Ciocalteu yöntemi ile belirlenmiştir (Zhang et al., 2014). Bu kapsamda 100 µL örnek bir test tüpünde 900 µL su ile seyreltildikten sonra 0.5 mL %10 Folin-Ciocalteu reaktifi (Merck, Darmstadt, Germany) eklenip karıştırılmıştır. 3 dk sonra, 1 mL Na₂CO₃ çözeltisi (75 g/L, Merck, Germany) ilave edilen karışım 1 saat karanlıkta bekletildikten sonra spektrofotometrede (Agilent Technologies Cary 60 UV-Vis) 765 nm dalga boyunda absorbans değerleri belirlenmiştir. Sonuçlar, galik asit eşdeğeri (mg GAE/g kuruekstrakt) olarak rapor edilmiştir. Analizler iki paralel üç tekerrür olacak şekilde yapılmıştır.

3.2.9 Tarama analizleri sonucunda etkili bitkisel materyal seçimi

Tüm bitkisel materyallerin ekstrakt ve hidrosollerinin tarama analizleri sonrasında aşağıdaki kriterleri sağlama oranları belirlenmiştir.

- ✓ Antimikrobiyal özellikleri (disk difüzyon yöntemi ile tespit edilen inhibisyon zon çapı >8 mm),
- ✓ Anti-QS özellikleri (kantitatif viyolasin pigment inhibisyonunu en az %50 azaltan, kalitatif viyolasin pigment inhibisyonu zonu >9 mm olan)
- ✓ Antibiyofilm aktivitesi olan (biyofilm oluşumunda en az %70 inhibisyon sağlayan)
- ✓ Antioksidan aktivitesi yüksek olan

Bu kriterler içerisinde en çok kritere uyum sağlayan bitkisel materyaller seçilerek sitotoksosite ve kimyasal kompozisyon analizlerine devam edilmiştir.

3.2.10 Seçilen bitkisel materyallerin sitotoksik özelliklerinin belirlenmesi

Seçilen bitkisel materyallerin sitotoksik özellikleri Ege Üniversitesi Merkezi Araştırma Test ve Analiz Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi (EGE MATAL)’ndan hizmet alımı ile gerçekleştirilmiştir. Sitotoksikite analizleri için Vero hücreleri (Afrika yeşil maymun böbrek epitel hücresi) ile çalışılmıştır. Bitkisel materyallerin sitotoksik özellikleri 96 kuyucuklu mikropalakalar üzerine 1×10^5 hücre/mL konsantrasyonda ekilen hücreler üzerine üç farklı konsantrasyonda 24 saat süresince 3-(4,5-dimetiltiyazol2-yl)-2,5-difeniltetrazolyum-bromür (MTT) ve 2-(4-iodofenil)-3-(4-nitrofenil)-5-(2,4-disülfofenil)-2H-tetrazolyum (WST-1) testleri ile spektrofotometrede (570 nm) absorbansları okunarak değerlendirilmiştir (ISO 10993-5:2009). Elde edilen veriler kullanılarak IC_{50} değerleri GraphPad Software ile hesaplanmıştır.

3.2.11 Seçilen bitkisel materyallerin kimyasal kompozisyonlarının belirlenmesi

Bitkisel materyallerin kimyasal kompozisyon analizleri EGE MATAL’dan hizmet alımı şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla kromatografik ayırma, Poroshell 120 EC-C18 (3.0X150 mm, 2.7 μ m parçacık boyutu) kolonu ile bir HPLC Agilent 1260 Infinity serisi (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, ABD) cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hareketli faz sistemi, su (A) içinde %0.1 formik asit olan ve asetonitril (B) gradyan elüsyonu (0-0.5 dk, 5% B; 0.5-7 dk, 25% B; 7-16 dk, 50% B; 16-23 dk, 75% B; 23-30 dk, 95% B; 30-40 dk, 5% B) kullanılarak oluşturulmuştur. Kolon fırını 25°C sıcaklıkta, 0.5 mL/dk akış oranında örnek (10 μ L) enjekte edilmiştir. MS analizi, pozitif iyon modunda çalışan Agilent Dual Jet Stream elektrosprey iyonizasyon (Dual AJS ESI) arayüzüne sahip Agilent 6550 iFunnel yüksek çözünürlüklü Doğru Kütle Q-TOF/MS cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Kurutma gaz akışı, 14.0 L/dk; nebulizatör basıncı, 35 psi; gaz kurutma sıcaklığı, 290°C; sheath gaz sıcaklığı, 400°C; sheath gaz akışı, azot 12 L/dk, tarama aralığı m/z 50 ile 1800 seçilmiştir. Analizler hem pozitif hem de negatif iyonlaşma modunda gerçekleştirilmiştir. Agilent METLIN Metabolomiks ve Pestisit veri tabanı, kütüphane ve tam kütle kişisel bileşik veri tabanı ve kütüphanesi (METLIN_AM_PCDL) referans olarak kullanılmıştır (Gumus et al., 2023).

3.2.12 Seçilen bitkisel materyalin ultrasonik destekli ekstraksiyon koşullarının optimizasyonu ve validasyonu

Yapılan tüm tarama analizleri sonucunda antimikrobiyal, antibiyofilm, anti-QS, toplam fenolik madde ile sitotoksik aktivite analiz sonuçları dikkate alınarak çalışmanın devamında kullanılmak üzere en uygun bitkisel materyalin dağ çileği yaprağı metanol ekstraktı olduğu belirlenmiştir. Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının etken madde içeriğini arttırmak için ultrasonik destekli metanol-su ekstraksiyon koşullarının optimizasyonu hedeflenmiştir. Bu amaçla çalışmada kullanılacak deneme deseni, Design Expert 7.0 programı kullanılarak Box-Behnken dizaynı ile oluşturulmuştur. Ekstraksiyon koşullarının etkinliğinin belirlenebilmesi amacı ile bağımsız değişkenler olarak süre (15-60 dk), sıcaklık (30-60°C) ve metanol:su (%25-100) oranı seçilmiştir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1 Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının ultrasonik destekli ekstraksiyonu için kullanılan Box-Behnken deneme planı

Run	Uygulama süresi (dk)	Sıcaklık (°C)	Metanol:Su oranı (%)
1	15.00	30.00	62.50
2	60.00	30.00	62.50
3	15.00	60.00	62.50
4	60.00	60.00	62.50
5	15.00	45.00	25.00
6	60.00	45.00	25.00
7	15.00	45.00	100.00
8	60.00	45.00	100.00
9	37.50	30.00	25.00
10	37.50	60.00	25.00
11	37.50	30.00	100.00
12	37.50	60.00	100.00
13	37.50	45.00	62.50
14	37.50	45.00	62.50
15	37.50	45.00	62.50
16	37.50	45.00	62.50
17	37.50	45.00	62.50

Bağımlı değişkenler olarak toplam fenolik madde miktarı ve antimikrobiyal (MİK değeri) aktivite sonuçları seçilmiş olup, fenolik madde içeriğinin maksimum, MİK değerinin minimum olduğu optimum koşulun belirlenmesi hedeflenmiştir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2 Uygulama modeline ait bağımlı ve bağımsız değişkenler ile optimizasyon hedefleri

Bağımsız Değişkenler	Faktör seviyeleri		
	-1	0	+1

Uygulama süresi, (dk)	15	37.5	60
Sıcaklık (°C)	30	45	60
Metanol:su oranı (%)	25	62.5	100
Bağımlı Değişkenler	Optimizasyon Hedefleri		
Test kültürleri için MİK değeri (mg/mL)	Minimum		
Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/g)	Maksimum		

MİK değerinin belirlenmesi için gerçekleştirilecek analizlerde, dağ çileği yaprağı metanol ekstraktına karşı en dirençli mikroorganizmalar olduğu belirlendiği için *S. Typhimurium* ATCC 13311 ve *L. monocytogenes* Scott A test kültürleri kullanılmıştır. Ayrıca örneklerde ekstraksiyon verimi ve %DPPH inhibisyonu analizleri de gerçekleştirilmiştir. Deneme desenine uygun olacak şekilde yapılan ekstraksiyon uygulamaları sonrasında örneklerden çözgen Rotary evaporator kullanılarak uzaklaştırılmıştır. Ardından ekstraktın toplandığı balondan su ilave edilerek alınan örnekler liyofilize edilerek saklanmıştır. Bu analizler sonucunda en etkili ekstraksiyon koşulları seçilmiş olup, bu koşulların doğruluğunu kanıtlamak amacıyla belirlenen noktada 3 tekrar 2 paralel olarak validasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Program tarafından belirlenen optimum çalışma koşullarının valide edilmesine dair analizlerden elde edilen verilerin Design Expert 7.0 paket programı tarafından tahmin edilen sonuçlar ile uyumluluğu ve yanıtların modelin tahminlediği değerden farklı olup olmadığı tek örnek t testi ile değerlendirilmiştir.

3.2.13 Model gıda örneklerinin hazırlanması

Çalışmada kullanılacak model gıda örnekleri domates ve çilek olarak seçilmiştir. İnokulasyon yapılacak gıda örneklerinde yüzey dezenfeksiyonu gerçekleştirilirken, doğal mikrofloradaki mikroorganizmaların belirlenmesine yönelik analizlerde yüzey dezenfeksiyonu gerçekleştirilmemiştir.

3.2.13.1 Domates örneklerinin yüzey dekontaminasyonu

Domates örnekleri analiz öncesinde 100 ppm sodyum hipoklorit çözeltisi (%6-14 aktif klor, Tekkim Kimya Sanayi Tic. Ltd. Şti., Türkiye) içerisinde 1 dk boyunca karıştırılmıştır (Cengiz ve Certel, 2014). Ardından çeşme suyu ile 5 kez yıkanıp fazla suyu alındıktan sonra her iki yüzeyine de %75'lik etil alkol püskürtülerek her yüzey için 1'er dk olacak şekilde 2 dk boyunca bekletilmiştir. İnokulasyon için örnekler, her bir kavanozda 3'er adet model gıda olacak şekilde steril bir pens yardımıyla steril kavanozlara (300 cc) yerleştirilmiştir.

3.2.13.2 Çilek örneklerinin yüzey dekontaminasyonu

Çilek örnekleri ilk olarak çeşme suyunda kaba kirlerinden arındırıldıktan sonra steril beher içerisinde steril saf suyla hazırlanan 200 ppm sodyum hipoklorit (%6-14 aktif klor, Tekkim Kimya Sanayi Tic. Ltd. Şti., Türkiye) çözeltisiyle 1 dk yıkanmıştır (Leng et al., 2020). Daha sonra klor kalıntısını gidermek amacıyla örnekler 5 adet steril beher içerisinde bulunan steril saf su ile 5 kez durulanmıştır (Min et al., 2018). Yıkama işlemlerinden sonra örneklerin yüzeylerindeki fazla suyun giderilmesi için ürünler steril kurutma kağıdı üzerine alınıp biyogüvenlik kabininde 30 dk bekletilmiştir. İnokülasyon için örnekler, her bir kavanozda 3'er adet model gıda olacak şekilde steril bir pens yardımıyla steril kavanozlara (300 cc) yerleştirilmiştir.

3.2.14 Test kültürlerinin model gıdalara inokülasyonu

S. Typhimurium ve *L. monocytogenes* test kültürlerinin 3 McFarland değerine ayarlanmış kültür süspansiyonlarından model gıdalara spot inokülasyon yöntemi ile inokülasyon yapılmıştır. Domates örneklerinde, *S. Typhimurium* kültür süspansiyonundan mikropipet yardımıyla 200 µL inokulum alınarak yüzeyine 50-60 damla inokulum aktarılıp, 2 saat biyogüvenlik kabininde bekletilmiştir. Ardından domates örnekleri steril pens yardımıyla döndürüldükten sonra alt yüzeylerine de 200 µL inokulum aktarılıp, 2 saat biyogüvenlik kabininde bekletilmiştir. *L. monocytogenes* inokülasyonu için kültür süspansiyonundan 200 µL inokulum alınarak domates örneklerinin yüzeyine 50-60 damla inokulum aktarılıp, 2 saat biyogüvenlik kabininde bekletilmiştir. Ardından domates örnekleri steril pens yardımıyla döndürüldükten sonra diğer yüzeyine 100 µL inokulum aktarılıp, 2 saat biyogüvenlik kabininde bekletilmiştir.

Çilek örneklerinde, *S. Typhimurium* kültür süspansiyonundan mikropipet yardımıyla 40 µL inokulum alınarak örneklerin yüzeyine 8-10 damla inokulum aktarılıp, 1 saat biyogüvenlik kabininde bekletilmiştir. Ardından çilek örnekleri steril pens yardımıyla döndürüldükten sonra alt yüzeylerine de 40 µL inokulum aktarılıp, 1 saat biyogüvenlik kabininde bekletilmiştir. *L. monocytogenes* kültürünün de kültür süspansiyonundan 30 µL inokulum alınarak örneklerin yüzeyine 6-8 damla inokulum aktarılıp, 1 saat biyogüvenlik kabininde bekletilmiştir. Ardından çilek örnekleri steril pens yardımıyla döndürüldükten sonra alt yüzeylerine de 30 µL inokulum aktarılıp, 1 saat biyogüvenlik kabininde bekletilmiştir.

İnokülasyon sonrasında model gıda yüzeylerinde bulunan *S. Typhimurium* veya *L. monocytogenes* sayılarını belirlemek amacıyla örnekler stomacher poşetlerine alınmış ve 100 mL peptonlu su (%0.1) ilave edildikten sonra 2 dk süreyle el ile ovalama yapılarak ürün yüzeyindeki mikroorganizmaların dilüsyon sıvısına geçmesi sağlanmıştır. Ardından uygun dilüsyonlardan TSA-N besiyerine yayma plak yöntemi ile ekimler yapılmıştır. Petriler 37°C’de 24-48 saat inkübe edildikten sonra petrilerde gelişen koloniler sayılarak sonuçlar log KOB/model gıda olarak hesaplanmıştır (Butot et al., 2018; Gao et al., 2020; Ortiz-Sola et al., 2021).

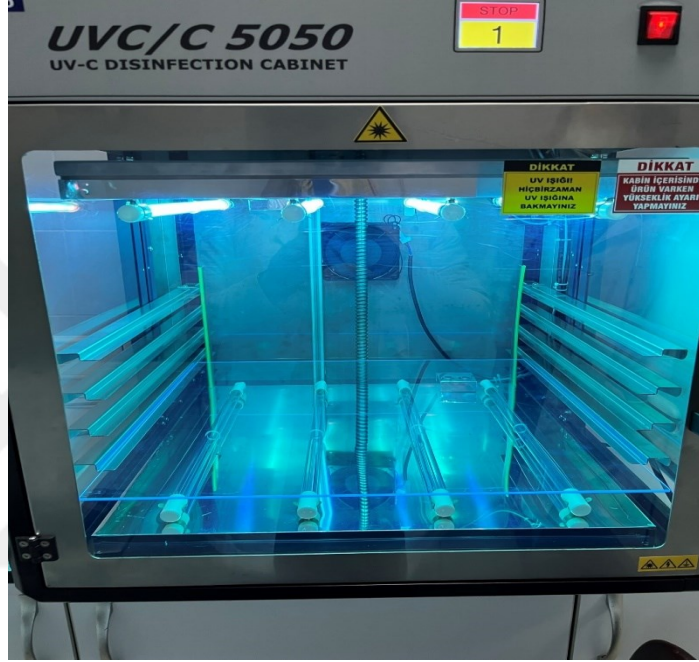
3.2.15 Yenilebilir film solüsyonunun hazırlanması ve yenilebilir kaplama ile kaplanan çileklerde antimikrobiyal etkinin belirlenmesi

Yapılan ön denemeler sonucunda belirlenen yöntem ile yenilebilir kaplama solüsyonunun hazırlanması için %2 konsantrasyonda pektin (Tito, Türkiye) damıtılmış su içerisinde ısıtıcılı manyetik karıştırıcı kullanılarak (DLAB, MS-H280-Pro) 70°C’de 30 dk boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra içerisine plastikleştirici ajan olarak %2 oranında gliserol (Carlo Erba, France) eklenmiş ve örnekler oda sıcaklığına soğutulmuştur. Ekstrakt ilavesi yapılacak örnekler için farklı bitkisel materyal konsantrasyonları içeren yenilebilir kaplama çözeltileri hazırlanmıştır. Bitkisel materyal ilavesi yapıldıktan sonra, manyetik karıştırıcı kullanılarak karıştırılan çözelti Ultra Turrax (Weiteg, HG-15A, Germany) ile 1 dk homojenize edilmiştir (Alvarez et al., 2014; Chaparro-Hernández et al., 2019). Ardından örnekler üzerine kaplama solüsyonu püskürtülmüştür. Kaplama malzemesinin fazlasının uzaklaştırılması için örnekler steril filtre kağıdı üzerinde biyogüvenlik kabininde 25°C’de 1 saat kurumaya bırakılmıştır (Oms-Oliu et al., 2008; Alvarez et al., 2014; Asfaw et al., 2023).

Antimikrobiyal madde içermeyen kaplama solüsyonu ile kaplanmış ve kaplanmamış inokülasyon yapılmış model gıdalar kontrol olarak kullanılmıştır. Bu işlemlerin ardından polietilen tereftalat (PET) ambalajlarda çilek örnekleri 4°C 24 saat depolanmıştır. Depolama sonucunda inokülasyon yapılan örneklerde *S. Typhimurium* veya *L. monocytogenes* sayılarını belirlemek amacıyla ekimi yapılan petriler 37°C’de 24-48 saat inkübe edildikten sonra sonuçlar log KOB/çilek olarak hesaplanmıştır (Butot et al., 2018; Gao et al., 2020; Ortiz-Sola et al., 2021).

3.2.16 UV-C ışık uygulamaları

Çalışma kapsamında tasarımı yapılan çift taraflı UV-C ışık cihazı kullanılmıştır. Bu amaçla tasarlanmış olan UV-C cihazının ölçüleri 62x66x72 cm olarak belirlenmiştir. Tasarlanan UV-C cihazının üst kısımda hareketli bir platform üzerine yerleştirilmiş 45 cm uzunluğunda 4 adet ve alt kısmında sabit 4 adet olmak üzere toplam 8 adet UV-C lamba (Quartzmart, GH0436T5L) bulunmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 UV-C ışık uygulamaları için kullanılan cihaz

Ürünlerin temasta bulunduğu quartz cam levhanın ölçüleri ise 50x50x0.3 mm'dir. Alt UV-C lamba düzeneği sabit, üst UV-C lamba düzeneği elektronik olarak ayarlanabilir olarak tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan cihazın üretimi, RND Araştırma Geliştirme Tasarım Makine Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. (İzmir) tarafından gerçekleştirilmiştir.

3.2.16.1 UV-C ışık cihazında ışık şiddetinin belirlenmesi

UV-C ışığın şiddetinin belirlenmesi için UVX digital radyometre kullanılmıştır (UVP Inc. Upland, CA, USA). Quartz levhanın kenar kısımlarından 10 cm boşluklar bırakılarak levha üzerinde çalışma alanı belirlenmiştir. *In vitro* UV-C uygulamaları sadece üst UV-C lamba düzeneği açıkken, UV-C ışık cihazında üst lambalar ile petriler arası mesafe 16.5 cm olacak şekilde ayarlandıktan sonra farklı sürelerde UV-C ışık işlemi uygulanmıştır. Model gıda

denemelerinde aynı anda çift taraflı UV-C ışık uygulanacağı için örneklerin yerleştirildiği quartz levha ile üst ve alt lambalar arasında farklı mesafelerde (18, 19, 20 cm) digital radyometre ile ölçümler alınarak ortalama ışık şiddetinin eşit kaydedildiği mesafeler belirlenmiştir.

3.2.16.2 UV-C ışık uygulamalarının *in vitro* koşullarda test kültürleri üzerinde antimikrobiyal aktivitelerinin belirlenmesi

In vitro koşullarda katı ve sıvı ortamda inoküle edilmiş test kültürleri üzerinde UV-C ışık uygulamasının antimikrobiyal etkisinin belirlenmesi için kullanılan yöntemler aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

Katı ortamda UV-C ışık uygulamasının test kültürleri üzerinde antimikrobiyal etkisinin belirlenmesi

Çalışmanın bu kısmında *in vitro* koşullarda katı besiyerine inoküle edilmiş *L. monocytogenes*, *S. Typhimurium* ve *C. violaceum* suşları üzerinde UV-C ışık uygulamalarının etkisi belirlenmiştir. Bu amaçla yapılan analizlerde *L. monocytogenes*, *S. Typhimurium* test kültürleri kullanılmıştır. *In vitro* koşullarda UV-C ışığın *L. monocytogenes* ve *S. Typhimurium* üzerindeki etkisinin belirlenmesi için hazırlanan ilgili test kültürlerinden 100 µL inokulum TSA besiyerine inoküle edilmiştir. İnokülasyon yapılmış petriler biyogüvenlik kabininde 15 dk bekletildikten sonra, kültürler 0.12-1.16 kJ/m² UV-C ışık dozunda *in vitro* UV-C ışık uygulaması yapılmıştır. Uygulama sonrasında bakteri kültürleri için 37°C’de 24 saat karanlıkta inkübe edilen petrilerde gelişen koloniler sayılmıştır (Chun et al., 2009; Gündüz and Korkmaz, 2019). Kontrol örneği olarak UV-C ışık uygulanmamış petrilerin kullanımı uygun olmasına rağmen, petrilerdeki sayı >300 KOB olacağı için UV-C ışık uygulanmamış petrilerdeki sayıyı belirlemek mümkün değildir. Bu nedenle, kültür süspansiyonundan uygun dilüsyonlar hazırlanarak uygun besiyerlerine ekim yapılmış ve inkübasyon süresinin sonunda UV-C işlemi uygulanmış petrilere başlangıçta inoküle edilen mikroorganizma sayısı hesaplanmıştır. UV-C işlemi öncesi ve sonrasında elde edilen mikroorganizma sayılarının farkı alınarak UV-C ışık uygulamasının test kültürleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Sıvı ortamda UV-C ışık uygulamasının test kültürleri üzerinde antimikrobiyal etkisinin belirlenmesi

UV-C ışık uygulamasının sıvı ortama inokule edilmiş *S. Typhimurium* ATCC 13311 ve *S. Typhimurium* ATCC 14028 kokteyli ile *L. monocytogenes* LM17 ve *L. monocytogenes* Scott A kokteyli test kültürleri üzerindeki antimikrobiyal etkisinin belirlenmesi amacıyla; test kültürlerinden ($OD_{600}=0.5$) steril petri kabına 200 μ L inokulum ve 15 Ml %1 fosfat tamponlu tuz çözeltisi (PBS) aktarıldıktan sonra (0.4 cm), farklı dozlarda UV-C ışığa (1, 2, 3, 5 ve 10 sn) maruz bırakılmıştır (Said et al., 2013; Abboud and Arment, 2013). Uygulama sonrasında canlı kalan hücrelerin belirlenmesi için fotoreaktivasyondan korumak amacıyla karanlıkta tutulan petrilerden farklı dilüsyonlardan plak sayım yöntemleri ile sayım alınıp, UV-C işlemi öncesi ve sonrasında elde edilen mikroorganizma sayılarının farkı alınarak UV-C ışık uygulamasının sıvı ortamdaki test kültürleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

3.2.16.3 UV-C ışık uygulamalarının *in vitro* koşullarda test kültürleri üzerinde antibiyofilm aktivitelerinin belirlenmesi

UV-C ışığın biyofilm oluşumuna etkisinin belirlenmesi için katı besiyerine inokule edilmiş test kültürlerine (*L. monocytogenes* ve *S. Typhimurium*) *in vitro* UV-C uygulaması sonrasında inkübe edilen petrilerde gelişen kolonilerden öze ile inokulum alınarak 0.5 McFarland değerinde kültür süspansiyonu hazırlanmıştır. Hazırlanan UV-C uygulanmış olan kültür süspansiyonundan 200 μ L inokulum mikropalakalara aktarıldıktan sonra mikropalakalar 37°C'de 18-24 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrasında kristal viyole yöntemi ile biyofilm oluşumu tespit edilmiştir (Zhang et al., 2014). UV-C işlemi uygulanmayan petrilerden alınan koloniler ile oluşturulan biyofilm kontrol grubu olarak kullanılmıştır. Kolonilerden alınan inokulumun 0.5 McFarland değerinde kültür süspansiyonu hazırlamaya yetmemesinden dolayı yöntem değişikliği yapılmıştır.

Bu amaçla sıvı ortamda UV-C ışık uygulamasının test kültürleri üzerinde antimikrobiyal etkisinin belirlenmesi için gerçekleştirilen analizlerde (Bölüm 3.2.16.4) kullanılan petrilerdeki sıvı ortamdan UV-C işlemi öncesi ve sonrasında 100 μ L inokulum –TSB/TSBYE içeren mikropalakalara alınmıştır. Mikropalakalar 37°C'de 24 saat inkübe edildikten sonra, inkübasyon sonrasında tutunmayan hücrelerin uzaklaştırılması için kuyucuk içerikleri uzaklaştırıldıktan sonra kuyucuklar 3 kez steril distile su ile yıkanmış ve mikropalakalar kuruması için 60°C'de 45 dk etüve kaldırılmıştır. Bekletme süresinin sonunda kuyucuklara 200 μ L %0.4 (w/v) kristal viyole ilave edilip mikropalakalar oda sıcaklığında 15 dk bekletilmiştir. Daha sonra içeriği uzaklaştırılan kuyucuklar 3 kez steril distile su

ile yıkanmış ve ardından 200 µL %96 (v/v) etanol ilave edilerek 30 dk bekletilmiştir. Kristal viyole konsantrasyonu mikropłaka okuyucu (Epoch 2, Microplate Spectrophotometer) kullanılarak 570 nm'de her kuyucuğun optik yoğunluğu (OD) ölçülerek belirlenmiştir. UV-C ışık uygulanmamış olan petrilere alınan inokulum ilave edilmiş olan kuyucuklar kontrol ($OD_{kontrol}$) olarak kullanılmıştır. Optik yoğunluk değerleri kontrol örneklerinin değeri ile karşılaştırılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar her bir test kültürü için ayrı olacak şekilde hesaplanmıştır.

3.2.16.4 UV-C ışık uygulamalarının *in vitro* koşullarda test kültürleri üzerinde anti-QS aktivitelerinin belirlenmesi

Katı ortamda farklı UV-C ışık uygulamalarının anti-QS aktivitesinin belirlenmesi için *C. violaceum* ATCC 12472 ve *C. violaceum* ATCC 31532 test kültürlerinden ($OD_{600}=1$) 200 µL inokulum LBA besiyerine inokule edilmiştir. İnokülasyon işlemi yapılmış petrilere biyogüvenlik kabininde 15 dk tutulduktan sonra, kültürler *in vitro* UV-C ışık uygulaması yapılmıştır. Uygulama sonrasında bakteri kültürleri için 30°C'de 24 saat karanlıkta inkübe edilen petrilere gelişen koloniler sayılmıştır. UV-C işlemi öncesi ve sonrasında elde edilen koloni sayılarının farkı alınarak UV-C ışık uygulamasının test kültürleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Benzer şekilde sıvı ortamda UV-C ışık uygulamasının antimikrobiyal etkisinin belirlenmesi amacıyla; test kültürlerinden ($OD_{600}=1$) steril petri kabına 200 µL inokulum ve 15 mL PBS (%1) aktarıldıktan sonra (0.4 cm), farklı dozlarda UV-C ışığa (1, 5, 10 ve 20 sn) maruz bırakılmıştır (Said et al., 2013; Abboud and Arment, 2013).

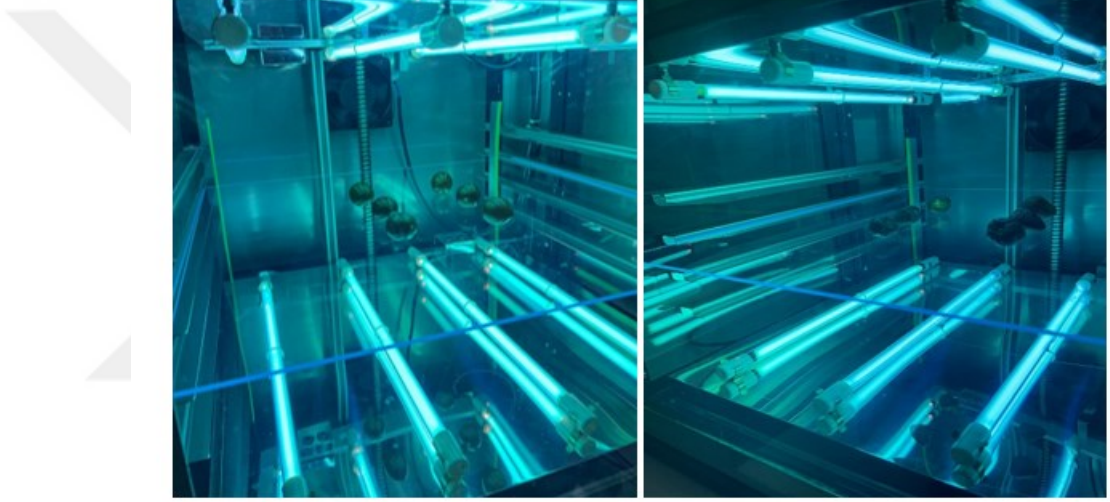
Katı ve sıvı ortamda UV-C işlemi uygulanan örneklerden öze ile birbirine paralel üç çizgi şeklinde *C. violaceum* ATCC 12472 ve *C. violaceum* ATCC 31532 test kültürlerinin inokulasyonu yapılmıştır. Ardından petrilere 30°C'de 24 saat inkübe edilmiştir. İnküasyon süresinin sonunda test kültürlerinde viyolasin pigmenti yoğunluğundaki değişim, UV-C işlemi uygulanmamış örneklerle karşılaştırılmıştır.

Ayrıca UV-C ışığın pigment inhibisyonu üzerine etkisinin belirlenmesi için pigment üreticisi *C. violaceum* ATCC 12472 ve *C. violaceum* ATCC 31532 suşlarına sıvı ortamda UV-C ışık uygulamasının ardından uygulama yapılan ve

yapılmayan petrilere 100 µL içerik 100 µL TSB-YE besiyeri bulunan mikropalakalara alındıktan sonra inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonucunda mikropalakalarda viyolasin inhibisyonu analizi Bölüm 3.2.6.2’de belirtildiği şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.2.16.5 Model gıdalarda UV-C ışık uygulaması

UV-C lambalar ile örneklerin yerleştirildiği quartz levha arasındaki mesafe üst ve alt lambalar arası sırasıyla 16.5 ve 15 cm olarak ayarlandıktan sonra cihaz içerisine yerleştirilen model gıda örneklerine (6 adet) farklı sürelerde UV-C ışık işlemi uygulanmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Model gıda örneklerine UV-C ışık uygulaması

Model gıda yüzeylerine inoküle edilmiş mikroorganizmalar üzerine UV-C ışığın etkisinin belirlenmesi

S. Typhimurium ve *L. monocytogenes* test kültürlerinin model gıdalara inokulasyonu yapıldıktan sonra 0.12-13.94 kJ/m² doz aralığında UV-C ışık uygulaması yapılmıştır. Ardından *S. Typhimurium* veya *L. monocytogenes* sayılarını belirlemek amacıyla örnekler stomacher poşetine alınmış ve üzerine 100 mL peptonlu su (%0.1) ilave edildikten sonra 2 dk süreyle el ile ovalama yapılarak ürün yüzeyinde bulunan mikroorganizmaların dilüsyon sıvısına geçmesi sağlanmıştır. Ardından uygun dilüsyonlardan TSA-N besiyerine yayma plak yöntemi ile ekimler yapılmıştır. Petriler 37°C’de 24-48 saat inkübe edildikten sonra petrilere gelişen koloniler sayılarak sonuçlar log KOB/model gıda olarak hesaplanmıştır (Butot et al., 2018; Gao et al., 2020; Ortiz-Sola et al., 2021).

Model gıda yüzeylerinde biyofilm oluşturmuş olan mikroorganizmalar üzerine UV-C ışığın etkisinin belirlenmesi

S. Typhimurium ve *L. monocytogenes* test kültürlerinin model gıdalara inokulasyonu yapıldıktan sonra biyofilm oluşumunun belirlenmesi için ön denemelere tabi tutulmuştur. Yapılan denemeler sonrasında domates örnekleri için 20°C’de 4 gün, çilek örnekleri için ise 20°C’de 1 gün depolandıktan sonra UV-C ışık uygulamalarının biyofilm oluşumu üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Bu amaçla depolama süresinin sonunda model gıdaların yüzeyinde biyofilm oluşturmayan hücrelerin uzaklaştırılması için örnekler 50 mL steril distile suya 2 kez daldırılarak yıkanmıştır. Üzerindeki fazla suyun uzaklaşması için örnekler steril filtre kağıdı üzerine alındıktan sonra biyogüvenlik kabininde 1 saat bekletilmiştir. Ardından *S. Typhimurium* veya *L. monocytogenes* sayılarını belirlemek amacıyla örnekler stomacher poşetine alınmış ve üzerine 100 mL peptonlu su (%0.1) ilave edildikten sonra 2 dk süreyle el ile ovalama yapılarak ürün yüzeyinde biyofilm oluşturan mikroorganizmaların dilüsyon sıvısına geçmesi sağlanmıştır. Ardından uygun dilüsyonlardan TSA-N besiyerine yayma plak yöntemi ile ekimler yapılmıştır. Petriler 37°C’de 24-48 saat inkübe edildikten sonra petrilerde gelişen koloniler sayılarak sonuçlar log KOB/model gıda olarak hesaplanmıştır (Butot et al., 2018; Gao et al., 2020; Ortiz-Sola et al., 2021).

UV-C ışık uygulaması sonrasında reaktivasyon mekanizmalarının etkisinin belirlenmesi

Domates örneklerinde *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* test kültürleri için sırasıyla 1.16 ve 6.97 kJ/m² UV-C işlemine tabi tutulan model gıda örneklerinde fotoreaktivasyon ve karanlık reaktivasyonun etkisi belirlenmiştir. Çilek örneklerinde ise *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* test kültürleri için sırasıyla 6.97 ve 10.46 kJ/m² UV-C işlemi uygulanan örneklerde fotoreaktivasyon ve karanlık reaktivasyonun etkisi tespit edilmiştir. Bu amaçla UV-C işlemi uygulanmış model gıda örnekleri üç farklı gruba ayrılmıştır. Bu gruplardan birincisinde, örneklerin herhangi bir depolama aşaması uygulanmadan mikrobiyolojik analizleri gerçekleştirilmiştir. İkinci grupta yer alan örneklerin görünür ışık altında karanlıkta 4°C’de 1 saat ve 24 saat bekletildikten sonra, üçüncü grupta yer alan örneklerin UV-C işlemi (1.16-6.97 kJ/m²) sonrasında karanlıkta 4°C’de 1 saat ve 24 saat bekletildikten sonra mikrobiyolojik analizleri gerçekleştirilmiştir (Salcedo et al., 2007; Reichel et al., 2020).

3.2.17 UV-C ışık uygulanan model gıdalarda depolama süresince mikrobiyolojik ve duyuşal özellikler ile fizikokimyasal özelliklerde değişimin belirlenmesi

S. Typhimurium inokulasyonu yapılmış domates örneklerine UV-C uygulaması sonunda çalışılan sürelerde (1, 5, 10, 15, 20 ve 30 sn) ve *L. monocytogenes* inokulasyonu yapılmış örneklerde UV-C uygulaması sonunda çalışılan sürelerde (1, 10, 30, 60, 90 ve 120 sn) patojen mikroorganizma sayılarındaki azalmalar tespit edilmiştir. Bu analizler sonucunda *S. Typhimurium* inokulasyonu yapılmış ve domates örneklerinde biyofilm oluşturmuş olan *S. Typhimurium* üzerine UV-C ışık uygulaması sonunda elde edilen azalmalar >3 log KOB/domates olması nedeniyle depolama analizleri için 1.16 kJ/m^2 (10 sn) UV-C ışık uygulaması gerçekleştirilmiştir. *L. monocytogenes* inokulasyonu yapılmış ve domates örneklerinde biyofilm oluşturmuş olan *L. monocytogenes* üzerine UV-C ışık uygulaması sonunda elde edilen etkili azalmalar dikkate alınarak depolama analizleri için 6.97 kJ/m^2 (60 sn) UV-C ışık uygulaması gerçekleştirilmiştir. İnokülasyon yapılan domates örnekleri seçilen dozlarda UV-C ışığa maruz bırakıldıktan sonra steril PET ambalajlarda 10°C 'de 13 gün depolama süresince (0., 1., 4., 7., 10. ve 13. günlerde) örneklerde *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* sayısı belirlenmiştir. İnokülasyon yapılmamış örnekler için ise 6.97 kJ/m^2 (60 sn) UV-C ışık uygulaması yapıldıktan sonra 10°C 'de 13 gün depolama süresince (0., 1., 4., 7., 10. ve 13. günlerde) Bölüm 3.2.18.1 ve Bölüm 3.2.18.2'de belirtildiği şekilde mikrobiyolojik, fizikokimyasal ve duyuşal analizler gerçekleştirilmiştir.

Çilek örneklerinde *S. Typhimurium* inokulasyonu yapıldıktan sonra UV-C uygulaması sonunda çalışılan sürelerde (15, 30, 60, 90, 120, 150 sn) ve *L. monocytogenes* inokulasyonu yapılmış örneklerde UV-C uygulaması sonunda çalışılan sürelerde (30, 60, 90, 120, 180, 240 sn) patojen mikroorganizma sayılarındaki azalmalar tespit edilmiştir. Bu analizler sonucunda *S. Typhimurium* inokulasyonu yapılmış çilek örnekleri üzerinde UV-C ışık uygulaması sonunda elde edilen etkili azalmalar dikkate alınarak depolama analizleri için 6.97 kJ/m^2 (60 sn) UV-C ışık uygulaması gerçekleştirilmiştir. *L. monocytogenes* inokulasyonu yapılmış ve çilek örneklerinde biyofilm oluşturmuş olan *L. monocytogenes* üzerine UV-C ışık uygulaması sonunda elde edilen etkili azalmalar dikkate alınarak depolama analizleri için 10.46 kJ/m^2 (90 sn) UV-C ışık uygulaması gerçekleştirilmiştir. İnokülasyon yapılan çilek örnekleri seçilen dozlarda UV-C ışığa maruz bırakıldıktan sonra steril PET ambalajlarda 4°C 'de 13

gün depolama süresince (0., 1., 4., 7., 10. ve 13. günlerde) örneklerde *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* sayısı belirlenmiştir. İnokülasyon yapılmamış örnekler için ise 10.46 kJ/m² (90 sn) UV-C ışık uygulaması yapıldıktan sonra 4°C 13 gün depolama süresince (0., 1., 4., 7., 10. ve 13. günlerde) Bölüm 3.2.18.1 ve Bölüm 3.2.18.2’de belirtildiği gibi mikrobiyolojik, fizikokimyasal ve duyuşsal analizler gerçekleştirilmiştir.

3.2.18 UV-C ışık işlemi uygulandıktan sonra seçilen bitkisel ekstrakt ile hazırlanan yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çileklerde depolama süresince mikrobiyolojik, fizikokimyasal ve duyuşsal özelliklerin belirlenmesi

Yapılan analizler sonucunda etkili olduğu belirlenen bitkisel materyal ekstraktı ve UV-C işlemlerinin kombine olarak kullanım koşullarının optimizasyonu için Merkezi Bütünleşik Dizayn Tasarımı (Central Composite Design, CCD) kullanılarak deneme deseni oluşturulmuştur. Deneme deseniindeki bağımlı ve bağımsız değişkenler ile optimizasyon hedefleri Tablo 3.3’te özetlenmiştir.

Tablo 3.3 Kombine uygulamaların optimizasyonu için kullanılan bağımlı ve bağımsız değişkenler

Bağımsız Değişkenler	Seviyeleri	
	En Düşük	En Yüksek
Bitkisel materyal konsantrasyonu	MİK	3xMİK
UV-C ışık uygulama süresi	10 sn	90 sn
Bağımlı Değişkenler	Optimizasyon Hedefleri	
<i>L. monocytogenes</i> sayısında azalma (log)	Maksimum	
<i>S. Typhimurium</i> sayısında azalma (log)	Maksimum	
Renk değerlerinde değişim	Minumum	
Duyuşsal özelliklerde değişim	Minumum	

Deneme deseninin verdiği sürelerde UV-C ışık uygulanan (10-90 sn) örnekler, uygulamanın hemen sonrasında programın verdiği konsantrasyonlarda bitkisel materyal (MİK-3xMİK) ile hazırlanan yenilebilir kaplama solüsyonu ile kaplandıktan sonra PET ambalajlarda çilek örnekleri 4°C’de 24 saat depolanmıştır. Depolama sonucunda *S. Typhimurium* veya *L. monocytogenes* sayılarını belirlemek amacıyla ekimi yapılan petriler 37°C’de 24-48 saat inkübe edildikten sonra sonuçlar log KOB/model gıda olarak hesaplanmıştır (Butot et al., 2018; Gao et al., 2020; Ortiz-Sola et al., 2021).

Örneklerin renk ölçüm cihazı kullanılarak (Konica Minolta CR-400, Japan) renk değerleri belirlenmiştir. Elde edilen L^* (aydınlık-karanlık), a^* (kırmızı-yeşil), b^* (sarı-mavi) sonuçları yardımıyla toplam renk değişimi (ΔE) hesaplanmıştır (Eşitlik 4). Uygulama öncesi L_0 ile ifade edilirken, L_1 uygulama sonrasını ifade etmektedir.

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_0)^2 + (a_1 - a_0)^2 + (b_1 - b_0)^2} \quad (4)$$

Toplam renk farkını temsil eden ΔE değerinin 3'ten yüksek bir değer olması renk farklılığının tüketici tarafından fark edilebilir olduğunu göstermektedir (Li et al., 2022). Analizler sonucunda program tarafından verilen ANOVA tablosu sonuçları incelendikten sonra ΔE değerinin anlamlı olduğu model belirlenmiştir.

Örneklerin koku, renk ve görünüş özelliklerinin değerlendirilmesi için 7 puanlı hedonik skala kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir (Kim et al., 2010). Bu analizler sonucunda program tarafından verilen ANOVA tablosu sonuçları incelendikten sonra anlamlı farklılık sağlamayan kriterler çıkarılmış, yalnızca anlamlı bir modele sahip olan kriterdeki değişimler değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek Design Expert 7.0 programı ile gerçekleştirilen optimizasyon işlemi sonrasında istenilen yanıtlar doğrultusunda en uygun koşul belirlenmiştir. Belirlenmiş optimum noktada beklenen yanıtların doğruluğunun test edilebilmesi için optimize edilmiş koşullarda örnekler için 3 tekrarlı ve 2 paralelli olacak şekilde validasyon testleri yapılmıştır.

Validasyon sonrasında belirlenen sürelerde UV-C ışığa maruz bırakılan örnekler bitkisel materyal içeren yenilebilir kaplama solüsyonu ile kaplanmıştır. Uygulama sonrasında kaplama malzemesinin fazlası uzaklaşması için örnekler steril filtre kağıdı üzerinde biyogüvenlik kabininde 25°C'de 1 saat kurumaya bırakılmıştır. Bu işlemlerin ardından örnekler steril PET ambalajlarda 4°C sıcaklıkta 13 gün depolanmıştır. Depolama süresince (0., 1., 4., 7., 10. ve 13. günlerde) inokülasyon yapılan örneklerde *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* sayısı belirlenirken, inokülasyon yapılmayan örneklerde uygulamaların örneklerin mikrobiyolojik, fizikokimyasal ve duyuşal özellikleri üzerindeki etkisi Bölüm 3.2.18.1 ve Bölüm 3.2.18.2'de belirtilen analizler ile belirlenmiştir.

3.2.18.1. Mikrobiyolojik analizler

***S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* sayımları**

50 ppm nalidiksik aside dirençli *S. Typhimurium* ATCC 13311 ve *S. Typhimurium* ATCC 14028 kültürleri 1:1 oranında birleştirilerek, benzer şekilde 50 ppm nalidiksik aside dirençli *L. monocytogenes* Scott A ve *L. monocytogenes* LM17 kültürleri birleştirilerek inoküle edilen örneklerde yapılan uygulamalar öncesinde ve sonrasında *S. Typhimurium* veya *L. monocytogenes* sayıları belirlenmiştir. Örnekler stomacher poşetine alındıktan sonra 100 mL peptonlu su (%0.1) ilave edilmiş olup, 2 dk süreyle el ile ovalama yapılarak ürün yüzeyindeki mikroorganizmaların dilüsyon sıvısına geçmesi sağlanmıştır. Ardından uygun dilüsyonlardan TSA-N besiyerine yayma plak yöntemi ile ekimler yapılmıştır. Petriler 37°C’de 24-48 saat inkübe edildikten sonra petrilerde gelişen koloniler sayılarak sonuçlar log KOB/model gıda olarak hesaplanmıştır (Butot et al., 2018; Gao et al., 2020; Ortiz-Sola et al., 2021).

Toplam mezofilik aerobik bakteri sayımı

Toplam mezofilik aerobik bakteri sayısının belirlenmesi için homojenatlar hazırlanıp uygun dilüsyonlardan yayma plak yöntemiyle Plate Count Agar (PCA, pH 7,0, Merck, Almanya) besiyerine ekimi yapıldıktan sonra petriler 35°C’de 24-48 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonucunda gelişen koloniler sayılarak örneklerin toplam mezofilik aerobik bakteri sayıları hesaplanmıştır (FDA-BAM, 2001a).

Küf ve maya sayımı

Küf ve maya sayısının belirlenmesi için homojenatlar hazırlanıp uygun dilüsyonlardan yayma plak yöntemine göre %1 tartarik asit ile (%10) asitlendirilmiş Potato Dextrose Agar (PDA, pH 5,6, Merck, Almanya) besiyerine ekim yapılmıştır. Daha sonra petriler 25°C’de 3-5 gün inkübe edildikten sonra gelişen koloniler sayılarak örneklerdeki küf ve maya sayısı hesaplanmıştır (FDA-BAM, 2001b).

Toplam psikrofilik bakteri sayımı

Toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısının belirlenmesi için homojenatlardan uygun dilüsyonlar hazırlandıktan sonra PCA besiyerine yayma plak yöntemine göre ekimi yapıldıktan sonra petriler 7°C’de 7 gün inkübe

edilmiştir. İnkübasyon sonunda gelişen koloniler sayılarak örneklerde toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısı hesaplanmıştır (Tomadoni et al., 2018).

3.2.18.2 Fizikokimyasal analizler

Toplam fenolik madde miktarının belirlenmesi

Toplam fenolik madde miktarının belirlenmesi için Lu et al. (2020) tarafından belirtilen yöntem modifiye edilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Domates örnekleri stomacher poşetine 5 g tartıldıktan sonra üzerine 10 mL %70 metanol eklenip stomacher cihazında 1 dk süre ile homojenize edilmiştir. Ardından 40⁰ C çalkalamalı su banyosunda 1 saat bekletildikten sonra örnekler 4⁰ C 12220 x g (1620 A rotor, Universal 320 R., Germany) 15 dk santrifüjlenmiştir. Çilek örneklerinde ise stomacher poşetine tartılan 5 g çilek üzerine 20 mL %80 metanol eklendikten sonra stomacher cihazında 2 dk homojenizasyon yapılmıştır. Ardından örnekler 4⁰ C 12220 x g 15 dk santrifüj edilmiştir (Cozzolino et al., 2021). Santrifüj edilmiş örneklerden 0.2 mL supernatant alındıktan sonra üzerine 5 mL %10 Folin-Ciocalteu reaktifi eklenmiştir. 3 dk sonra 4 mL %7.5 sodyum karbonat çözeltisi eklendikten sonra örnekler karanlıkta 1 saat bekletilmiştir. Örneklerin absorbans değerleri spektrofotometre (Cary 60 UV-Vis, Agilent Technologies, USA) cihazı ile 765 nm dalga boyunda okunmuştur (Bobinaité et al., 2012; Lu et al., 2020). Sonuçlar, mg Gallik Asit Eşdeğeri (GAE)/100 g model gıda olarak rapor edilmiştir.

Antioksidan aktivitenin belirlenmesi

Yapılan uygulamaların depolama süresince model gıdaların antioksidan aktiviteleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi için DPPH yöntemi kullanılmıştır. 100 µL süpernatant üzerine 3 mL DPPH (0.01 mM) çözeltisi eklenmiştir. Örnekler oda sıcaklığında 30 dk karanlıkta bekletilmiştir. Daha sonra örnek absorbansları spektrofotometre (Cary 60 UV-Vis, Agilent Technologies, USA) kullanılarak 515 nm dalga boyunda okunmuş (Maleki et al., 2016), sonuçlar DPPH radikalinin yüzde inhibisyonu olarak ifade edilmiştir.

Renk tayini

Depolama işlemi başlamadan önce UV-C işlemi uygulanmadan önce ve UV-C işlemi uygulandıktan sonra depolama süresince renk ölçüm cihazı kullanılarak (Konica Minolta CR-400, Japan) L*, a*, b* değerleri belirlenmiştir (Xu and Wu, 2016).

Toplam suda çözünür madde (°Brix) tayini

Örnekler stomacher cihazında homojenize edildikten sonra süzme bezinden süzölmüş olup, ilk süzöntüden alınan örneğin dijital refraktometre (AllaFrance, France) ile °Brix değerleri ölçölmüştür (Zeng et al., 2020; Alvarez et al., 2021).

Ağırlık kaybı

Depolama işleminin başlangıcında ve her depolama süresinin sonunda aynı meyveler tartıldıktan sonra sonuçlar başlangıç ağırlığının yüzde kaybı olarak ifade edilmiştir (Aguiló-Aguayo et al., 2013).

Bozulma sıklığı

Depolanan örneklerde (40 adet) bozulma sıklığı yüzdesi, göz ile görölür bozulmanın olduğu örnek sayısının başlangıç örnek sayısına bölölüp 100 ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır (Barreto et al., 2016; Melo et al., 2020).

Duyusal analizler

Çalışma kapsamında duyuusal analizler için örnekler Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde eğitim alan lisans ve lisansüstü düzeylerinde öğrencileri içeren yarı eğitimli 7 paneliste sunulmuştur. Örneklerin koku, renk ve görölüş özelliklerinin değerlendirilmesi için 7 puanlı hedonik skala kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir (Kim et al., 2010). Bu analizler sonucunda 4 puan ve altında puan alan ürünlerin genel kalitesi kabul edilemez olarak değerlendirilmiştir (Lacivita et al., 2016).

3.2.19 İnaktivasyon verilerinin modellenmesi

Model gıdalara inoköle edilen patojen mikroorganizmaların farklı dozlarda UV-C ışık uygulaması sonucunda elde edilen mikrobiyal inaktivasyon verilerinin matematiksel modellemesi, GInaFiT yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Geeraerd et al., 2005).

3.2.20 İstatistiksel analizler

Denemeler sonrasında elde edilen analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi, IBM SPSS Statistics 22 yazılımı kullanılarak $p < 0.05$ önem

seviyesinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ortalama değerler arasındaki farklılıklar tek yönlü ANOVA ile tespit edilirken, Post-Hoc analiz yöntemi olarak Duncan oklu karşılaştırma testi kullanılmıştır.



4 BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Bitkisel Materyallerin Antimikrobiyal Aktivitesinin Belirlenmesi

Tez çalışması kapsamında dağ çileği çiçeği, yaprağı ve meyvesi; sarı kantaron çiçeği ve yaprağı ile hiren bitkisi kullanılarak 12 farklı bitkisel ekstrakt hazırlanmıştır. Ayrıca analizlerde kullanılmak üzere 6 farklı bitkisel materyal kullanılarak esansiyel yağ ve hidrosol elde edilmiştir. Esansiyel yağ verimi, kullanılan bitkisel materyal bölümüne, bitkinin coğrafi orijinine ve yetiştirme iklimine, bitki türlerinin genotipine ve hasat dönemine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir (Nazari et al., 2022). Bu çalışmada tüm bitkisel materyaller içerisinde toplamda 2 farklı esansiyel yağ (sarı kantaron çiçeği ve yaprağı) ve 6 farklı hidrosol elde edilmiştir. Esansiyel yağ verimi ile ilgili değerlendirme yapıldığında, sarı kantaron çiçeği örneklerinin en iyi esansiyel yağ verimine (%0.24) sahip olduğu belirlenirken, sarı kantaron yaprağı yağının esansiyel yağ veriminin %0.18 olduğu saptanmıştır.

4.1.1 Disk difüzyon analizi sonuçları

Farklı bitkisel materyaller kullanılarak hazırlanan ekstrakt, hidrosol ve esansiyel yağların farklı test kültürleri üzerinde antimikrobiyal aktivitelerinin belirlenmesi için yapılan disk difüzyon analizlerine ait sonuçlar Tablo 4.1’de özetlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında çalışılan dağ çileği meyvesi metanol ve su ekstraktları ile hidrosolünün incelenen test kültürleri için inhibisyon zonu oluşturmadığı belirlenmiştir. Salem et al. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada ise dağ çileği meyvesinin etanol ekstraktının en geniş inhibisyon zonunun 15 mm ile *S. aureus* ve *B. subtilis* test kültürlerine karşı elde edildiği rapor edilmiştir. Dağ çileği etanol ekstraktına en dirençli mikroorganizmaların 7 ve 10 mm inhibisyon zon çapları ile sırasıyla *S. agalactiae* ve *C. albicans* olduğu ortaya konmuştur. Bitkisel materyalin elde edildiği kaynak, farklı polaritelere sahip organik çözücülerin kullanımı ve uygulanan ekstraksiyon yöntemi elde edilen ekstraktın bileşimini önemli ölçüde etkilediği için bu durum antioksidan ve antimikrobiyal aktiviteyi de etkileyebilmektedir (Miguel et al., 2014; Wang et al., 2018).

Tablo 4.1 Bitkisel materyallerin disk difüzyon analiz sonuçları

Test Kültürleri	İnhibisyon zon çapı (mm)*										
	Test materyalleri**										
	DÇÇM	DÇÇS	DYM	DYS	KYM	KÇM	HS	HM	HH	AMP	KLO
<i>S. Typhimurium</i> ATCC 13311	8.00 (1.73) Cd	7.33 (2.31) Cd	***	-	-	9.00 (1.00) Cd	-	-	-	17.83 (1.04) Be	28.00 (3.46) Aab
<i>S. Typhimurium</i> ATCC 14028	7.50 (0.50) Dd	-	-	-	-	-	13.67 (2.08) Cb	-	-	23.00 (1.00) Bd	30.03 (0.58) Aa
<i>E. coli</i> ATCC 25922	8.83 (1.47) Dd	7.75 (0.96) Dd	11.25 (1.26) Cc	-	-	-	-	-	-	25.33 (0.76) Bc	33.00 (1.00) Aa
<i>E. coli</i> O157:H7 ATCC 43895	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.03 (1.00) Bf	17.50 (1.32) Ac
<i>S. aureus</i> ATCC 6538P	19.80 (0.84) Da	16.75 (1.15) Ea	18.40 (2.19) DEb	12.00 (1.79) Fb	12.67 (2.35) Fa	22.60 (1.52) Ca	-	-	-	39.50 (0.42) Aa	31.50 (1.32) Ba
<i>B. cereus</i> ATCC 10876	-	-	-	-	-	-	16.50 (1.57) Ca	-	-	22.33 (3.79) Bd	29.00 (1.73) Aab
<i>L. monocytogenes</i> Scott A	-	-	11.17 (2.14) Cc	-	8.50 (0.58) Cb	22.00 (0.82) Ba	-	-	-	31.00 (1.00) Ab	31.00 (3.21) Aa
<i>L. monocytogenes</i> LM17	-	-	11.50 (2.08) Cc	8.50 (1.29) Cc	8.75 (1.26) Cb	19.50 (3.00) Bb	-	-	-	26.87 (1.03) Ac	29.33 (2.08) Aab
<i>C. violaceum</i> ATCC 12472	14.57 (0.50) Cc	11.50 (0.50) Dc	17.17 (1.04) Bb	12.67 (1.53) Db	7.53 (0.50) Fb	9.53 (0.50) Ed	-	8.73 (0.25) EFa	8.47 (0.16) EFb	-	24.83 (0.02) Ab
<i>C. violaceum</i> ATCC 31532	17.00 (2.00) Cb	15.03 (1.00) CDb	21.03 (1.02) Ba	16.56 (1.50) Ca	9.03 (1.01) Eb	11.50 (0.50) DEc	-	8.37 (0.15) Eb	16.00 (1.00) Ca	-	31.00 (6.56) Aa

* Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark olduğunu göstermektedir (p<0.05). Aynı sütunda yer alan küçük harfler ortalama değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark olduğunu göstermektedir (p<0.05).

**Test materyalleri: DÇÇM: Dağ çileği çiçeği metanol, DÇÇS: Dağ çileği çiçeği su, DYM: Dağ çileği yaprağı metanol, DYS: Dağ çileği yaprağı su, KYM: Kantaron yaprağı metanol, KÇM: Kantaron çiçeği metanol, HS: Hiren su, HM: Hiren metanol ekstraktı, HH: Hiren hidrosol, AMP: Ampisilin, KLO: Kloramfenikol

*** Test edilen konsantrasyonlarda antimikrobiyal aktivite gözlenmemiştir.

Dağ çileği yaprağı su ve metanol ekstraktlarının *E. coli*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae*, *E. faecalis* ve *Candida* spp. üzerindeki inhibitif etkisinin incelendiği Jurica et al. (2017) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, yaprak su ekstraktının test edilen mikroorganizmalar içerisinde yalnızca *P. aeruginosa* (10 mm) ve *C. parapsilosis*'e (28 mm) karşı inhibisyon zonu oluşturduğu belirlenmiştir. Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının *C. albicans* hariç tüm test kültürlerinde 8-22 mm arasında değişen inhibisyon zonu oluşturduğu tespit edilirken, *E. coli* ATCC 25922 kültürüne karşı antimikrobiyal etki göstermediği belirlenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında elde edilen veriler incelendiğinde ise dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının test kültürlerinden biri olan *E. coli* ATCC 25922'ye karşı 11.3 mm inhibisyon zonu oluşturduğu tespit edilmiştir. Bouyahya et al. (2016) tarafından yapılan çalışmada dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının test kültürleri üzerindeki etkisinin agar kuyucuk yöntemine göre 12-27 mm arasında değiştiği rapor edilmiştir. Benzer şekilde dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının tez çalışmasında kullanılan test kültürleri üzerinde 11.25-21.03 mm arasında inhibisyon zonu oluşturduğu belirlenmiştir (Tablo 4.1).

Sarı kantaron bitkisinden elde edilen ekstraktlar için sonuçlar incelendiğinde; sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktının en geniş inhibisyon zonlarını 22.0 mm ve 22.6 mm ile sırasıyla *L. monocytogenes* Scott A ve *S. aureus* test kültürleri üzerinde gösterdiği tespit edilirken, yaprak metanol ekstraktında en geniş inhibisyon zonunun 12.67 mm ile *S. aureus*'a karşı olduğu belirlenmiştir. Sarı kantaron yaprak ve çiçeği esansiyel yağlarının test kültürleri üzerinde antimikrobiyal etki göstermediği tespit edilmiştir.

Sarı kantaron yaprağı veya çiçeğinin su veya metanol ekstraktlarının çalışmada kullanılan *E. coli* suşları üzerinde antimikrobiyal etki göstermediği belirlenmiştir. Ancak sarı kantaron yaprak metanol ekstraktında en geniş inhibisyon zonunun 12.67 mm ile *S. aureus*'a karşı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktının test kültürleri üzerinde 9.00-22.60 mm aralığında değişen inhibisyon zonlarına neden olduğu dolayısıyla antimikrobiyal aktivesinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.1).

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde; hiren su ve metanol ekstraktlarının sırasıyla 13.67-16.50 mm ile 8.37-8.73 mm arasında değişen inhibisyon zonları oluşturduğu belirlenmiştir. Hidrosol örnekleri içerisinde ise sadece hiren hidrosolünün inhibisyon zonu oluşturduğu belirlenmiştir. Çalışmada hiren hidrosolünün *C. violaceum* ATCC 12472 ve *C. violaceum* ATCC 31532 test

kültürlerine karşı sırasıyla 8.47 ve 16.00 mm inhibisyon zonu oluşturduğu belirlenmiştir (Tablo 4.1).

Sherif et al. (2023) tarafından yapılan sarı kantaron yaprak+çiçeği metanol ve su ekstraktlarının antimikrobiyal aktivitesinin araştırıldığı bir çalışma sonucunda metanol ekstraktına karşı en hassas mikroorganizmanın 27.9 mm inhibisyon zonu ile *K. pneumoniae* olduğu bulunurken, en dirençli mikroorganizmanın ise *A. baumannii* olduğu belirlenmiştir. Metanol ekstraktının test kültürleri üzerinde oluşturduğu inhibisyon zonlarının 17.93-27.9 mm olduğu belirlenirken, su ekstraktının mikroorganizmalar üzerinde oluşturduğu inhibisyon zonlarının ise 13.4-19.2 mm aralığında olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca *E. coli*'ye karşı metanol ekstraktı 19.31 mm, su ekstraktı ise 15.2 mm inhibisyon zonu oluşturmuştur. Kantaron su ekstraktına karşı en hassas bakterinin ise 19.3 mm inhibisyon zon çapıyla metisilin dirençli *S. aureus* (MRSA) olduğu, bu ekstraktın *P. aeruginosa* ve *A. baumannii* üzerine inhibitif etki göstermediği tespit edilmiştir.

Mazandarani et al. (2007) tarafından yapılan bir araştırmada, sarı kantaron bitkisinin çiçek açan toprak üstü kısımları kullanılarak elde edilen etanol ekstraktının *Enterococcus faecalis*, *S. aureus*, *Salmonella typhi*, *Shigella dysenteriae*, *Yersinia enterocolitica*, *E. coli* ve *P. aeruginosa*'ya karşı antimikrobiyal etkisi araştırılmış olup, çalışma sonucunda 25-26 mm aralığında değişen inhibisyon zonları saptanmıştır. Çalışmada Gram pozitif bakterilerin Gram negatif bakterilere kıyasla kantaron çiçeği etanol ekstraktına karşı daha hassas olduğunu ortaya koymuştur.

4.1.2 Mikrodilüsyon yöntemi analizi sonuçları

Antimikrobiyal aktivitenin belirlenmesinde disk difüzyon yöntemine ek olarak bitkisel materyal ekstrakt ve hidrosolleri ile esansiyel yağlarının minimum inhibisyon konsantrasyon (MİK) ve minimum bakterisidal konsantrasyon (MBK) değerleri belirlenmiştir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2 Bitkisel materyal ekstraktlarının MİK ve MBK değerleri

Test Kültürleri	MİK / MBK	Bitkisel materyal ekstraktlarının MİK ve MBK değerleri (mg/mL)											
		Test materyalleri*											
		DÇÇM	DÇÇS	DYM	DYS	KYM	KÇM	KYS	KÇS	DÇS	DÇM	HS	HM
<i>S. Typhimurium</i> ATCC 13311	MİK	22.05	8.80	11.38	10.09	43.78	12.00	9.29	12.30	6.25	3.12	25.00	25.00
	MBK	22.05	-**	22.77	20.19	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>S. Typhimurium</i> ATCC 14028	MİK	22.05	8.80	2.85	10.09	21.89	12.00	4.65	12.30	25.00	3.12	25.00	12.50
	MBK	22.05	8.80	22.77	-	43.78	48.01	-	-	-	-	-	-
<i>E. coli</i> ATCC 25922	MİK	11.03	8.80	2.85	5.05	10.94	6.00	4.65	12.30	25.00	25.00	-	25.00
	MBK	22.05	-	22.77	-	43.78	48.01	-	-	25.00	25.00	-	-
<i>E. coli</i> O157:H7 ATCC 43895	MİK	11.03	8.80	1.42	2.52	10.94	6.00	4.65	12.30	12.50	3.12	-	25.00
	MBK	22.05	-	22.77	-	43.78	48.01	-	-	25.00	25.00	-	-
<i>S. aureus</i> ATCC 6538P	MİK	0.69	0.27	0.71	1.26	1.37	0.75	2.32	6.15	25.00	25.00	-	25.00
	MBK	1.38	0.55	1.42	1.26	2.74	1.50	9.29	12.30	25.00	25.00	-	-
<i>B. cereus</i> ATCC 10876	MİK	22.05	-	11.38	10.09	43.78	24.01	9.29	12.30	25.00	12.5	-	25.00
	MBK	22.05	-	22.77	-	-	48.01	-	-	-	-	-	-
<i>L. monocytogenes</i> Scott A	MİK	22.05	8.80	11.38	5.05	10.94	6.00	9.29	12.30	6.25	3.12	-	12.50
	MBK	44.10	8.80	22.77	20.19	43.78	24.01	-	-	-	-	-	-
<i>L. monocytogenes</i> LM17	MİK	22.05	8.80	2.85	5.05	10.94	48.01	9.29	12.30	1.56	1.56	12.50	6.25
	MBK	44.10	8.80	22.77	20.19	43.78	48.01	-	-	-	-	-	-
<i>C. violaceum</i> ATCC 12472	MİK	11.03	8.80	5.69	5.05	21.89	12.00	4.65	12.30	25.00	25.00	-	12.50
	MBK	11.03	8.80	11.38	10.09	43.78	48.01	9.29	12.30	25.00	25.00	-	25.00
<i>C. violaceum</i> ATCC 31532	MİK	11.03	8.80	5.69	10.09	21.89	24.01	4.65	12.30	25.00	25.00	-	12.5
	MBK	11.03	8.80	5.69	10.09	21.89	48.01	9.29	-	25.00	25.00	-	25

*Test materyalleri: DÇÇM: Dağ çileği çiçeği metanol, DÇÇS: Dağ çileği çiçeği su, DYM: Dağ çileği yaprağı metanol, DYS: Dağ çileği yaprağı su, KYM: Kantaron yaprağı metanol, KÇM: Kantaron çiçeği metanol, KYS: Kantaron yaprağı su, KÇS: Kantaron çiçeği su, DÇS: Dağ çileği su, DÇM: Dağ çileği metanol, HS: Hiren su, HM: Hiren metanol ekstraktı.

** Test edilen konsantrasyonlarda antimikrobiyal aktivite gözlenmemiştir.

Bitkisel materyal ekstraktlarının etkisinin özellikle *S. aureus* test kültürü üzerinde diğer mikroorganizmalar ile karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. MİK sonuçları incelendiğinde; farklı bitkisel materyallerin 0.27 mg/mL ile 48.01 mg/mL arasında etkili olduğu bulunmuştur. Dağ çileği çiçeği su ekstraktının sadece *B. cereus* ATCC 10876 test kültürü üzerinde test edilen konsantrasyonlarda etkisiz olduğu belirlenirken, bahsedilen ekstrakta karşı en hassas test kültürünün *S. aureus* ATCC 6538P olduğu belirlenmiştir. *S. aureus* ATCC 6538P test kültürü üzerinde dağ çileği çiçeği su ekstraktı MİK değerinin 0.27 mg/mL olduğu saptanmıştır.

Dağ çileği yaprağı su ekstraktının antimikrobiyal etkisinin incelendiği bir çalışmada, 5 mg/mL MİK değeri ile en dirençli bakteri *E. coli* olarak bulunurken, *P. aeruginosa* ve *S. aureus*'un MİK değerleri 2.5 mg/mL olarak saptanmıştır. Çalışma sonucunda Gram pozitif bakterilerin Gram negatif bakterilere kıyasla dağ çileği yaprağı su ekstraktına daha duyarlı olduğu tespit edilmiştir (Malheiro et al., 2012). El Ouarti et al. (2012) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada, dağ çileği yaprağı etanol ekstraktının sırasıyla *Mycobacterium aurum*, *M. smegmatis* ve *M. bovis*'a karşı MİK değerleri 5.59 mg/mL, 6.02 mg/ mL ve 6.02 mg/ mL olarak saptanmıştır.

Sarı kantaron yaprağı metanol ve su ekstraktlarının MİK değerlerinin sırasıyla 1.37-43.78 mg/mL ve 2.32-9.29 mg/mL arasında değiştiği belirlenmiştir. Çözgen kullanımı dikkate alındığında su ekstraktlarının metanol ekstraktlarına kıyasla daha etkili antimikrobiyal aktivite gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 4.2).

Sarı kantaron çiçeği metanol ve su ekstraktlarının ise MİK değerlerinin sırasıyla 0.75-48.01 mg/mL ve 6.15-12.3 mg/mL arasında değiştiği belirlenmiştir. Çalışma sonucunda sarı kantaron ekstraktlarına karşı en hassas mikroorganizmanın *S. aureus* olduğu ortaya konulmuştur. Milosevic et al. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada sarı kantaron etanol ekstraktının test kültürleri üzerinde MİK değerinin 1.25-3.5 mg/mL olduğu belirlenmiştir.

Hiren ekstraktları için elde edilen sonuçlar incelendiğinde, metanol ekstraktının su ekstraktına kıyasla daha etkili antimikrobiyal aktivite sergilediği tespit edilmiştir. Hiren metanol ekstraktı *C. violaceum* suşları (25 mg/mL) hariç test kültürleri üzerinde bakterisidal etki göstermezken, en etkili antimikrobiyal aktivite 6.25 mg/mL MİK değeri ile *L. monocytogenes* LM17'ye karşı belirlenmiştir. Manuguerra et al. (2020) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada,

ticari hiren tozunun steril sodyum klorür (%0.9) ile hazırlanan çözeltisine (1:5) karşı en dirençli mikroorganizmanın 15 mg/mL MİK değeri ile *Vibrio harvey* olduğu belirlenirken, en hassas mikroorganizmaların 0.075 mg/mL MİK değerleri ile *Tenacibaculum marinum* ve *Aeromonas hydrophila* olduğu belirlenmiştir.

Test materyallerinin MBK sonuçları incelendiğinde; dağ çileği ekstraktlarının 25 mg/mL konsantrasyonda kullanıldığında *E. coli* ATCC 25922, *E. coli* O157:H7, *S. aureus* ve *C. violaceum* test kültürleri üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Hiren metanol ekstraktının 25 mg/mL konsantrasyonda kullanıldığında sadece *C. violaceum* suşları üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. En etkili bitkisel materyalinin 0.55 mg/mL konsantrasyonda, dağ çileği çiçeği su ekstraktının *S. aureus* test kültürü üzerinde olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.2).

Hidrosoller, çok daha az miktarda bulunan ancak oldukça değerli olan esansiyel yağların üretimi için aromatik bitkilerin buhar damıtma veya hidrodistilasyonundan elde edilen yan ürünlerdir (Değirmenci and Erkurt, 2020). Farklı bitkisel materyaller kullanılarak hazırlanan hidrosol ve esansiyel yağların farklı test kültürleri üzerindeki MİK ve MBK değerleri Çizelge 4.3'te yer almaktadır. Tez çalışması kapsamında kullanılan test materyalleri içerisinde en yüksek antimikrobiyal etkiye sahip olan hidrosolün hiren hidrosölü (%25) olduğu tespit edilmiştir. Hiren hidrosölü hariç diğer hidrosoller %50 oranında kullanıldığında tüm test kültürleri üzerinde inhibitif etki göstermiştir. *C. violaceum* suşları için hiren hidrosölünün MİK ve MBK değerlerinin %50 olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların disk difüzyon zonu sonuçları ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında elde edilen sarı kantaron yaprak hidrosölünün %50 oranında kullanıldığında test edilen tüm mikroorganizmalar üzerinde inhibitif etki gösterdiği belirlenirken, sarı kantaron yaprağı esansiyel yağının %1.5 oranında kullanıldığında, sarı kantaron çiçeği esansiyel yağının ise *S. aureus* (%0.75) hariç %1.5 oranında kullanıldığında tüm test edilen mikroorganizmalar üzerinde inhibitif etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Tablo 4.3 Bitkisel materyal hidrosol ve esansiyel yağlarının MİK ve MBK değerleri

Bitkisel materyal hidrosol ve esansiyel yağlarının MİK ve MBK değerleri (%)									
Test Kültürleri	Test materyalleri*								
	(%)	DÇÇH	DÇYH	DÇMH	HH	KYH	KÇH	KÇY	KYY
<i>S. Typhimurium</i> ATCC 13311	MİK	50	50	50	25	50	50	1.50	1.50
	MBK	-**	-	-	50	50	50	1.50	1.50
<i>S. Typhimurium</i> ATCC 14028	MİK	50	50	50	25	50	50	1.50	1.50
	MBK	-	-	-	50	-	-	-	-
<i>E. coli</i> ATCC 25922	MİK	50	50	50	25	50	50	1.50	1.50
	MBK	-	-	-	50	-	-	1.50	1.50
<i>E. coli</i> O157:H7 ATCC 43895	MİK	50	50	50	25	50	50	1.50	1.50
	MBK	-	-	-	-	-	-	1.50	1.50
<i>S. aureus</i> ATCC 6538P	MİK	50	50	50	50	50	50	0.75	1.50
	MBK	-	-	-	-	-	-	1.50	1.50
<i>B. cereus</i> ATCC 10876	MİK	50	50	50	50	50	50	1.50	1.50
	MBK	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>L. monocytogenes</i> Scott A	MİK	50	50	50	50	50	50	1.50	1.50
	MBK	-	-	-	-	-	-	-	1.50
<i>L. monocytogenes</i> LM17	MİK	50	50	50	50	50	50	1.50	1.50
	MBK	-	-	-	-	-	-	-	1.50
<i>C. violaceum</i> ATCC 12472	MİK	50	50	50	50	50	-	1.50	1.50
	MBK	-	-	-	50	-	-	1.50	-
<i>C. violaceum</i> ATCC 31532	MİK	50	50	50	50	50	50	1.50	1.50
	MBK	-	-	-	50	50	-	1.50	-

*: DÇÇH: Dağ çileği çiçeği hidrosol, DÇYH: Dağ çileği yaprağı hidrosol, DÇMH: Dağ çileği meyvesi hidrosol, HH: Hiren hidrosol, KYH: Kantaron yaprağı hidrosol, KÇH: Kantaron çiçeği hidrosol, KYY: Kantaron yaprağı esansiyel yağı, KÇY: Kantaron çiçeği esansiyel yağı.

** : Test edilen konsantrasyonlarda antimikrobiyal etki tespit edilmemiştir.

Kahrman et al. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, dağ çileği meyve ve çiçeği esansiyel yağlarının (1500 µg/100 µL) farklı test kültürleri üzerine antimikrobiyal etkisi incelenmiş olup, dağ çileği çiçeği esansiyel yağının yalnızca *L. monocytogenes* (MİK: 750 µg/100 µL) ve *E. faecalis* (MİK: 750 µg/100 µL) üzerine inhibitif etki gösterdiği belirlenmiştir. Dağ çileği meyvesi esansiyel yağının ise yalnızca *L. monocytogenes* (MİK: 750 µg/100 µL) üzerine antimikrobiyal etki gösterdiği belirlenmiştir. Ancak bu tez çalışması kapsamında dağ çileği meyve, çiçek ve yaprak esansiyel yağ veriminin %0.1 (v/w)'den düşük olması nedeniyle antimikrobiyal etkisi araştırılamamıştır.

Hiren esansiyel yağının antimikrobiyal aktivitesinin incelendiği bir çalışmada, test edilen bakteriler için elde edilen MİK değerlerinin 265-795 µg/mL aralığında değiştiği saptanmıştır. En dirençli mikroorganizmanın 795 µg/mL MİK değeri ile *K. pneumoniae* olduğu tespit edilirken, bu mikroorganizmayı 530 µg/mL MİK değerleri ile sırasıyla *P. aeruginosa* ve *Salmonella abony*'nin izlediği ortaya konmuştur. *C. albicans* için ise bu değerin 28.7 ile >192 µg/mL aralığında değiştiği saptanmıştır (Petrović et al., 2017). Ancak bu tez çalışmasında hiren bitkisinden elde edilen esansiyel yağ veriminin %0.1 (v/w)'den düşük olması nedeniyle antimikrobiyal etkisi araştırılamamıştır.

Kozmetik alanında kullanımı oldukça yaygın olan, çeşitli bitkilerden elde edilen hidrosoller gıda endüstrisinde için de gün geçtikçe önem kazanmaktadır (D'Amato et al., 2018; Vuko et al., 2021). Bu tez çalışmasında dağ çileği meyve, çiçek ve yaprak hidrosollerinin %50 oranında kullanıldığında tüm test edilen mikroorganizmalar üzerinde inhibitif etki gösterdiği belirlenmiştir. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, dağ çileği hidrosolünün antimikrobiyal aktivitesinin belirlenmesine yönelik araştırmaya rastlanmamış olup, elde edilen sonuçların farklı sektörlerde dağ çileğinin kullanımını arttırmak için önemli olduğu düşünülmektedir.

Esansiyel yağların elde edilme işlemi sırasındaki bileşenlerin güvenli ve doğal kaynağı olan hidrosoller, çözünmüş uçucu yağ bileşenleri ve suda çözünebilen daha polar uçucu bileşikler içermektedir. Yapılan bu çalışmada kantaron esansiyel yağ ve hidrosol örneklerinde monoterpenoidlerin hâkim olduğu belirlenmiş olup, hidrosolde bulunan başlıca fenolik bileşiklerin timol (%3.48) ve karvakrol (%9.87) olduğu rapor edilmiştir (Vuko et al., 2021). Sarı kantaron, çörek otu, karanfil, portakal kabuğu ve sarımsak gibi farklı esansiyel yağların etkisinin araştırıldığı bir çalışmada da kantaron esansiyel yağının *Staphylococcus*

haemolyticus ve *Enterobacter aerogenes*'e karşı 7.81 µg/mL ile en etkili antibakteriyel etkiyi gösterdiği bildirilmiştir (Çelebi et al., 2023).

4.2 Bitkisel Materyallerin Antibiyofilm Aktivitesinin Belirlenmesi

4.2.1 Test kültürlerinin biyofilm oluşturma yeteneklerinin belirlenmesi

Model gıda denemelerinde kullanılması planlanan test kültürlerinin (*S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes*) biyofilm oluşturma yeteneklerinin belirlenmesi için kristal viyole yöntemi kullanılarak oluşturdukları optik yoğunluklarına (OD) ait sonuçlar Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4 Test kültürlerinin biyofilm oluşturma yetenekleri

Örnek	OD*	Biyofilm oluşturma yeteneği
Kontrol**	0.2025 (0.063) ^d	
<i>L. monocytogenes</i> Scott A	2.9637 (0.2319) ^b	Güçlü
<i>L. monocytogenes</i> LM17	1.0111 (0.1296) ^c	Güçlü
<i>S. Typhimurium</i> ATCC 14028	3.2218 (0.5950) ^{ab}	Güçlü
<i>S. Typhimurium</i> ATCC 13311	3.6533 (0.5522) ^a	Güçlü

*Aynı sütunda yer alan farklı küçük harfler ortalama değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$).

** Kültür süspansiyonu ilave edilmemiş kuyucukların OD değerini göstermektedir.

Optik yoğunluk değerleri kontrol örneklerinin değeri ile karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar biyofilm oluşturma yeteneğine göre sınıflandırılmıştır (Kuhn et al., 2019; Wang et al., 2020; Liu et al., 2020). Optik yoğunluk sonuçları; negatif ($OD_{\text{örnek}} < OD_{\text{kontrol}}$), zayıf ($OD_{\text{kontrol}} < OD_{\text{örnek}} < 2 \cdot OD_{\text{kontrol}}$), orta derecede ($2 \cdot OD_{\text{kontrol}} < OD_{\text{örnek}} < 4 \cdot OD_{\text{kontrol}}$) ve güçlü ($4 \cdot OD_{\text{kontrol}} < OD_{\text{örnek}}$) biyofilm oluşturma yeteneği olarak kategorize edilmiştir (Liu et al., 2020). Biyofilm oluşturma yeteneği araştırılmış olan tüm test kültürlerinin güçlü biyofilm oluşturma yeteneğine sahip olduğu rapor edilmiştir.

S. Enteritidis en güçlü biyofilm üreten serotiplerden biri olarak tanımlanmış olup, neden olduğu salgın oranlarının yüksek olması bu serotipin güçlü biyofilm oluşturma yeteneğine bağlanmaktadır (Hiller et al., 2019). *S.*

Typhimurium ATCC 14028 test kültürünün makrokoloni yapısında amiloid kıvrımlı lifler ve selüloz bulunduğu belirtilirken, *S. Typhimurium* ATCC 13311 test kültürünün makrokoloni yapısında selüloz bulunmadığı bildirilmiştir. Bu farklılık nedeniyle suşların çeşitli dezenfektanlara karşı farklı davranışlar sergilediği bildirilmiştir (Richter et al., 2023). Bu tez çalışması kapsamında ise en güçlü biyofilm oluşturma yeteneğine sahip olan test kültürünün *S. Typhimurium* ATCC 13311 olduğu saptanmıştır ($p<0.05$). Ancak biyofilm oluşturma yeteneği açısından *S. Typhimurium* ATCC 14028 test kültürü ile arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$).

Farklı *L. monocytogenes* suşlarının biyofilm oluşturma yeteneklerinin incelendiği bir çalışmada, suşların %63.26'sının zayıf, %27.55'inin orta derecede, %9.18'inin ise güçlü biyofilm oluşturma yeteneğine sahip olduğu rapor edilmiştir. Çalışmada sadece süt ve süt ürünlerinden izole edilen suşların güçlü biyofilm oluşturma yeteneğine sahip olduğu tespit edilmiş olup, biyofilm oluşturma yeteneğinin suşun izole edildiği kaynağa göre değiştiği belirtilmiştir. Sonuç olarak *L. monocytogenes* suşlarının genellikle zayıf ve orta derecede biyofilm oluşturma yeteneğine sahip olduğu bildirilmiştir (Doijad et al., 2015). Yapılan bu tez çalışması kapsamında Gram-pozitif test kültürlerinin güçlü biyofilm oluşturma yeteneğine sahip olduğu belirtilse de Gram-negatif test kültürü olarak seçilen *S. Typhimurium* ATCC 13311 test kültürlerine kıyasla istatistiksel açıdan daha düşük biyofilm oluşturma yeteneğine sahip olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$).

4.2.2 Test kültürlerinin antibiyofilm aktivesinin belirlenmesi

Biyofilm oluşumu, abiyotik veya biyotik bir yüzeye bağlanma ile başlayan, yüzey üzerindeki hücre yoğunluğunun artmasıyla birlikte mikroorganizmaların kendilerini dış etkilere karşı korumaları için gerekli besin ve oksijen gibi ihtiyaçları sunan yapılandırılmış bir matris oluşumu ve olgunlaşmasıyla sonuçlanan bir süreçtir (Aguayo et al., 2020). Biyofilmle ilişkili tespit edilen enfeksiyonlar, tüm enfeksiyon vakalarının %65-80'ini oluşturan ciddi sağlık sorunlarıdır. Biyofilmlerle temas halindeki gıdaların çapraz kontaminasyonu sonucu gıda zehirlenmeleri ortaya çıkabilmekte, bu nedenle, çapraz kontaminasyonu önlemek için biyofilm oluşumunun engellenmesi gerekmektedir (Gray et al., 2018).

Bitkisel materyallerin antibiyofilm aktivitesinin belirlenmesinde MİK değerlerinden daha düşük (sub-MİK) konsantrasyonlar kullanılmaktadır (Bai and Vittal, 2014; Zhang et al., 2014; Zhang et al., 2018; Yıldız et al., 2019). Bu tez

çalışması kapsamında *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* test kültürlerinin biyofilm oluşumunun inhibisyonu üzerinde bitkisel materyallerin MİK ve sub-MİK konsantrasyonlarda etkisi ve oluşan biyofilm üzerinde bitkisel materyallerin eradikasyon etkisi belirlenmiştir.

S. Typhimurium ATCC 13311 test kültürünün oluşturduğu biyofilmin inhibisyonu üzerinde farklı konsantrasyonlarda bitkisel materyallerin etkisi Tablo 4.5'te özetlenmiştir. Sub-MİK (MİK/2) konsantrasyonda test edilen bitkisel materyaller içerisinde %70'ten fazla biyofilm inhibisyonu sağlayan farklı bitkisel materyallerin bulunduğu tespit edilmiştir. MİK/2 değerleri üzerinden değerlendirme yapıldığında, test materyalleri içerisinde dağ çileği çiçeği metanol ile dağ çileği yaprağı metanol ve su ekstraktları ve kantaron yaprağı metanol ve su ekstraktlarının, *S. Typhimurium* ATCC 13311 test kültürünün biyofilm oluşumunu >%70 oranında engellediği ve güçlü antibiyofilm aktivite sergilediği belirlenmiştir.

Sarı kantaron yaprağı metanol ve su ekstraktlarının MİK/2 konsantrasyonlarında sırasıyla %84.17 ve %84.26 oranında biyofilm inhibisyonu sağladığı tespit edilirken, ekstraktlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı saptanmıştır ($p>0.05$). Ayrıca dağ çileği yaprağı su ekstraktının da *S. Typhimurium* ATCC 13311 test kültürünün biyofilm oluşumunu %82.47 oranında engellediği bulunurken, bu değer sarı kantaron yaprağı ekstraktlarından istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılığı olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). Çalışma kapsamında MİK/2 konsantrasyonda en yüksek biyofilm inhibisyonunun sarı kantaron çiçeği esansiyel yağı (%94.94) ile sağlandığı belirlenirken, MİK/4 ve MİK/8 konsantrasyonlarında sırasıyla %92.55 ve %87.10 oranında inhibitif etki gösterdiği belirlenmiştir ($p>0.05$).

Tablo 4.5 *S. Typhimurium* ATCC 13311 test kültürünün biyofilm oluşumunun inhibisyonu üzerinde farklı konsantrasyonlarda bitkisel materyallerin etkisi

Bitkisel materyal*	MİK değeri**	<i>S. Typhimurium</i> ATCC 13311 test kültürünün biyofilm oluşumunun inhibisyonu (%)***							
		MİK	MİK/2	MİK/4	MİK/8	MİK/16	MİK/32	MİK/64	MİK/128
DÇÇM	22.05	86.62 (1.42) ^{Abcd}	80.61 (6.50) ^{Ab}	57.13 (6.70) ^{Bc}	45.5 (1.28) ^{Cd}	23.51 (0.51) ^{Dc}	10.03 (6.35) ^{Eb}	-	-
DÇÇS	8.80	73.16 (8.67) ^{Ae}	39.65 (7.15) ^{Bf}	17.90 (0.05) ^{Cf}	12.3 (0.40) ^{CDg}	9.29 (1.73) ^{Dd}	-	-	-
DYM	11.38	87.48 (5.45) ^{Aabc}	71.63 (1.34) ^{Bc}	54.95 (3.17) ^{Cc}	40.51 (7.72) ^{De}	33.09 (8.72) ^{Db}	-	-	-
DYS	10.09	87.81 (2.66) ^{Aabc}	82.47 (7.14) ^{Ab}	68.66 (1.46) ^{Bb}	53.8 (0.38) ^{Cc}	44.15 (3.45) ^{Da}	28.17 (8.80) ^{Ea}	-	-
KYM	43.78	84.31 (1.39) ^{Acd}	84.17 (1.36) ^{Ab}	44.44 (2.92) ^{Bd}	35.63 (5.12) ^{Cf}	10.34 (5.80) ^{Dd}	-	-	-
KÇM	12.00	72.90 (0.30) ^{Ae}	48.92 (8.61) ^{Be}	13.66 (4.25) ^{Cfg}	4.01 (1.46) ^{Di}	-	-	-	-
KYS	9.29	85.16 (0.89) ^{Acd}	84.26 (0.66) ^{Ab}	58.34 (3.10) ^{Bc}	60.34 (2.21) ^{Bb}	31.43 (7.85) ^{Cb}	31.25 (4.52) ^{Ca}	13.30 (4.02) ^{Db}	-
KÇS	12.30	89.63 (0.70) ^{Aabc}	62.12 (3.69) ^{Bd}	36.41 (9.36) ^{Ce}	33.44 (1.10) ^{Cf}	21.84 (0.61) ^{Dc}	28.89 (3.58) ^{CDa}	11.10 (8.25) ^{Eb}	-
DÇS	6.25	38.57 (5.75) ^{Af}	3.33 (0.51) ^{Bj}	0.95 (0.52) ^{Bi}	-	-	-	-	-
DÇM	3.12	26.74 (7.09) ^g	-	-	-	-	-	-	-
HS	25.00	93.96 (0.24) ^{Aab}	4.53 (4.48) ^{Bij}	4.13 (0.53) ^{Bhi}	4.07 (0.53) ^{Bi}	2.05 (0.54) ^{Ce}	-	-	-
HM	25.00	95.16 (0.36) ^{Aa}	60.61 (0.85) ^{Bd}	4.59 (0.53) ^{Chi}	-	-	-	-	-
DÇÇH	50.00	86.20 (7.81) ^{Abcd}	22.71 (6.77) ^{Bg}	2.22 (0.87) ^{Ci}	-	-	-	-	-
DÇH	50.00	87.41 (7.37) ^{Aabc}	16.20 (2.16) ^{Bgi}	2.58 (0.58) ^{Ci}	-	-	-	-	-
DYH	50.00	85.27 (2.14) ^{Acd}	8.08 (2.17) ^{Bi}	5.42 (1.83) ^{Chi}	-	-	-	-	-
HH	25.00	18.39 (3.19) ^{Ai}	9.77 (2.43) ^{Bi}	-	-	-	-	-	-
KYH	50.00	88.45 (3.45) ^{Aabc}	6.52 (2.07) ^{Bij}	8.80 (0.20) ^{Bgh}	-	-	-	-	-
KÇH	50.00	78.53 (6.57) ^{Ade}	15.66 (2.20) ^{Bgi}	7.03 (2.15) ^{Chi}	-	-	-	-	-
KÇY	1.50	95.20 (1.94) ^{Aa}	94.94 (1.81) ^{Aa}	92.55 (2.27) ^{Aa}	87.10 (6.49) ^{Aa}	29.70 (5.58) ^{Bb}	26.91 (6.29) ^{Ba}	23.06 (5.26) ^{Ba}	-
KYY	1.50	24.44 (1.03) ^{Agı}	18.77 (1.84) ^{Bg}	9.57 (2.28) ^{Cgh}	7.59 (2.81) ^{CDh}	6.75 (0.59) ^{CDde}	5.52 (1.83) ^{DEc}	2.94 (1.30) ^{Ec}	-****

* DÇÇM: Dağ çileği çiçeği metanol, DÇÇS: Dağ çileği çiçeği su, DYM: Dağ çileği yaprağı metanol, DYS: Dağ çileği yaprağı su, KYM: Kantaron yaprağı metanol, KÇM: Kantaron çiçeği metanol, KYS: Kantaron yaprağı su, KÇS: Kantaron çiçeği su, DÇS: Dağ çileği meyvesi su, DÇM: Dağ çileği meyvesi metanol, HS: Hiren su, HM: Hiren metanol, DÇÇH: Dağ çileği çiçeği hidrosol, DÇH: Dağ çileği meyvesi hidrosol, DYH: Dağ çileği yaprağı hidrosol, HH: Hiren hidrosol, KYH: Kantaron yaprağı hidrosol, KÇH: Kantaron çiçeği hidrosol, KÇY: Kantaron çiçeği esansiyel yağı, KYY: Kantaron yaprağı esansiyel yağı.

** MİK değeri bitkisel materyal ekstraktları için mg/mL olarak belirtilirken, hidrosol ve esansiyel yağlar için % olarak belirtilmiştir.

*** Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$). Aynı sütunda yer alan küçük harfler ortalama değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$).

**** Test edilen konsantrasyonlarda antibiyofilm aktivite gözlenmemiştir.

Bitkisel materyaller içerisinde dağ çileği meyvesi ile hiren bitkisinin ekstrakt ve hidrosollerinin *S. Typhimurium* ATCC 13311 test kültürünün biyofilm oluşumu üzerine inhibitif etki göstermediği tespit edilmiştir. Çalışmada dağ çileği bitkisinden elde edilen meyve ekstraktlarının, çiçek ve yaprak ekstraktlarına kıyasla çalışılan konsantrasyonlardaki sub-MİK değerlerinde güçlü antibiyofilm aktivite sahip olmadığı saptanmıştır.

Prakash et al. (2020) tarafından yapılan çalışmada kişniş, kimyon, rezene, biber ve limon otu esansiyel yağlarının *S. Typhimurium* tarafından üretilen biyofilmin inhibisyonu üzerinde %44.9 ile %69.3 arasında değişen oranlarda etkili olduğu belirlenmiş olup, en yüksek antibiyofilm aktivite limon otu esansiyel yağında kaydedilmiştir. Esansiyel yağlar sitoplazmik membranın geçirgenliğini arttıran hidrofobik özelliğe sahiptir. Sitoplazmik membranın geçirgenliğinin artması ile hücre içeriğinin ve iyonların sızması sonucunda hücre ölümü gerçekleşmektedir (Oral et al., 2010; Sadekuzzaman et al., 2018). Çalışma kapsamında antibiyofilm aktivitenin esansiyel yağlarda daha yüksek olmasının sebebi esansiyel yağların biyofilm matrisine daha kolay difüze olarak güçlü antimikrobiyal aktivitesi sayesinde biyofilmin yapısını etkilemesine bağlanabilmektedir.

S. Typhimurium ATCC 14028 test kültürünün biyofilm oluşumunun % inhibisyonu üzerinde farklı konsantrasyonlarda bitkisel materyallerin etkisi ile ilgili sonuçlar Tablo 4.6'da özetlenmiştir. MİK/2 değerleri üzerinden değerlendirme yapıldığında dağ çileği yaprağı su ve metanol ile dağ çileği meyvesi su ekstraktının *S. Typhimurium* ATCC 14028 test kültürünün biyofilm oluşumunu >%70 oranında inhibe ederek güçlü antibiyofilm aktivite sergilediği belirlenmiştir. Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının MİK/2, MİK/4 ve MİK/8 konsantrasyonlarında sırasıyla %77.59, %77.48 ve %71.99 oranında güçlü biyofilm inhibisyonu sağladığı tespit edilmiştir. Ancak biyofilm oluşumu inhibisyonu üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). Çalışma kapsamında MİK/8 (0.36 mg/mL) konsantrasyonda en yüksek biyofilm inhibisyonunun dağ çileği yaprağı metanol ekstraktı ile sağlandığı belirlenmiştir.

Tablo 4.6 *S. Typhimurium* ATCC 14028 test kültürünün biyofilm oluşumunun inhibisyonu üzerinde farklı konsantrasyonlarda bitkisel materyallerin etkisi

Bitkisel materyal*	MİK değeri**	<i>S. Typhimurium</i> ATCC 14028 test kültürünün biyofilm oluşumunun inhibisyonu (%)***							
		MİK	MİK/2	MİK/4	MİK/8	MİK/16	MİK/32	MİK/64	MİK/128
DÇÇM	22.05	90.26 (5.99) ^{Aabcd}	68.73 (7.73) ^{Bc}	44.15 (9.94) ^{Cc}	33.53 (9.06) ^{Cde}	18.60 (5.98) ^{De}	5.82 (1.27) ^{Ed}	-	-
DÇÇS	8.80	94.64 (1.17) ^{Aa}	54.85 (6.94) ^{Bd}	33.87 (10.17) ^{Bcde}	41.04 (7.80) ^{Ccd}	34.02 (2.53) ^{Cc}	22.05 (3.65) ^{Db}	17.41 (3.99) ^{Da}	-
DYM	2.85	84.05 (1.70) ^{Ade}	77.59 (8.23) ^{Aab}	77.48 (7.54) ^{Aa}	71.99 (8.34) ^{Aa}	-	-	-	-
DYS	10.09	92.56 (0.16) ^{Aabc}	71.51 (8.64) ^{Bbc}	41.49 (7.89) ^{Bc}	63.83 (8.91) ^{Bb}	40.90 (6.98) ^{Cab}	39.96 (6.70) ^{Ba}	-	-
KYM	21.89	85.39 (1.98) ^{Acde}	42.87 (1.00) ^{Bef}	26.45 (7.25) ^{Cde}	25.37 (2.94) ^{Ce}	24.92 (2.91) ^{Cd}	13.08 (3.19) ^{Dc}	-	-
KÇM	12.00	37.44 (6.64) ^{Ai}	36.46 (2.67) ^{Afg}	35.28 (6.91) ^{ABcd}	29.33 (1.54) ^{Be}	37.96 (3.59) ^{Abc}	-	-	-
KYS	4.65	34.85 (10.39) ^{Ai}	33.47 (10.01) ^{Ag}	3.37 (0.17) ^{Chi}	3.02 (0.06) ^{Cf}	6.37 (3.77) ^{Cf}	18.45 (4.24) ^{Bb}	-	-
KÇS	12.30	86.45 (1.10) ^{Acde}	56.70 (7.17) ^{Bd}	1.49 (0.99) ^{Ch}	7.20 (5.99) ^{Cf}	1.38 (0.18) ^{Cf}	4.66 (3.58) ^{Cd}	1.34 (0.63) ^{Cb}	-
DÇS	25.00	93.69 (0.36) ^{Aab}	82.28 (1.94) ^{Ba}	64.83 (6.03) ^{Cb}	-	-	-	-	-
DÇM	3.12	34.23 (5.12) ⁱ	-	-	-	-	-	-	-
HS	25.00	50.30 (3.82) ^{Ah}	7.13 (0.92) ^{Bii}	-	-	-	-	-	-
HM	12.50	62.41 (1.83) ^{Ag}	48.82 (3.37) ^{Bde}	12.57 (10.56) ^{Cf}	9.62 (6.98) ^{Cf}	-	-	-	-
DÇÇH	50.00	75.74 (4.33) ^{Af}	18.83 (4.91) ^{Bh}	7.52 (0.80) ^{Ch}	-	-	-	-	-
DÇH	50.00	79.75 (0.37) ^{Aef}	5.65 (0.16) ^{Bii}	-	-	-	-	-	-
DYH	50.00	86.16 (4.89) ^{Abcde}	12.57 (1.44) ^{Bhi}	8.02 (5.40) ^{Bh}	-	-	-	-	-
HH	25.00	19.65 (2.94) ^{Ai}	2.46 (1.61) ^{Bi}	-	-	-	-	-	-
KYH	50.00	87.52 (5.82) ^{Abcde}	16.24 (2.80) ^{Bh}	3.65 (0.73) ^{Chi}	-	-	-	-	-
KÇH	50.00	81.83 (4.39) ^{Adef}	21.01 (1.71) ^{Bh}	12.00 (1.84) ^{Cfg}	-	-	-	-	-
KÇY	1.50	94.40 (2.33) ^{Aa}	80.32 (2.48) ^{Ba}	70.95 (9.16) ^{Bab}	47.00 (9.19) ^{Cc}	44.75 (9.60) ^{Ca}	22.46 (9.09) ^{Db}	16.03 (1.48) ^{Da}	-
KYY	1.50	16.79 (3.36) ^{Ai}	19.09 (3.47) ^{Bh}	24.40 (2.73) ^{Be}	-	-	-	-	****

*DÇÇM: Dağ çileği çiçeği metanol, DÇÇS: Dağ çileği çiçeği su, DYM: Dağ çileği yaprağı metanol, DYS: Dağ çileği yaprağı su, KYM: Kantaron yaprağı metanol, KÇM: Kantaron çiçeği metanol, KYS: Kantaron yaprağı su, KÇS: Kantaron çiçeği su, DÇS: Dağ çileği meyvesi su, DÇM: Dağ çileği meyvesi metanol, HS: Hiren su, HM: Hiren metanol, DÇÇH: Dağ çileği çiçeği hidrosol, DÇH: Dağ çileği meyvesi hidrosol, DYH: Dağ çileği yaprağı hidrosol, HH: Hiren hidrosol, KYH: Kantaron yaprağı hidrosol, KÇH: Kantaron çiçeği hidrosol, KÇY: Kantaron çiçeği esansiyel yağı, KYY: Kantaron yaprağı esansiyel yağı.

** MİK değeri bitkisel materyal ekstraktları için mg/mL olarak belirtilirken, hidrosol ve esansiyel yağlar için % olarak belirtilmiştir.

*** Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$). Aynı sütunda yer alan küçük harfler ortalama değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$).

**** Test edilen konsantrasyonlarda antibiyofilm aktivite gözlenmemiştir.

Tez çalışması kapsamında MİK/8 (0.36 mg/mL) konsantrasyonda dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının %71.99 oranında biyofilm oluşumunu inhibe etme yeteneğine sahip olduğu bulunmuştur. Daha düşük test materyali konsantrasyonunda ekstrakt kullanımı ile daha yüksek antibiyofilm aktivite sergilenmesi durumu, tek bir bileşiğin bireysel etkisi yerine farklı kimyasal yapıyı temsil eden çok sayıda farklı fenolik maddenin etki göstermesi ile ilişkilendirilebilmektedir (Oulahal and Degraeve, 2022). Çalışmada aynı zamanda *S. Typhimurium* ATCC 1311 test kültürü üzerindeki MİK/2 değerinde (3.12 mg/mL) etkili inhibisyona neden olmayan (%3.33) dağ çileği meyvesi su ekstraktının *S. Typhimurium* ATCC 14028 test kültürü üzerinde MİK/2 değerinde (12 mg/mL) %82.28 oranında yüksek biyofilm inhibisyonu sağladığı belirlenmiştir (Tablo 4.6).

Sarı kantaron yaprağı metanol ve su ekstraktlarının MİK/2 konsantrasyonlarında *S. Typhimurium* ATCC 13311 test kültürü üzerinde güçlü antibiyofilm aktiviteye sahip olmasına rağmen, sub-MİK konsantrasyonlarda test materyallerinin *S. Typhimurium* ATCC 14028 test kültürünün biyofilm oluşumunu inhibe etme yeteneği düşük bulunmuştur. Bu durumun materyallerin *S. Typhimurium* ATCC 14028 test kültürü üzerinde etkili MİK değerlerinin daha düşük olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Tez çalışması kapsamında sarı kantaron çiçeğinden elde edilen esansiyel yağın MİK/2 ve MİK/4 oranlarında kullanımının *S. Typhimurium* ATCC 14028 test kültürünün biyofilm oluşumunu sırasıyla %80.32 ve %70.95 oranlarında inhibe ederek istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılığa neden olmadan güçlü biyofilm inhibisyonu sağladığı belirlenmiştir ($p>0.05$). Bu sonuçlar kıyaslandığında sarı kantaron çiçeğinden elde edilen esansiyel yağın daha düşük konsantrasyonda *S. Typhimurium* ATCC 14028 test kültürü üzerinde antibiyofilm aktivitesinin daha yüksek olduğu saptanmıştır.

S. Typhimurium ATCC 14028 test kültürü üzerinde sinnamaldehitin antibiyofilm aktivitesinin incelendiği bir çalışmada, test edilen materyalin MİK (0.312 mg/mL) ve 2xMİK (0.624 mg/mL) değerlerinde biyofilm oluşumunu sırasıyla %21 ve %40 oranlarında azalttığı belirlenmiştir (Silva et al., 2018). 15 farklı esansiyel yağ örneğinin *S. Typhimurium* ATCC 14028 test kültürü üzerindeki antibiyofilm aktivitesi üzerinde etkisinin araştırıldığı çalışmada, yüksek miktarda timol ve karvakrol içeren *Lippia origanoides* esansiyel yağının

test kültürüne karşı antimikrobiyal aktivitesinin (MİK₅₀: 0.37 mg/mL, MBK:0.75 mg/mL) yüksek olduğu belirlenmiş olup, biyofilm inhibisyon değerinin de %66.64 olduğu tespit edilmiştir (Guillín et al., 2021).

L. monocytogenes Scott A test kültürünün biyofilm oluşumunun inhibisyonu üzerinde farklı konsantrasyonlarda bitkisel materyallerin etkisi Tablo 4.7’de verilmiştir. Metanol ekstraktları içerisinde dağ çileği çiçeği, yaprağı ve hiren ekstraktlarının MİK/2 oranında kullanımının sırasıyla %82.26, %77.28 ve %80.97 oranında güçlü biyofilm inhibisyonu sağladığı belirlenmiştir. Su ekstraktları içerisinde ise sadece dağ çileği çiçeği su ekstraktının MİK/2 oranında kullanımının %87.36 oranında güçlü biyofilm inhibisyonu sağladığı tespit edilmiştir. Hiren metanol ekstraktının MİK/2 (6.25 mg/mL) konsantrasyonda sadece *L. monocytogenes* Scott A test kültürü üzerinde güçlü antibiyofilm aktiviteye (%71.94) sahip olduğu saptanmıştır. Hidrosoller açısından değerlendirme yapıldığında, sadece hiren hidrosolünün *L. monocytogenes* Scott A test kültürünün biyofilm oluşumunu %71.94 oranında inhibe ettiği belirlenmiştir.

Kantaron çiçeği esansiyel yağının test kültürü üzerinde MİK/2, MİK/4, MİK/8 ve MİK/16 konsantrasyonlarda güçlü antibiyofilm aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Ancak MİK/16 konsantrasyonuna kadar biyofilm oluşumunun inhibisyonu üzerinde kantaron çiçeği esansiyel yağının etkisinin istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı belirlenirken ($p>0.05$), MİK/32 oranında esansiyel yağ kullanımı ile biyofilm oluşumunda %76.77 inhibisyon sağlandığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.7 *L. monocytogenes* Scott A test kültürünün biyofilm oluşumunun inhibisyonu üzerinde farklı konsantrasyonlarda bitkisel materyallerin etkisi

Bitkisel materyal*	MIK değeri**	<i>L. monocytogenes</i> Scott A test kültürünün biyofilm oluşumunun inhibisyonu (%)***							
		MIK	MIK/2	MIK/4	MIK/8	MIK/16	MIK/32	MIK/64	MIK/128
DÇÇM	22.05	90.60 (1.26) ^{Aa}	82.26 (2.57) ^{Aab}	59.23 (4.36) ^{Bb}	39.32 (8.54) ^{Cd}	19.99 (6.04) ^{Dc}	8.87 (7.11) ^{Eb}	-	-
DÇÇS	8.80	88.11 (0.09) ^{Aa}	87.36 (0.89) ^{Aa}	46.40 (2.23) ^{Bc}	25.68 (0.98) ^{Ce}	10.26 (5.29) ^{Dd}	3.05 (2.06) ^{Ec}	7.94 (0.58) ^{Dc}	-
DYM	11.38	87.62 (2.24) ^{Aab}	77.28 (4.63) ^{Bbc}	60.93 (7.73) ^{Cb}	51.54 (2.52) ^{Dc}	5.57 (4.66) ^{Ee}	-	-	-
DYS	5.05	49.64 (2.34) ^{Ae}	39.70 (1.26) ^{Bg}	6.35 (2.93) ^{Cg}	7.49 (0.14) ^{Cf}	2.08 (0.89) ^{Df}	-	-	-
KYM	10.94	0.81 (0.69) ^h	-	-	-	-	-	-	-
KÇM	6.00	7.70 (4.65) ^{Ag}	0.51 (0.21) ^{Bi}	0.51 (0.11) ^{Bg}	6.87 (1.31) ^{Af}	9.34 (6.83) ^{Ade}	-	-	-
KYS	9.29	90.86 (0.48) ^{Aa}	17.07 (3.06) ^{BCi}	18.04 (7.81) ^{Bf}	1.95 (1.06) ^{Eg}	8.06 (1.60) ^{DEde}	10.48 (4.54) ^{CDb}	14.14 (0.71) ^{BCDb}	-
KÇS	12.3	81.93 (1.94) ^{Abc}	4.38 (1.57) ^{DEi}	1.13 (0.92) ^{Fg}	8.35 (2.04) ^{BCf}	2.42 (0.11) ^{EFf}	11.07 (1.72) ^{Bb}	6.78 (1.51) ^{CDc}	-
DÇS	6.25	77.14 (9.78) ^{Acd}	28.38 (12.89) ^{Bh}	-	-	-	-	-	-
DÇM	3.12	71.94 (5.92) ^{Ad}	50.51 (2.65) ^{Bf}	-	-	-	-	-	-
HS	>25.00	-	-	-	-	-	-	-	-
HM	12.50	91.37 (0.35) ^{Aa}	80.97 (4.55) ^{Babc}	-	-	-	-	-	-
DÇÇH	50.00	90.67 (2.09) ^{Aa}	20.97 (6.73) ^{Bhi}	-	-	-	-	-	-
DÇH	50.00	85.84 (0.93) ^{Aab}	55.43 (9.50) ^{Bf}	17.64 (7.05) ^{Cf}	-	-	-	-	-
DYH	50.00	89.80 (3.90) ^{Aa}	60.04 (5.03) ^{Be}	33.47 (6.82) ^{Ce}	-	-	-	-	-
HH	50.00	91.45 (2.89) ^{Aa}	71.94 (6.15) ^{Bcd}	41.56 (0.40) ^{Ccd}	-	-	-	-	-
KYH	50.00	89.85 (3.36) ^{Aa}	56.96 (9.33) ^{Bde}	15.30 (2.33) ^{Cf}	-	-	-	-	-
KÇH	50.00	89.81 (2.46) ^{Aa}	65.50 (3.82) ^{Bde}	38.98 (6.12) ^{Cde}	-	-	-	-	-
KÇY	1.50	92.01 (1.23) ^{Aa}	89.80 (6.27) ^{Aa}	92.69 (1.90) ^{Aa}	91.52 (2.42) ^{Aa}	89.73 (4.20) ^{Aa}	76.77 (3.13) ^{Ba}	52.95 (4.08) ^{Ca}	-
KYY	1.50	43.72 (0.59) ^{Df}	66.11 (0.49) ^{BCde}	65.64 (1.22) ^{Cb}	67.05 (0.56) ^{Bb}	68.46 (0.77) ^{Ab}	-	-	-****

*DÇÇM: Dağ çileği çiçeği metanol, DÇÇS: Dağ çileği çiçeği su, DYM: Dağ çileği yaprağı metanol, DYS: Dağ çileği yaprağı su, KYM: Kantaron yaprağı metanol, KÇM: Kantaron çiçeği metanol, KYS: Kantaron yaprağı su, KÇS: Kantaron çiçeği su, DÇS: Dağ çileği meyvesi su, DÇM: Dağ çileği meyvesi metanol, HS: Hiren su, HM: Hiren metanol, DÇÇH: Dağ çileği çiçeği hidrosol, DÇH: Dağ çileği meyvesi hidrosol, DYH: Dağ çileği yaprağı hidrosol, HH: Hiren hidrosol, KYH: Kantaron yaprağı hidrosol, KÇH: Kantaron çiçeği hidrosol, KÇY: Kantaron çiçeği esansiyel yağı, KYY: Kantaron yaprağı esansiyel yağı.

** MIK değeri bitkisel materyal ekstraktları için mg/mL olarak belirtilirken, hidrosol ve esansiyel yağlar için % olarak belirtilmiştir.

*** Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$). Aynı sütunda yer alan küçük harfler ortalama değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark olduğunu göstermektedir ($p < 0.05$)

**** Test edilen konsantrasyonlarda antibiyofilm aktivite gözlenmemiştir.

Kantaron ekstraktlarına ait sonuçlar incelendiğinde ise *S. Typhimurium* test kültürleri üzerindeki etkisinin aksine *L. monocytogenes* Scott A test kültürü üzerinde düşük antibiyofilm aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Bu bulgunun aksine Somrani et al. (2022) tarafından yapılan çalışmada karanfil esansiyel yağı *S. Enteritidis* test kültürüne kıyasla *L. monocytogenes* test kültürü üzerinde daha yüksek antibiyofilm aktivite göstermiştir. Çalışmada *S. Enteritidis* ve *L. monocytogenes* test kültürleri üzerinde karanfil esansiyel yağının MİK değerleri sırasıyla 0.05 ve 0.1 mg/mL olarak saptanmış olup, MİK değerlerinde yapılan antibiyofilm aktivite analizleri sonucunda test kültürleri üzerinde sırasıyla %20.30 ve %30.02 oranında biyofilm inhibisyonu tespit edilmiştir. Bu durum antibiyofilm aktivite üzerinde kullanılan test materyallerinin MİK konsantrasyonunun önemini göstermiştir.

L. monocytogenes LM17 test kültürünün biyofilm oluşumunun inhibisyonu üzerinde farklı konsantrasyonlarda bitkisel materyallerin etkisi Tablo 4.8’de verilmiştir. Diğer test kültürlerine kıyasla *L. monocytogenes* LM17 test kültürünün biyofilm oluşumunun inhibisyonu üzerinde metanol ekstraktlarının etkisinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Metanol ekstraktları içerisinde dağ çileği çiçeği, yaprağı ve kantaron çiçeği metanol ekstraktlarının MİK/2 oranında kullanımının sırasıyla %80.81, %73.49 ve %88.32 oranında güçlü biyofilm inhibisyonu sağladığı belirlenmiştir. Su ekstraktları içerisinde ise sadece dağ çileği çiçeği su ekstraktının MİK/2 oranında kullanımının *L. monocytogenes* LM17 test kültürünün biyofilm oluşumunda %79.00 oranında güçlü inhibisyon sağladığı belirlenmiştir. Dağ çileği ekstraktlarının çalışmamızda kullanılan test kültürleri (*L. monocytogenes* ve *S. Typhimurium*) üzerindeki etkilerini araştıran bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Kantaron çiçeği esansiyel yağının *L. monocytogenes* LM17 test kültürü üzerinde de yüksek bir antibiyofilm aktivite gösterdiği belirlenirken, MİK/64 oranında kantaron çiçeği esansiyel yağının kullanımı ile dahi %71.19 biyofilm oluşumu inhibisyonu sağlandığı tespit edilmiştir.

Dimkić et al. (2021) tarafından yapılan çalışmada dağ çileği metanol ekstraktının *Enterococcus* spp. tarafından üretilen biyofilm üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada 1.25 mg/mL MİK konsantrasyonunda dağ çileği yaprak metanol ekstraktının *Enterococcus* spp. üzerinde %26.5-82.2 oranında biyofilm inhibisyonu gösterdiği tespit edilmiştir.

Tablo 4.8 *L. monocytogenes* LM17 test kültürünün biyofilm oluşumunun inhibisyonu üzerinde farklı konsantrasyonlarda bitkisel materyallerin etkisi

Bitkisel materyal*	MİK değeri**	<i>L. monocytogenes</i> LM17 test kültürünün biyofilm oluşumunun inhibisyonu (%)***							
		MİK	MİK/2	MİK/4	MİK/8	MİK/16	MİK/32	MİK/64	MİK/128
DÇÇM	22.05	77.99 (3.61) ^{Ae}	80.81 (2.91) ^{Ab}	57.81 (6.93) ^{Bcd}	41.15 (6.00) ^{Cd}	26.23 (3.68) ^{Dde}	15.21 (5.36) ^{Ec}	-	-
DÇÇS	8.80	72.19 (6.37) ^{ABfg}	79.00 (8.01) ^{Abc}	58.99 (7.29) ^{BCcd}	52.14 (9.73) ^{Cc}	21.46 (7.98) ^{De}	14.24 (4.59) ^{Dc}	-	-
DYM	2.85	84.43 (2.38) ^{Acd}	73.49 (9.77) ^{Bcd}	52.95 (8.92) ^{Cd}	28.81 (9.16) ^{Df}	-	-	-	-
DYS	5.05	81.37 (5.81) ^{Ade}	67.24 (2.93) ^{Bd}	65.18 (3.78) ^{ABbc}	36.74 (6.26) ^{Dde}	6.94 (4.15) ^{Ef}	-	-	-
KYM	10.94	87.33 (0.66) ^{Abc}	51.84 (0.41) ^{Be}	31.39 (8.51) ^{Ce}	21.49 (6.62) ^{Dg}	4.13 (1.98) ^{Ef}	-	-	-
KÇM	48.01	86.88 (1.49) ^{Abcd}	88.32 (0.59) ^{Aa}	57.13 (2.32) ^{Bcd}	21.06 (5.93) ^{Cg}	50.88 (10.96) ^{Bc}	-	-	-
KYS	9.29	69.65 (4.02) ^{Ag}	29.38 (3.43) ^{BCg}	21.49 (6.14) ^{Cf}	32.15 (3.82) ^{Bef}	29.41 (6.08) ^{BCd}	21.95 (6.94) ^{Cb}	5.03 (2.90) ^{Db}	-
KÇS	12.30	77.45 (3.31) ^{Aed}	38.13 (6.24) ^{Bf}	25.98 (4.33) ^{Cef}	-	-	-	-	-
DÇS	1.56	28.63 (3.23) ¹	-	-	-	-	-	-	-
DÇM	1.56	-	-	-	-	-	-	-	-
HS	12.50	21.42 (3.24) ^{Ci}	58.02 (2.73) ^{Ae}	60.21 (2.92) ^{Acd}	37.74 (4.37) ^{Bde}	-	-	-	-
HM	6.25	-	-	-	-	-	-	-	-
DÇÇH	50.00	90.77 (1.26) ^{Aab}	18.69 (1.48) ^{Bh}	11.25 (4.46) ^{Cg}	-	-	-	-	-
DÇH	50.00	91.52 (0.34) ^{Aab}	28.57 (2.75) ^{Bg}	20.85 (4.25) ^{Cf}	-	-	-	-	-
DYH	50.00	91.45 (2.57) ^{Aab}	27.21 (4.81) ^{Bg}	25.99 (2.81) ^{Bef}	-	-	-	-	-
HH	50.00	91.97 (3.37) ^{Aab}	42.77 (2.78) ^{Bf}	22.88 (3.39) ^{Cf}	-	-	-	-	-
KYH	50.00	89.52 (7.42) ^{Aabc}	19.38 (2.08) ^{Bh}	3.61 (1.60) ^{Ch}	-	-	-	-	-
KÇH	50.00	94.09 (0.53) ^{Aa}	27.78 (1.39) ^{Bg}	2.85 (1.81) ^{Ch}	-	-	-	-	-
KÇY	1.50	94.41 (0.77) ^{Aa}	93.24 (2.65) ^{ABa}	94.36 (1.07) ^{Aa}	94.88 (0.21) ^{Aa}	92.26 (1.91) ^{ABa}	89.12 (5.31) ^{Ba}	71.19 (1.86) ^{Ca}	-
KYY	1.50	51.38 (0.61) ^{Eh}	67.59 (0.30) ^{Cd}	71.99 (1.09) ^{Ab}	70.84 (0.54) ^{Bb}	62.01 (0.43) ^{Db}	-	-	*****

*DÇÇM: Dağ çileği çiçeği metanol, DÇÇS: Dağ çileği çiçeği su, DYM: Dağ çileği yaprağı metanol, DYS: Dağ çileği yaprağı su, KYM: Kantaron yaprağı metanol, KÇM: Kantaron çiçeği metanol, KYS: Kantaron yaprağı su, KÇS: Kantaron çiçeği su, DÇS: Dağ çileği meyvesi su, DÇM: Dağ çileği meyvesi metanol, HS: Hiren su, HM: Hiren metanol, DÇÇH: Dağ çileği çiçeği hidrosol, DÇH: Dağ çileği meyvesi hidrosol, DYH: Dağ çileği yaprağı hidrosol, HH: Hiren hidrosol, KYH: Kantaron yaprağı hidrosol, KÇH: Kantaron çiçeği hidrosol, KÇY: Kantaron çiçeği esansiyel yağı, KYY: Kantaron yaprağı esansiyel yağı.

** MİK değeri bitkisel materyal ekstraktları için mg/mL olarak belirtilirken, hidrosol ve esansiyel yağlar için % olarak belirtilmiştir.

*** Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark olduğunu göstermektedir (p<0.05). Aynı sütunda yer alan küçük harfler ortalama değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark olduğunu göstermektedir (p<0.05).

**** Test edilen konsantrasyonlarda antibiyofilm aktivite gözlenmemiştir.

Kantaron yağlarının antibiyofilm etkisi *S. aureus* UAMS-1 suşuna karşı incelenmiş olup, yağların minimum biyofilm inhibisyon konsantrasyonları (MBIC₅₀) %0.004-0.016 olarak tespit edilmiştir (Lyles et al., 2017). Literatür taramasında sarı kantaron ve hirenin *S. aureus*, *E. faecalis* ve *P. aeruginosa* test kültürleri üzerine antibiyofilm aktivitesi ile ilgili sınırlı sayıda çalışma olduğu belirlenmiştir (Jakobsen et al., 2012; Schiavone et al., 2013; Nazlı et al., 2019). Belirtilen test kültürleri ile ilgili literatürde araştırmaya rastlanmamıştır.

4.2.3 Bitkisel materyallerin biyofilm eradikasyonu analiz sonuçları

Bu çalışmada test edilen tüm bitkisel materyaller ve mikroorganizmalar göz önüne alındığında, bitkisel materyallerin biyofilm oluşumunu en fazla dağ çileği meyvesi su ekstraktı ile %71.50 oranında ortadan kaldırdığı tespit edilmiştir (Tablo 4.9).

Tablo 4.9 Bitkisel materyallerin biyofilm eradikasyonu analiz sonuçları

Bitkisel materyal*	Bitkisel materyallerin biyofilm eradikasyonu üzerine etkisi (%)**, ***			
	<i>S. Typhimurium</i> ATCC 13311	<i>S. Typhimurium</i> ATCC 14028	<i>L. monocytogenes</i> Scott A	<i>L. monocytogenes</i> LM17
DÇÇM	12.15 (2.42) ^{Df}	22.57 (1.62) ^{Cb}	30.87 (1.13) ^{Bb}	60.88 (1.60) ^{Ab}
DÇÇS	-****	-	-	51.40 (0.93) ^d
DYM	-	-	-	39.07 (0.99) ^g
DYS	-	-	-	35.47 (0.39) ^h
KYM	-	-	-	43.05 (1.41) ^f
KÇM	-	-	-	48.88 (1.59) ^e
KYS	-	-	-	31.62 (1.30) ⁱ
KÇS	-	-	-	19.52 (2.52) ⁱ
DÇS	-	-	-	71.50 (1.57) ^a
DÇM	-	-	-	53.12 (0.73) ^d
HS	-	-	-	-
HM	-	-	-	55.29 (1.55) ^c
DÇÇH	30.39 (0.08) ^{Ab}	27.27 (2.18) ^{Ba}	13.66 (0.89) ^{Cd}	-
DÇH	-	-	8.10 (2.31) ^{Ac}	7.16 (0.49) ^{Aj}
DYH	14.18 (0.39) ^{Be}	-	18.12 (2.77) ^{Ac}	1.20 (0.85) ^{Ck}
HH	20.47 (4.60) ^{Bd}	-	36.79 (1.23) ^{Aa}	9.18 (2.55) ^{Cj}
KYH	37.99 (0.61) ^a	-	-	-
KÇH	32.06 (1.05) ^{Ab}	11.03 (3.53) ^{BCc}	13.92 (3.72) ^{Bd}	7.34 (0.92) ^{Cj}
KÇY	23.31 (0.87) ^{Ac}	-	3.99 (2.72) ^{Bf}	-
KYY	-	-	-	-****

*DÇÇM: Dağ çileği çiçeği metanol, DÇÇS: Dağ çileği çiçeği su, DYM: Dağ çileği yaprağı metanol, DYS: Dağ çileği yaprağı su, KYM: Kantaron yaprağı metanol, KÇM: Kantaron çiçeği metanol, KYS: Kantaron yaprağı su, KÇS: Kantaron çiçeği su, DÇS: Dağ çileği meyvesi su, DÇM: Dağ çileği meyvesi metanol, HS: Hirensu, HM: Hirensu metanol, DÇÇH: Dağ çileği çiçeği hidrosol, DÇH: Dağ çileği meyvesi hidrosol, DYH: Dağ çileği yaprağı hidrosol, HH: Hirensu hidrosol, KYH: Kantaron yaprağı hidrosol, KÇH: Kantaron çiçeği hidrosol, KÇY: Kantaron çiçeği esansiyel yağı, KYY: Kantaron yaprağı esansiyel yağı.

**Bitkisel materyal ekstraktlarının 2x MİK, hidrosoller için MİK konsantrasyonlarında elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

***Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark olduğunu göstermektedir ($p<0.05$). Aynı sütunda yer alan küçük harfler ortalama değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark olduğunu göstermektedir ($p<0.05$).

****Test edilen konsantrasyonlarda biyofilm eradikasyonu gözlenmemiştir.

Test edilen bitkisel materyallerin *S. Typhimurium* ATCC 13311 için %12.15 ile %37.99 arasında değişen oranlarda biyofilm eradikasyon etkisinin olduğu, dağ çileği meyvesinden elde edilen ekstrakt ve hidrosollerin bu kültürün oluşturduğu biyofilm üzerinde eradikasyon etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Dağ çileği çiçeği metanol ekstraktının ise 44.1 mg/mL (2xMİK) konsantrasyonda tüm test kültürleri üzerinde %12.15 ile %60.88 arasında değişen biyofilm eradikasyonuna neden olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.9).

S. Typhimurium ATCC 14028 test kültürü üzerinde bitkisel materyallerin eradikasyon etkisi açısından veriler incelendiğinde; hidrosoller içerisinde sadece kantaron ve dağ çileği çiçeği hidrosolünün etkili olduğu belirlenirken, ekstraktlar arasından sadece dağ çileği çiçeği metanol ekstraktının 44.10 mg/mL konsantrasyonda (2xMİK) %22.57 oranında inhibisyon sağladığı belirlenmiştir. Hidrosoller içerisinden ise kantaron çiçeği ve dağ çileği çiçeği hidrosollerinin (%50) sırasıyla %11.03 ve %27.27 oranında inhibisyon sağladığı belirlenmiştir.

L. monocytogenes Scott A test kültürü üzerinde hiren metanol (50 mg/mL) ekstraktının etkisinin olmadığı belirlenirken, hiren hidrosol örneğinin (%50) test materyalleri içerisinde en yüksek biyofilm eradikasyonu gösterdiği (%36.79) belirlenmiştir ($p<0.05$). Hiren hidrosol örneklerinin ardından dağ çileği çiçeği metanol ekstraktının 44.10 mg/mL (2xMİK) konsantrasyonda %30.87 oranında inhibisyon sağladığı belirlenmiştir.

Test kültürleri içerisinde en düşük biyofilm oluşturma yeteneğine sahip test kültürü olan *L. monocytogenes* LM17 üzerinde; hiren su ekstraktı, dağ çileği çiçeği ve kantaron yaprağı hidrosolü ile kantaron esansiyel yağları hariç diğer tüm bitkisel materyaller üzerinde %1.20 ile %71.50 arasında değişen oranlarda biyofilm eradikasyonu tespit edilmiştir (Tablo 4.9). Dağ çileği meyvesi su ekstraktının 12.50 mg/mL (2xMİK) değerinde en yüksek biyofilm eradikasyonu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Dağ çileği meyvesi metanol ekstraktının 2xMİK (6.25 mg/mL) değerinde daha düşük (%53.12) biyofilm eradikasyonu sağladığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Bu durum farklı çözüngenlerin kullanımı ile elde edilen test materyallerinin içeriğinin ve etkili bitkisel materyal konsantrasyonlarının farklı olması nedenleriyle biyofilm eradikasyonu davranışının farklı olabileceği ile açıklanabilmektedir. Sonuç olarak, test edilen tüm mikroorganizmalar üzerinde bu

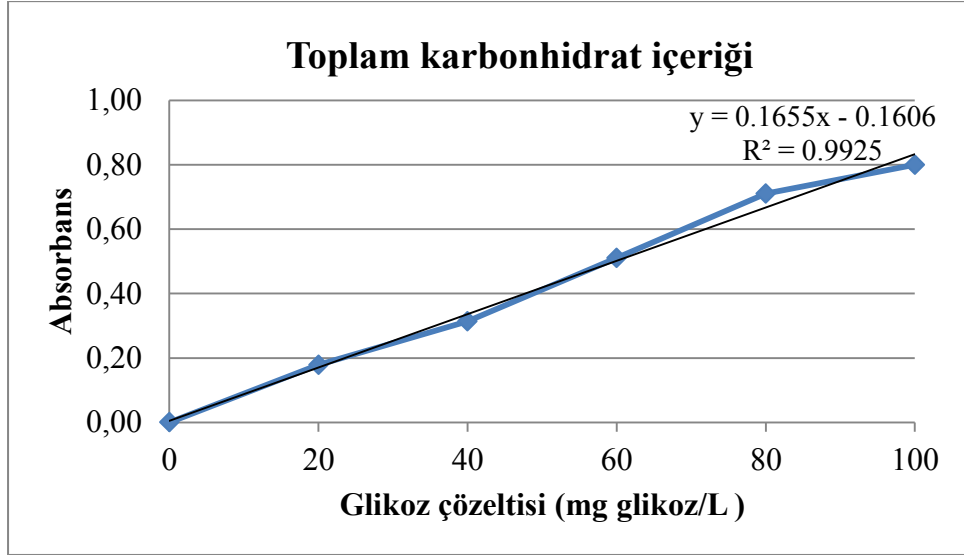
Çalışma kapsamında kullanılan bitkisel materyallerin etkili bir eradikasyona (>%80) neden olmadığı belirlenmiştir (Wang et al., 2020).

Bakteriler oluşturdukları biyofilm sayesinde serbest halde bulunan planktonik hucrelere kıyasla antibiyotik ve dezenfektanlara karşı daha dirençli olabilmektedir (Sanchez et al., 2016; Zhang et al., 2021a). Biyofilm eradikasyonunun etkinliği biyofilmlerin olgunluğuna bağlı olarak önemli ölçüde etkilenmektedir (Ganegama Arachchi et al., 2013). Bu nedenle araştırmacılar biyofilmi ilk aşamasında ortadan kaldırmaya odaklanmaktadır (Srinivasan et al., 2021). Kullanılacak yöntemlerin hucrelere nüfuz etmesini önleyen fiziksel bir bariyer olan biyofilm matrisi, bakterilerin direncini arttırmaktadır (Brindhadevi et al., 2023). Lipitler, kuaterner amonyum bileşikleri ve antimikrobiyal peptitler gibi materyaller ile biyofilmlerle mücadele edilmeye çalışılsa da biyofilmlerin eradikasyonu zor olduğundan hala alternatif arayışları devam etmektedir (Panthi et al., 2024). Bu nedenle bakteriyel biyofilmlerin eradikasyonu için yeni stratejilere ihtiyaç duyulmaktadır (Brindhadevi et al., 2023).

Biyofilmlerin matris yapısı antimikrobiyal maddelerinin difüzyon potansiyelini sınırlayacağı için bu ajanların mikroorganizmalar üzerindeki etkisi kısıtlı olabilmektedir (Gray et al., 2018). Ekzopolisakkaritlerin biyofilm oluşumunda önemli bir role sahip olması nedeniyle ekzopolisakkarit üretiminin engellenmesi biyofilm oluşumunun eradikasyonu için önemli bir yaklaşımdır (Aguayo et al., 2020).

4.2.4 Bitkisel materyallerin ekzopolisakkarit (EPS) retimi üzerine etkisinin belirlenmesi

Bu aşamada bitkisel materyallerin ekzopolisakkarit üretimi üzerine etkisinin belirlenmesi için test edilen mikroorganizmaların EPS retme yetenekleri belirlenmiştir. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan glikoz çözeltileri (20, 40, 60, 80, 100 mg glikoz/L) ile oluşturulan toplam karbonhidrat içeriği standart eğrisi şekil 4.1’de gösterilmiştir.

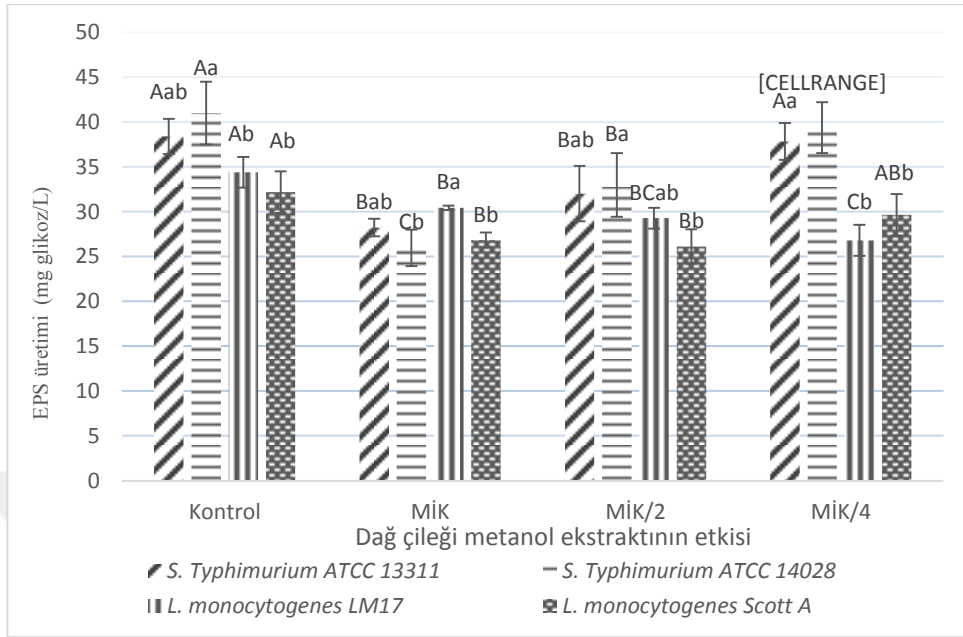


Şekil 4.1 Toplam karbonhidrat içeriği standart eğrisi

Test edilen kültürlerin üretmiş olduğu EPS miktarı ile ekstrakt uygulamaları sonucu elde edilen EPS miktarları bu standart eğri denklemi kullanılarak belirlenmiştir. Denklemden yer alan y parametresi yerine okunan ortalama absorbans değeri yazılarak örneklerin mg glikoz/L cinsinden glikoz içerikleri saptanmıştır. Kültürler tarafından üretilen EPS miktarlarının 32.18-41.02 mg glikoz/L aralığında değiştiği belirlenirken, çalışmada kullanılan aynı kültürlerin farklı suşları tarafından salgılanan EPS miktarlarının istatistiksel olarak birbirinden farklı olmadığı ortaya konulmuştur ($p>0.05$). Ancak test kültürlerinin biyofilm üretme yetenekleri ile ilgili yapılan çalışmada Gram-negatif bakterilerin biyofilm üretiminin Gram-pozitif bakterilerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.4). EPS tabakası polisakkaritler dışında glikolipit, lipit, protein veya peptit ve nükleik asit gibi maddeleri de içeren karmaşık bir yapıdır (Maruzani et al., 2019). EPS miktarının belirlenmesi için literatürde yapılan araştırmalarında en sık kullanılan standart glikoz çözeltisi olsa da (Felz et al., 2019), biyofilm yapısında polisakkaritlerin yanı sıra farklı bileşenler bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında kültürlerin glikoz standardı ile tespit edilen EPS üretme yetenekleri arasında fark olmamasına rağmen biyofilm üretim yetenekleri arasında fark olmasının nedeninin Gram-negatif bakterilerin biyofilm tabakasının daha kompleks bir yapıdan oluşmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Test edilen bitkisel materyaller içerisinde dağ çileği yaprağı ve sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktlarının sub-MİK değerleri kullanılarak, biyofilm analizleri sonucunda elde edilen biyofilm inhibisyonunun $>70\%$ olduğu test kültürleri ile EPS analizleri yapılmıştır. Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının

tüm test kültürleri üzerinde >%70 biyofilm inhibisyonu göstermesi nedeniyle tüm test kültürlerine karşı analizler yapılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Test kültürlerinin EPS üretimi üzerine etkisi (Büyük harfler aynı mikroorganizma üzerinde konsantrasyonlar arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir. Küçük harfler aynı konsantrasyonda mikroorganizmalar arasında istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$))

Elde edilen veriler incelendiğinde, dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının MİK ve MİK/2 konsantrasyonlarda üretilen EPS miktarlarının kontrol örneklerine kıyasla azalttığı belirlenmiştir ($p < 0.05$). Bu durum test materyalinin antibiyofilm aktivitesi ile ilişkilendirilebilmektedir.

Test materyalinin MİK ve MİK/2 konsantrasyonlarında *S. Typhimurium* ATCC 13311 tarafından üretilen EPS miktarları kontrol ile kıyaslandığında azalarak sırasıyla 28.24 ve 32.03 mg/mL olarak saptanmış olup ($p < 0.05$), test materyali konsantrasyonları arasında istatistiksel olarak farklılık olmadığı belirlenmiştir ($p > 0.05$). Ancak MİK/4 konsantrasyonda kullanılan dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının test kültürünün EPS üretimi üzerinde kontrol örnekleri ile kıyaslandığında istatistiksel açıdan etkisi olmadığı belirlenmiştir ($p > 0.05$). Benzer şekilde *S. Typhimurium* ATCC 14028 test kültürünün EPS üretimi üzerinde MİK/4 konsantrasyonda kullanılan dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının test kültürünün EPS üretimi üzerinde kontrol örnekleri ile kıyaslandığında istatistiksel açıdan etkisi olmadığı belirlenmiştir ($p > 0.05$). Ancak MİK konsantrasyonda test kültürünün EPS miktarı kontrol ile kıyaslandığında istatistiksel açıdan anlamlı bir şekilde azalarak 25.99 mg/mL olarak belirlenmiştir

($p<0.05$). MİK/2 konsantrasyonda ise EPS miktarı (33.00 mg/mL) kontrol ile kıyaslandığında (41.02 mg/mL) azalsa da, MİK konsantrasyonda sağlanan EPS miktarından istatistiksel olarak daha yüksek olduğu saptanmıştır ($p<0.05$).

L. monocytogenes LM17 test kültürü için tüm konsantrasyonlarda ekstrakt uygulamasının kontrol örnekleri ile kıyaslandığında daha düşük miktarda EPS üretimine neden olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.2). Benzer şekilde *L. monocytogenes* Scott A test kültürü için MİK ve MİK/2 ekstrakt uygulamasının kontrol örneklerine kıyasla daha az EPS üretimine neden olduğu belirlenmiş olup ($p<0.05$), sadece MİK/4 konsantrasyonda kullanılan dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının test kültürünün EPS üretimi üzerinde kontrol örnekleri ile kıyaslandığında istatistiksel açıdan etkisi olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). Bu durumun bu tez çalışması kapsamında *L. monocytogenes* test kültürlerinin *S. Typhimurium* test kültürlerine kıyasla istatistiksel açıdan daha düşük biyofilm oluşturma yeteneğine sahip olması nedeniyle belirlendiği düşünülmektedir. Farklı biyofilm oluşturma yeteneğine sahip mikroorganizmalar üzerinde kullanılan antimikrobiyallere karşı direncin farklı olmasının üretilen EPS miktarını etkilediği görülmektedir.

Sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktının yalnızca *L. monocytogenes* LM17 üzerine güçlü antibiyofilm ($>70\%$) göstermesi nedeniyle bu ekstraktın diğer test kültürleri üzerine etkisi incelenmemiştir (Tablo 4.10).

Tablo 4.10 Sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktının test kültürleri üzerine etkisi

Test kültürü	Sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktının EPS üretimi üzerine etkisi (mg glikoz/L)*			
	MİK	MİK/2	MİK/4	KONTROL
<i>L. monocytogenes</i> LM17	28.12 (1.72) ^A	37.67 (0.31) ^C	43.05 (0.41) ^D	34.41 (1.77) ^B

*Aynı satırdaki farklı büyük harfler istatistiksel olarak farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$).

Çalışma sonucunda uygulanan konsantrasyonun üretilen EPS miktarı üzerinde etkili olduğu belirlenirken ($p<0.05$), MİK konsantrasyonunda sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktı uygulamasının kontrol örneklerine kıyasla *L. monocytogenes* LM17 tarafından salgılanan EPS miktarını azalttığı belirlenmiştir ($p<0.05$). MİK/2 ve MİK/4 ekstrakt uygulamalarının ise kontrol örneklerine kıyasla üretilen EPS miktarını arttırdığı saptanmıştır. MİK/2 ve MİK/4 konsantrasyonlarda bu durumun tespit edilmesi sadece MİK konsantrasyonunda sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktının metabolik aktiviteyi baskılayarak EPS üretimini azalttığını göstermektedir. Benzer şekilde düşük konsantrasyonda

antimikrobiyal ajan içeren ortamlarda orta düzeyde stres koşullarına maruz kalan hücrelerin canlı kalma veya adaptasyon için EPS üretimini uyardığı belirtilmiştir (Liu et al., 2017). Bu nedenle çalışmada MİK/2 ve MİK/4 konsantrasyonlarda sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktı kullanımının EPS üretiminde artışa neden olduğu düşünülmektedir.

Farklı organik asitlerin (asetik asit, sitrik asit ve laktik asit) *E. coli* ve *Salmonella* spp. tarafından oluşturulan EPS'ye karşı inhibisyon etkisinin incelendiği bir çalışmada, %1 laktik asit kullanımının *E. coli* tarafından üretilen EPS'yi %13.42 oranında azalttığı belirlenirken, sitrik asit ve asetik asitte bu inhibisyon oranları sırasıyla %6.25 ve %10.89 olarak bulunmuştur. *Salmonella* spp. için ise organik asit uygulamasının EPS üretiminin azaltılmasında anlamlı bir etki göstermediği tespit edilmiştir (Amrutha et al., 2017).

Majtan et al. (2008) tarafından yapılan bir çalışmada, 75 farklı *Salmonella* Typhimurium izolatının biyofilm oluşturma güçleri, gentamisin, siprofloksasin ve sefotaksin antibiyotiklerinin izolatlara karşı antibiyofilm etkisi ile EPS üretimine karşı etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, 38 izolat için antibiyotiklerin güçlü antibiyofilm aktivite ($4 \times OD_{\text{kontrol}} < OD_{\text{örnek}}$) gösterdiği belirlenirken, MİK/2 konsantrasyonlarda gentamisin ve siprofloksasin uygulamasının EPS üretimini kontrol örneklerine (90-130 $\mu\text{g/mL}$) kıyasla azalttığı saptanmıştır ($p < 0.001$).

Karanfil esansiyel yağının *L. monocytogenes* tarafından üretilen EPS üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, *L. monocytogenes* tarafından üretilen EPS'nin protein ve ekstraselüler DNA (eDNA)'ca zengin olduğu belirlenirken polisakkarit içeriği daha az bulunmuştur. Çalışma sonucunda 2xMİK karanfil EO uygulamasının ekstraselüler polisakkarit miktarını kontrol örneklerine kıyasla %88.34, ekstraselüler protein miktarını ise %75.61 oranında azalttığı ortaya konmuştur. Çalışılan konsantrasyonlarda karanfil EO uygulamasının ise eDNA üzerinde kontrol örneklerine kıyasla anlamlı bir etkisi belirlenememiştir (Zhang et al., 2020).

L. monocytogenes tarafından üretilen EPS inhibisyonunun incelendiği bir başka çalışmada ise 0.2 mM kuersetin kullanımının çelik plakalarda biyofilm oluşturmuş *L. monocytogenes* üzerine etkisi incelenmiştir. Kontrol örneklerinde 24 saat sonunda ekstraselüler protein miktarı 190.8 $\mu\text{g/cm}^2$ olarak belirlenirken, kuersetin ile muamelenin protein üretimini %41 oranında azalttığı saptanmıştır. Kuersetin uygulamasının ekzopolisakkarit veya ekstraselüler DNA üzerine,

kontrol örneklerine kıyasla anlamlı bir etkisinin olmadığı ortaya konmuştur (Vazquez-Armenta et al., 2018). Gutierrez-Pacheco et al. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada ise 0.66 mM karvakrol kullanımının *P. carotovorum* tarafından üretilen polisakkarit miktarını 22.94 µg GE (glikoz eşdeğeri)/cm²'den (kontrol) 9.11 GE/cm²'ye (%39.71 inhibisyon) düşürdüğü belirlenmiştir. Liu et al. (2021) ise 128 µg/mL karvakrolün biyofilm oluşumunun ilk aşamalarında (12-24. saatler) *E. cloacae* tarafından üretilen EPS miktarını tamamen inhibe ettiğini tespit etmiştir.

Ultrases ve klorojenik asit kullanımının *S. aureus* tarafından salgılanan EPS miktarı üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, kontrol örneklerinde belirlenen çözünabilir ve çözünemeyen polisakkarit miktarlarının sırasıyla 30.41 ve 71.95 µg/mL olduğu ortaya konulmuştur. Ultrases+%2 klorojenik asit uygulaması çözünabilir ve çözünemeyen polisakkarit miktarlarını sırasıyla 9.61 µg/mL ve 12.81 µg/mL'ye düşürürken, *S. aureus* tarafından salgılanan EPS inhibisyonunun sağlanmasında ultrases ve klorojenik asit uygulamalarının kombine kullanımının tek başlarına kullanımlarına kıyasla daha etkili olduğu ifade edilmiştir (Sun et al., 2021).

Bakterilerin ürettiği fiziksel bir bariyer olarak da tanımlanan EPS, biyofilm oluşumunda önemli bir role sahip olmakla birlikte biyofilm oluşturan bakterileri dış etmenlere karşı koruyabilmektedir (Aguayo et al., 2020). Bu nedenle EPS inhibisyonunun sağlanması test materyallerinin antimikrobiyal aktivitesi için önemli bir rol oynamaktadır. Tez çalışması kapsamında yapılan analizler sonucunda MİK konsantrasyonlarda kullanıldığında ekstraktların test kültürleri tarafından üretilen ekzopolisakkarit miktarını azalttığı tespit edilmiştir. Bitkisel materyallerin QS mekanizması tarafından düzenlenen biyofilm oluşumu ve EPS üretimini inhibe etme potansiyeli olduğu belirlenmiştir.

4.2.5 Bitkisel materyallerin antiquorum sensing aktivesinin belirlenmesi

C. violaceum tarafından üretilen viyolasin pigmenti bakterilerdeki QS sürecinin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Viyolasin üretimi, QS mekanizmasını engelleme potansiyeline sahip bitkisel materyaller tarafından inhibe edilebilmektedir. Mor renkli viyolasin pigment miktarındaki değişim ölçülerek QS inhibisyon mekanizması hakkında bilgi edinilmektedir (Dimitrova et al., 2023). Çalışmanın bu aşamasında antimikrobiyal etkisi ortaya konulan bitkisel materyallerin anti-QS potansiyeli araştırılmıştır. Bu amaçla bitkisel materyallerin

MİK ve sub-MİK (MİK/4, MİK/2) konsantrasyonlarında anti-QS aktiviteleri kalitatif ve kantitatif olarak viyolasin pigment inhibisyonu analizleri ile belirlenmiştir.

4.2.5.1. Bitkisel materyallerin kalitatif olarak viyolasin pigment inhibisyonu üzerine etkisi

Farklı bitkisel materyallerin *C. violaceum* ATCC 12472 ve *C. violaceum* ATCC 31532 suşları üzerinde kalitatif anti-QS aktivesinin belirlenmesi için, farklı bitkisel materyallerin MİK, MİK/2 ve MİK/4 konsantrasyonlarında ve farklı hacimlerinde (20, 50, 100 µL) uygulamaları gerçekleştirilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda bitkisel materyallerin *C. violaceum* ATCC 12472 ve *C. violaceum* ATCC 31532 kültürlerinin oluşturduğu viyolasin pigmenti inhibisyonu kaydedilmiş olup, hesaplanan inhibisyon zonları sırası ile Tablo 4.11 ve Tablo 4.12’de verilmiştir.

En yüksek anti-QS etki 21.50 mm inhibisyon zonu ile MİK konsantrasyonunda 100 µL hacimde dağ çileği çiçeği metanol ekstraktı için belirlenmiştir ($p<0.05$). MİK ve MİK/2 konsantrasyonlarda dağ çileği çiçeği metanol ekstraktının farklı hacimlerde kullanımının istatistiksel açıdan anlamlı farklılığa neden olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Dağ çileği çiçeği metanol ekstraktından sonra en yüksek anti-QS etki 16.40 mm inhibisyon zonu ile dağ çileği yaprağı su ekstraktında (100 µL hacimde) kaydedilmiştir. Dağ çileği yaprağı metanol ve kantaron yaprağı metanol ekstraktlarının MİK konsantrasyonunda 100 µL hacimde sırasıyla 12.50 ve 12.90 mm çaplı inhibisyon zonları oluşturduğu, örnekler arasındaki farkın istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktı 20 µL ve 50 µL hacimde kullanıldığında sırasıyla 11.50 ile 18.83 mm inhibisyon zonu sağladığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Ancak kantaron çiçeği ve dağ çileği meyvesi metanol; dağ çileği meyvesi ve hiren su ekstraktları *C. violaceum* ATCC 12472’a karşı herhangi bir konsantrasyonda anti-QS aktivite göstermemiştir.

Tablo 4.11 Bitkisel ekstrakt, hidrosol ve esansiyel yağlarının *C. violaceum* ATCC 12472 üzerindeki etkisi

Konsantrasyon ve hacim	Bitkisel materyallerin <i>C. violaceum</i> ATCC 12472 tarafından üretilen viyolasin pigment inhibisyonu zon çapı (mm)*											
	Test materyalleri**											
	DÇÇM	DÇÇS	DYM	DYS	KYM	HM	KYS	KÇS	DÇÇH	HH	KYH	KÇY
MİK	20 µl	11.50 (2.34) ^{Ab}	9.50 (0.50) ^{Ba}	9.00 (0.50) ^{Bb}	13.20 (2.08) ^{Aa}	-	-	-	-	8.00 (0.89) ^{Bb}	-	-
	50 µl	18.83 (2.04) ^{Ab}	9.60 (1.04) ^{Da}	9.50 (1.50) ^{Db}	13.00 (1.00) ^{Ba}	9.50 (1.23) ^{Da}	-	-	8.50 (1.38) ^{CDa}	9.50 (1.29) ^{Ca}	-	7.50 (0.93) ^{Da}
	100 µl	21.50 (2.17) ^{Aa}	8.33 (1.26) ^{DEa}	12.50 (0.50) ^{Ca}	16.40 (1.82) ^{Ba}	12.90 (2.30) ^C	9.40 (1.71) ^{DEa}	10.13 (1.32) ^D	9.00 (0.89) ^{DE}	8.67 (1.86) ^{DEa}	10.33 (0.58) ^{Da}	7.75 (0.89) ^{Ea}
MİK/2	20 µl	9.63 (0.48) ^c	***	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50 µl	14.00 (1.41) ^{Ab}	-	-	-	-	9.40 (1.52) ^{Ba}	-	-	-	-	-
	100 µl	18.50 (1.64) ^{Aa}	-	-	-	-	9.50 (0.71) ^{Ba}	-	-	8.75 (1.28) ^B	-	-
MİK/4	20 µl	10.93 (3.69) ^a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50 µl	12.33 (2.52) ^a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	100 µl	16.00 (1.01) ^a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Aynı sütundaki farklı küçük harfler aynı test materyali konsantrasyonunda ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Aynı satırdaki farklı büyük harfler aynı kuyucuk hacminde ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

** DÇÇM: Dağ çileği çiçeği metanol, DÇÇS: Dağ çileği çiçeği su ekstraktı, DYM: Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktı, DYS: Dağ çileği yaprağı su ekstraktı, KYM: Kantaron yaprağı metanol ekstraktı, KYS: Kantaron yaprağı su ekstraktı, KÇS: Kantaron çiçeği su ekstraktı, KYS: Kantaron yaprağı su ekstraktı, KÇS, Kantaron çiçeği su ekstraktı, HM: Hiren metanol ekstraktı, DÇÇH: Dağ çileği çiçeği hidrosolü, HH: Hiren hidrosolü, KYH: Kantaron yaprağı hidrosolü, KÇY: Kantaron çiçeği esansiyel yağı

*** Test edilen konsantrasyon ve hacimde anti-QS aktivite tespit edilmemiştir.

Tablo 4.12 Bitkisel ekstrakt, hidrosol ve esansiyel yağlarının *C. violaceum* ATCC 31532 üzerindeki etkisi

Bitkisel materyallerin <i>C. violaceum</i> ATCC 31532 tarafından üretilen viyolasin pigment inhibisyonu zon çapı (mm)*											
Konsantrasyon ve hacim		Test materyalleri**									
		DÇÇM	DYS	KYM	KÇM	KYS	DCM	HM	HH	KÇH	KÇY
MİK	20 µl	11.00 (2.56) ^{ABb}	11.81 (1.99) ^{Ac}	8.50 (0.58) ^{Cb}	-	8.33 (0.58) ^{Ca}	-	-	8.75 (0.57) ^{BCab}	-	-
	50 µl	17.88 (2.42) ^{Ab}	17.25 (1.28) ^{Ab}	9.33 (1.28) ^{Bb}	9.62 (1.11) ^{Ba}	9.13 (0.99) ^{Ba}	-	-	8.25 (1.71) ^{Bb}	-	-
	100 µl	26.00 (3.16) ^{Aa}	20.63 (0.92) ^{Aa}	12.50 (2.33) ^{Ba}	10.75 (1.50) ^{BCa}	8.50 (1.69) ^{Ca}	11.83 (0.23) ^{BC}	11.00 (0.01) ^{BC}	11.25 (2.21) ^{BCa}	9.00 (1.14) ^C	9.67 (0.06) ^{BC}
MİK/2	20 µl	10.01 (1.63) ^{Ac}	-	-	-	7.67 (1.15) ^{Ba}	-	-	-	-	-
	50 µl	16.88 (1.63) ^{Ab}	11.50 (1.78) ^{Ba}	-	-	7.00 (1.01) ^{Ca}	-	-	-	-	-
	100 µl	25.00 (1.15) ^{Aa}	13.50 (2.98) ^{Ba}	-	-	8.50 (1.29) ^{Ca}	-	-	-	-	-
MİK/4	20 µl	11.75 (2.87) ^b	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50 µl	12.50 (2.73) ^b	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	100 µl	18.38 (1.85) ^a	-	-	-	-	-	-	-	-	***

*Aynı sütundaki farklı küçük harfler aynı test materyali konsantrasyonunda ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Aynı satırdaki farklı büyük harfler aynı kuyucuk hacminde ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

** DÇÇM: Dağ çileği çiçeği metanol, DYS: Dağ çileği yaprağı su ekstraktı, KYM: Kantaron yaprağı metanol ekstraktı, KYS: Kantaron yaprağı su ekstraktı, KÇM: Kantaron çiçeği metanol ekstraktı, KYS: Kantaron yaprağı su ekstraktı, DCM: Dağ çileği meyvesi metanol ekstraktı, HM: Hiren metanol ekstraktı, HH: Hiren hidrosolü, KÇH: Kantaron çiçeği hidrosolü, KÇY: Kantaron çiçeği yağı.

*** Test edilen konsantrasyon ve hacimde anti-QS aktivite tespit edilmemiştir.

Farklı bitkisel materyaller içerisinde *C. violaceum* ATCC 12472 suşu üzerinde MİK/2 değerinde sadece hiren hidrosolü (8.75 mm), kantaron yaprağı su ekstraktı (9.50 mm) ve dağ çileği çiçeği metanol (18.50 mm) ekstraktının anti-QS aktivite gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca sadece dağ çileği çiçeği metanol ekstraktının MİK/4 konsantrasyonda *C. violaceum* ATCC 12472'a karşı 10.93-16.00 mm arasında değişen anti-QS aktivite gösterdiği belirlenirken, kullanılan farklı hacimlerin istatistiksel olarak farklılığa neden olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$).

Dağ çileği çiçeği metanol ekstraktı test edilen bütün konsantrasyonlarda anti-QS etki gösterirken, kantaron yaprağı ve dağ çileği yaprağı su ekstraktı ile dağ çileği çiçeği metanol ekstraktının MİK ve MİK/2 konsantrasyonlarda 50 ve 100 µL hacimlerde etki gösterdiği belirlenmiştir. *C. violaceum* ATCC 31532 test kültürüne karşı en etkili anti-QS aktivite sırasıyla 26.00 ve 22.78 mm ile dağ çileği çiçeği metanol ekstraktının MİK/2 ve MİK konsantrasyonlarında 100 µL hacimlerde elde edilmiştir. Dağ çileği çiçeği ve meyvesi metanol ekstraktı ile dağ çileği yaprağı su ekstraktları *C. violaceum* ATCC 31532 üzerinde inhibitif etki gösterirken, dağ çileği yaprağı ekstraktları test edilen konsantrasyonlarda anti-QS etki göstermemiştir.

Dağ çileği yaprağı ve kantaron yaprağı su ekstraktları hariç su ekstraktları anti-QS etki göstermemiştir. *C. violaceum* ATCC 31532 için kantaron yaprağı metanol ekstraktı kantaron yaprağı su ekstraktına kıyasla daha etkili inhibisyon sağlarken, kantaron çiçeği metanol ekstraktı yalnızca MİK konsantrasyonda ve 50 ile 100 µL hacimlerde anti-QS etki göstermiştir.

Elde edilen veriler incelendiğinde *C. violaceum* ATCC 31532 için en etkili hidrosolün 11.00 mm inhibisyon zonu ile hiren hidrosolü olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.11). Literatür incelendiğinde hirenin *C. violaceum* ATCC 31532 suşu üzerinde anti-QS aktivitesinin belirlenmesine yönelik çalışmaya rastlanmamıştır.

Anti-QS aktivite ile ilgili yapılan bir çalışmada, *C. violaceum* kültürlerine karşı kullanılan test materyalleri ile elde edilen inhibisyon zonlarının 7-14 mm olması durumunda test materyalinin duyarlı; 15-19 mm aralığında olması durumunda çok duyarlı; >20 mm olması durumunda ise son derece duyarlı olduğu belirtilmiştir (Das et al., 2024). Tez çalışması kapsamında MİK ve MİK/2 konsantrasyonlarda dağ çileği çiçeği metanol ekstraktının test kültürlerine karşı yüksek düzeyde duyarlılık gösterdiği belirlenmiştir. MİK değerinde kullanılan dağ

ileği yaprağı su ekstraktının *C. violaceum* ATCC 12472 test kültürü üzerinde çok duyarlı olduğu tespit edilirken, ekstraktın *C. violaceum* ATCC 31532 için son derece duyarlı olduğu saptanmıştır. Dağ ileği yaprağı metanol ekstraktının ise MİK değerinde sadece *C. violaceum* ATCC 12472 test kültürü üzerinde duyarlılık gösterdiği bulunmuştur. Tez alışması kapsamında test edilen sarı kantaron yaprağı metanol ekstraktının MİK değerinde kullanımı sonucunda elde edilen inhibisyon zonları değerlendirildiğinde, test materyalinin her iki test kültürü üzerinde duyarlı olduğu (9-14 mm) belirlenmiştir. Benzer şekilde hiren metanol ekstraktının da MİK değerinde kullanıldığında test kültürleri üzerinde duyarlı olduğu saptanmıştır.

Çeşitli bitki türlerinin incelendiği Karamanoli and Lindow (2006) tarafından yapılan çalışmada, dağ ileği yaprağı metanol ekstraktının *Agrobacterium tumefaciens* NT1 suşunu inhibe ettiği belirlenirken, *C. violaceum* ATCC 31532 üzerinde inhibitif etkisinin olmadığı rapor edilmiştir.

Sarı kantaron su ekstraktının *C. violaceum* ATCC 31532 tarafından üretilen viyolasin pigmentinin inhibisyonu üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, su ekstraktının test kültürü için MİK değeri 10 mg/mL olarak belirlenirken pigment inhibisyon değeri (EC₁₀₀) 5 mg/mL olarak bulunmuştur. Bunun yanı sıra kantaron su ekstraktının farklı bitki materyalleri ile kombine kullanımının daha etkili anti-QS etki gösterdiği ifade edilmiştir (Inchagova et al., 2021).

Doğan et al. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, kantaron toprak şt kısımlarının etanol, metanol ve etil asetat ekstraktlarının *P. aeruginosa*'ya karşı anti-QS etki gösterdiği, en etkili ekstraktın ise etanol ekstraktı olduğu saptanmıştır. 22 saatlik inkübasyon süresi sonunda kantaron etanol, metanol ve etil asetat ekstraktlarının anti-QS aktiviteleri sırasıyla %65.4, %59.6 ve %55.9 olarak belirlenmiştir. Farklı yağlar kullanılarak elde edilen kantaron yağı örneklerinin anti-QS ve antibiyofilm aktivitesinin incelendiği bir çalışmada ise *S. aureus*'un 4 farklı suşu (AH1677, AH430, AH1747, AH1872) test edilmiştir. Çalışma sonucunda, test edilen kantaron yağlarının AH1872 suşuna karşı %0.256-0.512 (QSIC₅₀: QS inhibisyon konsantrasyonu (%50)) konsantrasyonlarda anti-QS etki gösterdiği belirlenmiştir. Zeytinyağı ile hazırlanan kantaron yağı AH1677 ve AH1747 suşları üzerine inhibitif etki göstermezken, AH430 suşunda %0.064 konsantrasyonda inhibisyon sağlandığı tespit edilmiştir.

Hirenin anti-QS aktivitesinin incelendiği bir çalışmada, hirenin *P. aeruginosa* için güçlü bir quorum-sensing inhibitörü olduğu belirlenmiş olup, hirenin etken maddelerinden biri olan iberinin 16 µg/mL konsantrasyonda hirenin lasB-gfp füzyon yapısını taşıyan *P. aeruginosa* suşunu tamamen inhibe ettiği belirlenmiştir. Bu durum gen ifadesinde sinyal üretimi üzerinde iberinin güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir (Jakobsen et al., 2012).

Farklı bitki ekstraktlarının (*Prunella vulgaris*, *Sambucus nigra* ve *Calendula officinalis*) anti-QS aktivitesinin araştırıldığı bir çalışmada inhibisyon zonlarının 8.75-13.75 mm arasında değiştiği belirlenmiştir. En düşük anti-QS aktivitenin *S. nigra* meyve metanol ekstraktına ait olduğu belirlenirken, *P. vulgaris* metanol ekstraktının 13.75 mm pigment inhibisyonu sağladığı saptanmıştır (Tosun et al., 2021). Yapılan başka bir çalışmada ise kitosan bazlı film formülasyonuna %1 ve %3 olacak şekilde iki farklı konsantrasyonda etil pirüvat eklendikten sonra *C.violaceum* CV026 ve *P. aeruginosa* (PAO-1) suşları kullanılarak anti-QS aktivitesi araştırılmıştır. Analiz sonuçları dikkate alındığında, test edilen filmlerin test kültürlerine karşı 6.70-8.66 mm aralığında pigment inhibisyonu sağladığı belirlenmiş olup, etil pirüvat ekleme işleminin anti-QS aktivite üzerinde ilave bir etkisi olmadığı saptanmıştır (Kaya vd., 2021).

Analizler sonucunda *C. violaceum* ATCC 31532 suşu üzerindeki bitkisel ekstraktlardan MİK/4 değerinde sadece dağ çileği çiçeği metanol ekstraktının (11.75-18.38 mm) anti-QS aktivite gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 4.12). Çalışma kapsamında elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, dağ çileği çiçeği, yaprağı; sarı kantaron ve hiren ekstraktlarının yüksek anti-QS aktivitesine sahip olduğu saptanmıştır. Ayrıca çözgen olarak metanolün kullanıldığı ekstraktların daha etkili anti-QS aktivite gösterdiği tespit edildiği için ekstraktların sinyal üretimi üzerinde etkili bileşenler içerdiği belirlenmiştir. Literatürde henüz dağ çileği, sarı kantaron ve hiren bitkisinin anti-QS aktivitesinin belirlenmesine yönelik yeterli araştırmaya rastlanmamış olup, elde edilen sonuçların literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

4.2.5.2. Bitkisel materyallerin kantitatif olarak viyolasin pigment inhibisyonu üzerine etkisi

Bitkisel materyallerin MİK, MİK/2 ve MİK/4 konsantrasyonlarda kantitatif olarak viyolasin pigmenti inhibisyonu üzerine etkisi Tablo 4.13'te özetlenmiştir. Test edilen bitkisel materyallerin MİK, MİK/2 ve MİK/4 konsantrasyonlarında değişen oranlarda viyolasin inhibisyonu sağladığı tespit

edilmiştir. *C. violaceum* ATCC 12472 test kültürüne karşı belirlenmiş olan bitkisel materyallerin MİK konsantrasyonlarında %43.90 ile %94.08 arasında, MİK/2 konsantrasyonlarında ise %22 ile %64.61 arasında değişen viyolasin inhibisyonu sağladığı belirlenmiştir. En yüksek viyolasin inhibisyonlarının tespit edildiği bitkisel materyallerin dağ çileği çiçeği ve yaprağı metanol ekstraktları ile kantaron çiçeği su ekstraktında sağlandığı tespit edilmiştir.

Dağ çileği çiçeği ve yaprağı metanol ekstraktları ile dağ çileği çiçeği hidrozolünün en yüksek viyolasin inhibisyonu sağladığı tespit edilmiştir. MİK/4 konsantrasyonlarda bitkisel materyallerin meydana getirdiği viyolasin inhibisyonunun %4.16-50.38 arasında olduğu, en yüksek anti-QS aktivite gösteren test materyalinin dağ çileği çiçeği metanol ekstraktı olduğu tespit edilmiştir.



Tablo 4.13 Bitkisel materyallerin kantitatif olarak viyolasin pigment inhibisyonu üzerine etkisi

No	Bitkisel materyal, ekstrakt/ hidrosol/ EO	Bitkisel materyallerin viyolasin inhibisyonu üzerine etkisi (%)*					
		<i>C. violaceum</i> ATCC 12472			<i>C. violaceum</i> ATCC 31532		
		MİK	MİK/2	MİK/4	MİK	MİK/2	MİK/4
1	Dağ çileği çiçeği, metanol	94.08 (0.20) ^{F1}	62.02 (3.27) ^{Bh1}	50.38 (1.67) ^{Ah}	91.05 (0.56) ^{Eg}	83.54 (1.14) ^{Dg}	76.59 (1.34) ^{Ch}
2	Dağ çileği çiçeği, su	62.02 (3.27) ^{Dde}	22.00 (2.54) ^{Aa}	20.73 (2.20) ^{Ac}	53.80 (2.00) ^{Cb}	41.36 (4.48) ^{Bcd}	--**
3	Dağ çileği yaprağı, metanol	90.53 (0.39) ^{E1}	61.80 (2.26) ^{Dh1}	27.58 (1.20) ^{Bef}	91.86 (0.68) ^{Eg}	54.29 (3.89) ^{Ce}	15.86 (2.21) ^{Ac}
4	Dağ çileği yaprağı, su	65.45 (3.43) ^{Bef}	32.46 (5.89) ^{Ab}	25.74 (2.14) ^{Acdef}	92.01 (0.84) ^{Cg}	85.80 (6.00) ^{Cg}	68.62 (0.83) ^{Bg}
5	Kantaron yaprağı, metanol	70.84 (1.56) ^{Dg}	62.86 (1.78) ^{Ch1}	24.42 (2.52) ^{Bcdef}	74.76 (1.89) ^{Ee}	64.52 (2.18) ^{Cf}	13.49 (0.86) ^{Abc}
6	Kantaron çiçeği, metanol	71.15 (0.27) ^{Dgh}	32.95 (4.20) ^{Bb}	22.13 (2.27) ^{acd}	52.64 (1.91) ^{Cb}	47.33 (5.44) ^{Cd}	--
7	Kantaron yaprağı, su	52.27 (3.34) ^{Db}	41.90 (4.69) ^{Ccd}	21.20 (0.27) ^{Ac}	44.55 (2.69) ^{Ca}	36.94 (2.19) ^{Bbc}	--
8	Kantaron çiçeği, su	90.68 (0.84) ^{E1}	57.96 (3.92) ^{Dgh}	38.54 (3.26) ^{Cg}	91.99 (0.46) ^{Eg}	31.52 (1.44) ^{Bab}	15.66 (1.84) ^{Ac}
9	Dağ çileği meyvesi, su	57.59 (2.74) ^{Ec}	46.35 (2.54) ^{Dde}	6.95 (3.74) ^{Aab}	52.33 (6.24) ^{DEb}	30.73 (0.47) ^{Cab}	17.39 (7.34) ^{Bc}
10	Dağ çileği meyvesi, metanol	56.39 (1.41) ^{Dc}	45.69 (2.59) ^{Cde}	23.13 (5.64) ^{Bcde}	65.21 (4.84) ^{Ed}	56.64 (2.93) ^{De}	1.54 (0.08) ^{Aa}
11	Hiren, su	43.90 (4.05) ^{Ba}	18.39 (1.74) ^{Aa}	TE	71.44 (2.03) ^{Ce}	46.62 (0.45) ^{Bd}	15.21 (2.44) ^{Abc}
12	Hiren, metanol	74.71 (1.79) ^{Dh}	33.40 (2.05) ^{Bb}	21.74 (3.27) ^{acd}	83.43 (3.82) ^{Ef}	39.04 (1.69) ^{Cc}	--
13	Dağ çileği çiçeği, hidrosol	***	64.61 (2.04) ^{C1}	28.40 (1.77) ^{Bf}	-	25.41 (2.13) ^{Aa}	--
14	Dağ çileği yaprağı, hidrosol	-	55.31 (4.01) ^{Dg}	24.71 (3.64) ^{Bcdef}	-	46.39 (4.94) ^{Cd}	11.50 (1.00) ^{Abc}
15	Dağ çileği meyvesi, hidrosol	-	48.04 (2.10) ^{Cef}	26.38 (3.99) ^{Adef}	-	36.34 (3.08) ^{Bbc}	24.14 (9.16) ^{Ad}
16	Hiren, hidrosol	-	52.29 (2.06) ^{Cfg}	25.75 (4.05) ^{Bdefg}	-	28.35 (5.90) ^{Ba}	8.50 (0.47) ^{Ab}
17	Kantaron yaprağı, hidrosol	-	52.51 (3.28) ^{Cfg}	10.65 (0.58) ^{Ac}	-	39.40 (4.99) ^{Bc}	10.94 (1.12) ^{Abc}
18	Kantaron çiçeği, hidrosol	-	52.82 (3.67) ^{Cfg}	6.80 (1.09) ^{Aa}	-	29.70 (3.52) ^{Ba}	17.76 (3.49) ^{Bc}
19	Kantaron çiçeği, EO	58.46 (4.91) ^{Bcd}	36.89 (0.74) ^{Abc}	35.29 (0.47) ^{Ag}	72.35 (0.81) ^{Ce}	63.96 (2.19) ^{Bf}	38.20 (7.34) ^{Af}
20	Kantaron yaprağı, EO	67.94 (2.45) ^{Efg}	22.81 (2.82) ^{Ba}	4.16 (0.51) ^{Aa}	60.65 (2.26) ^{Dc}	29.43 (1.74) ^{BCa}	30.61 (8.21) ^{Ce}

*Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark olduğunu göstermektedir (p<0.05). Aynı sütunda yer alan küçük harfler ortalama değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark olduğunu göstermektedir (p<0.05).

** Test edilen konsantrasyonlarda viyolasin inhibisyonu tespit edilmemiştir.

*** MİK değeri %50 konsantrasyonda tespit edildiği için MİK değerinde viyolasin inhibisyonu analiz edilememiştir.

C. violaceum ATCC 31532 test kültürüne karşı belirlenmiş olan MİK konsantrasyonlarında bitkisel materyallerin %44.55-92.01 arasında değişen oranlarda viyolasin inhibisyonu oluşturduğu belirlenmiştir. Çalışmada en yüksek viyolasin inhibisyonu gösteren bitkisel materyallerin dağ çileği çiçeği ve yaprağı metanol ekstraktları, dağ çileği yaprağı su ekstraktı ve kantaron çiçeği su ekstraktları olduğu belirlenmiştir ($p>0.05$).

C. violaceum ATCC 31532 test kültürüne karşı bitkisel materyallerin MİK/2 konsantrasyonlarında %25.41-85.80 arasında değişen viyolasin inhibisyonu elde edilirken, dağ çileği çiçeği metanol ve dağ çileği yaprağı su ekstraktlarının en yüksek viyolasin inhibisyonu gösterdiği tespit edilmiştir. *C. violaceum* ATCC 31532 test kültürüne karşı belirlenmiş olan MİK/4 konsantrasyonlarında ise bitkisel materyallerin %1.54-76.59 aralığında değişen oranlarda pigment inhibisyonu sağladığı belirlenmiştir. Test edilen konsantrasyonlarda en yüksek inhibisyonun dağ çileği çiçeği metanol ekstraktı ile sağlandığı belirlenmiştir. *C. violaceum* ATCC 31532 test kültürü üzerinde agar kuyucuk yöntemi ile yapılan anti-QS analizlerinde de benzer şekilde dağ çileği çiçeği metanol ekstraktının etkili viyolasin inhibisyonu sağladığı tespit edilmiştir.

Metanol ekstraktları içerisinde yer alan dağ çileği meyvesi ve çiçeği ekstraktının en yüksek viyolasin inhibisyon değerleri MİK konsantrasyonlarında sırasıyla %65.21 ve %91.05 değerleri ile *C. violaceum* ATCC 31532 test kültürüne karşı olduğu saptanmıştır. Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktı ile ilgili sonuçlar incelendiğinde ise iki farklı *C. violaceum* suşunun viyolasin inhibisyon değerleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı farklılık olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). Dağ çileği yaprağı su ekstraktının MİK/2 (%85.80) ve MİK (%91.86) konsantrasyonlarda en yüksek viyolasin inhibisyon değerlerinin *C. violaceum* ATCC 31532 test kültürüne karşı olduğu tespit edilmiştir. Dağ çileği meyvesi ve dağ çileği çiçeği su ekstraktları ile ilgili veriler karşılaştırıldığında ise en yüksek viyolasin inhibisyon değerlerinin %57.59 ve %62.02 olarak *C. violaceum* ATCC 12472 üzerinde etkili olduğu bulunmuştur.

Sarı kantaron çiçeği su ekstraktının en etkili viyolasin pigment inhibisyonunun MİK konsantrasyonda *C. violaceum* ATCC 12472 ve *C. violaceum* ATCC 31532 test kültürleri üzerinde sırasıyla %90.68 ve %91.99 olduğu belirlenmiş olup, bitkisel materyalin iki farklı *C. violaceum* suşu üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı farklılığa neden olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$).

Hiren su ve metanol ekstraktları incelendiğinde ise en etkili viyolasin pigment inhibisyonunun MİK konsantrasyonda *C. violaceum* ATCC 31532 test kültürleri üzerinde sırasıyla %71.44 ve %83.43 olduğu tespit edilmiştir. Veriler hirenin *C. violaceum* suşları üzerinde anti-QS aktivitesinin belirlenmesine yönelik çalışmaya rastlanmadığı için kıyaslanamamıştır. Ancak kalitatif viyolasin inhibisyonu analizleri sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde elde edilen sonuçlar desteklenmektedir. Hiren metanol ekstraktının MİK konsantrasyonda *C. violaceum* ATCC 31532 test kültürü üzerinde viyolasin pigment inhibisyonu zon çapı 11.00 mm olarak saptanmıştır. Hiren hidrosol örneği üzerinde ise *C. violaceum* ATCC 12472 test kültürü üzerinde MİK/2 konsantrasyonda 8.75 mm inhibisyon zonu belirlenmiştir.

Ultrasonik destekli sarı kantaron yaprağı etanol ekstraktının *C. violaceum* ATCC 12472 kültürü tarafından üretilen viyolasin pigmentini MİK ve MİK/2 konsantrasyonlarda sırasıyla 29.1 ± 0.8 ve 14.1 ± 0.3 oranlarında inhibe ettiği belirlenmiştir (Tamfu et al., 2022). Doğan et al. (2019) tarafından *Hypericum perforatum* ile yapılan bir çalışmada, kantaron bitkisinin toprak üstünde yer alan kısımlarının etanol, metanol ve etil asetat ekstraktlarının *P. aeruginosa*'ya karşı anti-QS etki gösterdiği, en etkili ekstraktın ise etanol ekstraktı olduğu saptanmıştır. 22 saatlik inkübasyon süresi sonunda kantaron etanol, metanol ve etil asetat ekstraktlarının anti-QS aktiviteleri sırasıyla %65.4, %59.6 ve %55.9 olarak belirlenmiştir. Fratianni et al. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, *Hypericum connatum* L. etanol ve etil asetat ekstraktlarının anti-QS aktivitesi araştırılmış ve 25 µg etanol ekstraktının mikrobiyal üremeyi kesintiye uğratmadan QS inhibisyon aktivitesi gösterdiği gözlemlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, kalitatif ve kantitatif anti-QS aktivite analiz sonuçlarının uyumlu olduğu görülmüştür. Bitkisel materyallerin kalitatif olarak belirlenen pigment inhibisyon zonları (mm) ile kantitatif viyolasin inhibisyon değerlerinin (%) tutarlı olduğu ve dağ çileği çiçeği ve yaprağı, sarı kantaron ve hiren ekstraktlarının yüksek anti-QS aktivitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

4.2.6 Bitkisel materyallerin antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde miktarı

Kullanılan bitkisel materyallerin antioksidan aktivitelerine ait veriler Tablo 4.14'te özetlenmiştir.

Tablo 4.14 Bitkisel materyal ekstrakt ve hidrosollerinin antioksidan aktiviteleri

Test materyali	% DPPH inhibisyonu*	Fenolik madde miktarı (mg GAE/g)*
Dağ çileği çiçeği metanol ekstraktı	47.04 (0.98) ^e	93.09 (0.12) ⁱ
Dağ çileği çiçeği su ekstraktı	37.53 (2.80) ^{bc}	51.12 (0.43) ^f
Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktı	61.55 (0.70) ^h	120.97 (0.41) ^j
Dağ çileği yaprağı su ekstraktı	39.95 (1.54) ^{cd}	88.44 (0.08) ⁱ
Kantaron yaprağı metanol ekstraktı	54.96 (0.94) ^g	82.11 (0.01) ^h
Kantaron çiçeği metanol ekstraktı	60.22 (2.68) ^h	68.11 (0.09) ^g
Kantaron yaprağı su ekstraktı	43.25 (1.89) ^d	46.98 (0.29) ^e
Kantaron çiçeği su ekstraktı	47.16 (0.48) ^e	31.63 (0.09) ^d
Dağ çileği meyvesi su ekstraktı	51.03 (2.75) ^f	80.43 (3.56) ^h
Dağ çileği meyvesi metanol ekstraktı	46.84 (0.58) ^e	69.48 (4.41) ^g
Hiren su ekstraktı	37.17 (7.62) ^{bc}	29.58 (2.76) ^c
Hiren metanol ekstraktı	42.43 (1.95) ^d	17.04 (2.69) ^b
Dağ çileği çiçeği hidrosolü	27.82 (3.75) ^a	-
Dağ çileği yaprağı hidrosolü	35.70 (3.55) ^b	-
Dağ çileği meyvesi hidrosolü	40.17 (4.04) ^{cd}	-
Hiren hidrosolü	68.09 (3.31) ⁱ	1.745 (0.42) ^a
Kantaron yaprağı hidrosolü	39.94 (5.43) ^{cd}	-
Kantaron çiçeği hidrosolü	42.40 (2.73) ^d	-**

*Aynı sütunda yer alan küçük harfler ortalama değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark olduğunu göstermektedir (p<0.05).

**Fenolik madde miktarı tespit edilememiştir.

Dağ çileği (meyve, çiçek ve yaprak) su ve metanol ekstraktlarının antioksidan aktivitesinin %37.53-61.55 aralığında değiştiği, bu materyal dikkate alındığında en etkili antioksidan aktivitenin dağ çileği yaprağı metanol ekstraktında görüldüğü belirlenmiştir. Dağ çileği meyvesinden elde edilen ekstraktlar hariç, dağ çileği yaprak ve çiçek materyalleri dikkate alındığında, metanol ekstraktlarının daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu bulunmuştur. Bu materyallerin hidrosolleri dikkate alındığında ise en yüksek etki %40.17 ile dağ çileği meyvesinde belirlenirken, dağ çileği hidrosolleri içerisinde en düşük antioksidan aktivite çiçek hidrosolünde (%27.82) saptanmıştır. Dağ çileği materyallerinin fenolik madde miktarına bakıldığında ise en yüksek fenolik içerik 120.97 mg GAE/g ile dağ çileği yaprağı metanol ekstraktında belirlenirken, hidrosollerde fenolik madde miktarı tespit edilememiştir.

Barros et al. (2010) tarafından gerçekleştirilen bir araştırmada dağ çileği meyvelerinden elde edilen metanol ekstraktının fenolik madde miktarı ile flavonoid miktarı ve antioksidan aktivitesi (DPPH, EC₅₀) belirlenmiştir. Çalışma kapsamında fenolik madde miktarı 126.83 mg GAE/g, flavonoid miktarı 34.99 mg CE/g ve antioksidan aktivite 447.92 µg/mL (EC₅₀) olarak tespit edilmiştir. Pallauf

et al. (2008) tarafından yapılan bir çalışmada ise dağ çileği meyvelerinin yüksek antioksidan içeriğine sahip olduğu, meyvelerin antioksidan özelliğinin ise 32.37 mg/100 g yenilebilir porsiyon değerine sahip flavonoid içeriğinden geldiği belirtilmiştir. Ayaz et al. (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, dağ çileği meyvelerinin içerdiği gallik asit miktarı 10.7 mg/g kuru ağırlık olarak bulunurken, Serçe et al. (2010) tarafından yapılan çalışmada dağ çileği meyvelerinin fenolik madde miktarı 3.8 mg GAE/g olarak saptanmıştır. Tez çalışması kapsamında ise dağ çileği meyve metanol ve su ekstraktlarının sırasıyla toplam fenolik madde miktarı 69.48 ve 80.43 mg GAE/g olarak belirlenmiştir. Hasat zamanı, iklim koşulları gibi çeşitli faktörler bitkisel materyallerin içeriği üzerinde etkili olabileceği için belirlenen farklılıkların olabileceği düşünülmektedir (Bobinaitė et al., 2012). Çalışma kapsamında dağ çileği meyvesi metanol ekstraktının toplam fenolik madde miktarı ile uyumlu bir şekilde El Cadi et al. (2020) dağ çileği meyvelerinin etil asetat ve metanol:su (80:20, v/v) ekstraktlarının fenolik madde miktarını sırasıyla 34.8 ve 73.62 mg GAE/g olarak tespit etmiştir. Dağ çileği meyvelerinin etanol ekstraktının fenolik içeriği ve antioksidan aktivitesinin incelendiği bir çalışmada ise fenolik madde miktarı 240 mg GAE/g olarak belirlenirken, ekstraktın antioksidan aktivitesi %92 olarak bulunmuştur (Masmoudi et al., 2020). Dağ çileği meyvelerinin hidroetanolik ekstraktlarının fenolik içeriği ve antioksidan aktivitesinin incelendiği bir çalışmada ise sonuçlar sırasıyla 16.46 mg GAE/g ve 11.66 mmol TE/100 g olarak saptanmıştır (Fortalezas et al., 2010).

Dağ çileği meyvesi hariç diğer dağ çileği materyallerinde metanol ekstraktlarının su ekstraktlarına kıyasla daha yüksek fenolik madde içerdiği tespit edilmiştir. Solvent bazında değerlendirildiğinde ise metanol ekstraktları için fenolik madde miktarının en yüksek olduğu dağ çileği materyalinin dağ çileği yaprağı olduğu (120.97 mg GAE/g) belirlenmiştir. Su ekstraktları için ise en yüksek fenolik madde miktarına dağ çileği meyvesi su ekstraktının (80.43 mg GAE/g) sahip olduğu ortaya konmuştur. Salem et al. (2018) tarafından yapılan çalışmada ise, dağ çileği meyvesi etanol (%80, v/v) ve metanol (%80, v/v) ekstraktlarının fenolik madde miktarı sırasıyla 204.5 mg GAE/g ve 180.75 mg GAE/g olarak tespit edilirken, etanol ekstraktının 324.06 µg/mL EC₅₀ değeriyle metanol ekstraktına (379.50 µg/mL) kıyasla daha etkili antioksidan aktiviteye sahip olduğu ortaya konmuştur.

Kachkoul et al. (2019) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada dağ çileği yaprağının etanol:su (80:20, v/v) ekstraktı ve sıcak su ile demlenmiş (infüzyon)

ekstraktlarının fenolik içeriği araştırılmıştır. Çalışma sonucunda hidroalkolik ekstraktın fenolik madde miktarı 105.45 mg GAE/g olarak belirlenirken, infüzyon ile hazırlanan örneklerin fenolik madde miktarı 104.02 mg GAE/g olarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra hidroalkolik ekstraktın antioksidan aktivitesi $IC_{50}=76.14$ mg/mL olarak saptanırken, infüzyonun IC_{50} değeri 202.64 mg/mL olarak tespit edilmiştir. Malheiro et al. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada ise dağ çileği yapraklarının su ekstraktının fenolik madde miktarının 148-202.1 mg GAE/g aralığında değiştiği saptanmıştır.

Sarı kantaron bitkisinden elde edilen ekstraktlar incelendiğinde, en yüksek antioksidan aktivite %60.22 ile kantaron çiçeği metanol ekstraktında saptanırken, en düşük etki kantaron yaprağı su ekstraktında (%43.25) tespit edilmiştir. Hidrosoller için ise %42.20 DPPH yakalama gücü ile kantaron çiçeği hidrosolünün yaprak hidrosolüne kıyasla daha etkili olduğu saptanmıştır. Bu materyal için metanol ekstraktlarının su ekstraktlarına kıyasla daha etkili antioksidan aktivite gösterdiği ortaya konmuştur. En yüksek fenolik madde miktarı 82.11 mg GAE/g ile kantaron yaprağı metanol ekstraktında belirlenirken, bu ekstraktı sırasıyla kantaron çiçeği metanol (68.11 mg GAE/g), kantaron yaprağı su (46.98 mg GAE/g) ve kantaron çiçeği su (31.63 mg GAE/g) ekstraktları takip etmektedir.

Gioti et al. (2009) tarafından yapılan çalışmada kantaronun farklı kısımlarının (sürgün, çiçeksiz dal, çiçekli dal, çiçek ve tomurcuk) su ekstraktlarının fenolik madde miktarları sırasıyla 228, 184, 190, 162 ve 125 mg GAE/g olarak bulunurken, en etkili antioksidan aktivite (yaklaşık %100) sürgün ve çiçeklerin su ekstraktında saptanmıştır. Kantaron yaprak ve çiçeklerinde elde edilen su ekstraktının fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivitesinin incelendiği bir diğer çalışmada ise, kantaron ekstraktının fenolik madde miktarı 152.8 mg GAE/200 mL olarak belirlenirken antioksidan aktivitesi 430.8 mg Trolox eşdeğeri/200 mL olarak tespit edilmiştir (Kaliora et al., 2014). Çalışma kapsamında kantaron çiçeği su ekstraktının fenolik içeriği 31.63 mg GAE/g olarak belirlenmiştir. Bu değer literatürde yer alan değerler ile kıyaslandığında daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak kullanılan materyallerin farklı coğrafi bölgelere sahip olması ve kullanılan ekstraksiyon tekniğinin farklı olması nedeniyle bitkisel materyallerin aktivitesinde değişiklikler olabilmektedir (Kakouri et al., 2023).

Silva et al. (2008) tarafından yapılan bir çalışmada kantaron çiçeği ve gövdesinin etanol ekstraktının antioksidan aktivitesi araştırılmış olup, çalışma sonucunda kantaron etanol ekstraktının 21 $\mu\text{g/mL}$ EC_{50} değeriyle etkili antioksidan aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Kantaronun toprak üstü kısımlarının etanol ekstraktının antioksidan etkisinin incelendiği bir başka çalışmada ise ekstraktın EC_{50} değeri 49.3 $\mu\text{g/mL}$ olarak belirlenirken, toplam fenolik madde içeriği 40336 $\mu\text{g/g}$ olarak tespit edilmiştir (Silva et al., 2008). Başka bir çalışmada kantaron etanol ekstraktının polifenol içeriğinin %8.85-9.98 aralığında, örneklerin antioksidan aktivitesinin ise 708.89-858.97 $\mu\text{g/mL}$ (IC_{50}) aralığında değiştiği ortaya konmuştur (Brankiewicz et al., 2023).

Hiren su ve metanol ekstraktları için antioksidan aktivite sırasıyla %37.17 ve %42.43 olarak bulunurken hidrosolün antioksidan aktivitesi %68.09 olarak saptanmıştır. En yüksek fenolik madde içeriği ise 29.58 mg GAE/g ile su ekstraktında belirlenmiştir. Hirenin su ve metanol:su (80:20) ekstraktlarının toplam fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivitesinin incelendiği bir çalışmada hiren su ekstraktının toplam polifenol içeriği 9.5 mg GAE/g olarak bulunurken, metanol:su ekstraktında bu değer 6.8 mg GAE/g olarak bulunmuştur. Hiren su ekstraktı polifenollerce zengin olarak bulunurken, hiren metanol:su ekstraktının (%58) hiren su ekstraktına (%48) kıyasla daha etkili antioksidan aktivite gösterdiği tespit edilmiştir (Manuguerra et al., 2020). Bu tez çalışması kapsamında elde edilen veriler incelendiğinde, hiren metanol ekstraktının su ekstraktına kıyasla daha yüksek antioksidan etki gösterdiği görülmektedir. Tomsone et al. (2012) tarafından yapılan çalışmada hiren kökünün etanol (%95) ve etanol:su (80:20, v/v) ekstraktlarının fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivitesi incelenmiştir. Çalışma sonucunda hiren etanol ekstraktının yaklaşık 300-350 mg GAE/100 g, etanol:su ekstraktının ise 250-300 mg GAE/100 g aralığında fenolik madde miktarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Antioksidan aktivite ise sırasıyla yaklaşık %5-16 ve %5-15 olarak belirlenmiştir.

4.2.7 Tarama analizleri sonucunda etkili bitkisel materyal seçimi

Tüm bitkisel materyallerin ekstrakt, esansiyel yağ ve hidrosollerinin tarama analizleri seçim kriterleri doğrultusunda belirlenen 14 kriter içerisinde en fazla kritere uyum sağlayan bitkisel ekstraktların sırasıyla dağ çileği çiçeği (10), yaprağı metanol (10) ve dağ çileği yaprağı su (7) ile kantaron çiçeği ve yaprağı metanol (6) ekstraktlarına ek olarak kantaron çiçeği esansiyel yağı (6) olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.15).

Disk difüzyon yöntemi analizleri sonucunda elde edilen tüm inhibisyon zon ortalamalarının kantaron çiçeği ve dağ çileği yaprağı metanol ekstraktları için sırasıyla 13.65 mm ve 15.02 mm olduğu tespit edilmiştir. %DDPH inhibisyonu değerleri de dikkate alınarak Tablo 4.15 incelendiğinde, dağ çileği yaprağı (%61.55) ve kantaron çiçeği (%60.22) metanol ekstraktlarının öne çıktığı görülmektedir. Bu nedenle, test edilen 20 bitkisel materyal ekstraktı ve hidrosolleri içerisinde dağ çileği yaprağı ve kantaron çiçeği metanol ekstraktlarında sitotoksik aktivite analizleri yapılmıştır.



Tablo 4.15 Tarama analizleri sonrasında elde edilen bilgiler kullanılarak bitkisel materyal seçimi

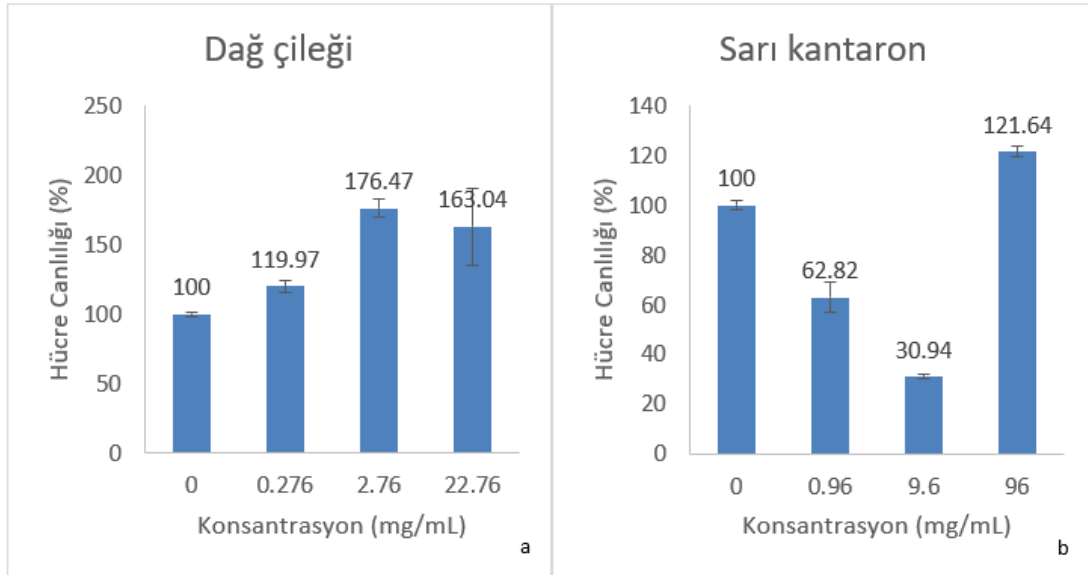
No	KRİTERLER	Çalışmada kullanılan bitkisel materyal ekstrakt/esansiyel yağ/hidrosolü*																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
Disk difüzyon zon çapı> 8 mm																									
1	S. Typhimurium 13311	8	7.3	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
2	S. Typhimurium 14028	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
3	L. monocytogenes LM17	-	-	11.5	8.5	8.8	19.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
4	L. monocytogenes Scott A	-	-	11.2	-	8.5	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
ORTALAMA		7.8	7.3	11.4	8.5	8.7	16.8	13.7																	
5	C. violaceum 12472	14.6	11.5	17	12.7	7.5	9.5	-	-	-	-	-	8.7	8.5	-	-	-	-	-	-	-				
6	C. violaceum 31532	17	15	21	16.6	9	11.5	-	-	-	-	-	8.4	16	-	-	-	-	-	-	-				
ORTALAMA		15.8	13.3	19	14.7	8.3	10.5	8.6														12.3			
MİK/2 de viyolasin inhibisyonu													-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
7	C. violaceum 12472 inhibisyonu zonu> 9 mm	18.5	-	-	-	-	-	9.5	-	-	-	-	-	8.8	-	-	-	-	-	-	-				
8	C. violaceum 31532 inhibisyonu zonu> 9 mm	25	-	-	13.5	-	-	8.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
9	C. violaceum 12472 viyolasin pigmentini > %50 azaltan	62.02	22.00	61.80	32.46	62.86	32.95	41.90	57.96	46.35	45.69	18.39	33.40	64.61	55.31	48.04	52.29	52.51	52.82	36.89	22.81				
10	C. violaceum 31532 viyolasin pigmentini > %50 azaltan	83.54	41.36	54.29	85.80	64.52	47.33	36.94	31.52	30.73	56.64	46.62	39.04	25.41	46.39	36.34	28.35	39.40	29.70	63.96	29.43				
ORTALAMA		72.78		58.05	59.13	63.69					51.17			50.85						50.43					
MİK/2 de biyofilm inhibisyonu																									
11	S. Typhimurium 13311 > %70 biyofilm inhibisyonu	80.61	39.65	71.63	82.47	84.17	48.92	84.26	62.12	3.33	-	4.53	60.61	22.71	16.20	8.08	9.77	6.52	15.66	94.94	18.77				

12	<i>S. Typhimurium</i> 14028 > %70 biyofilm inhibisyonu	68.73	54.85	77.59	71.51	42.87	36.46	33.47	56.70	82.28	-	7.13	48.82	18.83	5.65	12.57	2.46	16.24	21.02	80.32	19.09
13	<i>L. monocytogenes</i> LM17 > %70 biyofilm inhibisyonu	80.81	79.00	73.49	67.24	51.84	88.32	29.38	38.13	-	-	58.02	-	18.69	28.57	27.21	42.77	19.38	27.78	93.24	67.59
14	<i>L. monocytogenes</i> Scott A > %70 biyofilm inhibisyonu	82.26	87.36	77.28	39.70	-	0.51	17.07	4.38	28.38	50.51	-	80.97	20.97	55.43	60.04	71.94	56.96	65.50	89.80	66.11
	ORTALAMA	78.10	65.22	75.00	65.23	59.63	43.55	41.05	40.33	38.00	50.51	23.23	63.47	20.30	26.46	26.98	31.74	24.78	32.49	89.58	42.89
	14 kriter içinde sağlanan kriter sayısı	10	4	10	7	6	6	3	1	1	1	1	3	4	1	0	2	1	1	6	0
	%DPPH ANTİOKSİDAN	47.04	37.53	61.55	39.95	54.96	60.22	43.25	47.16	51.03	46.84	37.17	42.43	68.09	27.82	35.7	40.17	39.94	42.4	-	-
	FENOLİK MADDE	93.09	51.12	121	88.44	82.11	68.11	46.98	31.63	80.43	69.48	29.58	17.04	1.745	-	-	-	-	-	-	-

*1: Dağ çileği çiçeği metanol, 2: Dağ çileği çiçeği su, 3: Dağ çileği yaprağı metanol, 4: Dağ çileği yaprağı su, 5: Kantaron yaprağı metanol, 6: Kantaron çiçeği metanol, 7: Kantaron yaprağı su, 8: Kantaron çiçeği su, 9: Dağ çileği meyvesi su, 10: Dağ çileği meyvesi metanol, 11: Hiren su, 12: Hiren metanol, 13: Hiren hidrosol, 14: Dağ çileği çiçeği hidrosol, 15: Dağ çileği yaprağı hidrosol, 16: Dağ çileği meyvesi hidrosol 17: Kantaron yaprağı hidrosol, 18: Kantaron çiçeği hidrosol, 19: Kantaron çiçeği esansiyel yağı, 20: Kantaron yaprağı esansiyel yağı.

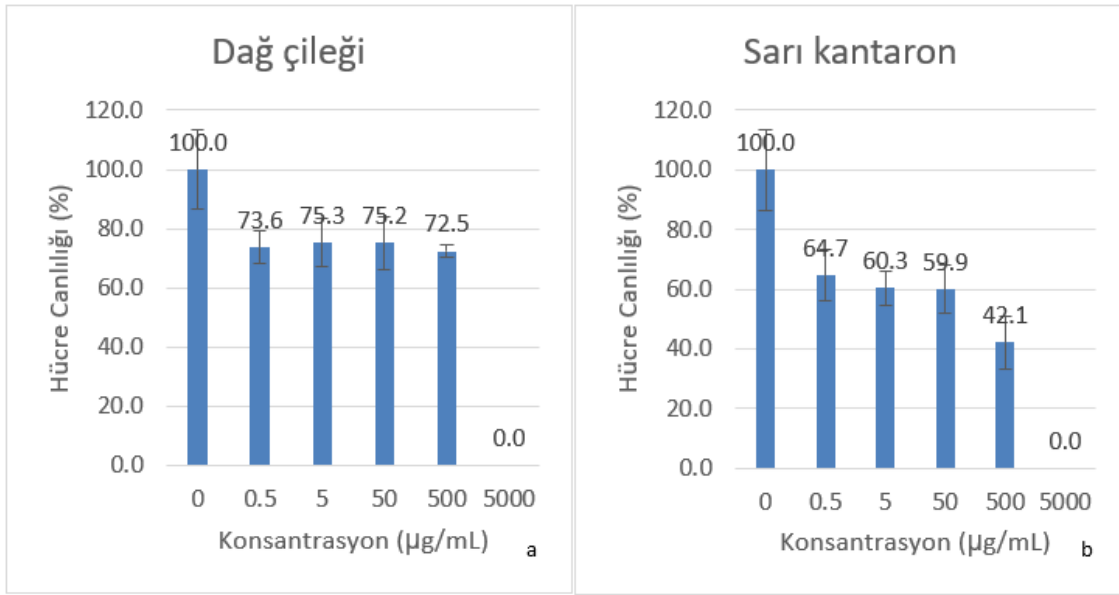
4.2.8 Seçilen bitkisel materyallerin sitotoksik özelliklerinin belirlenmesi

Elde edilen sonuçlar dikkate alınarak seçilmiş biyoaktiviteleri yüksek olan kantaron çiçeği metanol ekstraktı ve dağ çileği yaprağı metanol ekstraktlarının sitotoksik etkileri belirlenmiştir. İlk aşamada Vero hücreleri ile gerçekleştirilen MTT analiz sonuçları Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 MTT analiz sonuçları a) Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktı, b) Sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktı

Literatürde yer alan çalışmalarda sitotoksikite analizlerinde sıklıkla MTT yöntemi kullanıldığı görülmektedir (Benedi et al., 2004; Andrade et al., 2009; Erukainure et al., 2022; Nunes et al., 2023). Ancak bu tez çalışmasında vero hücreleri ile gerçekleştirilen MTT analizinde dağ çileğinin artan konsantrasyonda hücre canlılığında artışa yol açması MTT ile girişim yapmış ve yanlış pozitif sonuç vermiş olabileceğini göstermektedir. Bu sebeple hücre canlılık analizinin WST-1 gibi farklı bir kolorimetrik yöntemle ölçülmesinin uygun olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktında ise 0.96 ve 9.5 mg/mL'lik konsantrasyonlarda hücre canlılığı %70'in altında çıktığı için bu konsantrasyonların hücre ölümü bakımından sitotoksik etki gösterdiği, ancak ilk konsantrasyonun (96 mg/mL) hücre canlılığını arttırmış olması MTT ile yanlış sonuç alındığını göstermektedir. Bu sebeple hücre canlılık analizinin WST-1 gibi farklı bir kolorimetrik yöntemle ölçülmesinin uygun olduğu belirlenmiştir. WST-1 kullanılarak gerçekleştirilen sitotoksikite analizlerine ait grafikler Şekil 4.4'te belirtilmiştir.



Şekil 4.4 WST analiz sonuçları a) Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktı, b) Sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktı

WST analiz sonuçları incelendiğinde, dağ çileği metanol ekstraktının 0.5-500 mg/mL konsantrasyonlarda kullanımı ile hücre canlılığının %72.5-75.3 arasında olduğu belirlenirken, sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktının %42.1 ile %64.7 arasında değişen oranlarda hücre canlılığına neden olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.4). Çalışmada dağ çileği metanol ekstraktının IC_{50} değerinin 849.19 µg/mL olduğu tespit edilmiştir.

Bitkisel ekstraktların sitotoksitesini belirlemek için ABD Ulusal Kanser Enstitüsü (NCI) ve Geran protokolüne göre kategorize etmekte kullanılan kriterler $IC_{50} \leq 20$ µg/mL: yüksek toksisite; $IC_{50} \leq 21-200$ µg/mL: orta toksisite; $IC_{50} \leq 201-500$ µg/mL: zayıf toksisite ve $IC_{50} \geq 501$ µg/mL: toksik değil şeklinde belirtilmiştir (Ayaz et al., 2021). Dağ çileği metanol ekstraktının, IC_{50} değerinin ≥ 501 µg/mL olması nedeniyle toksik olmadığı belirlenmiştir. Sarı kantaron metanol ekstraktının ise IC_{50} değerinin 99.67 µg/mL olduğu tespit edilmiştir. IC_{50} değerinin $IC_{50} \leq 21-200$ µg/mL aralığında olması nedeniyle örneklerin orta toksisiteye sahip olduğu saptanmıştır.

Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktı (50 µg/mL) ile yapılan işlem sonucunda hücre canlılığının %75.2 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca dağ çileği metanol ekstraktının IC_{50} değerinin 849.19 µg/mL olması nedeniyle sitotoksik etki göstermediği belirlenmiştir. Bu durum elde edilen bitkisel materyal içerisindeki bileşenlerin hücreler için toksik hale gelmediğini göstermektedir.

Andrade et al. (2009) tarafından etanol ve aseton/su *Cistus ladanifer* ve *Arbutus unedo* ekstraktlarının insan dermal fibroblastlarının birincil kültür hücreleri üzerindeki sitotoksik

etkileri üzerinde yapılan çalışmalar MTT yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. *C. ladanifer* ekstraktının kullanımının hücre canlılığını arttırdığı tespit edilirken, *A. unedo* ekstraktlarının kullanılan çözümden bağımsız olarak hücre canlılığını azalttığı belirlenmiştir. Dağ çileği ekstraktlarının, MTT analiz sonuçlarının gösterdiği gibi, belirli sitotoksositeye yol açan mitokondriyal dehidrojenaz aktivitesini azaltabildiği tespit edilmiştir. Bitkisel ekstraktların polifenolik fraksiyonlarının antioksidan aktivitesi ve sitotoksosite ilişkileri nedeniyle teşvik ettiği bu hücre canlılığını azaltma durumu farklı test materyalleri için diğer araştırmacılar tarafından da gözlemlenmiştir (Andrade et al., 2009). Dağ çileği yaprak ve meyve ekstraktlarının MTT testi ile insan foreskin fibroblast hücre hattı kullanılarak yapılan analizlerde, kullanılan ekstraksiyon tekniğinden bağımsız olarak insan foreskin fibroblast hücrelerinin hücre canlılığını azaltarak, konsantrasyona bağlı bir şekilde sitotoksik etki gösterdiği tespit edilmiştir. Meyve ekstraktlarının yaprak ekstraktlarına kıyasla daha düşük toksisite gösterdiği belirtilmiştir (Tenuta et al., 2020). Dağ çileği yapraklarının prostat kanseri hücrelerine karşı sitotoksik potansiyelinde ekstraktın seçici olduğu ve normal prostat epitel hücrelerini daha az etkilediği ve düşük toksisitesi göz önüne alındığında ümit verici olduğu düşünülmektedir (Nunes et al., 2023).

Sarı kantaron ekstraktının (SHP) *Feokromasitoma* (PC-12) hücre hattı üzerindeki H_2O_2 ile indüklenen oksidatif hasara karşı standart ekstraktın sağladığı koruyucu etkisi, 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il)-2,5difeniltetrazolyumbromür (MTT), laktat dehidrogenaz (LDH) deneyleri, kaspaz-3-enzim aktivitesi ve reaktif oksijen türlerinin birikimi yoluyla hücre canlılığının ölçülmesi yöntemleri ile belirlenmiştir. 24 saat boyunca tek başına çeşitli konsantrasyonlarda standardize ekstrakt ile muamele edilen hücrelerin hücre canlılığında önemli bir değişiklik görülmemiştir. H_2O_2 'ye maruz kaldığında, PC12 hücre hattındaki canlı kalma oranı büyük ölçüde azalmıştır ancak SHP, PC12 hücrelerini H_2O_2 kaynaklı sitotoksositeye karşı korumuştur. Çalışmada, PC 12 hücrelerinin 24 saat boyunca standart ekstrakt (10 ve 100 $\mu\text{g/mL}$) ile inkübe edilmesinin, H_2O_2 'nin neden olduğu toksisiteye karşı önemli bir koruma sağladığı belirtilmiştir (Benedi et al., 2004).

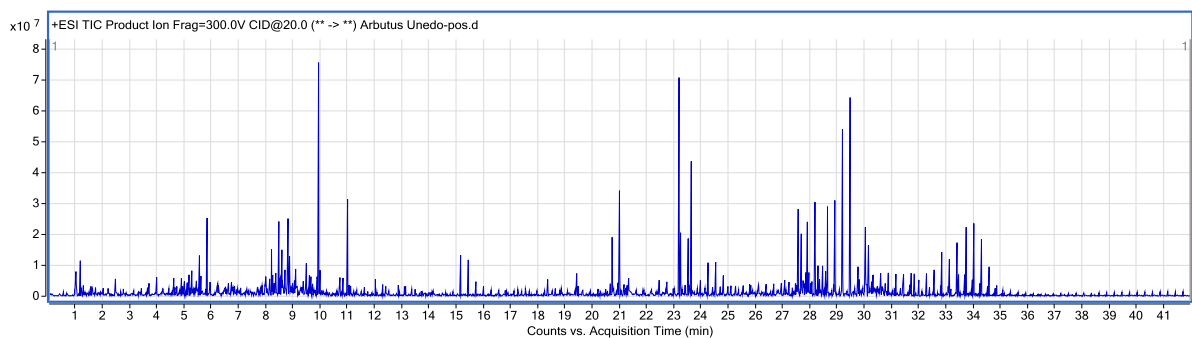
Dağ çileği meyvesi ile yapılan bir çalışmada meyve metanol ekstraktının 400 $\mu\text{g/mL}$ ve 800 $\mu\text{g/mL}$ konsantrasyonlarda diploid hücre hattı (ARPE-19) ve serviks kanser hücre hattı (HeLa) üzerinde düşük düzeyde antiproliferatif etki gösterdiği tespit edilmiştir. Diploid hücre hattında sırasıyla %14.86 ve %26.37; serviks kanser hücre hattında ise sırasıyla %37.51 ve %46.70 inhibisyon sağladığı belirtilmiştir (Ekşi vd., 2019). Diğer bir çalışmada dağ çileği meyvesinin 125 μg GAE/mL konsantrasyona kadar insan nöroblastoma hücre dizisi (SK-N-MC) üzerinde hücre canlılığında herhangi bir toksik etkiye neden olmadığını göstermiştir (Fortalezas et al., 2010).

Jurica et al. (2017) tarafından yapılan çalışmada, en yüksek (%15) hücre ölümünün 400 µg/mL arbutin içeriğine sahip dağ çileği yaprağı su ekstraktı uygulaması ile gözlemlendiği belirtilmiştir. Ancak 200 µg/mL arbutin içeren dağ çileği yaprağı su ekstraktının, hücrelerin kontrollü ölümünü ifade eden apoptozu yüksek konsantrasyonlarda kullanımına göre daha etkin bir şekilde tetiklediği ifade edilmektedir. Araştırmacılar dağ çileği yaprağı su ekstraktının hücresel düzeyde ciddi hasar oluşturma olasılığının düşük olduğunu göstermektedir. Ancak daha ayrıntılı değerlendirme yapabilmek için *in vivo* model sistemlerin çalışılması önerilmiştir. Mariotto et al. (2008) tarafından yapılan çalışmada İtalya'dan toplanan dağ çileği yaprak metanol ekstraktlarının insan alveolar epitelyal A549/8 hücreleri ve insan monositik lösemi THP-1 hücrelerinin canlılığı, farklı konsantrasyonlarda ekstrakt ile 24 saatlik inkübasyondan sonra WST-1 testi kullanılarak ölçülmüştür. Çalışmada dağ çileği yaprağı metanol ekstraktlarının kullanılan konsantrasyonlarda (0.9-29.6 µg/mL) hücre canlılığında herhangi bir azalmaya yol açmadığı belirlenmiştir.

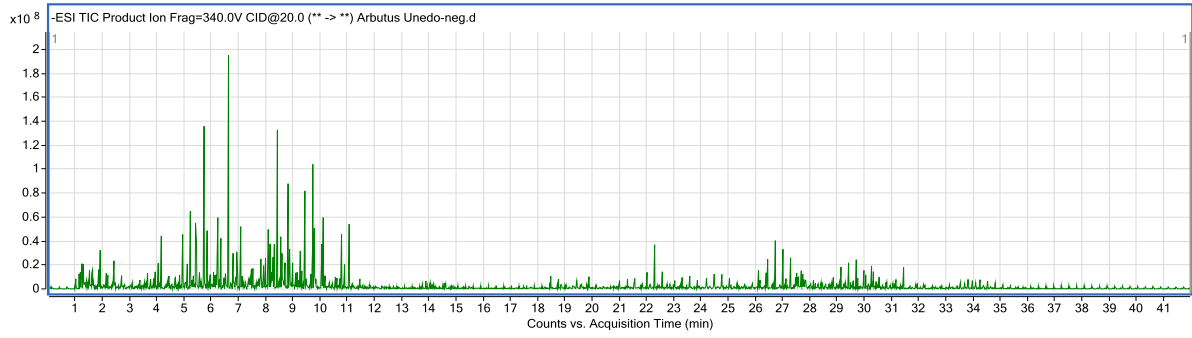
Bu bilgiler göz önüne alındığında tez çalışmasının devamında yenilebilir kaplama için kullanılacak bitkisel materyalin dağ çileği yaprağı metanol ekstraktı olmasına karar verilmiştir.

4.2.9 Seçilen bitkisel materyallerin kimyasal kompozisyonlarının belirlenmesi

Çalışmada kullanılan ekstraktlar olan kantaron çiçeği metanol ekstraktı ve dağ çileği yaprağı metanol ekstraktlarının içeriklerinin belirlenmesi için LC-QTOF/MS analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler negatif ve pozitif mod olmak üzere iki farklı modda gerçekleştirilerek farklı polaritelerde ekstraktların kimyasal içerikleri belirlenmiştir. Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının pozitif ve negatif mod için toplam iyon kromatogramları (TIC) sırasıyla Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da belirtilmiştir.



Şekil 4.5 Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının pozitif mod için toplam iyon kromatogramı



Şekil 4.6 Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının negatif mod için toplam iyon kromatogramı

Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktı için gerçekleştirilen analizler sonucunda pozitif ve negatif modlarda sırasıyla 1362 ve 934 bileşen tanımlanmış olup, skor puanı 80 üzeri olan ve literatürde yer alan bileşenler Tablo 4.16’da verilmiştir.

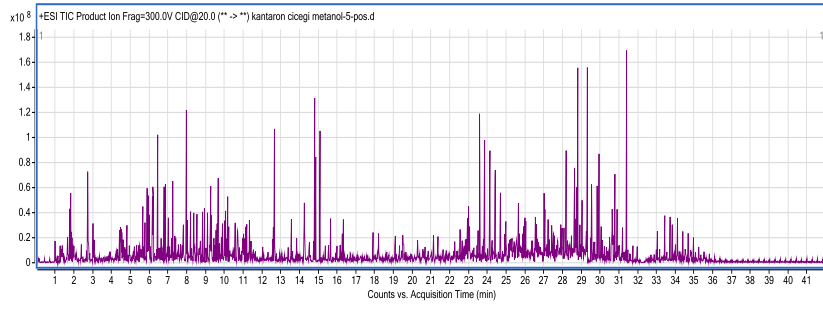
Tablo 4.16 Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktı kimyasal kompozisyonu

İsim	Sınıf	Moleküler formülü	m/z	Skor	Polarite
Rutin	Glikozit	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	609.144	99.74	-,+
Quinic acid	Sikloheksankarboksilik Asit	C ₇ H ₁₂ O ₆	191.0582	91.9	-
Traumatic Acid	Dikarboksilik Asit	C ₁₂ H ₂₀ O ₄	227.1304	99.35	-
Quinalizarin	Tetrahidroksiantrakinon İzomeri	C ₁₄ H ₈ O ₆	271.0253	82.27	-
Quercetin	Flavonol	C ₁₅ H ₁₀ O ₇	301.0355	97.89	-,+
Purpurin	Antrakinon	C ₁₄ H ₈ O ₅	255.0307	94.87	-
Phlorhizin	Glikozit	C ₂₁ H ₂₄ O ₁₀	435.1284	98.3	-
Kaempferol	Flavonol	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	285.0413	99.75	-
Hyperoside	Flavonol Glycoside	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	463.0876	97.96	-
Hyperforin	Prenylated Phloroglucinol	C ₃₅ H ₅₂ O ₄	535.3787	97.54	-
Gallic acid	Fenolik asit	C ₇ H ₆ O ₅	169.0162	96.54	-
Epigallocatechin	Polifenol	C ₁₅ H ₁₄ O ₇	305.0682	98.37	-
Epicatechin gallate	Flavonoid	C ₂₂ H ₁₈ O ₁₀	441.0811	98.16	-
Arbutin	Glikozit	C ₁₂ H ₁₆ O ₇	271.0841	98.66	-
4-Hydroxybenzoic acid	Fenolik asit	C ₇ H ₆ O ₃	137.0253	99.63	-
(-)-Epicatechin	Flavanol	C ₁₅ H ₁₄ O ₆	289.0729	96.81	-,+
(-)-Catechin gallate	Polifenol	C ₂₂ H ₁₈ O ₁₀	441.0811	97.87	-
α-Linolenic Acid	Yağ asidi	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	277.2178	97.96	-
Sucrose	Disakkarit	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	341.1109	98.42	-,+
Stearidonic Acid	Yağ asidi	C ₁₈ H ₂₈ O ₂	275.2024	92.71	-
9(E),11(E)-Conjugated Linoleic Acid	Yağ asidi	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	279.2337	100	-

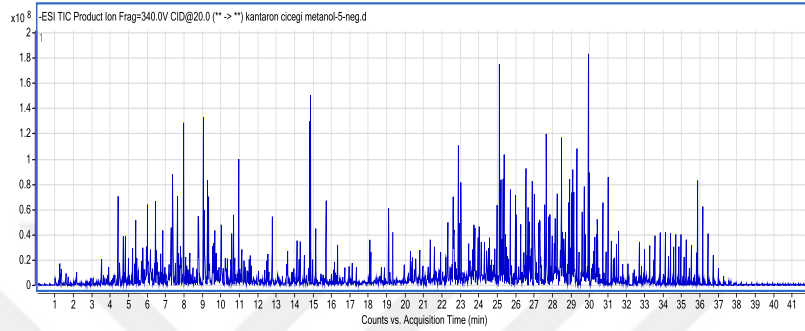
Quercetin 3-O-glucoside	Flavonoid	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	465.1018	91.19	+
Procyanidin B2	Proantosiyanidin	C ₃₀ H ₂₆ O ₁₂	579.149	91.97	+
Nalidixic acid	Kinolone antibiyotik	C ₁₂ H ₁₂ N ₂ O ₃	233.0922	99.96	+
Myricitrin	Flavonol	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	465.1018	92.15	+
Maltotriose	Trisakkarit	C ₁₈ H ₃₂ O ₁₆	527.1592	95	+
Luteolin	Flavonol	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	287.0547	100	+
Kaempferol 7-neohesperidoside	Flavonol Glikozit	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₅	595.1642	91.81	+
Kaempferol 3-glucuronide	Flavonol	C ₂₁ H ₁₈ O ₁₂	463.0859	99.58	+
Irigenol	Fenol	C ₁₅ H ₁₀ O ₈	319.0443	95.15	+
Herbasetin	Flavonol	C ₁₅ H ₁₀ O ₇	303.0498	92.87	+
Glycerophosphocholine	Fosfatilkolin	C ₈ H ₂₁ NO ₆ P	258.1107	99.82	+
Geranylgeraniol	Diterpenoid Alkol	C ₂₀ H ₃₄ O	291.2679	85.57	+
Dehydro (11,12)ursolic acid lactone	Lakton	C ₃₀ H ₄₆ O ₃	455.3511	90.36	+
Astragalin	Glikozit	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	449.107	99.53	+
Amentoflavone	Biflavonoid	C ₃₀ H ₁₈ O ₁₀	539.0961	100	+
Adenosine	Nükleosit	C ₁₀ H ₁₃ N ₅ O ₄	268.1043	100	+
a-Asarone	Fenilpropanoid	C ₁₂ H ₁₆ O ₃	209.1174	86.49	+
3"-O-Galloylquercitrin	Flavanol	C ₂₈ H ₂₄ O ₁₅	601.1174	88.24	+
1-Palmitoylsophosphatidylcholine	Fosfatilkolin	C ₂₄ H ₅₁ NO ₇ P	496.3392	98.59	+
18α-Glycyrrhetic acid	Triterpen glikozit	C ₃₀ H ₄₆ O ₄	471.3458	94.37	+

Dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının flavonol, flavonoid gibi fenolik bileşiklerin yanı sıra yağ asidi ve sakkarit türevleri içerdiği ortaya konmuştur. Analizler sonucunda bu ekstraktın rutin, kuinik asit, kaempferol, kuersetin, hiperforin, gallik asit, arbutin gibi çeşitli bileşenlerce zengin olduğu saptanmıştır. Farklı araştırmacılar tarafından dağ çileği yaprağı ile yapılan araştırmalarda bu çalışmaya benzer şekilde arbutin, rutin, hiperosit gibi bileşenlerin tespit edildiği belirlenmiştir (Jurica et al., 2017; Brčić Karačonji et al., 2021).

Sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktının pozitif ve negatif mod için toplam iyon kromatogramları (TIC) sırasıyla Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de belirtilmiştir.



Şekil 4.7 Sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktının pozitif mod için toplam iyon kromatogramı



Şekil 4.8 Sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktının negatif mod için toplam iyon kromatogramı

Analiz sonucunda sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktında toplamda pozitif ve negatif modlarda sırasıyla 1479 ve 1349 bileşen tanımlanmış olup, skor puanları 80 üzerinde yer alan bileşenlerden literatürde bulunanlar Tablo 4.17’de verilmiştir.

Tablo 4.17 Sarı kantaron çiçeği metanol ekstraktı kimyasal kompozisyonu

İsim	Sınıf	Moleküler formülü	m/z	Skor	Polarite
(-)-Epicatechin	Flavonol	C ₁₅ H ₁₄ O ₆	290.081	99.00	+, -
2-Acetolactic acid	Bütirik asit türevi	C ₅ H ₈ O ₄	132.043	98.68	-
Shikimic acid	Okzokarboksilik asit	C ₇ H ₁₀ O ₅	174.054	97.38	-
2-Isopropyl citrate	Okzokarboksilik asit	C ₉ H ₁₄ O ₇	234.074	98.77	-
4-Glucogallic acid	Glikozit	C ₁₃ H ₁₆ O ₁₀	332.074	98.84	-
5-Carboxyvanillic acid	Karboksilik asit	C ₉ H ₈ O ₆	212.033	98.84	-
Adenine	Nükleotit	C ₅ H ₅ N ₅	135.054	98.22	+
alpha-kamlolenic acid	Oktadekatrienoik asit	C ₁₈ H ₃₀ O ₃	294.220	98.12	-
alpha-licanic acid	Trienoik yağ asidi	C ₁₈ H ₂₈ O ₃	292.204	85.41	-
Caffeic acid	Kuinik asit ve türevleri	C ₉ H ₈ O ₄	180.043	96.77	-
Catechin 3',7-diglucoside	Flavonoid&glikozit	C ₂₇ H ₃₄ O ₁₆	614.184	97.54	-
Epigallocatechin	Polifenol	C ₁₅ H ₁₄ O ₇	306.074	99.45	-
Chlorogenic acid	Polifenol	C ₁₆ H ₁₈ O ₉	354.095	97.02	+, -
Procyanidin C1	Proantosyanidin	C ₄₅ H ₃₈ O ₁₈	866.206	99.08	-
DL-Phenylalanine	Fenilalanin türevi	C ₉ H ₁₁ N O ₂	165.080	84.59	-
D-Pantothenic acid	B5 vitamini	C ₉ H ₁₇ N O ₅	219.111	97.80	-
D-Tryptophan	Triptofan	C ₁₁ H ₁₂ N ₂ O ₂	204.090	86.11	-
Epicatechin-(2beta-	Flavonoid&glikozit	C ₃₀ H ₂₄ O ₁₂	576.127	98.45	+, -

epicatechin					
Epigallocatechin 3-O-(4-hydroxybenzoate)	Kateşin	C ₂₂ H ₁₈ O ₉	426.095	99.03	-
Fusidic acid	Steroid antibiyotik	C ₃₁ H ₄₈ O ₆	516.345	94.74	-
Gallic acid	Fenolik asit	C ₇ H ₆ O ₅	170.022	97.79	-
Ginkgolide C	Terpen lakton	C ₂₀ H ₂₄ O ₁₁	440.130	91.06	-
Glucocaffeic acid	Glikozit	C ₁₅ H ₁₈ O ₉	342.095	98.86	-
Hibiscitrin	Flavonoid&glikozit	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₄	496.084	96.47	-
Hyperforin	Prenylated phloroglucinol	C ₃₅ H ₅₂ O ₄	536.386	99.70	+, -
Hypericin	Antrakınon türevi	C ₃₀ H ₁₆ O ₈	504.083	95.02	-
Hyperoside	Flavonoid	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	464.096	99.10	+, -
Kaempferol	Flavonol	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	286.049	97.54	+, -
Kaempferol 7-O-glucoside	Polifenolik flavonoid	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	448.101	99.56	+, -
L-Gulonate	Gulonat türevi	C ₆ H ₁₂ O ₇	196.059	99.55	-
Malic acid	Hidroksi dikarboksilik asit	C ₄ H ₆ O ₅	134.022	87.42	-
Myricetin 3-o-arabinoside	Flavonoid-3-o-glikozit	C ₂₀ H ₁₈ O ₁₂	450.079	98.74	-
Myricitrin	Flavonol	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	464.096	99.68	+
Procyanidin B1	Proantosiyandin	C ₃₀ H ₂₆ O ₁₂	578.142	99.17	+, -
Procyanidin B2	Proantosiyandin	C ₃₀ H ₂₆ O ₁₂	578.147	91.16	+
Purpurin	Antrakınon	C ₁₄ H ₈ O ₅	256.037	85.21	-
Pyroglutamic acid	Amino asit türevi	C ₅ H ₇ N O ₃	129.043	100.00	-
Quercetin	Flavonol	C ₁₅ H ₁₀ O ₇	302.049	92.76	+
Quercetin 3,4'-diglucoside	Flavonol	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₇	626.148	98.08	+
Quercetin 3-O-glucoside	Kuersetin türevi	C ₂₁ H ₁₈ O ₁₃	478.075	99.46	+, -
Quercetin 7-(6"-	Flavonoid&glikozit	C ₂₃ H ₂₂ O ₁₃	506.106	99.50	+
Rutin	Glikozit	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	610.153	99.57	+, -
Triterpenoid	Terpen	C ₃₀ H ₄₈ O ₇ S	552.313	90.96	-
Tropic acid	Hidroksi monokarboksilik asit	C ₉ H ₁₀ O ₃	166.064	98.37	-
Tubaic acid	Fenolik asit	C ₁₂ H ₁₂ O ₄	220.074	98.27	-

Buna göre kantaron çiçeği metanol ekstraktında kuersetin, kaempferol, hiperosin, hiperisin, rutin, galik asit, klorojenik asit gibi farklı bileşenlerinin olduğu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara benzer şekilde sarı kantaronun hiperisin, hiperforidin gibi naftodiantron türevleri, kateşin, epikateşin polimerleri gibi prosiyanidler, tannik asit, terpenler, amino asitler (glutamin, lizin, prolin vb.), rutin, kaempferol, kuersetin ve hiperosin gibi flavonoidlerce zengin olduğu çeşitli çalışmalarda belirlenmiştir (Mir et al., 2019).

Alahmad et al. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada HPLC-ESI-QTOF MS analizi gerçekleştirilerek sarı kantaron bitkisinin toprak üstü (yaprak, gövde, çiçek vs.) kısımlarının içeriği incelenmiş ve çalışma sonucunda kantaronun hiperisin, rutin, kuersitrin, kuersetin, biapigenin, hiperforin, kuersitrin hidrat, adhiperforin ve klorojenik asit içerdiği bulunmuştur. Benzer şekilde Atalar et al. (2023) ise sarı kantaron ekstraktlarının epikateşin (1.62-4.34

mg/g), klorojenik asit (0.29-2.57 mg/g), hiperosit (3.66-7.01 mg/g), kuersetin-3 glukozit (0.51-1.63 mg/g), rutin (4.43-16.23 mg/g) ve hiperforince (0.40-54.68 mg/g) zengin olduğunu tespit etmiştir.

Tez çalışması kapsamında sarı kantaron metanol ekstraktının kuersetin, kaemferol, hiperosin, hiperisin, rutin, gallik asit, klorojenik asit gibi aktif bileşenler içerdiği ancak ekstraktın orta toksisiteye ($IC_{50}=99.67 \mu\text{g/mL}$) sahip olduğu saptanmıştır. Bu nedenle, çalışmanın devamında yenilebilir kaplama için kullanılacak bitkisel materyalin dağ çileği yaprağı olmasına karar verilmiştir. Daha sonra dağ çileği ekstraktının içerdiği etken madde miktarını arttırmak amacıyla ultrasonik destekli ekstraksiyon koşulları optimize edilmiştir. Optimizasyon sonucunda elde edilen veriler ile validasyon yapılmış olup, bu koşullarda elde edilen ekstraktlar çalışmanın devamında kullanılmıştır.

4.2.10 Seçilen bitkisel materyalin ultrasonik destekli ekstraksiyon koşullarının optimizasyonu

Tez çalışması kapsamında elde edilen antimikrobiyal, antibiyofilm, anti-QS ve antioksidan aktivite analizleri, toplam fenolik madde miktarı ve sitotoksite analizleri sonuçları dikkate alındığında en etkili ekstraktın dağ çileği yaprağı metanol ekstraktı olduğu ortaya konmuştur. Elde edilen dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının içerdiği etken madde miktarını arttırmak amacıyla ultrasonik destekli ekstraksiyon için ön denemeler yapılmıştır. Bu amaçla ilk adım olarak bağımlı ve bağımsız değişkenler belirlenmiş olup, Design Expert 7.0 programı ile Box-Behnken dizaynı kullanılarak bağımlı değişkenlerin (test kültürleri için MİK değeri ve ekstraktın toplam fenolik madde miktarı) minimum, orta ve maksimum değerlerini içeren 17 Run'lık bir deneme deseni elde edilmiştir (Bkz. Tablo 3.1).

Çalışma kapsamında bitkisel materyal:çözgen oranının 1:10 (g/mL, w/v) olması ve optimizasyon yanıtlarından biri olan “minimum MİK değeri eldesi” kriterinin dağ çileği yaprağı metanol ekstraktına karşı en dirençli mikroorganizmalar olduğu tespit edilen *S. Typhimurium* ATCC 13311 ve *L. monocytogenes* Scott A test kültürleri üzerinde belirlenmiştir. Bu doğrultuda belirtilen farklı koşullarda ekstraksiyon yapılan örneklerin analiz sonuçları Tablo 4.18’de özetlenmiştir.

Tablo 4.18 Ekstraksiyon optimizasyonu için Box-Behnken dizaynı kullanılarak elde edilen analiz sonuçları

Run	Uygulama süresi (dk)	Sıcaklık (°C)	Metanol:Su oranı (%)	Ekstraksiyon verimi (%)	Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/g)	% DPPH	S.Typhimurium ATCC 13311		L. monocytogenes Scott A	
							MİK (mg/mL)	MBK (mg/mL)	MİK (mg/mL)	MBK (mg/mL)
1	15	30	62.5	17.68	82.67	90.28	7.50	15.00	7.50	15.00
2	60	30	62.5	11.96	87.24	90.25	7.50	15.00	7.50	15
3	15	60	62.5	18.19	87.32	90.02	7.50	15.00	7.50	7.50
4	60	60	62.5	14.85	88.00	90.12	7.50	-	7.50	7.50
5	15	45	25	14.90	87.10	90.13	7.50	15.00	7.50	15.00
6	60	45	25	13.41	161.84	86.60	3.75	-	3.75	15.00
7	15	45	100	10.95	153.33	94.19	3.75	15.00	3.75	7.50
8	60	45	100	9.87	153.51	93.45	3.75	-	3.75	7.50
9	37.5	30	25	12.69	87.38	90.05	7.50	15.00	7.50	7.50
10	37.5	60	25	18.31	89.25	89.44	7.50	15.00	7.50	7.50
11	37.5	30	100	10.65	156.22	74.49	3.75	-	3.75	7.50
12	37.5	60	100	10.54	158.82	93.46	3.75	-	3.75	7.50
13	37.5	45	62.5	18.42	84.66	90.25	7.50	-	7.50	7.50
13	37.5	45	62.5	18.42	84.66	90.25	7.50	-	7.50	7.50
14	37.5	45	62.5	18.30	86.06	90.09	7.50	-	7.50	7.50
15	37.5	45	62.5	18.24	85.79	89.94	7.50	-	7.50	7.50
16	37.5	45	62.5	18.47	86.39	90.19	7.50	-	7.50	7.50
17	37.5	45	62.5	18.49	84.57	90.22	7.50	-	7.50	7.50

Parametrelerin istatistiksel açıdan önemli olup olmadığının belirlenmesinde ise p değeri dikkate alınmıştır. İstatistiksel açıdan anlamlı olan parametrelerin toplam fenolik madde miktarı ve *S. Typhimurium* ATCC 13311'in MİK konsantrasyonu olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$). Program tarafından verilen deneme deseni ile gerçekleştirilen ekstraksiyon uygulaması sonucunda girilen bütün verilerin ANOVA tablosu sonuçları incelendikten sonra anlamlı farklılık sağlamayan kriterler tablodan çıkarılmış, yalnızca anlamlı bir modele sahip olan kriterler bu kısımda verilmiştir. Bu modelde *S. Typhimurium* ATCC 13311 için MİK değerinin minimum, toplam fenolik madde miktarının maksimum olduğu optimum koşulların bulunması hedeflenmiştir. Elde edilen model denklemi aşağıda verilmiştir.

- Modelin denklemi;

$$S. Typhimurium ATCC 13311 \text{ için MİK değeri} = 7.7 - 0.47 * A - 1.41 * C + 0.94 * A * C - 0.44 * A^2 - 2.32 * C^2$$

Modelin uyum eksikliği kriterinin anlamsız oluşu ise tasarıma eklenmeyen veya çıkarılan kriterlerin model tasarımı üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığını ifade etmektedir. Modelin R^2 değeri 0.9105 olarak verilirken, düzeltilmiş R^2 değeri 0.8699 olarak bulunmuştur. R^2 değerinin 1'e yakın oluşu, modelin güvenilirliği açısından önem taşımaktadır. Modelin verdiği sonuçları gösteren ANOVA sonuçları Tablo 4.19'da özetlenmiştir.

Tablo 4.19 *S. Typhimurium* ATCC 13311 için program tarafından verilen ANOVA tablosu

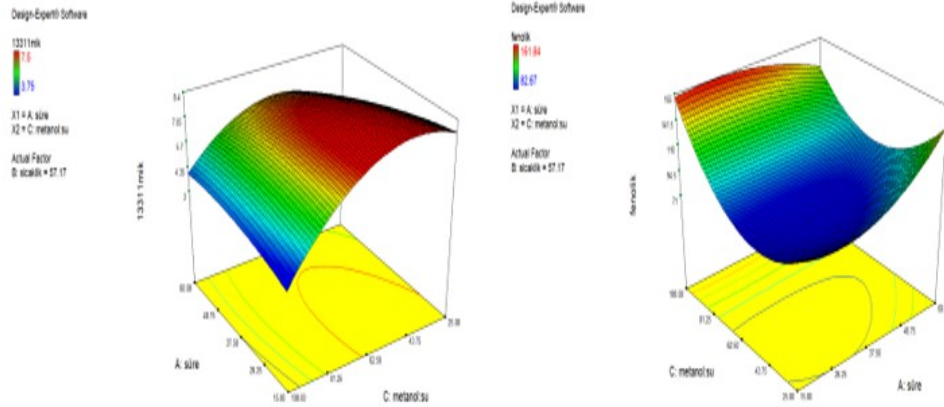
Kaynak	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F Değeri	p-değeri Prob > F	
Model	45.19	5	9.04	22.39	<0.0001	Önemli
A-süre	1.76	1	1.76	4.35	0.0610	
C-metanol:su	15.82	1	15.82	39.19	< 0.0001	
AC	3.52	1	3.52	8.71	0.0132	
A ²	0.83	1	0.83	2.06	0.1788	
C ²	22.71	1	22.71	56.25	< 0.0001	
Kalıntı	4.44	11	0.40			
Uyum Eksikliği	4.44	7			0.63	Önemli değil
Saf Hata	0	4	0.00			

Yapılan seçimlerde 25 farklı sonuç bulunmuş olup, bu sonuçlar içerisinde “desirability” değeri 1 olan ekstraksiyon koşulları olarak %100 metanolün çözügen olarak kullanıldığı 57°C sıcaklıktaki ultrasonik su banyosunda (Elmasonic, Germany) 18 dk işlem süresi seçilmiştir. Modelin verdiği sonuçlarda elde edilmesi beklenen *S. Typhimurium* ATCC 13311 için MİK değeri veya toplam fenolik madde miktarı için tahminlenen puanları içeren bir tahmin tablosu oluşturmuştur (Tablo 4.20).

Tablo 4.20 Yanıt yüzey metodolojisi sonucundan elde edilen tahmin tablosu

Bağımlı değişken	Tahmin	Tahmin (minimum)	Tahmin (maksimum)
<i>S. Typhimurium</i> ATCC 13311 için MİK değeri	3.24	1.50	5.00
Toplam fenolik madde miktarı	162.08	159.74	164.42

Şekil 4.9’da seçilen modele ait 3D grafikler gösterilmiştir. Fenolik madde miktarının maksimum, MİK değerinin minimum olduğu koşullar seçilerek validasyon uygulaması yapılmıştır.



Şekil 4.9 Seçilen modele ait RSM grafikleri

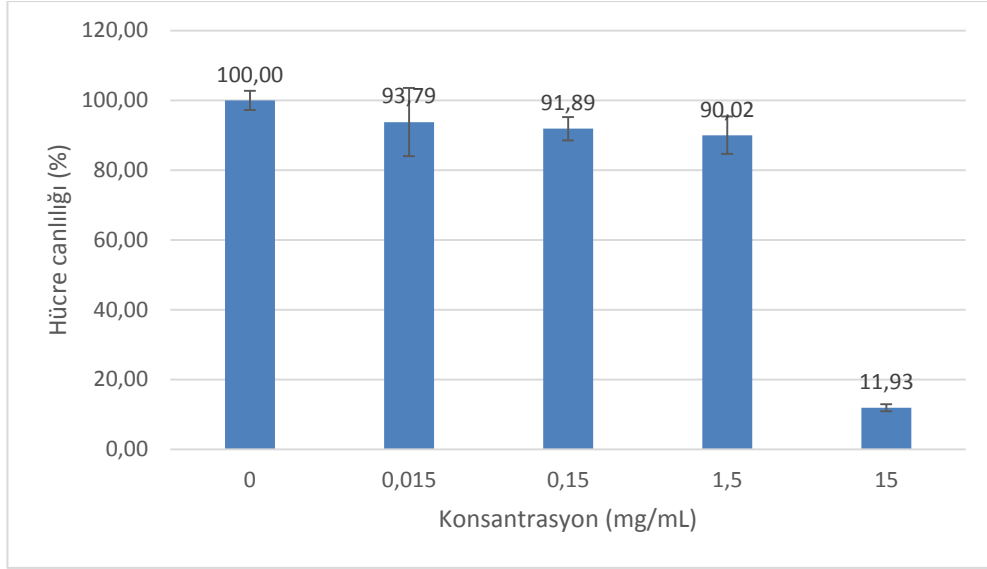
Validasyon analizleri %100 metanolün çözügen olarak kullanıldığı 57°C sıcaklıktaki ultrasonik su banyosunda 18 dk işlem süresinde gerçekleştirilmiştir. Validasyon uygulaması için elde edilen ekstrakt ile yapılan denemelere ait sonuçlar Tablo 4.21’de gösterilmiştir.

Tablo 4.21 Validasyon uygulaması sonucunda elde edilen ekstraktlar ile ilgili veriler

Validasyon denemeleri	
Uygulama süresi (dk)	18
Sıcaklık (°C)	57
Metanol:Su oranı (%)	100
Ekstraksiyon verimi (%)	9.51
Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/g)	163.86
% DPPH	94.92
MİK (mg/mL)	
<i>S.Typhimurium</i> ATCC 13311	5.00
<i>L. monocytogenes</i> Scott A	3.25
MBK (mg/mL)	
<i>S.Typhimurium</i> ATCC 13311	5.00
<i>L. monocytogenes</i> Scott A	3.25

S. Typhimurium ATCC 13311'in üzerinde MİK değeri 5 mg/mL olarak tespit edilirken, 4 ve 3.25 mg/mL konsantrasyonlarda TTC ile renk değişimi olduğu ve bu konsantrasyonların mikroorganizmaları inhibe etmediği belirlenmiştir. Sonuç olarak programın verdiği koşullar valide edilmiş olup, bu koşullarda elde edilen ekstraktların çalışmanın devamında kullanmasının uygun olacağı belirlenmiştir.

Valide edilmiş koşullarda elde edilen ekstraktlar liyofilize edildikten sonra analiz edilinceye kadar -18°C'de saklanmıştır. Test materyallerinin kimyasal kompozisyon ve sitotoksite analizleri hizmet alımı ile gerçekleştirilmiştir. WST yöntemi ile sitotoksisite analizi yapılan dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının hücre canlılığı üzerindeki etkisine ait sonuçlar Şekil 4.10'da belirtilmiştir.



Şekil 4.10 Valide edilmiş koşullarda elde edilen dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının sitotoksosite sonuçları

Sonuçlar incelendiğinde, test materyali konsantrasyonunun 15 mg/mL olduğunda hücre canlılığının %11.93 olduğu tespit edilirken, dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının konsantrasyonu azaldıkça hücre canlılığının arttığı belirlenmiştir. Çalışmada dağ çileği metanol ekstraktının IC_{50} değerinin 12.04 mg/mL olduğu tespit edilmiştir. Dağ çileği metanol ekstraktının, IC_{50} değerinin $\geq 501 \mu\text{g/mL}$ olması nedeniyle toksik olmadığı belirlenmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar incelendiğinde, çalışmanın birinci aşamasında optimize edilmemiş koşullarda üretilen ekstraktın IC_{50} değeri 0.849 mg/mL olarak belirlenirken, optimize edilmiş koşullarda üretilen ekstraktın daha yüksek konsantrasyonda ($IC_{50}=12.04 \text{ mg/mL}$) kullanıldığında hücreler üzerinde toksisite gösterdiği saptanmıştır. Ayrıca optimize edilmemiş koşullarda üretilen ekstraktın toplam fenolik madde miktarı 120.97 mg GAE/g olarak belirlenirken, optimize edilmiş koşullarda üretilen ekstraktın daha yüksek fenolik madde miktarına (163.86 mg GAE/g) sahip olduğu saptanmıştır. Benzer şekilde optimize edilmemiş koşullarda üretilen ekstraktın DPPH radikalini giderme oranı %61.55 olarak tespit edilirken, optimize edilmiş koşullarda üretilen ekstraktın daha yüksek DPPH radikalini giderme oranına sahip olduğu belirlenmiştir (%94.92). Dolayısıyla daha düşük fenolik madde miktarı ve DPPH radikaline sahip olan optimize edilmemiş koşullarda üretilen ekstrakt ($MİK=11.38 \text{ mg/mL}$) optimize edilmiş koşullarda üretilen ekstrakttan daha düşük konsantrasyonda ($MİK=5 \text{ mg/mL}$) antimikrobiyal aktivite göstermiştir.

Optimizasyonu yapılan dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının kimyasal kompozisyonu Tablo 4.22’de belirtilmiştir.

Tablo 4.22 Valide edilmiş koşullarda elde edilen dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının kimyasal kompozisyonu

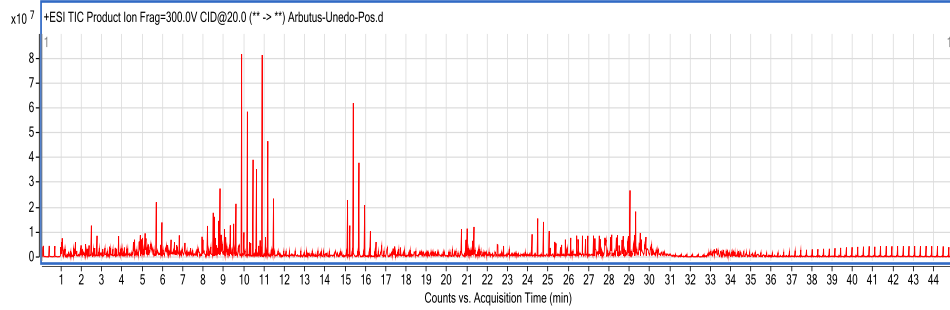
İsim	Sınıf	Moleküler formülü	m/z	Skor	Polarite
Rutin	Glikozit	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	611.1627	97.9	+
Sucrose	Disakkarit	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	365.1067	99.98	+
Stearidonic Acid	Yağ asidi	C ₁₈ H ₂₈ O ₂	275.2062	95.12	+,-
Reserpine	Alkoloid	C ₃₃ H ₄₀ N ₂ O ₉	609.2727	83.87	+
Quercetin 3-O-glucoside	Flavonol Glikozit	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	465.1046	91.83	+
Quercetin	Flavonol	C ₁₅ H ₁₀ O ₇	301.0393	97.13	+,-
Procyanidin B2	Proantosiyanidin	C ₃₀ H ₂₆ O ₁₂	579.1516	92.24	+
Nalidixic acid	Kinolone antibiyotik	C ₁₂ H ₁₂ N ₂ O ₃	233.0938	99.86	+
Myricetin	Flavonoid	C ₁₅ H ₁₀ O ₈	317.0351	97.32	+,-
Myricetin 3-galactoside	Flavonol Glikozit	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₃	481.0993	91.48	+
Luteolin	Flavonoid	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	287.0575	100	+,-
Linolenic Acid ethyl ester	Yağ asidi esteri	C ₂₀ H ₃₄ O ₂	307.2649	80.92	+
Kaempferol 7-neohesperidoside	Flavonol glikozit	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₅	595.1679	93.24	+
Kaempferol 3-glucuronide	Flavonoid	C ₂₁ H ₁₈ O ₁₂	463.0891	99.69	+
Herbasetin	Flavonoid	C ₁₅ H ₁₀ O ₇	303.0524	92.87	+
Geranylgeraniol	Monoterpenoid	C ₂₀ H ₃₄ O	291.2698	86.64	+
Empenthrin	Monoterpenoid	C ₁₈ H ₂₆ O ₂	275.2023	81.95	+
D-Pantothenic acid	Vitamin	C ₉ H ₁₇ NO ₅	220.1194	89.03	+
Dehydro (11,12)ursolic acid lactone	Triterpenoid	C ₃₀ H ₄₆ O ₃	455.3539	85.87	+
Coumarin	Fenilpropanoidler	C ₉ H ₆ O ₂	147.0449	81.24	+
Astragalin	Flavonoid glikozit	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	449.1097	99.82	+
Adenosine	Nükleozit	C ₁₀ H ₁₃ N ₅ O ₄	268.1057	100	+
9-OxoOTrE	Yağ asidi	C ₁₈ H ₂₈ O ₃	291.2012	94.36	+,-
1-Palmitoyllysophosphatidylcholine	Fosfolipid	C ₂₄ H ₅₁ NO ₇ P	496.3416	99.07	+
18α-Glycyrrhetic acid	Triterpenoiddir	C ₃₀ H ₄₆ O ₄	471.3485	94.2	+
13-epi-12-oxo Phytodienoic Acid	Yağ asidi	C ₁₈ H ₂₈ O ₃	291.2012	99.43	+,-
11(Z),14(Z)-	Yağ asiti	C ₂₀ H ₃₆ O ₂	309.2805	83.91	+

Eicosadienoic Acid					
(-)-Epicatechin	Flavonoid	C ₁₅ H ₁₄ O ₆	291.0885	99.6	+,-
Triphenylphosphine oxide	Fosfin oksit	C ₁₈ H ₁₅ OP	279.095	99.97	+
α -Linolenic Acid	Yağ asidi	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	277.2217	99.25	-
Quinic acid	Organik asit	C ₇ H ₁₂ O ₆	191.0598	91.82	-
Phlorhizin	Flavonol Glikozit	C ₂₁ H ₂₄ O ₁₀	435.1347	96.87	-
Kaempferol	Flavonol	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	285.045	84.88	-
Hyperoside	Flavonol Glikozit	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	463.094	90.54	-
Hyperforin	Diterpenoid	C ₃₅ H ₅₂ O ₄	535.3848	95.78	-
Gallic acid	Fenolik asit	C ₇ H ₆ O ₅	169.0175	95.9	-
Epigallocatechin	Flavonol	C ₁₅ H ₁₄ O ₇	305.0713	98.13	-
Elaidic Acid	Yağ asidi	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	281.253	80.27	-
ECG / Epicatechin gallate	Flavonol	C ₂₂ H ₁₈ O ₁₀	441.0879	96.57	-
cis-9,10-Epoxystearic acid	Yağ asidi	C ₁₈ H ₃₄ O ₃	297.2481	90.84	-
9(E),11(E)-Conjugated Linoleic Acid	Yağ asidi	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	279.2375	100	-
4-O-Methyl-gallate	Fenolik asit	C ₈ H ₈ O ₅	183.0336	80.35	-
4-Hydroxybenzoic acid	Fenolik asit	C ₇ H ₆ O ₃	137.0267	99.89	-
3,4-Dihydroxybenzoic acid	Fenolik asit	C ₇ H ₆ O ₄	153.0224	99.66	-
13-OxoODE	Yağ asidi	C ₁₈ H ₃₀ O ₃	293.2169	95.67	-
1,2,3-Trihydroxybenzene	Fenolik	C ₆ H ₆ O ₃	125.0267	87.84	-
(-)-Catechin gallate	Flavonoid	C ₂₂ H ₁₈ O ₁₀	441.0879	97.98	-

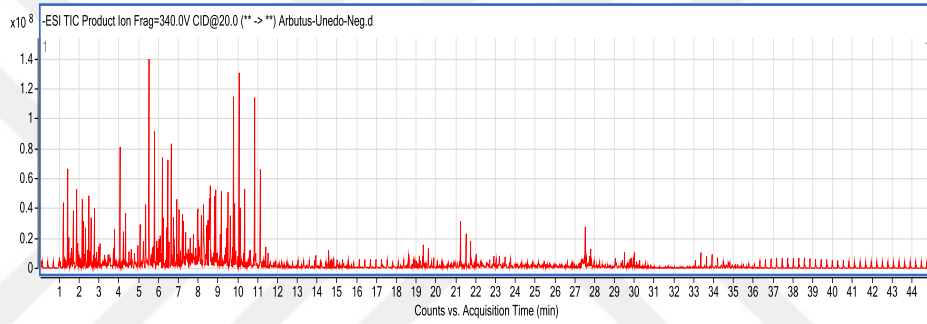
Elde edilen veriler incelendiğinde, valide edilmiş koşullarda hazırlanan bitkisel materyal ekstraktının quercetin, myricetin, luteolin, kaempferol, herbasetin, astragalin, hyperforin, hyperoside, florizin, epigallocatechin, geranylgeraniol ve 18 α -glycyrrhetinic asit gibi bileşenlerce zengin bir içeriğe sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu bileşenlere ek olarak optimize edilmemiş ekstraktın içermediği rezerpin, empenthrin, kumarin, astragalin ve D-Pantothenic asit gibi bileşenler içerdiği belirlenmiştir (Tablo 4.22).

Test edilen bitkisel materyalin daha önce literatürde rapor edilmemiş olan florizin, rezerpin ve herbasetin bileşenlerini içerdiği ilk kez bu tez çalışmasında tespit edilmiştir.

Valide edilen koşullarda elde edilen dağ ileği yaprağı metanol ekstraktının pozitif ve negatif mod için toplam iyon kromatogramları (TIC) şekil 4.11 ve şekil 4.12’de belirtilmiştir.



şekil 4.11 Valide edilmiş koşullarda elde edilen dağ ileği yaprağı metanol ekstraktının pozitif mod için toplam iyon kromatogramı



şekil 4.12 Valide edilmiş koşullarda elde edilen dağ ileği yaprağı metanol ekstraktının negatif mod için toplam iyon kromatogramı

Coimbra et al. (2020) tarafından yapılan çalışmada dağ ileği yaprağının arbutin, gallik ve ellagik asit, quinic ve shikimik asit, ellagitanen ve kaemferol gibi çeşitli bileşenler içerdiği belirlenmiştir. Benzer şekilde, Maldini et al. (2019) dağ ileği yapraklarında arbutin, kateşin, galloyl quinic asit, mirisetin türevleri, kuersetin ve kaemferol türevleri ve klorojenik asit gibi çeşitli metabolitleri saptamıştır. Bri Karaonji et al. (2021) dağ ileği yapraklarındaki baskın bileşenlerin hiperozit ve flavan-3-ol’ler olduğunu bulurken, bu bileşenlerin yanı sıra siringik asit, vanilik asit, sinnamik asit, kateşin, rutin, mirisetin, kuersetin ve kaemferol gibi çeşitli bileşenlerin varlığını saptamıştır.

Dağ ileği meyvesi (tam olgunlaşmamış, yarı olgunlaşmış ve tam olgunlaşmış) metanol ekstraktlarının içeriğinin incelendiği bir çalışmada ise, meyvelerin hidroksibenzoik asit, flavonol, flavanol ve flavonca zengin olduğu belirlenmiştir. Meyve ekstraktlarında en yüksek miktarda bulunan bileşenin prosiyanidin B2 olduğu belirlenirken (36-49 mg/100 g), 49 mg/100 g ile en

yüksek prosiyanidin B2 içeriği olgunlaşmamış meyvelerde belirlenmiştir. Prosiyanidin B2'yi sırasıyla (+) kateşin (28-149 mg/100 g), epigallokateşin (10-26 mg/100 g), kuersetin 3- β -glukozit (1.7-2.6 mg/100 g) ve gallik asitin (1.4-4.7 mg/100 g) izlediği saptanmıştır (Izcara et al., 2021). Dağ çileği meyvelerinin etil asetat ve metanol:su ekstraktlarının tanen, antosiyanin, flavonoid ve glikozit içerdiğini belirlerken, kullanılan solvante göre elde edilen bileşenlerin değiştiği El Cadi et al. (2020) tarafından ortaya koymuştur. Meyvelerin etil asetat ekstraktlarının malik asit, sinamik asit türevleri, galloilkinik asit, gallik asit glikozit, (+) kateşin, (+) epikateşin, kuersetin pentosit gibi bileşenler içerirken, metanol:su ekstraktının quinik asit, gallol shikimik asit, digallol shikimik asit, gallokteşin, (+) epikateşin, kuersetin glikozit gibi farklı bileşenler içerdiği tespit edilmiştir. Scanaro et al. (2022) ise farklı solventler (%100 su, %70 etanol:su, %30 etanol:su) ile hazırlanmış dağ çileği meyvesi ekstraktlarının gallik asit (3749-34439 ng/g), kuersetin (748-4418 ng/g), quinik asit (1015-2838 ng/g), ferulik asit (764-4750 ng/g) ve siringik asit (813-2600 ng/g) gibi çeşitli metabolitleri içerdiğini saptamıştır. Dib et al. (2013) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada ise, dağ çileği kökü su ve metanol ekstraktlarının kinon, antosiyanin, flavonid ve tanen içerdiği belirlenmiştir.

4.3 UV-C Işık Uygulamaları

Çalışma kapsamında *in vitro* ve model gıdalarda UV-C ışık uygulamaları Tablo 4.23'te belirtildiği dozlarda gerçekleştirilmiştir. *In vitro* UV-C ışık uygulamaları için sadece üst lambalar açık olacak şekilde petrillerdeki besiyeri seviyesi ile lambalar arası 16.5 cm mesafeden 0.1162 (0.0077) mW/cm² işlem yapılmıştır.

Tablo 4.23 UV-C ışık uygulama dozları

<i>In vitro</i> UV-C ışık uygulamaları		Model gıda UV-C ışık uygulamaları	
Uygulama süresi (sn)	Doz (kJ/m ²)	Uygulama süresi (sn)	Doz (kJ/m ²)
1	0.12	1	0.12
2	0.25	5	0.58
3	0.35	10	1.16
5	0.58	15	1.74
10	1.16	20	2.32
20	2.32	30	3.49
30	3.49	60	6.97
60	6.97	90	10.46
90	10.46	120	13.94
120	13.94	150	17.43
150	17.43	180	20.92

180	20.92	240	27.89

Model gıda uygulamaları için ise cihazdaki alt ve üst lambaların tümü açık olacak şekilde çift taraflı UV-C ışık işlemi uygulanacağı için radyometre ile farklı mesafelerde ölçümler alınmıştır. Quartz levha 2. raf konumunda olduğunda alt lambalar ile sensör arası mesafe (15 cm) sabit tutularak ışık şiddeti 0.1162 (0.0009) mW/cm² olarak tespit edilmiştir. Daha sonra üst lambalar ile model gıda örnekleri arasındaki mesafeler 15.5, 16.5 ve 17.5 cm olarak ayarlandığında ölçülen ortalama ışık şiddetleri sırasıyla 0.1184 (0.0030) mW/cm², 0.1162 (0.0001) mW/cm² ve 0.1120 (0.0060) mW/cm² olarak belirlenmiştir. Bu nedenle üst lambaların örnekler ile mesafesi 16.5 cm, alt lambalar ile örneklerin mesafesi 15 cm olacak şekilde çift taraflı UV-C ışık uygulaması ile ortalama ışık şiddetinin 0.1162 (0.0062) mW/cm² olduğu belirlenmiştir.

4.3.1 UV-C ışık uygulamalarının in vitro koşullarda katı ve sıvı ortamda test kültürleri üzerinde antimikrobiyal ve antibiyofilm aktivitelerinin belirlenmesi

Bu kapsamda *in vitro* koşullarda katı ve sıvı ortamda inoküle edilmiş test kültürleri üzerinde 0.12-1.16 kJ/m² UV-C doz aralığında (0-10 sn) yapılan uygulamaların antimikrobiyal etkisi belirlenmiştir.

4.3.1.1. Katı ortamda bulunan test kültürleri üzerinde UV-C ışık uygulamasının antimikrobiyal etkisi

Petri içerisindeki katı besiyerine inoküle edilmiş bakteri kültürlerine uygulanan farklı UV-C uygulama sürelerinde elde edilen mikrobiyal azalmalar Tablo 4.24'te özetlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, en yüksek süre uygulaması olan 10 sn UV-C ışık uygulama süresinin çalışılan bütün mikroorganizmalarda mikrobiyal gelişimi engellediği belirlenmiştir. *S. Typhimurium* ATCC 13311 için 1 sn sürede kontrol örneklerine kıyasla, 4 logaritmik birim azalma sağlanırken, 2 ve 3. sn sürelerde 5.65 log KOB/petri azalma elde edilmiştir. Katı ortama inokulasyonu gerçekleştirilmiş *S. Typhimurium* ATCC 13311'e 2 veya 3 sn UV-C ışık uygulamasının neden olduğu mikrobiyal azalmanın istatistiksel olarak farklı olmadığı tespit edilirken ($p > 0.05$), 2 sn UV-C işlemi uygulanmış örneklerdeki azalmaların 1 sn işlem uygulanmış örneklere kıyasla daha yüksek olduğu ortaya konmuştur ($p < 0.05$).

Tablo 4.24 Katı besiyerine inokule edilen test kültürlerine farklı sürelerde UV-C uygulaması sonrası 24 ve 72 saat inkübasyon sonunda elde edilen mikrobiyal azalmalar (log KOB/petri)

Test kültürü	Süre	UV-C ışık uygulamasından sonra elde edilen mikrobiyal azalma (log KOB/petri)**					
		UV-C uygulama süresi (sn)					
		Kontrol*	1	2	3	5	10
<i>S. Typhimurium</i> ATCC 13311	24 sa	5.95 (0.36) ^{Ba}	4.00 (0.32) ^{Aa}	5.65 (0.21) ^{Bb}	5.65 (0.30) ^{Ba}	>5.95	>5.95
	72 sa	5.95 (0.36) ^{Ba}	3.85 (0.16) ^{Aab}	5.65 (0.21) ^{Bb}	5.65 (0.30) ^{Ba}	>5.95	>5.95
<i>S. Typhimurium</i> ATCC 14028	24 sa	6.03 (0.46) ^{Aa}	5.55 (0.31) ^{Ad}	5.71 (0.28) ^{Ab}	5.77 (0.24) ^{Aa}	>6.03	>6.03
	72 sa	6.03 (0.46) ^{Aa}	5.55 (0.31) ^{Ad}	5.71 (0.28) ^{Ab}	5.77 (0.24) ^{Aa}	>6.03	>6.03
<i>L. monocytogenes</i> LM17	24 sa	6.08 (0.42) ^{Ba}	4.84 (0.61) ^{Ac}	5.98 (0.17) ^{Bb}	>6.08	>6.08	>6.08
	72 sa	6.08 (0.42) ^{Ba}	4.73 (0.48) ^{Ac}	5.98 (0.17) ^{Bb}	>6.08	>6.08	>6.08
<i>L. monocytogenes</i> Scott A	24 sa	5.40 (0.62) ^{Aa}	4.72 (0.52) ^{Ac}	>5.40	>5.40	>5.40	>5.40
	72 sa	5.40 (0.62) ^{Aa}	4.72 (0.52) ^{Ac}	>5.40	>5.40	>5.40	>5.40

*Kontrol örnekleri mikrobiyal gelişimi ifade etmektedir.

**Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

S. Typhimurium ATCC 14028 için UV-C ışık uygulaması sonrası elde edilen mikrobiyal azalmaların 5.55->6.03 log KOB/petri aralığında değiştiği belirlenirken, 2 veya 3 sn UV-C uygulamasının *S. Typhimurium* ATCC 14028 sayısında sağladığı azalmaların istatistiksel olarak farklı olmadığı saptanmıştır ($p>0.05$). Benzer şekilde Poubol et al. (2010) tarafından yapılan *in vitro* koşullarda UV-C uygulamasının (3.6 kJ/m^2) *Salmonella choleraesuis* sayısını yaklaşık 6 log KOB/mL düzeyinde azalttığı saptanmıştır.

Katı besiyerine inokule edilmiş *L. monocytogenes* LM17 için 1 ve 2 sn UV-C ışık uygulaması sonunda elde edilen azalmalar sırasıyla 4.84 ve 5.98 log KOB/petri olarak bulunurken, 2 sn süreden fazla işlem uygulaması ile *L. monocytogenes* LM17 için koloni gelişimi gözlemlenmediği belirlenmiştir. *L. monocytogenes* LM17 için 2 sn UV-C işlemi uygulamasının 1 sn ile kıyasla daha etkili azalma sağladığı bulunmuştur ($p<0.05$). UV-C ışık (2, 3, 5 ve 10 sn) uygulanmış *L. monocytogenes* Scott A örneklerinde mikrobiyal gelişim tamamen engellenirken, 1 sn UV-C ışık uygulamasının, kontrol örneklerine kıyasla, 4.72 log KOB/petri azalma sağladığı tespit edilmiştir.

In vitro koşullarda UV-C ışık uygulaması sonucunda çalışılan sürelerinde (1-10 sn) tüm test kültürleri sayılarında >3 logaritmik birim azalma sağlanmıştır. 1 sn UV-C uygulaması ile test kültürleri içerisinde istatistiksel açıdan en yüksek azalma *S. Typhimurium* ATCC 14028 için saptanmıştır ($p<0.05$). *L. monocytogenes* LM17 ve *L. monocytogenes* Scott A test kültürlerinin arasında ise 1sn UV-C uygulaması sonunda elde edilen mikrobiyal azalmalar arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). 1 sn UV-C ışık uygulaması sonucunda elde edilen mikrobiyal azalmalar kıyaslandığında en dirençli test kültürünün *S. Typhimurium* ATCC 13311 olduğu belirlenmiştir. Ancak 2 veya 3 sn UV-C uygulamaları sonucunda elde edilen mikrobiyal azalma sonuçları test kültürleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık olmadığını göstermiştir ($p>0.05$). Tüm veriler değerlendirildiğinde test kültürlerinin UV-C ışık uygulamasına gösterdiği direnç sırasıyla *S. Typhimurium* ATCC 13311> *S. Typhimurium* ATCC 14028> *L. monocytogenes* LM17> *L. monocytogenes* Scott A şeklinde gösterilebilmektedir.

Escalona et al. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada farklı UV-C dozlarının (0, 2.4, 7.2, 12, ve 24 kJ/m^2) *L. monocytogenes*, *S. enterica* ve *Pseudomonas marginalis*'e karşı antimikrobiyal etkisi *in vitro* koşullarda incelenmiştir. 13 gün boyunca 5°C 'de inkübe edilen petriler 0, 5, 9 ve 13.

günlerde analize alınmıştır. Çalışma sonucunda, başlangıç *L. monocytogenes* sayısı 6.8 log KOB/g olarak belirlenirken, UV-C uygulanmış örneklerde bu sayıların 4.3-5.7 log KOB/g olduğu saptanmıştır. 0. günde UV-C işlemine tabii tutulmuş örneklerde *S. enterica* sayısı 4.9-6.1 log KOB/g olarak bulunurken, kontrol örneklerinde bu sayı 7.9 log KOB/g olarak belirlenmiştir. 13 günlük depolama süresinin sonunda 12-24 kJ/m² UV-C uygulamasının *Salmonella* sayısını kontrole kıyasla 4-5 logaritmik birim azalttığı tespit edilmiştir. *P. marginalis* için ise 0. günde, düşük dozlarda (2.4 ve 7.2 kJ/m²) UV-C uygulamasının kontrol örneklerine kıyasla 3.4 log KOB/g, yüksek dozlarda (12 ve 24 kJ/m²) ise sırasıyla 4.8 ve 4.3 log KOB/g azalma sağladığı ortaya konmuştur.

Canto et al. (2019) tarafından yapılan farklı UV-C ışık uygulamalarının (0.05-1.99 kJ/m²) *Salmonella* spp. kokteyli üzerine etkisinin incelendiği bir çalışmada, 1.05-1.99 kJ/m² doz aralığında *in vitro* koşullarda UV-C ışık uygulamasının *Salmonella* spp. sayısında 5.93-7.13 log KOB/g arasında azalma sağladığı belirlenirken, kemiksiz timsah kuyruk etine uygulanan 0.65-1.99 kJ/m² UV-C ışık dozlarında inokule edilen *Salmonella* spp. sayısında 1.61-2.88 log KOB/g azalma sağladığı belirtilmiştir Graca et al. (2013) tarafından yapılan çalışmada 0.5 ve 1 kJ/m² *in vitro* UV-C ışık uygulamasının *Escherichia coli*, *Listeria innocua*, *Salmonella enterica* kültürleri üzerinde etkisi incelenmiştir. 1 kJ/m² UV-C ışık uygulaması sonucunda tüm test kültürlerinde inhibisyon (>7 log KOB/mL) sağlanmıştır. Bu tez çalışmasına benzer şekilde *L. innocua* test kültürünün UV-C dozuna karşı daha hassas olduğu görülürken, dozlar ve mikroorganizma türleri arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark olmadığı belirtilmiştir (p>0.05). Mikrobiyal inaktivasyon üzerinde UV-C ışığın etkisi mikroorganizma türü, başlangıç mikroorganizma sayısı ve UV-C ışık kaynağının özellikleri gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Syamaladevi et al., 2013). Bu nedenle elde edilen mikrobiyal azalmalarda farklılık olabileceği düşünülmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında katı besiyerine inokule edilen test kültürlerine farklı sürelerde UV-C uygulaması sonunda inkübasyona bırakılan petriler, 24 saate ek olarak 72 saat inkübe edilmiş, böylelikle UV-C ışığa maruz kalmış kültürlerin zaman geçtikçe UV-C etkisine bağlı zararı onararak geri dönüşüm olup olmadığı hakkında bilgi elde edilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, *S. Typhimurium* ATCC 13311, *S. Typhimurium* ATCC 14028 ve *L. monocytogenes* LM17 test kültürlerine UV-C uygulaması sonrası 72 saat sonunda belirlenen azalmaların 24 saat sonunda belirlenen azalmalardan

istatistiksel olarak farklı olmadığı ortaya konmuştur ($p>0.05$). *L. monocytogenes* Scott A için ise 1 sn UV-C uygulaması sonrası petrilerin 24 veya 72 saat boyunca inkübe edilmesinin mikrobiyal azalma üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı ($p>0.05$) belirlenmiştir. Ancak 2 sn UV-C ışık uygulamasının ardından 24 saatlik inkübasyon sonunda mikrobiyal gelişimin belirleme limiti altında olduğu tespit edilirken, 72 saatlik inkübasyon süresi sonunda üreme gözlemlenmiş ve azalmanın 5.22 log KOB/petri olduğu tespit belirlenmiştir. *L. monocytogenes* suşları için 3 sn UV-C uygulaması sonucunda üreme gözlemlenmezken, *S. Typhimurium* suşları için düşük sayılarda üreme gözlemlenmiştir. Analiz edilen tüm test kültürlerinde, her iki inkübasyon süresi için de 5 ve 10 sn UV-C uygulaması sonucunda üreme gözlemlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında farklı sürelerde UV-C ışık uygulamalarının katı ortama inokule edilmiş *C. violaceum* ATCC 12472 ve *C. violaceum* ATCC 31532 test kültürleri üzerindeki antimikrobiyal etkisi de belirlenmiştir. Elde edilen analiz sonuçları Tablo 4.25'te özetlenmiştir.

Tablo 4.25 Katı besiyerine inokule edilen *C. violaceum* ATCC 12472 ve *C. violaceum* ATCC 31532 test kültürlerine farklı sürelerde UV uygulaması sonrası 24 ve 72 saat inkübasyon sonunda elde edilen mikrobiyal azalmalar (log KOB/petri)

UV-C ışık uygulamasından sonra elde edilen mikrobiyal azalma (log KOB/petri)**							
Test kültürü	Süre	UV-C uygulama süresi (sn)					
		Kontrol*	1	2	3	5	10
<i>C. violaceum</i> ATCC 12472	24 sa	6.61(0.58) Cb	5.42(0.39) Ab	5.70(0.32) ABb	5.91(0.22) Bb	6.08(0.21) Bb	>6.61
	72 sa	6.61(0.58) Cb	5.40(0.38) Ab	5.69(0.32) ABb	5.87(0.21) Bb	6.04(0.23) Bb	>6.61
<i>C. violaceum</i> ATCC 31532	24 sa	5.00(0.38) Da	2.95(0.39) Aa	3.75(0.23) Ba	4.20(0.29) Ca	4.35(0.05) Ca	>5.00
	72 sa	5.00(0.38) Da	2.94(0.38) Aa	3.75(0.24) Ba	4.20(0.30) Ca	4.35(0.05) Ca	>5.00

*Kontrol örnekleri mikrobiyal gelişimi ifade etmektedir.

**Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$). Aynı satırdaki farklı büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$).

Buna göre 10 sn UV-C ışık uygulaması sonucunda her iki test kültürü için sayıların belirleme limitinin altına düştüğü (<1.52 log KOB/petri) tespit edilirken, *C. violaceum* ATCC 12472 için çalışılan bütün sürelerde test kültürü sayısında 3

logaritmik birimlik azalma sağlanmıştır. 2, 3 veya 5 sn UV-C ışık uygulaması sonucunda katı besiyerine inokule edilen *C. violaceum* ATCC 12472 sayılarında elde edilen azalmalar istatistiksel olarak farklı bulunmazken ($p>0.05$), 3 ve 5 sn UV-C ışık uygulamasının 1 sn UV-C uygulamasına kıyasla daha etkili azalma sağladığı ortaya konmuştur ($p<0.05$). 1, 2, 3 ve 5 sn UV-C ışık uygulaması sonucunda katı besiyerine inokule edilen *C. violaceum* ATCC 31532 sayısında 2.92-4.35 log KOB/petri aralığında azalma elde edilmiştir. 3 veya 5 sn UV-C uygulamasının sağladığı azalmaların istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığa neden olmadığı belirlenirken ($p>0.05$), 2 sn UV-C uygulamasının 1 sn UV-C uygulamasına kıyasla daha etkili azalma sağladığı tespit edilmiştir ($p<0.05$).

UV-C ışık uygulaması sonrası 72 saatlik inkübasyon sonunda *C. violaceum* sayılarında artış olup olmadığını belirlemek amacıyla farklı sürelerde UV-C uygulanan örneklerden 72 saatlik inkübasyon sonunda tekrar sayım alınmış, böylelikle UV-C ışık uygulaması sonrası hasar almış kültürlerin reaktivasyon durumları incelenmiştir. *C. violaceum* ATCC 12472 ve *C. violaceum* ATCC 31532 için uygulanan UV-C sürelerinin hiçbirinde, 24 ve 72 saat inkübasyon sonunda elde edilen mikrobiyal azalmada istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunamamıştır ($p>0.05$). Bu durum UV-C ışık uygulaması ile hasar gören *C. violaceum* hücrelerinde hasarın geri dönüşümsüz olduğu ve reaktivasyon durumunun gerçekleşmediğini göstermiştir.

4.3.1.2. Sıvı ortamda bulunan test kültürleri üzerinde UV-C ışık uygulamasının antimikrobiyal etkisi

Tez çalışması kapsamında sıvı ortamda UV-C ışık uygulamasının kullanılan test kültürleri üzerindeki etkisini incelemek için 15 mL (0.4 cm) PBS ile bakteri süspansiyonu içeren petriler farklı uygulama sürelerinde (1-10 sn) UV-C ışığa maruz bırakılmıştır. Ardından farklı dilüsyonlar hazırlanarak yapılan ekimler sonrasında sayım alınıp, UV-C işlemi öncesi ve sonrasında elde edilen mikroorganizma sayılarının farkı hesaplanmış ve UV-C ışık uygulamasının sıvı ortamdaki test kültürleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Analiz sonucunda elde edilen mikrobiyal azalmalar Tablo 4.26'da özetlenmiştir.

Tablo 4.26 Sıvı ortama inokule edilmiş bakteri kültürlerine uygulanan farklı uygulama sürelerinde elde edilen mikrobiyal azalmalar

Test Kültürü	Kontrol (log KOB/petri)*	UV-C ışık uygulamasından sonra elde edilen mikrobiyal azalma (log KOB/petri)**
		UV-C ışık uygulama süresi (sn)

		1	2	3	5	10
<i>S. Typhimurium</i> ATCC 13311	4.52 (0.17)	2.22 (0.27) ^a	>4.52	>4.52	>4.52	>4.52
<i>S. Typhimurium</i> ATCC 14028	4.62 (0.20)	2.85 (0.32) ^{bc}	>4.62	>4.62	>4.62	>4.62
<i>L. monocytogenes</i> LM17	4.90 (0.47)	2.38 (0.48) ^{ab}	>4.90	>4.90	>4.90	>4.90
<i>L. monocytogenes</i> Scott A	4.90 (0.35)	3.18 (0.42) ^c	>4.90	>4.90	>4.90	>4.90

*UV-C uygulaması öncesinde petrilere inokule edilmiş olan mikroorganizma sayılarıdır.

**Aynı sütunda yer alan küçük harfler ortalama değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark olduğunu göstermektedir (p<0.05).

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, 1 sn süreden fazla UV-C ışık uygulamasının çalışılan bütün test kültürlerinde mikrobiyal gelişimi engellediği belirlenmiştir. 1 sn UV-C ışık uygulaması *S. Typhimurium* ATCC 13311 ve *S. Typhimurium* ATCC 14028 test kültürlerinde, kontrol örneklerine kıyasla, sırasıyla 2.22 ve 2.85 log KOB/petri azalma sağlarken, *L. monocytogenes* LM17 ve Scott A test kültürlerinde bu sayılar 2.38 ve 3.18 log KOB/petri olarak bulunmuştur. UV-C ışık uygulamaları ile test kültürü sayılarında 3 log azalma 2, 3, 5 ve 10. sn sürelerde bütün test kültürleri için sağlanırken, 1 sn sürede yalnızca *L. monocytogenes* Scott A suşu için 3 log azalma sağlanmıştır. Analizler sonucunda UV-C ışık uygulamasına karşı direncin katı ortamda elde edilen sonuçlara benzer olduğu belirlenmiştir. Mikrobiyal azalmalar değerlendirildiğinde *S. Typhimurium* ATCC 13311 (2.2 log KOB/petri) test kültürünün UV-C ışık uygulamasına karşı daha dirençli olduğu belirlenirken, en duyarlı olan test kültürünün de *L. monocytogenes* Scott A (3.28 log KOB/petri) olduğu tespit edilmiştir.

Dekontaminasyon işlemlerinin etkinliği mikroorganizma ve suşlara göre değişkenlik göstermektedir. Stres adaptasyonu aynı türün suşları arasında değişebildiği için kullanılan işlem koşullarında mikroorganizmalara verilen hasar değişebilmektedir (Ortiz- Solà et al., 2021). Koivunen and Heionen-Tanski (2005) tarafından yapılan çalışmada peptonlu su içerisinde *S. enteritidis*, *Enterococcus faecalis* ve *E. coli* kültür süspansiyonlarını inaktive etmek için UV-C ışığının etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmanın aksine 10 mW/cm² UV-C uygulamasının *E. faecalis*, *E. coli* ve *S. enteritidis* için sırasıyla 1.20, 1.44 ve 2.61 log azalma sağladığı ve *S. enteritidis* test kültürünün UV-C ışık uygulamasına en duyarlı test kültürü olduğu belirtilmiştir. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde *Salmonella* suşlarının UV-C ışık dirençleri ile ilgili az sayıda

çalışma bulunduğu görülmektedir. Gabriel and Nakano (2009) tarafından PBS’de UV-C ışık uygulanan *S. Typhimurium* test kültürünün *Salmonella* Enteritidis test kültüründen UV-C ışığa daha dirençli olduğunu bildirilmiştir. Çalışmada kullanılan *L. monocytogenes* AS-1 ve M24-1 test kültürlerinin dirençleri ile kıyaslandığında ise *S. Typhimurium* test kültürünün UV-C ışığa direnci ile aralarında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Gayán et al. (2012) tarafından yapılan çalışmada da *Salmonella* suşlarının UV-C ışık dirençleri arasında farklılık gösterdiği belirtilmiştir. Test kültürleri içerisinde *S. Typhimurium* STCC 878 test kültürünün yüksek UV-C ışık direncinin muhtemelen daha etkili bir DNA onarım sisteminden kaynaklandığı belirtilse de bu konuda daha fazla araştırma yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Farklı sürelerde UV-C ışık uygulamalarının sıvı ortama inokule edilmiş *C. violaceum* ATCC 12472 ve *C. violaceum* ATCC 31532 test kültürleri üzerindeki antimikrobiyal etkisi de belirlenmiştir. İnkübe edilen petrilere alınan sayım sonuçlarına göre elde edilen mikrobiyal azalmalar Tablo 4.27’de belirtilmiştir.

Tablo 4.27 Sıvı ortama inokule edilmiş *C. violaceum* kültürlerine uygulanan farklı uygulama sürelerinde elde edilen mikrobiyal azalmalar

Test Kültürü	Kontrol (log KOB/petri)	UV-C ışık uygulamasından sonra elde edilen mikrobiyal azalma (log KOB/petri)**			
		UV-C ışık uygulama süresi (sn)			
		1	5	10	20
<i>C. violaceum</i> ATCC 12472	4.13 (0.85)	3.76 (0.04) ^a	>4.13	>4.13	>4.13
<i>C. violaceum</i> ATCC 31532	4.15 (0.52)	3.36 (0.17) ^a	>4.15	>4.15	>4.15

*UV-C uygulaması öncesinde petrilere inokule edilmiş olan mikroorganizma sayılarıdır.

** Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

Sonuçlar incelendiğinde, 1 sn UV-C ışık uygulaması sonucunda *C. violaceum* sayılarında 3.36-3.76 log KOB/petri arasında değişen mikrobiyal azalma tespit edilirken, elde edilen azalmaların istatistiksel açıdan farklı olmadığı saptanmıştır (p>0.05). Çalışmada 1 sn süreden fazla UV-C ışık uygulamasının *C. violaceum* test kültürlerinde mikrobiyal gelişimi engellediği belirlenmiştir. Özetle, *C. violaceum* test kültürünün UV-C ışığa direncinin test edilen *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* kültürlerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde QS mekanizması ile regüle edildiği belirtilen viyolasin pigmenti üretimi üzerine UV-C ışığın anti-QS etkisi ile ilgili sadece 2 adet çalışmaya rastlanmıştır (Said et al., 2013; Abboud and Arment, 2013). Ancak

literatürde *C. violaceum* test kültürleri üzerinde UV-C ışığın antimikrobiyal aktivitesinin araştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

4.3.1.3. Sıvı ortamda UV-C uygulanmış kültürlerin biyofilm oluşturma yeteneğinin inhibisyonu

Bu kapsamda sıvı ortamda UV-C ışık uygulamasına maruz bırakılan test kültürlerinin biyofilm oluşturma yeteneklerindeki değişim kaydedilmiştir. Sıvı ortamda UV-C ışık uygulaması öncesi ve sonrasında alınan inokulum, içerisinde TSB/TSBYE bulunan 96 kuyucuklu mikropalakalara aktarılmıştır. Daha sonra Bölüm 3.2.5.2’de belirtilen işlemler sonucunda boyanan biyofilm tabakasının optik yoğunluğu spektrofotometrik olarak ölçülmüştür. Optik yoğunluklar dikkate alınarak kontrol ile kıyasla sıvı ortamda UV-C ışık uygulanan kültürlerin biyofilm oluşturma yeteneğinin inhibisyonu hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.28’de özetlenmiştir.

Tablo 4.28 Sıvı ortamda UV-C uygulanan kültürlerin biyofilm oluşturma yeteneğinin inhibisyonu

Test Kültürü	Biyofilm inhibisyonu (%)*			
	UV-C ışık uygulama süresi (sn)			
	1	2	3	5
<i>S. Typhimurium</i> ATCC 13311	4.88 (1.64) ^{Aa}	97.92 (1.79) ^{Ba}	97.35 (2.22) ^B	95.02 (2.77) ^B
<i>S. Typhimurium</i> ATCC 14028	48.74 (5.79) ^{Ab}	98.13 (1.48) ^{Ba}	98.55 (0.76) ^B	98.79 (1.32) ^B
<i>L. monocytogenes</i> LM17	47.74 (9.36) ^{Ab}	100	100	100
<i>L. monocytogenes</i> Scott A	46.64 (4.48) ^{Ab}	99.12 (1.39) ^{Ba}	100	100

* Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark olduğunu göstermektedir (p<0.05). Aynı sütunda yer alan küçük harfler ortalama değerler arasında istatistiksel açıdan önemli ölçüde fark olduğunu göstermektedir (p<0.05).

Çalışma sonucunda 1-5 sn UV-C ışık uygulamasının *S. Typhimurium* ATCC 13311 tarafından üretilen biyofilmlerde %4.88-97.92 aralığında azalma sağladığı saptanırken, 2, 3 veya 5 sn UV-C uygulamasının sağladığı inhibisyonun istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı belirlenmiştir (p>0.05). Benzer şekilde 2, 3 ve 5 sn işlem uygulamalarının *S. Typhimurium* ATCC 14028 biyofilmlerinde %98.13-98.79 aralığında inhibisyon sağladığı bulunurken, bu azalmaların istatistiksel açıdan birbirinden farklı olmadığı saptanmıştır (p>0.05). Her iki test kültürü için de 2 sn ve daha fazla UV-C uygulamasının, 1 sn UV-C uygulamasına kıyasla daha etkili olduğu belirlenirken (p<0.05), 1 sn UV-C uygulamasının *S. Typhimurium* ATCC 13311 ve *S. Typhimurium* ATCC 14028 test kültürleri

tarafından üretilen biyofilmlere karşı sırasıyla %4.88 ve %48.74 inhibisyon sağladığı ortaya konmuştur. Bu sonuçların sıvı ortamda UV-C ışık uygulaması sonrasında elde edilen mikrobiyal azalma sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Sıvı ortamda *S. Typhimurium* ATCC 13311 test kültürünün UV-C ışık uygulamasına karşı dirençli olduğu belirlenmiş olup, bu nedenle *S. Typhimurium* ATCC 13311 test kültürü tarafından biyofilm üretiminin inhibisyonun en düşük olduğu saptanmıştır (Tablo 4.28). Sıvı ortamda 3 sn ve 5 sn UV-C ışık uygulaması sonucunda *S. Typhimurium* sayılarının belirleme limitinin altında düştüğü göz önüne alındığında ise test kültüründe meydana gelen hasarın taze besiyerinde 24 saat inkübasyon sonucunda onarıldığı tahmin edilmektedir. Bu nedenle canlı kalan mikroorganizmaların %95.02-98.79 arasında değişen oranlarda biyofilm inhibisyonu sağladığı düşünülmüştür. Yapılan çalışmalarda canlı fakat kültüre edilemeyen formdaki mikroorganizmaların metabolik olarak virülans göstermeye ve biyofilm oluşturmaya devam edebildiği belirtilmektedir (Ramamurthy et al., 2014). Bu durum hücrenin QS mekanizmasına bağlı olarak hücrel fonksiyonlarını gerçekleştirebildiğini ve meydana gelen hasara rağmen biyofilm oluşturma yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir.

L. monocytogenes LM17 için 2, 3 ve 5 sn; *L. monocytogenes* Scott A için ise 3 ve 5 sn UV-C uygulaması bu test kültürleri tarafından oluşturulan biyofilmler üzerinde etkili inhibisyon sağlamıştır. *L. monocytogenes* Scott A için 2 sn UV-C uygulamasının (%99.12) 1 sn UV-C uygulamasına (%47.74) kıyasla daha etkili olduğu bulunurken ($p < 0.05$), 1 sn UV-C uygulaması *L. monocytogenes* LM17 biyofilmlerine karşı %47.74 inhibisyon sağlamıştır. Sıvı ortamda 2 sn UV-C ışık uygulamasının *L. monocytogenes* test kültürleri üzerinde etkili olup, elde edilen sayıların belirleme limitinin altında sonuçlandığı görülmektedir (Tablo 4.28). *L. monocytogenes* Scott A için verilen hasarın mikroorganizmanın canlı fakat kültüre edilemeyen forma geçmesine neden olduğu, dolayısıyla 2 sn UV-C uygulaması sonucunda canlı kalan fakat kültüre edilemeyen test kültürünün biyofilm üretiminde de azalma sağlamıştır (Tablo 4.28). *L. monocytogenes* LM17 test kültüründe ise 1 sn süreden daha uzun süreli UV-C ışık uygulamaları sonucunda hücrenin metabolik faaliyetlerinin tamamen inhibe edildiği saptanmıştır.

Said et al. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada sıvı ortamda farklı dozlarda (0.10-1.00 kJ/m²) UV-C uygulamasının *P. aeruginosa* ATCC 15422 tarafından oluşturulan biyofilm üzerine etkisi incelenmiş, çalışma sonunda 30 mJ/cm² UV-C ışık uygulaması eşik değer olarak belirlenirken, bu dozdan yüksek

dozlarda biyofilm oluşumunda azalma sağlanmıştır. Literatürde UV-C ışığın önemli gıda kaynaklı patojen mikroorganizmalardan olan *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* test kültürlerinin biyofilm oluşumuna etkisinin belirlendiği çalışmaya rastlanmamıştır. Bu tez çalışmasında UV-C ışık uygulaması ($0.12-1.16 \text{ kJ/m}^2$) sonrasında test kültürleri tarafından üretilen biyofilmlerde önemli ölçüde inhibisyon sağladığı tespit edilmiştir.

4.3.2 UV-C ışık uygulamalarının *in vitro* koşullarda test kültürleri üzerinde anti-QS Aktiviteleri

Viyolasin pigment oluşumunun azaldığı UV-C ışık dozlarının belirlenmesi, benzer şekilde QS mekanizması ile regüle edildiği bilinen biyofilm üretimini önleyebilmek için gerekli UV-C ışık doz uygulamaları ile bilgi vermesi açısından önemlidir. Bu kapsamda UV-C ışık uygulamasının viyolasin pigmenti üretimi üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla sıvı ortamda UV-C ışık uygulanan petrilere alınan 100 μL içerik 100 μL TSB-YE besiyeri bulunan mikropalakalara alındıktan sonra inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonucunda mikropalakalarda viyolasin inhibisyonu Bölüm 3.2.5.3'te belirtildiği şekilde analiz edilmiş olup, sonuçlar Tablo 4.29'da özetlenmiştir.

Tablo 4.29 Sıvı ortamda UV-C uygulama sonrasında viyolasin inhibisyonu (%)

Test Kültürü	Viyolasin inhibisyonu (%) [*]			
	UV-C ışık uygulama süresi (sn)			
	1	5	10	20
<i>C. violaceum</i> ATCC 12472	80.54 (1.88) ^a	100	100	100
<i>C. violaceum</i> ATCC 31532	93.34 (2.52) ^b	100	100	100

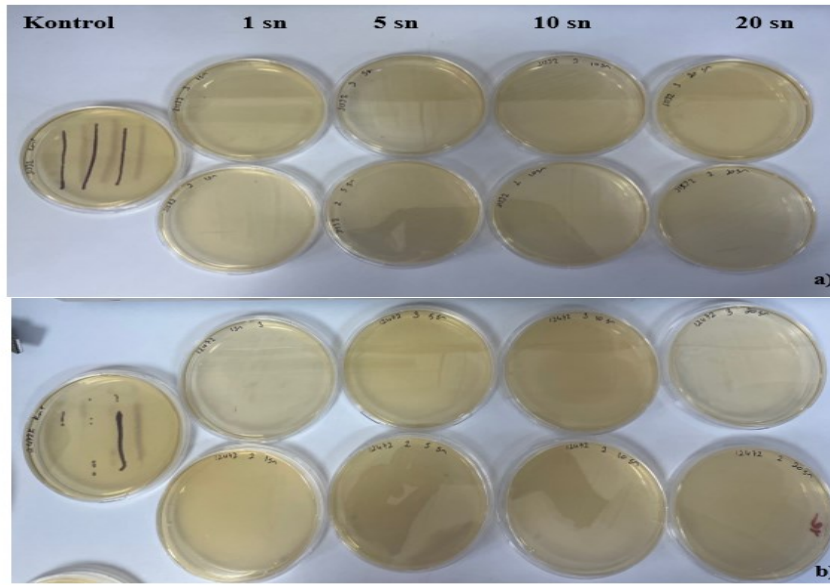
^{*} Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$).

Sıvı ortamda UV-C ışık uygulaması sonrasında elde edilen mikrobiyal azalma sonuçlarına bakıldığında, 1 sn UV-C ışık uygulaması sonrasında test kültürlerinde elde edilen mikrobiyal azalmalar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı belirlenmiştir (Tablo 4.27). Ancak anti-QS analizi sonuçları incelendiğinde 1 sn UV-C ışık uygulaması sonucunda *C. violaceum* ATCC 12472 ve *C. violaceum* ATCC 31532 tarafından üretilen viyolasin pigmentini sırasıyla %80.54 ve %93.34 oranlarında inhibe edildiği görülmektedir ($p < 0.05$). Bu durumda uygulanan UV-C ışık işleminin *C. violaceum* ATCC 31532 test kültürünün viyolasin pigmenti üretiminden sorumlu QS mekanizması üzerinde

daha etkili olduğu ve test kültürünün UV-C ışık işlemine daha hassas olduğu belirlenmiştir.

Literatür incelendiğinde sıvı ortamda UV-C uygulamasının *C. violaceum*'a karşı anti-QS etkisinin incelendiği sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Abboud and Arment (2013) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, UV-C ışık uygulamasının ($6000 \mu\text{W/s.cm}^2$) *C. violaceum*'un mutant suşlarına karşı etkisi incelenmiş ve çalışma sonucunda pigment üretmeyen mutant suşlarda inhibisyon sağlanırken, pigment üreten suşlarda gelişim gözlenmiştir. Bu durumun nedeni olarak pigment üretiminin UV-C ışığa karşı DNA'yı koruduğu olarak yorumlanmıştır.

Çalışma kapsamında, kalitatif olarak katı ve sıvı ortamda UV-C ışık uygulamasının (1-20 sn) viyolasin pigmenti üretimindeki etkisinin belirlenmesi için uygulama yapılan/yapılmayan petrilere steril öze ile inokulum alınarak TSA-YE içeren petrilere 3 adet çizgi şeklinde inokulasyon yapılmıştır. İnkübasyon sonucunda en düşük uygulama süresi olan 1 sn sürede bile UV-C ışık uygulamasının petrilere koloni gelişimini engellediği belirlenmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 UV-C uygulamasının koloni gelişimi üzerine etkisi (a: *C. violaceum* ATCC 31532; b: *C. violaceum* ATCC 12472)

Sonuçlar değerlendirildiğinde, *in vitro* koşullarda tasarımı yapılan UV-C ışık cihazının düşük uygulama sürelerinde bile test kültürleri üzerinde etkili inhibisyon sağladığı tespit edilmiştir. UV-C ışık uygulamalarının QS mekanizması ve biyofilm oluşumu üzerinde etkili olduğu ortaya konulmuş olup,

UV-C ışık uygulamalarının halk sağlığını tehdit eden gıda kaynaklı patojen mikroorganizmaların dekontaminasyonu ile ilgili çalışmalara öncülük edebileceği düşünülmüştür. Küresel piyasalarda gıda muhafazasında çevre dostu yöntemlerin kullanımına yönelik ticarileşme ile ilgili hareketlilik olduğu görülmektedir. Tez çalışması kapsamında tasarımı yapılan UV-C ışık cihazının *in vitro* koşullarda oldukça kısa uygulama sürelerinde gıda güvenliğini tehdit eden mikroorganizmalar üzerinde etkili dekontaminasyon sağlaması nedeniyle ticarileşme potansiyelinin yüksek olduğu öngörülmektedir.

4.4 Model Gıdalarda UV-C Işık Uygulaması

Tasarımı gerçekleştirilen UV-C ışık cihazında lambalar ile örneklerin yerleştirildiği quartz levha arasındaki mesafe üst ve alt lambalar arası sırasıyla 16.5 ve 15 cm olarak ayarlandığında ürünlerin çift taraflı olarak aynı UV-C ışık şiddetine tabi tutulduğu belirlenmiştir. Cihaz içerisine yerleştirilen model gıda örneklerine (6 adet) farklı sürelerde UV-C ışık işlemi uygulanmıştır.

4.4.1 Domates örneklerine inokule edilmiş *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* kültürü ile yapılan UV-C uygulamalarına ait bulgular

Yapılan analizlerde *S. Typhimurium* kültür süspansiyonu iki farklı *S. Typhimurium* ATCC 13311 ve *S. Typhimurium* ATCC 14028 suşunun iki eşit orandaki karışımı şeklinde kokteyl olarak hazırlanmıştır. Domates örneklerinin her iki yüzeyine 200'er µL *S. Typhimurium* kültür süspansiyonu inoküle edilmiş ve farklı sürelerde uygulanan (1, 5, 10, 15, 20, 30 sn) UV-C işleminin biyofilm oluşturmuş ve oluşturmamış *S. Typhimurium* üzerindeki antimikrobiyal etkisi tespit edilmiştir (Tablo 4.30).

Domates yüzeyinde biyofilm oluşturmuş *S. Typhimurium* kültürü üzerine UV-C ışık uygulamasının etkisini belirlemek için öncelikle inokülasyon yapılmış domates örneklerinde etkili tutunmanın sağlanabilmesi için depolama koşulları ön denemeler ile belirlenmiştir. İnokülasyon yapılmış domates örnekleri 4°C 24 saat, 20°C 24 saat ve 20°C 4 gün inkübe edilmiş olup, Iturriaga et al. (2007) tarafından da belirtildiği gibi etkili biyofilm oluşumunun 20°C 4 gün depolama koşulları ile sağlandığı belirlenmiştir. Ön denemeleri yapılan diğer depolama koşullarında ise mikrobiyal hücrelerin domates yüzeylerinde biyofilm oluşturmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle domates örneklerinde 20°C 4 gün sonucunda biyofilm

oluşturmuş *S. Typhimurium* kültürü üzerine UV-C ışık uygulamasının etkinliği araştırılmıştır.

Tablo 4.30 Domates örneklerine inokule edilmiş *S. Typhimurium* ve biyofilm oluşturmuş *S. Typhimurium* üzerine uygulanan UV-C ışık sonrasında elde edilen mikrobiyal azalmalar

Biyofilm oluşturma durumu	Kontrol (log KOB / domates)*	UV-C ışık uygulamasından sonra elde edilen mikrobiyal azalmalar (log KOB/domates)**					
		UV-C ışık uygulama süresi (sn) / dozu (kJ/m ²)					
		1 / 0.12	5 / 0.58	10 / 1.16	15 / 1.74	20 / 2.32	30 / 3.49
Biyofilm oluşturma mış	5.51 (0.10)	2.52 (0.31) Aa	2.97 (0.61) ^{ABa}	3.34 (0.45) ^{BCa}	3.39 (0.54) ^{BCa}	3.88 (0.12) ^{Ca}	3.72 (0.39) ^{Ca}
Biyofilm oluşturmuş	4.72 (0.28)	1.99 (0.45) Aa	2.84 (0.44) ^{Ba}	3.29 (0.26) ^{Ba}	3.43 (0.60) ^{Ba}	3.08 (0.36) ^{Bb}	2.83 (0.49) ^{Bb}

*UV-C uygulaması öncesinde model gıdalara inokule edilmiş olan mikroorganizma sayılarıdır.

** Aynı sütundaki farklı küçük harfler biyofilm oluşturmuş ve biyofilm oluşturmamış olan test kültürüne UV-C ışık uygulamasından sonra elde edilen mikrobiyal azalmalar arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$). Aynı satırda yer alan büyük harfler UV-C ışık uygulamasından sonra elde edilen mikrobiyal azalmalar arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$).

S. Typhimurium kültür süspansiyonu inoküle edilip 2 saat bekletildikten sonra UV-C ışık (0.12-3.49 kJ/m²) uygulanan örneklerin mikrobiyal azalma sonuçları incelendiğinde *S. Typhimurium* sayılarında 2.52-3.88 log KOB/domates aralığında azalma olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.30). 1 sn UV-C uygulaması haricinde model gıdalara inoküle edilmiş (biyofilm oluşturmamış) test kültürlerinde en az 3 logaritmik birimlik azalma sağlanmıştır. 10 veya 15 sn UV-C ışık uygulaması sonucunda inokule edilen *S. Typhimurium* sayılarında elde edilen azalmalar istatistiksel olarak farklı bulunmazken ($p > 0.05$), 20 veya 30 sn UV-C ışık uygulamasının 1 sn UV-C uygulamasına kıyasla daha etkili azalma sağladığı ortaya konmuştur ($p < 0.05$). Domates yüzeylerinde biyofilm oluşturmuş olan *S. Typhimurium* üzerine UV-C ışığın etkisi incelendiğinde, biyofilm oluşturmuş *S. Typhimurium* sayısında UV-C uygulaması sonrasında 1.99-3.43 log KOB/domates aralığında azalma olduğu belirlenmiştir. 1 sn UV-C ışık uygulaması ile dahi 1.99 (0.45) log KOB/domates azalma sağlanırken, 1 sn UV-C uygulaması yapılan örneklerle kıyasla diğer tüm UV-C ışık uygulamaları ile biyofilm oluşturmuş *S. Typhimurium* sayısında azalma olsa da 5 ve 30 sn arasındaki uygulamalarda elde edilen azalmaların istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı belirlenmiştir ($p > 0.05$).

Domates örneklerine inokule edilen *S. Typhimurium* üzerine 0.12-3.49 kJ/m² doz aralığında uygulanan UV-C ışık işlemleri sonucunda elde edilen verilerin mikrobiyal inaktivasyon kinetiği modellenmiş olup, en uygun model parametreleri Tablo 4.31’de verilmiştir.

Tablo 4.31 Domates örneklerine inokule edilen *S. Typhimurium* üzerinde uygulanan UV-C işlemleri sonucu elde edilen verilerin modellenmesi

Parametreler*	Domates örneklerine inokule edilen <i>S. Typhimurium</i> üzerine uygulanan UV-C işlemlerinden elde edilen verilerin modellenmesi		
	Log Lineer	Geeraerd Tail	Weibull
R ²	0.78	0.94	0.93
Adj-R ²	0.72	0.90	0.88
RMSE	0.26	0.15	0.17
delta	-	-	0.00
LOG ₁₀ (N ₀)	2.77	3.05	4.83
LOG ₁₀ (N _{res})	-	1.72	-
k _{max}	0.83	1.97	-
p	-	-	0.16

*Parametreler; R², determinasyon katsayısı; Adj-R², ayarlanmış determinasyon katsayısı; RMSE, kalıntı standart hata; delta, desimal azalma için gereken süre; LOG₁₀(N₀), başlangıçtaki mikrobiyal yük; LOG₁₀(N_{res}), dirençli mikrobiyal yük; k_{max}, inaktivasyon katsayısı (1/zaman); p, şekil faktörü.

Veriler incelendiğinde, R² değerlerinin 0.78-0.94 arasında, RMSE değerlerinin ise 0.15-0.26 arasında değiştiği belirlenmiştir. Log-lineer modellemeler ile elde edilen inaktivasyon katsayıları (k_{max}) sırasıyla 0.83 ve 1.97 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak, yüksek R² değeri ve düşük RMSE değeri ile mikrobiyal inaktivasyon kinetiğini tanımlamak için en uygun matematiksel modelin Geeraerd Tail modeli olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.31). UV-C ışık uygulaması sonucunda k_{max} değerinin yüksek olması mikrobiyal inaktivasyonun hızlı gerçekleştiğini göstermektedir. Gülerüz (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, *S. Typhimurium* inoküle edildikten sonra su destekli UV-C ışık uygulanmış böğürtlenlerde de k_{max} değerinin 1.15 olduğu belirlenmiştir. Başka bir çalışmada beyaz lahana, jülyen olarak kesilmiş havuç ve iceberg marul örneklerinde darbeli ışık uygulamasının (12 J/cm²) toplam mezofilik aerobik bakteri sayısının inaktivasyonu üzerinde etkili Geeraerd Tail model parametreleri incelendiğinde, k_{max} değerlerinin sırasıyla 0.75, 1.51 ve 2.32 olduğu rapor edilmiştir (Izquier and Gómez-López, 2011).

Domates yüzeylerinde biyofilm oluşturmuş olan *S. Typhimurium* üzerine UV-C ışık işlemleri sonucunda elde edilen veriler ile en uygun modellemeye ait sonuçlar Tablo 4.32’de belirtilmiştir.

Tablo 4.32 Domates örneklerinde biyofilm oluşturmış *S. Typhimurium* üzerinde uygulanan UV-C işlemleri sonucu elde edilen verilerin modellenmesi

Parametreler*	Domates örneklerinde biyofilm oluşturmış <i>S. Typhimurium</i> üzerine uygulanan UV-C işlemlerinden elde edilen verilerin modellenmesi		
	Log Lineer	Geeraerd Tail	Weibull
R ²	0.97	0.97	0.97
Adj-R ²	0.96	0.94	0.94
RMSE	0.12	0.14	0.14
delta	-	-	0.81
LOG ₁₀ (N ₀)	4.82	4.87	5.04
LOG ₁₀ (N _{res})	-	3.88	-
k _{max}	2.41	2.47	-
p	-	-	0.93

*Parametreler; R², determinasyon katsayısı; Adj-R², ayarlanmış determinasyon katsayısı; RMSE, kalıntı standart hata; delta, desimal azalma için gereken süre; LOG₁₀(N₀), başlangıçtaki mikrobiyal yük; LOG₁₀(N_{res}), dirençli mikrobiyal yük; k_{max}, inaktivasyon katsayısı (1/zaman); p, şekil faktörü.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, yüksek R² (0.97) ve düşük RMSE (0.12) değerleri ile mikrobiyal inaktivasyon kinetiğini tanımlamak için en uygun matematiksel model Log lineer modeli olarak tespit edilmiştir. İnaktivasyon katsayısının (k_{max}) 2.41 olduğu belirlenmiş olup, domates yüzeylerinde biyofilm oluşturmış *S. Typhimurium* inaktivasyonunda UV-C ışık işleminin etkili olduğu belirlenmiştir.

Yapılan analizlerde *L. monocytogenes* kültür süspansiyonu iki farklı *L. monocytogenes* Scott A ve *L. monocytogenes* LM17 suşunun iki eşit orandaki karışımı şeklinde kokteyl olarak hazırlanmıştır. *L. monocytogenes* kültür süspansiyonu inoküle edilip 2 saat bekletildikten sonra UV-C ışık (0.12-13.94 kJ/m²) uygulanan domates örneklerinde mikrobiyal azalma sonuçları incelendiğinde, *L. monocytogenes* sayılarında 1.42-2.96 log KOB/domates aralığında azalma olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.33).

Tablo 4.33 Domates örneklerine inoküle edilmiş *L. monocytogenes* kültürüne uygulanan UV-C ışık sonrasında elde edilen mikrobiyal azalmalar

Biyofilm oluşturma durumu	Kontrol (log KOB / domates)*	UV-C ışık uygulamasından sonra elde edilen mikrobiyal azalmalar (log KOB/domates)**					
		UV-C ışık uygulama süresi (sn) / dozu (kJ/m ²)					
		1 / 0.12	10 / 1.16	30 / 3.49	60 / 6.97	90 / 10.46	120 / 13.94
Biyofilm oluşturmamış	5.17 (0.30)	1.42 (0.36) ^{Aa}	1.86 (0.38) ^{ABa}	2.08 (0.53) ^{ABCa}	2.74 (0.32) ^{CDa}	2.96 (0.50) ^{Da}	2.37 (0.63) ^{BCDa}

Biyofilm oluşturmuş	4.80 (0.04)	1.27 (0.19) ^{Aa}	2.09 (0.35) ^{Ba}	1.95 (0.21) ^{Ba}	2.19 (0.24) ^{Bb}	2.24 (0.25) ^{Bb}	2.31 (0.23) ^{Ba}

*UV-C uygulaması öncesinde model gıdalara inokule edilmiş olan mikroorganizma sayılarıdır.

**Aynı sütundaki farklı küçük harfler biyofilm oluşturmuş ve biyofilm oluşturmamış olan test kültürüne UV-C ışık uygulamasından sonra elde edilen mikrobiyal azalmalar arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$). Aynı satırda yer alan büyük harfler UV-C ışık uygulamasından sonra elde edilen mikrobiyal azalmalar arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$).

1 sn UV-C ışık uygulaması sonucunda elde edilen 1.42 log KOB/domates mikrobiyal azalmanın, 90 sn UV-C ışık uygulaması sonucunda elde edilen 2.96 log KOB/domates mikrobiyal azalmanın daha düşük olduğu ve uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$). Biyofilm oluşturmuş *L. monocytogenes* sayısında UV-C uygulaması sonrasında elde edilen azalmaların 1.27-2.31 log KOB/domates aralığında olduğu tespit edilmiştir. 1 sn UV-C ışık uygulaması hariç artan doz uygulamalarına rağmen mikrobiyal azalmalar arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir ($p > 0.05$).

Domates örneklerine inokule edilen *L. monocytogenes* üzerine 0.12-13.94 kJ/m² doz aralığında uygulanan UV-C ışık işlemleri sonucunda elde edilen verilerin mikrobiyal inaktivasyon kinetiği modellenmiş olup, en uygun model parametreleri Tablo 4.34'te özetlenmiştir. Modelleme verileri incelendiğinde, R² değerlerinin 0.92-0.95 arasında olduğu belirlenmiş olup, RMSE değerlerinin 0.15-0.20 arasında değiştiği saptanmıştır. Log-lineer modellemeler ile elde edilen inaktivasyon katsayıları ($k_{\max}$) sırasıyla 0.22 ve 0.26 (1/zaman) olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.34 Domates örneklerine inokule edilen *L. monocytogenes* üzerinde uygulanan UV-C işlemleri sonucu elde edilen verilerin modellenmesi

Parametreler*	Domates örneklerine inokule edilen <i>L. monocytogenes</i> üzerine uygulanan UV-C işlemlerinden elde edilen verilerin modellenmesi		
	Log Lineer	Geeraerd Tail	Weibull
R ²	0.92	0.92	0.95
Adj-R ²	0.90	0.87	0.92
RMSE	0.17	0.20	0.15
delta	-	-	1.92
LOG ₁₀ (N ₀)	3.54	3.57	3.84
LOG ₁₀ (N _{res})	-	1.87	-
k _{max}	0.22	0.26	-
p	-	-	0.50

*Parametreler; R^2 , determinasyon katsayısı; $Adj-R^2$, ayarlanmış determinasyon katsayısı; RMSE, kalıntı standart hata; delta, desimal azalma için gereken süre; $LOG_{10}(N_0)$, başlangıçtaki mikrobiyal yük; $LOG_{10}(N_{res})$, dirençli mikrobiyal yük; k_{max} , inaktivasyon katsayısı (1/zaman); p, şekil faktörü.

Tüm sonuçlar incelendiğinde, yüksek R^2 değeri ve düşük RMSE değeri ile mikrobiyal inaktivasyon kinetiğini tanımlamak için en uygun modelin Weibull modeli olduğu bulunmuştur. Modelin şekil faktörü 0.50 olarak tespit edilmiş olup, değerin $p < 1$ olması nedeniyle mikrobiyal inaktivasyon eğrisinin yukarı doğru içbükey olduğu belirlenmiştir. Bu durum UV-C ışık uygulamalarının dozu arttırılsa da mikrobiyal inaktivasyonu sağlamak için giderek daha az etkili hale geldiğini göstermektedir (Izquier and Gómez-López, 2011).

Domates yüzeylerinde biyofilm oluşturmuş *L. monocytogenes* test kültürü üzerine uygulanan farklı dozlardaki UV-C ışık işlemleri sonucunda elde edilen inaktivasyon verileri kullanılarak yapılan modelleme sonuçları Tablo 4.35'te belirtilmiştir.

Tablo 4.35 Domates örneklerinde biyofilm oluşturmuş *L. monocytogenes* üzerinde uygulanan UV-C işlemleri sonucu elde edilen verilerin modellenmesi

Parametreler*	Domates örneklerinde biyofilm oluşturmuş <i>L. monocytogenes</i> üzerine uygulanan UV-C işlemlerinden elde edilen verilerin modellenmesi		
	Log Lineer	Geeraerd Tail	Weibull
R^2	0.47	0.98	0.76
$Adj-R^2$	0.33	0.97	0.61
RMSE	0.32	0.07	0.24
delta	-	-	7.61
$LOG_{10}(N_0)$	3.05	3.67	3.59
$LOG_{10}(N_{res})$	-	2.57	-
k_{max}	0.11	2.97	-
p	-	-	0.24

*Parametreler; R^2 , determinasyon katsayısı; $Adj-R^2$, ayarlanmış determinasyon katsayısı; RMSE, kalıntı standart hata; delta, desimal azalma için gereken süre; $LOG_{10}(N_0)$, başlangıçtaki mikrobiyal yük; $LOG_{10}(N_{res})$, dirençli mikrobiyal yük; k_{max} , inaktivasyon katsayısı (1/zaman); p, şekil faktörü

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, karşılaştırılan modeller içerisinde en yüksek R^2 değeri (0.98) ve en düşük RMSE değerinin (0.07) Geeraerd Tail modelinde sağlandığı tespit edilmiştir. Domates örneklerine inokule edilen *L. monocytogenes* üzerine uygulanan UV-C işlemlerinin mikrobiyal inaktivasyon kinetiğini tanımlamak için en uygun modelin Weibull modeli olarak belirlenirken, biyofilm oluşturmuş *L. monocytogenes* üzerine uygulanan UV-C işlemlerinin mikrobiyal inaktivasyon kinetiğini modellemek için en uygun modelin Geeraerd Tail modeli olduğu bulunmuştur. Elde edilen bu bulgunun

aksine, gıda temas yüzeylerde bulunan biyofilmler üzerinde düşük enerjili X-ışını inaktivasyonun araştırıldığı Zhang et al. (2021b) tarafından yapılan çalışmada, *L. monocytogenes* tarafından oluşturulan biyofilmin inaktivasyonunda Weibull modelinin daha uygun olduğu bulunmuştur. Bu durum tez çalışmasında domates örneklerinde biyofilm oluşturmuş *L. monocytogenes* test kültürüne uygulanan UV-C ışığının etkisinin daha düşük olduğunu ve biyofilm oluşturmuş hücrelerinin inaktivasyonu için kümülatif hasar süreci olması gerektiğini göstermiştir.

Lim and Harrison (2016) tarafından yapılan bir çalışmada, yeşil domateslere farklı dozlarda ($0.223-2.23 \text{ kJ/m}^2$) UV-C ışık uygulamasının *Salmonella* spp. üzerine etkisi incelenmiş, maksimum azalma $4.39 \text{ log KOB/domates}$ sayısı ile 1.785 kJ/m^2 (240 sn) UV-C dozu uygulamasında belirlenmiştir. Tez kapsamında elde edilen sonuçlar incelendiğinde ise benzer dozda UV-C ışık uygulaması (1.74 kJ/m^2) sonucunda *S. Typhimurium* sayısında $3.39 \text{ log KOB/domates}$ azalma sağlandığı saptanmıştır. Üzüm domateslerin yüzeyine ve sap kısımlarındaki yaralara inokule edilen *E. coli* O157:H7 ve *Salmonella enterica* kültürlerine $0.6-6.0 \text{ kJ/m}^2$ UV-C uygulamasının incelendiği bir başka çalışmada ise UV-C dozu arttıkça mikrobiyal azalmanın arttığı ortaya konmuştur. Başlangıç mikroorganizma sayıları sırasıyla 8.0 ve $7.6 \text{ log KOB/domates}$ olan örnekler 6.0 kJ/m^2 UV-C uygulaması domates yüzeylerinde ve sap yaralarında *E. coli* O157:H7 için sırasıyla 3.17 ve $3.49 \text{ log KOB/domates}$, *S. enterica* için ise sırasıyla 2.81 ve $3.06 \text{ log KOB/domates}$ azalma sağlamıştır. Çalışma sonucunda domateslerde sap yarasının olduğu alanlarda mikrobiyal tutunmaların daha fazla olduğu, bu durumun nedeni olarak da domates yüzeyine kıyasla yaralı alanın daha pürüzlü olması dolayısıyla tutunmaların daha fazla olabileceği ifade edilmiştir (Mukhopadhyay et al., 2014).

Song et al. (2011) tarafından yapılan çalışmada 5 kJ/m^2 UV-C dozu uygulamasının çeri domateslere inokule edilen *S. Typhimurium* ve *E. coli* O157:H7 sayılarını kontrol örneklerine kıyasla 2.58 ve 2.65 log KOB/g düzeylerinde azalttığını tespit ederken, Sommers et al. (2010) $5-40 \text{ kJ/m}^2$ UV uygulamasının domates örneklerine inokule edilmiş *S. Typhimurium*, *L. monocytogenes* ve *S. aureus* sayılarında sırasıyla $3.02-3.79 \text{ log KOB/g}$, $2.59-3.60 \text{ log KOB/g}$ ve $3.13-3.62 \text{ log KOB/g}$ azalma sağladığını belirlemiştir. Yapılan bir başka çalışmada $2-10 \text{ kJ/m}^2$ UV-C ışık uygulaması çeri domates örneklerine inokule edilen *S. Typhimurium* sayısını kontrol örneklerine kıyasla 1.28 log KOB/g azalttığı belirtilirken (Choi et al., 2015b), yapılan tez araştırmasında $0.12-3.49 \text{ kJ/m}^2$ doz uygulaması sonucunda daha yüksek azalma ($2.52-3.88 \text{ log}$

KOB/domates) sağlandığı tespit edilmiştir. Diğer bir çalışmada 24 mW/cm^2 UV-C uygulamasının domates örneklerine inokule edilen *Salmonella* spp. sayısında $2.19 \log$ KOB/domates azalma sağladığı ortaya koymuştur (Yaun et al., 2004).

Park et al. (2018a) tarafından yapılan çalışmada domates dış yüzey kesitine 5 ve 20 dakika süre aralığında UV-C ışık uygulamalarının (70.68 mW/cm^2) *S. Typhimurium* kültüründe $1.48\text{-}1.96 \log$ azalma sağlandığı belirlenirken, *L. monocytogenes* kültüründe ise azalmaların $0.78\text{-}1.58 \log$ olduğu saptanmıştır. Benzer şekilde tez çalışmasında da *L. monocytogenes* test kültüründe UV-C ışığın mikrobiyal azalma üzerindeki etkisinin *S. Typhimurium* test kültüründen daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu durum Gram pozitif bakterilerin, hücre duvarının yapısı (kalın peptidoglikan tabakası) nedeniyle genellikle Gram negatif bakterilere kıyasla UV-C ışığa daha dirençli olduğu ile ilişkilendirebilmektedir (Koutchma, 2019).

Gıda dekontaminasyonu için $200\text{-}1100 \text{ nm}$ aralığındaki dalga boylarında değişen geniş spektrumlu ışık darbelerinin kullanıldığı darbeli ışık teknolojisinde, UV ışığın fotokimyasal etkisi yoluyla mikroorganizmaların DNA yapısına zarar verilerek hücresel faaliyetlerin işlevleri bozulmaktadır (Mukhopadhyay et al., 2015). Bu etkinin yanı sıra darbeli ışık teknolojisi, fototermal ve fotofiziksel etkiler yoluyla da mikroorganizmaları etkisiz hale getirmektedir (Krishnamurthy, et al., 2007). Leng et al. (2020) tarafından yapılan çalışmada domates örneklerine inokule edilen *S. enterica* üzerinde 0.00105 kJ/m^2 dozda darbeli ışık uygulaması sonucunda başlangıç mikroorganizma sayısında ($7.1 \log \text{ KOB/g}$) 1.5 logaritmik birim azalma sağlarken, 0.0315 kJ/m^2 doz uygulaması durumunda elde edilen azalma 2.3 logaritmik birim seviyesinde tespit edilmiştir. Düşük doz uygulaması sonucunda mikroorganizmalarda meydana gelen hasar, hücresel hasar eşiğini aştığında hızla ölümcül hasar meydana gelmektedir (Sasthy et al., 2000). Ancak bu çalışmada daha fazla doz uygulamasının istatistiksel açıdan anlamlı bir azalmaya neden olmadığı, artan uygulama süresi ile birlikte mikroorganizmalarda hasarın ilerlemesine rağmen görülen hücre ölümünün stabilize bir eğilim gösterdiği belirlenmiştir. Tez çalışması kapsamında uygulanan en düşük UV-C ışık dozundan (0.12 kJ/m^2) çok daha düşük dozda darbeli ışık uygulamasının mikrobiyal inaktivasyon üzerindeki etkisinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Biyofilmler, gıda kaynaklı salgınların yaygın bir kaynağı olarak kabul edilmekte olup, biyofilm oluşum ve gelişimi, spesifik bakteri suşu da dahil olmak üzere birçok faktörden etkilenmektedir. Klor uygulaması ile, gıda temas

yüzeylerinde bulunan biyofilmi etkili bir şekilde kontrol edilebilmektedir. Srey et al. (2014) tarafından yapılan çalışmada 200 ppm klor ile yıkamanın marul örneklerinde *L. monocytogenes* sayısında 0.68 log KOB/cm² azalma sağladığı belirlenirken, UV-C ışık uygulaması (3.9 kJ/m²) ile meydana gelen azalmanın 4.06 log KOB/cm² olduğu tespit edilmiştir. Yapılan uygulamalar sonucunda ürün kalitesinde istatistiksel açıdan anlamlı bir değişiklik olmadığı belirtilmiştir ($p>0.05$). Bu nedenle biyofilm sorununu gidermek için UV-C ışık uygulamalarının kimyasal işlemlere alternatif olabileceği düşünülmektedir. Tez çalışması kapsamında yapılan analizlerde ise domates yüzeylerinde biyofilm oluşturmuş olan *L. monocytogenes* ve *S. Typhimurium* sayılarında 3.49 kJ/m² dozda UV-C ışık uygulaması sonucunda sırasıyla 1.95 log KOB/domates ve 2.83 log KOB/domates azalma sağlandığı belirlenmiştir. Kullanılan model gıdanın yüzey yapısı, kullanılan test kültürü, UV-C ışık uygulaması yapılan cihazın özellikleri gibi çeşitli etmenlere bağlı olarak sonuçlar değişiklik gösterebilmektedir (Syamaladevi et al., 2013; Srey et al., 2014).

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde UV-C ışık işleminin ürünlerin belirli bir alanı üzerinde etkisinin belirlendiği görülmektedir (Vurmaz and Gündüz, 2020; Avalos-Llano et al., 2020; Ortiz-Sola et al., 2021). Etkili dekontaminasyonun sağlanması için ürünlerin tek bir yüzeyinin UV-C ışığa maruz kalması yeterli olmamakta, tüm gıda yüzeyinin UV-C ışığa maruz kalması gerekmektedir (Manzocco and Nicoli, 2015). Ancak tüm yüzeylerde eş zamanlı olarak eşit miktarda ve istenilen seviyede dekontaminasyonun sağlanması için ürünlerin çevrilmesi gerektiği için bu durum UV-C ışık uygulama süresinin uzamasına neden olmaktadır. Ayrıca bu işlemler sonucunda mekanik yaralanmalara karşı çok hassas, kısa sürede bozulabilen taze meyve ve sebzelerde ürünlerin yapısal bütünlüğünün bozulma ihtimali artmaktadır (Shafiee et al., 2010). Bu dezavantajların giderilmesi için tez çalışması kapsamında tasarımı yapılan çift taraflı UV-C ışık cihazında model gıdaların tüm yüzeyleri homojen olarak UV-C ışığa maruz kalmış olup, daha kısa işlem sürelerinde ürün kalitesi korunarak etkili dekontaminasyon sağlanmıştır.

Literatürde yer alan çalışmalar ile kıyaslandığında tez kapsamında UV-C ışık uygulaması ile elde edilen mikrobiyal azalmaların çalışmalar ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Tez çalışması kapsamında elde edilen mikrobiyal azalmalar değerlendirildiğinde düşük UV-C ışık uygulama sürelerinde kullanılan test kültürleri üzerinde etkili antimikrobiyal, antibiyofilm ve anti-QS aktivite sergilendiği ortaya konmuştur.

4.4.2 Çilek örneklerine inokule edilmiş *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* kültürü ile yapılan UV-C uygulamalarına ait bulgular

Çilek örneklerine *S. Typhimurium* kültür süspansiyonu inoküle edilip 1 saat bekletildikten sonra yapılan UV-C uygulamaları (1.74-17.43 kJ/m²) sonunda *S. Typhimurium* sayılarında azalmalar tespit edilmiştir. Ayrıca inokülasyon yapılmış çilek örneklerinde, ön denemeler ile belirlenen etkili tutunmanın sağlandığı 20°C 1 gün süre ile depolanmış çilek yüzeyinde biyofilm oluşturmuş *S. Typhimurium* kültürü üzerine UV-C ışık uygulamasının etkisi de belirlenmiştir (Tablo 4.36).

Tablo 4.36 Çilek örneklerine inokule edilmiş *S. Typhimurium* sayısındaki azalma

Biyofilm oluşturma durumu	Kontrol (log KOB/çilek)*	UV-C ışık uygulamasından sonra elde edilen mikrobiyal azalmalar (log KOB/çilek)**					
		UV-C ışık uygulama süresi (sn) / dozu (kJ/m ²)					
		15 / 1.74	30 / 3.49	60 / 6.97	90 / 10.46	120 / 13.94	150 / 17.43
Biyofilm oluşturmamış	5.52 (0.56)	0.59 (0.23) ^{Aa}	0.86 (0.14) ^{ABa}	1.20 (0.21) ^{Ca}	1.08 (0.31) ^{BCa}	1.74 (0.09) ^{Da}	0.68 (0.13) ^{Aa}
Biyofilm oluşturmuş	4.58 (0.54)	0.42 (0.09) ^{Aa}	0.49 (0.10) ^{ABb}	0.74 (0.26) ^{BCb}	0.47 (0.25) ^{ABb}	0.40 (0.09) ^{Ab}	0.82 (0.03) ^{Ca}

*UV-C uygulaması öncesinde model gıdalara inokule edilmiş olan mikroorganizma sayılarıdır.

** Aynı sütundaki farklı küçük harfler biyofilm oluşturmuş ve biyofilm oluşturmamış olan test kültürüne UV-C ışık uygulamasından sonra elde edilen mikrobiyal azalmalar arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Aynı satırda yer alan büyük harfler UV-C ışık uygulamasından sonra elde edilen mikrobiyal azalmalar arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

Araştırma sonucunda biyofilm oluşturmamış olan *S. Typhimurium* sayılarında azalmanın 0.59-1.74 log KOB/çilek aralığında olduğu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında model gıdalara inokule edilmiş test kültürlerinde en yüksek 17.43 kJ/m² doz uygulamasında dahi etkili azalma sağlanamamıştır. 60 ve 90 sn UV-C ışık uygulaması sonucunda inokule edilen *S. Typhimurium* sayılarında elde edilen azalmalar istatistiksel olarak farklı bulunmazken (p>0.05), 120 sn UV-C ışık uygulaması yapılan örneklerde 1.74 log KOB/çilek aralığında azalma olduğu tespit edilmiştir. Ancak UV-C uygulama süresi arttırıldığında (150 sn) biyofilm oluşturmamış *S. Typhimurium* test kültürü üzerinde mikrobiyal azalmanın artmadığı ortaya konmuştur (Tablo 4.36).

Çilek örneklerine inokule edilen *S. Typhimurium* üzerine 1.74-17.43 kJ/m² doz aralığında uygulanan UV-C ışık işlemleri sonucunda elde edilen verilerin

mikrobiyal inaktivasyon kinetiği modellenmiş olup, en uygun model parametreleri Tablo 4.37’de belirtilmiştir.

Tablo 4.37 Çilek örneklerine inokule edilen *S. Typhimurium* üzerinde uygulanan UV-C işlemleri sonucu elde edilen verilerin modellenmesi

Parametreler*	Çilek örneklerine inokule edilen <i>S. Typhimurium</i> üzerine uygulanan UV-C işlemlerinden elde edilen verilerin modellenmesi		
	Log lineer	Geeraerd Tail	Weibull
R^2	0.90	0.97	0.97
Adj- R^2	0.88	0.95	0.94
RMSE	0.08	0.05	0.05
delta	-	-	0.02
$\text{LOG}_{10}(N_0)$	4.68	4.80	5.43
$\text{LOG}_{10}(N_{\text{res}})$	-	4.08	-
k_{max}	0.08	0.22	-
p	-	-	0.13

*Parametreler; R^2 , determinasyon katsayısı; Adj- R^2 , ayarlanmış determinasyon katsayısı; RMSE, kalıntı standart hata; delta, desimal azalma için gereken süre; $\text{LOG}_{10}(N_0)$, başlangıçtaki mikrobiyal yük; $\text{LOG}_{10}(N_{\text{res}})$, dirençli mikrobiyal yük; k_{max} , inaktivasyon katsayısı (1/zaman); p, şekil faktörü.

Sonuçlar incelendiğinde, R^2 değerlerinin 0.90-0.97 arasında olduğu belirlenmiş olup, ölçülen ve tahminlenen değerler arasındaki ortalama sapmayı ölçen RMSE değerlerinin 0.05-0.08 arasında değiştiği saptanmıştır. R^2 ve Adj- R^2 değerlerinin yüksek, RMSE değerinin düşük olması, model verilerinin analiz sonucunda elde edilen veriler ile uyumlu olduğunu göstermektedir (Cankal et al., 2023). Yüksek R^2 değeri ve düşük RMSE değeri ile mikrobiyal inaktivasyon kinetiğini tanımlamak için en uygun modelin Geeraerd Tail modeli olduğu bulunmuştur (Tablo 4.37). Mikroorganizmaların UV-C ışık uygulaması sonucunda ne kadar hızlı bir şekilde inaktive olduğunu gösteren bir ifade olan k_{max} değerinin 0.22 olduğu tespit edilmiştir. Bu değer düşük olması çilek örneklerine inokule edilen *S. Typhimurium* üzerine uygulanan UV-C ışığa karşı dirençli olduğunu, dolayısıyla daha zor inaktivasyon gösterdiğini belirtmektedir. Choi et al. (2015b) tarafından yapılan çalışmada da *S. Typhimurium* kültürüne uygulanan 2 kJ/m² UV-C ışık dozu sonucunda, mikrobiyal inaktivasyon kinetiği Geeraerd Tail modeli kullanılarak modellenmiş ve benzer şekilde k_{max} değerinin 0.20 olduğu belirlenmiştir. Ispanak yüzeylerine inoküle edilmiş *E. coli* 157:H7, *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* kültürleri üzerine uygulanan UV-C ışık işlemi (0.73 kJ/m²) sonucunda sırasıyla k değerlerinin 0.11, 0.13 ve 0.16 olduğu belirlenmiştir (Kim and Kang, 2020).

Tez çalışması kapsamında kullanılan model gıdalardan biri olan domates örneklerine inoküle edilen *S. Typhimurium* kültürüne ait matematiksel modelleme verileri ile çilek örneklerine ait veriler kıyaslandığında ise domates örneklerine yapılan UV-C ışık uygulamaları sonucunda elde edilen k_{max} değerinin daha yüksek (1.97) olduğu görülmektedir. Bu durum domates örneklerinin yüzey morfolojisinin daha pürüzsüz olması nedeniyle mikrobiyal inaktivasyona duyarlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla domates örneklerine inoküle edilen *S. Typhimurium*'un UV-C ışığa karşı duyarlı olduğu ve domates örneklerinde daha düşük dozlarda daha kolay inaktivasyon sağlanabildiği düşünülmektedir.

Tez çalışması kapsamında yapılan biyofilm analizlerinde ise çilek örneklerine inoküle edilen *S. Typhimurium* sayısında UV-C uygulaması sonrasında 0.40-0.82 log KOB/çilek aralığında azalma olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.36). Biyofilm oluşturmuş *S. Typhimurium* kültürü üzerinde UV-C ışık uygulamasından sonra elde edilen mikrobiyal azalmaların da 1 logaritmik birimden daha az olduğu belirlenmiştir. Biyofilmin önlenmesi için gereken işlem koşullarının beklenenden daha yüksek olduğu ve biyofilmin koruyucu etkileri nedeniyle planktonik hücrelerin tamamen inaktivasyonu sonuculanacak uygulama koşulları altında bile biyofilmin tamamen engellenemeyeceği belirtilmektedir (Torkzadeh et al., 2021). Bu nedenle bu tez çalışmasında da gıda yüzeylerinin düzensiz olması, yüzeyde bulunan mikroorganizmaları UV-C ışık etkisinden koruduğu ve oluşan biyofilm nedeniyle uygulanan işlemlerin etkinliğinin azalmasından dolayı biyofilm oluşturmuş olan test kültürleri üzerinde UV-C ışık etkisinin düşük olduğu bulunmuştur (Escalona et al., 2010; Yan et al., 2017).

Çilek örneklerinde biyofilm oluşturmuş *S. Typhimurium* test kültürü üzerinde UV-C ışık uygulamaları sonucunda elde edilen verilerin mikrobiyal inaktivasyon kinetiği verilerine en uygun modeller Tablo 4.38'de verilmiştir.

Tablo 4.38 Çilek örneklerinde biyofilm oluşturmuş *S. Typhimurium* üzerinde uygulanan UV-C işlemleri sonucu elde edilen verilerin modellenmesi

Parametreler*	Çilek örneklerinde biyofilm oluşturmuş <i>S. Typhimurium</i> üzerine uygulanan UV-C işlemlerinden elde edilen verilerin modellenmesi		
	Log linear	Geeraerd Tail	Weibull
R ²	0.88	0.88	0.96
Adj-R ²	0.85	0.80	0.94
RMSE	0.14	0.17	0.09
delta	-	-	18.04

LOG ₁₀ (N ₀)	4.32	4.32	4.12
LOG ₁₀ (N _{res})	-	4.01	-
k _{max}	0.13	0.13	-
p	-		2.38

*Parametreler; R², determinasyon katsayısı; Adj-R², ayarlanmış determinasyon katsayısı; RMSE, kalıntı standart hata; delta, desimal azalma için gereken süre; LOG₁₀(N₀), başlangıçtaki mikrobiyal yük; LOG₁₀(N_{res}), dirençli mikrobiyal yük; k_{max}, inaktivasyon katsayısı (1/zaman); p, şekil faktörü.

Sonuçlar değerlendirildiğinde, karşılaştırılan modeller içerisinde en yüksek R² değerinin 0.96 olduğu ve en düşük RMSE değerinin 0.09 olduğu belirlenmiştir. Bu parametrelerin yer aldığı Weibull modelinin veriler ile uyum sağlayan en iyi model olduğu tespit edilmiştir. Modelin p değerinin 2.38 olduğu bulunmuş olup, bu değer 1'den büyük olması nedeniyle mikrobiyal inaktivasyon eğrisinin aşağı doğru içbükey olduğu belirlenmiştir. Marul örneklerinde *S. Typhimurium* tarafından oluşturulan biyofilm üzerinde UV-C ışığın etkisinin araştırıldığı çalışmada da mikrobiyal inaktivasyon kinetiğinin modellenmesinde Weibull modelinin daha uygun olduğu belirlenmiştir (Jahid et al., 2014). Ancak p değerinin 1'den küçük olması nedeniyle mikrobiyal inaktivasyon eğrisinin yukarı doğru içbükey olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla UV-C ışık uygulamasının aynı test kültürü üzerinde mikrobiyal inaktivasyon davranışında model gıda örneklerine bağlı olarak değişiklik gösterdiği bulunmuştur. Sonuç olarak çilek örneklerinde biyofilm oluşturmuş *S. Typhimurium* üzerinde UV-C ışığın etkisinin düşük olduğu belirlenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda *L. monocytogenes* inokulasyonu yapılmış çilek örneklerine UV-C uygulaması sonunda çalışılan sürelerde (30, 60, 90, 120, 180, 240 sn) *L. monocytogenes* sayılarında azalmalar Tablo 4.39'da belirtilmiştir.

Tablo 4.39 Çilek örneklerine inokule edilen *L. monocytogenes* sayısındaki azalmalar

Biyofilm oluşturma durumu	Kontrol (log KOB/çilek)*	UV-C ışık uygulamasından sonra elde edilen mikrobiyal azalmalar (log KOB/çilek)**					
		UV-C ışık uygulama süresi (sn) / dozu (kJ/m ²)					
		30 / 3.49	60 / 6.97	90 / 10.46	120 / 13.94	180 / 20.92	240 / 27.89
Biyofilm oluşturmamış	5.78 (0.53)	0.84 (0.08) ^{Aa}	1.10 (0.21) ^{ABa}	1.28 (0.25) ^{BCa}	1.52 (0.36) ^{CDa}	1.55 (0.35) ^{CDa}	1.75 (0.44) ^{Da}
Biyofilm oluşturmuş	3.71 (0.69)	0.60 (0.20) ^{Ab}	0.97 (0.52) ^{ABa}	1.83 (0.34) ^{Cb}	1.42 (0.66) ^{BCa}	1.01 (0.50) ^{ABa}	1.99 (0.47) ^{Ca}

*UV-C uygulaması öncesinde model gıdalara inokule edilmiş olan mikroorganizma sayılarıdır.

** Aynı sütundaki farklı küçük harfler biyofilm oluşturmuş ve biyofilm oluşturmamış olan test kültürüne UV-C ışık uygulamasından sonra elde edilen mikrobiyal azalmalar arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir

($p < 0.05$). Aynı satırda yer alan büyük harfler UV-C ışık uygulamasından sonra elde edilen mikrobiyal azalmalar arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$).

UV-C ışık uygulamaları ($3.49-27.89 \text{ kJ/m}^2$) sonucunda biyofilm oluşturmamış *L. monocytogenes* sayısında $0.84-1.75 \text{ log KOB/çilek}$ aralığında azalma olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.39). Çilek örneklerine inokule edilen *L. monocytogenes* üzerine uygulanan UV-C işlemlerinden elde edilen veriler program yardımıyla modellenmiş olup, farklı modellemeler sonucunda uyumlu olduğu belirlenen model parametreleri Tablo 4.40'da gösterilmiştir.

Tablo 4.40 Çilek örneklerine inokule edilen *L. monocytogenes* üzerinde uygulanan UV-C işlemleri sonucu elde edilen verilerin modellenmesi

Parametreler*	Çilek örneklerine inokule edilen <i>L. monocytogenes</i> üzerine uygulanan UV-C işlemlerinden elde edilen verilerin modellenmesi		
	Log Lineer	Geeraerd Tail	Weibull
R^2	0.89	0.97	0.98
Adj- R^2	0.86	0.96	0.96
RMSE	0.12	0.07	0.07
delta	-	-	0.00
$\text{LOG}_{10}(N_0)$	4.92	5.20	5.11
$\text{LOG}_{10}(N_{\text{res}})$	4.80	4.06	-
k_{max}	0.08	0.20	-
p	-	-	0.12

*Parametreler; R^2 , determinasyon katsayısı; Adj- R^2 , ayarlanmış determinasyon katsayısı; RMSE, kalıntı standart hata; delta, desimal azalma için gereken süre; $\text{LOG}_{10}(N_0)$, başlangıçtaki mikrobiyal yük; $\text{LOG}_{10}(N_{\text{res}})$, dirençli mikrobiyal yük; k_{max} , inaktivasyon katsayısı ($1/\text{zaman}$); p, şekil faktörü.

Elde edilen modelleme verileri değerlendirildiğinde, R^2 değerlerinin $0.89-0.98$ arasında olduğu belirlenmiş olup, RMSE değerlerinin $0.07-0.12$ arasında değiştiği saptanmıştır. Log-lineer modellemeler ile elde edilen inaktivasyon katsayıları (k_{max}) sırasıyla 0.08 ve 0.20 olarak belirlenmiştir (Tablo 4.40). Tüm sonuçlar incelendiğinde, yüksek R^2 değeri ve düşük RMSE değeri ile mikrobiyal inaktivasyon kinetiğini tanımlamak için en uygun modelin Weibull modeli olduğu bulunmuştur. Belirlenen modelin şekil faktörü 0.12 olarak tespit edilmiş olup, değerin $p < 1$ olması nedeniyle mikrobiyal inaktivasyon eğrisinin yukarı doğru içbükey olduğu belirlenmiştir. UV-C ışık işlemi ile mikrobiyal inaktivasyon başlangıçta artsa da UV-C ışık dozu artırıldığında mikrobiyal inaktivasyonun zamanla azaldığı saptanmıştır (Monfort et al., 2010). Çeşitli uygulamalar sonucunda farklı mikroorganizmaların benzer inaktivasyon davranışı gösterdiği bildirilmiştir (Schenk et al., 2008; Keklik et al., 2012). Elma kabuğuna inokule edilen *L. monocytogenes*, *S. enterica* ve *E. coli* test kültürlerine uygulanan UV-C ışık işlemi sonunda en uygun modelin Weibull modeli olduğu ve belirlenen p

değerlerinin test kültürleri için sırasıyla 0.17, 0.24 ve 0.51 olduğu tespit edilmiştir (Nicolau-Lapeña et al., 2022). Bu çalışmada da düşük p değerine sahip olması nedeniyle *L. monocytogenes* test kültürünün UV-C ışığa daha dirençli olduğu saptanmıştır. UV-C uygulama dozu artırılmasına rağmen *L. monocytogenes* test kültürünün düşük inaktivasyon oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde dondurulmuş ahududu üzerine UV-C ışığın etkisinin incelendiği bir çalışmada test edilen *E. coli* 0157:H7, *Salmonella*, *L. monocytogenes* kültürleri arasında UV-C ışığa en dirençli olan test kültürünün *L. monocytogenes* olduğu rapor edilmiştir (Liao et al., 2017).

UV-C uygulaması sonrasında biyofilm oluşturmuş *L. monocytogenes* sayılarında 0.60-1.99 log KOB/çilek aralığında azalma olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.39). Tez çalışması kapsamında çilek örneklerinde biyofilm oluşturmuş *L. monocytogenes* test kültürü üzerinde UV-C ışık uygulamaları ile belirlenen mikrobiyal inaktivasyon kinetiği verilerine en iyi uyum sağlayan modeller Tablo 4.41’de verilmiştir.

Tablo 4.41 Çilek örneklerinde biyofilm oluşturmuş *L. monocytogenes* üzerinde uygulanan UV-C işlemleri sonucu elde edilen verilerin modellenmesi

Parametreler*	Çilek örneklerinde biyofilm oluşturmuş <i>L. monocytogenes</i> üzerine uygulanan UV-C işlemlerinden elde edilen verilerin modellenmesi		
	Log lineer	Geeraerd Tail	Weibull
R ²	0.61	0.96	0.78
Adj-R ²	0.51	0.93	0.63
RMSE	0.27	0.10	0.23
delta	-	-	2.93
LOG ₁₀ (N ₀)	2.91	3.73	3.98
LOG ₁₀ (N _{res})	-	2.19	-
k _{max}	0.08	0.42	-
p	-	-	0.30

*Parametreler; R², determinasyon katsayısı; Adj-R², ayarlanmış determinasyon katsayısı; RMSE, kalıntı standart hata; delta, desimal azalma için gereken süre; LOG₁₀(N₀), başlangıçtaki mikrobiyal yük; LOG₁₀(N_{res}), dirençli mikrobiyal yük; k_{max}, inaktivasyon katsayısı (1/zaman); p, şekil faktörü.

Modelleme sonuçları incelendiğinde, R² değerlerinin 0.61-0.96 arasında değiştiği, RMSE değerlerinin ise 0.10-0.27 arasında olduğu bulunmuştur. Çilek örneklerinde biyofilm oluşturmuş *L. monocytogenes* üzerinde uygulanan UV-C işlemlerinin mikrobiyal inaktivasyon verilerinin modellenmesi için R² ve Adj-R² değerlerinin yüksek, RMSE değerinin düşük olduğu en uygun modelin Geeraerd Tail modeli olduğu bulunmuştur. Modelin k_{max} değerinin 0.42 olduğu saptanmış olup, çilek örneklerinde biyofilm oluşturmuş *L. monocytogenes* üzerinde UV-C

ışığın etkisinin domates örnekleri ile kıyaslandığında ($k_{max}=2.97$) daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum farklı yüzey özelliklerinin gıdalarda UV-C ışığın etkinliğinde önemli farklılıklara neden olabileceği ile açıklanabilmektedir (Adhikari et al., 2015).

Dünya Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) 2022 yılı verilerine göre, en fazla çilek üretimi yapan Çin ve ABD'nin ardından 3'üncü sırada yer alan ülkemizde çilek üretiminin 728112 ton/yıl olduğu belirlenmiştir. Ancak çilek yapısı nedeniyle mekanik hasarlanmalara karşı oldukça hassas bir ürün olup, kalite kayıplarına neden olmadan ürünün güvenliğini sağlanması ve ekonomik kayıpların önlenmesi için etkili yöntemler araştırılmaktadır (Abdalla et al., 2023). Gıda güvenliğini sağlanması ve ekonomik kayıpların azaltılması için kullanılan etkili, kimyasal kalıntı bırakmayan ve çevre dostu bir teknoloji olan UV-C ışık uygulamalarının etkisi çilek örneklerinin morfolojik yapısı nedeniyle değişiklik göstermektedir. Ortiz-Sola et al. (2021) tarafından yapılan çalışmada çilek örneklerine inoküle edilen *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* test kültürlerine uygulanan 0.6-6 kJ/m² su destekli UV-C ışık uygulamasında 1.2 logaritmik birim azalma sağlandığı belirlenmiştir. Butot et al. (2018) tarafından yapılan çalışmada da 2.12-13.31 kJ/m² UV-C ışık uygulamasında 1 logaritmik birimden daha az azalmalar olduğu belirtilmiştir. Çilek yüzeyinin pürüzlü olması ürünün tüm yüzeyine homojen olarak UV-C ışık uygulanmasına engel olduğu için UV-C ışık uygulamasının etkinliği azalmaktadır (Butot et al., 2018).

Taze meyve ve sebzeler ürün tüketimiyle ilişkili salgınlarda yaygın olarak yer alan *Salmonella* spp. gibi enterik patojenlerin bitkisel kaynaklı gıdalarda biyofilm oluşturabildiği bilinmektedir (Yaron and Römling, 2014). Bazı meyve ve sebzelerin yüzeyleri, yağ asitleri, mumlar ve polisakkaritlerden oluşan hidrofobik bir malzeme olan kütikül ile kaplı olup, bu yapı hidrofobik moleküllerin bağlanmasını kolaylaştırmaktadır. Biyofilm oluşturan patojen mikroorganizmaların bu dokulara hızla bağlanabildiği ve ilk olarak hidrofobik ve elektrostatik etkileşimlerle zayıf, geri dönüşümlü bir bağlanma söz konusu olmaktadır. Gómez-Aldapa et al. (2018) tarafından yapılan çalışmada çilek örneklerine *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *S. Typhimurium*, *S. Typhi*, *S. Montevideo*, *Shigella flexneri*, *Vibrio cholerae* O1 ve *E. coli*'nin altı patotipi inoküle edilmiş olup 22 °C'de depolanan örneklerde gıda kaynaklı bakterilerin en az 15 gün boyunca canlılığını sürdürdüğü saptanmıştır. Bu durumun halk sağlığı açısından potansiyel bir tehdit oluşturduğu belirtilmiştir. Pérez-Lavalle et al. (2023) tarafından yapılan çalışmada 20°C'de 72 saat ve 4 ile 7°C'de 240 saat

depolanan çileklerin yüzeyinde *Salmonella* Thompson test kültürünün canlı kaldığı ve biyofilm oluşturduğu rapor edilmiştir. Bu nedenle gelecekteki çalışmaların çilek yüzeyinde oluşan biyofilmin parçalanmasını sağlayarak, biyofilm oluşturan patojenlerin neden olduğu gıda kaynaklı hastalık riskini en aza indirmeye yönelik olması gerektiği belirtilmiştir.

Farklı meyve yüzeylerinde UV-C ışığın etkisinin belirlenmesi için yapılan çalışmada 11.9 kJ/m² doz uygulamasının *L. monocytogenes* sayısında kavun ve çilek örneklerinde 1 logaritmik birim, armut örneklerinde ise 1.7 logaritmik birim azalma olduğu belirlenmiştir. Pürüzsüz yüzeylerde (armut) mikrobiyal inaktivasyon oranlarının, daha pürüzlü yüzeylere sahip meyvelere (kavun, çilek) kıyasla daha yüksek olduğu dolayısıyla yüzey özelliklerinin UV-C ışığın etkinliğinde önemli rol oynadığı belirlenmiştir (Adhikari et al., 2015). Tez çalışması kapsamında, benzer doz uygulaması sonucunda (10.46 kJ/m²) çilek örneklerine inoküle edilen *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* test kültürlerinde sırasıyla 1.08 ve 1.28 log KOB/çilek azalma sağlandığı tespit edilmiştir. Domates örneklerinde ise 10.46 kJ/m² UV-C ışık uygulamasının *L. monocytogenes* test kültürlerinde 2.96 log KOB/domates azalma sağladığı saptanmıştır (Tablo 4.31). Sonuçlar incelendiğinde gıda örneklerinin yüzey özelliklerinin farklı olmasının UV-C ışık uygulamalarının etkinliğini değiştirdiği ve verilerin literatürle uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Biyofilm oluşumunun etkisiz hale getirilmesi için daha yüksek uygulama koşullarının kullanılması gerekmektedir (Gora et al., 2019). Yapılan bir araştırmada *L. monocytogenes* için 15 saniyelik maruziyette (1.80 kJ/m²) vejetatif hücrelerde 6.5 log KOB/cm² azalmaya ulaşıldığı rapor edilirken, paslanmaz çelik yüzeylerinde oluşturulan biyofilm tabakası üzerinde 3 kJ/m² UV-C ışık uygulaması sonucunda oluşan biyofilmin >4 log azaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar pürüzsüz yüzeylerde oluşan biyofilm üzerinde UV-C ışığın etkisinin daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Tez kapsamında elde edilen sonuçlar incelendiğinde, UV-C ışık uygulamasının *S. Typhimurium* inokulasyonu yapılmış domates örneklerinde çalışılan sürelerde (0.12-3.49 kJ/m²) 2.52-3.88 log KOB/domates aralığında azalma sağladığı tespit edilmiştir. *S. Typhimurium* inokulasyonu yapılmış çilek örneklerinde ise UV-C uygulaması sonunda çalışılan sürelerde (1.74-17.43 kJ/m²) azalmaların 0.59-1.74 log KOB/çilek aralığında olduğu tespit edilmiştir. *L. monocytogenes* kültürü inoküle edilmiş domates örneklerine UV-C uygulaması

(0.12-13.94 kJ/m²) sonucunda 1.42-2.96 log KOB/domates aralığında azalma olduğu tespit edilirken, çilek örneklerine UV-C uygulaması (3.49-27.89 kJ/m²) sonunda *L. monocytogenes* sayılarında 0.84-1.75 log KOB/çilek aralığında azalma olduğu tespit edilmiştir. Etkili dozun seçilebilmesi için bu sonuçlar değerlendirildiğinde çilek örneklerinin pürüzlü yapısından dolayı meydana gelen azalmaların domates örneklerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle çilek örneklerinin depolama denemelerinde *S. Typhimurium* için 60 ve 90 sn UV-C ışık uygulaması arasında istatistiksel açıdan anlamı fark olmadığı için 60 sn (6.97 kJ/m²) seçilirken, biyofilm oluşturmuş *L. monocytogenes* üzerinde UV-C ışık uygulamasının 90 sn sürede etkili olması ve artan doza bağlı olarak azalmaların artmaması nedeniyle 90 sn (10.46 kJ/m²) uygulama süresi seçilmiştir. Domates örneklerinin depolama analizleri için ise *S. Typhimurium* üzerinde 10 sn (1.16 kJ/m²) UV-C işlemi uygulanması gerektiği belirlenirken, *L. monocytogenes* üzerinde 60 sn (6.97 kJ/m²) UV-C işlemi (<10 kJ/m²) uygulanmasına karar verilmiştir.

4.4.3 UV-C ışık uygulaması sonrasında reaktivasyon mekanizmalarının etkisinin belirlenmesi

Mikroorganizmalar UV-C ışık nedeniyle meydana gelen hasarı onarmak için görünür ışığa bağlı (fotoreaktivasyon) ve görünür ışıktan bağımsız (karanlık reaktivasyon) mekanizmalar ile DNA hasarını onarabilme kapasitesine sahiptir (Ochoa-Velasco et al., 2018). Bu tez çalışmasında, domates örneklerinde *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* test kültürlerinde elde edilen mikrobiyal azalmalar dikkate alınarak seçilen 1.16 ve 6.97 kJ/m² UV-C ışık uygulamalarına tabi tutulan model gıda örneklerinde 4°C’de 1 ve 24 saat depolamanın reaktivasyon üzerinde etkisi belirlenmiştir. Benzer şekilde çilek örneklerinde *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* test kültürleri için sırasıyla 6.97 ve 10.46 kJ/m² UV-C işlemine tabi tutulan model gıda örneklerinde 4°C’de 1 ve 24 saat depolamanın fotoreaktivasyon ve karanlık reaktivasyon etkisi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.42’de özetlenmiştir.

Tablo 4.42 Model gıda örnekleri ile yapılan reaktivasyon uygulamaları (1 saat)

Koşul	<i>S. Typhimurium</i> sayısı (log KOB/model gıda)*		<i>L. monocytogenes</i> sayısı (log KOB/model gıda)*	
	Domates	Çilek	Domates	Çilek
UV-C öncesi	4.44 (0.20) ^{Aa}	4.49 (0.08) ^{Aa}	5.66 (0.02) ^{Aa}	5.76 (0.13) ^{Aa}
UV-C 0 saat	1.82 (0.00) ^{Bb}	3.85 (0.94) ^{Aa}	2.68 (0.11) ^{Bb}	4.09 (0.40) ^{Ab}

UV-C aydınlık 1 saat	1.82 (0.00) ^{Bb}	3.91 (0.83) ^{Aa}	2.41 (0.10) ^{Bb}	4.56 (0.27) ^{Ab}
UV-C karanlık 1 saat	1.76 (0.34) ^{Bb}	3.55 (0.74) ^{Aa}	2.94 (0.38) ^{Bb}	4.87 (0.31) ^{Ab}

*Her bir model gıda için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$). Her bir mikroorganizma için aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$).

Sonuçlar incelendiğinde, *S. Typhimurium* inoküle edilen domates örneklerinde UV-C ışık uygulaması sonucunda 2.62-2.68 log azalma olduğu belirlenirken, fotoreaktivasyon ve karanlık reaktivasyon etkisinin *S. Typhimurium* sayısı üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı farklılığa neden olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). Çilek örnekleri ile kıyaslandığında domates örneklerine UV-C ışık uygulamasının *S. Typhimurium* üzerinde istatistiksel olarak daha etkili azalma sağladığı saptanmıştır ($p<0.05$). *L. monocytogenes* test kültürü inoküle edilen domates örneklerinde UV-C ışık uygulaması sonucunda 2.72-3.25 log azalma sağlanırken, aydınlık veya karanlıkta depolamanın *L. monocytogenes* sayısında istatistiksel açıdan anlamlı farklılığa neden olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). Benzer şekilde çilek örneklerinde 0.89-1.67 log azalma sağlanırken, aydınlık veya karanlıkta depolamanın istatistiksel açıdan anlamlı farklılığa neden olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). Bu nedenle UV-C uygulamaları sonucunda karanlık veya aydınlıkta 1 saat depolamanın domates ve çilek örneklerine inoküle edilmiş mikroorganizmaların reaktivasyon mekanizmalarında etkili olmadığı belirlenmiştir. Depolamanın 24 saat olması durumunda reaktivasyon mekanizmalarında bir fark olup olmayacağını değerlendirmek için de analizler yapılmıştır (Tablo 4.43).

Tablo 4.43 Model gıda örnekleri ile yapılan reaktivasyon uygulamaları (24 saat)

Koşul	<i>S. Typhimurium</i> sayısı (log KOB/model gıda)*		<i>L. monocytogenes</i> sayısı (log KOB/model gıda)*	
	Domates	Çilek	Domates	Çilek
UV-C öncesi	4.48 (0.08) ^{Ba}	4.72 (0.06) ^{Aa}	5.66 (0.02) ^{Aa}	4.48 (0.05) ^{Ba}
UV-C sonrası	1.67 (0.21) ^{Bb}	3.09 (0.12) ^{Ab}	2.68 (0.11) ^{Bc}	3.20 (0.02) ^{Ac}
UV-C aydınlık 24 saat	1.82 (0.01) ^{Bb}	3.32 (0.02) ^{Ab}	3.28 (0.10) ^{Bb}	3.85 (0.12) ^{Ab}
UV-C karanlık 24 saat	1.67 (0.21) ^{Bb}	2.79 (0.38) ^{Ab}	2.57 (0.14) ^{Bc}	3.21 (0.19) ^{Ac}

*Her bir model gıda için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$). Her bir mikroorganizma için aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$).

Sonuçlar incelendiğinde, *S. Typhimurium* test kültürünün ise iki model gıda örneğinde de UV-C işlemi sonrasında mikrobiyal popülasyonunda 1.4-2.84 log aralığında azalma olduğu ancak istatistiksel olarak depolama koşullarına bağlı anlamlı bir değişim olmadığı bulunmuştur ($p>0.05$). *L. monocytogenes* test kültürü inoküle edilen domates ve çilek örneklerinde 0.63-3.09 log aralığında azalma olduğu belirlenmiş olup, UV-C ışık uygulamasından sonra *L. monocytogenes* test kültürü inoküle edilen domates ve çilek örneklerinin 24 saat aydınlıkta depolanmasının, karanlıkta depolama yapılan örnekler ile kıyaslandığında istatistiksel açıdan daha yüksek mikrobiyal popülasyona sahip olduğu dolayısıyla, görünür ışığın etkisinin hasar gören hücrelerin reaktivasyonuna neden olduğu belirlenmiştir.

Fotoreaktivasyon ve karanlık reaktivasyon mekanizmalarının etkisi, mikroorganizma türlerine ve UV-C ışığın neden olduğu hasarın dozu ile ilişkili olarak değişiklik göstermektedir. Fotoreaktivasyon, UV-C ile zarar gören hücrelerin görünür ışığa maruz kalması sonucunda meydana gelen, UV-C işleminin olumsuz etkilerini en aza indirmek için kullanılan etkili bir onarım mekanizmasıdır. Mikrobiyal hücrelerde görünür ışık ile aktive edilen fotolizaz enzimi sayesinde pirimidin dimerleri arasındaki bağ kırılarak DNA hasarı onarılabilmektedir. Bu durum, uygulanan dozda UV-C işleminin etkinliğini azaltmaktadır (Lopez-Malo and Palou, 2005). Bazı mikroorganizmalarda ise görünür ışığa ihtiyaç duymayan ve karanlık reaktivasyon adı verilen bir onarım mekanizması bulunmaktadır. Bu sistemde timin dimerleri taşıyan kısa DNA zincirleri kesilerek atılmaktadır. Ancak belirli bir sürede gerçekleşen bu onarım meydana gelirse, mikroorganizmaya verilen zarar geri dönüşümlü olabilmektedir (Salcedo et al., 2007). Yapılan çalışmalarda uygulanan UV-C ışık dozuna bağlı olarak, bazı mikroorganizmalarda ölümcül olmayan şekilde hasar gören hücrelerin UV-C işleminden sonra kendini onarabilmesinden dolayı sadece UV-C uygulaması ile mikrobiyal popülasyonlarda sınırlı azalma sağlandığı rapor edilmiştir (Lasagabaster and de Marañón, 2014; Chen et al., 2015; Choi et al., 2015b).

4.4.4 UV-C ışık uygulanan model gıdaların depolama süresince mikrobiyolojik, fizikokimyasal ve duyuşsal özellikleri

Bu kapsamda UV-C ışık uygulaması yapılan model gıdalara inoküle edilmiş kültürlerde en etkili azalma sağlanması ve ürünün kalitesini minimum düzeyde etkilenmesi için $<10 \text{ kJ/m}^2$ dozda UV-C ışık uygulanması hedeflenmiştir (Esua et al., 2019). Bu nedenle domates örneklerinin depolama analizleri için *S.*

Typhimurium üzerinde 10 sn (1.16 kJ/m^2) UV-C işlemi uygulanması gerektiği belirlenirken, *L. monocytogenes* üzerinde 60 sn (6.97 kJ/m^2) UV-C işlemi uygulanmasına karar verilmiştir. Domates örnekleri UV-C işlemi uygulandıktan sonra 10°C 'de depolama sürecince (0., 1., 4., 7., 10 ve 13. gün) mikrobiyolojik analizlere alınmıştır.

Çilek örneklerinde ise *S. Typhimurium* için 60 ve 90 sn UV-C ışık uygulaması arasında istatistiksel açıdan anlamı fark olmadığı için depolama analizleri için 60 sn seçilirken, biyofilm oluşturmuş *L. monocytogenes* üzerinde UV-C ışık uygulamasının 90 sn sürede etkili olması ve artan doza bağlı olarak azalmaların artmaması nedeniyle 90 sn uygulama süresi seçilmiştir. Örnekler UV-C işlemi uygulandıktan sonra 4°C 'de depolama sürecince mikrobiyolojik analizlere alınmıştır. Ayrıca depolama süresince UV-C ışık uygulaması (90 sn) yapılan örneklerin mikrobiyolojik (küf ve maya sayısı, toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı, toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısı, *L. monocytogenes* ve *S. Typhimurium* sayısı), fizikokimyasal (ağırlık kaybı, renk, bozulma sıklığı, toplam suda çözünür madde, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite tayini) ve duyuşsal özellikleri belirlenmiştir.

4.4.5 UV-C ışık uygulamalarının işlem sonrasında ve depolama süresince inokülasyon yapılmış model gıdalarda *L. monocytogenes* ve *S. Typhimurium* sayıları üzerine etkisi

Domates örneklerinin depolama analizleri için *S. Typhimurium* üzerinde 10 sn (1.16 kJ/m^2), *L. monocytogenes* üzerinde 60 sn (6.97 kJ/m^2) UV-C işlemi uygulandıktan sonra, örnekler 10°C 'de depolama sürecince (0., 1., 4., 7., 10., 13. gün) mikrobiyolojik analizlere alınmıştır. Çilek örneklerinde ise *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* için sırası ile 60 sn ve 90 sn UV-C ışık uygulaması yapılmış ve örnekler 4°C 'de depolama sürecince mikrobiyolojik analizlere alınmıştır. Domates üzerine inoküle edilen patojenler üzerinde UV-C ışık işleminin depolama süresi boyunca etkisinin belirlenmesi için yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Tablo 4.44'te yer almaktadır.

Tablo 4.44 UV-C uygulamasının domates örneklerinde depolama süresince etkisi

Süre (gün)	<i>S. Typhimurium</i> sayısı (log KOB/domates)*		<i>L. monocytogenes</i> sayısı (log KOB/domates)*	
	Kontrol	UV-C (10 sn)	Kontrol	UV-C (60 sn)
0	5.44 (0.19) ^{Aa}	2.54 (0.23) ^{Bb}	6.14 (0.25) ^{Aa}	3.74 (0.23) ^{Ba}
1	4.09 (0.34) ^{Ac}	1.87 (0.09) ^{Ba}	5.95 (0.57) ^{Aab}	3.38 (0.02) ^{Bb}
4	4.63 (0.25) ^{Ab}	2.47 (0.13) ^{Bb}	5.79 (0.08) ^{Aab}	3.32 (0.12) ^{Bb}

7	4.35 (0.25) ^{Aab}	3.91 (0.04) ^{Bc}	5.20 (0.60) ^{Ac}	3.87 (0.30) ^{Ba}
10	4.62 (0.03) ^{Ab}	4.32 (0.02) ^{Bd}	5.23 (0.34) ^{Ac}	3.52 (0.12) ^{Bab}
13	-	-**	5.22 (0.04) ^{Ac}	3.32 (0.10) ^{Bb}

*Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$).

**Belirtilen örnekler bozulduğu için analize alınmamıştır.

Depolama süresi boyunca UV-C uygulaması yapılmayan kontrol grubu örneklerinde *S. Typhimurium* sayıları 4.09-5.44 log KOB/domates olarak değişirken, 10 sn UV-C uygulaması yapılan örneklerde sayıların 1.87-4.32 log KOB/domates aralığında olduğu tespit edilmiştir. Depolamanın 1. gününde *S. Typhimurium* sayısı kontrol örneklerinde 4.09 log KOB/domates olarak belirlenirken, UV-C uygulaması sonucunda *S. Typhimurium* sayısı istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılıkla 1.87 log KOB/domates olarak tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Depolama süresi boyunca UV-C uygulaması yapılmayan kontrol grubu örneklerinde *L. monocytogenes* sayım sonuçları 5.20-6.14 log KOB/domates olarak değişirken, 60 sn UV-C uygulaması yapılan örneklerde sayıların 3.31-3.87 log KOB/domates aralığında olduğu tespit edilmiştir. Depolamanın 1. gününde *L. monocytogenes* sayısı kontrol örnekleri ile kıyaslandığında istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılıkla UV-C uygulaması sonucunda 3.38 log KOB/domates olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.44).

UV-C ışık işlemi sonucunda elde edilen mikrobiyal azalmalar değerlendirildiğinde ise *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* sayılarında 4. günde meydana gelen azalmaların sırasıyla 2.16 ve 2.47 log olduğu tespit edilirken, depolamanın 7. gününde azalmaların 0.44 ve 1.33 log olduğu belirlenmiştir. Bu durum depolamanın 7. gününden itibaren patojen sayısında azalmanın yavaşladığını göstermiştir. *S. Typhimurium* sayısı depolamanın 13. gününde belirleme limitinin altına düşerken, daha yüksek dozda UV-C ışık uygulanan *L. monocytogenes* test kültüründe kontrol ve UV-C ışık uygulanan örneklerde mikroorganizmanın canlılığını sürdürdüğü saptanmıştır. *L. monocytogenes* test kültürünün UV-C ışığa daha dirençli olduğunu gösteren bu durum model gıda analizlerinde farklı dozlarda UV-C işlemlerinde elde edilen sonuçlar ile desteklenmektedir.

Cabrera-Díaz et al. (2022) tarafından yapılan çalışmada, 12°C'de 10 gün depolanan domates örneklerinde *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* sayılarındaki değişim incelenmiştir. Depolama süresinin sonunda *S. Typhimurium*

ve *L. monocytogenes* sayılarında sırasıyla 2.2 ve 2.9 log azalma olduğu tespit edilmiştir. Literatürde yer alan birçok çalışmada patojen popülasyonunda zamanla tutarlı bir azalma olduğu bildirmektedir (Gómez-Aldapa et al., 2018; Pérez-Lavalle et al., 2023).

Çilek örnekleri ile yapılan analiz sonuçları incelendiğinde, depolama süresi boyunca UV-C uygulaması yapılmayan kontrol grubu örneklerinde *S. Typhimurium* sayıları 1.79-4.44 log KOB/çilek olarak değişirken, 60 sn UV-C uygulaması yapılan örneklerde *S. Typhimurium* sayılarının 1.52-4.04 log KOB/çilek aralığında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.45).

Tablo 4.45 UV-C uygulamasının çilek örneklerinde depolama süresince etkisi

Süre	<i>S. Typhimurium</i> sayısı (log KOB/çilek)*		<i>L. monocytogenes</i> sayısı (log KOB/çilek)*	
	Kontrol	UV-C (60 sn)	Kontrol	UV-C (90 sn)
0	4.44 (0.32) ^{Aa}	4.08 (0.06) ^{Ba}	6.03 (0.31) ^{Aa}	4.61 (0.09) ^{Ba}
1	4.42 (0.07) ^{Aa}	4.04 (0.10) ^{Ba}	5.41 (0.16) ^{Aa}	3.66 (0.34) ^{Bb}
4	3.06 (0.06) ^{Ab}	2.68 (0.28) ^{Bb}	4.63 (0.07) ^{Ab}	4.52 (0.09) ^{Ba}
7	2.42 (0.62) ^{Ac}	2.17 (0.75) ^{Abc}	2.79 (0.38) ^{Ac}	2.30 (0.15) ^{Bc}
10	1.88 (0.32) ^{Acd}	1.67 (0.15) ^{Acd}	-	-
13	1.79 (0.37) ^{Ad}	1.52 (0.00) ^{Ad}	-	-**

* Her bir mikroorganizma için aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Her bir mikroorganizma için aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

**Belirtilen örnekler bozulduğu için analize alınmamıştır.

Depolamanın 4. gününde *S. Typhimurium* sayısı kontrol örneklerinde 3.06 log KOB/çilek olarak belirlenirken, UV-C uygulaması sonucunda *S. Typhimurium* sayısı istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılıkla 2.68 KOB/çilek olarak tespit edilmiştir (p<0.05). Depolama süresi boyunca UV-C uygulaması yapılmayan kontrol grubu örneklerinde *L. monocytogenes* sayım sonuçları 2.79-6.03 log KOB/çilek olarak değişirken, 90 sn UV-C uygulaması yapılan örneklerde *L. monocytogenes* sayılarının 2.30-4.61 log KOB/çilek aralığında olduğu tespit edilmiştir. Analiz edilen depolama süresince UV-C ışık uygulaması yapılmış/yapılmamış çilek örneklerinde patojen mikroorganizma sayılarının domates örneklerine benzer şekilde azaldığı belirlenmiştir (Tablo 4.45).

Farklı sıcaklıklarda yıkama işlemlerinin *S. Typhimurium* test kültürünün davranışı üzerindeki etkisinin incelendiği Wang et al. (2018) tarafından yapılan çalışmada, 4°C'de 72 saat depolama süresi sonucunda çilek örneklerinde 1.35 log azalma olduğu belirtilmiştir. 7°C, 50°C ve 53°C'de 240 saniye boyunca yıkama yapıldığında ise sırasıyla 1.22, 1.92, 2.27 log KOB/g azalma sağlandığı

bildirilmiştir. Ayrıca çilek örneklerinde meydana gelen mekanik hasarların yüzeylerdeki çözünabilir katı madde ve nemin, mikroorganizmaların canlı kalma şansını veya üremesini artırmak için yeterli besin sağlayabileceği belirtilmiştir. Bu durumun elde edilen azalmalar üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir.

4.4.6 UV-C ışık uygulamalarının işlem sonrasında ve depolama süresince model gıdaların doğal mikroflorası üzerine etkisi

İnokulasyon yapılmayan domates örneklerinde UV-C ışık uygulamalarının (6.97 kJ/m^2) örneklerin depolama süresince küf ve maya sayısı, toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı, toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. UV-C ışık uygulamalarının domates örneklerinde toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı üzerindeki etkisi Tablo 4.46’da özetlenmiştir.

Tablo 4.46 Domates örneklerinde depolama süresince belirlenen toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı

Örnek	Aerobik mezofilik bakteri sayısı (log KOB/domates)*					
	0. gün	1. gün	4. gün	7. gün	10. gün	13. gün
Kontrol	2.84 (0.55) ^C	3.37 (0.15) ^{BCa}	3.67 (0.34) ^{Ba}	4.64 (0.73) ^{Aa}	4.52 (0.04) ^{Aa}	4.92 (0.28) ^{Aa}
UV-C	<1.52	2.51 (0.29) ^{Cb}	2.41 (0.11) ^{Cb}	3.25 (0.01) ^{Ab}	2.95 (0.13) ^{Bb}	3.22 (0.20) ^{ABb}

*Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$).

UV-C ışık uygulaması yapılmış (6.97 kJ/m^2) veya yapılmamış domates örneklerinde depolama süresince belirlenen toplam mezofilik aerobik bakteri sayılarının <1.52-3.22 log KOB/domates ile 2.84-4.92 log KOB/domates aralığında olduğu tespit edilmiştir. UV-C ışık uygulaması sonucunda elde edilen sayım sonuçları ile kontrol örneklerinde belirlenen aerobik mezofilik bakteri sayım sonuçları karşılaştırıldığında UV-C ışık uygulaması yapılan örneklerde daha düşük olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$). Depolamanın 4. gününde kontrol grubunda aerobik mezofilik bakteri sayısı 3.67 log KOB/domates olarak tespit edilirken, UV-C ışık uygulaması yapılan örneklerde bu sayı 2.41 log KOB/domates olarak belirlenmiştir ($p < 0.05$). Patojen inokülasyonu yapılan domates örneklerinin aksine depolama süresinde toplam aerobik mezofilik bakteri sayısında artış olduğu belirlenmiştir. Ancak depolamanın 13. gününde dahi UV-C ışık uygulaması sonucunda domates örnekleri ile kontrol örnekleri arasında 1.7 log fark olduğu ortaya konmuştur. Pinheiro et al. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, toplam mezofilik aerobik bakteri sayısında 0.97 ve 4.16 kJ/m^2 UV-C ışık uygulamasından sonra elde edilen azalmaların benzer (0.6 log) olduğu

belirlenirken, 2.56 kJ/m^2 dozda UV-C uygulamasından sonra domates örneklerinde 1.2 log azalma elde edildiği bildirilmiştir.

Taze meyve ve sebzelerde bulunan doğal mikrofloranın canlı kalmasını etkileyen faktörler arasında ürün tipi, mikrobiyal yük ve doğası ile hasat sonrası yapılan uygulamaların etkinliği yer almaktadır. Bu nedenle, ürünlerdeki bozulmaya neden olan mikroorganizmaların azaltılmasına yönelik yapılacak uygulamalar ürün kalitesinin korunması ve raf ömrünün uzatılması açısından önemlidir (Leng et al., 2020). Meyve ve sebzelerin mikroflorasında bozulmaya neden olan bakteri, küf ve mayalar ürünün raf ömrünü kısaltmaktadır. Bu durum hem ihracatta hem de iç piyasadaki ekonomik dengelerde kritik bir rol oynamaktadır. Uygun dezenfeksiyon teknolojileriyle örneklerin fiziksel, kimyasal ve biyoaktif özellikleri olumsuz etkilenmeden ürünlerin raf ömürlerinin uzatılması ekonomik kayıpları büyük ölçüde azalttığı için önem taşımaktadır. Evrendilek and Uzun (2020) tarafından yapılan çalışmada, 20 dakika alkali iyonize su (pH 10) ve 12 dakika ozon (17.2 g/m^3) kombinasyon uygulamaları ile yapılan yüzey dezenfeksiyonunun önemli kalite parametrelerini olumsuz etkilemeden domatesin raf ömrünü 7 haftaya kadar uzattığını belirlenmiştir. Yapılan çalışmada, domates örneklerine 20 dakika alkali iyonize su (pH 10) ve 12 dakika ozon (17.2 g/m^3) uygulaması sonucunda toplam mezofilik aerobik bakteri sayısında en etkili azalmanın (5.2 logaritmik birim) sağlandığı belirlenmiştir. Küf ve maya sayısında ise 4 dakika ozon (17.2 g/m^3) ardından 20 dakika alkali iyonize su (pH 10) uygulaması ile 5.75 logaritmik birim azalma sağlandığı, yapılan yüzey dezenfeksiyonunun önemli kalite parametrelerini olumsuz etkilemeden domatesin raf ömrünü 7 haftaya kadar uzattığı rapor edilmiştir.

Mukhopadhyay et al. (2015) tarafından yapılan çalışmada kontrol domates örneklerinde aerobik mezofilik bakteri sayısı 0. günde 5.59 log KOB/g olarak tespit edilirken, depolamanın 21. gününde aerobik mezofilik bakteri sayısı 2 logaritmik birimden fazla artış ile 7.71 log KOB/g seviyesine yükselmiştir. UV-C uygulamasının (0.6 kJ/m^2) ardından hidrojen peroksit, EDTA ve nisin kullanılarak elde edilmiş karışım ile yıkanan örneklerde başlangıç mikrobiyal yük üzerinde yaklaşık 2.4 logaritmik birimlik azalma sağlanmıştır. Mukhopadhyay et al. (2023) tarafından yapılan darbeli ışık teknolojisinin doğal mikroflora üzerindeki etkisinin incelendiğinde bir çalışmada, uygulama yapılmayan örneklerde toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı 3.6 log KOB/g olarak bulunurken, depolamanın 14. gününde 4.5 log KOB/g olarak belirlenmiştir. Darbeli ışık uygulaması yapılan

örneklerde ise depolamanın 1. gününde mezofilik aerobik bakteri sayısı 2.1 log KOB/g olarak tespit edilirken, 14 günde 2.8 log KOB/g olarak artış göstermiştir.

Depolama süresince UV-C ışık uygulamasının psikrofilik aerobik bakteri sayısı üzerindeki etkisi incelendiğinde, UV-C ışık uygulaması yapılan kontrol örneklerinde sayının <1.52-4.98 log KOB/domates aralığında olduğu tespit edilirken, kontrol örneklerinde sayının 3.38-5.44 log KOB/domates aralığında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.47).

Tablo 4.47 Domates örneklerinde depolama süresince belirlenen psikrofilik aerobik bakteri sayısı

Örnek	Psikrofilik aerobik bakteri sayısı (log KOB/domates)*					
	0. gün	1. gün	4. gün	7. gün	10. gün	13. gün
Kontrol	3.38 (0.08) ^B	3.42 (0.32) ^{Ba}	4.01 (0.70) ^{Ba}	5.08 (0.69) ^{Aa}	5.32 (0.09) ^{Aa}	5.44 (0.05) ^{Aa}
UV-C	<1.52	2.88 (0.08) ^{Cb}	2.84 (0.04) ^{Cb}	4.21 (0.04) ^{Bb}	4.45 (0.06) ^{Ab}	4.44 (0.04) ^{Ab}

*Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

UV-C ışık uygulaması sonucunda elde edilen sayım sonuçları ile kontrol örneklerinde belirlenen psikrofilik aerobik bakteri sayım sonuçları karşılaştırıldığında UV-C ışık uygulaması yapılan örneklerde 1 log azalma olduğu belirlenmiştir. Özellikle depolamanın 4. gününden sonra UV-C ışık uygulanmış örneklerde belirlenen psikrofilik aerobik bakteri sayısında istatistiksel açıdan anlamlı bir artış olduğu belirlenirken (p<0.05), depolamanın 10. ve 13. günlerinde UV-C uygulamasının psikrofilik aerobik bakteri sayısı üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir (p>0.05).

Taze kesilmiş domates örneklerinde darbeli ışık uygulamalarının (4-8 J/cm²) psikrofilik bakteri sayısı üzerinde etkisinin incelendiği bir çalışmada, kontrol örneklerinde 3.1 log KOB/g olarak belirlenen psikrofilik bakteri sayısında darbeli ışık uygulaması sonucunda istatistiksel açıdan anlamlı bir fark oluşmadığı bildirilmiştir. Ancak depolama sonucunda (5°C, 20 gün) uygulama yapılmayan örneklerdeki psikrofilik bakteri sayısı 7.0 log KOB/g olarak tespit edilirken, darbeli ışık uygulamaları sonucunda psikrofilik bakteri sayısında 0.7-1.8 log azalma sağlandığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar dekontaminasyon amacıyla uygulanan darbeli ışık teknolojisinin soğukta depolama yapıldığında psikrofilik bakteri sayısı üzerinde etkili olduğunu göstermiştir (Valdivia-Nájar et al., 2018).

FAO tarafından belirtilen 2022 yılı verilerine göre, ülkemizde domates üretiminin 13 milyon ton olduğu rapor edilmiştir. Dünya domates üretiminde Çin ve Hindistan'ın ardından Türkiye'nin 3'üncü sırada geldiği rapor edilmiştir. FAO 2022 yılı verilerine göre Türkiye'nin taze domates ihracatı 513606.26 ton olarak gerçekleşmiştir. Ancak gıda endüstrisinin en büyük endişelerinden biri taze meyve ve sebze gibi ürünlerin sınırlı raf ömrüne sahip olması ve depolama süresince gıda kalitesinin bozulmasıdır. Tipik depolama sıcaklığı 10°C domatesin bozulmasından sorumlu iki ana etken bakteri ve funguslardır (Bartz et al., 2009; Leng et al., 2020). *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Bacillus* ve *Erwinia* türleri neden olduğu bakteriyel bozulmalar domatesin yüzeyinde yumuşak ve ekşi çürüklüğün ortaya çıkmasıyla karakterize edilmektedir. Domateste ağırlıklı olarak meydana gelen fungal bozulmalar ise *Alternaria*, *Rhizopus* ve *Colletotrichum* türlerinin (*C. gloeosporioides*, *C. dematium* ve en yaygın olarak *C. coccodes*) neden olduğu bozulmalardır (Bartz et al., 2009; Yadav et al., 2022).

Tez çalışması kapsamında UV-C ışık uygulamasının depolama süresince küf ve maya sayısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. UV-C ışık uygulaması yapılmış veya yapılmış domates örneklerinde depolama süresince belirlenen küf ve maya sayısının <1.52-2.21 log KOB/domates ile 2.70-2.94 log KOB/domates aralığında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.48).

Tablo 4.48 Domates örneklerinde depolama süresince belirlenen küf ve maya sayısı

Örnek	Küf ve maya sayısı (log KOB/domates)*					
	0. gün	1. gün	4. gün	7. gün	10. gün	13. gün
Kontrol	2.70 (0.03) ^A	3.00 (0.29) ^{Aa}	2.64 (0.37) ^{Aa}	3.69 (0.32) ^{Ba}	3.91 (0.07) ^{Ba}	2.94 (0.04) ^{Aa}
UV-C	<1.52	1.67 (0.15) ^{Cb}	2.17 (0.05) ^{Bb}	2.07 (0.13) ^{Bb}	2.91 (0.03) ^{Ab}	2.21 (0.09) ^{Bb}

*Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

Kontrol grubu örnekler ile UV-C ışık uygulaması yapılan örneklerin küf ve maya sayısı karşılaştırıldığında sayıların UV-C uygulaması ile azaldığı (~0.7 log) belirlenmiştir (p<0.05). Depolama süresince küf ve maya sayısının aerobik bakteri sayısından düşük olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde Mukhopadhyay et al. (2023) tarafından yapılan çalışmada darbeli ışığın doğal mikroflora üzerinde etkisi incelenmiş, depolamanın 14. gününde mezofilik aerobik bakteri sayısı 4.5 log KOB/g olarak belirlenirken, darbeli ışık uygulaması yapılmayan domates örneklerinde başlangıçta küf ve maya sayısı depolama süresinin sonunda 2.43 log KOB/g değerinden 3.5 log KOB/g sayısına çıktığı tespit edilmiştir. Uygulama

yapılan örneklerde depolamanın 1. gününde 1.52 log KOB/g olduğu belirlenen küf ve maya sayısının depolama süresinin sonunda 1.32 log KOB/g olduğu belirlenmiştir (Mukhopadhyay et al., 2023). Sonuç olarak depolama süresi boyunca kontrol ile kıyaslandığında UV-C ışık uygulaması ile domates örneklerinin mezofilik aerobik bakteri, psikrofilik aerobik bakteri, küf ve maya sayıları üzerinde etkili azalma sağlandığı bulunmuştur.

İnokulasyon yapılmayan çilek örneklerinde UV-C ışık uygulamalarının (10.46 kJ/m^2) depolama süresince küf ve maya sayısı, toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı, toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. UV-C ışık uygulamalarının çilek örneklerinde toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı üzerindeki etkisi Tablo 4.49’da belirtilmiştir. UV-C ışık uygulaması yapılmış ve yapılmamış çilek örneklerinde belirlenen toplam mezofilik aerobik bakteri sayılarının sırası ile 4.15-4.75 log KOB/çilek ve 5.34-5.61 log KOB/çilek aralığında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.49).

Tablo 4.49 Çilek örneklerinde depolama süresince belirlenen toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı

Örnek	Aerobik mezofilik bakteri sayısı (log KOB/çilek)*					
	0. gün	1. gün	4. gün	7. gün	10. gün	13. gün
Kontrol	5.53 (0.32) ^{Aa}	5.49 (0.14) ^{Aa}	5.34 (0.16) ^{Aa}	5.61 (0.60) ^{Aa}	5.45 (0.24) ^{Aa}	5.43 (0.41) ^{Aa}
UV-C	4.15 (0.04) ^{Bb}	3.92 (0.09) ^{Bb}	3.87 (0.66) ^{Bb}	4.70 (0.10) ^{Ab}	4.87 (0.11) ^{Ab}	4.75 (0.07) ^{Aa}

*Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$).

Depolama boyunca kontrol örneklerinin toplam mezofilik aerobik bakteri sayısında istatistiksel açıdan anlamlı bir artış olmamıştır ($p > 0.05$). Ancak kontrol ile kıyaslandığında 0. günde UV-C uygulaması toplam mezofilik aerobik bakteri sayısında 1.38 log azalma sağlarken, UV-C uygulaması yapılan örneklerin toplam mezofilik aerobik bakteri sayısında 7. gün itibariyle artış olduğu dikkat çekmektedir. Bu nedenle 7. gün itibariyle UV-C uygulamasının etkinliğinin azaldığı 13. gün itibariyle kontrol örneklerinin mezofilik aerobik bakteri sayısı ile arasında istatistiksel açıdan fark olmadığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$). Depolamanın 10. gününe kadar UV-C ışık uygulaması yapılmış örneklerdeki mezofilik aerobik bakteri sayılarının kontrol grubu çilek örneklerinden istatistiksel açıdan anlamlı olarak daha düşük olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$). Benzer şekilde Avalos-Llano et al. (2020) tarafından yapılan çalışmada çilek dilimlerine 5.8 kJ/m^2 dozda UV-C ışık uygulamasının 0°C 'de 4, 8 ve 12 gün depolama sonucunda toplam mezofilik aerobik bakteri sayısında sırasıyla 1.2, 1.4 ve 0.8 log azalma sağlandığı tespit edilmiştir. Li et al. (2019) tarafından yapılan çalışmada da çilek dilimlerine UV-C

ışık uygulaması (4 kJ/m^2) sonucunda 7. günde toplam mezofilik aerobik bakteri sayısında 1 log azalma sağladığı bildirilmiştir. Sonuçlar çilek örneklerinin depolanması sırasında UV-C ışık uygulamasının kullanılma potansiyeli olduğunu göstermiştir.

Çilek örneklerine uygulanan UV-C ışığın depolama süresince psikrofilik aerobik bakteri sayısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Depolama süresince UV-C ışık uygulaması yapılmış ve yapılmamış kontrol örneklerinde belirlenen psikrofilik aerobik bakteri sayılarının sırası ile 4.42-5.42 log KOB/çilek ve 4.60-6.13 log KOB/çilek aralığında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.50).

Tablo 4.50 Çilek örneklerinde depolama süresince belirlenen psikrofilik aerobik bakteri sayıları

Örnek	Psikrofilik aerobik bakteri sayısı (log KOB/çilek)*					
	0. gün	1. gün	4. gün	7. gün	10. gün	13. gün
Kontrol	5.80 (0.13) ^{Ba}	4.60 (0.11) ^{Da}	5.06 (0.18) ^{Ca}	6.31 (0.06) ^{Aa}	5.80 (0.31) ^{Ba}	6.13 (0.40) ^{ABa}
UV-C	4.42 (0.10) ^{Bb}	4.47 (0.02) ^{Ba}	4.74 (0.18) ^{Bb}	5.47 (0.12) ^{Ab}	5.29 (0.31) ^{Ab}	5.42 (0.26) ^{Ab}

* Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$).

Depolamanın başlangıcında örnekler arasında anlamlı farklılık olduğu belirlenirken, 1. gününde kontrol grubu örnekler ile UV-C ışık uygulaması yapılan örnekler arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir ($p > 0.05$). Depolamanın dördüncü gününden itibaren UV-C ışık uygulaması yapılan örneklerin psikrofilik aerobik bakteri sayısının istatistiksel açıdan daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.50). Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde UV-C ışık uygulaması sonrasında psikrofilik aerobik bakteri sayısının belirlendiği çalışmaya rastlanmamıştır. Tomadoni et al. (2018) tarafından yapılan çalışmada taze kesilmiş çilek örneklerinin gellan gum içeren bir kaplama solüsyonuna daldırılmasının ardından 5°C 'de 7 gün depolanmıştır. Depolama sonucunda herhangi bir işlem uygulanmayan çilek örneklerinde psikrofilik aerobik bakteri sayısı 4.38 log KOB/g değerinden 7.37 log KOB/g değerine artış gösterirken, kaplama yapılan örneklerin psikrofilik aerobik bakteri sayısının depolamanın 7. gününde kontrol ile kıyasla daha düşük (5.44-5.71 log KOB/g) olduğu saptanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde UV-C ışık uygulamalarının çilek örneklerinin mezofilik aerobik bakteri sayısı üzerindeki etkisinin psikrofilik aerobik bakteri sayısı üzerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Depolama süresince UV-C ışık uygulaması yapılmış ve yapılmamış çilek örneklerinde belirlenen küf ve maya sayıları 4.24-5.90 log KOB/çilek küf ve mayaların bakterilerden 4.98-5.94 log KOB/çilek aralığında olduğu tespit olup, sonuçlar Tablo 4.51’de özetlenmiştir.

Tablo 4.51 Çilek örneklerinde depolama süresince belirlenen küf ve maya sayıları

Örnek	Küf ve maya sayısı (log KOB/çilek)*					
	0. gün	1. gün	4. gün	7. gün	10. gün	13. gün
Kontrol	4.98 (0.08) ^{Ba}	5.00 (0.24) ^{Ba}	5.65 (0.09) ^{Aa}	5.77 (0.12) ^{Aa}	5.79 (0.24) ^{Aa}	5.94 (0.32) ^{Aa}
UV-C	4.24 (0.04) ^{Cb}	4.23 (0.04) ^{Cb}	5.00 (0.37) ^{Bb}	5.75 (0.05) ^{Aa}	5.77 (0.22) ^{Aa}	5.90 (0.36) ^{Aa}

* Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

Depolamanın 7., 10. ve 13. günlerinde yapılan analiz sonuçları incelendiğinde kontrol grubu örnekler ile UV-C ışık uygulaması yapılmış örnekler arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir (p>0.05). Depolamanın 13. gününde kontrol grubu örneklerde küf ve maya sayısı 5.94 log KOB/çilek olduğu belirlenirken, UV-C ışık uygulaması yapılmış örneklerde küf ve maya sayısı 5.90 log KOB/çilek olarak tespit edilmiştir (Tablo 4.51). Elde edilen veriler incelendiğinde UV-C ışık uygulamasının depolamanın yedinci gününden itibaren küf ve maya sayısı üzerinde etkisinin yetersiz olduğu belirlenmiştir. Avalos-Llano et al. (2020) tarafından yapılan çalışmada ise taze çilek dilimlerine 5.8 kJ/m² dozda UV-C ışık uygulamasının depolama süresince toplam küf maya sayısında 1.3 logaritmik birim azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. UV-C ışığın mikroorganizmaları inhibe etme etkisi hem mikroorganizmanın türüne ve hem de bulunduğu yüzeyin özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Ayrıca mikroorganizmaların UV-C ışığa olan dirençleri kıyaslandığında küf ve mayaların bakterilerden daha dirençli olduğu bilinmektedir (Koutchma, 2019). Bu nedenle kullanılan dozda (10.46 kJ/m²) UV-C ışık uygulamasının çilek örneklerinde küf ve maya sayısının kontrolünde yetersiz kaldığı düşünülmektedir.

UV-C ışık uygulaması ile domates örneklerinde depolama süresince toplam mezofilik aerobik bakteri sayılarında, istatistiksel açıdan anlamlı düzeyde, 0.86-1.70 log arasında değişen azalma sağlanmıştır (Tablo 4.47). Psikrofilik aerobik bakteri sayısı üzerinde UV-C ışık uygulamasının 0.87-1.17 log aralığında azalma sağladığı belirlenmiştir (Tablo 4.48). UV-C ışık uygulaması yapılmamış domates örnekleri ile kıyaslandığında depolama süresince psikrofilik aerobik bakteri sayısı üzerinde UV-C ışık uygulamasının etkili olduğu bulunmuştur (p<0.05). Depolama süresince UV-C ışık uygulanmış domates örneklerinde

kontrol ile kıyaslandığında küf ve maya sayısının daha düşük olduğu ve 0.47-1.62 log arasında değişen istatistiksel olarak anlamlı azalma sağlandığı belirlenmiştir (Tablo 4.49). Çilek örneklerinin doğal mikroflorasında UV-C ışık uygulamasının etkisi incelendiğinde ise, toplam mezofilik aerobik bakteri sayısında 0.58-1.57 log aralığında azalma sağlandığı belirlenmiştir. UV-C ışık uygulanmış çilek örneklerinde toplam mezofilik aerobik bakteri sayısının depolamanın 13. günü hariç kontrol çilek örneklerinden daha düşük olduğu saptanmıştır ($p<0.05$). UV-C ışık uygulamasının psikrofilik aerobik bakteri sayısını depolama süresince 0.13-0.84 log arasında azalttığı tespit edilirken, 1. gün hariç depolama süresince kontrol çilek örneklerinin psikrofilik aerobik bakteri sayısında UV-C ışık uygulaması ile etkili azalma sağlandığı belirlenmiştir ($p<0.05$).

Tüm doğal mikroflora analiz sonuçları değerlendirildiğinde ise depolama süresince domates örneklerinde daha düşük dozda UV-C ışık uygulamalarının (6.47 kJ/m^2) çilek örneklerine yapılan UV-C ışık uygulamaları (10.46 kJ/m^2) ile kıyaslandığında daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

4.4.7 UV-C ışık uygulamalarının işlem sonrasında ve depolama süresince model gıdaların fizikokimyasal ve duyuşal özellikleri üzerine etkisi

İnokulasyon yapılmayan domates ve çilek örneklerinde depolama süresince sırasıyla 6.47 kJ/m^2 ve 10.46 kJ/m^2 UV-C ışık uygulamalarının örneklerin fizikokimyasal (ağırlık kaybı, renk, bozulma sıklığı, toplam suda çözünür madde, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite analizleri) ve duyuşal özellikleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Domates örneklerinin ağırlık kaybı, bozulma sıklığı ve toplam suda çözünür madde analiz sonuçlarının özeti Tablo 4.52’de verilmiştir.

Tablo 4.52 Domates örneklerinin ağırlık kaybı, bozulma sıklığı ve toplam suda çözünür madde analiz sonuçları

Depolama (gün)	Ağırlık kaybı (%)*		Bozulma sıklığı (%)*		Toplam suda çözünür madde (Brix)*	
	UV-C öncesi	UV-C sonrası	UV-C öncesi	UV-C sonrası	UV-C öncesi	UV-C sonrası
0	***	-	***	-	5.25 (0.07) Ab	5.20 (0.14) Ac
1	0.21 (0.02) Ac	0.15 (0.03) Ac	-	-	5.30 (0.14) Bb	6.70 (0.14) Aa
4	0.31 (0.03) Ad	0.24 (0.02) Bd	-	-	4.70 (0.14) Bd	6.00 (0.14) Ab
7	0.51 (0.14) Ac	0.38 (0.03) Bc	22.50 (3.54) Ac	12.50 (3.53) Bc	4.90 (0.14) Bcd	6.70 (0.14) Aa
10	0.66 (0.06)	0.46 (0.07)	60.00 (0.00)	52.50 (3.53)	6.15 (0.07)	5.80 (0.28)

	Ab	Bb	Ab	Bb	Aa	Ab
13	0.88 (0.02) Aa	0.64 (0.08) Ba	100.00 (0.00) Aa	100.00 (0.00) Aa	5.10 (0.14) Bbc	6.10 (0.14) Ab

*Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$).

** Ağırlık kaybının olmadığı tespit edilmiştir.

*** Bozulma gözlemlenmemiştir.

Model gıda örneklerinde depolama süresince ağırlık kaybının arttığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Depolamanın 4. gününden itibaren kontrol ile UV-C ışık uygulamalarına ait sonuçlar karşılaştırıldığında UV-C ışık uygulanan domates örneklerinin ağırlık kaybının kontrol örnekleri ile kıyaslandığında daha az olduğu belirlenmiştir.

Taze meyve ve sebzelerde ağırlık kayıplarının artması terleme ve solunum gibi fizyolojik olaylardan kaynaklanmaktadır (Daiuto et al., 2013). Domateste hasat sonrasında raf ömrünün arttırılması için UV-C ışığın kullanımı ile ilgili yapılan bir çalışmada UV-C uygulanmayan örneklerde 10°C'de 9 ve 15 gün depolama süresi sonunda ağırlık kaybında önemli ölçüde bir artış (%9 ve %14) olduğu görülmüştür ($p<0.05$). Depolama süresi boyunca UV-C uygulaması yapılan örneklerde ise en düşük ağırlık kaybı değerleri kaydedilmiştir (Pinheiro et al., 2015). Benzer şekilde Daiuto et al. (2013) tarafından yapılan çalışmada, avokado örneklerine uygulanan UV-C ışığın solunum hızını geciktirmede etkili olduğu için ağırlık kayıplarının artışı geciktirdiği bildirilmiştir. Bu nedenle tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlarda da UV-C ışığın solunum hızını geciktirmede etkili olduğu için ağırlık kaybının artışı geciktirdiği düşünülmüştür.

Yüksek su aktivitesi, uygun pH ve mikroorganizmalar için üreme faktörü görevi gören besin zenginliği nedeniyle domates hasat sonrası bakteri ve funguslar tarafından bozulmaya yatkındır (Safari et al., 2021). Bu çalışmada bozulma sıklığı analiz sonuçları değerlendirildiğinde, depolama süresi arttıkça istatistiksel açıdan bozulma sıklığının arttığı belirlenmiştir ($p<0.05$). UV-C ışık uygulamasına maruz bırakılan örneklerde bozulmanın daha yavaş gerçekleştiği görülmektedir (Tablo 4.52). Ancak depolama süresi sonunda tüm örneklerde küf gelişimi gözlemlenmiştir.

Domates örneklerinde depolama süresince kontrol örneklerinin Brix değerinin 4.7-6.15 arasında değiştiği belirlenirken, UV-C ışık işlemi uygulanan örneklerin 5.20-6.70 arasında değişen Brix değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Sadece depolamanın 0. ve 10. günde elde edilen Brix değerlerinin

kontrol ile arasında istatistiksel açıdan anlamlı farklılığa neden olmadığı belirlenirken ($p<0.05$), depolama sırasında artış veya azalış davranışı sergilediği görülmüştür. Sonuçların literatür ile uyumlu olduğu belirlenmiştir (Kaur et al., 2013). Domates örneklerinde önemli bir kalite göstergesi olan Brix değerinde olgunlaşma sırasındaki artış polisakkaritlerin bozunmasından kaynaklanmaktadır (Sualeh et al., 2016). Razali et al. (2021) tarafından yapılan araştırmada, domates örneklerinin 4°C'de 21 günlük depolanması süresince Brix değeri üzerinde UV-C ışığının anlamlı bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Benzer şekilde UV-C ışığının 20°C'de 21 günlük depolamada olgun domatesler üzerinde toplam çözünebilir katı madde miktarı açısından minimum etkiye sahip olduğu bulunmuştur (Pinheiro et al., 2015).

Domates örneklerine UV-C uygulaması öncesi ve işlem sonrasındaki renk değerleri üzerindeki etkisi depolama süresince belirlenmiştir. Yapılan ölçüm sonuçları Tablo 4.53'te gösterilmiştir.

Tablo 4.53 Domates örneklerinin renk analiz sonuçları

Renk değeri		Depolama (gün)*					
		0	1	4	7	10	13
L*	UV-C öncesi	34.17 (0.65) ^{Aa}	35.30 (0.66) ^{Aa}	35.27 (0.75) ^{Aa}	34.58 (0.65) ^{Aa}	34.16 (0.87) ^{Aa}	35.13 (0.54) ^{Aa}
	UV-C sonrası	34.16 (0.62) ^{Aa}	29.95 (1.18) ^{CDb}	31.58 (1.74) ^{BCb}	32.38 (1.41) ^{ABb}	28.71 (2.12) ^{Db}	32.49 (1.37) ^{ABb}
a*	UV-C öncesi	13.85 (1.75) ^{Ba}	18.69 (2.79) ^{Aa}	17.04 (2.44) ^{ABb}	17.04 (1.61) ^{Aa}	17.16 (3.43) ^{ABb}	18.20 (1.07) ^{Aa}
	UV-C sonrası	15.08 (1.41) ^{Ba}	17.69 (3.80) ^{Ba}	23.10 (3.80) ^{Aa}	16.24 (2.74) ^{Ba}	22.20 (3.06) ^{Aa}	17.79 (2.49) ^{Ba}
b*	UV-C öncesi	10.74 (0.85) ^{Ca}	14.02 (1.49) ^{Ab}	13.35 (1.89) ^{ABb}	11.74 (0.79) ^{BCb}	11.61 (1.90) ^{BCb}	13.74 (1.56) ^{ABa}
	UV-C sonrası	11.57 (0.56) ^{Ba}	21.56 (1.96) ^{Aa}	21.53 (3.55) ^{Aa}	14.40 (1.71) ^{Ba}	19.53 (2.59) ^{Aa}	15.23 (2.83) ^{Ba}
ΔE		1.48	9.3	10.49	3.55	10.85	3.06

* Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$).

UV-C uygulaması sonrasında kontrol örnekleri ile kıyaslandığında L* değerlerinde değişimin istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). Ancak depolamanın 10. gününe kadar UV-C uygulaması sonrasında b* değerinde anlamlı bir artış olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). UV-C uygulaması sonrasında örneklerin açıklık değeri (L*) 0. gün hariç düşerken, kırmızı renk (a*) değeri depolamanın 4 ve 10. gününde istatistiksel açıdan anlamlı bir artış göstermiştir. Darbeli ışık teknolojisinin etkisinin araştırıldığı Mukhopadhyay et al. (2023) tarafından yapılan çalışmada, 10 sn darbeli ışık uygulamasından sonra ve depolama süresince domates örneklerinin görünüş özelliklerinde anlamlı bir

değişim olmadığı belirtilmiştir ($p>0.05$). Maharaj et al. (1999) tarafından UV-C ışık uygulanan (3.7 kJ/m^2) domateslerin kontrol ile kıyaslandığında a^* değerinin daha düşük olduğu ve uygulamaların olgunlaşmayı önemli ölçüde geciktirdiği bildirilmiştir. Ancak Tablo 4.45'te yer alan veriler incelendiğinde, çalışmamızda b^* değerlerinin 10.74 ile 21.56 değerleri arasında olduğu ve UV-C işlemi sonrasında örneklerin b^* değerlerinde 0. ve 13. gün hariç istatistiksel açıdan anlamlı bir artış gösterdiği tespit edilmiştir ($p<0.05$).

Renk, domatesin olgunlaşma indeksini gösteren ve ürünün pazarlanabilirliğini etkileyen en önemli özelliklerden biri olarak değerlendirilmektedir (Park et al., 2018b). Pinheiro et al. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada UV-C ışık uygulaması yapılmayan (kontrol) örneklerde a^* değerinde depolamanın 9. gününden sonra anlamlı bir artış gözlemlendiği ve daha kırmızı rengi temsil eden en yüksek a^* değeri olan 9.7'ye ulaştığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Çalışmada UV-C uygulaması ile depolama süresince a^* değerlerinin kontrol örneklerinden daha düşük olduğu rapor edilmiştir (Pinheiro et al., 2015). Domatesin olgunlaşma sürecinde klorofilin yeşil rengi azalırken karoten (soluk sarı), likopen (kırmızı), beta-karoten (turuncu) ve hidroksile karotenoid (sarı) gibi renk bileşenleri oluşmaktadır. Bu nedenle olgunlaşma sürecinde meyve rengi daha kırmızı ve koyu olmaktadır (Razali et al., 2021). Yapılan bir çalışmada depolama süresince UV-C ışık uygulanan/uygulanmayan domateslerin L^* değeri, depolamanın ilk 4 günü boyunca azaldıktan sonra sabit kalmıştır. Domateslerin a^* değerleri ise depolamanın ilk 4 günü boyunca hızlı bir şekilde arttıktan sonra 4. günden itibaren artış yavaşlamıştır (Liu et al., 2009).

UV-C uygulamasının depolama süresince toplam renk değişimi üzerine etkisinin belirlenmesi için hesaplanan ΔE değerinin 1.48 ile 10.85 arasında değiştiği belirlenmiştir. Algılanabilen renk değerlerindeki farklılıklar > 3 değerini aldığı çok belirgin, 1.5-3 arasında değer aldığı belirgin, <1.5 olduğunda küçük farklılık olarak sınıflandırılabilir (Adekunte et al., 2010; Li et al., 2022). Tez çalışmasında 0. gün hariç ΔE değerinin >3 olması yapılan işlemlerin toplam renk değişimi üzerinde çok belirgin etkisi olduğu rapor edilmiştir. Bu durum UV-C ışık uygulamasından hemen sonra ürünün renk değerleri üzerinde fark edilebilir bir etki olmadığı dolayısıyla uygulanan dozun ürün özelliklerini olumsuz etkilemediğini göstermektedir. Bununla birlikte depolama süresince üründe meydana gelen olgunlaşmadan dolayı toplam renk değişiminde artış olduğunu belirtmektedir. Yapılan bir çalışmada örneklere (1 kJ/m^2) UV-C ışık uygulaması yapıldığında ΔE değerinin etkilenmediği, ancak daha yüksek UV-C

dozları uygulandığında (3–7.9 kJ/m²) ΔE değerinin %9 oranında arttığı belirtilmiştir. Bu durum UV-C ışık dozunun artışının algılanabilir renk değişiklikleri üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir (Monteiro et al., 2021).

UV-C ışık uygulamasının domates örneklerinin duyusal özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Domates örneklerinin duyusal analiz sonuçlarının özeti Tablo 4.54’te verilmiştir.

Tablo 4.54 Domates örneklerinin duyusal analiz sonuçları

Kriter		Depolama (gün)*					
		0	1	4	7	10	13
Renk	UV-C öncesi	6.52 (0.36) Aa	5.95 (0.08) ABa	6.05 (0.59) ABa	6.10 (0.50) ABa	5.43 (0.43) Bb	5.71 (0.38) ABa
	UV-C sonrası	6.57 (0.14) Aa	5.38 (0.54) Ca	6.38 (0.22) ABa	6.24 (0.08) ABa	6.24 (0.30) ABa	5.90 (0.16) Ba
Koku	UV-C öncesi	6.14 (0.14) Aa	5.81 (0.54) ABa	6.33 (0.36) Aa	6.00 (0.57) ABa	5.33 (0.36) Bb	5.38 (0.22) Bb
	UV-C sonrası	6.14 (0.25) Ba	5.62 (0.22) Da	6.67 (0.08) Aa	6.10 (0.08) Ba	6.05 (0.08) BCa	5.81 (0.08) CDa
Görünüş	UV-C öncesi	6.19 (0.54) Aa	5.67 (0.16) ABa	6.19 (0.73) Aa	5.76 (0.72) ABa	4.95 (0.58) Bb	5.24 (0.72) ABa
	UV-C sonrası	6.00 (0.74) ABa	5.14 (0.14) Cb	6.52 (0.08) Aa	5.71 (0.14) BCa	5.95 (0.08) ABa	5.57 (0.14) BCa

* Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

Veriler incelendiğinde, UV-C uygulaması yapılmayan domates örneklerinin depolama süresince renk, koku ve görünüş puanlarında azalma olduğu belirlenmiştir (p<0.05). UV-C uygulaması yapılmayan kontrol örneklerinin görünüş puanlarının 4.95-6.19 arasında olduğu, UV-C uygulaması yapılan domates örneklerinde ise görünüş puanlarının 5.14-6.52 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde UV-C uygulamaları sonrasında örnekler renk, koku ve görünüş açısından yüksek puan alarak beğenildiği ve UV-C uygulamasının domatesin kokusunu olumsuz yönde etkilemediği tespit edilmiştir (Tablo 4.54).

UV-C ışık uygulamasının domates örneklerinin antioksidan aktivitesi üzerindeki etkisinin belirlendiği çalışmalara ait sonuçlar Tablo 4.55’te verilmiştir.

Tablo 4.55 Domates örneklerinin antioksidan aktivitesi

Depolama (gün)	Antioksidan aktivite (%DPPH inhibisyonu)*	
	UV-C ÖNCESİ	UV-C SONRASI
0	58.80 (4.97) ^{Aa}	49.04 (8.28) ^{Aa}
1	46.53 (6.56) ^{Ab}	45.52 (4.91) ^{Aa}
4	47.75 (5.78) ^{Ab}	47.74 (6.22) ^{Aa}

7	44.68 (2.99) ^{Ab}	36.17 (8.85) ^{Aa}
10	44.42 (6.64) ^{Ab}	35.79 (7.52) ^{Aa}
13	44.74 (6.90) ^{Ab}	39.92 (4.76) ^{Aa}

* Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

Analiz sonuçları incelendiğinde UV-C ışık işlemi uygulanmayan domates örneklerinde 0. gün hariç antioksidan aktivitede depolama süresince anlamlı bir değişim olmadığı tespit edilmiştir (p>0.05). Yapılan çalışmalarda depolamadan önce UV-C (1-2 kJ/m²) ışık uygulamasının domateslerin fenolik bileşik miktarını, antioksidan kapasitesini ve likopen içeriğini arttırdığı belirlenmiştir (Bravo et al., 2012; Esua et al., 2019). Ancak tez çalışması kapsamında uygulanan 6.97 kJ/m² dozda örneklerin antioksidan kapasitesinde anlamlı bir fark olmadığı saptanmıştır.

Odriozola- Serrano et al. (2008) tarafından yapılan bir çalışmada taze kesilmiş domates örnekleri modifiye atmosferde (5 kPa O₂+5 kPa CO₂) paketleme işlemi sonrasında depolanmış olup, örneklerin antioksidan kapasitesinin (~%25) depolamanın (14. Gün) sonunda %12.3-15.5 DPPH inhibisyon değerlerine kadar azaldığı belirlenmiştir. Baltacıoğlu et al. (2021) tarafından yapılan çalışmada domates örneklerinden 60°C’de 30 dakika mikrodalga destekli ekstraksiyon yöntemi ile elde ekstraktların DPPH inhibisyonunun %27.12 olduğu belirtilmiştir. Uygulamanın 900 W ve 90 dakika olduğu durumda en yüksek DPPH inhibisyonunun %39.15 olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada belirtilen %DPPH inhibisyonu ile tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçların (%35.79-58.80) uyumlu olduğu görülmüştür.

UV-C ışık uygulamalarının domates örneklerinin toplam fenolik madde miktarı üzerindeki etkisinin incelendiği analiz sonuçları Tablo 4.56’da verilmiştir.

Tablo 4.56 Domates örneklerinin toplam fenolik madde miktarı

Depolama (gün)	Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g)*	
	UV-C ÖNCESİ	UV-C SONRASI
0	4.34 (0.74) ^{Aa}	3.21 (0.59) ^{Ba}
1	2.58 (0.52) ^{Ab}	2.98 (0.68) ^{Aa}
4	3.42 (0.63) ^{Aab}	3.71 (0.25) ^{Aa}
7	3.03 (0.58) ^{Ab}	3.58 (0.64) ^{Aa}
10	3.16 (0.59) ^{Aab}	3.42 (0.63) ^{Aa}
13	3.65 (0.66) ^{Aab}	3.17 (0.59) ^{Aa}

* Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

UV-C ışık uygulaması yapılmayan örneklerde toplam fenolik madde miktarının 2.58-4.34 mg GAE/100 g arasında değiştiği belirlenirken, depolama süresince 1. ve 7. gün gün hariç domates örneklerinin toplam fenolik madde miktarında anlamlı bir farklılık olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). UV-C ışık uygulanan örneklerde ise toplam fenolik madde miktarının 2.98-3.71 mg GAE/100 g arasında değiştiği tespit edilmiş olup, depolama süresinin sonuna kadar istatistiksel olarak değişime uğramadığı saptanmıştır ($p>0.05$). Literatür ile kıyaslandığında çalışmada kullanılan domates örneklerinde toplam fenolik madde miktarının düşük olduğu görülmektedir. Pinheiro et al. (2015) tarafından yapılan çalışmada, UV-C uygulanmış (0.32 kJ/m^2) domates örneklerinde toplam fenolik madde miktarının UV-C uygulanmamış örneklerde gözlemlenen toplam fenolik madde miktarından (21.0 mg GAE/100 g) %55 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak depolamanın 15. gününde fenolik madde miktarlarının (28.2 mg GAE/100 g) UV-C uygulaması yapılan/yapılmayan kontrol örnekleriyle istatistiksel açıdan benzer olduğu belirlenmiştir ($p>0.05$).

UV-C uygulamaları hasat sonrasında indüklenen ikincil metabolit sentezi ve domates fitokimyasallarının birikimi ile ilişkilendirilmektedir. Bravo et al. (2012) tarafından UV-C ışık uygulanan (3.0 kJ/m^2) domates örneklerinde likopen, z-likopen, cis-izomerler, toplam fenolik içerik ve antioksidan aktivitede artış olduğu bildirilmiştir. Maharaj et al. (2014) tarafından yapılan çalışmada ise UV-C ışık uygulaması (24.4 kJ/m^2) sonrasında depolama boyunca toplam fenolik madde miktarı yüksek olmasına rağmen, 195skorbik asit, alfa-tokoferol ve glutatyon içeriğinde bir azalma gözlemlendiği belirtilmiştir. Farklı bir çalışmada 4 kJ/m^2 UV-C uygulanan domates örnekleri en yüksek toplam fenolik miktarına (18.99 mg GAE/100 g) sahip olurken, 8 kJ/m^2 UV-C uygulaması ile toplam fenolik madde miktarı 18.83 mg GAE/100 g olarak belirlenmiştir. Liu et al. (2012) tarafından yapılan çalışmanın sonucunda toplam fenolik madde miktarında UV-C uygulamaları ile kontrol örnekleri kıyaslandığında sırasıyla %21.2 ve %20.2 artış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca UV-C uygulamaları sonucunda %DPPH inhibisyonunun önemli ölçüde daha yüksek ($p<0.05$) olduğu ve kontrol örnekleri ile kıyasla sırasıyla %DPPH inhibisyonunda %11.2 ve %8.3 artış olduğu belirlenmiştir. Domateslerin çeşitlerinin ve hasat zamanlarının farklı olması nedeniyle örneklerin antioksidan aktivitesinin değişkenlik gösterebileceği belirtilmiştir (Martínez- Valverde et al., 2002). Sonuç olarak UV-C ışık uygulamasının domates örneklerinde kalite kaybına neden olmadan ürünü korumak için alternatif bir yöntem olabileceği düşünülmüştür.

Tez çalışması kapsamında seçilen diğer model gıda olan çilek örneklerinde depolama süresince UV-C ışık uygulamasının fizikokimyasal ve duyuşal özellikleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir. UV-C ışık uygulanmış ve uygulanmamış (kontrol) çilek örneklerinde ağırlık kaybı, bozulma sıklığı ve toplam suda çözünür madde analiz sonuçları Tablo 4.57’de verilmiştir.

Tablo 4.57 Çilek örneklerinin ağırlık kaybı, bozulma sıklığı ve toplam suda çözünür madde analiz sonuçları

Depolama (gün)	Ağırlık kaybı (%)*		Bozulma sıklığı (%)*		Toplam suda çözünür madde (Brix)*	
	UV-C öncesi	UV-C sonrası	UV-C öncesi	UV-C sonrası	UV-C öncesi	UV-C sonrası
0	***	-	***	-	8.15 (0.07) ^{Aa}	7.25 (0.07) ^{Bc}
1	-	-	-	-	6.50 (0.14) ^{Abc}	5.25 (0.07) ^{Bf}
4	0.07 (0.02) ^{Bd}	0.21 (0.03) ^{Ad}	22.50 (3.53) ^{Ad}	12.50 (3.53) ^{Bd}	5.75 (0.07) ^{Bcd}	8.20 (0.14) ^{Ab}
7	0.26 (0.06) ^{Ac}	0.36 (0.04) ^{Ac}	45.00 (7.07) ^{Ac}	40.00 (7.07) ^{Ac}	5.20 (0.14) ^{Bd}	5.80 (0.14) ^{Ae}
10	0.53 (0.03) ^{Ab}	0.50 (0.02) ^{Ab}	67.50 (3.53) ^{Ab}	67.50 (3.53) ^{Ab}	7.20 (0.85) ^{Ab}	8.55 (0.07) ^{Aa}
13	0.75 (0.07) ^{Aa}	0.71 (0.08) ^{Aa}	100.00 (0.00) ^{Aa}	100.00 (0.00) ^{Aa}	4.85 (0.07) ^{Bd}	6.85 (0.07) ^{Ad}

*Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

** Ağırlık kaybının olmadığı tespit edilmiştir.

*** Bozulma gözlemlenmemiştir.

Çilek örneklerinde depolama süresince UV-C ışık uygulamaları sonucunda ağırlık kaybı kontrol örnekleri ile kıyaslandığında, 4. gün hariç istatistiksel olarak fark olmadığı belirlenmiş olup (p>0.05), en yüksek ağırlık kaybının depolamanın 13. gününde meydana geldiği saptanmıştır. Yapılan bir çalışmada 3 gün depolamadan sonra ağırlık kaybının incelenen tüm örneklerde %2.68 ile %3.02 arasında değiştiği belirlenmiştir (Avalos-Llano et al., 2020).

UV-C ışık uygulamaları sonucunda kontrol örneklerinin bozulma sıklığı ile kıyaslandığında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olmadığı belirlenirken, depolama süresi arttıkça UV-C ışık uygulanan örneklerde bozulma sıklığının arttığı tespit edilmiştir (Tablo 4.57). Depolama süresi sonucunda tüm örneklerde küf gelişimi gözlemlenmiştir. Avalos-Llano et al. (2020) tarafından yapılan çalışmada 5.8 kJ m² dozda UV-C ışık işlemine tabi tutulan çilek dilimlerinde bozulma sıklığının %22 olduğu tespit edilmiştir.

Çilek örneklerinin UV-C ışık uygulamasından (0.5 kJ m²) sonra fesleğen ve okaliptüs esansiyel yağlarına maruz bırakılmasının etkisinin incelendiği bir çalışmada depolamanın 12. gününde kontrol gruplarında, uygulama yapılan

meyvelere göre daha yüksek Brix değerleri kaydedilmiştir. Soğuk depolama sırasında olgun çilek örneklerinin Brix değeri solunum ile azaldığı belirtilmiştir (Amiri et al., 2021). Bu tez çalışmasında Brix değerlerinin değişkenlik gösterdiği belirlenmiş olup, depolama süresince benzer şekilde değerlerin azaldığı saptanmıştır.

Depolama süresince UV-C ışık uygulaması yapılmış ve yapılmamış çilek örneklerinde renk analiz sonuçlarının özeti Tablo 4.58’de verilmiştir.

Tablo 4.58 Çilek örneklerinin renk analiz sonuçları

Renk değerleri		Depolama (gün)*					
		0	1	4	7	10	13
L*	UV-C öncesi	33.95 (1.21) ^{BCa}	32.27 (1.39) ^{Ca}	33.75 (2.10) ^{BCa}	35.46 (2.54) ^{ABa}	37.37 (1.77) ^{Aa}	33.94 (2.56) ^{BCa}
	UV-C sonrası	34.41 (1.01) ^{Aa}	29.62 (2.06) ^{Bb}	28.36 (0.92) ^{Bb}	29.86 (2.75) ^{Bb}	30.28 (2.38) ^{Bb}	30.70 (2.43) ^{Ba}
a*	UV-C öncesi	22.39 (1.31) ^{ABa}	20.90 (1.80) ^{Ba}	19.02 (2.21) ^{Ba}	21.78 (2.81) ^{ABb}	22.85 (3.53) ^{ABb}	25.63 (2.94) ^{Aa}
	UV-C sonrası	21.38 (1.82) ^{Ca}	22.26 (2.11) ^{BCa}	22.95 (3.84) ^{BCa}	26.33 (3.13) ^{ABa}	29.15 (4.61) ^{Aa}	29.60 (3.90) ^{Aa}
b*	UV-C öncesi	11.51 (1.16) ^{ABa}	10.69 (1.53) ^{ABa}	9.10 (2.99) ^{Ba}	10.74 (2.69) ^{ABa}	11.39 (2.40) ^{ABb}	14.16 (3.39) ^{Aa}
	UV-C sonrası	10.84 (1.19) ^{Ca}	12.55 (2.02) ^{BCa}	12.78 (2.08) ^{BCa}	13.22 (3.94) ^{BCa}	18.02 (3.84) ^{Aa}	16.82 (2.83) ^{Aba}
ΔE		1.3	4.3	7.6	7.6	11.6	5.8

* Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

Sonuçlar incelendiğinde yapılan UV-C uygulaması sonrasında kontrol örnekleri ile kıyaslandığında 0. ve 13. gün hariç L* değerlerinde değişimin istatistiksel açıdan anlamlı olduğu belirlenmiştir (p<0.05). Wang et al. (2018) tarafından yapılan çalışmada yıkama yapılmayan çilek örneklerinde L*, a*, b* değerlerinin sırasıyla 35.66, 36.39 ve 16.29 olduğu bulunurken, yıkama işlemi ile tüm değerlerin istatistiksel olarak azaldığı belirlenmiştir (p<0.05). Tez çalışması kapsamında depolamanın 7. ve 10. günlerinde UV-C uygulaması yapılan örneklerde a* değerinin arttığı belirlenmiştir (p<0.05). Antosiyaninlerin çilek meyvesinin parlak kırmızı rengine katkıda bulunduğu bilinmektedir. Li et al. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada benzer şekilde çilek örneklerinin a* değerinin depolama süresince arttığı belirtilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında yapılan renk analizleri sonucunda, literatürde yer alan çalışmalar ile uyumlu olarak, depolama süresinde a* değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

Depolama süresince UV-C ışık uygulamasının çilek örneklerinin duyuşal özellikleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Çilek örneklerinin duyuşal analiz sonuçlarının özeti Tablo 4.59’da yer almaktadır.

Tablo 4.59 Çilek örneklerinin duyuşal analiz sonuçları

Kriter		Depolama (gün)*					
		0	1	4	7	10	13
Renk	UV-C öncesi	6.29 (0.29) Ab	6.29 (0.25) Aa	5.86 (0.25) Aa	5.81 (0.30) Aba	5.24 (0.22) Bb	3.05 (0.54) Cb
	UV-C sonrası	6.76 (0.22) Aa	6.62 (0.30) Aa	5.86 (0.25) BCa	6.05 (0.08) Ba	5.62 (0.08) Ca	5.95 (0.08) BCa
Koku	UV-C öncesi	6.67 (0.08) Aa	6.24 (0.08) Bb	6.38 (0.08) ABb	6.33 (0.22) Ba	5.10 (0.16) Cb	3.67 (0.22) Db
	UV-C sonrası	6.67 (0.08) Aa	6.52 (0.08) ABa	6.57 (0.14) ABa	6.38 (0.08) Ba	5.48 (0.08) Da	5.86 (0.29) Ca
Görünüş	UV-C öncesi	6.00 (0.25) Aa	5.86 (0.29) Ab	5.95 (0.08) Aa	5.48 (0.41) Aa	3.19 (0.30) Bb	2.14 (0.29) Cb
	UV-C sonrası	6.48 (0.36) Aa	6.29 (0.00) Aa	5.62 (0.30) Ba	5.52 (0.58) Ba	5.05 (0.44) Ba	5.62 (0.16) Ba

* Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$).

Ürüne özgü meyve renginde solma, buruşma veya kuruluk gibi fizyolojik değişiklikler depolama sırasında görsel kalitede kayıplara neden olabilmektedir (Sabir et al., 2024). Sonuçlar incelendiğinde UV-C işlemi uygulanmamış çilek örneklerinin depolama süresi boyunca renk, koku ve görünüş açısından düşük puan aldığı belirlenirken, UV-C ışık işlemi uygulanan örneklerin duyuşal özelliklerinin depolama süresince daha iyi korunduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.59). Avalos-Llano et al. (2020) tarafından yapılan çalışmada da taze çilek dilimlerine 5.8 kJ/m^2 dozda UV-C ışık uygulamasının ardından 12 günlük depolanması sonucunda genel görünüm, koku, lezzet ve doku daha iyi korunduğu belirlenmiştir.

Araque et al. (2018) tarafından kontrol ve UV-C uygulanmış çilekler arasında herhangi bir fark olup olmadığını değerlendirmek için yürütülen duyuşal değerlendirmeler sonucunda 0°C ’de 10 gün depolamanın ardından iki aşamalı UV-C ışığa (0. ve 4. gün 4 kJ/m^2 UV-C ışık uygulaması) tabi tutulan örneklerin meyve rengi, tazelik ve genel kabul edilebilirlik açısından en yüksek puanlara sahip olduğu belirlenmiştir. Tüketicilerin UV-C ışık uygulanmış ürünü tercih ettikleri görülmüştür. Bu sonuçlar düşük dozda iki aşamalı UV-C ışık uygulamasının çilek örneklerinin kalitesinin korunmasında etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir.

UV-C ışık uygulamalarının çilek örneklerinde depolama süresince etkisinin incelendiği bu aşamada antioksidan aktivite sonuçlarının özeti Tablo 4.60'da verilmiştir.

Tablo 4.60 Çilek örneklerinin antioksidan aktivitesi

Depolama (gün)	Antioksidan aktivite (%DPPH inhibisyonu)*	
	UV-C ÖNCESİ	UV-C SONRASI
0	90.59 (1.16) ^{Aa}	88.89 (1.42) ^{Ac}
1	94.25 (0.71) ^{Ab}	91.63 (1.03) ^{Bb}
4	95.20 (0.54) ^{Ab}	92.93 (0.94) ^{Bb}
7	94.03 (0.76) ^{Ab}	89.55 (1.19) ^{Bc}
10	94.38 (0.68) ^{Bb}	95.57 (0.57) ^{Aa}
13	89.94 (1.27) ^{Ba}	93.06 (0.84) ^{Ab}

* Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

Depolamanın 1. gününden itibaren UV-C işlemi uygulanmış/uygulanmamış çilek örneklerinin antioksidan aktivitelerinin istatistiksel açıdan anlamlı olarak farklı olduğu belirlenmiştir (p<0.05). Avalos-Llano et al. (2020) tarafından yapılan çalışmada, UV-C ve ürünlerin tüm yüzeyi kaplayabilecek portakal suyu ilavesi ile kombine edilen uygulamaların çilek dilimleri üzerindeki etkisinin incelenmiştir. Çalışmada sadece UV-C işlemi uygulanan örneklerin depolama süresince uygulama yapılmamış çilek dilimleri ile kıyaslandığında daha yüksek fenolik madde (~%14), flavonoid (~%23) ve antosiyanin (%11-41) miktarına sahip olduğu belirlenmiştir. Kontrol ve sadece UV-C ışık uygulaması yapılan çilek örneklerinin depolamanın 1. gününde antioksidan aktivite (%DPPH) %10 oranında artarken, depolamanın sonunda %8 oranında azalmış olup örnekler arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir (Avalos-Llano et al., 2020). Başka bir çalışmada DPPH radikal temizleme aktivitesinin depolamanın 3. gününde maksimum değere (4.60 $\mu\text{mol/gTE}$) ulaştığı ancak depolamanın sonunda, kontrole kıyasla UV-C ışık uygulanmış örneklerde daha düşük DPPH radikal temizleme aktivitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum UV-C uygulamasının başlangıçta antioksidan kapasiteyi indüklediği ancak depolama süresince etkinin azaldığı ile açıklanmıştır (Li et al., 2014). Bu tez çalışmasında UV-C ışık uygulanmamış kontrol örneklerinde depolamanın 10. gününe kadar artış kaydedilmiş olup, 13. günde antioksidan aktivitenin azaldığı belirlenmiştir. UV-C ışık uygulanmış örneklerde ise 7. gün hariç depolama süresince antioksidan aktivitenin yükseldiği olduğu tespit edilmiştir.

UV-C ışık uygulanmamış ve uygulanmış çilek örneklerinin toplam fenolik madde içerikleri Tablo 4.61’de verilmiştir.

Tablo 4.61 Çilek örneklerinin toplam fenolik madde içeriği

Depolama (gün)	Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g)*	
	UV-C ÖNCESİ	UV-C SONRASI
0	22.75 (3.23) ^{Ac}	21.80 (3.13) ^{Aa}
1	33.99 (4.60) ^{Aa}	26.14 (3.65) ^{Ba}
4	31.96 (4.37) ^{Aab}	26.81 (3.70) ^{Aa}
7	31.37 (4.29) ^{Aab}	24.85 (3.44) ^{Ba}
10	28.90 (3.99) ^{Aabc}	26.22 (3.69) ^{Aa}
13	24.47 (3.44) ^{Abc}	27.05 (3.73) ^{Aa}

* Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

Sonuçlar incelendiğinde, UV-C uygulaması yapılan örneklerde toplam fenolik madde miktarının 21.80-27.05 mg GAE/100 g arasında değiştiği ve depolama süresi boyunca örnekler arasında istatistiksel olarak fark olmadığı belirlenmiştir (p>0.05). Ayrıca depolama sonunda UV-C uygulaması yapılan örneklerde toplam fenolik madde miktarının kontrol örnekleri ile kıyaslandığında istatistiksel olarak farklı olmadığı belirlenmiştir (p>0.05). UV-C uygulaması yapılmayan kontrol örneklerinde ise toplam fenolik madde miktarında depolamanın 1., 4. ve 7. günlerinde istatistiksel açıdan anlamlı bir artış olduğu (p<0.05) tespit edilmiştir. Ancak depolamanın 10. ve 13. günlerinde kontrol örneklerinin toplam fenolik madde miktarının 24.47-28.90 mg GAE/100 g arasında değiştiği ve istatistiksel olarak fark olmadığı belirlenmiştir (p>0.05). UV-C ışığın bitki dokularında stresi tetiklediği ve bunun sonucu olarak antioksidan aktiviteye sahip ikincil metabolitlerin sentezinin işlevsel bir tepki olduğu belirtilmektedir. Bu ikincil metabolitler ürünün besin değerini iyileştirmenin yanı sıra meyve ve sebzelerin kalitesinin korunmasını ve raf ömrünün uzatılmasını desteklemektedir. Amiri et al. (2021) tarafından yapılan çalışmada en yüksek toplam fenolik madde miktarı depolamanın başlangıç gününe kıyasla %45.66 farkla UV-C ışık (0.5 kJ/m²) uygulanan meyvelerde (198.21 mg GAE/g) tespit edilmiştir. Cao et al. (2019) tarafından yapılan çalışmada ise darbeli ışık uygulamasına tabi tutulan çilek örneklerinin 4°C’de 20 gün depolama süresi boyunca toplam fenolik madde miktarının 1.71-1.97 mg GAE/g arasında değiştiği bildirilmiştir. Kontrol ve darbeli ışık uygulaması yapılmış örnekler arasında depolamanın başlangıcından 20. güne kadar toplam antioksidan aktivitede anlamlı bir farklılık bulunmadığı belirtilmiştir (p>0.05).

Hem gıdanın duysal özelliklerini korumak hem de hedeflenen mikroorganizma sayısındaki azalmayı sağlayabilmek amacıyla domates ve çilek örnekleri için sırası ile seçilen 60 ve 90 sn UV-C ışık uygulamalarının örneklerin fizikokimyasal ve duysal özellikleri üzerindeki etkisi depolama süresince incelenmiştir. UV-C ışık uygulaması sonrasında depolama süresince kontrol örnekleri ile UV-C ışık uygulaması yapılan örnekler kıyaslandığında UV-C ışık uygulaması yapılan örneklerin kalite özelliklerini koruduğu tespit edilmiştir. Depolama süresi boyunca UV-C ışık uygulanmış örneklerin duysal özelliklerinin olumsuz açıdan etkilemeden mikrobiyal yükünün azaltılmasında etkili olduğu belirlenmiştir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde; genellikle marul (Allende and Artes, 2003), kayısı (Yun et al., 2013), yaban mersini, ahududu, çilek (Butot et al., 2018), domates (Choi et al., 2015b) gibi gıdaların tek yüzeyine UV-C uygulaması yapıldığı belirlenmiştir. Bu çalışmada ise quartz cam levha üzerindeki model gıdalara çift taraflı UV-C ışık uygulaması sayesinde ürünlere eşit sürede homojen olarak UV-C ışık işlemi uygulanmıştır.

4.5 UV-C ışık ve bitkisel materyal içeren yenilebilir kaplama uygulamalarının kombine olarak kullanımının etkisi

Analizler sonucunda domates örneklerine uygulanan UV-C ışık uygulamalarının mikrobiyal inaktivasyon üzerinde çilek örneklerine kıyasla daha düşük dozda etkili olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar ürün yüzey pürüzsüzlüğü sebebiyle avantajlı bir yapıya sahip olan domateslerin dekontaminasyonunda UV-C ışığın kullanımının etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir. Çilek örneklerinde ise ürün yüzey özelliklerinden dolayı UV-C ışık dozları arttırılmasına rağmen mikrobiyal popülasyonda etkili azalma sağlanamadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle çilek örneklerinde tek başına UV-C ışık uygulamalarının yeterli etkiyi sağlayamadığı için UV-C ışık uygulamalarının kombine yöntemler ile kullanımının ürün dekontaminasyonu üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Bu çalışmada gıda güvenliğinin sağlanmasında risk oluşturan önemli patojen mikroorganizmalar olan *L. monocytogenes* ve *S. Typhimurium* üzerinde UV-C ve doğal antimikrobiyal madde içeren yenilebilir kaplamaların kombine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Model gıda örnekleri olarak seçilen çilek örneklerinde depolama süresince daha düşük dozlarda UV-C ışık uygulaması ile daha düşük konsantrasyonlarda bitkisel materyal kullanımının kombine etkisi değerlendirilmiştir. Bu amaçla öncelikle bitkisel materyal ve UV-C işlemlerinin

kombine olarak kullanım koşullarının optimizasyonu için deneme deseni oluşturulmuştur. Design Expert 7.0 programı ile CCD dizaynı kullanılarak bağımlı değişkenlerin minimum, orta ve maksimum değerlerini içeren 13 Run'lık bir deneme deseni elde edilmiştir. İnokulasyon yapılan çilek örneklerine UV-C ışık uygulamaları (10-90 sn) yapıldıktan sonra MİK-3xMİK (*S. Typhimurium* ATCC 13311 için) aralığında programın verdiği konsantrasyonlarda hazırlanan yenilebilir kaplama uygulamaları yapılmıştır (Tablo 4.62). Daha sonra hazırlanan patojen inoküle edilen örneklerde *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes*, patojen inokülasyonu yapılmayan örneklerde ise renk (L^* , a^* , b^* ve toplam renk değişimi (ΔE)) ve duyusal analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların analizi Design Expert 7.0 yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.



Tablo 4.62 Çilek örneklerinde UV-C ışık ve yenilebilir kaplama uygulamalarının kombine olarak kullanımının optimizasyonuna ait sonuçlar

Run	MİK değeri (xMİK)	UV-C uygulama süresi (sn)	<i>S. Typhimurium</i> sayısında azalma (log KOB/çilek)	<i>L. monocytogenes</i> sayısında azalma (log KOB/çilek)	Toplam renk değişimi (ΔE)	Duyusal renk puanı	Duyusal koku puanı	Duyusal görünüş puanı
1	1	10	0.22	1.76	8.21	6.3	6.7	5.7
2	3	10	0.75	3.87	4.98	5.1	4.7	5.1
3	1	90	0.66	1.51	3.80	4.9	5.5	4.3
4	3	90	2.04	3.87	4.97	5.0	4.3	4.6
5	1	50	0.07	1.48	5.83	5.8	6.1	5.4
6	3	50	0.99	3.87	5.09	5.1	5.2	5.2
7	2	10	0.33	0.75	6.51	5.2	5.7	5.0
8	2	90	1.89	1.58	9.43	5.3	5.6	5.1
9	2	50	0.5	1.05	6.34	4.9	4.9	3.9
10	2	50	0.59	0.77	8.27	4.7	4.5	4.4
11	2	50	0.74	0.55	5.21	4.8	4.6	4.0
12	2	50	0.73	1.07	4.06	4.6	4.8	4.1
13	2	50	0.51	0.98	4.10	4.9	4.7	4.2

Yapılan denemelere ait sonuçlar incelendiğinde program tarafından verilen deneme deseni ile gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen model denklemleri aşağıda verilmiştir.

- Modelin denklemi; *S. Typhimurium* sayısında azalma için $=0.63*A+0.55*B+0.21*A*B-0.14*A^2+0.44*B^2$

Modelin uyum eksikliği kriterinin anlamsız olması ise tasarıma eklenmeyen veya çıkarılan kriterlerin model tasarımı üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığını ifade etmektedir. Modelin R^2 değeri 0.9454 olarak verilirken, düzeltilmiş R^2 değeri 0.9064 olarak bulunmuştur. R^2 değerinin 1'e yakın olması, modelin güvenilirliği açısından önem taşımaktadır. Modelin verdiği sonuçları gösteren ANOVA sonuçları Tablo 4.63'te özetlenmiştir.

Tablo 4.63 Program tarafından verilen *S. Typhimurium* sayısında azalma için ANOVA tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F Değeri	p-değeri Prob > F	
Model	3.87	5	0.77	24.25	0.0003	Önemli
A-eks	1.33	1	1.33	41.85	0.0003	
B-uv-c	1.80	1	1.80	56.56	0.0001	
AB	0.18	1	0.18	5.66	0.0489	
A ²	0.051	1	0.051	1.61	0.2450	
B ²	0.54	1	0.54	17.04	0.0044	
Kalıntı	0.22	7	0.032			
Uyum Eksikliği	0.17	3	0.057	4.21	0.0944	Önemli değil
Saf Hata	0.054	4	0.013			

- Modelin denklemi; *L. monocytogenes* sayısında azalma için $=0.91+*1.14*A+0.097*B+0.062*A*B+1.69*A^2+0.18*B^2$

L. monocytogenes sayısında azalma için elde edilen model denkleminde R^2 değeri 0.9711 olarak belirlenirken, düzeltilmiş R^2 değeri 0.9505 olarak bulunmuştur. R^2 değerinin 1'e yakın olduğu ve dolayısıyla elde edilen modelin güvenilir olduğu belirlenmiştir. Modelin verdiği sonuçları gösteren ANOVA sonuçları Tablo 4.64'te özetlenmiştir.

Tablo 4.64 Program tarafından verilen *L. monocytogenes* sayısında azalma için ANOVA tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F Değeri	p-değeri Prob > F	
Model	18.04	5	3.61	47.08	<0.0001	Önemli değil
A-eks	7.87	1	7.87	102.34	<0.0001	
B-uv-c	0.056	1	0.056	0.73	0.4207	
AB	0.016	1	0.016	0.20	0.6653	
A ²	7.91	1	7.91	103.26	<0.0001	
B ²	0.092	1	0.092	1.20	0.3089	
Kalıntı	0.54	7	0.077			
Uyum Eksikliği	0.34	3	0.11	2.32	0.2171	Önemli değil
Saf Hata	0.20	4	0.049			

Toplam renk değişimi (ΔE), duyuşal koku ve duyuşal görünüş puanları ile ilgili veriler incelendiğinde, program tarafından verilen modellerin istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı ($p>0.05$) belirlenmiştir. Duyusal renk puanları ile ilgili veriler incelendiğinde ise modelin anlamlı olduğu ve R^2 değeri 0.8317, düzeltilmiş R^2 değeri 0.7115 olarak bulunmuştur (Tablo 4.65).

Tablo 4.65 Program tarafından verilen duyuşal renk puanları için ANOVA tablosu

Kaynak	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F Değeri	p-değeri Prob > F	
Model	0.48	5	0.097	6.92	0.0123	Önemli
A-eks	0.00	1	0.000	0.000	1.000	
B-uv-c	0.027	1	0.027	1.90	0.2101	
AB	0.010	1	0.010	0.71	0.4261	
A ²	0.27	1	0.27	19.42	0.0031	
B ²	0.036	1	0.036	2.55	0.1541	
Kalıntı	0.098	1	0.014			
Uyum Eksikliği	0.044	3	0.015	1.08	0.4533	Önemli değil
Saf Hata	0.054	4	0.014			

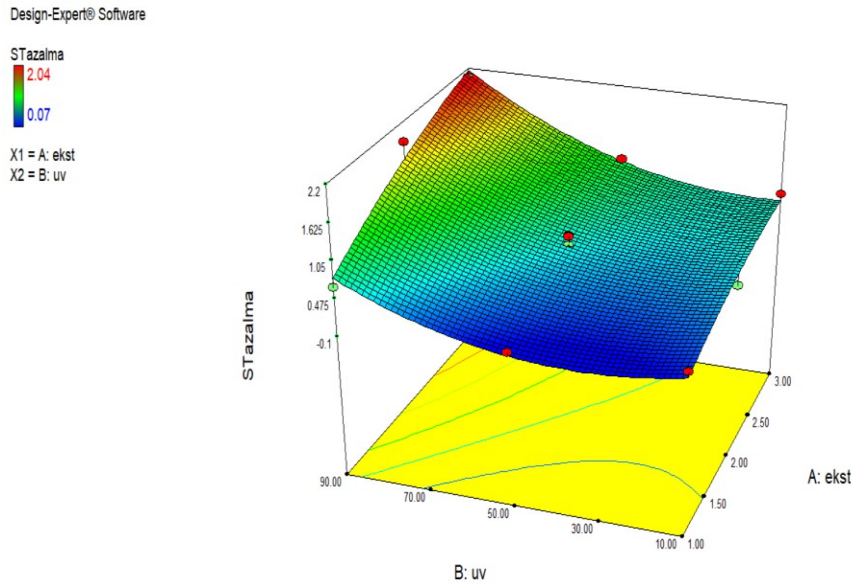
İstatistiksel açıdan anlamlı modele sahip oldukları için seçilen *L. monocytogenes* ve *S. Typhimurium* sayısında azalma ile duyuşal renk puanı kriterleri kullanılarak program yardımıyla optimum koşul belirlenmiştir. Yapılan seçimlerde 30 farklı sonuç bulunmuş olup, bu sonuçlar içerisinde “desirability” değeri 1 olan 78 sn UV-C uygulaması sonrasında 2.68xMİK ekstrakt içeren

yenilebilir kaplama uygulaması seçilmiştir. Design Expert 7.0 paket programının verdiği tahminlenen değerler ve validasyon sonucunda elde edilen veriler ile Tablo 4.66 oluşturmuştur.

Tablo 4.66 Yanıt yüzey metodolojisi sonucundan elde edilen tahmin tablosu

Bağımlı değişken	Tahmin	Tahmin (minimum)	Tahmin (maksimum)	Gözlemlenen yanıt
<i>S. Typhimurium</i> sayısında azalma	1.62	1.12	2.08	1.81 (0.13)
<i>L. monocytogenes</i> sayısında azalma	2.66	1.92	3.41	2.38 (0.11)
Duyusal renk puanları	6.21	5.89	6.53	6.42 (0.55)

Seçilen modele ait bağımlı değişkenlerin değişimini gösteren 3D yanıt yüzey grafikleri Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da verilmiştir.



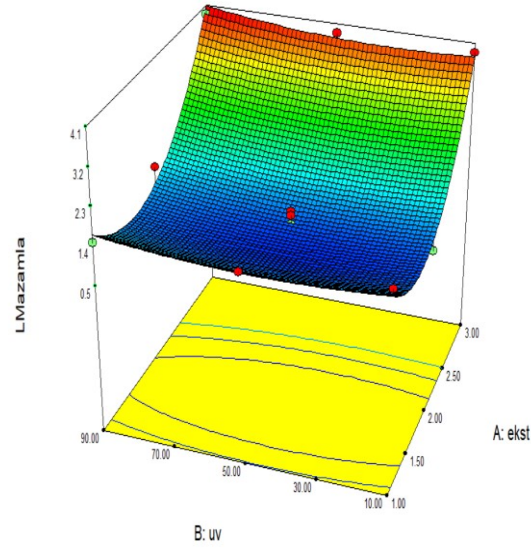
Şekil 4.14 Kombine uygulama sonucunda çilek örneklerindeki *S. Typhimurium* sayısındaki azalma için yanıt yüzey grafiği

Design-Expert® Software

LMazamla



X1 = A: ekst
X2 = B: uv



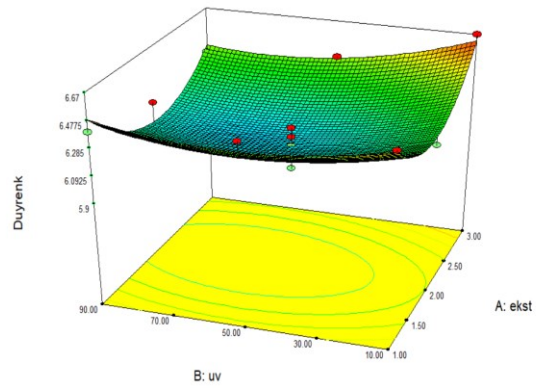
Şekil 4.15 Kombine uygulama sonucunda çilek örneklerindeki *L. monocytogenes* sayısındaki azalma için yanıt yüzey grafiği

Design-Expert® Software

Duyrenk



X1 = A: ekst
X2 = B: uv



Şekil 4.16 Kombine uygulama sonucunda çilek örneklerindeki duyusal renk puanları için yanıt yüzey grafiği

Validasyon analizleri sonucunda elde edilen sonuçların, beklenen değer aralığında olduğu tespit edildiği için depolama denemelerinde 78 sn UV-C uygulaması sonrasında 2.7xMİK ekstrakt içeren yenilebilir kaplama uygulamalarının uygun olduğu belirlenmiştir. Bu koşullar uygulanarak çilek örneklerinde depolama analizleri gerçekleştirilmiştir.

4.5.1 UV-C ışık ve bitkisel materyal içeren yenilebilir kaplama uygulamalarının kombine olarak kullanımının depolama süresince çilek örneklerine inoküle edilen patojen mikroorganizmalar üzerindeki etkisi

Depolama süresince UV-C ışık uygulaması (9.06 kJ/m²) sonrasında ekstrakt içeren/içermeyen yenilebilir film solüsyonu ile kaplamanın çilek örneklerinde patojen mikroorganizmalar üzerindeki etkisi Tablo 4.67'de özetlenmiştir.

Tablo 4.67 Kombine yöntemin çilek örneklerine inoküle edilen patojen mikroorganizmalar üzerinde depolama süresince etkisi

Süre (gün)	Kombine uygulamanın inoküle edilen patojen mikroorganizmalar üzerinde etkisi*			
	<i>S. Typhimurium</i> sayısı (log KOB/çilek)		<i>L. monocytogenes</i> sayısı (log KOB/çilek)	
	UV-C +kaplama	UV-C+ekstraktlı kaplama	UV-C +kaplama	UV-C+ekstraktlı kaplama
0	3.76 (0.05) ^{Aab}	3.52 (0.19) ^{Ba}	4.56 (0.01) ^{Aa}	4.10 (0.08) ^{Ba}
1	3.51 (0.26) ^{Ab}	2.81 (0.26) ^{Bb}	3.30 (0.27) ^{Ab}	2.57 (0.39) ^{Bb}
4	4.03 (0.17) ^{Aa}	2.26 (0.65) ^{Bbc}	3.32 (0.28) ^{Ab}	1.88 (0.10) ^{Bc}
7	3.74 (0.14) ^{Aab}	2.89 (0.50) ^{Bab}	2.54 (0.17) ^{Ac}	1.74 (0.39) ^{Bc}
10	3.04 (0.45) ^{Ac}	1.62 (0.17) ^{Bc}	2.53 (0.16) ^{Ac}	1.75 (0.40) ^{Bc}
13	1.62 (0.17) ^d	<1.52**	2.39 (0.75) ^{Ac}	1.88 (0.42) ^{Ac}

*Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

**Belirtilen örnekte mikroorganizma sayısı belirleme limitinin altındadır.

Başlangıç mikroorganizma sayıları *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* inoküle edilen çilek örnekleri için sırasıyla 4.86 ve 5.23 log KOB/çilek olarak tespit edilmiştir. UV-C ışık uygulaması sonrasında ekstrakt içermeyen/içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinde depolama süresince *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* sayısı belirlenmiştir. Depolama süresi boyunca UV-C uygulaması sonrasında ekstrakt içermeyen yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinde (kontrol) *S. Typhimurium* sayıları 1.62-4.03 log KOB/çilek aralığında tespit edilmiştir (Tablo 4.67). Depolamanın 10. gününde *S. Typhimurium* sayısında 0.72 log azalma olduğu belirlenirken, 13. günde 2.14 log azalma olduğu tespit edilmiştir (p<0.05). UV-C uygulaması sonrasında ekstrakt içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinde sayım sonuçlarının <1.52-3.52 log KOB/çilek aralığında olduğu tespit edilmiştir. Depolamanın 10. gününde *S. Typhimurium* sayısında 1.9 log azalma olduğu belirlenirken (p<0.05), 13. günde *S. Typhimurium* sayısının belirleme limitinin altında (<1.52 log KOB/çilek) olduğu saptanmıştır. Depolama süresince *S. Typhimurium* sayıları kıyaslandığında, yenilebilir kaplama solüsyonuna ekstrakt ilavesinin mikrobiyal inaktivasyonu artırma yönünde destekleyici bir etkisi olduğu görülmektedir (p<0.05). UV-C ışık uygulaması

yapılmış/yapılmamış çilek örneklerinde depolama süresince patojen mikroorganizma sayılarının azaldığı tespit edilmiştir.

UV-C uygulaması sonrasında ekstrakt içermeyen yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinde (kontrol) depolama süresince *L. monocytogenes* sayıları 2.39-4.56 log KOB/çilek aralığında tespit edilmiştir (Tablo 4.67). Kontrol örneklerinin 0. gün sonucu ile kıyaslandığında depolamanın 1 ve 4. gününde *L. monocytogenes* sayılarında (~1.25 log) istatistiksel açıdan anlamlı azalmalar kaydedilmiştir ($p < 0.05$). Depolama süresi uzadıkça *L. monocytogenes* sayılarında azalma görüldüğü ancak 7., 10. ve 13. günlerde tespit edilen sayılar arasında istatistiksel olarak fark olmadığı belirlenmiştir ($p > 0.05$). UV-C uygulaması sonrasında ekstrakt içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinde depolama süresince *L. monocytogenes* sayım sonuçlarının ise 1.74-4.10 log KOB/çilek aralığında olduğu bulunmuştur. Depolamanın 1. gününde örneklerin *L. monocytogenes* sayısının 1.53 log azaldığı belirlenirken ($p < 0.05$), depolamanın 4. ve 13. günleri arasında 2.22-2.36 log azalma sağlandığı ancak günler arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olmadığı saptanmıştır ($p > 0.05$). Bununla birlikte depolama süresince yenilebilir kaplama solüsyonuna ekstrakt ilavesinin *L. monocytogenes* inaktivasyonu artırma yönünde etkisi olduğu görülmektedir ($p < 0.05$).

Salinas-Roca et al. (2016) tarafından yapılan çalışmada taze kesilmiş mango örneklerine darbeli ışık uygulamasının, aljinat bazlı kaplama veya malik asit çözeltisine daldırma işlemleri ile kombine edilmesinin ürün özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Taze kesilmiş mango örneklerinde darbeli ışık (4 kJ/m²) ve malik asit (%2) kombinasyonunun *L. innocua* sayısında maksimum azalmaya (4.49 log) neden olduğu belirlenmiştir.

Guo et al. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada %1 laurik arjinat ester veya %1 alil izotiyosiyanat içeren kitosan solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinde 4°C'de 5 gün depolama sonucunda *E. coli* O157:H7 ve *Salmonella* spp. popülasyonlarında 2-3 logaritmik birimden fazla azalma sağlandığı kaydedilmiştir. Chen et al. (2012) tarafından yapılan bir çalışmada ise kitosan ve alil izotiyosiyanat içeren kaplamaların kavun örneklerine inokule edilmiş *Salmonella* popülasyonu (*S. Panama* 19454, *S. Poona* 953, *S. Stanley* H0558) üzerinde etkili olduğu ve >5 log KOB/cm² azalma sağladığı belirtilmiştir. Depolama süresi boyunca (10°C 14 gün) kontrol örneklerinde *Salmonella* sayısı yaklaşık 6 log KOB/cm² olarak kalırken, kaplama işlemlerinin depolamanın 1.

gününden 9. gününe kadar patojen sayısında yaklaşık 5.6 log KOB/cm² azalma sağladığı tespit edilmiştir. Depolamanın 14. gününde ise kaplama yapılan örneklerde *Salmonella* sayısının belirleme limitinin altına (<10 KOB/cm²) düştüğü saptanmıştır. Bu çalışmaya benzer şekilde tez çalışmasında da UV-C uygulaması sonrasında ekstrakt içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinde depolamanın 13. gününde *S. Typhimurium* sayısının belirleme limitinin altında (<1.52 log KOB/çilek) olduğu saptanmıştır.

4.5.2 UV-C ışık ve bitkisel materyal içeren yenilebilir kaplama uygulamalarının kombine olarak kullanımının depolama süresince çilek örneklerinin doğal mikroflorası üzerindeki etkisi

Çalışmanın bu aşamasında inokulasyon yapılmayan çilek örneklerinde depolama süresince kombine yöntemlerin toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı, toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısı, küf ve maya sayısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Depolama süresi boyunca kombine yöntem uygulanmış çilek örneklerinde toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları Tablo 4.68’de özetlenmiştir.

Tablo 4.68 Kombine yöntemlerin çilek örneklerinde depolama süresince toplam aerobik mezofilik bakteri sayıları

Örnek	Kombine uygulama sonucunda toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı (log KOB/çilek)*					
	0. gün	1. gün	4. gün	7. gün	10. gün	13. gün
UV-C+ekstrakt içermeyen kaplama	3.25 (0.52) ^{Ba}	3.27 (0.08) ^{Ba}	3.29 (0.05) ^{Ba}	3.20 (0.04) ^{Ba}	3.26 (0.11) ^{Ba}	3.75 (0.05) ^{Aa}
UV-C+ekstrakt içeren kaplama	3.15 (0.18) ^{Aa}	2.66 (0.26) ^{Bb}	2.53 (0.18) ^{Bb}	2.51 (0.06) ^{Bb}	2.68 (0.37) ^{Bb}	3.25 (0.12) ^{Ab}

*Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

UV-C uygulaması sonrasında ekstrakt içermeyen yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinde (kontrol) depolama süresince toplam aerobik mezofilik bakteri sayılarının 3.25-3.75 log KOB/çilek aralığında olduğu tespit edilirken, ekstrakt içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinde sayıların 3.15-3.25 log KOB/çilek aralığında olduğu belirlenmiştir. 0. gün hariç depolama süresince yapılan analizlerde UV-C uygulaması sonrasında ekstrakt içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinde toplam aerobik mezofilik bakteri sayısının kontrol ile kıyaslandığında istatistiksel olarak daha düşük olduğu saptanmıştır (p<0.05). Bu durum antimikrobiyal aktivite gösteren ekstrakt ilavesinin etkisi ile açıklanabilmektedir. Ancak depolamanın 13. gününde 3.25 log KOB/çilek olarak belirlenen sayım sonucunun 0. gün elde

edilen sayım sonucu (3.15 log KOB/çilek) ile arasında istatistiksel açıdan fark olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). En etkili azalmanın (0.76 log) depolamanın 4. gününde elde edildiği bulunmuştur. Sadece UV-C ışık uygulanan/uygulanmayan çilek örneklerinin depolama analizleri sonucunda toplam aerobik mezofilik bakteri sayısının 4.15-4.75 log KOB/çilek ile 5.34-5.61 log KOB/çilek aralığında olduğu tespit edilirken, UV-C ışık uygulaması sonrasında ekstrakt içeren/içermeyen yenilebilir film ile kaplanan çilek örneklerinin depolama analiz sonuçlarının 3.15-3.25 log KOB/çilek ve 3.25-3.75 log KOB/çilek aralığında olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar karşılaştırıldığında kombine uygulamaların toplam mezofilik aerobik bakteri sayısını azalttığı görülmüştür. Ancak elde edilen azalmalar kıyaslandığında sadece UV-C ışık uygulaması yapılan çilek örneklerinde 0.58-1.57 log azalma sağlanırken, kombine yöntemlerin sonucunda 0.10-0.76 log azalma sağlandığı belirlenmiştir. Elde edilen veriler daha düşük UV-C ışık uygulaması ile kombine edilen ekstrakt ilaveli yenilebilir kaplama solüsyonu uygulamasının toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı üzerindeki etkisinin daha düşük olduğunu göstermiştir. UV-C ışık uygulaması ile yüzeydeki mikroorganizmaların etkisiz hale geldiği, ancak alt katmanlardaki mikroorganizmalara ışığın daha az ulaşması nedeniyle inaktivasyon etkisinin azaldığı bilinmektedir (Dogu-Baykut et al., 2014). Bu nedenle mikrobiyal inaktivasyonun artması için daha yüksek doz uygulamalarına ihtiyaç duyulmaktadır (Atik and Gumus, 2021). Dolayısıyla çalışmamızda UV-C ışık uygulaması ile kombine edilen kaplama uygulamalarının mikroorganizmaların azalması üzerinde etkisinin daha düşük olması, daha düşük dozda UV-C ışığının kısıtlı antimikrobiyal etkisine bağlanabilmektedir.

Brokoli örneklerine ışınlama işlemi (0.8 kGy) ve kaplama uygulamasının kombine olarak etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, uygulamalar sonucunda lag fazının 12 güne kadar uzatıldığını ve 14. gün sonunda mikrobiyal popülasyonun sadece 3 log KOB/g olduğu gözlemlenmiştir. Kombine uygulamalar ile mikrobiyal gelişmenin baskılandığı ve uygulamaların brokolinin raf ömrünü uzatmada önemli bir etkiye sahip olduğu rapor edilmiştir (Ben-Fadhel et al., 2017). Taze kesilmiş elma örneklerinde gellan bazlı prebiyotik yenilebilir kaplamalarla birlikte darbeli ışık (12 J/cm^2) kullanımının araştırıldığı bir çalışmada, depolama süresince işlem görmemiş kontrol grubu örneklerde toplam mezofilik aerobik bakteri sayısının 2-3 log arttığı belirlenirken, uygulama yapılan örneklerin toplam mezofilik aerobik bakteri sayısının istatistiksel açıdan daha düşük olduğu saptanmıştır (Moreira et al., 2015).

Chen et al. (2012) tarafından yapılan çalışmada kavun örnekleri kitosan ve alil izotiyosiyanat içeren solüsyon ile kaplanıp 10°C'de depolanmıştır. Depolamanın ilk 6 günü boyunca örneklerin toplam mezofilik aerobik bakteri sayısı yaklaşık 2 log KOB/cm²'ye düşerken (p<0.05), 6. günden 14. güne kadar istatistiksel açıdan değişmediği belirlenmiştir (p>0.05). Kontrol örneklerinde ise 2. günde 5.8 log KOB/cm² olan toplam mezofilik aerobik bakteri sayısının depolamanın 14. gününde 6.9 log KOB/cm²'ye yükseldiği rapor edilmiştir. Çileklerin raf ömrünü uzatmak için esansiyel yağlarla (sitril ve öjenol) zenginleştirilmiş sodyum aljinat ve pektin gibi polisakkarit bazlı yenilebilir kaplamaların kullanımını araştıran Guerreiro et al. (2015b) tarafından yapılan çalışmada, 0.5°C'de 14 gün depolama süresince kontrol örneklerinde toplam mezofilik aerobik bakteri sayısının 2.90 log KOB/g değerinden 5.60 log KOB/g'a yükseldiği belirlenmiştir. %0.1 öjenol ile zenginleştirilmiş %2 sodyum aljinat bazlı yenilebilir kaplamalar ile kaplanan çilek örneklerinde toplam mezofilik aerobik bakteri sayısının 2 log, %0.1 öjenol ile zenginleştirilmiş %2 pektin bazlı yenilebilir kaplamalar ile kaplanan çilek örneklerinde 2.6 log azalma sağlandığı rapor edilmiştir.

Kombine yöntemlerin çilek örneklerinde depolama süresince toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısı üzerine etkisi Tablo 4.69'da özetlenmiştir.

Tablo 4.69 Kombine yöntemlerin çilek örneklerinde depolama süresince toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısı üzerine etkisi

Örnek	Kombine uygulama sonucunda psikrofilik aerobik bakteri sayısı (log KOB/çilek)*					
	0. gün	1. gün	4. gün	7. gün	10. gün	13. gün
UV-C+ekstrakt içermeyen kaplama	3.40 (0.41) ^{Ca}	3.92 (0.22) ^{Ba}	4.06 (0.28) ^{Ba}	5.63 (0.06) ^{Aa}	5.64 (0.05) ^{Aa}	5.67 (0.04) ^{Aa}
UV-C+ekstrakt içeren kaplama	3.24 (0.32) ^{Ca}	3.69 (0.13) ^{Ba}	3.57 (0.25) ^{Bb}	5.22 (0.09) ^{Ab}	5.26 (0.05) ^{Ab}	5.27 (0.21) ^{Ab}

*Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

Depolama süresince UV-C uygulaması sonrasında ekstrakt içermeyen yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinde (kontrol) toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısının 3.40-5.67 log KOB/çilek aralığında olduğu belirlenirken, ekstrakt içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinde toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısının 3.24-5.27 log KOB/çilek aralığında olduğu saptanmıştır. Depolamanın 4. gününden itibaren kontrol örnekleri ile ekstrakt içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örnekleri arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir (p<0.05). Depolamanın 7. günü itibariyle örneklerin toplam psikrofilik aerobik bakteri

sayısının >5 log olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde kombine uygulamaların toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısını azalttığı görülse de, elde edilen azalmalar kıyaslandığında sadece UV-C ışık uygulaması yapılan çilek örneklerinde 0.13-1.38 log azalma sağlanırken, kombine yöntemler ile 0.16-0.49 log azalma sağlandığı belirlenmiştir. Wani et al. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada limon otu esansiyel yağı (%1) içeren karragenan solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinde kaplama işleminin psikrofilik bakteri sayısı inhibisyonunda istatistiksel açıdan anlamlı farklılığa neden olmadığı belirlenmiştir. Thomas-Popo et al. (2019) tarafından yapılan çalışmada da atmosferik soğuk plazma işlemi uygulanan buğday örneklerinin doğal mikroflorasında bulunan psikrofilik bakterilerin daha duyarlı olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle daha yüksek dozda UV-C ışık uygulamasının toplam psikrofilik aerobik bakteri sayısı üzerinde daha etkili olduğu düşünülmektedir.

Psikrofilik mikroorganizmalar taze kesilmiş ürünlerde başlangıçta doğal mikrofloranın düşük bir yüzdesini oluşturmalarına rağmen, bu ürünlerin depolanması için önerilen soğuk depolama sıcaklıklarında baskın hale gelebilmektedir. Yapılan bir çalışmada işlem görmemiş elma dilimlerinde toplam psikrofilik bakteri sayıları 14 gün boyunca yaklaşık 2.5 log KOB/g artarken, gellan bazlı prebiyotik yenilebilir kaplamalarla birlikte darbeli ışık (12 J/cm^2) kombinasyonu uygulanan elma dilimi örneklerinde aynı süre içerisinde toplam psikrofilik bakteri sayısındaki artışın ~ 1.0 log KOB/g olduğu belirlenmiştir (Moreira et al., 2015).

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, UV-C ışık uygulaması sonrasında yapılan kaplamaların çilek örneklerinin psikrofilik aerobik bakteri sayısı üzerindeki etkisinin belirlendiği çalışmaya rastlanmamıştır. Kitosan içeren yenilebilir kaplamaların kirazın fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkilerini inceleyen bir çalışmada, kontrol ve kaplama yapılan kiraz örneklerinde psikrofilik aerobik bakteri sayısının belirleme limitinin (<2 log KOB/g) altında olduğu belirlenmiştir (Tokatlı and Demirdöven, 2020).

Depolama süresince kombine uygulamaların çilek örneklerinde toplam küf ve maya sayıları üzerine etkisi Tablo 4.70’te özetlenmiştir.

Tablo 4.70 Kombine yöntemlerin çilek örneklerinde depolama süresince toplam küf ve maya sayıları üzerine etkisi

Örnek	Kombine uygulama sonucunda küf ve maya sayısı (log KOB/çilek)*					
	0. gün	1. gün	4. gün	7. gün	10. gün	13. gün
UV-C+ekstrakt içermeyen kaplama	2.76 (0.47) ^{Ba}	2.84 (0.22) ^{Ba}	2.90 (0.13) ^{Ba}	2.88 (0.06) ^{Ba}	2.91 (0.34) ^{Ba}	3.53 (0.04) ^{Aa}
UV-C+ekstrakt içeren kaplama	2.26 (0.09) ^{Bb}	2.15 (0.57) ^{Bb}	2.12 (0.09) ^{Bb}	2.07 (0.17) ^{Bb}	2.15 (0.18) ^{Bb}	2.79 (0.16) ^{Ab}

*Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$).

Depolama süresince UV-C uygulaması sonrasında ekstrakt içermeyen yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinde (kontrol) toplam küf ve maya sayılarının 2.76-3.53 log KOB/çilek aralığında olduğu belirlenirken, ekstrakt içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan örneklerde sayıların 2.26-2.79 log KOB/çilek aralığında olduğu saptanmıştır. Kombine uygulamalar sonucunda küf ve maya sayısında elde edilen mikrobiyal azalmaların 0.50-0.81 log olduğu tespit edilirken, sonuçların sadece UV-C ışık uygulaması sonucunda küf ve maya sayısında meydana gelen azalmalardan (0.02-0.77 log) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Depolama süresince UV-C uygulaması sonrasında ekstrakt içermeyen yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin küf ve maya sayılarının ekstrakt içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan örneklerdeki sayılardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda küf ve maya sayısının azaltılmasında kombine uygulamaların etkisinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde Chen et al. (2012) tarafından yapılan çalışmada kavun örnekleri kitosan içeren solüsyon ile kaplama uygulamasından sonra depolanmış olup, kaplama işlemi sonucunda depolama süresince örneklerin küf ve maya sayısının 14. gün sonuna kadar belirleme limitinin altında (<10 KOB/cm²) kaldığı belirtilmiştir. Kontrol örneklerinde ise 3.7 log KOB/cm² olan küf ve maya sayısının depolama süresinin sonunda 5.3 log KOB/cm² değerine yükseldiği belirlenmiştir. Guerreiro et al. (2015b) tarafından yapılan çalışmada ise 0.5°C’de 14 gün depolama süresince %0.1 öjenol ile zenginleştirilmiş %2 pektin bazlı yenilebilir kaplamalar ile kaplanan çilek örneklerinde küf ve maya sayısı 0.5 log azalırken, %0.1 öjenol ile zenginleştirilmiş %2 sodyum aljinat bazlı yenilebilir kaplamalar ile kaplanan çilek örneklerinde küf ve maya sayısının ise 2.5 log azalma sağlandığı rapor edilmiştir.

Salinas-Roca et al. (2016) tarafından yapılan çalışmada taze kesilmiş mango örneklerinde küf ve maya sayısında sadece darbeli ışık uygulaması veya darbeli ışık uygulamasının ardından aljinat bazlı kaplama ve malik asit çözeltisine daldırma işlemlerine tabi tutulan mango dilimlerinde sırasıyla 2.07 ve 2.09 log

azalma sağlandığı gözlenmiştir. Ancak psikrofilik bakteri sayısının yapılan uygulamalar sonucunda daha az etkilendiği belirlenmiş olup, en yüksek inaktivasyonun 1.37 log azalma ile sadece darbeli ışık uygulaması ile sağlandığı, kombine uygulamalar sonucunda ise 1.09 log azalma olduğu rapor edilmiştir. Depolama süresi boyunca kombine uygulamalar ile taze kesilmiş mango örneklerinin mikrobiyal kalitesinin en iyi şekilde korunduğu belirlenirken, kaplamadan önce darbeli ışık kullanılmasının mango yüzeyinde bulunan doğal mikroflora üzerinde daha etkili olduğu saptanmıştır. Ek olarak kaplama uygulamasının üründe hasarlı meyve dokularının bütünlüğünü korumaya yardımcı olması sonucunda mikroorganizma sayısının artışını sınırlandırdığı belirtilmiştir.

Lee et al. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada şellak reçinesi içeren kaplama uygulamalarının patateslerin hasat sonrası kalitesini daha uzun süre korumasını sağladığı ve UV-C ışık işlemiyle kombine olarak kullanıldığında patateslerde bulunan doğal mikroflorayı etkili bir şekilde azalttığı bildirilmiştir. Depolama süresince kombine uygulama yapılan patateslerde yeşillenme ve filizlenme olmadığı belirlenirken, UV-C ışık veya kaplama işlemi uygulanmadığı durumda sırasıyla depolamanın 3. ve 7. günlerden itibaren örneklerde yeşillenme ve filizlenme gözlemlenmiştir. Tek başına belirgin antimikrobiyal özellikler göstermeyen kaplama uygulamasının, UV-C ışık uygulaması ile birlikte kullanıldığında daha üstün bir etki gösterdiği ve patateslerin hasat sonrası raf ömrünü uzatmaya katkıda bulunabileceği sonucuna varılmıştır.

Yapılan literatür taramasında UV-C ve doğal antimikrobiyal madde içeren yenilebilir kaplamaların kombine olarak kullanıldığı yöntemler ile ilgili sınırlı sayıda çalışma olduğu belirlenmiştir (Abbasi et al., 2015; Abdipour et al., 2020; Sabir et al., 2024). Bu araştırmalar incelendiğinde ürünlerin gıda güvenliğinin araştırılmasına yönelik herhangi bir mikrobiyolojik analiz gerçekleştirilmediği görülmektedir.

4.5.3 UV-C ışık ve bitkisel materyal içeren yenilebilir kaplama uygulamalarının kombine olarak kullanımının depolama süresince çilek örneklerinin fizikokimyasal ve duyuşal özellikleri üzerine etkisi

UV-C uygulaması sonrasında ekstrakt içeren ve içermeyen yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin depolama süresi boyunca fizikokimyasal (ağırlık kaybı, renk, bozulma sıklığı, toplam suda çözünür madde, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite analizleri) ve duyuşal özelliklerinde meydana gelen

değişiklikler incelenmiştir. UV-C ışık uygulamasının ardından ekstrakt içeren ve içermeyen (kontrol) yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinde ağırlık kaybı, bozulma sıklığı ve toplam suda çözünür madde analiz sonuçları Tablo 4.71’de yer almaktadır.

Tablo 4.71 Kombine yöntemlerin uygulandığı çilek örneklerinin ağırlık kaybı, bozulma sıklığı ve toplam suda çözünür madde analiz sonuçları

Depolama (gün)	Ağırlık kaybı (%)*		Bozulma sıklığı (%)*		Toplam suda çözünür madde (Brix)*	
	Kontrol	Ekstrakt içeren	Kontrol	Ekstrakt içeren	Kontrol	Ekstrakt içeren
0	..	-	..	-	6.90 (0.14) Bd	7.90 (0.12) Aa
1	0.11 (0.01) Ac	0.03 (0.00) Bc	-	-	7.95 (0.07) Ac	7.25 (0.08) Bc
4	0.27 (0.08) Ac	0.08 (0.03) Bc	7.50 (3.54) Ad	10.00 (0.00) Ad	8.00 (0.14) Ac	7.55 (0.07) Bb
7	0.53 (0.15) Ab	0.35 (0.04) Ab	35.00 (7.07) Ac	27.50 (3.54) Ac	8.50 (0.15) Ab	7.20 (0.14) Bc
10	0.68 (0.02) Aab	0.47 (0.09) Bb	70.00 (7.07) Ab	37.50 (3.54) Bb	8.65 (0.09) Ab	7.30 (0.13) Bbc
13	0.84 (0.03) Aa	0.76 (0.06) Aa	100.00 (0.00) Aa	100.00 (0.00) Aa	9.25 (0.35) Aa	7.15 (0.08) Bc

*Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$).

** Ağırlık kaybının olmadığı tespit edilmiştir.

*** Bozulma gözlemlenmemiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, UV-C uygulaması sonrasında ekstrakt içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin depolama süresince ağırlık kaybı değerlerinin %0.03-0.76 arasında değiştiği tespit edilirken, kontrol grubunda ağırlık kaybının %0.11-0.84 arasında olduğu belirlenmiştir. Depolama süresince 7. ve 13. gün hariç kontrol grubunun ağırlık kaybı değerlerinin ekstrakt içeren kaplama yapılan örneklerle göre istatistiksel açıdan daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Ekstrakt içermeyen kaplama yapılan kontrol örneklerinin depolamanın 10. gününde bozulma sıklığı %70 olarak tespit edilirken, ekstrakt içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin bozulma sıklığı %37.5 olarak saptanmıştır.

UV-C uygulaması sonrasında ekstrakt içermeyen yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin depolama süresince Brix değerlerine ait sonuçlar değerlendirildiğinde kontrol grubunun Brix değerinin 6.90 değerinden 9.25’e yükseldiği belirlenmiştir. Ekstrakt içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinde ise Brix değerlerinin 7.20-7.90 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Depolama süresince 0. gün hariç kontrol grubu örneklerin Brix değerinin istatistiksel açıdan ekstrakt içeren yenilebilir kaplama solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin Brix değerinden yüksek olduğu saptanmıştır ($p<0.05$).

Depolama sırasında meyvenin ağırlık kaybının başlıca nedenin meyvenin su kaybetmesi olduğu bilinmektedir. Yenilebilir kaplamalar, ürün üzerinde ekstra bir tabaka görevi görerek terlemede azalmaya ve dolayısıyla ağırlık kaybında azalmaya yol açmaktadır. Yenilebilir kaplamanın ağırlık kaybını azaltma yeteneğinin yüksek olması kaplamanın ürünün su kaybına karşı etkili bir bariyer oluşturduğunu göstermektedir (Duan et al., 2011). Guerreiro et al. (2015b) tarafından yapılan çilek örneklerinin esansiyel yağlarla zenginleştirilmiş polisakkarit bazlı yenilebilir kaplamaların etkisini araştıran çalışmada kontrol ile kıyasla tüm örneklerde ağırlık kaybının arttığı belirlenmiştir. Ancak tez çalışmasına benzer şekilde Gol et al. (2013) tarafından yapılan çalışmada kullanılan kitosan içeren yenilebilir kaplamaların kontrol ile kıyasla ağırlık kaybı yüzdesinde önemli bir azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmada kaplamalar ile kontrol karşılaştırıldığında depolama süresi boyunca çileklerin bozulma sıklığında önemli düzeyde azalma sağlanmıştır ($p<0.05$). Kontrol çilek örneklerinde başlangıç bozulma sıklığı %11.50 olarak bulunmuş olup, 12 günlük depolama sonunda çileklerin %95.59'unun bozulduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık, yenilebilir film ile kaplanan meyvelerde bozulma sıklığının depolamanın 12. gününde %14.45-28.57 aralığında olduğu belirlenmiştir (Gol et al., 2013).

Razali et al. (2021) tarafından yapılan domates örneklerinde müsilaj kullanılarak hazırlanan kaplama ve UV-C ışık uygulamasının kombine olarak kullanıldığı çalışmada, uygulama yapılan örneklerin ağırlık kaybı (%0.87) ile kontrol örneklerinin ağırlık kaybı (%1.26) kıyaslandığında kombine uygulamaların ağırlık kaybının azaltılmasında etkili olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde tek başına ve kombine olarak aljinat bazlı kaplama (%2) ile UV-C ışığın (253.7 nm 4 dk) kombine kullanıldığı çalışmada, yenilebilir kaplama yapılan domateslerin nispeten daha düşük ağırlık kaybına sahip olduğu belirlenmiştir (Bal, 2021).

Salinas-Roca et al. (2016) tarafından yapılan çalışmada darbeli ışık uygulaması ile kombine edilen kaplama uygulamaları sonucunda mango dilimlerinin Brix değerleri depolama boyunca neredeyse sabitken, özellikle işlem görmemiş mango dilimlerinde depolamanın ikinci haftasında mikrobiyal bozulmadan kaynaklanan hafif bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

Guerreiro et al. (2015b) tarafından yapılan çalışmada esansiyel yağlarla zenginleştirilmiş polisakkarit bazlı yenilebilir kaplamaların çilek örneklerinin Brix

değerini önemli ölçüde etkilemediği belirtilmiştir ($p>0.05$). Velickova et al. (2013) tarafından yapılan çalışmada ise çilek örneklerinde depolama sonunda solunuma bağlı Brix değerinde azalma olduğunu belirtilmiştir. Selüloz türevleri içeren kaplamaların kontrole göre Brix değerini önemli ölçüde azaltması sonucunda solunum ve metabolik aktivitenin yavaşlamasına ve dolayısıyla olgunlaşma sürecinin gecikmesine bağlanmıştır. Gol et al. (2013) tarafından yapılan çalışmada kontrol çilek örneklerinde Brix değeri 4 günlük depolamadan sonra 8.5 olarak belirlenmiş olup, 4 günlük depolama sırasında, kaplanmamış örnekler kitosan ile kaplanmış örneklerle kıyasla önemli ölçüde daha yüksek Brix değerine sahip olduğu bulunmuştur. Benzer şekilde yenilebilir kaplamalarla kaplanan meyvelerde, kaplanmamış kontrol meyvelerine kıyasla ağırlık kaybı ve bozulma sıklığında önemli gecikme sağladığını tespit edilmiştir. Bu bulguların literatürde yer alan çalışmalar ile tutarlılık gösterdiği düşünülmektedir.

Depolama süresince UV-C ışık uygulamasının ardından ekstrakt içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinde renk analiz sonuçları Tablo 4.72’de özetlenmiştir.

Tablo 4.72 Kombine yöntemlerin uygulandığı çilek örneklerinin renk analiz sonuçları

Renk değerleri		Depolama (gün)*					
		0	1	4	7	10	13
L*	Kontrol	29.15 (2.91) Aa	30.36 (1.34) Aa	31.12 (2.33) Aa	29.99 (1.78) Aa	30.83 (2.79) Aa	29.88 (2.12) Aa
	Ekstrakt içeren	31.56 (1.82) Aa	28.51 (2.00) Aa	29.78 (1.67) Aa	29.81 (2.43) Aa	30.92 (3.16) Aa	30.42 (1.27) Aa
a*	Kontrol	27.36 (1.85) ABa	22.15 (3.68) Ca	28.36 (3.24) Aa	27.58 (2.25) ABa	23.62 (2.88) BCa	27.27 (4.06) ABa
	Ekstrakt içeren	22.90 (0.82) Aa	22.75 (3.28) Aa	22.65 (1.26) Aa	22.97 (4.46) Aa	18.64 (2.18) Bb	23.20 (3.07) Aa
b*	Kontrol	15.10 (4.16) Aa	11.65 (3.43) Aa	16.19 (3.12) Aa	15.41 (2.36) Aa	12.35 (2.93) Aa	15.44 (2.95) Aa
	Ekstrakt içeren	9.92 (1.98) Aa	11.16 (2.74) Aa	10.39 (2.41) Aa	8.34 (3.16) Ab	8.60 (1.89) Ab	11.42 (2.17) Ab
ΔE		7.26	2.01	8.25	8.45	6.24	5.75

* Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p<0.05$).

Sonuçlar incelendiğinde yapılan kaplama işlemi sonucunda çilek örneklerinin L* değerinin 28.51 ile 31.56 arasında değiştiği belirlenmiş olup, L* değerlerinde değişimin istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$). UV-C uygulaması sonrasında kaplama öncesinde a* değerlerinin 22.15-28.36 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Depolama süresince ekstrakt içeren yenilebilir film kaplama uygulamasının çilek örnekleri a* değerlerinde sadece 10. gün azalma olduğu saptanmıştır ($p<0.05$). UV-C uygulaması sonrasında ekstrakt

içeren yenilebilir film ile kaplanan çilek örneklerinin depolama süresinin b^* değeri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkisi olmadığı belirlenmiş olup ($p>0.05$), kaplama öncesindeki b^* değerleri ile kıyaslandığında 7. günden itibaren b^* değerlerinin istatistiksel olarak azaldığı belirlenmiştir ($p<0.05$). Ayrıca 1. gün hariç ΔE değerinin >3 olması yapılan işlemlerin toplam renk değişimi üzerinde belirgin etkisi olduğunu göstermektedir.

Hasat sonrası kayıpların azaltılmasına yönelik yenilikçi bir yaklaşım, yenilebilir kaplamaların kullanımı ile ürünlerinin raf ömrünün uzatılmasıdır. Modifiye atmosferde paketlenme ve soğuk depolama gibi uygulamalar ürünlerin olgunlaşma sürecini ve renk gelişimini geciktirmektedir (Park et al., 2018b). Yapılan bir çalışmada, 0.5°C 'de 14 gün depolama süresince aljinat bazlı yenilebilir kaplamaların L^* değerinin 38.97-45.65 aralığında değiştiği belirlenirken, pektin bazlı yenilebilir kaplamaların L^* değerinin 39.70-46.20 arasında değiştiği ancak tez çalışmasına benzer şekilde kaplama uygulamaların renk parametresi üzerinde önemli ölçüde etkisi olmadığı tespit edilmiştir (Guerreiro et al., 2015b). Çilek örneklerinin uzun süre depolaması süresince gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda kabuk renginde kahverengileşme ve/veya koyulaşma meydana gelebilmektedir. Kitosan ve peynir altı suyu protein izolatı konjugatı içeren kaplama solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin 5°C ve 20°C sıcaklıklarda 7 gün depolanması sonucunda L^* , a^* ve b^* değerlerinde kademeli bir azalma olduğu belirlenmiştir (Muley and Singhal, 2020).

Donsi et al. (2015) tarafından yapılan çalışmada yüksek basınç teknolojisi (400 mPa, 5 dk) ile kombine edilen mandalina esansiyel yağı (%0.05) içeren yenilebilir film kaplamaların taze fasulye örneklerinin renk değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde L^* değerleri depolama süresince 30.7-40.7 arasında değişirken, uygulama yapılmayan kontrol grubu örneklerin L^* değerlerinin 46.3-59.0 arasında olduğu tespit edilmiştir. Ancak darbeli ışık teknolojisi (120 kJ/m^2) ile kombine edilen mandalina esansiyel yağı (%0.05) içeren yenilebilir film kaplamaların L^* değerleri 56.7-59.00 arasında olduğu saptanmıştır. Yapılan yüksek basınç uygulamaları sonucunda bitki dokularının zarar görmesi nedeniyle örneklerin L^* değerinin düştüğü belirlenirken, darbeli ışık teknolojisi ile L^* değerinin depolama süresince daha iyi korunduğu rapor edilmiştir. Salinas-Roca et al. (2016) tarafından yapılan çalışmada da mango dilimlerinin L^* değerinin darbeli ışık uygulaması ile depolama süresince azaldığı belirlenmiştir.

Bouarab-Chibane et al. (2017) tarafından yapılan çalışmada yeşil çay ekstraktı (10 g/kg) ilave edilen kıyma örneklerinde a* indeksinin 20.7'den 5.6'ya düştüğü ve kıymanın gözle fark edilebilir yeşilimsi bir renk aldığı belirtilmiştir. Ancak bu tez çalışmasında çilek örneklerinin a* indeksinin 22.15-28.3 aralığında olduğu ve dağ çileği yaprağı ekstraktı ilavesinin örneklerde gözle fark edilebilir bir yeşillığe neden olmadığı belirlenmiştir. Sonuç olarak UV-C ışık uygulaması sonucunda ekstrakt içeren yenilebilir kaplama ile kaplanan örneklerin depolama süresince çilek meyvelerinin olgunlaşmasını geciktirdiği belirlenmiştir.

Depolama süresince UV-C ışık uygulamasının ardından ekstrakt içermeyen/içeren yenilebilir kaplama solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin duyusal özellikleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Çilek örneklerinin duyusal analiz sonuçlarının özeti Tablo 4.73'te verilmiştir.

Tablo 4.73 Kombine yöntemlerin uygulandığı çilek örneklerinin duyusal analiz sonuçları

Kriter	Depolama (gün)*						
	0	1	4	7	10	13	
Renk	Kontrol	5.84 (0.23) ABa	6.67 (0.47) Aa	5.17 (0.71) ABa	4.17 (1.18) BCa	2.16 (0.23) Cb	3.00 (1.41) Cb
	Ekstrakt içeren	6.84 (0.23) Aa	6.67 (0.47) ABa	6.34 (0.48) ABCa	5.33 (0.01) BCa	5.17 (0.71) Ca	5.00 (0.95) Ca
Koku	Kontrol	6.00 (0.00) ABb	6.84 (0.23) Aa	5.84 (1.65) ABa	5.67 (1.88) ABa	3.67 (0.47) ABa	3.17 (1.65) Bb
	Ekstrakt içeren	7.00 (0.00) Aa	6.66 (0.47) ABa	6.33 (0.94) ABC	6.00 (1.41) ABCa	4.00 (0.00) Ca	4.33 (1.41) BCa
Görünüş	Kontrol	6.00 (0.03) Ab	6.67 (0.10) Aa	4.00 (0.01) Bb	3.17 (0.71) Ba	3.16 (1.18) Bb	3.00 (0.47) Bb
	Ekstrakt içeren	7.00 (0.00) Aa	6.84 (0.23) Aa	5.67 (0.00) Ba	4.50 (0.24) Ca	4.00 (0.47) Ca	4.33 (0.47) Ca

*Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, UV-C uygulaması sonrasında ekstrakt içermeyen (kontrol) yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin depolama süresince duyusal analizleri kapsamında renk kriteri için 2.16-6.67 arasında puan aldığı belirlenirken, ekstrakt içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin 5.00-6.84 aralığında puan aldığı saptanmıştır. Benzer şekilde kontrol ve ekstrakt ilaveli yenilebilir kaplama uygulanan çilek örneklerinde koku kriterinden alınan puanların sırasıyla 3.17-6.84 ve 4.00-7.00 olduğu belirlenirken, görünüş kriterinden alınan puanların sırasıyla 3.00-6.67 ve 4.00-7.00 olduğu tespit edilmiştir. Depolamanın 13. gününde ekstrakt içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin panelistler tarafından daha çok beğenildiği belirlenmiştir (p<0.05).

Gol et al. (2013) tarafından yapılan çalışmanın duysal analiz sonuçları incelendiğinde, karboksimetil selüloz, hidroksipropilmetil selüloz ve kitosan içeren yenilebilir kaplamaların, genel kabul edilebilirlik açısından yüksek puanlar aldığı ve çileklerin raf ömrünü kontrol ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde iyileştirdiği belirtilmiştir. Guerreiro et al. (2015b) tarafından yapılan çalışmada duysal analizler sonucunda kaplama yapılmayan kontrol çilek örneklerinin depolamanın 14. gününde genel kabul edilebilirlik puanının 2.50-4.00 aralığında olduğu belirtilirken, aljinat bazlı yenilebilir kaplama ile kaplanan çilek örneklerinin puanının 1.00 ve 2.30 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Pektin bazlı yenilebilir kaplama ile kaplanan çilek örneklerinin genel kabul edilebilirlik puanının ise 1.00 ve 2.80 aralığında olduğu belirlenmiştir. Fizikokimyasal meyve kalitesini korumak için en iyi yenilebilir kaplamaların en yüksek genel kabul edilebilirlik puanına sahip (2.30 ve 2.80) olduğu uygulamalar belirlenmiştir. En iyi kaplama uygulamalarının %0.1 öjenol ile zenginleştirilmiş %2 aljinat bazlı ve %0.1 öjenol ile zenginleştirilmiş %2 pektin bazlı yenilebilir kaplama ile kaplanan çilek örnekleri olduğu belirlenmiştir. Ancak duysal analiz sonuçları çilek örneklerinin sadece 7 gün duysal özelliklerini koruyabildiği ve bu süreden sonra panelistlerin beğeni düzeylerinde azalma gözlemlendiği belirlenmiştir. 14. gün itibarıyla meyvelerin duysal kalitesinin satışa sunulması için yetersiz hale geldiği görülmüştür.

Taze kesilmiş elma örneklerinde gellan bazlı prebiyotik yenilebilir kaplamalarla birlikte darbeli ışık (12 J/cm^2) kombinasyonun, özellikle ilk depolama haftasından sonra aroma kriteri için en düşük puanları aldığı belirlenmiştir. Kötü kokuların varlığı, işlem görmüş elma örneklerinin genel kabul edilebilirliğini sınırladığı rapor edilmiştir (Moreira et al., 2015). Gómez-López et al. (2005) tarafından da darbeli ışık uygulanmasından hemen sonra ortaya çıkan plastik kokusuna benzer olarak tanımlanan bir koku olduğu bildirilmiştir. Ancak Freitas et al. (2015) tarafından yapılan çalışmada 6 kJ/m^2 dozda UV-C ışık uygulamasının üzüm örneklerinin görsel kalite veya lezzet kriterleri üzerinde herhangi bir olumsuz etkiye neden olmadığı belirlenmiştir. Çalışmada kaplama yapılmayan kontrol grubu üzüm örneklerinin UV-C ışık uygulaması sonrasında kitosanla kaplanmış üzüm örneklerinden daha düşük parlaklık değerine sahip olduğu tespit edilmiş olup, kaplama uygulamalarının ürün görsel kalitesi üzerinde faydalı etkisi olduğu da gözlemlenmiştir. Ayrıca kaplama uygulamaları yapılan üzümlerin, kontrol ile kıyaslandığında daha çok beğenildiği rapor edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında yapılan 7 puanlı hedonik duyuşsal analiz sonucunda 4 üzerindeki puanlar kabul edilebilir olarak değeriendirildiğinde, depolamanın 13. gününe kadar ekstrakt içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin kabul edilebilir organoleptik özelliklere sahip olduğu bulunmuştur.

UV-C ışık uygulamasından sonra ekstrakt içermeyen ve ekstrakt içeren yenilebilir kaplama solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin depolama süresince antioksidan aktivitesi üzerinde etkisi belirlenmiştir. Çilek örneklerinin antioksidan aktivite analiz sonuçları Tablo 4.74'te yer almaktadır.

Tablo 4.74 Kombine yöntemlerin uygulandığı çilek örneklerinin antioksidan aktivite analiz sonuçları

Depolama (gün)	Antioksidan aktivite (%DPPH inhibisyonu)*	
	Kontrol	Ekstrakt içeren kaplama
0	93.75 (1.65) ^{Bbc}	98.82 (0.08) ^{Ade}
1	96.54 (0.38) ^{Babc}	99.17 (0.11) ^{Ab}
4	97.18 (0.57) ^{Bab}	98.72 (0.03) ^{Ad}
7	97.83 (0.41) ^{Ba}	99.00 (0.04) ^{Abc}
10	98.63 (0.32) ^{Aa}	98.91 (0.10) ^{Acd}
13	92.99 (3.38) ^{Bc}	99.46 (0.13) ^{Aa}

* Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değeriiler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değeriiler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir (p<0.05).

UV-C uygulaması sonrasında ekstrakt içermeyen (kontrol) yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin depolama süresince %DPPH inhibisyonunun %92.99-97.83 arasında değıştiği belirlenirken, ekstrakt içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin %DPPH inhibisyonunun %98.72-99.46 arasında değıştiği tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, ekstrakt ilavesinin depolamanın 10. günü hariç örneklerin antioksidan aktivitesi üzerinde olumlu bir etkisi olduğu belirlenmiştir (p<0.05).

Guerreiro et al. (2015b) tarafından yapılan çalışmada ise genel olarak, pektin bazlı yenilebilir kaplamalarla kaplanmış çilekler aljinat ile kaplanmış çilek örneklerinden daha yüksek antioksidan aktivite gösterdiği ancak 7. ve 14. gün arasında soğukta depolamanın antioksidan aktivitede azalmaya neden olduğu belirtilmiştir. Hasat sonrası depolama sırasında polifenoloksidaz ve peroksidaz tarafından katalize edilen fenoliklerin oksidasyonu, toplam fenolik madde miktarındaki hızlı düşüşün başlıca nedeni olarak gösterilmektedir (Duan et al., 2011). UV-C ve ürünlerin tüm yüzeyi kaplayabilecek portakal suyu ilavesi ile kombine edilen uygulamaların çilek dilimleri üzerindeki etkisinin incelendiği

çalışmada, sadece UV-C işlemi uygulanan örneklerin depolama süresince uygulama yapılmamış çilek dilimleri ile kıyaslandığında daha yüksek fenolik madde (~%14), flavonoid (~%23) ve antosiyanin (%11-41) miktarına sahip olduğu belirlenmiştir. Kontrol ve sadece UV-C ışık uygulaması yapılan çilek örneklerinin depolamanın 1. gününde antioksidan aktivite (%DPPH) %10 oranında artarken, depolamanın sonunda %8 oranında azalmış olup örnekler arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir (Avalos-Llano et al., 2020). Taze kesilmiş elma örneklerinde gellan bazlı prebiyotik yenilebilir kaplamalarla birlikte darbeli ışığın kombine olarak kullanılmasını araştıran bir çalışmada ise, kombine uygulamaların elma örneklerinin antioksidan özelliklerini daha iyi korunmasını sağladığı rapor edilmiştir (Moreira et al., 2015).

UV-C ışık uygulamasından ardından ekstrakt içermeyen ve ekstrakt içeren yenilebilir kaplama solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin depolama süresi boyunca toplam fenolik madde miktarındaki değişim Tablo 4.75'te yer almaktadır.

Tablo 4.75 Kombine yöntemlerin uygulandığı çilek örneklerinin toplam fenolik madde miktarı analiz sonuçları

Depolama (gün)	Toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g)*	
	Kontrol	Ekstrakt içeren kaplama
0	33.14 (2.70) ^{Ba}	42.93 (0.62) ^{Aa}
1	34.19 (1.39) ^{Aa}	40.09 (3.28) ^{Aa}
4	32.62 (2.19) ^{Aa}	38.83 (5.75) ^{Aa}
7	33.03 (2.96) ^{Aa}	34.29 (4.15) ^{Aa}
10	32.38 (1.99) ^{Aa}	37.98 (5.25) ^{Aa}
13	24.49 (2.37) ^{Bb}	32.05 (2.68) ^{Aa}

* Aynı sütundaki farklı küçük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$). Aynı satırda yer alan büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı belirtmektedir ($p < 0.05$).

Depolama süresi boyunca UV-C uygulaması sonrasında ekstrakt içermeyen (kontrol) ve içermeyen yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin toplam fenolik madde miktarının sırası ile 24.49-34.19 mg GAE/100 g ve 32.05-42.93 mg GAE/100 g arasında olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, depolama süresince ekstrakt ilavesinin sadece 0. ve 13. günlerde istatistiksel açıdan anlamlı farklılığa neden olduğu belirlenmiş olup, ekstrakt ilavesinin toplam fenolik madde miktarını arttırdığı bulunmuştur ($p < 0.05$). Nicolau-Lapeña et al. (2019) tarafından yapılan çalışmada çileklerin fenolik içeriği 83.01 mg/100 g olduğu ve sonuçların literatür ile uyumlu olduğu belirtilmiştir (Perin et al., 2019). Tez çalışması kapsamında elde edilen toplam fenolik madde miktarı sonuçlarının benzer olduğu belirlenmiştir.

Taze kesilmiş salatalık örneklerinde UV-C uygulaması ile limon esansiyel yağı içeren kaplamaların kombine kullanımının etkinliğini değerlendirildiği Zambrano-Zaragoz et al. (2021) tarafından yapılan çalışmada, sadece kaplama yapılan örneklerde polifenol miktarı 9 gün içinde %23 oranında azalırken, kombine uygulamalar ile örneklerin polifenol miktarının 15 gün içinde %38.84 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca kombine işlem uygulaması sonucunda örneklerin antioksidan aktivitesinin sabit kaldığı belirlenmiştir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Son yıllarda tüketicilerin daha sağlıklı ve besleyici gıdaların tüketimine yönelmeleriyle birlikte, taze meyve ve sebze tüketiminin hızla arttığı görülmektedir. Taze meyve ve sebze tüketiminin artmasıyla birlikte, bu ürünlerden kaynaklanan gıda kaynaklı hastalık vakaları da artış göstermektedir. Gıda endüstrisinde oluşabilecek salgınların önlenmesi için kimyasal dekontaminasyon uygulamaları yapılmaktadır. Klor bazlı dezenfektan uygulamaları en yaygın uygulamalar olmakla birlikte, kullanılan kimyasal dezenfektanlar insan sağlığı açısından risk teşkil etmektedir. Bu nedenle günümüzde gıda endüstrisi, gıda güvenliğini sağlamak ve ekonomik kayıpları azaltmak için etkili, kimyasal kalıntı bırakmayan ve çevre dostu alternatif uygulama arayışı içerisinde. UV-C ışık teknolojisi, meyve ve sebze yüzeylerinde mikrobiyal gelişimini inhibe etmek ve gıda israfını önlemek için kullanılan ısı olmayan alternatif yöntemlerden biridir.

Bu tez çalışmasında dağ çileği çiçeği, yaprağı ve meyvesi; sarı kantaron çiçeği ve yaprağı ile hiren bitkisi kullanılarak 12 farklı bitkisel ekstraktın, 6 farklı bitkisel materyal hidrosolü ve 2 farklı esansiyel yağın (sarı kantaron çiçeği ve yaprağı) farklı test kültürleri üzerinde antimikrobiyal, antibiyofilm ve anti-QS aktiviteleri incelenmiştir. Dağ çileği ekstraktlarının MİK değerlerinin 0.27-25 mg/mL arasında olduğu, MİK/2 konsantrasyonda sırasıyla biyofilm ve viyolasin pigmenti inhibisyonlarının ise %3.33-87.36 ve %22.00-85.80 aralığında olduğu belirlenmiştir. Dağ çileği çiçeği ve yaprağı metanol ekstraktının viyolasin inhibisyonunu engellemek için test kültürleri üzerinde MİK konsantrasyonda etkili bir ajan olduğu ve biyofilm inhibisyonu sağlamak için kullanılabileceği belirlenmiştir. Biyofilm eradikasyonu üzerinde de dağ çileği çiçeği su ekstraktı ile çiçek metanol ekstraktının etkili olduğu belirlenmiştir. Dağ çileği ekstraktlarının toplam fenolik madde miktarlarının 69.48-120.97 mg GAE/g aralığında olduğu, DPPH radikalini de %37.53-61.55 oranında inhibe ettiği tespit edilmiştir. Sarı kantaron ekstraktlarının MİK değerlerinin 0.75-48.01 mg/mL aralığında olduğu belirlenmiş olup, MİK/2 konsantrasyonda biyofilm ve viyolasin pigmenti inhibisyonları sırasıyla %0.51-88.32 ve %31.52-64.52 aralığında tespit edilmiştir. Viyolasin inhibisyonunu engellemek için test kültürlerinin sarı kantaron metanol ekstraktlarına karşı duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca sarı kantaron ekstraktlarının toplam fenolik madde miktarlarının 31.63-82.11 mg GAE/g aralığında olduğu, DPPH radikalini de %43.25-60.22 oranında inhibe ettiği bulunmuştur. Hiren ekstraktlarının MİK değerlerinin 6.25-25 mg/mL arasında

olduğu saptanmıştır. MİK/2 konsantrasyonda biyofilm ve viyolasin pigmenti inhibisyonları ise sırasıyla %4.53-80.97 ile %18.39-46.62 olarak belirlenmiştir. Anti-QS aktivite üzerinde hiren metanol ekstraktının etkili bir ajan olarak kullanılma potansiyeli bulunmaktadır. Hiren ekstraktlarının toplam fenolik madde miktarlarının 17.04-29.58 mg GAE/g aralığında olduğu, DPPH radikalini de %37.17-42.43 oranında inhibe ettiği tespit edilmiştir. Yapılan tüm tarama analiz sonuçları dikkate alınarak çalışmanın devamında kullanılacak en uygun bitkisel materyalin dağ çileği yaprağı metanol ekstraktı olduğu belirlenmiştir. Çalışmada dağ çileği metanol ekstraktının IC₅₀ değerinin 849.19 µg/mL olduğu ve sitotoksiste göstermediği tespit edilmiştir. Ekstraktın MİK ve MİK/2 konsantrasyonlarda kullanıldığında test kültürleri tarafından üretilen ve biyofilm oluşturma yeteneği ile ilişkilendirilen EPS miktarını da azalttığı belirlenmiştir. Bu nedenle anti-QS ve antibiyofilm aktivesi yüksek olan dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının etki mekanizmalarının detaylı olarak belirlenmesi için daha fazla araştırma yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Yenilebilir kaplama için kullanılacak bitkisel materyalin dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının etken madde içeriğini arttırmak amacıyla Box-Behnken yöntemi kullanılarak ultrasonik destekli ekstraksiyon işlem koşulları optimize edilmiştir. Bu amaçla farklı süre (15-60 dk), sıcaklık (30-60°C) ve metanol:su (%25-100) oranlarında ultrasonik destekli ekstraksiyon işlemi yapılmıştır. Elde edilen ekstraktların toplam fenolik madde içeriğinin maksimum, MİK değerinin minimum olduğu optimum koşul %100 metanolün çözgen olarak kullanıldığı, 57°C sıcaklıktaki ultrasonik su banyosunda 18 dk işlem süresi olarak belirlenmiştir. Optimize edilmiş koşullarda üretilen ekstraktın IC₅₀ değeri 12.04 mg/mL olarak belirlenirken, toplam fenolik madde miktarı (163.86 mg GAE/g) ve DPPH radikalini giderme oranının da (%94.92) optimize edilmemiş koşullarda üretilen ekstraktan daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ek olarak optimize edilmiş koşullarda üretilen ekstraktın daha düşük konsantrasyonda (MİK=5 mg/mL) antimikrobiyal aktivite gösterdiği belirlendiği için optimizasyon işlemi sonucunda istenilen hedefe ulaşılmıştır. Kimyasal kompozisyon sonuçları incelendiğinde elde edilen ekstraktın daha önce literatürde rapor edilmemiş olan florizin, rezerpin ve herbasetin bileşenlerini içerdiği ilk kez tespit edilmiştir. Sonuçlar, elde edilen bitkisel materyalin kimyasal koruyuculara iyi bir alternatif olarak kullanılma potansiyelinin bulunduğunu göstermektedir.

In vitro koşullarda yapılan UV-C ışık uygulamalarında elde edilen sonuçlar incelendiğinde, katı ve sıvı ortamda 1 sn UV-C ışık uygulaması ile test

kültürleri üzerinde >2 log azalma sağlandığı tespit edilmiştir. Ayrıca UV-C ışık uygulaması ile hasar gören hücrelerindeki hasarın geri dönüşümsüz olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, çalışmada kullanılan UV-C ışık cihazının *in vitro* koşullarda oldukça kısa uygulama sürelerinde (1-10 sn) gıda güvenliğini tehdit eden mikroorganizmalar üzerinde etkili dekontaminasyon sağlaması nedeniyle cihazın ticarileşme potansiyeli olduğunu göstermektedir. Ayrıca dağ çileği metanol ekstraktının MİK konsantrasyonda kullanıldığı durumda biyofilm inhibisyonu %87.62 olarak belirlenirken, UV-C ışık uygulaması (0.25 kJ/m^2) sonrasında test kültürleri tarafından üretilen biyofilmlerde önemli ölçüde inhibisyon (%97.92-100) sağlandığı tespit edilmiştir. Viyolasin inhibisyonu sonuçları incelendiğinde ise 0.12 kJ/m^2 UV-C ışık uygulaması sonucunda *C. violaceum* ATCC 12472 ve *C. violaceum* ATCC 31532 tarafından üretilen viyolasin pigmentinin sırasıyla %80.54 ve %93.34 oranlarında inhibe edildiği görülmektedir ($p<0.05$). Bu durumda uygulanan UV-C ışık işleminin *C. violaceum* ATCC 31532 test kültürünün viyolasin pigmenti üretiminden sorumlu QS mekanizması üzerinde daha etkili olduğu ve test kültürünün UV-C ışık işlemine daha hassas olduğu belirlenmiştir.

Tasarımı yapılan çift taraflı UV-C ışık cihazında model gıda örnekleri aynı anda hem üst hem de alt yüzeylerinden UV-C ışığa maruz bırakılmıştır. Domates ve çilek örneklerine inoküle edilmiş *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* sayılarındaki azalmalar kıyaslandığında çilek örneklerinde UV-C ışık dozunun arttırılmasına rağmen mikrobiyal azalmaların artmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle çilek örneklerinin pürüzlü yapısından dolayı meydana gelen azalmaların domates örneklerinden daha düşük olduğu saptanmıştır. Çalışma ile elde edilen sonuçlar matematiksel modelleme verileri ile de desteklenmiştir. Sonuç olarak *S. Typhimurium* ve *L. monocytogenes* test kültürlerinin farklı UV-C ışık doz uygulamalarında sergilediği mikrobiyal inaktivasyon davranışları sırasıyla en iyi Geeraerd Tail ve Weibull modelleri ile uyum sağlamıştır.

Çalışmada, örneklerin UV-C ışık uygulamasından sonra 24 saat görünür ışık altında depolanmasının *L. monocytogenes* test kültürü inoküle edilen domates ve çilek örneklerinde hasar gören hücrelerin reaktivasyonuna neden olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar UV-C ışık uygulaması sonrasında uygun depolama koşullarının sağlanmasının fotoreaktivasyonun önlenmesi için önemli olduğunu göstermektedir. Görünür ışık geçirmeyen ortamlarda yapılan depolama işlemi ile mikroorganizmaların reaktivasyonu engellenmekte olup, bu durum gıda güvenliğinin devamlılığının sağlanması açısından önemlidir. Bu nedenle, UV-C

ışık uygulanan gıda ürünlerinin depolama aşaması, sürecin başarısı için dikkatli planlanmalıdır.

UV-C ışık uygulaması yapılan model gıdalara inoküle edilmiş kültürlerde azalma sağlanırken ürün kalitesinin etkilenmesini engellemek için $<10 \text{ kJ/m}^2$ dozda UV-C ışık uygulanması hedeflenmiştir. Bu nedenle domates örneklerinin depolama analizleri için *S. Typhimurium* üzerinde 10 sn (1.16 kJ/m^2) UV-C, *L. monocytogenes* üzerinde 60 sn (6.97 kJ/m^2) UV-C işlemi uygulanmıştır. Çilek örneklerinde ise *S. Typhimurium* için 60 ve 90 sn UV-C ışık uygulaması arasında istatistiksel açıdan anlamı fark olmadığı için depolama analizlerinde 60 sn seçilirken, biyofilm oluşturmuş *L. monocytogenes* üzerinde UV-C ışık uygulamasının 90 sn (10.46 kJ/m^2) sürede etkili olması ve artan doza bağlı olarak azalmaların artmaması nedeniyle 90 sn uygulama süresi seçilmiştir. UV-C işlemi uygulandıktan sonra depolanan domates ve çilek örneklerinde patojen sayısında en yüksek azalmanın depolamanın 1. gününde elde edildiği belirlenmiştir. Ayrıca daha düşük dozlar kullanılmasına rağmen, UV-C ışık uygulamasının domates örneklerinin doğal mikroflorası üzerinde çilek örnekleri ile kıyaslandığında daha etkili olduğu saptanmıştır. Bu nedenle çilek örneklerinde UV-C ışık uygulamasının depolama süresince doğal mikroflora üzerinde etkisinin yeterli olmadığı tespit edilmiştir. Ancak UV-C işlemi uygulanmamış çilek örneklerinin depolama süresince renk, koku ve görünüş açısından düşük puan aldığı belirlenirken, UV-C ışık işlemi uygulanan örneklerin duyuşal özelliklerinin depolama süresince daha iyi korunduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen tüm sonuçlar doğrultusunda çilek örneklerinde tek başına UV-C ışık uygulamalarının mikrobiyal inaktivasyonda yeterli etkiyi sağlayamadığı için UV-C ışık uygulamalarının kombine yöntemler ile kullanımının ürün dekontaminasyonu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Depolama süresince *L. monocytogenes* ve *S. Typhimurium* sayılarında en yüksek azalmanın 4. günde sırasıyla 1.44 ve 1.77 log olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kontrol örnekleri ile kıyaslandığında depolama süresince yenilebilir kaplama solüsyonuna ekstrakt ilavesinin mikrobiyal inaktivasyonu artırma yönünde destekleyici bir etkisi olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$).

İnokulasyon yapılmayan çilek örneklerinde depolama süresince kombine yöntemlerin doğal mikroflora üzerindeki etkisi incelendiğinde; toplam aerobik psikrofilik ve mezofilik bakteri sayılarında en yüksek azalmanın depolamanın 4. gününde sırasıyla 0.49 ve 0.76 log olduğu tespit edilmiştir. Kombine uygulamalar

sonucunda küf ve maya sayısında elde edilen mikrobiyal azalmaların ise 0.50-0.81 log olduğu tespit edilirken, sonuçların sadece UV-C ışık uygulaması sonucunda küf ve maya sayısında meydana gelen azalmalardan (0.02-0.77 log) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda küf ve maya sayısının azaltılmasında kombine uygulamaların etkisinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Depolama süresince ürünlerin fizikokimyasal ve duyuşal özellikleri üzerinde değişimlerin belirlendiği analizler sonucunda 0. gün hariç kontrol grubu örneklerin Brix değerinin ekstrakt içeren yenilebilir kaplama solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin Brix değerinden istatistiksel açıdan yüksek olduğu saptanmıştır ($p < 0.05$). Bununla birlikte depolamanın 10. gününde ekstrakt içeren kaplamalar sayesinde örneklerin %37.5'i bozulduğu tespit edilirken, ekstrakt içermeyen kontrol grubu örneklerinin %70'inin bozulduğu belirlenmiştir. Sadece UV-C ışık uygulamaları ile çilek örneklerinin %67.5'inin bozulduğu göz önüne alındığında, kombine uygulamalar sayesinde çilek örneklerinde bozulma sıklığının düştüğü saptanmıştır. Yapılan kaplama işlemi sonucunda çilek örneklerinin L^* değerinde depolama süresince değişimin istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı belirlenmiştir ($p > 0.05$). Bu durum tüketiciler açısından ürünün kalite ve tazeliğini koruduğunu göstermekte olup, tüketicilerin satın alma kararlarını olumlu yönde etkileyeceğini göstermektedir. Duyusal analizlerde panelistler tarafından depolamanın 10. gününde ekstrakt içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin daha çok beğenildiği ve depolamanın 13. gününe kadar ekstrakt içeren yenilebilir film solüsyonu ile kaplanan çilek örneklerinin kabul edilebilir organoleptik özelliklere (>4 puan) sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca ekstrakt ilavesinin örneklerin antioksidan aktivitesi ve toplam fenolik madde miktarı üzerinde olumlu etkisi olduğu, bu sebeple de elde edilen ürünün tüketiciler açısından ilgi çekici olacağı ön görülmektedir.

Bu çalışma sonuçlarından yola çıkılarak, gelecek çalışmalarda çift taraflı UV-C ışık sisteminin hem ürün kalitesinin korunması hem de daha düşük enerji maliyetleriyle gerekli dekontaminasyonun sağlanması için sanayiye uyumu açısından oldukça avantaj sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca UV-C ışık ve doğal antimikrobiyal ajan olarak kullanılma potansiyeline sahip bitkisel materyallerin yenilebilir kaplama uygulamalarının kombine olarak kullanımının gıda kaynaklı patojen mikroorganizmaların dekontaminasyonu sağlanırken, model gıda örneklerinin organoleptik özelliklerini korumak için kullanılabileceği görülmektedir. Bu çalışmada kimyasal kalıntı bırakmayan farklı koruma

yöntemlerinin ılımlı olarak uygulandığı engel teknolojisinin kullanımının etkili olduğu belirlenmiştir.

Çalışma sonucunda dağ çileği yaprağı metanol ekstraktının tıbbi amaçlarla da farklı çalışmalarda kullanılabilme potansiyeli olduğu anlaşılmaktadır. Doğal olarak yetişen bu bitkisel materyalin yetiştiği topraklarda yaşayan insanlar için bir gelir kaynağı oluşturma potansiyeli öngörülmektedir. Elde edilen sonuçların gıda kayıp ve israfının önlenmesi için benzer konularda çalışan araştırmacılara ışık tutacağı düşünülmektedir. Çalışma kapsamında doğal ve kimyasal kalıntı bırakmayan yöntemler ile gıda kaynaklı patojen mikroorganizmaların dekontaminasyonu sağlanırken model gıda örneklerinin duyuşal özelliklerinin korunduğı uygun işlem parametreleri belirlenmiştir. Tasarımı yapılan çift taraflı UV-C ışık cihazının endüstriye uygulanabilirliği açısından gelişme kaydedilmiş olup, cihazın kullanılabilmesi ve geliştirilmesi açısından literatüre katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abbasi, N. A., Ashraf, S., Ali, I., and Butt, S. J.,** 2015, Enhancing storage life of bell pepper by UV-C irradiation and edible coatings, *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 52 (2): 403-411 pp.
- Abboud, A. N., and Arment, A.,** 2013, The protective effects of the violacein pigment against UV-C irradiation in *Chromobacterium violaceum*, *Ohio Journal of Science*, 111 (2-5): 28-32 pp.
- Abdalla, G., Mussagy, C. U., Brasil, G. S. A. P., Scontri, M., da Silva Sasaki, J. C., Su, Y., Bebbler, C., Rocha, R. R., de Sousa Abreu, A. P., Goncalves, R. P., Burd, B. S., Pacheco, M. F., Romeira, K. M., Picheli, F. P., Guerra, N. B., Farhadi, N., Floriano, J. F., Forster, S., He, S., Nguyen, H.T., and Herculano, R. D.,** 2023, Eco-sustainable coatings based on chitosan, pectin, and lemon essential oil nanoemulsion and their effect on strawberry preservation, *International Journal of Biological Macromolecules*, 249: 126016.
- Abdi, S., Roein, Z., Erfanimoghadam, J., and Aziznia, S.,** 2017, Application of pectin coating containing essential oil for increasing quality of strawberry fruit, *Journal of Postharvest Technology*, 5(4): 83-94 pp.
- Abdipour, M., Malekhossini, P. S., Hosseinifarahi, M., and Radi, M.,** 2020, Integration of UV irradiation and chitosan coating: A powerful treatment for maintaining the postharvest quality of sweet cherry fruit, *Scientia Horticulturae*, 264: 109197 .
- Abdullah, A. H., Awad-Allah, M. A., Abd-Elkarim, N. A., Ahmed, Z. F., and Taha, E. M.,** 2023, Carboxymethyl cellulose from banana rachis: A potential edible coating to extend the shelf life of strawberry fruit, *Agriculture*, 13(5): 1058.
- Abisado, R. G., Benomar, S., Klaus, J. R., Dandekar, A.A., and Chandler, J. R.,** 2018, Bacterial Quorum Sensing and microbial community interactions, *American Society for Microbiology*, 9 (3): e02331-17 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Adekunte, A. O., Tiwari, B. K., Cullen, P. J., Scannell, A. G. M., and O'donnell, C. P., 2010, Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice, *Food Chemistry*, 122(3): 500-507 pp.
- 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 pp.
- Agneta, R., Möllers, C., and Rivelli, A. R., 2013, Horseradish (*Armoracia rusticana*), a neglected medical and condiment species with a relevant glucosinolate profile: a review, *Genetic Resources and Crop Evolution*, 60: 1923-1943 pp.
- Aguayo, P.R, Larenas, T.B., Godoy, C.A., Rivas, B.C, González-Casanova, J., Rojas-Gómez, D., and Fuentes, N.C., 2020, Antimicrobial and antibiofilm capacity of chitosan nanoparticles against wild type strain of *Pseudomonas* sp. isolated from milk of cows diagnosed with bovine mastitis, *Antibiotics*, 9(9): 551 p.
- Aguilar-Veloz, L. M., Calderón-Santoyo, M., Carvajal-Millan, E., Martínez-Robinson, K., and Ragazzo-Sánchez, J. A., 2022, *Artocarpus heterophyllus* Lam. leaf extracts added to pectin-based edible coating for *Alternaria* sp. control in tomato, *LWT*, 156: 113022.
- Aguiló-Aguayo, I., Charles, F., Renard, C. M., Page, D., and Carlin, F., 2013, Pulsed light effects on surface decontamination, physical qualities and nutritional composition of tomato fruit, *Postharvest Biology and Technology*, 86: 29-36 pp.
- Ahmed, S. A., Rudden, M., Smyth, T. J., Dooley, J. S., Marchant, R., and Banat, I. M., 2019, Natural quorum sensing inhibitors effectively downregulate gene expression of *Pseudomonas aeruginosa* virulence factors, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103 (8): 3521-3535 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Aissani, N., Tedeschi, P., Maietti, A., Brandolini, V., Garau, V. L., and Caboni, P., 2013, Nematicidal activity of allylisothiocyanate from horseradish (*Armoracia rusticana*) roots against *Meloidogyne incognita*, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(20): 4723-4727 pp.
- Akkaya, O. B., Çelik, İ. S., Ertaş, E., Çömlekcioglu, N., and Aygan, A., 2024, Determination of antimicrobial, anticarcinogenic activity of bioactive components of *Hypericum perforatum* L. plant, *International Journal of Chemistry and Technology*, 8(1): 73-82 pp.
- Akyuz, L., Kaya, M., İlk, S., Cakmak, Y. S., Salaberria, A. M., Labidi, J., Yılmaz, B. A., and Sargin, I., 2018, Effect of different animal fat and plant oil additives on physicochemical, mechanical, antimicrobial and antioxidant properties of chitosan films, *International Journal of Biological Macromolecules*, 111: 475–484 pp.
- Alahmad, A., Al-Zereini, W. A., Hijazin, T. J., Al-Madanat, O. Y., Alghoraibi, I., Al-Qaralleh, O., Al-Qaralleh, S., Feldhoff, A., Walter, J. G., and Scheper, T., 2022, Green synthesis of silver nanoparticles using *Hypericum perforatum* L. aqueous extract with the evaluation of its antibacterial activity against clinical and food pathogens, *Pharmaceutics*, 14(5): 1104.
- Aleksic, V., and Knezevic, P., 2014, Antimicrobial and antioxidative activity of extracts and essential oils of *Myrtus communis* L., *Microbiological Research*, 169(4): 240-254 pp.
- Alkan, H., Akbaş, P., Durhan, S., and Öztürkler, O., 2021, Acırğa/Bayır turpu (*Armoracia rusticana*/Horseradish) bitki kökünün bazı Gram negatif ve Gram pozitif bakterilere karşı etkinliğinin incelenmesi, *Caucasian Journal of Science*, 8(1): 70-78 pp.
- Allende, A., and Artes, F., 2003, UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed ‘Lollo Rosso’ lettuce, *Food Research International*, 36: 739-746 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Alloh, P. B., El-Said, M. M., El-Sayed, H. S., Baranenko, D. A., and El-Messery, T. M.,** 2024, Extension of ultrafiltered cheese shelf life using edible coatings containing supercritical rosemary, thyme and coriander extracts as antimicrobial agents, *Food Control*, 163: 110479.
- Al-Mijalli, S. H., Mrabti, H. N., Ouassou, H., Flouchi, R., Abdallah, E. M., Sheikh, R. A., Alshahrani, M. M., Al Awadh, A. A., Harhar, H., El Omari, N., Qasem, A., Assaggaf, H., Moursi, N. H., Bouyahya, A., Gallo, M., and Faouzi, M. E. A.,** 2022, Chemical composition, antioxidant, anti-diabetic, anti-acetylcholinesterase, anti-inflammatory, and antimicrobial properties of *Arbutus unedo* L. and *Laurus nobilis* L. essential oils, *Life*, 12(11): 1876.
- Al-Shabib, N. A., Husain, F. M., Ahmad, I., Khan, M. S., Khan, R. A. and Khan, J. M.,** 2017, Rutin inhibits mono and multi-species biofilm formation by foodborne drug resistant *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*, *Food Control*, 79: 325-332 pp.
- Al-Tayyar, N. A., Youssef, A. M., and Al-Hindi, R. R.,** 2020, Edible coatings and antimicrobial nanoemulsions for enhancing shelf life and reducing foodborne pathogens of fruits and vegetables: A review, *Sustainable Materials and Technologies*, 26: e00215.
- Alvarez, A., Manjarres, J. J., Ramírez, C., and Bolívar, G.,** 2021, Use of an exopolysaccharide-based edible coating and lactic acid bacteria with antifungal activity to preserve the postharvest quality of cherry tomato, *LWT*, 151: 112225 pp.
- Alvarez, M. V., Ortega-Ramirez, L. A., Gutierrez-Pacheco, M. M., Bernal-Mercado, A. T., Rodriguez-Garcia, I., Gonzalez-Aguilar, G. A., Ponce, A., Moreira M. R. Raura, S. I., and Ayala-Zavala, J. F.,** 2014, Oregano essential oil-pectin edible films as anti-quorum sensing and food antimicrobial agents, *Frontiers in Microbiology*, 5: 1-7 pp.
- Amiri, A., Mortazavi, S. M. H., Ramezani, A., Mahmoodi Sourestani, M., Mottaghipisheh, J., Iriti, M., and Vitalini, S.,** 2021, Prevention of decay and maintenance of bioactive compounds in strawberry by application of UV-C and essential oils, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(6): 5310-5317 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Amrutha, B., Sundar, K., and Shetty, P. H.,** 2017, Effect of organic acids on biofilm formation and quorum signaling of pathogens from fresh fruits and vegetables, *Microbial Pathogenesis*, 111: 156-162 pp.
- Andrade, D., Gil, C., Breitenfeld, L., Domingues, F., and Duarte, A. P.,** 2009, Bioactive extracts from *Cistus ladanifer* and *Arbutus unedo* L., *Industrial Crops and Products*, 30(1): 165-167 pp.
- Antoniadou, M., Rozos, G., Vaiou, N., Zaralis, K., Ersanli, C., Alexopoulos, A., Tzora, A., Varzakas, T., and Voidarou, C.,** 2024, The *in vitro* assessment of antibacterial and antioxidant efficacy in *Rosa damascena* and *Hypericum perforatum* extracts against pathogenic strains in the interplay of dental caries, oral health, and food microbiota, *Microorganisms*, 12(1): 60 p.
- Anwar, S., Ahmed, N., Speciale, A., Cimino, F., and Saija, A.,** 2016, Bitter orange (*Citrus aurantium* L.) oils, In Essential oils in food preservation, flavor and safety, *Academic Press*, 259-268 pp.
- Araque, L. C. O., Rodoni, L. M., Darré, M., Ortiz, C. M., Civello, P. M., and Vicente, A. R.,** 2018, Cyclic low dose UV-C treatments retain strawberry fruit quality more effectively than conventional pre-storage single high fluence applications, *LWT*, 92: 304-311 pp.
- Arroyo, C., Cebrián, G., Pagán, R., and Condón, S.,** 2011, Inactivation of *Cronobacter sakazakii* by ultrasonic waves under pressure in buffer and foods, *International Journal of Food Microbiology*, 144(3): 446-454 pp.
- Asfaw, W. A., Tafa, K. D., Satheesh, N.,** 2023, Optimization of citron peel pectin and glycerol concentration in the production of edible film using response surface methodology”, *Heliyon*, 9(3) p.
- Ashkani-Esfahani, S., Khoshneviszadeh, M., Noorafshan, A., Miri, R., Rafiee, S., Hemyari, K., Kardeh, S., Hosseinabadi, O. K., Fani, D., and Faridi, E.,** 2019, The healing effect of *Plantago major* and *Aloe vera* mixture in excisional full thickness skin wounds: Stereological study, *World Journal of Plastic Surgery*, 8(1): 51 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Atalar, M. N., Köktürk, M., Altındağ, F., Ozhan, G., Özen, T., Demirtas, İ., and Gülçin, İ.,** 2023, LC-ESI-MS/MS analysis of secondary metabolites of different St. John's wort (*Hypericum perforatum*) extracts used as food supplements and evaluation of developmental toxicity on zebrafish (*Danio rerio*) embryos and larvae, *South African Journal of Botany*, 159: 580-587 pp.
- Atik, A., and Gumus, T.,** 2021, The effect of different doses of UV-C treatment on microbiological quality of bovine milk, *LWT*, 136: 110322.
- Avalos-Llano, K. R., Molina, R. S., and Sgroppo, S. C.,** 2020, UV-C treatment applied alone or combined with orange juice to improve the bioactive properties, microbiological, and sensory quality of fresh-cut strawberries, *Food and Bioprocess Technology*, 13: 1528-1543 pp.
- Ayan, A. K., and Çirak, C.,** 2008, Hypericin and pseudohypericin contents in some *Hypericum*. species growing in Turkey, *Pharmaceutical Biology*, 46(4): 288-291 pp.
- Ayaz, F. A., Kucukislamoglu, M., and Reunanen, M.,** 2000, Sugar, non-volatile and phenolic acids composition of strawberry tree (*Arbutus unedo* L. var. *ellipsoidea*) fruits, *Journal of Food Composition and Analysis*, 13(2): 171-177 pp.
- Ayaz, F., Köngül Şafak, E., Erkan Türkmen, K., Şeker Karatoprak, G., Katircioğlu, H., and Küçükboyacı, N.,** 2021, Assessment of antimicrobial, antibiofilm, and cytotoxic activities, and characterization of phenolic compounds of *Origanum haussknechtii*, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(5): 4267-4276 pp.
- Aydın, G.,** 2019, Soğuk pres yöntemiyle elde edilen eterik yağların biyokimyasal ve antimikrobiyal özellikleri, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ordu, Türkiye.
- Bai, A., J., and Vittal, R. R.,** 2014, Quorum sensing inhibitory and anti-biofilm activity of essential oils and their *in vivo* efficacy in food systems, *Food Biotechnology*, 28(3): 269-292 pp.
- Bal, E.,** 2021, Storage life extension of cherry tomato by alginate-based edible coating in combination with UV-C treatment, *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 4(4): 453-466 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Baltacıoğlu, H., Baltacıoğlu, C., Okur, I., Tanrıvermiş, A., and Yalıç, M.,** 2021, Optimization of microwave-assisted extraction of phenolic compounds from tomato: Characterization by FTIR and HPLC and comparison with conventional solvent extraction, *Vibrational Spectroscopy*, 113: 103204.
- Bang, I. H., Kim, Y. E., Lee, S. Y., and Min, S. C.,** 2020, Microbial decontamination of black peppercorns by simultaneous treatment with cold plasma and ultraviolet C., *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 63: 102392.
- Barnes, J., Barber, N., Wheatley, D., and Williamson, E. M.,** 2006, A pilot randomised, open, uncontrolled, clinical study of two dosages of St John's Wort (*Hypericum perforatum*) herb extract (LI-160) as an aid to motivational/behavioural support in smoking cessation, *Planta Medica*, 72(04): 378-382 pp.
- Barreto, T. A., Andrade, S. C. A., Maciel, J. F., Arcanjo, N. M. O., Madruga, M. S., Meireles, B., Cordeiro, Â. M. T., Souza, E. L., and Magnani, M.,** 2016, A chitosan coating containing essential oil from *Origanum vulgare* L. to control postharvest mold infections and keep the quality of cherry tomato fruit, *Frontiers in Microbiology*, 7: 1724.
- Barros, L., Carvalho, A. M., Morais, J. S., and Ferreira, I. C.,** 2010, Strawberry-tree, blackthorn and rose fruits: Detailed characterisation in nutrients and phytochemicals with antioxidant properties, *Food Chemistry*, 120(1): 247-254 pp.
- Bartz, J. A., Sargent, S. A., and Mahovic, M.,** 2009, Guide to identifying and controlling postharvest tomato diseases in Florida, *IFAS/Extension HS*, 866.
- Barut Gök, S., and Pazır, F.,** 2020, Effect of treatments with UV-C light and electrolysed oxidizing water on decontamination and the quality of Gemlik black olives, *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 15: 171-179 pp.
- Bazargani, M. M., and Rohloff, J.,** 2016, Antibiofilm activity of essential oils and plant extracts against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* biofilms, *Food Control*, 61: 156-164 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Benedí, J., Arroyo, R., Romero, C., Martín-Aragón, S., and Villar, A. M.,** 2004, Antioxidant properties and protective effects of a standardized extract of *Hypericum perforatum* on hydrogen peroxide-induced oxidative damage in PC12 cells, *Life Sciences*, 75(10): 1263-1276 pp.
- Ben-Fadhel, Y., Saltaji, S., Khelifi, M. A., Salmieri, S., Vu, K. D., and Lacroix, M.,** 2017, Active edible coating and γ -irradiation as cold combined treatments to assure the safety of broccoli florets (*Brassica oleracea* L.), *International Journal of Food Microbiology*, 241, 30-38 pp.
- Bigi, F., Maurizzi, E., Quartieri, A., De Leo, R., Gullo, M., and Pulvirenti, A.,** 2023, Non-thermal techniques and the “hurdle” approach: How is food technology evolving?, *Trends in Food Science and Technology*, 132: 11-39 pp.
- Bintsis, T., Litopoulou-Tzanetaki, E., Robinson, R.K.,** 2000, Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80: 637-645 pp
- Bobinaitė, R., Viškelis, P., Venskutonis, P. R.,** 2012, Variation of total phenolics, anthocyanins, ellagic acid and radical scavenging capacity in various raspberry (*Rubus* spp.) cultivars, *Food Chemistry*, 132(3): 1495-1501 pp.
- Bolton, J. R., and Cotton, C. A.,** 2011, *The Ultraviolet Disinfection Handbook*. American Water Works Association.
- Bones, A. M., and Rossiter, J. T.,** 2006, The enzymic and chemically induced decomposition of glucosinolates, *Phytochemistry*, 67(11): 1053-1067 pp.
- Bouarab-Chibane, L., Ouled-Bouhedda, B., Leonard, L., Gemelas, L., Bouajila, J., Ferhout, H., Cottaz, A., Degraeve, P., and Oulahal, N.,** 2017, Preservation of fresh ground beef patties using plant extracts combined with a modified atmosphere packaging, *European Food Research and Technology*, 243: 1997-2009 pp.
- Bouhanna, I., Boussaa, A., Boumaza, A., Rigano, D., Maisto, M., Basile, A., Rollini, M., Limbo, S., and Idoui, T.,** 2021, Characterization and antibacterial activity of gelatin- based film incorporated with *Arbutus unedo* L. fruit extract on *Sardina pilchardus*, *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(5): e15424.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Bouyahya, A., Moussaoui, N., Abrini, J., Bakri, Y., and Dakka, N.,** 2016, Determination of phenolic contents, antioxidant and antibacterial activities of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) leaf extracts, *British Biotechnology Journal*, 14(3): 1-10 pp.
- Brankiewicz, A., Trzos, S., Mrozek, M., Opydo, M., Szostak, E., Dziurka, M., Tuleja, M., Loboda, A., and Pocheć, E.,** 2023, Cytotoxic and antioxidant activity of *Hypericum perforatum* L. extracts against human melanoma cells from different stages of cancer progression, cultured under normoxia and hypoxia, *Molecules*, 28(3): 1509.
- Braun, S. D., Müller, E., Frankenfeld, K., Gary, D., Monecke, S., and Ehricht, R.,** 2024, A proof-of-concept protein microarray-based approach for serotyping of *Salmonella* enterica strains, *Pathogens*, 13(5): 355 p.
- Bravo, S., García-Alonso, J., Martín-Pozuelo, G., Gómez, V., Santaella, M., Navarro-González, I., and Periago, M. J.,** 2012, The influence of post-harvest UV-C hormesis on lycopene, β -carotene, and phenolic content and antioxidant activity of breaker tomatoes. *Food Research International*, 49(1): 296-302 pp.
- Brčić Karačonji, I., Jurica, K., Gašić, U., Dramićanin, A., Tešić, Ž., and Milojković Opsenica, D.,** 2021, Comparative study on the phenolic fingerprint and antioxidant activity of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) leaves and fruits, *Plants*, 11(1): 25 p.
- Brindhadevi, K., Le, Q. H., Salmen, S. H., Karuppusamy, I., and Pugazhendhi, A.,** 2023, *In vitro* biofilm inhibition efficacy of *Aerva lanata* flower extract against Gram negative and Gram positive biofilm forming bacteria and toxicity analysis using *Artemia salina*, *Environmental Research*, 238: 117118.
- Burunkaya, B., Selli, S., and Kelebek, H.,** 2021, Sarı Kantaron (*Hypericum perforatum* L.) fenoliklerinin karakterizasyonu, antioksidan ve antimikrobiyal potansiyelinin belirlenmesi, *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 36(2): 309-324 pp.
- Butot, S., Cantergiani, F., Moser, M., Jean, J., Lima, A., Michot, L., Putallaz, T., Stroheker, T., Zuber, S.,** 2018, UV-C inactivation of foodborne bacterial and viral pathogens and surrogates on fresh and frozen berries, *International Journal of Food Microbiology*, 275: 8-16 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Byun, K. H., Na, K. W., Ashrafudoulla, M., Choi, M. W., Han, S. H., Kang, I., Park, S. H., and Ha, S. D., 2022, Combination treatment of peroxyacetic acid or lactic acid with UV-C to control *Salmonella* Enteritidis biofilms on food contact surface and chicken skin, *Food Microbiology*, 102: 103906.
- Cabrera-Díaz, E., Castillo, A., Martínez-Chávez, L., Beltrán-Huerta, J., Gutiérrez-González, P., Orozco-García, A. G., Garcia-Frutos, R., and Martínez-González, N. E., 2022, Attachment and survival of *Salmonella enterica* and *Listeria monocytogenes* on tomatoes (*Solanum lycopersicum*) as affected by relative humidity, temperature, and storage time, *Journal of Food Protection*, 85(7): 1044-1052 pp.
- Calabrone, L., Larocca, M., Marzocco, S., Martelli, G. B. G., and Rossano, R., 2015, Total phenols and flavonoids content, antioxidant capacity and lipase inhibition of root and leaf horseradish (*Armoracia rusticana*) extracts, *Food and Nutrition Sciences*, 6: 64-74 pp.
- Cankal, Y. S., Unluturk, M. S., and Unluturk, S., 2023, Fluence (UV dose) distribution assessment of UV-C light at 254 nm on food surfaces using radiochromic film dosimetry integrated with image processing and convolutional neural network (CNN), *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 88: 103439.
- Canto, A. C. V. D. C. S., Monteiro, M. L. G., Costa- Lima, B. R. C. D., Lázaro, C. A., Marsico, E. T., Silva, T. J. P. D., and Conte- Junior, C. A., 2019, Effect of UV- C radiation on *Salmonella* spp. reduction and oxidative stability of caiman (*Caiman crocodilus yacare*) meat, *Journal of Food Safety*, 39(2): e12604.
- Cao, X., Huang, R., and Chen, H., 2019, Evaluation of food safety and quality parameters for shelf life extension of pulsed light treated strawberries, *Journal of Food Science*, 84(6): 1494-1500 pp.
- Carcache-Blanco, E. J., Cuendet, M., Park, E. J., Su, B. N., Rivero-Cruz, J. F., Farnsworth, N. R., Pezzuto, J. M., and Douglas Kinghorn, A., 2006, Potential cancer chemopreventive agents from *Arbutus unedo*, *Natural Product Research*, 20(04): 327-334 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Carranza Carranza, L. C., Chavez, S. G., and dos Santos Ferreira, C., 2024,** Characterization of the byproducts of *Myrciaria dubia* and *Psidium guajava* and optimization of the extraction of their bioactive compounds by ultrasound-assisted extraction and mechanical agitation, *Processes*, 12(6): 1228.
- CDC, 2024,** Centers for Disease Control and Prevention, National Outbreak Reporting System (NORS) <https://www.cdc.gov/nors/index.html> (Erişim tarihi 01.07.2024).
- Cengiz, M. F., ve Certel, M., 2014,** Effects of chlorine, hydrogen peroxide, and ozone on the reduction of mancozeb residues on tomatoes, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(3): 371-376 pp.
- Chaparro-Hernández, S., Ruiz-Cruz, S., Márquez-Ríos, E., Ornelas-Paz, J. D. J., Del-Toro-Sánchez, C. L., Gassos-Ortega, L. E., Ocen-Higuera, V. M., Lopez-Mata, M. A., and Devora-Isiordia, G. E., 2019,** Effect of chitosan–tomato plant extract edible coating on the quality, shelf life, and antioxidant capacity of pork during refrigerated storage, *Coatings*, 9(12): 827 p.
- Chaturvedi, K., Sharma, N., and Yadav, S. K., 2019,** Composite edible coatings from commercial pectin, corn flour and beetroot powder minimize post-harvest decay, reduces ripening and improves sensory liking of tomatoes, *International Journal of Biological Macromolecules*, 133: 284-293 pp.
- Chen, B. Y., Lung, H. M., Yang, B. B., and Wang, C. Y., 2015,** Pulsed light sterilization of packaging materials, *Food Packaging and Shelf Life*, 5: 1-9 pp.
- Chen, H., Wubbolts, R. W., Haagsman, H. P., and Veldhuizen, E. J., 2018,** Inhibition and eradication of *Pseudomonas aeruginosa* biofilms by host defence peptides, *Scientific Reports*, 8(1): 10446.
- Chen, W., Jin, T. Z., Gurtler, J. B., Geveke, D. J., and Fan, X., 2012,** Inactivation of *Salmonella* on whole cantaloupe by application of an antimicrobial coating containing chitosan and allyl isothiocyanate, *International Journal of Food Microbiology*, 155(3): 165-170 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Chenia, H. Y.**, 2013, Anti-quorum sensing potential of crude *Kigelia africana* fruit extracts, *Sensors*, 13 (3): 2802-2817 pp.
- Cheon, H. L., Shin, J. Y., Park, K. H., Chung, M. S., and Kang, D. H.**, 2015, Inactivation of foodborne pathogens in powdered red pepper (*Capsicum annuum* L.) using combined UV-C irradiation and mild heat treatment, *Food Control*, 50: 441-445 pp.
- Choi, D. S., Park, S. H., Choi, S. R., Kim, J. S., and Chun, H. H.**, 2015b, The combined effects of ultraviolet-C irradiation and modified atmosphere packaging for inactivating *Salmonella enterica* serovar Typhimurium and extending the shelf life of cherry tomatoes during cold storage, *Food Packaging and Shelf Life*, 3: 19-30 pp.
- Choi, J. K., Gornsawun, G., and Shin, I. S.**, 2015a, Effect of a polypropylene (PP) patch containing isothiocyanates (ITCs) extracted from horseradish (*Armoracia rusticana*) root on the shelf-life of low-salt Myeong-ran Jeotgal, *Food Science and Biotechnology*, 24 (6): 2065–2076 pp.
- Christiaen, S.E., Matthijs, N., Zhang, X.H., Nelis, H.J., Bossier, P., and Coenye, T.**, 2014, Bacteria that inhibit quorum sensing decrease biofilm formation and virulence in *Pseudomonas aeruginosa* PAO1, *Pathogens and Disease*, 70(3): 271-279 pp.
- Chun, H., Kim, J., Chung, K., Won, M., and Song, K. B.**, 2009, Inactivation kinetics of *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica* serovar Typhimurium, and *Campylobacter jejuni* in ready-to-eat sliced ham using UV-C irradiation, *Meat Science*, 83 (4): 599-603 pp.
- Coimbra, A. T., Luís, Â. F., Batista, M. T., Ferreira, S. M., and Duarte, A. P. C.**, 2020, Phytochemical characterization, bioactivities evaluation and synergistic effect of *Arbutus unedo* and *Crataegus monogyna* extracts with Amphotericin B. *Current Microbiology*, 77(9): 2143-2154 pp.
- Colejo, S., Alvarez-Ordóñez, A., Prieto, M., González-Raurich, M., and López, M.**, 2018, Evaluation of ultraviolet light (UV), non-thermal atmospheric plasma (NTAP) and their combination for the control of foodborne pathogens in smoked salmon and their effect on quality attributes, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 50: 84-93 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Cosa, S., Chaudhary, S.K., Chen, W., Combrinck, S., and Viljoen, A., 2019, Exploring common culinary herbs and spices as potential anti-quorum sensing agents, *Nutrients*, 11(4): 1-77 pp.
- Cozzolino, R., Pace, B., Palumbo, M., Laurino, C., Picariello, G., Siano, F., De Giulio, B., Pelosi, S., and Cefola, M., 2021, Profiles of volatile and phenolic compounds as markers of ripening stage in Candonga strawberries, *Foods*, 10(12): 3102 p.
- Çelebi, Ö., Başer, S., Güler, M. C., Çelebi, D., and Çelebi, S., 2023, Determination of antibacterial activity of St. John's Wort (*Hypericum perforatum* L.) oil, *Nigella sativa* oil, clove (*Eugenia caryophyllata*) oil, orange peel (*Citrus sinensis*) and garlic (*Allium sativa*) oil against microorganisms isolated from clinical samples, *New Trends in Medicine Sciences*, 4(1): 19-26 pp.
- Çelen, G., Özkan, S., and Ayhan, F., 2008, The phenolic compounds from *Hypericum perforatum* and their antimicrobial activities, *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 36(4): 339–345 pp.
- Daiuto, É. R., Vieites, R. L., Tremocoldi, M. A., Carvalho, L. D., and Fumes, J. G. F., 2013, Postharvest of 'Hass' avocados submitted to UV-C radiation, *Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7 (2): 149-160 pp.
- D'Amato, S., Serio, A., López, C. C., and Paparella, A., 2018, Hydrosols: Biological activity and potential as antimicrobials for food applications. *Food Control*, 86: 126-137 pp.
- Das, H., Samanta, A. K., Kumar, S., Roychoudhury, P., Sarma, K., Akter, F., Subudhi, P. K., and Dutta, T. K., 2024, *In vitro* antimicrobial, antibiofilm and antiquorum sensing activity of Indian Rhododendron (*Melastoma malabathricum*) against clinical isolates of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Indian Journal of Animal Research*, 58 (5): 841-846 pp.
- de Oliveira, N. B., Peruchi, R. S., Rotella Junior, P., and de Brito, T. G., 2023, Modeling and optimization of steel end milling process: a review on empirical studies, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 45(11): 593 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Degala, H. L., Mahapatra, A. K., Demirci, A. and Kannan, G.,** 2018, Evaluation of non-thermal hurdle technology for ultraviolet-light to inactivate *Escherichia coli* K12 on goat meat surfaces, *Food Control*, 90: 113-120 pp.
- Değirmenci, H., and Erkurt, H.,** 2020, Relationship between volatile components, antimicrobial and antioxidant properties of the essential oil, hydrosol and extracts of *Citrus aurantium* L. flowers, *Journal of Infection and Public Health*, 13(1): 58-67 pp.
- Dekić, M. S., Radulović, N. S., Stojanović, N. M., Randjelović, P. J., Stojanović-Radić, Z. Z., Najman, S., and Stojanović, S.,** 2017, Spasmolytic, antimicrobial and cytotoxic activities of 5-phenylpentyl isothiocyanate, a new glucosinolate autolysis product from horseradish (*Armoracia rusticana* P. Gaertn., B. Mey. and Scherb., Brassicaceae), *Food Chemistry*, 232: 329-339 pp.
- Delago A., Mandabi A., and Meijler M. M.,** 2016, Natural quorum sensing inhibitors—small molecule big messages, *Israel Journal of Chemistry*, 56: 310–320 pp.
- Delaquis, P. J., Ward, S. M., Holley, R. A., Cliff, M. C., and Mazza, G.,** 1999, Microbiological, chemical and sensory properties of pre-cooked roast beef preserved with horseradish essential oil, *Journal of Food Science*, 64 (2): 519–524 pp.
- Delgado-Pelayo, R., Gallardo-Guerrero, L., and Hornero-Méndez, D.,** 2016, Carotenoid composition of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruits, *Food Chemistry*, 199: 165-175 pp.
- Deng, L. Z., Mujumdar, A. S., Pan, Z., Vidyarthi, S. K., Xu, J., Zielinska, M., and Xiao, H. W.,** 2020, Emerging chemical and physical disinfection technologies of fruits and vegetables: a comprehensive review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60 (15): 2481-2508 pp.
- Derbassi, N., Pedrosa, M. C., Heleno, S., Fernandes, F., Dias, M. I., Calhelha, R. C., Rodrigues, P., Caroch, M., Ferreira, I. C. F. R., and Barros, L.,** 2022, *Arbutus unedo* leaf extracts as potential dairy preservatives: Case study on quark cheese, *Food and Function*, 13(9): 5442-5454 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Devadharshini, U., Mohanty, S., and Paul, S.,** 2024, Fabrication of curcumin conjugated self-assembled lysozyme nanoparticle as potential food additive with enhanced antibiofilm and antioxidant activity, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 103305.
- Dhawan, A., and Chakraborty, S.,** 2024, Optimization of active pectin coating formulation and its effect on surface morphology and shelf-life of white button mushroom (*Agaricus bisporus*), *Measurement: Food*, 13: 100133.
- Dib, M. E. A., Allali, H., Bendiabdellah, A., Meliani, N., and Tabti, B.,** 2013, Antimicrobial activity and phytochemical screening of *Arbutus unedo* L., *Journal of Saudi Chemical Society*, 17(4): 381-385 pp.
- Diesler, K., Golombek, P., Kromm, L., Scharfenberger-Schmeer, M., Durner, D., Schmarr, H. G., Stahl, M. R., Briviba, K., and Fischer, U.,** 2019, UV-C treatment of grape must: Microbial inactivation, toxicological considerations and influence on chemical and sensory properties of white wine, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 52: 291-304 pp.
- Dimitrova, P. D., Damyanova, T., and Paunova-Krasteva, T.,** 2023, *Chromobacterium violaceum*: a model for evaluating the anti-quorum sensing activities of plant substances, *Scientia Pharmaceutica*, 91(3): 33 p.
- Dimkić, I., Gobin, I., Begić, G., Antić, D. R., Ristivojević, P., Jurica, K., Berić, T., Lozo, J., Abram, M., and Stanković, S.,** 2021, Antibacterial activity of herbal extracts towards uropathogenic *Enterococcus* isolates as a natural approach in control of urinary tract infections, *Journal of Herbal Medicine*, 28: 100445.
- Dogu-Baykut, E., Gunes, G., and Decker, E. A.,** 2014, Impact of shortwave ultraviolet (UV-C) radiation on the antioxidant activity of thyme (*Thymus vulgaris* L.), *Food Chemistry*, 157: 167-173 pp.
- Doğan, Ş., Gökalsın, B., Şenkardeş, İ., Doğan, A., and Sesal, N. C.,** 2019, Anti-quorum sensing and anti-biofilm activities of *Hypericum perforatum* extracts against *Pseudomonas aeruginosa*, *Journal of Ethnopharmacology*, 235: 293-300 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Doijad, S. P., Barbuddhe, S. B., Garg, S., Poharkar, K. V., Kalorey, D. R., Kurkure, N. V., Rawool, D. R., and Chakraborty, T.,** 2015, Biofilm-forming abilities of *Listeria monocytogenes* serotypes isolated from different sources, *PloS one*, 10(9): e0137046.
- Donsi, F., Marchese, E., Maresca, P., Pataro, G., Vu, K. D., Salmieri, S., Lacroix, M., and Ferrari, G.,** 2015, Green beans preservation by combination of a modified chitosan based-coating containing nanoemulsion of mandarin essential oil with high pressure or pulsed light processing, *Postharvest Biology and Technology*, 106, 21-32 pp.
- Du, Y., Yang, F., Yu, H., Yao, W., and Xie, Y.,** 2022, Controllable fabrication of edible coatings to improve the match between barrier and fruits respiration through layer-by-layer assembly, *Food and Bioprocess Technology*, 15(8): 1778-1793 pp.
- Duan, J., Wu, R., Strik, B. C., and Zhao, Y.,** 2011, Effect of edible coatings on the quality of fresh blueberries (Duke and Elliott) under commercial storage conditions, *Postharvest Biology and Technology*, 59(1): 71-79 pp.
- EFSA,** 2016, Safety of UV-treated milk as a novel food pursuant to Regulation (EC) No 258/97, *EFSA Journal*, 14(1):4370.
- Ekşi, S., Aktura, S. Ş., Ejder, N., and Şahin, K.,** 2019, Rize ve çevresinde yetişen yaban meyvelerinden elde edilen özütlerin anti-proliferatif etkilerinin araştırılması, *Ahi Evran Medical Journal*, 3(3): 104-111 pp.
- Ekşi, S., Esertas, Üreyen, Ü. Z., Kiliç, A. O., Ejder, N., and Uzunok, B.,** 2020, Determination of the antimicrobial and antibiofilm effects and “Quorum Sensing” inhibition potentials of *Castanea sativa* Mill. Extracts, *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48 (1): 66–78 pp.
- El Cadi, H., El Cadi, A., Kounnoun, A., El Majdoub, Y. O., Lovillo, M. P., Brigui, J., Dugo, P., Mondello, L., and Cacciola, F.,** 2020, Wild strawberry (*Arbutus unedo*): Phytochemical screening and antioxidant properties of fruits collected in northern Morocco, *Arabian Journal of Chemistry*, 13(8): 6299-6311 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- El Haouari, M., Assem, N., Changan, S., Kumar, M., Daştan, S. D., Rajkovic, J., Taheri, Y., and Sharifi-Rad, J.,** 2021, An insight into phytochemical, pharmacological, and nutritional properties of *Arbutus unedo* L. from Morocco, *Evidence- Based Complementary and Alternative Medicine*, 2021(1): 1794621.
- El Ouarti, A., Haouat, A. C., Sqalli, H., Haggoud, A., Ennabili, A., Ibnsouda, S., Lachgar, M., and Iraqui, M.,** 2012, Extra-and intracellular antimycobacterial activity of *Arbutus unedo* L, *African Journal of Microbiology Research*, 6(6):1283-1290 pp.
- El-Hilaly, J., Hmammouchi, M., and Lyoussi, B.,** 2003, Ethnobotanical studies and economic evaluation of medicinal plants in Taounate province , *Journal of Ethnopharmacology*, 86(2-3): 149-158 pp.
- Erboğa, A.,** 2016, Kocayemiş (*Arbutus unedo* L.) bitkisi karbonhidrat ve fenolik bileşenleri ile antioksidan etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın Üniversitesi, Bartın.
- Erhabor, C. R., Erhabor, J. O., and McGaw, L. J.,** 2019, The potential of South African medicinal plants against microbial biofilm and quorum sensing of foodborne pathogens: A review, *South African Journal of Botany*, 126: 214-231 pp.
- Erkekoglou, I., Nenadis, N., Samara, E., and Mantzouridou, F. T.,** 2017, Functional teas from the leaves of *Arbutus unedo*: phenolic content, antioxidant activity, and detection of efficient radical scavengers, *Plant Foods for Human Nutrition*, 72: 176-183 pp.
- Erukainure, O. L., Rademan, S., Erhabor, J. O., Chukwuma, C. I., Nde, A. L., and Matsabisa, M. G.,** 2022, *Cannabis sativa* L. protects against oxidative injury in kidney (vero) cells by mitigating perturbed metabolic activities linked to chronic kidney diseases, *Journal of Ethnopharmacology*, 293: 115312.
- Escalona, V. H., Aguayo, E., Martínez-Hernández, G. B., and Artés, F.,** 2010, UV-C doses to reduce pathogen and spoilage bacterial growth *in vitro* and in baby spinach, *Postharvest Biology and Technology*, 56 (3): 223-231 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Esertaş, Ü.,** 2020, Rize ve çevresinde yetişen bazı bitkilerden elde edilen özütlerin anti-mikrobiyal aktivite ve quorum sensing mekanizmalarına etkilerinin belirlenmesi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, Rize.
- Esua, O. J., Chin, N. L., Yusof, Y. A., and Sukor, R.,** 2019, Effects of simultaneous UV-C radiation and ultrasonic energy postharvest treatment on bioactive compounds and antioxidant activity of tomatoes during storage, *Food Chemistry*, 270: 113–122 pp.
- Evrendilek, G. A., and Uzun, K. K.,** 2020, Effects of ozonation, alkaline ionized water, and their combination on surface disinfection and shelf life extension of tomatoes, *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10): e14792.
- 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 pp.
- FAO,** 2018, Food loss and waste and value chains – Teaching guide <https://openknowledge.fao.org/items/d0f7fb81-4b8d-4cef-b264-0d4cd1bbbe31> (Erişim tarihi: 01.07.2024).
- FAO,** 2022, FAOSTAT, Commodities by country https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity (Erişim tarihi: 01.07.2024).
- Far, B. F., Naimi-Jamal, M. R., Jahanbakhshi, M., Khalafvandi, S. A., Alian, M., and Jahromi, D. R.,** 2024, Decontamination of Congo red dye from aqueous solution using nanoclay/chitosan-graft-gelatin nanocomposite hydrogel, *Journal of Molecular Liquids*, 395: 123839.
- FDA,** 2000, Sources of radiation used for inspection of food, <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?CFRPart=179&showFR=1> (Erişim tarihi: 23.05.2024)
- FDA-BAM** (Food and Drug Administration-Bacteriological Analytical Manual), 2001a, Aerobic plate count, <https://www.fda.gov/food/foodscienceresearch/laboratorymethods/ucm063346.htm> (Erişim tarihi: 10.07.2022).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- FDA-BAM** (Food and Drug Administration-Bacteriological Analytical Manual), 2001b, Yeasts, molds and mycotoxins (Erişim tarihi: 10.07.2022).
- Felz, S., Vermeulen, P., van Loosdrecht, M. C., and Lin, Y. M.**, 2019, Chemical characterization methods for the analysis of structural extracellular polymeric substances (EPS). *Water Research*, 157, 201-208 pp.
- Fiorentino, A., Castaldi, S., D'Abrosca, B., Natale, A., Carfora, A., Messere, A., and Monaco, P.**, 2007, Polyphenols from the hydroalcoholic extract of *Arbutus unedo* living in a monospecific Mediterranean woodland, *Biochemical Systematics and Ecology*, 35(11): 809 p.
- Flores-Cervantes, D. X., Palou, E., and López-Malo, A.**, 2013, Efficacy of individual and combined UVC light and food antimicrobial treatments to inactivate *Aspergillus flavus* or *A. niger* spores in peach nectar, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 20: 244-252 pp.
- Fortalezas, S., Tavares, L., Pimpão, R., Tyagi, M., Pontes, V., Alves, P. M., McDougall, G., Stewart, D., Ferreira, R. B., and Santos, C. N.**, 2010, Antioxidant properties and neuroprotective capacity of strawberry tree fruit (*Arbutus unedo*), *Nutrients*, 2(2): 214-229 pp.
- Fратиanni, F., Nazzaro, F., Marandino, A., Fusco, M. D. R., Coppola, R., De Feo, V., and De Martino, L.**, 2013, Biochemical composition, antimicrobial activities, and anti-quorum-sensing activities of ethanol and ethyl acetate extracts from *Hypericum connatum* Lam.(Guttiferae), *Journal of Medicinal Food*, 16(5): 454-459 pp.
- Freitas, C. M. P., Coimbra, J. S. R., Souza, V. G. L., and Sousa, R. C. S.**, 2021, Structure and applications of pectin in food, biomedical, and pharmaceutical industry: A review, *Coatings*, 11(8): 922 p.
- Freitas, P. M., López-Gálvez, F., Tudela, J. A., Gil, M. I., and Allende, A.**, 2015, Postharvest treatment of table grapes with ultraviolet-C and chitosan coating preserves quality and increases stilbene content, *Postharvest Biology and Technology*, 105, 51-57 pp.
- Gabriel, A. A., and Nakano, H.**, 2009, Inactivation of *Salmonella*, *E. coli* and *Listeria monocytogenes* in phosphate-buffered saline and apple juice by ultraviolet and heat treatments, *Food Control*, 20(4): 443-446 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Gabriel, A. A., Melo, K. M. D., and Michelena, J. C. D.,** 2020, Determination of the utility of ultraviolet-C irradiation for dried bay leaves microbial decontamination through safety and quality evaluations, *LWT*, 117: 108634.
- Ganegama Arachchi, G. J., Cridge, A. G., Dias-Wanigasekera, B. M., Cruz, C. D., McIntyre, L., Liu, R., and Mutukumira, A. N.,** 2013, Effectiveness of phages in the decontamination of *Listeria monocytogenes* adhered to clean stainless steel, stainless steel coated with fish protein, and as a biofilm, *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 40(10): 1105-1116 pp.
- Gao, J., Jang, H., Huang, L., Matthews, K. R.,** 2020, Influence of product volume on water antimicrobial efficacy and cross-contamination during retail batch washing of lettuce, *International Journal of Food Microbiology*, 323: 108593.
- Gayán, E., Serrano, M. J., Raso, J., Álvarez, I., and Condón, S.,** 2012, Inactivation of *Salmonella enterica* by UV-C light alone and in combination with mild temperatures, *Applied and Environmental Microbiology*, 78(23): 8353-8361 pp.
- Geeraerd, A. H., Valdramidis, V. P., and Van Impe, J. F.,** 2005, GInaFit, a freeware tool to assess non-log-linear microbial survivor curves. *International Journal of Food Microbiology*, 102(1): 95-105 pp.
- Ghodrati, L., and Ataie Kachoie, M.,** 2024, In silico antimicrobial activity of *Hypericum perforatum* to inhibit some enzymes of three bacterial species and *in vitro* antimicrobial effects of its extracts, *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 1-11 pp.
- Ghosh, A. K., Dewaele, P., Hu, H., Panda, S. K., and Luyten, W.,** 2024, Antimicrobial efficacy of select medicinal plant extracts from Bangladesh against food- borne bacterial pathogens, *Journal of Food Safety*, 44(3): e13147.
- Gioti, E. M., Fiamegos, Y. C., Skalkos, D. C., and Stalikas, C. D.,** 2009, Antioxidant activity and bioactive components of the aerial parts of *Hypericum perforatum* L. from Epirus, Greece, *Food Chemistry*, 117(3): 398-404 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Gol, N. B., Patel, P. R., and Rao, T. R.,** 2013, Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan, *Postharvest Biology and Technology*, 85: 185-195 pp.
- Gora, S. L., Rauch, K. D., Ontiveros, C. C., Stoddart, A. K., and Gagnon, G. A.,** 2019, Inactivation of biofilm-bound *Pseudomonas aeruginosa* bacteria using UVC light emitting diodes (UVC LEDs), *Water Research*, 151: 193-202 pp.
- Göral, B. S.,** 2019, *Lactobacillus acidophilus* kullanılarak üzüm turşusu üretimi ve ürünün *Escherichia coli* ve *Bacillus cereus* üzerine inhibisyon etkisinin incelenmesi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Türkiye.
- Graca, A., Salazar, M., Quintas, C., and Nunes, C.,** 2013, Low dose UV-C illumination as an eco-innovative disinfection system on minimally processed apples, *Postharvest Biology and Technology*, 85: 1-7 pp.
- Gray, J. A., Chandry, P. S., Kaur, M., Kocharunchitt, C., Bowman, J. P., and Fox, E. M.,** 2018, Novel biocontrol methods for *Listeria monocytogenes* biofilms in food production facilities, *Frontiers in Microbiology*, 9, 605.
- Grima, P., Urciuoli, C., Simone, G., Palazzo, A. G., Nuzzo, M., Quarta, M., Carraturo, I., Maci, A. M., Portaccio, G., Guido, M., Zizza, A., and Romano, A.,** 2022, Fatal *Listeria monocytogenes* septicemia and meningitis complicated by *Candida glabrata* fungemia: A case report, *Current Medical Research and Opinion*, 38(12): 2119-2121.
- Guan, W., Fan, X., and Yan, R.,** 2013, Effect of combination of ultraviolet light and hydrogen peroxide on inactivation of *Escherichia coli* O157: H7, native microbial loads, and quality of button mushrooms, *Food Control*, 34(2): 554-559 pp.
- Guerreiro, A. C., Gago, C. M., Faleiro, M. L., Miguel, M. G., and Antunes, M. D.,** 2015a, The effect of alginate-based edible coatings enriched with essential oils constituents on *Arbutus unedo* L. fresh fruit storage, *Postharvest Biology and Technology*, 100: 226-233 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Guerreiro, A. C., Gago, C. M., Faleiro, M. L., Miguel, M. G., and Antunes, M. D.,** 2015b, The use of polysaccharide-based edible coatings enriched with essential oils to improve shelf-life of strawberries, *Postharvest Biology and Technology*, 110: 51-60 pp.
- Guerreiro, A. C., Gago, C. M., Miguel, M. G., Faleiro, M. L., and Antunes, M. D.,** 2016, The influence of edible coatings enriched with citral and eugenol on the raspberry storage ability, nutritional and sensory quality, *Food Packaging and Shelf Life*, 9: 20-28 pp.
- Guerrero, S. N., Ferrario, M., Schenk, M., and Carrillo, M. G.,** 2017, Hurdle technology using ultrasound for food preservation. In *Ultrasound: Advances for Food processing and Preservation*, 39-99 pp.
- Guillín, Y., Cáceres, M., Torres, R., Stashenko, E., and Ortiz, C.,** 2021, Effect of essential oils on the inhibition of biofilm and quorum sensing in *Salmonella enteritidis* 13076 and *Salmonella* Typhimurium 14028, *Antibiotics*, 10(10): 1191 p.
- Guimarães, R., Barros, L., Dueñas, M., Carvalho, A. M., Queiroz, M. J. R., Santos-Buelga, C., and Ferreira, I. C.,** 2013, Characterisation of phenolic compounds in wild fruits from Northeastern Portugal, *Food Chemistry*, 141(4): 3721-3730 pp.
- Guler, A., and Okmen, G.,** 2024, The antimicrobial activity of *Hypericum perforatum* L. flower extract against food pathogens and its non-enzymatic antioxidant activity, *Kragujevac Journal of Science*, 46 (2024):1-14 pp.
- Gumus, Z. P., Moulahoum, H., Tok, K., Kocadag Kocazorbaz, E., and Zihnioglu, F.,** 2023, Activity- guided purification and identification of endogenous bioactive peptides from barley sprouts (*Hordeum vulgare* L.) with diabetes treatment potential, *International Journal of Food Science & Technology*, 58(6): 3285-3292 pp.
- Guo, M., Yadav, M. P., and Jin, T. Z,** 2017, Antimicrobial edible coatings and films from micro-emulsions and their food applications, *International Journal of Food Microbiology*, 263: 9-16 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Gursoy, M., Sargin, I., Mujtaba, M., Akyuz, B., İlk, S., Akyuz, L., İlk, S., Akyüz, L., Kaya, M., Çakmak Y. S., Salaberria, A. M, Labidi, J., and Erdem, N.,** 2018, False flax (*Camelina sativa*) seed oil as suitable ingredient for the enhancement of physicochemical and biological properties of chitosan films, *International Journal of Biological Macromolecules*, 114: 1224-1232 pp.
- Gutierrez-Pacheco, M. M., Gonzalez-Aguilar, G. A., Martinez-Tellez, M. A., Lizardi-Mendoza, J., Madera-Santana, T. J., Bernal-Mercado, A. T., Vazquez-Armenta, F. J., and Ayala-Zavala, J. F.,** 2018, Carvacrol inhibits biofilm formation and production of extracellular polymeric substances of *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*, *Food Control*, 89: 210-218 pp.
- Gül, F.,** 2020, Toplu Beslenme Sistemlerinde Farklı Bir Yaklaşım: Engeller Teknolojisi, *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(2): 385-395 pp.
- Güler, F. D.,** 2022, Trakya Bölgesinde yetişen etno veteriner tıbbi bitkilerin esansiyel yağının hidro distilasyon yöntemiyle elde edilmesi ve kimyasal bileşiminin belirlenmesi; sarı kantaron otu örneği, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi/Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Farmakoloji ve Toksikoloji (Veterinerlik) Ana Bilim Dalı, Yüksek lisans tezi, Tekirdağ, Türkiye.
- Güleryüz, Ö.,** 2022, Su destekli UV-C, sitrik asit ve sıcak su uygulamalarının *Salmonella* Typhimurium üzerine inhibisyon etkisinin araştırılması, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Türkiye.
- Gündüz, G. T., and Göral, B. S.,** 2022, Production of traditional grape pickle using *Lactobacillus acidophilus* and investigation of the inhibitory effect of the product on *Bacillus cereus* and *Escherichia coli*, *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 10(10): 1821-1831 pp.
- Gündüz, G. T., Vurmaz, A. K., and Solak, E.,** 2024, Antifungal efficacy of natural antimicrobial substances during the fermentation and storage of hardaliye, *Food Bioscience*, 59: 104229.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- He, Q., Zhang, L., Yang, Z., Ding, T., Ye, X., Liu, D., and Guo, M.,** 2022, Antibacterial mechanisms of thyme essential oil nanoemulsions against *Escherichia coli* O157: H7 and *Staphylococcus aureus*: Alterations in membrane compositions and characteristics, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 75: 102902.
- Hense, B. A., and Schuster, M.,** 2015, Core principles of bacterial autoinducer systems, *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 79 (1): 153-169 pp.
- Hiller, C. C., Lucca, V., Carvalho, D., Borsoi, A., Borges, K. A., Furian, T. Q., and do Nascimento, V. P.,** 2019, Influence of catecholamines on biofilm formation by *Salmonella* Enteritidis, *Microbial Pathogenesis*, 130: 54-58 pp.
- Hilton, S. T., De Moraes, J. O., and Moraru, C. I.,** 2017, Effect of sublethal temperatures on pulsed light inactivation of bacteria, *Innovative Food science & Emerging Technologies*, 39, 49-54 pp.
- Ilk, S., Sağlam, N., Özgen, M., and Korkusuz, F.,** 2017, Chitosan nanoparticles enhances the anti-quorum sensing activity of kaempferol, *International Journal of Biological Macromolecules*, 94: 653-662 pp.
- Inchagova, K. S., Abdrahmanova, R. A., Duskaev, G. K., and Khisamov, R. R.,** 2021, Quorum sensing suppression of *Chromobacterium violaceum* when exposed to combinations of dry plant extracts, In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 659 (1), 01210.
- Isbilir, S. S., Orak, H. H., Yagar, H., and Ekinci, N.,** 2012, Determination of antioxidant activities of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) flowers and fruits at different ripening stages, *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*, 11(3): 223-237 pp.
- ISO,** 10993–5: 2009, Biological evaluation of medical devices—part 5: tests for *in vitro* cytotoxicity. International Organization for Standardization, Geneva, 34.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Iturralde-García, R. D., Cinco-Moroyoqui, F. J., Martínez-Cruz, O., Ruiz-Cruz, S., Wong-Corral, F. J., Borboa-Flores, J., Cornejo-Ramírez, Y. I., Bernal-Mercado, A. T., and Del-Toro-Sánchez, C. L.,** 2022, Emerging technologies for prolonging fresh-cut fruits' quality and safety during storage, *Horticulturae*, 8(8): 731.
- Iturriaga, M. H., Tamplin, M. L., and Escartin, E. F.,** 2007, Colonization of tomatoes by *Salmonella* Montevideo is affected by relative humidity and storage temperature, *Journal of Food Protection*, 70(1): 30-34 pp.
- Izcara, S., Morante-Zarcero, S., Casado, N., and Sierra, I.,** 2021, Study of the phenolic compound profile of *Arbutus unedo* L. fruits at different ripening stages by HPLC-TQ-MS/MS, *Applied Sciences*, 11(24): 11616.
- Izquier, A., and Gómez-López, V. M.,** 2011, Modeling the pulsed light inactivation of microorganisms naturally occurring on vegetable substrates, *Food Microbiology*, 28(6): 1170-1174 pp.
- Jahid, I. K., Han, N. R., Srey, S., and Ha, S. D.,** 2014, Competitive interactions inside mixed-culture biofilms of *Salmonella* Typhimurium and cultivable indigenous microorganisms on lettuce enhance microbial resistance of their sessile cells to ultraviolet C (UV-C) irradiation. *Food Research International*, 55, 445-454.
- Jajere, S. M.,** 2019, A review of *Salmonella enterica* with particular focus on the pathogenicity and virulence factors, host specificity and antimicrobial resistance including multidrug resistance, *Veterinary World*, 12(4): 504 p.
- Jakobsen, T. H., Bragason, S. K., Phipps, R. K., Christensen, L. D., van Gennip, M., Alhede, M., Skindersoe, N., Larsen, T. O., Hoiby, N., Bjarnsholt, T., and Givskov, M.,** 2012, Food as a source for quorum sensing inhibitors: iberin from horseradish revealed as a quorum sensing inhibitor of *Pseudomonas aeruginosa*, *Applied and Environmental Microbiology*, 78(7): 2410-2421 pp.
- Jakubczyk, A., Kiersnowska, K., Ömeroğlu, B., Gawlik-Dziki, U., Tutaj, K., Rybczyńska-Tkaczyk, K., Szydłowska-Tutaj, M., Zlotek, U., and Baraniak, B.,** 2021, The influence of *Hypericum perforatum* L. addition to wheat cookies on their antioxidant, anti-metabolic syndrome, and antimicrobial properties, *Foods*, 10(6): 1379.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Jaradat, N.A., Zaid, A.N., Abuzant, A., and Shawahna, R., 2016. Investigation the efficiency of various methods of volatile oil extraction from *Trichodesma africanum* and their impact on the antioxidant and antimicrobial activities, *Journal of Intercultural Ethnopharmacology*, 5(3): 250.
- Jarzębski, M., Smulek, W., Baranowska, H. M., Masewicz, Ł., Kobus-Cisowska, J., Ligaj, M., and Kaczorek, E., 2020, Characterization of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) and the impact of filtration process on bioactive extracts incorporated into carbohydrate-based hydrogels, *Food Hydrocolloids*, 104: 105748.
- Jugreet, B. S., Suroowan, S., Rengasamy, R. K., and Mahomoodally, M. F., 2020, Chemistry, bioactivities, mode of action and industrial applications of essential oils, *Trends in Food Science & Technology*, 101: 89-105 pp.
- Jung, D.C., Lee, S.Y., Yoon, J.H., Hong, K.P., Kang, Y.S., Park, S.R., Park, S.K., Ha, S.D., Kim, G.H., and Bae, D. H., 2009, Inhibition of pork and fish oxidation by a novel plastic film coated with horseradish extract, *LWT-Food Science and Technology*, 42 (4): 856-861 pp.
- Jurica, K., Gobin, I., Kremer, D., Čepo, D. V., Grubešić, R. J., Karačonji, I. B., and Kosalec, I., 2017, Arbutin and its metabolite hydroquinone as the main factors in the antimicrobial effect of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) leaves, *Journal of Herbal Medicine*, 8: 17-23 pp.
- Kaavya, R., Pandiselvam, R., Abdullah, S., Sruthi, N. U., Jayanath, Y., Ashokkumar, C., Khanashyam, A. C., Kothakota, A., and Ramesh, S. V., 2021, Emerging non-thermal technologies for decontamination of *Salmonella* in food, *Trends in Food Science & Technology*, 112: 400-418 pp.
- Kachkoul, R., Housseini, T. S., Mohim, M., El Habbani, R., Miyah, Y., and Lahrichi, A., 2019, Chemical compounds as well as antioxidant and litholytic activities of *Arbutus unedo* L. leaves against calcium oxalate stones, *Journal of Integrative Medicine*, 17(6): 430-437 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Kahrman, N., Albay, C. G., Dogan, N., Usta, A., Karaoglu, S. A., and Yayli, N.,** 2010, Volatile constituents and antimicrobial activities from flower and fruit of *Arbutus unedo* L., *Asian Journal of Chemistry*, 22 (8): 6437–6442 pp.
- Kaiser, S. J., Mutters, N. T., Blessing, B., and Günther, F.,** 2017, Natural isothiocyanates express antimicrobial activity against developing and mature biofilms of *Pseudomonas aeruginosa*, *Fitoterapia*, 119: 57-63 pp.
- Kakouri, E., Daferera, D., Trigas, P., Charalambous, D., Pantelidou, M., Tarantilis, P. A., and Kanakis, C. D.,** 2023, Comparative study of the antibacterial activity, total phenolic and total flavonoid content of nine *Hypericum* species grown in Greece, *Applied Sciences*, 13(5): 3305.
- Kaliora, A. C., Kogiannou, D. A., Kefalas, P., Papassideri, I. S., and Kalogeropoulos, N.,** 2014, Phenolic profiles and antioxidant and anticarcinogenic activities of Greek herbal infusions; balancing delight and chemoprevention?, *Food Chemistry*, 142: 233-241 pp.
- Karamanoli, K., and Lindow, S. E.,** 2006, Disruption of N-acyl homoserine lactone-mediated cell signaling and iron acquisition in epiphytic bacteria by leaf surface compounds, *Applied and Environmental Microbiology*, 72(12): 7678-7686 pp.
- Kaur, C., Walia, S., Nagal, S., Walia, S., Singh, J., Singh, B. B., Saha, S., Singh, B., Kalia, P., and Jaggi, S.,** 2013, Functional quality and antioxidant composition of selected tomato (*Solanum lycopersicon* L.) cultivars grown in Northern India, *LWT-Food Science and Technology*, 50(1): 139-145 pp.
- Kaya, B., Zorba, N. N., ve Caner, C.,** 2021, Kitosan bazlı etil pirüvat filmlerin fizikokimyasal, antioksidan, antimikrobiyal ve anti-quorum sensing özelliklerinin belirlenmesi, *Gıda*, 46(6): 1425-1439 pp.
- Keklik, N. M., Demirci, A., Puri, V. M., and Heinemann, P. H.,** 2012, Modeling the inactivation of *Salmonella* Typhimurium, *Listeria monocytogenes*, and *Salmonella* Enteritidis on poultry products exposed to pulsed UV light, *Journal of Food Protection*, 75(2): 281-288 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Khan, I., Tango, C. N., Miskeen, S., Lee, B. H., and Oh, D. H.,** 2017, Hurdle technology: A novel approach for enhanced food quality and safety–A review, *Food Control*, 73: 1426-1444 pp.
- Kim, D. K., and Kang, D. H.,** 2020, Inactivation efficacy of a sixteen UVC LED module to control foodborne pathogens on selective media and sliced deli meat and spinach surfaces, *LWT*, 130: 109422.
- Kim, H. Y., Phan-a-God, S., and Shin, I. S.,** 2015, Antibacterial activities of isothiocyanates extracted from horseradish (*Armoracia rusticana*) root against antibiotic-resistant bacteria, *Food Science and Biotechnology*, 24: 1029-1034 pp.
- Kim, J. U., Shahbaz, H. M., Cho, J., Lee, H., and Park, J.,** 2021, Inactivation of *Bacillus cereus* spores using a combined treatment of UV-TiO₂ photocatalysis and high hydrostatic pressure, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 70: 102676.
- Kim, J. Y., Kim, H. J., Lim, G. O., Jang, S. A., Song, K. B.,** 2010, The effects of aqueous chlorine dioxide or fumaric acid treatment combined with UV-C on postharvest quality of ‘Maehyang’ strawberries, *Postharvest Biology and Technology*, 56 (3): 254-256 pp.
- Kimáková, K., Kimáková, A., Idkowiak, J., Stobiecki, M., Rodziewicz, P., Marczak, Ł., and Čellárová, E.,** 2018, Phenotyping the genus *Hypericum* by secondary metabolite profiling: Emodin vs. skyrin, two possible key intermediates in hypericin biosynthesis, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410: 7689-7699 pp.
- Kisa, O., Oksuz, L., Servi, H., and Aysal, A. I.,** 2023, Antibacterial activity of *Hypericum perforatum* L. (St. John’s wort) extracts against Gram-positive bacteria and characterisation of its secondary metabolites, *Natural Product Research*, 1-8 pp.
- Kloucek, P., Smid, J., Frankova, A., Kokoska, L., Valterova, I., and Pavela, R.,** 2012, Fast screening method for assessment of antimicrobial activity of essential oils in vapor phase, *Food Research International*, 47(2): 161-165 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Koca, N., and Öztürk, M. U.,** 2020, Application of batch system ultraviolet light on the surface of kashar cheese, a kind of pasta-filata cheese: effects on mould inactivation, lipid oxidation, colour, hardness and sensory properties, *Journal of Dairy Research*, 87(4): 493-497 pp.
- Koca, N., Saatli, T. E., ve Urgu, M.** 2018, Gıda sanayisinde ultraviyole ışığın yüzey uygulamaları, *Akademik Gıda*, 16 (1): 88–100 pp.
- Koivunen, J., and Heinonen-Tanski, H.,** 2005, Inactivation of enteric microorganisms with chemical disinfectants, UV irradiation and combined chemical/UV treatments, *Water Research*, 39(8): 1519-1526 pp.
- Koutchma, T.,** 2019, Ultraviolet Light in Food Technology: Principles and Applications. CRC press, 103-123.
- Koutchma, T., and Popović, V.,** 2019, UV light-emitting diodes (LEDs) and food safety. Ultraviolet LED Technology for Food Applications, Academic Press, 91-117.
- Koutchma, T., Forney, L. J., and Moraru, C. I.,** 2009, Ultraviolet Light in Food Technology: Principles and Applications, CRC Press, 1-125.
- Kowalski, W.,** 2010, Ultraviolet germicidal irradiation handbook: UVGI for air and surface disinfection. Springer Science & Business Media.
- Krishnamurthy, K., Demirci, A., and Irudayaraj, J. M.,** 2007, Inactivation of *Staphylococcus aureus* in milk using flow- through pulsed UV- light treatment system, *Journal of Food Science*, 72(7): 233-239 pp.
- Kuhn, D., Ziem, R., Scheibel, T., Buhl, B., Vettorello, G., Pacheco, L. A., Heidrich, D., Kauffmann, C., Freitas, E. M., Ethur, E. M., and Hoehne, L.,** 2019, Antibiofilm activity of the essential oil of *Campomanesia aurea* O. Berg against microorganisms causing food borne diseases, *LWT- Food Science and Technology*, 108: 247-252 pp.
- Kumar, L., Ramakanth, D., Akhila, K., and Gaikwad, K. K.,** 2022, Edible films and coatings for food packaging applications: A review, *Environmental Chemistry Letters*, 20: 875-900 pp.
- Kumar, N.,** 2019, Polysaccharide-based component and their relevance in edible film/coating: A review, *Nutrition and Food Science*, 49(5): 793-823 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Lacivita, V., Conte, A., Manzocco, L., Plazzotta, S., Zambrini, V.A., Del Nobile, M. A., and Nicoli, M. C.,** 2016, Surface UV-C light treatments to prolong the shelf-life of Fiordilatte cheese, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 36: 150-155 pp.
- Lasagabaster, A., and de Marañón, I. M.,** 2014, Survival and growth of *Listeria innocua* treated by pulsed light technology: Impact of post-treatment temperature and illumination conditions, *Food Microbiology*, 41: 76-81 pp.
- Lee, J. S., Ahn, J., and Han, J.,** 2024, Enhancing effect on postharvest quality of potatoes through combined treatment of edible coating with UV-C irradiation, *Food Science and Biotechnology*, 33(6), 1393-1405 pp.
- Lee, T. H., Khan, Z., Kim, S. Y., and Lee, K. R.,** 2019, Thiohydantoin and hydantoin derivatives from the roots of *Armoracia rusticana* and their neurotrophic and anti-neuroinflammatory activities, *Journal of Natural Products*, 82(11): 3020-3024 pp.
- Leichtweis, M. G., Pereira, C., Prieto, M. A., Barreiro, M. F., Baraldi, I. J., Barros, L., and Ferreira, I. C.,** 2019, Ultrasound as a rapid and low-cost extraction procedure to obtain anthocyanin-based colorants from *Prunus spinosa* L. fruit epicarp: Comparative study with conventional heat-based extraction, *Molecules*, 24(3): 573 p.
- Leng, J., Mukhopadhyay, S., Sokorai, K., Ukuku, D. O., Fan, X., Olanya, M., and Juneja, V.,** 2020, Inactivation of *Salmonella* in cherry tomato stem scars and quality preservation by pulsed light treatment and antimicrobial wash, *Food Control*, 110: 107005.
- Li, W., Gong, P., Ma, H., Xie, R., Wei, J., and Xu, M.,** 2022, Ultrasound treatment degrades, changes the color, and improves the antioxidant activity of the anthocyanins in red radish, *LWT*, 165: 113761.
- Li, X., and Kushad, M. M.,** 2004, Correlation of glucosinolate content to myrosinase activity in horseradish (*Armoracia rusticana*), *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(23): 6950-6955 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Li, X., He, C., Song, L., Li, T., Cui, S., Zhang, L., and Jia, Y.,** 2017, Antimicrobial activity and mechanism of Larch bark procyanidins against *Staphylococcus aureus*, *Acta Biochimica et Biophysica Sinica*, 49(12): 1058-1066 pp.
- Li, Y., Li, X., Hao, Y., Liu, Y., Dong, Z., and Li, K.,** 2021, Biological and physiochemical methods of biofilm adhesion resistance control of medical-context surface, *International Journal of Biological Sciences*, 17(7): 1769-1781 pp.
- Liao, N., Chen, X., Tang, M., Tian, P., Liu, C., Ruan, L., Pan, H., Shu, M., Zhong, C., and Wu, G.,** 2024, Grapefruit essential oil combined with UV-C treatment: A technology to improve the microbial safety of fresh produce, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 93: 103639.
- Liao, Y. T., Syamaladevi, R. M., Zhang, H., Killinger, K., and Sablani, S.,** 2017, Inactivation of *Listeria monocytogenes* on frozen red raspberries by using UV-C light, *Journal of Food Protection*, 80(4), 545-550 pp.
- Lim, W., and Harrison, M. A.,** 2016, Effectiveness of UV light as a means to reduce *Salmonella* contamination on tomatoes and food contact surfaces, *Food Control*, 66: 166-173 pp.
- Liu, L. H., Zabararas, D., Bennett, L. E., Aguas, P., and Woonton, B. W.,** 2009, Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage, *Food Chemistry*, 115(2): 495-500 pp.
- Liu, X., Luo, Y., Li, Z., Wang, J., and Wei, G.,** 2017, Role of exopolysaccharide in salt stress resistance and cell motility of *Mesorhizobium alhagi* CCNWXJ12-2T, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 101(7): 2967-2978 pp.
- Liu, Y., Dong, P., Zhu, L., Zhang, Y., and Luo, X.,** 2020, Effect of four kinds of natural antimicrobial compounds on the biofilm formation ability of *Listeria monocytogenes* isolated from beef processing plants in China, *LWT- Food Science and Technology*, 133: 110020.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Liu, Z., Lin, D., Shen, R., Zhang, R., Liu, L., and Yang, X.,** 2021, Konjac glucomannan-based edible films loaded with thyme essential oil: Physical properties and antioxidant-antibacterial activities, *Food Packaging and Shelf Life*, 29: 100700.
- Liyanapathirana, A., Dassanayake, R. S., Gamage, A., Karri, R. R., Manamperi, A., Evon, P., Jayakodi, Y., Madhujith, T., and Merah, O.,** 2023, Recent developments in edible films and coatings for fruits and vegetables, *Coatings*, 13(7): 1177.
- López-Malo, A., and Palou, E.,** 2005, Ultraviolet light and food preservation, *Novel Food Processing Technologies*, 18: 405-421 pp.
- Lu, C., Ding, J., Park, H. K., and Feng, H.,** 2020, High intensity ultrasound as a physical elicitor affects secondary metabolites and antioxidant capacity of tomato fruits, *Food Control*, 113: 107176.
- Lyles, J. T., Kim, A., Nelson, K., Bullard-Roberts, A. L., Hajdari, A., Mustafa, B., and Quave, C. L.,** 2017, The chemical and antibacterial evaluation of St. John's Wort oil macerates used in Kosovar traditional medicine, *Frontiers in Microbiology*, 8: 1639 p.
- Maftoonazad, N., Ramaswamy, H. S., and Marcotte, M.,** 2007, Evaluation of factors affecting barrier, mechanical and optical properties of pectin- based films using response surface methodology. *Journal of Food Process Engineering*, 30(5): 539-563 pp.
- Maharaj, R., Arul, J., and Nadeau, P.,** 1999, Effect of photochemical treatment in the preservation of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Capello) by delaying senescence, *Postharvest Biology and Technology*, 15(1): 13-23 pp.
- Majewska, A., Bałasińska, B., and Dąbrowska, B.,** 2004, Antioxidant properties of leaf and root extract and oil from different types of horseradish (*Armoracia rusticana* Gaertn.), *Folia Horticulturae*, 16 (1): 15-22 pp.
- Maldini, M., D'Urso, G., Pagliuca, G., Petretto, G. L., Foddai, M., Gallo, F. R., Multari, G., Caruso, D., Montoro, P., and Pintore, G.,** 2019, HPTLC-PCA complementary to HRMS-PCA in the case study of *Arbutus unedo* antioxidant phenolic profiling, *Foods*, 8(8): 294.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Maleki, M., Ariaei, P. and Fallah, H.,** 2016, Effects of celery extracts on the oxidative stability of canola oil under thermal condition, *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(3): 531-540 pp.
- Malheiro, R., Sá, O., Pereira, E., Aguiar, C., Baptista, P., and Pereira, J. A.,** 2012, *Arbutus unedo* L. leaves as source of phytochemicals with bioactive properties, *Industrial Crops and Products*, 37 (1): 473-478 pp.
- Manuguerra, S., Caccamo, L., Mancuso, M., Arena, R., Rappazzo, A. C., Genovese, L., Santulli, A., Messina, C. M., and Maricchiolo, G.,** 2020, The antioxidant power of horseradish, *Armoracia rusticana*, underlies antimicrobial and antiradical effects, exerted *in vitro*, *Natural Product Research*, 34(11): 1567-1570 pp.
- Manzocco, L., and Nicoli, M. C.,** 2015, Surface processing: existing and potential applications of ultraviolet light, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55 (4): 469-484 pp.
- Mariotto, S., Esposito, E., Di Paola, R., Ciampa, A., Mazzon, E., de Prati, A. C., Darra, E., Vincenzi, S., Cucinotta, G., Caminiti, R., Suzuki, H., and Cuzzocrea, S.,** 2008, Protective effect of *Arbutus unedo* aqueous extract in carrageenan-induced lung inflammation in mice, *Pharmacological Research*, 57(2): 110-124 pp.
- Markovinović, A. B., Karačonji, I. B., Jurica, K., Lasić, D., Babojelić, M. S., Duralija, B., Žlabur, J. S., Putnik, P., and Kovačević, D. B.,** 2022, Strawberry tree fruits and leaves (*Arbutus unedo* L.) as raw material for sustainable functional food processing: A Review. *Horticulturae*, 8(10): 1-22 pp.
- Martínez-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-C radiation and its subsequent growth in fresh-cut kailan-hybrid broccoli, *Food Microbiology*, 46: 263-271 pp.
- Martínez- Valverde, I., Periago, M. J., Provan, G., and Chesson, A.,** 2002, Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicum esculentum*), *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(3): 323-330 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Maruzani, R., Sutton, G., Nocerino, P., and Marvasi, M.,** 2019, Exopolymeric substances (EPS) from *Salmonella enterica*: polymers, proteins and their interactions with plants and abiotic surfaces. *Journal of Microbiology*, 57, 1-8 pp.
- Masmoudi, M., Ammar, I., Ghribi, H., and Attia, H.,** 2020, Physicochemical, radical scavenging activity and sensory properties of a soft cheese fortified with *Arbutus unedo* L. extract, *Food Bioscience*, 35, 100579.
- Mazandarani, M., Yassaghi, S., Rezaei, M.B., Mansourian, A.R. and Ghaemi, E.O.,** 2007, Ethnobotany and antibacterial activities of two endemic species of *Hypericum* in North-East of Iran, *Asian Journal of Plant Sciences*, 6: 354-358 pp.
- Melo, N. F. C. B., Lima, M. A. B., Stamford, T. L. M., Galembeck, A., Flores, M. A. P., Campos Takaki, G. M., Costa Medeiros, J. A., Stamford-Arnaud, T. M., and Montenegro Stamford, T. C.,** 2020, *In vivo* and *in vitro* antifungal effect of fungal chitosan nanocomposite edible coating against strawberry phytopathogenic fungi, *International Journal of Food Science and Technology*, 55(11): 3381-3391 pp.
- Mendes, L., de Freitas, V., Baptista, P., and Carvalho, M.,** 2011, Comparative antihemolytic and radical scavenging activities of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) leaf and fruit, *Food and Chemical Toxicology*, 49(9): 2285-2291 pp.
- Mendoza, I. C., Luna, E. O., Pozo, M. D., Vásquez, M. V., Montoya, D. C., Moran, G. C., Romeo, L. G., Yopez, X., Salazar, R., Romero-Pena, M., and León, J. C.,** 2022, Conventional and non-conventional disinfection methods to prevent microbial contamination in minimally processed fruits and vegetables, *LWT*, 165: 113714.
- Menezes, J., and Athmaselvi, K. A.,** 2016, Polysaccharide based edible coating on sapota fruit. *International Agrophysics*, 30(4).
- Meriç, Z., Özdemir Nath, E., Doğan, A., and Bitiş, L.,** 2024, Antioxidant, anti-tyrosinase activities and characterization of phenolic compounds for some plants from the Marmara Region, Türkiye, *Journal of Research in Pharmacy*, 28(2): 396-408 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Milosevic, T., Solujic-sukdolak, S., and Sukdolak, S.,** 2007, *In vitro* study of ethanolic extract of *Hypericum perforatum* L. on growth and sporulation of some bacteria and fungi, *Turkish Journal of Biology*: 31 (4): 237-241 pp.
- Miguel, M. G., Faleiro, M. L., Guerreiro, A. C., and Antunes, M. D.,** 2014, *Arbutus unedo* L.: chemical and biological properties, *Molecules*, 19(10): 15799-15823 pp.
- Min, S. C., Roh, S. H., Niemira, B. A., Boyd, G., Sites, J. E., Fan, X., Sokorai, K., and Jin, T. Z.,** 2018, In-package atmospheric cold plasma treatment of bulk grape tomatoes for microbiological safety and preservation, *Food Research International*, 108: 378-386 pp.
- Mir, M. Y., Hamid, S., Kamili, A. N., and Hassan, Q. P.,** 2019, Sneak peek of *Hypericum perforatum* L.: phytochemistry, phytochemical efficacy and biotechnological interventions, *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 28: 357-373 pp.
- Miteluț, A. C., Popa, E. E., Drăghici, M. C., Popescu, P. A., Popa, V. I., Bujor, O.-C., Ion, V. A., and Popa, M. E.,** 2021, Latest developments in edible coatings on minimally processed fruits and vegetables: A review, *Foods*, 10112821. <https://doi.org/10.3390/foods10112821>
- Molina, R. D. I., Campos-Silva, R., Díaz, M. A., Macedo, A. J., Blázquez, M. A., Alberto, M. R., and Arena, M. E.,** 2020, Laurel extracts inhibit Quorum sensing, virulence factors and biofilm of foodborne pathogens, *LWT*, 134, 109899.
- Monfort, S., Gayán, E., Raso, J., Condón, S., and Álvarez, I.,** 2010, Evaluation of pulsed electric fields technology for liquid whole egg pasteurization, *Food Microbiology*, 27(7), 845-852 pp.
- Monteiro, M. L. G., Rosario, D. K., de Carvalho, A. P. A., and Conte-Junior, C. A.,** 2021, Application of UV-C light to improve safety and overall quality of fish: A systematic review and meta-analysis, *Trends in Food Science and Technology*, 116: 279-289 pp.
- Moreira, M. R., Tomadoni, B., Martín-Belloso, O., and Soliva-Fortuny, R.,** 2015, Preservation of fresh-cut apple quality attributes by pulsed light in combination with gellan gum-based prebiotic edible coatings, *LWT-Food Science and Technology*, 64(2), 1130-1137 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Morgado, S., Morgado, M., Plácido, A. I., Roque, F., and Duarte, A. P.,** 2018, *Arbutus unedo* L.: From traditional medicine to potential uses in modern pharmacotherapy, *Journal of Ethnopharmacology*, 225: 90-102 pp.
- Morshedloo, M.R., Ebadi A., Maggi F., Fattahi R., Yazdani D., and Jafari M.,** 2015, Chemical characterization of the essential oil compositions from Iranian populations of *Hypericum perforatum* L., *Industrial Crops and Products*, 76: 565–573 pp.
- Mosalem, H., Maalla, N., Hammad, Y., and Hwije, E.,** 2024, Isolation and Physico-chemical characterization of quercetin from the ethanolic extract of Syrian *Hypericum perforatum* L. plant as antibacterial, *Asian Journal of Advances in Research*, 7(1): 80-90 pp.
- Mukhopadhyay, S., Ukuku, D. O., and Juneja, V. K.,** 2015, Effects of integrated treatment of nonthermal UV-C light and different antimicrobial wash on *Salmonella enterica* on plum tomatoes, *Food Control*, 56: 147-154 pp.
- Mukhopadhyay, S., Ukuku, D. O., Jin, T., Olanya, O. M., and Fan, X.,** 2023, Evaluation of pulsed light treatment for inactivation of *Salmonella* in packaged cherry tomato and impact on background microbiota and quality, *Journal of Food Safety*, 43(3): e13035.
- Mukhopadhyay, S., Ukuku, D. O., Juneja, V., Fan, and X. J. F. C.,** 2014, Effects of UV-C 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 pp.
- Muley, A. B., and Singhal, R. S.,** 2020, Extension of postharvest shelf life of strawberries (*Fragaria ananassa*) using a coating of chitosan-whey protein isolate conjugate, *Food Chemistry*, 329: 127213.
- Nazari, M. R., Abdossi, V., Hargalani, F. Z., and Larijani, K.,** 2022, The effect of nano selenium foliar application on some secondary metabolites of *Hypericum perforatum* L., *Journal of Medicinal Plants*, 21 (81): 67-78 pp.
- Nazlı, O., Baygar, T., Dönmez, Ç. E. D., Dere, Ö., Uysal, A. İ., Aksözek, A., Işık, C., and Aktürk, S.,** 2019, Antimicrobial and antibiofilm activity of polyurethane/*Hypericum perforatum* extract (PHPE) composite, *Bioorganic Chemistry*, 82: 224-228 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Nedorostova, L., Kloucek, P., Kokoska, L., Stolcova, M., and Pulkrabek, J.,** 2009, Antimicrobial properties of selected essential oils in vapour phase against foodborne bacteria, *Food Control*, 20: 157–160 pp.
- Negro, E. J., Sendker, J., Stark, T., Lipowicz, B., and Hensel, A.,** 2022, Phytochemical and functional analysis of horseradish (*Armoracia rusticana*) fermented and non-fermented root extracts, *Fitoterapia*, 162: 105282.
- Nguyen, N. M., Gonda, S., and Vasas, G.,** 2013, A review on the phytochemical composition and potential medicinal uses of horseradish (*Armoracia rusticana*) root, *Food Reviews International*, 29(3): 261-275 pp.
- Nicolau-Lapeña, I., Abadias, M., Bobo, G., Aguiló-Aguayo, I., Lafarga, T., and Viñas, I.,** 2019, Strawberry sanitization by peracetic acid washing and its effect on fruit quality, *Food Microbiology*, 83: 159-166 pp.
- 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
- Nunes, C., Silva, M., Farinha, D., Sales, H., Pontes, R., and Nunes, J.,** 2023, Edible coatings and future trends in active food packaging—fruits’ and traditional sausages’ shelf life increasing, *Foods*, 12(17): 3308.
- Ochoa-Velasco, C. E., Díaz-Lima, M. C., Avila-Sosa, R., Ruiz-Lopez, I. I., Corona Jimenez, E., Hernandez-Carranza, P., Lopez-Malo, A., and Guerrero-Beltran, J. A.,** 2018, Effect of UV-C light on *Lactobacillus rhamnosus*, *Salmonella* Typhimurium, and *Saccharomyces cerevisiae* kinetics in inoculated coconut water: Survival and residual effect, *Journal of Food Engineering*, 223: 255-261 pp.
- Odriozola- Serrano, I., Soliva- Fortuny, R., and Martín- Belloso, O.,** 2008, Antioxidant properties and shelf- life extension of fresh- cut tomatoes stored at different temperatures, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(15): 2606-2614 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Okur, İ., Baltacıoğlu, C., Ağçam, E., Baltacıoğlu, H., and Alpas, H.,** 2019, Evaluation of the effect of different extraction techniques on sour cherry pomace phenolic content and antioxidant activity and determination of phenolic compounds by FTIR and HPLC, *Waste and Biomass Valorization*, 10: 3545-3555 pp.
- Okur, M. E., Ayla, Ş., Yozgatlı, V., Aksu, N. B., Yoltaş, A., Orak, D., Sipahi, H., and Okur, N. Ü.,** 2020, Evaluation of burn wound healing activity of novel fusidic acid loaded microemulsion based gel in male Wistar albino rats, *Saudi Pharmaceutical Journal*, 28(3): 338-348 pp.
- Oliveira, A. I., Pinho, C., Sarmento, B., and Dias, A. C.,** 2016, Neuroprotective activity of *Hypericum perforatum* and its major components, *Frontiers in Plant Science*, 7: 1004.
- Oliveira, I., Baptista, P., Malheiro, R., Casal, S., Bento, A., and Pereira, J. A.,** 2011, Influence of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruit ripening stage on chemical composition and antioxidant activity, *Food Research International*, 44(5): 1401-1407 pp.
- Oliveira, I., Coelho, V., Baltasar, R., Pereira, J. A., and Baptista, P.,** 2009, Scavenging capacity of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) leaves on free radicals, *Food and Chemical Toxicology*, 47(7): 1507-1511 pp.
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., and Martin-Belloso, O.,** 2008, Using polysaccharide-based edible coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon, *LWT-Food Science and Technology*, 41 (10): 1862-1870 pp.
- Onyeaka, H. N., and Nwabor, O. F.,** 2022, Food preservation and safety of natural products. Academic Press: Cambridge, MA, USA, 248 p.
- Orak, H. H., Yagar, H., Isbilir, S. S., Demirci, A. Ş., Gümüş, T., and Ekinci, N.,** 2011, Evaluation of antioxidant and antimicrobial potential of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) leaf, *Food Science and Biotechnology*, 20(5): 1249-1256 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Oral, N. B., Vatansever, L., Aydin, B. D., Sezer, C., Guven, A., Gumez, M., and Kurkcuoglu, M.,** 2010, Effect of oregano essential oil on biofilms formed by *Staphylococci* and *Escherichia coli*, *Kafkas Universitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 16(Suppl A): S23-S29 pp.
- Ortiz-Sola, J., Abadias, I., Colàs-Medà, P., Anguera, M., and Viñas, I.,** 2021, Inactivation of *Salmonella enterica*, *Listeria monocytogenes* and murine norovirus (MNV-1) on fresh, *Postharvest Biology and Technology*, 174, 111447.
- Otoni, C. G., Espitia, P. J., Avena-Bustillos, R. J., and McHugh, T. H.,** 2016, Trends in antimicrobial food packaging systems: Emitting sachets and absorbent pads, *Food Research International*, 83: 60-73 pp.
- Ouatmani, T., Rezig, L., Hadjal, S., Trabelsi, N., Mokhtar, M., Kouadri, L., Mayouf, R., Boulekbache-Makhlouf, L., Madani, K., and Haddadi-Guemghar, H.,** 2024, Box behnken design for ultrasound extraction of phenolics from Algerian *Pistacia lentiscus* L. cake: green approach and bioactivity assessment, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-13 pp.
- Oulahal, N., and Degraeve, P.,** 2022, Phenolic-rich plant extracts with antimicrobial activity: an alternative to food preservatives and biocides?, *Frontiers in Microbiology*, 12: 753518.
- Özbek, M. U., Koç, M., and Hamzaoglu, E.,** 2019, Contributions to the *Hypericum* L. section *Oligostema* (Boiss.) Stef. (Hypericaceae), and *Hypericum turcicum* sp. nov. as a new species from Turkey, *Turkish Journal of Botany*, 43(5): 694-702 pp.
- Özcan, M. M., and Haciseferoğulları, H.,** 2007, The strawberry (*Arbutus unedo* L.) fruits: Chemical composition, physical properties and mineral contents, *Journal of Food Engineering*, 78(3): 1022–1028 pp.
- Özdemir, N., Uzun, F., Gül, L. B., Gül, O., and Çon, A. H.,** 2020, Assessment of phenolic content, antioxidant properties and antimicrobial activity of flower and leaf extracts from some *Hypericum* species affected by wild habitat altitude, *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 35(1): 62-68 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Pal, M., Shimelis, A., Mamo, W., Barot, A. M., Pinto, S. V., and Prajapati, J. P.,** 2017, Hurdle technology: a novel approach for food preservation, *Beverage Food World*, 44(1): 20-23 pp.
- Pallauf, K., Rivas-Gonzalo, J. C., Del Castillo, M. D., Cano, M. P., and de Pascual-Teresa, S.,** 2008, Characterization of the antioxidant composition of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruits, *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(4): 273-281 pp.
- Panthi, V. K., Fairfull-Smith, K. E., and Islam, N.,** 2024, Liposomal drug delivery strategies to eradicate bacterial biofilms: Challenges, recent advances, and future perspectives, *International Journal of Pharmaceutics*, 124046.
- Park, H. W., Choi, K. D., and Shin, I. S.,** 2013, Antimicrobial activity of isothiocyanates (ITCs) extracted from horseradish (*Armoracia rusticana*) root against oral microorganisms, *Biocontrol Science*, 18(3): 163-168 pp.
- Park, M. H., Sangwanangkul, P., and Choi, J. W.,** 2018b, Reduced chilling injury and delayed fruit ripening in tomatoes with modified atmosphere and humidity packaging, *Scientia Horticulturae*, 231: 66-72 pp.
- Park, S. H. and Kang, D. H.,** 2015, Combination treatment of chlorine dioxide gas and aerosolized sanitizer for inactivating foodborne pathogens on spinach leaves and tomatoes, *International Journal of Food Microbiology*, 207: 103-108 pp.
- Park, S. H., Kang, J. W., and Kang, D. H.,** 2018a, Inactivation of foodborne pathogens on fresh produce by combined treatment with UV-C radiation and chlorine dioxide gas, and mechanisms of synergistic inactivation, *Food Control*, 92: 331-340 pp.
- Pavinatto, A., de Almeida Mattos, A. V., Malpass, A. C. G., Okura, M. H., Balogh, D. T., and Sanfelice, R. C.,** 2020, Coating with chitosan-based edible films for mechanical/biological protection of strawberries, *International Journal of Biological Macromolecules*, 151: 1004-1011 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Pekdemir, M.**, 2010, Espiye ve Bulancak ilçelerinde (Giresun) yetişen kocayemişlerin (*Arbutus unedo* L.) fenolik ve pomolojik özellikleri, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Yüksek lisans tezi, Ordu, Türkiye.
- Peng, C., Zhao, S. Q., Zhang, J., Huang, G. Y., Chen, L. Y., and Zhao, F. Y.**, 2014, Chemical composition, antimicrobial property and microencapsulation of Mustard (*Sinapis alba*) seed essential oil by complex coacervation, *Food Chemistry*, 165: 560–568 pp.
- Pérez-Lavalle, L., Valero, A., Cejudo-Gómez, M., and Carrasco, E.**, 2023, Fate and biofilm formation of *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovar Thompson on fresh strawberries stored under refrigeration and room temperatures, *Food Control*, 153: 109906.
- Perin, E. C., da Silva Messias, R., Borowski, J. M., Crizel, R. L., Schott, I. B., Carvalho, I. R., Rombaldi, C. V., and Galli, V.**, 2019, ABA-dependent salt and drought stress improve strawberry fruit quality, *Food Chemistry*, 271: 516-526 pp.
- Perry, J., Arnold, K., Satuchne, C., Koren, O., Kenigswald, G., and Elnekave, E.**, 2024, Accumulation of resistance genes in *Salmonella* Typhimurium transmitted between poultry and dairy farms increases the risk to public health, *Applied and Environmental Microbiology*, e02297-23.
- Petrović, S., Drobac, M., Ušjak, L., Filipović, V., Milenković, M., and Niketić, M.**, 2017, Volatiles of roots of wild-growing and cultivated *Armoracia macrocarpa* and their antimicrobial activity, in comparison to horseradish, *A. rusticana*, *Industrial Crops and Products*, 109: 398-403 pp.
- Pierscianowski, J., Popović, V., Biancaniello, M., Bissonnette, S., Zhu, Y., and Koutchma, T.**, 2021, Continuous-flow UV-C processing of kale juice for the inactivation of *E. coli* and assessment of quality parameters, *Food Research International*, 140, 110085.
- Pinheiro, J., Alegria, C., Abreu, M., Gonçalves, E. M., and Silva, C. L.**, 2015, Use of UV-C postharvest treatment for extending fresh whole tomato (*Solanum lycopersicum*, cv. Zinac) shelf-life, *Journal of Food Science and Technology*, 52: 5066-5074 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Possas, A., Valero, A., García-Gimeno, R. M., Pérez-Rodríguez, F., and de Souza, P. M.,** 2021, Combining UV-C technology and caffeine application to inactivate *Escherichia coli* on chicken breast fillets, *Food Control*, 129: 108206.
- Poubol, J., Kukeeratikul, K., and Jitareerat, P.,** 2010, Ultraviolet-C treatments for spearmint decontamination of *Salmonella* sp. and *Escherichia coli*, In Southeast Asia Symposium on Quality and Safety of Fresh and Fresh-Cut Produce, 875: 263-268 pp.
- Prakash, A., Baskaran, R., Nithyanand, P., and Vadivel, V.,** 2020, Effect of nanoemulsification on the antibacterial and anti-biofilm activities of selected spice essential oils and their major constituents against *Salmonella enterica* Typhimurium, *Journal of Cluster Science*, 31: 1123-1135 pp.
- Premanath, R., James, J. P., Karunasagar, I., Vaňková, E., and Scholtz, V.,** 2022, Tropical plant products as biopreservatives and their application in food safety, *Food Control*, 141: 109185.
- Punchihewage-Don, A. J., Hawkins, J., Adnan, A. M., Hashem, F., and Parveen, S.,** 2022, The outbreaks and prevalence of antimicrobial resistant *Salmonella* in poultry in the United States: An overview, *Heliyon*, 8(11).
- Quecan, B. X., Santos, J. T., Rivera, M. L., Hassimotto, N. M., Almeida, F. A., and Pinto, U. M.,** 2019, Effect of quercetin rich onion extracts on bacterial quorum sensing, *Frontiers in Microbiology*, 10 (867):1-16 pp.
- Radulović, N., Stankov-Jovanović, V., Stojanović, G., Šmelcerović, A., Spiteller, M., and Asakawa, Y.,** 2007, Screening of *in vitro* antimicrobial and antioxidant activity of nine *Hypericum* species from the Balkans, *Food Chemistry*, 103 (1): 15–21 pp.
- Rahima, F., Jamal, A., Abdelali, B., Said, B., and Nadya, W.,** 2019, Ethnobotanical uses and distribution status of *Arbutus* (*Arbutus unedo* L.) in Morocco, *Ethnobotany Research and Applications*, 18: 1-12 pp.
- Rahman, S., Gogoi, J., Dubey, S., and Chowdhury, D.,** 2024, Animal derived biopolymers for food packaging applications: A review, *International Journal of Biological Macromolecules*, 255: 128197.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Rajalingam, N., Choi, S. Y., and Van Haute, S.,** 2024, Ultraviolet-C pretreatment enhances the antimicrobial efficacy of unpeeled carrots against subsequent contamination with *Listeria monocytogenes*, *International Journal of Food Microbiology*, 421: 110800.
- Ramamurthy, T., Ghosh, A., Pazhani, G. P., and Shinoda, S.,** 2014, Current perspectives on viable but non-culturable (VBNC) pathogenic bacteria, *Frontiers in Public Health*, 2: 103.
- Ramesh, M. N.,** 2003, Sterilization of foods. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition), Academic Press, Oxford, 5593-5603 pp.
- Ramos, G. L. P., Esper, L. M. R., and Gonzalez, A. G.,** 2024, A review on the application of UV- C treatment on food and food surfaces: association with food microbiology, predictive microbiology and quantitative microbial risk assessment, *International Journal of Food Science & Technology*, 59(3): 1187-1196 pp.
- RASFF,** 2024, Annual Report, <https://webgate.ec.europa.eu/rasff-window/screen/search> (Erişim tarihi: 12.05.2024)
- Razali, Z., Somasundram, C., Nurulain, S. Z., Kunasekaran, W., and Alias, M. R.,** 2021, Postharvest quality of cherry tomatoes coated with mucilage from dragon fruit and irradiated with UV-C., *Polymers*, 13(17): 2919.
- Rebollo-Hernanz, M., Cañas, S., Taladrid, D., Segovia, Á., Bartolomé, B., Aguilera, Y., and Martín-Cabrejas, M. A.,** 2021, Extraction of phenolic compounds from cocoa shell: Modeling using response surface methodology and artificial neural networks, *Separation and Purification Technology*, 270: 118779.
- Reichel, J., Kehrenberg, C., and Krischek, C.,** 2020, UV-C irradiation of rolled fillets of ham inoculated with *Yersinia enterocolitica* and *Brochothrix thermosphacta*, *Foods*, 9 (5): 552 p.
- Reichling, J., Weseler, A., and Saller, R.,** 2001, A current review of the antimicrobial activity of *Hypericum perforatum* L., *Pharmacopsychiatry*, 34: 116-118 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Ren, J., Zhang, D., Hou, P., and Wu, H., 2020**, Effects of horseradish oil and eight isothiocyanates vapour treatment on postharvest disease control and their efficacy as preservatives of mature green tomato, *The American Phytopathological Society*, 104 (10): 2688- 2695 pp.
- Reza, A., and Chen, L., 2022**, Optimization and modeling of ammonia nitrogen removal from anaerobically digested liquid dairy manure using vacuum thermal stripping process, *Science of The Total Environment*, 851: 158321.
- Richter, A. M., Konrat, K., Osland, A. M., Brook, E., Oastler, C., Vestby, L. K., Gosling, R. J., Nesse, L. L., and Arvand, M., 2023**, Evaluation of biofilm cultivation models for efficacy testing of disinfectants against *Salmonella* Typhimurium Biofilms, *Microorganisms*, 11(3): 761 p.
- Rifna, E. J., Singh, S. K., Chakraborty, S., and Dwivedi, M., 2019**, Effect of thermal and non-thermal techniques for microbial safety in food powder: Recent advances, *Food Research International*, 126: 108654.
- Rodriguez- Garcia, I., Cruz- Valenzuela, M. R., Silva- Espinoza, B. A., Gonzalez- Aguilar, G. A., Moctezuma, E., Gutierrez- Pacheco, M. M., Tapia-Rodriguez, M. R., Ortega-Ramirez, L. A., and Ayala- Zavala, J. F., 2016**, Oregano (*Lippia graveolens*) essential oil added within pectin edible coatings prevents fungal decay and increases the antioxidant capacity of treated tomatoes, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(11): 3772-3778 pp.
- Ruiz-Hernández, K., Ramírez-Rojas, N. Z., Meza-Plaza, E. F., García-Mosqueda, C., Jauregui-Vázquez, D., Rojas-Laguna, R., and Sosa-Morales, M. E., 2021**, UV-C treatments against *Salmonella* Typhimurium ATCC 14028 in inoculated peanuts and almonds, *Food Engineering Reviews*, 13(3): 706-712 pp.
- Ruiz-Rodríguez, B. M., Morales, P., Fernández-Ruiz, V., Sánchez-Mata, M. C., Cámara, M., Díez-Marqués, C., de-Santayana, M. P., Molina, M., and Tardío, J., 2011**, Valorization of wild strawberry-tree fruits (*Arbutus unedo* L.) through nutritional assessment and natural production data, *Food Research International*, 44(5): 1244-1253 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Sabir, F. K., Unal, S., Aydın, S., and Sabir, A.,** 2024, Pre- and postharvest chitosan coatings extend the physicochemical and bioactive qualities of minimally processed ‘Crimson Seedless’ grapes during cold storage, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1-9 pp.
- Saddiqe, Z., Naeem, I., and Maimoona, A.,** 2010, A review of the antibacterial activity of *Hypericum perforatum* L., *Journal of Ethnopharmacology*, 131(3): 511-521 pp.
- Sadekuzzaman, M., Mizan, M. F. R., Kim, H. S., Yang, S., and Ha, S. D.,** 2018, Activity of thyme and tea tree essential oils against selected foodborne pathogens in biofilms on abiotic surfaces, *LWT*, 89: 134-139 pp.
- Safari, Z. S., Ding, P., Nakasha, J. J., and Yusoff, S. F.,** 2021, Controlling *Fusarium oxysporum* tomato fruit rot under tropical condition using both chitosan and vanillin, *Coatings*, 11(3): 367.
- Said, M. B., Daly, I., Nasr, H., and Hassen, A.,** 2013, Monitoring of biofilm production by *Pseudomonas aeruginosa* strains under different conditions of UVC irradiation and phage infection, *Annals of Microbiology*, 63: 433-442 pp.
- Sala, G. D., Teta R., Esposito, G., and Costantino, V.,** 2019, Quorum Sensing: Molecular Mechanism and Biotechnological Application. United Kingdom: Academic Press, 3-24 pp.
- Salcedo, I., Andrade, J. A., Quiroga, J. M., and Nebot, E.,** 2007, Photoreactivation and dark repair in UV-treated microorganisms: effect of temperature. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(5): 1594-1600 pp.
- Salem, I. B., Ouesleti, S., Mabrouk, Y., Landolsi, A., Saidi, M., and Boulilla, A.,** 2018, Exploring the nutraceutical potential and biological activities of *Arbutus unedo* L.(Ericaceae) fruits, *Industrial Crops and Products*, 122: 726-731 pp.
- Salinas-Roca, B., Soliva-Fortuny, R., Welte-Chanes, J., and Martín-Belloso, O.,** 2016, Combined effect of pulsed light, edible coating and malic acid dipping to improve fresh-cut mango safety and quality. *Food Control*, 66, 190-197 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Sampliner, D., and Miller, A.,** 2009, Ethnobotany of horseradish (*Armoracia rusticana*, Brassicaceae) and its wild relatives (*Armoracia* spp.): reproductive biology and local uses in their native ranges, *Economic Botany*, 63: 303-313 pp.
- Sánchez, E., Morales, C. R., Castillo, S., Leos-Rivas, C., García-Becerra, L. and Martínez, D. M. O.,** 2016, Antibacterial and antibiofilm activity of methanolic plant extracts against nosocomial microorganisms, *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine: eCAM*, 2016.
- Sandasi, M., Leonard, C. M., and Viljoen, A. M.,** 2008, The effect of five common essential oil components on *Listeria monocytogenes* biofilms, *Food Control*, 19(11): 1070-1075 pp.
- Sanjust, E., Mocci, G., Zucca, P., and Rescigno, A.,** 2008, Mediterranean shrubs as potential antioxidant sources, *Natural Product Research*, 22(8): 689-708 pp.
- Sanz-Puig, M., Santos-Carvalho, L., Cunha, L. M., Pina-Pérez, M. C., Martinez, A., and Rodrigo, D.,** 2016, Effect of pulsed electric fields (PEF) combined with natural antimicrobial by-products against *S. Typhimurium*, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 37: 322-328 pp.
- Saroglou, V., Marin, P. D., Rancic, A., Veljic, M., and Skaltsa, H.,** 2007, Composition and antimicrobial activity of the essential oil of six *Hypericum* species from Serbia, *Biochemicak Systematics and Ecology*, 35: 146-152 pp.
- Sastry, S. K., Datta, A. K., and Worobo, R. W.,** 2000, Ultraviolet Light, *Journal of Food Science*, 65: 90-92 pp.
- 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, 384-392pp.
- Schiavone, B. I. P., Rosato, A., Marilena, M., Gibbons, S., Bombardelli, E., Verotta, L., and Corbo, F.,** 2013, Biological evaluation of hyperforin and its hydrogenated analogue on bacterial growth and biofilm production, *Journal of Natural Products*, 76(9): 1819-1823 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Senturk, P.T., Müller, K., and Schmid, M., 2018, Alginate-based edible films and coatings for food packaging applications, *Foods*, 17(10): 170 p.
- Serçe, S., Özgen, M., Torun, A. A., and Ercişli, S., 2010, Chemical composition, antioxidant activities and total phenolic content of *Arbutus andrachne* L. (Fam. Ericaceae) (the Greek strawberry tree) fruits from Turkey, *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(6): 619-623 pp.
- Seyrekoglu, F., Temiz, H., Eser, F., and Yildirim, C., 2022, Comparison of the antioxidant activities and major constituents of three *Hypericum* species (*H. perforatum*, *H. scabrum* and *H. organifolium*) from Turkey, *South African Journal of Botany*, 146: 723-727 pp.
- Shafiee, M., Taghavi, T. S., and Babalar, M., 2010, Addition of salicylic acid to nutrient solution combined with postharvest treatments (hot water, salicylic acid, and calcium dipping) improved postharvest fruit quality of strawberry, *Scientia Horticulturae*, 124(1): 40-45 pp.
- Shakil Ar Salan, M., and Imran Hossain, M., 2024, Reducing and Managing Food Waste: Challenges and Way Forward, *Technical Landfills and Waste Management: Volume 2: Municipal Solid Waste Management*: 259-284 pp.
- Sharma, C., Pathak, P., Yadav, S. P., and Gautam, S., 2024, Potential of emerging “all-natural” edible coatings to prevent post-harvest losses of vegetables and fruits for sustainable agriculture, *Progress in Organic Coatings*, 193: 108537.
- Sherif, M. M., Elshikh, H. H., Abdel-Aziz, M. M., Elaasser, M. M., and Yosri, M., 2023, *In Vitro* Antibacterial and Phytochemical Screening of *Hypericum perforatum* Extract as Potential Antimicrobial Agents against Multi- Drug- Resistant (MDR) Strains of Clinical Origin, *BioMed Research International*, 2023(1): 6934398.
- Shin, I. S., Han, J. S., Choi, K. D., Chung, D. H., Choi, G. P., and Ahn, J., 2010, Effect of isothiocyanates from horseradish (*Armoracia rusticana*) on the quality and shelf life of tofu, *Food Control*, 21(8): 1081-1086 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Silva, A. F., Dos Santos, A. R., Trevisan, D. A. C., Ribeiro, A. B., Campanerut-Sá, P. A. Z., Kukolj, C., de Souza, E. M., Cardoso, R. F., Svidzinski, T. I. E., Filho, B. A. A., Junior, M. M., and Mikcha, J. M. G., 2018, Cinnamaldehyde induces changes in the protein profile of *Salmonella* Typhimurium biofilm, *Research in Microbiology*, 169(1): 33-43 pp.
- Silva, B. A., Malva, J. O., and Dias, A. C., 2008, St. John's Wort (*Hypericum perforatum*) extracts and isolated phenolic compounds are effective antioxidants in several *in vitro* models of oxidative stress, *Food Chemistry*, 110(3): 611-619 pp.
- Snoussi, M., Noumi, E., Punchappady-Devasya, R., Trabelsi, N., Kanekar, S., Nazzaro, F., Fratianni, F., Flamini, G., De Feo, V., and Al-Sieni, A., 2018, Antioxidant properties and anti-quorum sensing potential of *Carum copticum* essential oil and phenolics against *Chromobacterium violaceum*, *Journal of Food Science and Technology*, 55 (8): 2824-2832 pp.
- 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 pp.
- Somrani, M., Debbabi, H., and Palop, A., 2022, Antibacterial and antibiofilm activity of essential oil of clove against *Listeria monocytogenes* and *Salmonella enteritidis*, *Food Science and Technology International*, 28(4): 331-339 pp.
- Song, H. J., Choi, D. W., Song, K. B., 2011, Effect of aqueous chlorine dioxide and UV-C treatment on the microbial reduction and color of cherry tomatoes, *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 52: 488-493 pp.
- Srey, S., Park, S. Y., Jahid, I. K., and Ha, S. D., 2014, Reduction effect of the selected chemical and physical treatments to reduce *L. monocytogenes* biofilms formed on lettuce and cabbage, *Food Research International*, 62: 484-491 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Srinivasan, R., Santhakumari, S., Poonguzhali, P., Geetha, M., Dyavaiah, M., and Xiangmin, L.**, 2021, Bacterial biofilm inhibition: A focused review on recent therapeutic strategies for combating the biofilm mediated infections, *Frontiers in Microbiology*, 12, 676458.
- Stamenković, J., Radojković, I., Đorđević, A., Jovanović, O., Petrović, G., and Stojanović, G.**, 2013, Optimization of HPLC method for the isolation of *Hypericum perforatum* L. methanol extract, *Biologica Nyssana*, 4(1-2): 81-5 pp.
- Sualeh, A., Daba, A., Kiflu, S., and Mohammed, A.**, 2016, Effect of storage conditions and packing materials on shelf life of tomato, *Food Science and Quality Management*, 56: 60-67 pp.
- Suhag, R., Kumar, N., Petkoska, A. T., and Upadhyay, A.**, 2020, Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review, *Food Research International*, 136: Article 109582.
- Sun, J., Wang, D., Sun, Z., Liu, F., Du, L., and Wang, D.**, 2021, The combination of ultrasound and chlorogenic acid to inactivate *Staphylococcus aureus* under planktonic, biofilm, and food systems, *Ultrasonics Sonochemistry*, 80, 105801.
- Susamış, M.**, 2019, Sivas bölgesinde yetişen sarı kantaron bitkisinin antimikrobiyal aktivitesinin araştırılması, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sivas, Türkiye.
- Süntar, I., Oyardı, O., Akkol, E. K., and Özçelik, B.**, 2016, Antimicrobial effect of the extracts from *Hypericum perforatum* against oral bacteria and biofilm formation, *Pharmaceutical Biology*, 54(6): 1065-1070 pp.
- Syamaladevi, R. M., Adhikari, A., Lupien, S. L., Dugan, F., Bhunia, K., Dhingra, A., and Sablani, S. S.**, 2015, Ultraviolet-C light inactivation of *Penicillium expansum* on fruit surfaces, *Food Control*, 50: 297-303 pp.
- Syamaladevi, R. M., Lu, X., Sablani, S. S., Insan, S. K., Adhikari, A., Killinger, K., Rosco, B., Dhingra, A., Bandyopadhyay, A., and Annapure, 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 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Tako, M., Kerekes, E.B., Zambrano, C., Kotogan, A., Papp, T., Krisch, J., and Vagvolgyi, C.,** 2020, Plant phenolics and phenolic-enriched extracts as antimicrobial agents against food-contaminating microorganisms, *Antioxidants*, 9 (2): 1-21 pp.
- Takwa, S., Caleja, C., Barreira, J. C., Soković, M., Achour, L., Barros, L., and Ferreira, I. C.,** 2018, *Arbutus unedo* L. and *Ocimum basilicum* L. as sources of natural preservatives for food industry: A case study using loaf bread, *LWT*, 88: 47-55 pp.
- Tamfu, A. N., Kucukaydin, S., Quradha, M. M., Ceylan, O., Ugur, A., and Duru, M. E.,** 2022, Ultrasound-assisted extraction of *Syringa vulgaris* Mill., *Citrus sinensis* L. and *Hypericum perforatum* L.: Phenolic composition, enzyme inhibition and anti-quorum sensing activities, *Chemistry Africa*, 5(2): 237-249 pp.
- Taze, B. H., and Unluturk, S.,** 2018, Effect of postharvest UV-C treatment on the microbial quality of ‘Şalak’apricot, *Scientia Horticulturae*, 233: 370-377 pp.
- Tenuta, M. C., Deguin, B., Loizzo, M. R., Dugay, A., Acquaviva, R., Malfa, G. A., Bonesi, M., Bouzidi, C., and Tundis, R.,** 2020, Contribution of flavonoids and iridoids to the hypoglycaemic, antioxidant, and nitric oxide (NO) inhibitory activities of *Arbutus unedo* L., *Antioxidants*, 9(2): 184.
- Thakur, M., Rai, A. K., Mishra, B. B., and Singh, S. P.,** 2021, Novel insight into valorization of potato peel biomass into type III resistant starch and maltooligosaccharide molecules. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101827.
- Thomas, G. A., Gil, T. P., Müller, C. T., Rogers, H. J., and Berger, C. N.,** 2023, From field to plate: How do bacterial enteric pathogens interact with ready-to-eat fruit and vegetables, causing disease outbreaks?, *Food Microbiology*, 104389.
- Thomas-Popo, E., Mendonca, A., Dickson, J., Shaw, A., Coleman, S., Daraba, A., Jackson-Davis, A., and Woods, F. (2019).** Isoeugenol significantly inactivates *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella enterica*, and *Listeria monocytogenes* in refrigerated tyndallized pineapple juice with added *Yucca schidigera* extract. *Food Control*, 106: 106727.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Thwaites, M., Hall, D., Shinabarger, D., Serio, A. W., Krause, K. M., Marra, A., and Pillar, C.,** 2018, Evaluation of the bactericidal activity of plazomicin and comparators against multidrug-resistant Enterobacteriaceae, *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 62 (8): 1-5 pp.
- Tokatlı, K., and Demirdöven, A.,** 2020, Effects of chitosan edible film coatings on the physicochemical and microbiological qualities of sweet cherry (*Prunus avium* L.), *Scientia Horticulturae*, 259: 108656.
- Tomadoni, B., Moreira, M. D. R., Pereda, M., and Ponce, A. G.,** 2018. Gellan-based coatings incorporated with natural antimicrobials in fresh-cut strawberries: Microbiological and sensory evaluation through refrigerated storage, *LWT*, 97: 384-389 pp.
- Tomsone, L., Kruma, Z., and Lepse, L.,** 2012, Influence of genotype and harvest time on the phenolic content of horseradish (*Armoracia rusticana* L.) roots, *Research For Rural Development*, 124-130 pp.
- Torkzadeh, H., Zodrow, K. R., Bridges, W. C., and Cates, E. L.,** 2021, Quantification and modeling of the response of surface biofilm growth to continuous low intensity UVC irradiation, *Water Research*, 193: 116895.
- Tosun, M. N., Zorba, N. N. D., and Yüceer, Y.,** 2021, The anti-quorum sensing and antitumor activity of *Prunella vulgaris*, *Sambucus nigra*, *Calendula officinalis*: Potential use in food industry: Potential use in food industry. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Acienes*, 10(5): 1-5 pp.
- Townsend, A., Strawn, L. K., Chapman, B. J., and Dunn, L. L.,** 2021, A systematic review of *Listeria* species and *Listeria monocytogenes* prevalence, persistence, and diversity throughout the fresh produce supply chain, *Foods*, 10(6): 1427.
- Tsironi, T., Houhoula, D., and Taoukis, P.,** 2020, Hurdle technology for fish preservation, *Aquaculture and Fisheries*, 5(2): 65-71 pp.
- Türk Gıda Kodeksi,** 2019, Gıda İşinlama Yönetmeliği, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/10/20191003-1.htm> (Erişim tarihi: 10.02.2024).
- Ulusoy, B. H., Yildirim, F. K., and Hecer, C.,** 2018, Edible films and coatings: A good idea from past to future technology, *Journal of Food Technology Research*, 5(1): 28-33 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Vairagar, P. R., Sarkate, A. P., Nirmal, N. P., and Sakhale, B. K.,** 2023, New perspectives and role of phytochemicals in biofilm inhibition, In *Recent Frontiers of Phytochemicals* Elsevier: 413-431 pp.
- Valdés, A., Ramos, M., Beltrán, A., Jiménez, A., and Garrigós, M.,** 2017, State of the art of antimicrobial edible coatings for food packaging application, *Coatings*, 7(4): 56 p.
- Valdivia-Nájara, C. G., Martín-Belloso, O., and Soliva-Fortuny, R.,** 2018, Impact of pulsed light treatments and storage time on the texture quality of fresh-cut tomatoes, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45: 29-35 pp.
- Vazquez-Armenta, F. J., Bernal-Mercado, A. T., Tapia-Rodriguez, M. R., Gonzalez-Aguilar, G. A., Lopez-Zavala, A. A., Martinez-Tellez, M. A., Hernandez-Oñate, M. A., and Ayala-Zavala, J. F.,** 2018, Quercetin reduces adhesion and inhibits biofilm development by *Listeria monocytogenes* by reducing the amount of extracellular proteins, *Food Control*, 90: 266-273 pp.
- Velickova, E., Winkelhausen, E., Kuzmanova, S., Alves, V. D., and Moldão-Martins, M.,** 2013, Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditions, *LWT-Food Science and Technology*, 52(2): 80-92 pp.
- Vuko, E., Dunkić, V., Ruščić, M., Nazlić, M., Mandić, N., Soldo, B., Sprung, M., and Fredotović, Ž.,** 2021, Chemical composition and new biological activities of essential oil and hydrosol of *Hypericum perforatum* L. ssp. veronense (Schrank) H. Lindb. *Plants*, 10(5): 1014 p.
- Vurmaz, A. K., and Gündüz, G. T.,** 2020, Inhibition of mold growth on the surface of dried persimmons using combined treatments of UV-C light and clove oil. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 61, 102336.
- Walters, S. A., and Wahle, E. A.,** 2010, Horseradish production in Illinois, *HortTechnology*, 20(2): 267-276 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Wang, L., Zhang, K., Zhang, K., Zhang, J., Fu, J., Li, J., Wang, G., Qiu, Z., Wang, X., and Li, J.,** 2020, Antibacterial activity of *Cinnamomum camphora* essential oil on *Escherichia coli* during planktonic growth and biofilm formation, *Frontiers in Microbiology*, 11: 561002.
- Wang, W., Chen, W., Zou, M., Lv, R., Wang, D., Hou, F., Feng, H., Ma, X., Zhong, J., Ding, T., Ye, X., and Liu, D.,** 2018, Applications of power ultrasound in oriented modification and degradation of pectin: A review, *Journal of Food Engineering*, 234: 98-107 pp.
- Wani, S. M., Gull, A., Ahad, T., Malik, A. R., Ganaie, T. A., Masoodi, F. A., and Gani, A.,** 2021, Effect of gum Arabic, xanthan and carrageenan coatings containing antimicrobial agent on postharvest quality of strawberry: Assessing the physicochemical, enzyme activity and bioactive properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183: 2100-2108 pp.
- Ward, S. M., Delaquis, P. J., Holley, R. A., and Mazza, G.** 1998, Inhibition of spoilage and pathogenic bacteria on agar and pre-cooked roast beef by volatile horseradish distillates, *Food Research International*, 31 (1): 19–26 pp.
- Weremfo, A., Abassah- Oppong, S., Adulley, F., Dabie, K., and Seidu-Larry, S.,** 2023, Response surface methodology as a tool to optimize the extraction of bioactive compounds from plant sources, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(1): 26-36 pp.
- Wiedenmann, V., Oehlke, K., van der Schaaf, U., Hetzer, B., Greiner, R., and Karbstein, H. P.,** 2018, Impact of the incorporation of solid lipid nanoparticles on β -lactoglobulin gel matrices, *Food Hydrocolloids*, 84: 498-507 pp.
- Xu, L., Du, Y., and Wu, Y.,** 2022, Neglected *Listeria* infection in pregnancy in China: 93 cases, *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, 35(25): 9549-9557.
- Xu, W., and Wu C.,** 2016, The impact of pulsed light on decontamination, quality, and bacterial attachment of fresh raspberries, *Food Microbiology*, 57: 135-143 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Yadav, A., Kumar, N., Upadhyay, A., Sethi, S., and Singh, A.,** 2022, Edible coating as postharvest management strategy for shelf- life extension of fresh tomato (*Solanum lycopersicum* L.): An overview, *Journal of Food Science*, 87(6): 2256-2290 pp.
- Yadollah-Damavandi, S., Chavoshi-Nejad, M., Jangholi, E., Nekouyian, N., Hosseini, S., Seifae, A., Rafiee, S., Karimi, H., Ashkani-Esfahani, S., Parsa, Y., and Mohsenikia, M.,** 2015, Topical *Hypericum perforatum* improves tissue regeneration in full- thickness excisional wounds in diabetic rat model, *Evidence- Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015(1): 245328.
- Yan, R., Liu, Y., Gurtler, J. B., Killinger, K., and Fan, X.,** 2017, Sensitivity of pathogenic and attenuated *E. coli* O157: H7 strains to ultraviolet- C light as assessed by conventional plating methods and ethidium monoazide- PCR. *Journal of Food Safety*, 37(4): e12346.
- Yan, R., Mattheis, J., Gurtler, J., Sites, J., and Fan, X.,** 2014, UV-C inactivation of *Escherichia coli* and dose uniformity on apricot fruit in a commercial setting, *Postharvest Biology and Technology*, 95: 46-49 pp.
- Yaron, S., and Römling, U.,** 2014, Biofilm formation by enteric pathogens and its role in plant colonization and persistence, *Microbial Biotechnology*, 7(6): 496-516 pp.
- 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 pp.
- Yıldız, S., Gürgen, A., Kılıç, C., Tabbouche, S., Kılıç, A. O., and Can, Z.,** 2019, Antioxidant, antimicrobial and anti-quorum sensing activities of *Usnea filipendula* and *Viscum album*, *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 4(4): 613-620 pp.
- Yolmeh, M., and Jafari, S. M.,** 2017, Applications of response surface methodology in the food industry processes, *Food and Bioprocess Technology*, 10(3): 413-433 pp.
- Yu, L., and Shi, H.,** 2021, Recent advances in anti-adhesion mechanism of natural antimicrobial agents on fresh produce, *Current Opinion in Food Science*, 42: 8-14 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Zambrano-Zaragoza, M. L., Quintanar-Guerrero, D., González-Reza, R. M., Cornejo-Villegas, M. A., Leyva-Gómez, G., and Urbán-Morlán, Z.,** 2021, Effects of UV-C and edible nano-coating as a combined strategy to preserve fresh-cut cucumber, *Polymers*, 13(21), 3705.
- Zdunić, G., Godevac, D., Milenković, M., Vučičević, D., Šavikin, K., Menković, N., and Petrović, S.,** 2009, Evaluation of *Hypericum perforatum* oil extracts for an antiinflammatory and gastroprotective activity in rats, *Phytotherapy Research*, 23(11): 1559-1564 pp.
- Zeng, C., Tan, P., and Liu, Z.,** 2020, Effect of exogenous ARA treatment for improving postharvest quality in cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits, *Scientia Horticulturae*, 261: 108959.
- Zhang, H., Pang, X., Seck, H. L., and Zhou, W.,** 2021b, Low-energy X-ray inactivation of *Listeria monocytogenes* in mono-/co-culture biofilms with *Pseudomonas fluorescens* on food contact surfaces. *Food Microbiology*, 100, 103841.
- Zhang, J., Rui, X., Wang, L., Guan, Y., Sun, X. and Dong, M.,** 2014, Polyphenolic extract from *Rosa rugosa* tea inhibits bacterial quorum sensing and biofilm formation, *Food Control*, 42: 125–131 pp.
- Zhang, Y., Kong, J., Xie, Y., Guo, Y., Cheng, Y., Qian, H., and Yao, W.,** 2018, Essential oil components inhibit biofilm formation in *Erwinia carotovora* and *Pseudomonas fluorescens* via anti-quorum sensing activity, *LWT*, 92: 133-139 pp.
- Zhang, Y., Zhang, Y., Liu, L., Zhou, L., and Zhao, Z.,** 2021a, Impacts of antibiotics on biofilm bacterial community and disinfection performance on simulated drinking water supply pipe wall, *Environmental Pollution*, 288: 117736.
- Zhou, L., Zhang, Y., Ge, Y., Zhu, X., and Pan, J.,** 2020, Regulatory mechanisms and promising applications of quorum sensing-inhibiting agents in control of bacterial biofilm formation, *Frontiers in Microbiology*, 11: 589640.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Živković, J., Šavikin, K., Janković, T., Čujić, N., and Menković, N.,** 2018, Optimization of ultrasound-assisted extraction of polyphenolic compounds from pomegranate peel using response surface methodology, *Separation and Purification Technology*, 194: 40-47 pp.
- Zou, Y., Lu, Y., and Wei, D.,** 2004, Antioxidant activity of a flavonoid-rich extract of *Hypericum perforatum* L. *in vitro*, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(16): 5032-5039 pp.



TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince çok değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, akademik ve manevi desteğini hiç esirgemeyen, doktora eğitimimin tamamlanmasında büyük katkısı olan saygıdeğer tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Gülten GÜNDÜZ'e teşekkür ederim. Tez izleme komitesinde yer alan ve her zaman titizlikle değerli katkılarını sunarak bu çalışmayı zenginleştiren saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Duygu KIŞLA ve Prof. Dr. Sevcan ÜNLÜTÜRK'e teşekkür ederim. Savunma jürimde yer alarak çok değerli katkılarını paylaşan Prof. Dr. İlkin ŞENGÜN ve Prof. Dr. Nükhet Nilüfer DEMİREL ZORBA hocalarıma çok teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olan ve desteğini hiçbir zaman unutmayacağım değerli arkadaşım Yük. Müh. Özge AKGÜL ve her zaman varlığını hissettiğim Yük. Müh. Hülya Serpil KAVUŞAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Lisansüstü eğitim hayatım boyunca görev aldığım laboratuvar uygulamalarında birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum Ar. Gr. Ayşegül KIRMIZIGÜL PEKER, Yük. Müh. Özlem BOYACI YÜNCÜ, Yük. Müh. Fatmanur TURGUT UYSAL'a ve bana katkıları için üzerimde emeği geçen tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini her zaman hissettiğim canım aileme; annem Nurcan KORKMAZ ve babam Gürel KORKMAZ'a; beni her zaman destekleyen, varlığıyla hayatımı güzelleştiren çok değerli eşim Kaan VURMAZ'a sonsuz teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, 122 O 048 numaralı TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında gerçekleştirildiği için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na çok teşekkür ederim. Doktora eğitim hayatım süresince, YÖK 100/2000 Doktora Burs Programı (Gıda Üretimi, İşleme ve Teknolojisi) ve TÜBİTAK 2211/A Yurt İçi Genel Doktora Burs Programı kapsamında bursiyer olmaya hak kazandığım için maddi desteklerinden dolayı Yüksek Öğrenim Kurulu ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na çok teşekkür ederim.

09/09/2024

Ayça KORKMAZ VURMAZ

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı: Ayça KORKMAZ VURMAZ

Öğrenim Durumu:

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Gıda Mühendisliği Bölümü	Ege Üniversitesi	2012-2016
Yüksek Lisans	Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı	Ege Üniversitesi	2016-2018
Doktora	Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı	Ege Üniversitesi	2018-devam ediyor

1) Yüksek Lisans Tezi

Kuru Trabzon Hurması (*Diospyros kaki* L.) Yüzeyindeki Küflerin Çeşitli Antimikrobiyal Maddeler ve UV-C Uygulaması ile İnhibisyonu. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova, İzmir, 148 sayfa, Ağustos 2018. Tez Danışmanı: Prof. Dr. Gülten GÜNDÜZ

2) Eserler Listesi

a) Ulusal ve uluslararası dergilerde yayınlanan yayınları;

Korkmaz, A., ve Gündüz, G. T., 2018, Meyve ve sebzelerde UV-C ışık uygulamaları ile küf inhibisyonu. Akademik Gıda, 16(4), 458-469.

Gündüz, G. T., Korkmaz, A., Emenli, İ., and Öztürk, Z., 2019, Assessment of hygienic quality of beverage cans surfaces with and without protective Cover. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(1), 61-67.

Gündüz, G. T., Korkmaz, A., Solak, E., and Sözbir, H. D., 2019, Antimicrobial, antioxidant activities and total phenolic contents of the traditional Turkish beverages produced by using grapes. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(sp1), 119-125.

Gündüz, G. T., Korkmaz, A., Öztürk, Z., and Emenli, I., 2020, Fungal microflora of dried persimmon fruits. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 12(1), 50-56.

Gündüz, G. T., and Korkmaz, A., 2019, UV-C treatment for the inhibition of molds isolated from dried persimmons (*Diospyros kaki* L.) and modelling of UV-C inactivation kinetics. LWT, 115, 108451.

Vurmaz, A. K., and Gündüz, G. T., 2020, Inhibition of mold growth on the surface of dried persimmons using combined treatments of UV-C light and clove oil. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 61, 102336.

Gündüz, G., ve Vurmaz, A. K., 2021, Çoğunluk algılama mekanizmasının inhibisyonunda bitkisel materyallerin kullanımı. Gıda, 46(2), 256-268.

Gündüz, G.T., Vurmaz, A.K., and Akgül, Ö., 2023, The efficacy of ultrasound treatment combined with plant materials on foodborne pathogens, International Food, Agriculture and Veterinary Sciences Congress, 17-19 February 2023, Kars, Türkiye (Tam metin).

Gündüz, G.T., Vurmaz, A.K., and Solak, E., 2024, Antifungal efficacy of natural antimicrobial substances during the fermentation and storage of hardaliye. Food Bioscience, 59, 104229.

b) Ulusal ve uluslararası konferanslardaki bildirileri;

Gündüz, G.T., Korkmaz, A., Emenli, İ., and Öztürk, Z., 2016, Investigation of the hygienic status of beverage cans with and without protective cover. 63rd Scientific Conference with International Participation- Food Science, Engineering and Technology-2016 Book of Abstracts, 9 pp., Plovdiv, Bulgaria, 21-22 October 2016 (Oral Presentation).

Gündüz, G.T., Korkmaz, A., Öztürk, Z., and Emenli, İ., 2017, Determination of fungal microflora of dried persimmon fruits sold in Izmir markets. International Conference on Agriculture Forest Food Sciences and Technologies, Book of Abstracts, 1270 pp., Cappadocia, Turkey, (Oral Presentation).

Korkmaz, A., and Gündüz, G.T., 2018, Antifungal activities of clove oil against mold isolates. International Conference on Agriculture Forest Food Sciences and Technologies, Book of Abstracts, 513pp, Cesme-Izmir, Turkey (Oral Presentation).

Korkmaz, A., and Gündüz, G.T., 2018, Antimicrobial activities of quince and persimmon leaf extracts, FoodMicro Conference, Book of Abstracts, 340pp, Berlin, Germany (Poster Presentation).

Korkmaz, A., ve Gündüz, G.T., 2018, Kuru Trabzon hurmasından izole edilen küfler üzerine UV-C ışığın etkisinin belirlenmesi, 6. Gıda Güvenliği Kongresi, İstanbul, Türkiye (Sözlü sunum).

Gündüz, G. T., Korkmaz, A., Solak, E., and Sözbir, H. D., 2019, Antimicrobial activities of the traditional Turkish beverages produced by using grapes, 4. Uluslararası Anadolu Tarım, Gıda, Çevre ve Biyoloji Kongresi, Afyon, Türkiye (Sözlü sunum).

Gündüz, G. T., Korkmaz, A., Kışla, D., Koca, N., Öztürk, M. U., and Ünlütürk, S., 2019, The efficacy of continuous system ultraviolet light treatment on the inhibition of molds inoculated to surfaces of yoghurt with surface cream, International Conference on Advanced Production and Processing, Novi Sad, Serbia (Oral Presentation).

Vurmaz, A. K., ve Gündüz, G. T., 2020, Mikrobiyel gelişimin inhibisyonunda quorum sensing inhibitörlerinin kullanımı, Türkiye 13. Gıda Kongresi, Çanakkale, Türkiye (Sözlü sunum).

Vurmaz, A.K., and Gündüz, A.K., 2021, Comparative studies on the antimicrobial and antioxidant activities of aqueous and methanolic extracts of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) and St John's wort (*Hypericum perforatum* L.) flowers, 7th International Symposium on Strategies for Sustainability in Food Production, Agriculture and the Environment, Niigata, Japonya (Sözlü sunum).

Gündüz, G.T., and Vurmaz, A. K., 2021, Determination of antimicrobial and anti-quorum sensing activities of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) and St. John's Wort (*Hypericum perforatum* L.) plant materials, 3rd International Conference On Food, Agriculture And Veterinary, İzmir, Türkiye (Sözlü sunum).

Gündüz, G.T., Vurmaz, A.K., and Akgül, Ö., 2023, The efficacy of ultrasound treatment combined with plant materials on foodborne pathogens, International Food, Agriculture and Veterinary Sciences Congress, 17-19 February 2023, Kars, Türkiye, (Sözlü sunum).

3) Projelerde Yaptığı Görevler

TUBITAK Tarafından Desteklenen Projeler:

-1170294, Kaymak ve Kaymaklı Yoğurt Yüzeylerine Sürekli Sistemde UV Işık Uygulamasının İşlem Sonrasında ve Depolama Sürecinde Küf Sayısı ve Ürün Kalitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi, BİDEB Burslusu, Sonuçlandı, TOVAG - Tarım, Ormancılık ve Veterinerlik Araştırma Destek Grubu, 1001 - Araştırma, ARDEB, Projeye Katılma ve Ayrılma Tarihleri: 04.10.2018–15.01.2020. Proje Başlangıç/Bitiş Tarihleri: 15.11.2017 - 15.01.2020.

-122O048, UV-C Işık ve Bazı Bitkisel Materyal Ekstraktları ile Esansiyel Yağlarının *in vitro* Koşullar ve Model Gıda Sistemlerinde Antimikrobiyal, Antibiyofilm ve Antiquorum Sensing Aktivitelerinin Araştırılması ve UV-C Uygulamalarının Bitkisel Materyaller ile Kombine Olarak Kullanımının Yanıt Yüzey Metodolojisi ile Optimizasyonu, ARDEB Burslusu, Yürürlükte, TOVAG - Tarım, Ormancılık Ve Veterinerlik Araştırma Destek Grubu, 1001 - Araştırma, ARDEB, Projeye Katılma/Ayrılma Tarihleri: 01.06.2022 - Devam ediyor, Proje Başlangıç/Bitiş Tarihleri: 15.05.2022 - 15.11.2024.

Üniversite Bilimsel Araştırma Projeleri Birimince (BAP) Desteklenen Projeler:

-17MUH024, Kuru Trabzon Hurması (*Diospyros kaki* L.) Yüzeyindeki Küflerin Çeşitli Antimikrobiyal Maddeler ve UV-C Uygulaması ile İnhibisyonu, Yüksek Lisans Tez Projesi, 2017-2018.

4) Kazandığı Burslar

YÖK'ten alınan burslar

- 100/2000 YÖK Doktora Bursu, Gıda Üretimi, İşleme ve Teknolojisi, 2018-2022.

TÜBİTAK'tan alınan burslar

- TÜBİTAK 2211-A Genel Yurt İçi Doktora Burs Programı, 2019-2023.

EKLER

EK 1 Duyusal Test Formu

Duyusal Test Formu						
Lütfen size sunulan örneği aşağıda belirtilen puanlama skalasını kullanarak renk, koku ve görünüş açısından değerlendiriniz.						
Panelistin Adı Soyadı:					Tarih:	
Kalite Kriterleri	Ürün kodları					
	123	213	312	489	894	948
Renk						
Koku						
Görünüş						
Değerlendirme 1-7 skalası ile oluşturulmuştur. 1: hiç beğenmedim, 2: beğenmedim, 3: biraz beğenmedim, 4: ne beğendim-ne beğenmedim,5: biraz beğendim,6: beğendim,7: çok beğendim						