



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜLERİ  
ORTAK YÜKSEK LİSANS PROGRAMI



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet Onur ORAL**

**SOĞAN SUYUNUN SÜREKLİ SİSTEM UV-C  
REAKTÖRDE PASTÖRİZASYONU**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**OSMANİYE – 2018**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜLERİ  
ORTAK YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**SOĞAN SUYUNUN SÜREKLİ SİSTEM UV-C  
REAKTÖRDE PASTÖRİZASYONU**

**Mehmet Onur ORAL**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ  
ANA BİLİM DALI**

**OSMANİYE  
MART – 2018**

## TEZ ONAYI

### SOĞAN SUYUNUN SÜREKLİ SİSTEM UV-C REAKTÖRDE PASTÖRİZASYONU

Mehmet Onur ORAL tarafından Yrd. Doç. Dr. Hande DEMİR danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Gıda Mühendisliği** Ana Bilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Hande DEMİR .....  
Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, OKÜ

**Üye:** Prof. Dr. Kenan Sinan DAYISOYLU .....  
Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, KSÜ, Müh. ve Mim. Fak.

**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Pınar KADİROĞLU .....  
Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Adana BTÜ, Müh. Fak.

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... tarih ve ..... /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Coşkun ÖZALP .....  
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu Çalışma O.K.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.

BAP Proje No: OKÜBAP-2017-PT3-001

*Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.*

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Mehmet Onur ORAL



## ÖZET

### SOĞAN SUYUNUN SÜREKLİ SİSTEM UV-C REAKTÖRDE PASTÖRİZASYONU

Mehmet Onur ORAL  
Yüksek Lisans, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hande DEMİR

Mart 2018, 72 sayfa

Bu çalışmanın amacı; soğan (*Allium cepa* L.) suyunun tasarlanmış olan sürekli sistem sarmal tip ultraviyole (UV-C) reaktöründe pastörize edilmesidir. Sistem dört adet dikey düşük basınç cıvalı lambanın (20 W/lamba, 254 nm) etrafında sarmal şekilde yer alan teflon tüpten oluşmuştur. Sarmal tüpün etrafında ise reflektör ve soğutucu ceket bulunmaktadır. Tasarımda; Dean sayısının 0,073'te tutulması ile ikincil edi akış etkisi sağlanmıştır. Soğan suyuna inokule edilmiş olan *Escherichia coli* K-12'nin (*E. coli* O157:H7'nin vekil suşu) seviyesi, 1,26 L/dak akış hızında, 8,13 dakika, toplam 38,1 J/mL UV dozuna maruz kaldığında 4,83 log'luk bir azalma sağlanmıştır. Bu işlem sonucunda soğan suyunda hafifçe fark edilebilir nitelikte, 1,15'lik bir toplam renk değişimi olmuştur. Ayrıca, UV-C işlem görmüş olan örneklerin 6 haftalık depolama sonucunda toplam aerobik mezofilik sayısı kabul edilebilir sınırlarda kalmıştır. UV-C işlem görmüş soğan suyunda marine edilmiş olan etlerin sertliğinde ise %78'lik bir düşüş saptanmıştır. UV-C uygulaması (15,24 J/mL), ılımlı ısı işlem (55 °C) ile kombine edildiğinde *E. coli* K-12 sayısında 5log'dan fazla azalma gerçekleşmiştir. Bu çalışma; tasarlanmış olan UV-C reaktörün, pastörize soğan suyu üretiminde, tüketicinin tazeye yakın ürün talebini karşılayabileceğini göstermiştir. Ayrıca elde edilen bulgular, pilot ölçekte bir UV-C reaktör tasarımına temel teşkil edecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Soğan suyu, UV-C reaktör, pastörizasyon, kombinasyon.

## ABSTRACT

### PASTEURIZATION OF ONION JUICE BY CONTINUOUS UV-C REACTOR

Mehmet Onur ORAL  
M.Sc., Department of Food Engineering  
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hande DEMİR

March 2018, 72 pages

The objective of this study is to investigate the continuous pasteurization of onion (*Allium cepa* L.) juice by ultraviolet (UV-C) irradiation by a designed coiled-tube type UV-C reactor. System is composed of four vertical low-pressure mercury lamps (20 W/lamp, 254 nm) coiled using a teflon tube. A reflector and a cooling jacket were placed outside the coiled tube. A secondary eddy flow effect was achieved with a Dean number of 0.073. The population of *Escherichia coli* K-12 strain (a surrogate of *E. coli* O157:H7) inoculated in onion juice was reduced by 4.83 log after being exposed to UV-C light for 8.13 min at an estimated UV-C dosage of 38.1 J/mL with the flow rate of 1.26 L/min. As a result of this UV-C treatment, the total color change ( $\Delta E$ ) of the onion juice was recorded as 1.15 which can be referred as slightly noticeable. Total aerobic mesophilic bacteria count of UV-C irradiated samples was below acceptable limits after 6 weeks of storage. Meat marination in UV-C treated onion juice reduced the hardness of meat by 78%. Combination of UV-C treatment (15.24 J/mL) with mild heat treatment (55 °C) resulted in more than 5log reduction in *E. coli* K-12. This study revealed that the designed coiled-type UV-C reactor was able to meet demand of consumers of fresh-like and pasteurized onion juice. This study provides some important findings which will form a basis for the further pilot-scale UV-C reactor design.

**Key Words:** Onion juice, UV-C reactor, pasteurization, combination.



*Aileme...*

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez alanımın ve konunun belirlenerek, çalışmamın yürütülmesine yardımcı olan ve çalışma sürecim boyunca bilgi ve tecrübeleriyle yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Hande DEMİR'e sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek Lisans tezime değerli katkılarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Kenan Sinan DAYISOYLU ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Pınar KADİROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Tezime konu olan reaktör sisteminin çalıştırılmasında ve kurulmasında yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Hasan DEMİR hocama sonsuz teşekkür ederim. Tez çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen aileme, İsmail BECERİKLİ ve Ayşe KILINÇ'a ayrıca sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi BAP (OKÜBAP-2017-PT3-001) birimi tarafından desteklenmiştir. Adı geçen kuruma teşekkür ederiz.



# İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
İTHAF SAYFASI .....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	22
3.1 Materyal .....	22
3.1.1 Soğan.....	22
3.1.2 Mikroorganizma .....	22
3.1.3 Kullanılan Besiyerleri ve Kimyasal Malzemeler.....	22
3.2 Yöntem.....	22
3.2.1 Soğan Suyu Üretimi .....	22
3.2.2 Soğan Suyunun Fizikokimyasal Özelliklerinin Karakterizasyonu .....	23
3.2.3 Mikrobiyolojik Analizler.....	24
3.2.4 Sürekli Sistem UV-C Reaktörün Özellikleri .....	25
3.2.5 Akış Özelliklerinin ve Doz Değerinin Belirlenmesi.....	28
3.2.6 Mikrobiyel İnaktivasyon Eğrisinin Belirlenmesi .....	29
3.2.7 Raf Ömrü Takibi .....	29
3.2.8 Tekstürel Profil Analizi .....	30
3.2.9 Sürekli Sistem UV-C Reaktör ile Isıl İşlemin Kombinasyonu .....	30
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	32
4.1 Sürekli Sistem UV-C Reaktör .....	32
4.2 Akış Hızının <i>E. coli</i> K-12 İnaktivasyonu Üzerine Etkisi .....	35
4.3 Akış Hızının Toplam Renk Değişimi Üzerine Etkisi .....	36
4.4 Optimum Akış Hızında <i>E. coli</i> K-12 İnaktivasyon Kinetiği .....	37
4.5 Raf Ömrü Takibi .....	38
4.6 Tekstür Profil Analizinin Belirlenmesi .....	46
4.7 Sürekli Sistem UV-C Reaktör ile Isıl İşlemin Kombinasyonu .....	48

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	50
KAYNAKLAR .....	51
ÖZGEÇMİŞ .....	57



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Ultraviyole Işık Karakteri .....	8
Çizelge 2.2 UV-C ışınlama ve geleneksel ısı işlemin kombin edildiği çalışmalar ...	18
Çizelge 3.1 Toplam renk değeri skalası .....	23
Çizelge 3.2 UV-C reaktör sisteminin özellikleri.....	28
Çizelge 4.1 Akış hızına göre 1500 mL soğan suyunun sistemden geçiş süreleri .....	32
Çizelge 4.2 Tasarlanan sürekli sistem UV-C reaktörün ve akışın özellikleri .....	34
Çizelge 4.3 Marine edilmemiş ve reaktörde UV-C ile ışınlanmış soğan suyunda marine edilmiş etlerin tekstürel profil analiz sonuçları .....	47



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Elektromanyetik spektrum).....	7
Şekil 3.1 Sürekli sistem UV-C reaktörü ve bileşenleri .....	27
Şekil 3.2 Sürekli sistem UV-C reaktör ile ısıl işlemin kombinasyonu .....	31
Şekil 4.1 Çeşitli akış hızlarında <i>E. coli</i> K-12 sayısında log azalma.....	36
Şekil 4.2 Çeşitli akış hızlarında toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) .....	37
Şekil 4.3 <i>E. coli</i> K-12'nin soğan suyunda sürekli sistem UV-C reaktör ile inaktivasyon eğrisi.....	38
Şekil 4.4 İşlem görmemiş soğan suyu (kontrol) ve UV-C ile işlem görmüş soğan suyunda depolama süresi boyunca (a) toplam aerobik canlı sayısı (TACS) ve (b) toplam küf ve maya sayısı (TKMS) değişimi.....	40
Şekil 4.5 İşlem görmemiş (kontrol) ve UV-C ile işlem görmüş soğan suyunda depolama süresi boyunca (a) toplam renk değişimi, (b) parlaklık ve (c) kırmızılık değişimi .....	42
Şekil 4.6 İşlem görmemiş soğan suyu ve UV-C ile işlem görmüş soğan suyunda depolama süresi boyunca a) pH değişimi ve b) toplam titrasyon asitliği değişimi .....	44
Şekil 4.7 İşlem görmemiş soğan suyu ve UV-C ile işlem görmüş soğan suyunda depolama süresi boyunca a) suda çözünen toplam katı madde miktarı ve b) bulanıklık değişimi.....	45
Şekil 4.8 İşlem görmemiş soğan suyu ve UV-C ile işlem görmüş soğan suyunda depolama süresi boyunca a) enzimatik olmayan esmerleşme indeksi ve b) toplam fenolik madde değişimi.....	46
Şekil 4.9 Soğan suyuna uygulanan çeşitli işlemler sonrası hedef mikroorganizmada logaritmik azalma.....	49

## SİMGELER ve KISALTMALAR

a*	Kırmızılık, Yeşillik	
A <sub>e</sub>	Absorbans Katsayısı	(cm <sup>-1</sup> )
ANOVA	Tek-Yönlü Varyans Analizi	
b*	Sarılık, mavilik	
D	Tüp Çapı	(cm)
D <sub>c</sub>	Sarmalın Çapı	(cm)
D <sub>e</sub>	Dean Sayısı	
E	1 mL 0,1 N NaOH'ın eşdeğer miktarı	
F	Titrasyon Faktörü	
FAOSTAT	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Organizasyonu İstatistik Veritabanı (Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Database)	
FDA	Amerikan Gıda ve İlaç dairesi (Food and Drug Administration)	
GPM	Dakikada Geçen Galon Miktarını İfade eder. 1 gpm = 0,2271 m <sup>3</sup> /h	
HHP	Yüksek Hidrostatik Basınç	
I <sub>o</sub>	UV Işık Yoğunluğu (intensitesi)	(mW/cm <sup>2</sup> )
I <sub>ort</sub>	Ortalama UV Işık Yoğunluğu (intensitesi)	(mW/cm <sup>2</sup> )
kob	Koloni Oluşturan Birim	
L	Sıvı Derinliği	(cm)
L*	Aydınlık	
M	Titre Edilen Örneğin Gerçek Miktarı	
NB	Nutrient Broth	
NEBI	Enzimatik Olmayan Esmerleşme İndeksi (Non-Enzymatic Browning Index)	
N <sub>Re</sub>	Reynolds Sayısı	
NTU	Nefelometrik Bulanıklık Birimi (Nephelometric Turbidity Unit)	
P	P-değeri	

PCA	Plate Count Agar	
PDA	Potato Dextrose Agar	
PEF	Vurgulu elektrik alan	
PTFE	Politetrafloroetilen (Teflon)	
RMSE	Karesel Ortalama Hata (Root Mean Squad Error)	
SSA	Susuz Sitrik Asit	
t	Döngü Süresi	(s) veya (dak)
TACS	Toplam Aerobik Canlı Sayısı	
TKMS	Toplam Küf ve Maya Sayısı	
TPA	Tekstürel Profil Analizi	
TPC	Total Phenolics Content (toplam fenolik madde)	
TSA	Tryptic Soy Agar	
TSB	Tryptic Soy Broth	
UV-C	Ultraviyole C bandı	
V	Harcanan 0,1 N NaOH miktarı	
$\Delta E$	Örneklerin Toplam Renk Değeri Farklılığı	
$\rho$	Akışkanın Yoğunluğu	(kg/m <sup>3</sup> )
$\mu$	Akışkanın Viskozitesi	(Pa.s)
v	Akışkanın Ortalama hızı	(m/s)

## 1. GİRİŞ

Yapılan incelemelerde sektörde soğan (*Allium cepa* L.) kullanılarak yapılan endüstriyel üretim sonucunda ortaya çıkan soğan suyunun tekrar değerlendirilmesi ihtiyacı olduğu belirlenmiştir. Bu durumdan dolayı atık olarak belirlenen soğan suyunun pastörize edilerek yeni bir ürün olarak endüstriye kazandırılması amaçlanmıştır. Bazı ülkelerde soğan suyunun ambalajlanarak tüketicilere ürün olarak sunulduğu bilinmektedir. Yapılan literatür taraması sonucunda soğan bitkisinden üretilen soğan suyunun UV-C reaktör ile pastörizasyonu ya da bu işlemin geleneksel ısıl işlem ile kombine edilmesiyle ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Termal olmayan teknolojiler arasında son birkaç yıldır UV ışınlama geleceği en parlak olandır, çünkü çoğu mikroorganizma için öldürücüdür ve kullanımı kolaydır (Bintsis, vd., 2000). Ultraviyole ışınlama uzun yıllardır ilaç, elektronik, su ürünleri yetiştiriciliğinde ve akçaağaç şekeri endüstrisi ve daha çok son dönemlerde gıda ve içecek endüstrisinde çok sayıda mikroorganizmayı inaktive etmek için kullanılmaktadır (Guerrero-Beltran ve Barbosa-Canovas, 2004).

Gıdalardaki zararlı mikroorganizmaların enfeksiyon etkilerinin inaktivasyonunda ultraviyole ışın uygulaması kabul edilebilir bir metottur (Tran ve Farid, 2004). Ultraviyole ışın uygulanacak olan sıvı gıdanın optik ve fiziksel özellikleri, UV ışın etkisini maksimum seviyede alabilecek özelliklere sahip olmalıdır. Sıvı gıdalarda UV ışınlama uygulanması hala kısıtlı olmasına rağmen, hava, su ve yüzeyde var olan kontaminasyonlara başarı ile ultraviyole uygulaması yapılır. Su ile karşılaştırıldığında sıvı gıdaların optik aralığı ve fiziksel özellikleri, kimyasal kompozisyonları, UV ışığın etkisi, doz transferi, etki derinliği mikrobiyal inaktiviteyi haliyle etkiler (Koutchma, 2009a).

Bunun yanında gıdaya uygulanan UV ışın dalga boyunun gıda için uygun olması ve hedeflenen kontaminantı da etkilemesi temel amaçlar arasındadır. Gıda işlemlerinde UV ışın dalga boyu aralığı 100-400 nm arasındadır. Bu dalga boyu aralıkları içerisinde şu şekilde bölünmüştür; UV-A (315 – 400 nm); insan vücuduna zararı olmayan, normal sayılan, UV-B (280 – 315 nm); cilt yanmasına ve deri kanserine neden olan,

UV-C (200 – 280 nm); bakteri ve virüsleri inaktive edici aralıktır. Vakum UV aralığı (100 – 200 nm); sadece vakum ile etki edilebilir böylelikle neredeyse bütün maddeler absorbe edilebilir (Koutchma, 2009a).

Gıdaların yüzey sanitasyonu işleminde UV-C ışın kullanım aralığı Amerika Birleşik Devletleri'nde 240 – 260 nm olarak onaylanmıştır. UV-C ışınları bazı mikroorganizmaların nükleik asitlerine çarparak onlara zarar verici etkide bulunur. Diğer yandan UV-C, oksidatif değişiklikleri katalizleyerek renk değişimlerine neden olabilir, bazı bileşiklerin konsantrasyonlarına etki edebilir (Jay, 1996).

Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi, meyve ve sebze kaynaklı gıda üretiminde UV-C ile pastörizasyonun inaktivasyon limitini  $5\log_{10}$  olarak belirlemiştir. UV uygulaması ile aerobik canlı sayısı, maya-küf, *Saccharomyces cerevisiae*, *Escherichia coli*, *Listeria innocua*, *Lactobacillus brevis* gibi örnek mikroorganizmaların inaktive edildiği yapılan çalışmalarla tespit edilmiştir (Koutchma vd., 2004).

UV ışın duyarlılığı mikroorganizmaların çeşidine göre değişir. Genel olarak, Gram-negatif bakteriler, Gram-pozitif bakteriler, küf, maya, bakteri sporları ve virüslerden daha hassastır (Sastry vd., 2000; Shama, 1992). Bu varyasyonlar, hücrelerin zarlarının UV penetrasyonuna etkisi, hücrenin boyutu ve bulanıklığı ile açıklanabilir. DNA sarmal bileşimi ve boyutu aynı zamanda UV radyasyonuna karşı mikrobik duyarlılığın yanı sıra DNA onarım kabiliyetini de belirlemektedir (Tran ve Farid, 2004).

DNA hasarıyla baş edebilmek için, mikroorganizmalar fototamir, fotoreaktivasyon ve ışıktan bağımsız veya karanlık tamir sistemi gibi farklı DNA tamir mekanizmaları geliştirmiştir. Fototamir yeteneği DNA lezyonları fotoliaz enzimlerinin görünür ışığı kullanarak yeniden oluşturulması, suyun UV ile dezenfeksiyonundaki önemi nedeniyle en çok araştırılan konudur. Ayrıca, UV ışınlama yoluyla mikrobiyal inaktivasyon hakkında yayınlanan verileri karşılaştırmak zordur, çünkü UV ekipmanının konformasyonu ve geometrisi, akış modeli ve sıvıdaki optik bileşikler UV'nin ölümcül etkisinde önemli rol oynar (Müller vd., 2014).



Işık radyasyonunun fotokimyasal bir işlemde değişikliğe yol açması için absorbe edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle kullanılacak ışık türü ve kaynağı, reaktantların spektrum absorpsiyonlarına göre belirlenir. Bileşikler üzerinde yapılan radyasyon etkisi çalışmalarında, spesifik absorpsiyon spektrumunun farklı dalga boyları arasında olduğu bilinmektedir. Tanınmış bileşiklerin konsantrasyonunda farklı dalga boyları ile bu spektrum solüsyonun belirlenmesinde ışık tutabilir ve sonuç absorbansı belirlenebilir. Bu absorpsiyon spektrumu optimum dalga boyu çalışma bölgesini belirlemede genellikle maksimum absorbans zirvesini gösterir (Falguera, 2011).

UV uygulamalarının mikrobiyel inaktivasyona etki eden en önemli faktörleri şunlardır; ekipman tasarımı, uygulama parametreleri, ortamın fizikokimyasal karakteristiği ve mikroorganizma tipi (Koutchma, 2009b). UV-C uygulamalarının inaktivasyon oranı doza bağlıdır ve sürekli akış uygulamalarında akış miktarı kontrol edilebilir olmalıdır (Guerezo-Beltran & Barbosa-Canovas, 2004). Akış modeli; UV-C uygulamalarının etkinliğini kuvvetli bir şekilde etkilerken (Koutchma vd., 2004), akış hızı; kullanılan boru çapı ve ortamın fiziksel özellikleri tarafından belirlenir (Donahue vd., 2004).

İlk tasarım yaklaşımı olan ışık işleme ekipmanı olarak 1998 yılında geliştirilen CiderSure reaktörü, sıvı gıdalar için ince film akışı kullanmıştır (FPE Inc., Macedon, NY). İlk yaklaşım olan Taylor-Couette akışlı UV reaktörü, Forney ve Pierson tarafından 2003 yılında kurulmuştur. İkinci tasarım yaklaşımı ise UV reaktörde türbülans akışı arttırmak üzerine odaklanmıştır. İkinci tasarım yaklaşımına Aquionics UV reaktör (Hanovia Ltd., Slough, İngiltere), SurePure (SurePure Inc., Milnerton, Güney Afrika), Salcor UV modülüne benzer Dean akışlı UV reaktörü (Salcor Inc., ABD) ve UVivatec System (Bayer Technology Services GmbH, Leverkusen, Almanya) gibi ticari reaktörler örnek olarak gösterilebilir (Koutchma, 2008).

Sadece, CiderSure (FPE Inc., Rochester, ABD) ve SurePure (SurePure Inc., Milnerton, Güney Afrika) küçük, orta ve büyük boyutlarda sıvı gıda ürünlerinin operasyonları için uygun bazı ticari UV sistemleri sunmuştur (Koutchma, 2008). Öte yandan, su dezenfeksiyonu için kullanılan bazı UV sistemlerin düşük ışık geçirgenliği olan sıvılar için de kullanılabileceği ortaya koyulmuş olup, bu sistemlerin küçük ölçekli meyve

suyu üretimleri için daha ekonomik ve uygulanabilir olduğu üzerine yoğunlaşmıştır (Kaya vd., 2015).

UV sistemlerinde türbülanslı akış arzu edilir çünkü UV dozunun ve uygulama süresinin daha homojen dağılımını sağlar (Koutchma vd., 2007). Doz stabilitesinde türbülans akış ile bakteri inaktivasyonunun arttığı gözlemlenmiştir (Wright vd., 2000; Koutchma vd., 2004; Murakami vd., 2006; Matak vd., 2007;). UV ışığın bakteriyosidal etkisi aynı zamanda uygulamadaki ortamın optik özelliklerinden de etkilenir (Gayan vd., 2011). UV ışığının nüfuz etmesi; sıvının soğurganlığı, renk, transparanlık ve çözünür ve / veya asılı kalan katıların miktarına da bağlıdır (Shama, 1992; Koutchma vd., 2004; Lopez-Malo ve Palou, 2005; Oteiza vd., 2005; Murakami vd., 2006; Keyser vd., 2008; Franz vd., 2009). UV ışığı sadece sıvı gıda yüzeyinin çok kısa bir derinliğine etki eder (Gayan, 2012). UV ışığının %90'ının sadece 1 mm derinlikteki meyve suyuna etki ettiği tahmin edilmektedir (Sizer ve Balasubramaniam, 1999). Penetrasyon derinliği aynı zamanda ortamın bulanıklığına da bağlıdır (Gayan, 2012). Süspansiyon haline getirilmiş katılar absorptiviteyi artırır fakat yansıma ve saçılma olaylarına neden olurlar (Liltved ve Cripps, 1999; Wright vd., 2000; Donahue vd., 2004; Koutchma vd., 2004; Adhikari vd., 2005; Murakami vd., 2006; Keyser vd., 2008; Franz vd., 2009;).

UV-C radyasyonunun penetrasyon yeteneği ve nihai etkinliği, ürünün görünüş ve renk özelliklerinin yanı sıra, absorbansı, yoğunluğu ve içerdiği çözünmüş veya asılı kalmış katı maddelere bağlıdır (Koutchma vd., 2009b). UV-C hassasiyeti aynı zamanda mikroorganizmaların arasındaki farklılığa, türe, suşlara ve büyümenin aşamasına göre de değişkenlik gösterir (Guerrero-Beltran ve Barbosa-Canovas, 2005; Lopez-Malo ve Palou, 2005; Koutchma vd., 2009b).

Türbülans akış reaktöründe, yüksek akış oranı ve yüksek inaktivasyon oranı gibi karışık koşullar mikrobiyal inaktivasyonu etkiler (Koutchma vd., 2007). Sarmal tüp bağımlı türbülans akımını teşvik eder ve ikincil girdap akışına neden olur, aynı zamanda bilinen Dean etkisi sonuçları çok tekdüze hız ve zaman dağılımı içerir. Lambalar ve yansıtıcılar sarmal tüpün içerisine ve dışarısına yerleştirilebilir, böylelikle

sadece sıvı akışında UV radyasyonu artışıyla beraber istikrar da sağlanır (Koutchma vd., 2007).

Literatürde tortulu ve opak sıvıların termal uygulama yerine UV-C uygulaması yapılan birçok çalışma bulunabilir. Farklı tipteki sıvı gıda ürünlerine UV-C ışın uygulamaları; meyve suyu (Koutchma vd., 2004; Koutchma vd., 2007), elma şarabı (Ünlütürk vd., 2004), süt (Matak vd., 2007), beyaz ve kırmızı şarap (Crook vd., 2015) üzerine bulunmaktadır.

Tortulu sıvılara, UV ışınlama uygulamasında, ortam boyunca UV ışığının zayıflatılmasıyla görülen sınırlı penetrasyona rağmen endüstrinin ilgisi artmıştır (Bintsis vd., 2000). Bu soruna rağmen UV uygulaması sadece maliyet açısından değil (Koutchma, 2009), aynı zamanda uygulama sonrası gıdanın kritik olan özelliklerinin ve mikrobiyel yapısının korunması nedeniyle tercih edilme sebebidir (Orlowska vd., 2013).

Düşük UV transmisyon uygulamasında UV-C sistemi, sıvı içerisindeki hidrodinamik ortamın manipülasyonu ile olabildiğince gelişir. Tortulu sıvılarda düşük penetrasyon derinliği etkisini düşürmek için genellikle iki strateji kullanılır. Birinci strateji, aralığı 0.9 – 1.6 mm aralığında olan çok ince film sıvı kullanılması durumunda UV ışık fotonlarının yol uzunluğu azaltılır böylece penetrasyon eksikliği ile ilgili sorunlar çözülür (Koutchma vd., 2007). İkinci strateji, UV kaynağını sıvı yüzey yenilenmesine yakın yere yerleştirmek; ikinci akışlar dönen bir akışla veya sarmal tüplerde Dean girdaplarının oluşturulması ile engellenebilir. İkinci durumda lambalar ve reflektörler sarmal tüpün hem iç hem de dış tarafına yerleştirilir, sadece akan sıvının UV ışınım şiddetini artırmakla kalmaz aynı zamanda homojenlik de sağlar (Koutchma, 2008).

Sarmal tüp reaktörlerinde akış şartları normalde ideal akış şartlarına yakın olmalıdır ve hacim unsurlarının reaktörden geçişi dar bir kalış süresi dağılımına (RTD, residence time distribution) sahiptir. İnce film reaktörlerinin aksine, ölçülendirme imkânı dar aralıkta olan türbülans uygulamaya kıyasla daha az mümkündür. Dolayısıyla sıvı gıda pastörizasyonu için yüksek işleme kapasitelerinde sarmal tüp veya türbülans reaktörleri kullanmaya uygundur (Keyser vd., 2008). UV reaktör performansını

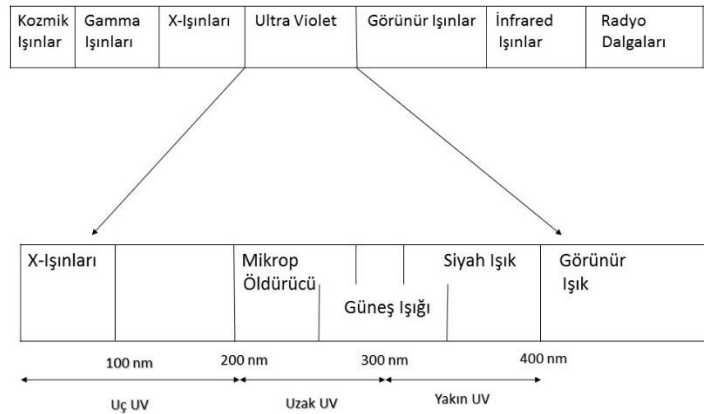
belirlemek için akışın “Reynolds Sayısı (Re)” ve “RTD” değerlerin bilinmesi önemlidir (Müller, 2016).

Çalışmamızda, soğan (*Allium cepa* L.) bitkisinin kullanımı sonucu atık olarak ortaya çıkan soğan suyunun, UV-C sürekli reaktöründe pastörize edilmesi ve endüstride kullanılabilir hale getirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda reaktör, endüstriyel kullanımı da düşünülerek en kısa süre ve en düşük enerji kullanılarak en yüksek verimi elde etmek amaçlanarak tasarlanmıştır. UV-C uygulaması sonrası elde edilen ürünün raf ömrü süresi de araştırılmıştır. Bunun yanında, UV-C reaktör ile pastörizasyonun, ısı işlem ile kombine edilerek ürünün fiziksel değişimi en alt seviyede tutularak pastörizasyonu üzerine çalışılmıştır.



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Gıda kaynaklı patojen mikroorganizmalar, gıda endüstrisinin en önemli sorunlarından biridir. Bu tehdidi önlemek amacıyla çeşitli önlemler alınmıştır. Son dönemde gelişen ve giderek yaygınlaşan bir yöntem Ultraviyole (UV) ışılamadır. Ultraviyole ışınların kullanılması ve yaygınlaşması ise Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi'nin (FDA), meyve sularında kullanımına onay vermesi ile gerçekleşmiştir. Yeni kurallar gereği, üreticilerin meyve suyu ürünlerinin üretilmesi ve en dirençli patojenin sayısının 5- $\log_{10}$  azaltılması için bir Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktası (HACCP) planı geliştirmesi gerekmektedir. Ultraviyole ışınım, 100 – 400 nm arasındaki elektromanyetik spektrumdaki radyasyon kullanımını içerir. UV-A (320 – 400 nm), UV-B (280-320 nm), UV-C (200-280 nm) olarak kategorize edilir (Şekil 2.1). 250 ve 270 nm arasında en yüksek mikrobiyel öldürücü etki görülür (Çizelge 2.1). 254 nm dalga boyu, su ve meyve suyu gibi çeşitli sıvı gıda ürünlerinin dezenfeksiyonunda kullanılır (Guerrero-Beltran ve Barbosa-Canovas, 2004, 2005). UV ışılamasının temel inaktivasyon etkisi, DNA'da foto-ürünlerin oluşumudur. Bunlardan en önemlisi, DNA'nın aynı ipliğinde komşu primidin molekülleri arasında oluşan ve hem DNA'nın transkripsiyonu hem de translasyonu kesebilen primidin dimeridir. Mikroorganizmaları inaktive etmek için 200 ila 280 nm arasında değişen UV ışını kullanılabilir. Çünkü DNA bileşenleri ve ikincil tepkimeye giren bileşiklerin emilimlerinin maksimum değerleri aynı aralıkta bulunur (Guerrero-Beltran ve Barbosa-Canovas, 2004).



Şekil 2.1 Elektromanyetik spektrum (Snowball ve Hornsey, 1988)

Çizelge 2.1. Ultraviyole Işık Karakteri

Tip	Dalgaboyu	Dalga Aralığı	Karakteristik
UV-A	Uzun	320 – 400 nm	İnsan derisinde değişim (Bronzlaşma)
UV-B	Orta	280 – 320 nm	Deri yanması (Kanser)
UV-C	Kısa	200 – 280 nm	Mikroorganizma öldürücü aralık
UV-V		100 – 200 nm	Vakum UV aralığı

Ultraviyole ışık; yüzey dezenfeksiyonu için gıda endüstrisinde kullanılmaktadır. Bu uygulama fırınlar, peynir ve et fabrikalarında ekipmanların yüzeylerinin normal temizlik ve sanitasyon uygulamalarına ek olarak konveyör yüzeyleri, kapaklar, kutular, kartonlar, şişeler, folyolar, tüpler ve filmler gibi ambalaj kutularında bulunan bulaşanlara karşı dezenfeksiyon için kullanılır. Düzgün yüzeyleri dezenfekte etmek için UV ışığının etkinliğine rağmen, gıda işleme endüstrisinde bu teknolojinin uygulaması nispeten azdır. Katıların dezenfekte edilmesi için piyasada bulunan sınırlı ekipman yelpazesi, kullanım alanını sınırlayıcı etkide bulunabilmektedir (Koutchma, 2008).

Sıvı yiyecek ve içeceklerin raf ömrünü uzatmak ve gıda kaynaklı patojenlere karşı korumak için kimyasal koruyucuların eklenmesi halk tarafında tepki ile karşılanmaktadır. Fiziksel bir yöntem olan UV ışınlama, olumlu bir tüketici imajına sahiptir ve düşük maliyetli, termal olmayan bir koruma yöntemi olarak gıda endüstrisi için ilgi çekicidir. Ayrıca, UV reaktörlerinin etkinliği, gıdanın tat, renk, koku gibi özelliklerinin değiştirmemesinden dolayı gıda endüstrisi için caziptir. Bilim ve mühendislikteki son gelişmeler UV ışınlamasının sıvı yiyecekler, taze meyve suları, alkolsüz içecekler için geleneksel termal pastörizasyona önemli bir alternatif olabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte, sıvı gıdaların UV'ye karşı geçirgenliğinin az olması nedeniyle bu tür gıdaların UV ile muamelesi kısıtlıdır (Koutchma, 2009a). Buna rağmen UV ışınlamanın su (Koutchma, 2009), sıvı yumurta (Geveke, 2008; Ünlütürk vd., 2008), süt (Engin vd., 2009) gibi gıda ürünlerinin dezenfeksiyonunda kullanıldığı raporlanmıştır.

Gıda muhafazası amacıyla kullanılan UV reaktörlerinin tasarlanması ve optimize edilmesinde sıvı gıda ürünlerinin optik özellikleri, fiziksel ve kimyasal özellikleri önem arz etmektedir. Sıvı gıdalarda viskozite ve yoğunluk gibi fiziksel özellikler, akış model etkinliğini ve sıvı transferinin yöntemini belirler. UV-C ışınının geçirgenliğini ise optik özellikler belirler. UV-C ışınlama ile sürekli sistem uygulama için kullanılacak olan bir reaktörde, gıdadaki mikrobiyal inaktivasyonu yukarıda sayılan faktörler etkiler. Bunun yanında, toplam çözünür madde (briks), kimyasal kompozisyon, su aktivitesi özellikleri de inaktivasyon etkinliği üzerinde değişiklik oluşturabilir (Koutchma, 2009a).

UV-C ışınlamanın penetrasyon etkisi sıvı türüne, UV-C emilimine, çözünebilir katılara ve süspansiyon halindeki maddeye bağlıdır. Çözünür katıların miktarı arttıkça, UV-C ışığının sıvıdaki penetrasyon şiddeti de o kadar düşük olur. Dolayısıyla süspansiyon ve çözünebilir katılar nedeniyle meyve suyundaki UV geçirgenliğinin düşük olması nedeniyle, meyve sularının ultraviyole muamelesi zordur. Böylece, UV-C radyasyonunun meyve sularına etkin bir şekilde nüfuz etmesini sağlamak için, UV işlemi sırasında türbülanslı bir akış tasarlanmış ve UV-C radyasyonunun etkisini optimize etmek için patent alınmıştır (Keyser vd., 2008).

Bir UV reaktörünün tasarımındaki asıl zorluk UV dozunun değerlendirilmesidir. Bu doz hem UV ışınlama alanına hem de reaktör içindeki akış dağılımına bağlıdır. Tasarım aşamasında, hesaplama akışkan dinamikleri (CFD), UV doz dağılımını tahmin etmeye yardımcı olur fakat doğrulama gerektirir. Günümüzde bu tür bir doğrulama yalnızca Lagrangian aktinometri metodu kullanılarak mümkündür. Bununla birlikte, bu umut verici teknik, karmaşık ve pahalı bir ekipman gerektirir. Dolayısıyla gerçek bağlamların çoğunda uygulama zorlaşır. Solari vd. (2015) ise; UV etkisini arttırmak için yeni bir yöntem geliştirilmesi gerektiğini ve reaktör performansının daha hızlı, daha ucuz ve daha sürdürülebilir bir prosedür olduğunu belirtmiştir. Bu amaçla UV-C ışınlamaya duyarlı iki fotokromik malzeme kullanılmıştır. Her malzeme için renk varyasyonu emilen UV dozu ile ilişkilendirerek karakterize edilmiştir. Doz dağılımlarını ölçmek için üç farklı akış oranı altında bir pilot UV reaktöründe çalışılmıştır. Daha sonra, aynı reaktör geometrisinde gerçekleştirilen CFD simülasyonları ve biyodozimetri analizleri ile elde edilen

sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Hem ortalama değer açısından hem de UV dozunun dağılımı bakımından en iyi sonuçlar, suya benzer bir yoğunluğa sahip fotokromik amorf polipropilen örneklerinden elde edilmiştir. Bu yöntem daha sonra bir UV reaktörünün doz dağılımını değerlendirilebilen umut verici bir doğrulama tekniği olarak ortaya çıkmıştır (Solari vd., 2015).

UV-C ışınlama kullanarak bulanık süt sıvılarının mikrobiyolojik muamelesi için kullanılan SurePure Turbulator'ın tam ölçekli saydam modelinin hidrodinamik performansını belirlemek için Pozitron Emisyon Parçacık İzleme (PEPT) akış görselleştirme tekniği uygulanmıştır. Akış oranının, UV kaynağının yüzeyindeki sıvının yenilenmesi üzerindeki etkisi, sırasıyla süt ve krema ile aynı viskoziteye sahip iki model sıvı kullanılarak araştırılmıştır. Yüzey yenileme miktarı, UV-C kaynağının yüzeyini kapatan ve mevcut bir birinci dereceden mikrobiyal inaktivasyon modeli ve Weibull dağılım modeli ile birleştirilen bir zaman yoğunluğu fonksiyonu olarak modellenmiştir. Türbülator kullanılarak seçilen süt patojenlerinin inaktivasyonu için elde edilen deneysel verilere uyma konusunda, Weibull model üstünlük göstermiştir. Bu modellerin, yüzey yenilenmesinin miktarı önemli bir performans artışı sağladığından, süt kaynaklı patojen organizmaların inaktivasyonu için UV-C enerjisinin daha keskin bir şekilde tahmin edilmesini sağladığı bildirilmiştir (Alberini vd., 2015).

nltrk vd. (2004), yapmış olduğu bir çalışmada ince film UV reaktör CiderSure 1500'de parçacık kalış süresini tanımlamak için sayısal bir model, yani dağınık faz modeli (DPM) geliştirmiştir. Bu model, UV yoğunluk modeli ile birlikte, elma şırası prosesini taklit etmek için kullanılmıştır. Elma şarabının yoğunluğu, viskozitesi, toplam katı ağırlık fraksiyonu ve katı faz özellikleri (partikül boyutu, şekli, boyutu, dağılımı ve hacim fraksiyonu) gibi fiziksel özellikleri ölçülmüştür. UV reaktörü için simülasyonun sonuçları, deneysel biyodozimetre verileri ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon ile deney sonrası uygun UV dozu karşılaştırılmıştır. Model ayrıca parçacıkların çoğunun, UV lambalarının üreticisi tarafından bildirilen ortalama değerden daha az UV dozu aldığını öngörmüştür. Bu çalışmanın sonucunda elde edilen simülasyonlar ve deneysel gözlemlere dayanarak, UV reaktörü CiderSure 1500'n tasarımı için değişiklikler önerilmiştir.



UV ışının etkileri her mikroorganizma üzerinde aynı etkiyi göstermemektedir. Crook vd. (2015) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise bulanık bir gıda içerisindeki farklı mikroorganizmalara UV ışının etkisi araştırılmıştır. Yedi adet süt kaynaklı patojenin (*Listeria monocytogenes*, *Serratia marcescens*, *Salmonella senftenberg*, *Yersinia enterocolitica*, *Aeromonas hydrophila*, *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus*) inaktivasyonunda UV-C ışığının etkisi değerlendirilmiştir. Patojenler ultra-yüksek sıcaklıktaki tam yağlı süt içinde süspansiyon edilmiş ve ince filmli ve türbülanslı akışlı bir pilot sistemde 4300 L/saat'lik bir akış hızında 0 ile 5000 J/L arasındaki UV dozlarında işleme tabi tutulmuştur. Test edilen yedi süt kaynaklı patojenin içerisinde *L. monocytogenes*, UV'ye en dirençli mikroorganizma olup, 5 log azalmaya ulaşmak için 2000 J/L UV-C doza maruz bırakmak gerektiği bildirilmiştir. En hassas bakteri ise *Staphylococcus aureus* olmuştur. 5 log'luk azalmaya ulaşmak için yalnızca 1450 J/L yeterli olmuştur. Bu çalışma, canlılık eğrilerinin doğrusal olmadığını göstermiştir. Test edilen tüm bakteri suşlarında, sigmoidal inaktivasyon eğrileri gözlemlenmiştir. İnaktivasyon verisinin doğrusal olmayan modellenmesi, geleneksel log-lineer yaklaşımdan daha iyi bir uyum sağladığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar UV ışınlanmanın, sütteki mikroorganizma popülasyonlarını azaltmak için termal olmayan bir yöntem olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur (Crook vd., 2015).

Meyve sularının bulanık yapısının UV geçirgenliğini araştırmak için farklı meyve suları türbülans akışlı bir UV reaktörde dezenfekte edilmiştir. Elma suyu, guava ve ananas suyu, mango nektarı, çilek nektarı ve iki farklı portakal ve tropikal meyve suları için yeni bir türbülanslı akış sistemi kullanılmıştır. Pastörizasyona kıyasla, UV ışınlamaya tabi tutulan meyve sularının tat ve renk profillerini değiştirmediği bildirilmiştir. 0, 230, 459, 689, 918, 1148, 1737, 1607 ve 2066'lık ultraviyole dozaj seviyeleri (J/L), farklı meyve suyu ürünlerine, mikrobiyel yükü kabul edilebilir seviyelere düşürmek için uygulanmıştır. UV-C ışınlama, tek kademeli birçok meyve suyu ve nektarlarındaki mikrobiyel yükü azaltmak için başarıyla uygulanmıştır, ancak uygulama yapılan her meyve suyu için optimizasyonun şart olduğu belirtilmiştir. Ayrıca UV teknolojinin, ısı işlem veya antimikrobiyel bileşiklerin uygulanması yerine alternatif bir teknoloji olabileceğini belirlenmiştir (Keyser vd., 2008).

Laminer ve türbülans akış uygulamalarının istenmeyen mikroorganizmaları inaktive ettiği daha önceki çalışmalarda rapor edilmiştir. Fakat hangi akış uygulamasının daha etkili olduğu net olarak bildirilmemiştir. Bu durum sonunda yapılan çalışmada; bir model sıvıda, laminar ve türbülanslı akış uygulama sistemleri kullanılarak *Escherichia coli* K-12 bakterilerin yok edilmesinde UV ışığının, üzerindeki etkileri için fiziksel ve kimyasal faktörler incelemiştir. Briks ve pH gibi meyve suyuna özgü faktörler tek tek incelendiğinde test edilen aralık üzerinde büyük bir farklılık görülmemiştir. Partikül madde miktarı azlığı, eşit emilme katsayılarında belirgin şekilde UV inaktivasyonu olduğunu göstermiştir. Türbülanslı akıştaki akış hızları ve karıştırma, mikrobiyal inaktivasyona da etki etmiştir. Akış hızları arttıkça türbülans akışlı UV reaktöründe daha yüksek inaktivasyon oranları yakalanmıştır. Regresyon denklemleri, ince film reaktöründe ve türbülanslı akış UV reaktöründe *Escherichia coli* K-12'nin indirgenme oranı ile absorpsiyon katsayısı arasındaki ilişkiyi tanımlamak için geliştirilmiştir. Güvenli UV dezenfeksiyonunu saptamak için minimum ve maksimum akış hızlarıyla biyodozimetri testi yapılması önerilmiştir (Koutchma vd., 2004).

UV-C ışınlamanın, bozulma mikroorganizmalarına etkisi dışında, UV-C uygulanan sıvı gıdanın fiziksel özellikleri üzerindeki değişimleri hakkında da çalışmalar yapılmıştır. Portakal suyu numuneleri çoğunlukla mayalardan oluşan doğal mikroflorayı arttırmak için kasıtlı olarak fermantasyona tabi tutulduktan sonra, paralel ışın demetli ışın cihazından geçirilerek,  $1,32 \text{ mW/cm}^2$  ışık yoğunluğu seviyesinde ve  $0,153 \text{ cm}$  numune derinliğinde UV-C radyasyona maruz bırakılmıştır. Uygulanan UV dozu  $0$  ilâ  $108,42 \text{ mJ/cm}^2$  aralığındadır. Mayanın UV ışığa direnci ve sıvı içerisinde asılı kalan parçacıklar işlem etkinliğini sınırlanmıştır. Mayalar için elde edilen sağ kalım verileri Weibull veya geleneksel birinci derece model ile tanımlanmış ve bu modellerin uygunluk durumu araştırılmıştır. Weibull modeli, sırasıyla  $R^2$  ve RMSE değerleri olan  $0,99$  ve  $0,003$  ile daha iyi uyum sağlamıştır. Sırasıyla zaman ve UV dozu  $5,7$  dakika ve  $31 \text{ mJ/cm}^2$  olarak bulunmuştur. Veriler, meyve sularının raf ömrünün uzatılmasında UV radyasyon muamelesinin etkinliğinin değerlendirilmesi için aşılınmış mikroorganizmaların kullanılmasıyla gerçekleştirilen biyodozimetric çalışmaların dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. UV-C radyasyonunun portakal suyunun rengi üzerinde hiçbir etkisi olmamıştır (Hakgüder-Taze ve Ünlütürk, 2013).

UV ışınlamanın meyve suyu üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmalardan bir diğeri; taze sıkılmış Chokanan mango suyu, mikrobiyel inaktivasyon, fizikokimyasal özellikler, antioksidan aktiviteler ve diğer kalite üzerindeki etkilerini karşılaştırmak için UV-C ışınına (25°C’de 15, 30 ve 60 dakika) maruz bırakılmış ve termal olarak pastörize edilmiştir (90°C’de 60 saniye). 5 hafta boyunca raf ömrü için 4°C’de bekletilmiş olan UV-C muamelesi ve termal pastörizasyon görmüş olan örneklerin fizikokimyasal özelliklerinde anlamlı bir değişiklik rapor edilmemiştir. Taze sıkılmış meyve suyu ile kıyaslandığında, UV-C ışınlamanın 15 ve 30 dakika uygulandığı örneklerin, ekstrakte edilebilen karotenoid (%6), polifenol (%31) ve flavanoid (%3) oranlarında artış gözlemlenmiştir. Bunların yanında, UV-C uygulaması sonrası antioksidan aktivitesinde iyileşme gözlemlenmiştir. Termal pastörizasyon ve UV-C uygulaması sonrası mikrobiyal yük ve raf ömründe önemli bir iyileşme belirlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda UV-C ışık uygulaması Chokanan mango suyunun kalitesini arttırmış ve pastörizasyona alternatif olarak güvenli bir uygulama olarak kullanılabilceği rapor edilmiştir (Santhirasegaram vd., 2015).

Gıda güvenliğiyle ilgili artan bir endişe döneminde, saflaştırılmamış elma, elma şarabı veya elma suyunun *Escherichia coli* O157:H7 ile kontamine olduğu tespit edilen gıda zehirlenmesi salgınları, elma şarabı üretiminde en iyi teknolojilerin kullanılmasına olan ihtiyacı güçlendirmiştir. Çoğu elma şarabı, pastörize edilmemiş bir ham ürün olarak satılmaktadır. Asitliği nedeniyle, meyve suyu ürünlerinin genellikle *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* ve *Cryptosporidium* gibi mikroorganizmaları içermediğine inanılmaktadır. Bu patojenlerin çeşitli asidik meyve sularında birkaç hafta hayatta kalabileceği bilinmektedir. Isı pastörizasyonu, muhtemelen bu patojenleri yok etmek için en iyi yöntem olmasına rağmen, duyuşal özelliklerini değıştirdiğı için en uygun yöntem değildir ve ayrıca orta büyüklükteki elma şarabı üreticileri için çok maliyetlidir. Elma şarabının UV ışınlaması ile pastörize edilmesi ısıl pastörizasyona potansiyel bir alternatiftir. Mikrop öldürücü UV ışınlaması, istenmeyen yan ürünler üretmeksizin ve değışen duyuşal özellikler olmadan mikroorganizmaların inaktivasyonunda etkilidir. Elma şarabı üzerinde yapılan bir başka çalışmada ise; Fiziksel parametrelerin, maruz kalma süresinin ve dozajın UV muamele etkinliğı üzerindeki etkileri ve UV ışınının elma suyu kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. *Escherichia coli* aşılannmış elma şarabına, 254,7 nm’lik bir dalga

boyundaki UV ışığı uygulanmış ve bakteri sayısını azaltmada etkili olmuştur. Elma şarabı tarafından absorbe edilen UV dozajı hesaplanmıştır. 8,777 pWs/cm<sup>2</sup> 'lik bir radyasyon dozu, ortalama 2,20 log bakteri azaltmıştır ve FDA'nın 5-log<sub>10</sub> azaltma hedefine erişildiği rapor edilmiştir. Duyusal analiz sonucu, UV uygulanmış ve uygulanmamış elma şarabı arasında önemli bir fark olmadığı not edilmiştir. UV ile işleme tabi tutulan elma şarabı, maya ve küf büyümesinin engellenmesiyle raf ömründe artış gözlenmiştir. Yapılan analizler sonucu uygulamanın meyve sularına uygulanabilirliği anlaşılmıştır (Canitez, 2002).

Bazı gıda ürünlerinin yapıları, direkt depolamaya uygun değildir. Bu nedenle kolayca bozulabilirler. Bu gibi durumlarda UV ışın uygulaması gıdanın tekstüründe değişikliğe neden olmadan gıdanın daha uzun süre depolanmasına katkıda bulunabilir. Tatlı sorgum suyu, yüksek su aktivitesi ve zengin şeker ortamı nedeniyle, depolama esnasında mikrobiyel bozulmaya karşı oldukça savunmasızdır ve bu, önemli bir teknik zorluğu temsil etmektedir. Klarifikasyon etkisi (80°C; pH 6,5 limitlendirilmiş; 5 ppm polianyonik flokkülant kullanılmış) ve UV-C ışınlama etkileri ortam sıcaklığında (~25°C) saklanan meyve suları için stabilizasyon ve koruma amaçlı işlemler olarak belirlenmiştir. Meyve suları sırasıyla Louisiana ve Tennessee'de nemli ve kuru ortamlarda yetiştirilen çeşitli tatlı sorgum çeşitlerinden seçilmiştir. Toplam bakteri miktarı 10<sup>9</sup> kob/mL olan ham meyve suları 15 W lambaya 25°C'de maruz bırakılmıştır. Bu uygulama sonucunda; meyve sularında laktik asit bakterilerinin önemsiz seviyelere kadar (<150 kob/mL) azalmasına ve ayrıca toplam bakteri sayılarının önemli ölçüde ( $P<0,05$ ) azalmasına neden olmuştur (Eggleston vd., 2014).

Her gıdanın fizikokimyasal özellikleri birbirinden farklıdır. Bu farklılıklar sonucu gıdalara uygulanan sterilizasyon şartları, depolama koşulları, ambalaj türü değişiklik göstermektedir. UV ışın uygulamasında ise gıdanın optik özellikleri ve içerisindeki asılı partiküller, UV etkisini direkt etkilemektedir. Farklı absorban katsayılarına sahip gıdalara aynı UV ışın şiddeti uygulayarak dezenfeksiyon etkisini görmek amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Türbülans akışlı UV reaktörde dezenfeksiyon için 24 lambalı bir UV-C sistemi kullanılmıştır. 10<sup>6</sup> kob/mL'lik bir inokülasyon seviyesinde biyodozimetri mikroorganizması olarak *Escherichia coli* K-12 hedef seçilmiştir. Test edilen meyve suları, sırasıyla, lillikoi ve ananas suyu için 11 cm<sup>-1</sup> ile 78 cm<sup>-1</sup> arasında

değişen absorpsiyon katsayısı ile yüksek UV ışığını yüksek oranda absorbe etmiştir. İncelenen meyve sularından ananas suyunun UV emilimi ve yüksek viskozite bakımından en kötü senaryo olduğu ortaya çıkmıştır. Meyve suyu özelliklerini taklit etmek için bir karamel model çözümü geliştirilmiş ve aşılama çalışmaları için kullanılmıştır. Bu deneme ile  $15 \text{ cm}^{-1}$ 'den düşük absorpsiyon katsayısına sahip Newton sıvılarında, FDA tarafından gerekli olan türbülanslı akış altında 5- $\log_{10}$  indirgenme standardına, sistemden bir geçişten sonra ulaşabileceği görülmüştür. Türbülanslı akış, test edilen akış oranlarında daha viskoz olan portakal ve ananas suları için geliştirilememiştir. *Escherichia coli*'nin bir izleyici olarak kullanıldığı biyodozimetri tekniği,  $26 \text{ cm}^{-1}$ 'den daha düşük absorpsiyon katsayısına sahip sıvılarda UV dozunun dağılımını göstermemiştir. Önerilen tekniğin, UV reaktörlerinin performansının validasyonuna yardımcı olabileceği ve UV pastörizasyonunun verimliliğini arttırabileceği rapor edilmiştir (Koutchma vd., 2007).

UV ışınlanmanın gıda kalitesi üzerine olan etkisinin incelendiği bir başka çalışmada ise; yumurtanın UV uygulanması ile fonksiyonel özellikleri ve besin bileşenleri değişimi üzerine çalışmıştır. Yumurtanın pastörize edilmesi, yumurta proteinlerinin besin kompozisyonu ve işlevselliği üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. UV işlemi, daha az müdahaleci olduğu için potansiyel olarak daha az olumsuz etkiye sahip alternatif bir teknolojidir. Yumurta beyazı, yumurta sarısı vitaminleri (A, B<sub>2</sub>, B<sub>5</sub>, C ve E), mineralleri (P, Cl, K, Na, Ca, Mg, Fe ve Zn) ve ana sekonder metabolitler (lutein ve zeaksantin) mikrobiyolojik olarak kararlı yumurta fraksiyonlarına ulaşmak için sarmal tüp UV-C reaktöründe bilinen dozlarda UV'ye maruz kalmıştır. Çalışılan besinler sırasıyla %80, %66, %61'e kadar kaybedilen retinol, C vitamini ve karotenoidler haricinde UV ışığına sahip bir uygulamaya karşı oldukça kararlı bulunmuştur. Ayrıca, ultraviyole ile işlenmiş yumurtaların fonksiyonel özellikleri araştırılmıştır. Sonuçlar; köpük kabiliyeti ve köpük stabilitesi üzerinde olumlu bir etki yaptığı ve pastörize numunelere karşı emülsiyonlaşma aktivite endeksinde %20'nin üzerinde bir artış olduğunu gösterdi. Çalışmanın sonucunda, UV uygulamasının, yumurtanın besleyici özelliklerinin birçoğunu sürdürdüğü ve yumurtalarda köpürme ve emülsifikasyon gibi teknolojik özelliklerin korunabildiği ve hatta iyileştirildiği belirtilmiştir (Souza vd., 2015).

Elma suyunun Dean vorteks akış ile UV uygulamasının kombine edildiği bir çalışmada laboratuvar ölçekli yeni bir UV-C ışınlama cihazı, bulanık elma suyunda doğal olarak bulunan bakterileri inaktive etme potansiyeli açısından analiz edilmiştir. Bu cihazda sıvı, 254 nm’de, 60 W/m<sup>2</sup> ışınlama yoğunluğuna sahip 9W UV lamba içeren bir kuartz cam tüpün etrafında sarılan sarmal sargılı bir borudan geçirilmiştir. Ekipman, doğal bulanık elma suyunda inoküle edilen *Escherichia coli* ve *Lactobacillus brevis*’i yaklaşık 10<sup>6</sup> kob/mL veya 10<sup>4</sup> kob/mL’lik bir başlangıç konsantrasyonundan, 2 L/saat bir akış hızında ticari olarak tespit edilebilir sınırların altına düşürebilmiştir. *Saccharomyces cerevisiae* sayısının ise başlangıç seviyesinden 1x10<sup>4</sup> – 1 x10<sup>2</sup> kob/mL ve 4 L/saat akış hızında 10<sup>2</sup> kob/mL veya daha düşük olduğu rapor edilmiştir (Franz, 2009).

Yapılan bu çalışmalardan sonra aynı ürünün, aynı şartlarda, ince film akışlı ve türbülans akışlı reaktörlerdeki etki mekanizmasına dair araştırmalar yapılmıştır. İki ince film UV-C reaktörünün (Dairesel ve Taylor – Couette) ve bir sarmal tüp sisteminin performansının değerlendirilmesi, aktinometri ve biyodozimetri yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. İyodür / iyodat aktinometri yöntemi, UV-C sürekli akış sistemlerinin UV-C dozunun verilmesinin etkinliğinin karşılaştırılması için uygun bulunmuştur. Reynolds sayılarında 26 ila 3000 arasındaki çeşitli koşullarında Ringer çözeltilinde (absorbans katsayısı ~0 cm<sup>-1</sup>) *Escherichia coli* ATCC 8739’un inaktivasyon kinetiği, farklı reaktör türleri arasında iyi bir korelasyon göstermiştir. Yüksek UV-C emici sıvılarda, inaktifleştirme verimliliğinin, geliştirilmiş radyal karıştırma nedeniyle arttığı görülmüştür. Taylor – Couette sisteminin inaktivasyon performansı, dönme kuvveti uygulanmadığında dairesel reaktörle uyum içerisindedir. Kalış süresi dağılımları, sargılı boru sistemi ile karşılaştırılabilir akış hızlarında en dar dağılımı göstermiştir. Sonuçlar, laminer akış koşullarına rağmen, Taylor – Couette ünitesinin performansının, iç silindirin dönüşüyle birlikte, sarmal tüp reaktörünün türbülanslı akış koşullarına eşit olduğuna işaret ettiği belirtilmiştir (Müller vd., 2016).

Diğer bir çalışmada ise peynir altı suyunun sterilizasyonunda tekli konvansiyonel ve sarmal reaktör karşılaştırılarak, sarmal UV reaktörünün çeşitli hızlara bağlı olarak sterilizasyon etkisi ölçülmüştür. Bekleme süresi, tekli ve seri halindeki reaktörlerde sırasıyla 168 dakikadan, 12 dakikaya ve 48 dakikadan, 24 dakikaya değiştirilmiştir.

Yüzde yüz mikrobiyel inaktivasyon tekli reaktörde mümkün değil iken sarmal reaktör serisinde 35 ve 40 mL/dk akış hızı ile yüzde yüz mikrobiyel inaktivasyon tespit edilmiştir. Mikrobiyel inaktivasyon hızı, tekli sarmal reaktör için polinom denklemi ile, tek konvansiyonel reaktör ve sarmal reaktör serisi için üstel denklemler ile tanımlanmıştır. Tüm reaktörlerin akış hızı laminer ( $N_{Re}= 1,39 - 20,10$ ) ve sarmal reaktörlerde Dean sayısı 1,09 – 15,41 aralığında olduğu belirlenmiştir. Görsel gözlem sonucu sarmal reaktörlerin UV lambalarında Dean akışının etkisinden dolayı geleneksel reaktöre göre daha az kirlilik olduğu gözlemlenmiştir. %100 inaktivasyon verimliliğine ulaşılmadan önce elde edilen toplam çalışma süresi, klasik reaktörde yalnızca 45 dakika, sarmal reaktör serisinde ise 240 dakika olduğu tespit edilmiştir (Singh ve Ghaly, 2006).

UV-C teknolojisinin sahip olduğu bazı kısıtlamalar nedeniyle, uygulama sıklıkla mikrobiyel inaktivasyon ve meyve suyu kalitesinin tutarlılığında maksimum faydayı sağlamak için diğer işleme teknikleriyle kombine edilir.

Bunun yanında, UV-C'de engel (hurdle) teknolojisinin kullanımı ile ilgili olarak araştırmalar henüz belirli bir düzeye ulaşmamıştır. Söz konusu kombinasyon UV-C teknolojisi ile ısıtma işlemi arasında olabileceği gibi UV-C teknolojisi ile diğer ısıtma olmayan metotlar (ısıtma olmayan işlemler ya da kimyasal veya koruyucu katkı maddesi ilavesi) arasında olabilir. Engel teknolojisini kullanarak test edilen sular arasında, elma, ananas, guava, portakal, pitaya, mango, karpuz ve karışık meyve suları gelmektedir. Literatürde çalışılmış olan çeşitli kombinasyonlar ile ilgili bilgi Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Yapılan araştırmalarda meyve suyunun ultraviyole ışınlanması ile kombine edilmiş teknikler; sonikasyon, ılımlı ısı, dimetil dikarbonat, asitler, membran filtrasyon,  $TiO_2$ -UVC (TUVP) fotokatalizasyonu, koruyucular ve darbeli elektrik alanı içermektedir. Bazı kombinasyonlar, mikroorganizmalar için gerekli olan 5 log'luk azalmayı başarmışlardır.

Çizelge 2.2 UV-C ışınlama ve geleneksel ısıtma işleminin kombin edildiği çalışmalar

Meyve suyu	Kombine işlem	Meyve suyu üzerine ışınlamanın etkisi	Referans
Elma suyu	UV-C ışınlama (13,81–5,20 J/mL) ve ılımlı ısıtma işlemi (45–60 °C)	Kombine işlem karşısında en yüksek direnci <i>S. cerevisiae</i> göstermiştir. UV-C ışınlama ve ılımlı ısıtma işlem kombinasyonu (52,5–57,5 °C) <i>S. cerevisiae</i> 'nin inaktivasyonunda sinerjistik etki oluşturmuştur.	Gouma vd., 2015
Elma (Fuji) suyu	UV-C ışınlama (27,10 J/mL) ve ılımlı ısıtma işlemi (55 °C)	UV-C ışığının elma suyunda süspansiyon edilen <i>E. coli</i> üzerindeki bakterisidal etkisi sıcaklık artışı ile birlikte sinerjik olarak başarılıydı. pH'ı etkilemeden, suda çözünür toplam katı maddede ve asitlikte değişiklik olmadan 5 log azalma sağlandı.	Gayan vd., 2013
Ananas suyu	İlımlı ısıtma işlemi (55 °C) ve UV-C ışınlama (56,61 J/cm <sup>2</sup> )	Pektin metilesteraz enzimi etkin şekilde inaktive edildi.	Sew vd., 2014
Portakal suyu	UV-C ışınlama (23,72 J/mL) ve ılımlı ısıtma işlemi (55 °C)	pH'ı etkilemeden, suda çözünür toplam katı maddede ve asitlikte değişiklik olmadan <i>E. coli</i> 'de 5 log'dan fazla inaktivasyon sağlandı.	Gayan vd., 2012

Kombinasyon işlemlerinde sadece ısıtma işlemi kullanılmamaktadır. UV ile birlikte PEF (vurgulu elektrik alan), US (ultrases) ve HHP (yüksek hidrostatik basınç) uygulamaları da kullanılabilir. Yapılan bir çalışmada ise dongchimi suyu UV-C ışınının bir sarmal teflondan geçirilip (2,5 J/mL) ve ardından yüksek hidrostatik basınç (HHP, 400-500 MPa, 25°C'de 1 dakika) ile kombine şekilde muamele edildikten sonra 5 gün oda şartlarında depolama yapılmıştır. UV-C ışınımı için sarmal olarak sarılmış teflon



bobinli bir reaktör, ikinci bir girdap akışı oluşturmak üzere kullanılmıştır. Sonuçlar, dongchimi suyundaki laktik asit bakterilerinin (LAB) UV-C ve HHP ile tek başına muamele edilmesine karşı daha dirençli olduğunu ortaya koymuştur. Öte yandan, UV-HHP kombine işleminin LAB canlı sayımlarında daha fazla azalma ile sonuçlandığı rapor edilmiştir Aynı zamanda oda sıcaklığındaki depolamada bakteri üremesini engellemiştir. Elde edilen bu sinerjik etki vasıtasıyla dongchimi suyunun kimyasal kalitesi korunmuştur. Duyusal analiz sonuçlarına göre termal olmayan muamelelerin, oda sıcaklığında saklamada, işlenmemiş ve ısıl işlem ile pastörize edilmiş numunelere kıyasla, dongchimi suyunun lezzetini etkili bir şekilde muhafaza ettiği gözlemlenmiştir (Shahbaz vd., 2016).

UV ışınlamanın düşük absorpsiyon katsayısına sahip meyve sularındaki mikroorganizmaların çoğunu inaktive edebildiği bilinmektedir, fakat UV ışınlamanın etkisi istenmeyen enzimlerin inaktivasyonunda sınırlıdır. Düşük ısı ile UV ışınını kombine ederek bu sınırlamanın üzerine çıkmak için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan birinde, ananas suyu düşük sıcaklık (sıcaklık 50, 55 ve 60° C; bekleme süresi 10, 20 ve 30 dakika) ve UV (5,61, 7,55 ve 11,23 mJ/cm<sup>2</sup>) kombinasyonu ile muamele edilmiştir. Bu uygulamanın pektin metilesteraz (PME), bromelain aktivitesi ve toplam fenolik madde (TPC) üzerine etkisi araştırılmıştır. İki enzimatik aktivitenin de düşük sıcaklık uygulaması ile azaltıldığı rapor edilmiştir fakat UV uygulamasının etkisi olmamıştır. Uygulama süresi ve UV dozu arttırıldığında TPC'nin yüksek miktarda yok olduğu tespit edilmiştir. Ananas suyuna düşük sıcaklık uygulaması 55°C derecede 10 dakika ve UV dozu 5,61 mJ/cm<sup>2</sup> uygulanarak PME %60,53 azaltılmış iken, sırasıyla bromelain ve TPC'nin %61,57 ~0,21 ve 72,8 ~ 0,33 oranında azalma sağlandığı belirtilmiştir (Sew vd., 2014).

Enzimler ve istenilmeyen mikroorganizmalar dışında UV ışınının mayalara etkisi de araştırma konusu olmuştur. UV-C ışığına dayanıklı mayaların (*Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces bayanus*, *Zygosaccharomyces bailii*, *Dekkera anomala* ve *Dekkera bruxellensis*) meyve sularında yaygın olarak bulunduğu tespit edilmiştir. *Saccharomyces* spp.'nin en büyük UV direnci gösterdiği gözlemlenmiştir. Meyve mayalarında UV'nin inaktivasyon etkisini arttırmak için, UV muamelesi ısı (45 – 60°C) ile kombine edilmiştir. *Saccharomyces cerevisiae*'nin 52,5 ilâ 57,5°C arasındaki

UV-C işlemleriyle inaktivasyonu, her iki teknolojinin ayrı ayrı kullanımından daha fazla olup, sinerjik bir etki olduğu ispatlanmıştır (Gouma vd., 2015).

Yukarıda özetlenmiş olan literatür çalışmaları göstermiştir ki; meyve ve sebze suyu gibi ürünlerin pastörizasyonu ve enzimlerinin inaktivasyonu amacıyla UV-C uygulamalarının laboratuvar ölçeğinde başarılı sonuçlar elde edilmesiyle birlikte, bu uygulamanın endüstriyel boyuta taşınabilmesi için çalışmalar, sürekli sistem UV-C reaktörlerinin tasarlanması ve geliştirilmesi yönünde ilerlemiştir. Reaktör tasarımında geometrik özellikler, akış tipi, sıvının absorptif özellikleri, sıvının diğer fizikokimyasal özellikleri ve hedef mikroorganizmanın çeşidi, ışımının sıvıda etkin ve homojen dağılımı gibi birçok nokta aynı anda göz önünde bulundurulmalı ve optimum koşullar belirlenmelidir. Özellikle ince-film laminer akışlı UV-C reaktörlerde elde edilen başarılı mikrobiyel inaktivasyon sonuçları doğrultusunda, kapasite artırımı ve daha etkin mikrobiyel inaktivasyon elde edebilmek amacıyla türbülans akış tipinde reaktörlerin kullanımı gündeme gelmiştir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda Dean vorteks akış ile ikincil bir türbülans desteği sağlanmış olan ve türbülans bölgede çalışan sarmal tipte bir UV-C reaktörünün tasarımı, üretimi ve kullanımı söz konusu olmuştur. Literatürde yer alan diğer sarmal sürekli UV-C reaktörlerinden farklı olarak UV lamba ile teflon borudan geçen ürünün arasında kuvars bir kılıf (sleeve) bulunmamaktadır. Bu durum sayesinde UV kaynağı ile ürün arasında fazladan bir direnç oluşmaması ve UV muamelesinin daha etkin bir şekilde sağlanması amaçlanmıştır. Bu durum, teflon borunun dış yüzeyine yansıtıcı malzeme kaplanması ile desteklenmiştir. Söz konusu tasarımın kullanıldığı pastörizasyon işleminde soğan suyu için en uygun koşullar belirlenmiş ve bu koşullarda üretilen soğan suyunun raf ömrü takip edilmiştir. Yapılan literatür taramasında, UV uygulamasının gıdanın tat, koku, aroma, renk gibi özelliklerine olumsuz etki yapmadan pastörizasyon sağladığı görülmüştür. Bunu takiben yine optimum koşullarda pastörize edilen soğan suyunun et marinasyonundaki etkinliği tekstürel profil analizi ile belirlenmiştir. Çalışmanın son kısmında, UV-C sürekli sistemde daha düşük doz değerlerinde çalışabilmek amacıyla, UV-C pastörizasyon işlemi ile ısıtılma işleminin kombinasyonu üzerinde odaklanılmıştır. Yapılmış olan bu çalışmanın endüstriyel ölçekte üretimi mevcut olan soğan suyu üretimine daha üstün duyu özellikler ve daha düşük maliyet kazandırmak isteyen üreticilere alternatif bir yöntem önereceği ve bunu yaparken de pilot ölçekli bir UV-C

pastörizasyon ya da UV-C ile ısıtım işlem kombinasyon sistemi hakkında bilgi birikimi sağlayacağı düşünülmektedir.



### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1 Materyal**

##### **3.1.1 Soğan**

Osmaniye Sebze ve Meyve Hali'nden satın alınan soğanlar (*Allium cepa* L.), soğan suyu üretimi için kullanılmıştır. Soğanların gövde çaplarının 10 cm, sarı kabuklu ve olgun, olmasına dikkat edilmiştir. Daha sonra soğanlar +4 °C'de muhafaza edilmiştir.

##### **3.1.2 Mikroorganizma**

İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Gıda Mühendisliği Bölümü'nden temin edilmiş olan *Escherichia coli* K-12 (ATCC 25253) suşu, Pala ve Toklucu (2011)'ye göre dereceli olarak sitrik asit ile pH 4,3'e adapte edildi. *E. coli* K-12 kullanılmasının sebebi, *E. coli* O157:H7'nin patojen olmayan vekil suşu olmasıdır.

##### **3.1.3 Kullanılan Besiyerleri ve Kimyasal Malzemeler**

Plate Count Agar (PCA), Potato Dextrose Agar (PDA), peptonlu su, Nutrient Broth (NB), Tryptic Soy Broth (TSB), Tryptic Soy Agar (TSA), sitrik asit ve NaOH ticari bir kimyasal firmasından temin edildi.

#### **3.2 Yöntem**

##### **3.2.1 Soğan Suyu Üretimi**

Çalışmanın tamamında kullanılan soğan suyu üretimi için hasarsız ve çürüme olmayan soğanlar ayıklandı. Bu soğanlar üzerindeki kirliliklerin temizlenmesi için yıkandı ve kuruduktan sonra kabuklu soğanlar tartıldı. Ev tipi bıçak ile soğanlar kabuklarından ayrıldı. Soğanlar katı meyve sıkacağından geçirilerek soğan suyu elde edildi. 250 µm delik çapına sahip elekten geçirilerek büyük parçalar uzaklaştırıldı. 3000 rpm'de, 15 dakika, 4 °C 'de santrifüj işlemi uygulandı. Elde edilen soğan suyuna %10'luk sitrik asit ilave edilerek pH değeri 4,3 olacak şekilde ayarlama yapıldı. Bütün bu işlemler

sonrasında 90 °C’de kuru steril edilmiş pyreks ve kapaklı şişede, +8 °C’de maksimum 24 saat muhafaza edilmek üzere depolanmıştır.

### 3.2.2 Soğan Suyunun Fizikokimyasal Özelliklerinin Karakterizasyonu

Soğan suyunun fizikokimyasal özellik analizleri, üretimden sonra ve UV-C uygulama işleminden hemen sonra yapıldı. Soğan suyunda çözünen toplam katı madde miktarı (Briks) Krüss Optronic marka dijital refraktometre ile analiz edildi. Ölçümler 3 paralel ile oda sıcaklığında yapıldı. HACH 2100N marka türbidimetre ile soğan suyu örneklerinin bulanıklık değerleri ölçüldü. Şişe içerisindeki soğan suyu örnekleri 3 defa alt-üst edilerek, cihaza ait cam küvetlere yaklaşık 30 mL örnek ile dolduruldu. Bulanıklık unsurları çökmeye başlamadan ölçüm alındı. 3 paralel üzerinden ölçümler yapıldı. Sonuçlar NTU (nefelometrik bulanıklık birimi) üzerinden ifade edildi. Konika Minolta CR400 portatif renk ölçüm cihazı ile renk analizi yapıldı. Portatif renk ölçüm cihazı ters şekilde sabitlendi. 25 mL’lik soğan suyu, 50 mL’lik beher içerisine konuldu. Beherin üzerine beyaz bir kâğıt boşluk kalmayacak şekilde konuldu ve beher, cihazın üzerine optik camı tamamen kapatacak şekilde yerleştirildi. Ölçüm tuşuna basılarak, L\* (aydınlık), a\* (kırmızılık) ve b\* (sarılık, mavilik) değerleri makine tarafından saptandı. Her örnek için 3 paralel ölçümün ortalaması hesaplandı. Denklem 3.1’de verilen toplam renk değerleri farklılığı ( $\Delta E$ ) denklemi ile hesaplanmıştır. Cserhalmi vd. (2006)’ya göre işlem görmüş ve görmemiş olan örnekler arasındaki farka dayalı olarak hesaplanan  $\Delta E$  değeri Çizelge 3.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1 Toplam renk değeri skalası

Toplam renk değeri aralığı	Renk değişimi
0 – 0,5	Fark Edilemez
0,5 – 1,5	Hafifçe Fark Edilebilir
1,5 – 3,0	Fark Edilebilir
6,0 – 12,0	Çok Fark Edilebilir

$$\Delta E = \sqrt{[(L - L_{ref})^2 + (a - a_{ref})^2 + (b - b_{ref})^2]} \quad (3.1)$$

25 °C'deki soğan suyunun pH değeri laboratuvar tipi pH metre ve manyetik karıştırıcı kullanılarak belirlendi. Demirdöven (2009)'a göre toplam titrasyon asitliğini belirlemek için homojen olarak alınan 25 mL soğan suyu 0,1 N NaOH ile pH değeri 8,1 olana kadar titre edildi. Sonuç Denklem 3.3 ile hesaplandı ve susuz sitrik asit cinsinden (SSA,%) ifade edildi.

$$\text{Titrasyon asitliği, \%} = \frac{V * F * E * 100}{m} \quad (3.2)$$

V: Harcanan 0,1 N NaOH miktarı, mL

F: Titrasyon faktörü

E: 1 mL 0,1 N NaOH'ın eşdeğer asit miktarı, g

m: Titre edilen örneğin gerçek miktarı, mL

Demirdöven (2009)'da belirtilen yöntem ile enzimatik olmayan esmerleşme analizi yapıldı. Bu yöntemde göre; 25 mL soğan suyu, 800 rcf hızda 20 dakika boyunca santrifüj edildi. Bu işlemin ardından süpernatanttan 10 mL alındı ve üzerine 10 mL %95'lik etil alkol ilave edildi. Karışım homojenizasyonu vorteks cihazı ile yapıldı. Daha sonra Whatmann No:42 filtre kâğıdı ile süzüldü. Elde edilen süzütünün 420 nm dalga boyundaki absorbans değerleri UV-Vis spektrofotometre ile saptandı. NEBI (enzimatik olmayan esmerleşme indeksi) olarak sonuçlar alındı. Sun vd. (2007)'de belirtilen yöntemde göre toplam fenolik madde konstantrasyonu belirlendi. Bu yöntem doğrultusunda, Folin-Ciocalteu reaktifi, minerali giderilmiş su ile 10 kat seyreltildi ve 0,1 mL soğan suyu örneği ile 0,75 mL seyreltik Folin-Ciocalteu reaktifi karıştırıldı. Daha sonra, 5 dakika oda sıcaklığında bekletildi. 0,75 mL, %2'lik sodyum karbonat çözeltisi eklendi. Işıksız ve oda sıcaklığında 15 dakika bekletilen karışım, spektrofotometre ile 750 nm'de absorbans değeri ölçüldü. Standart olarak 0, 50, 100, 150, 250 ve 500 mg/L gallik asit çözeltileri ile hazırlanan kalibrasyon eğrisi ile örnekler korele edildi.

### 3.2.3 Mikrobiyolojik Analizler

Tran ve Farid (2004)'te belirtildiği üzere toplam aerobik canlı sayımı için gerekli seyreltmelerden (tamponlanmış peptonlu su ile) Plate Count Agar (PCA) besiyerine

dökme plaka yöntemi ile ekim yapıldı ve 35 °C’de, 48 saat inkübasyona bırakıldı. Her bir seyreltmeden en az 2 paralel ekim yapıldı ve ortalaması alınan sonuçlar koloni oluşturan birim (kob) / mililitre (mL) olarak ifade edildi. Yine Tran ve Farid (2004)’te belirtildiği üzere toplam maya ve küf sayımı için gerekli seyreltmelerden (peptonlu su ile) Potato Dextrose Agar (PDA) besiyerine dökme plaka yöntemi ile ekim yapıldı ve 26 °C’de, 5 gün inkübasyona bırakıldı. Her bir seyreltmeden en az 2 paralel ekim yapıldı ve ortalaması alınan sonuçlar koloni oluşturan birim (kob) / mililitre (mL) olarak ifade edildi.

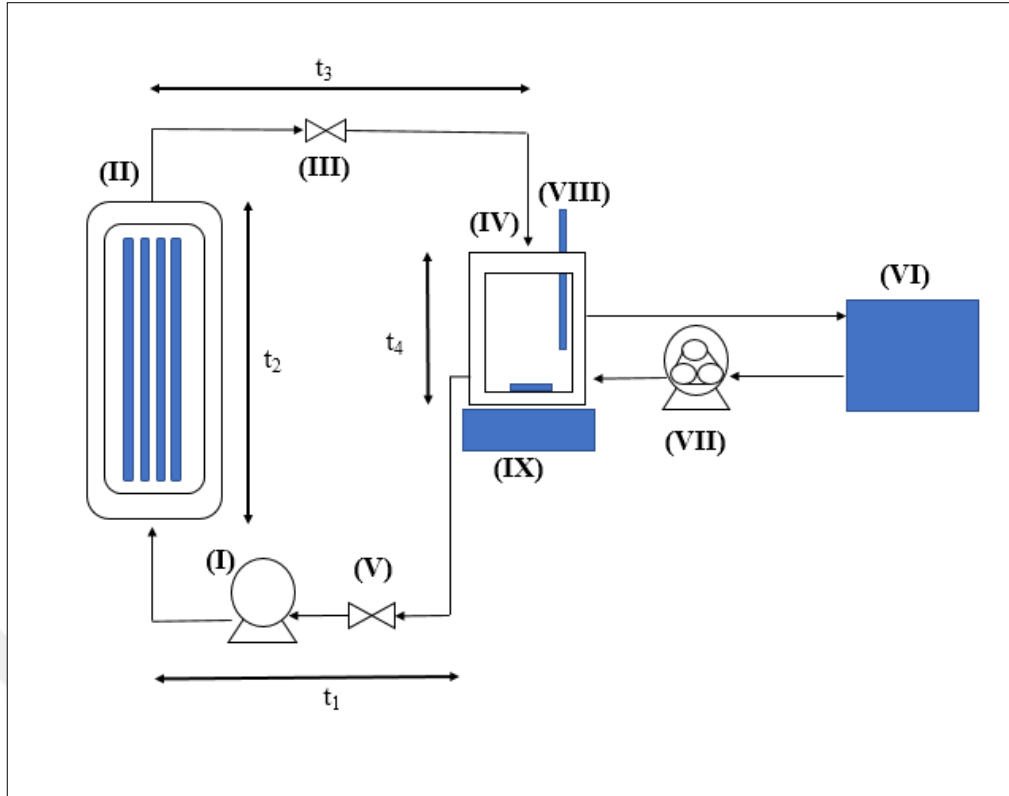
Aside adapte edilmiş olan *E. coli* K-12’nin – 80 °C’de muhafaza edilen gliserol stoğundan bir öze dolusu alınarak 10 mL Nutrient Broth (NB)’a aktarıldı ve 37 °C’de statik olarak 24 saat inkübe edildi. Bu kültür ortamından 100 µL alınarak % 0,75 (w/v) glikoz ile zenginleştirilmiş 100 mL Tryptic Soy Broth (TSB)’a aktarıldı. Ekim yapılan bu ortam 37 °C’de statik olarak bir gece inkübe edildi. Elde edilen kültür ortamı 3000 rpm’de 5 dakika santrifüjlendi ve süpernatant aseptik olarak dökülerek yerine 1 mL steril peptonlu su eklendi. 30 sn vorteksleme sonrasında ilgili hacme göre  $10^{6-7}$  kob/mL seviyesini elde etmek için gerekli olan sayıdaki tüp soğan suyuna aktarıldı (Murakami vd., 2006; Geveke vd. 2008; Ünlütürk ve Atılğan, 2014). *E. coli* K-12’nin sayımı için Ünlütürk vd. (2008)’e göre peptonlu su ile hazırlanan uygun seyreltmelerden Tryptic Soy Agar (TSA)’a yayma plaka yöntemi ile ekim yapıldı ve 37 °C’de, 24 saat inkübasyona bırakıldı. Her bir seyreltmeden en az 2 paralel ekim yapıldı ve sonuçların ortalaması koloni oluşturan birim (kob) / mililitre (mL) olarak ifade edildi.

### **3.2.4 Sürekli Sistem UV-C Reaktörün Özellikleri**

UV-C sürekli sistem rezervuarına ilave edilmeden önce ön pastörizasyon işlemi uygulandı. Bunun için; Bölüm 3.2.1’de belirtildiği şekilde hazırlanan soğan suyu buzdolabından çıkartılarak oda sıcaklığına getirildi. 65°C sıcaklığa ayarlanmış su banyosunda soğan suları 2 dakika bekletildi. Süre sonunda su banyosundan çıkartılan soğan suları, hazırlanmış buzlu su küvetine daldırılarak tekrar oda sıcaklığına düşürüldü. Ön pastörizasyon işlemi tamamlanmış olan soğan suyu örnekleri sürekli sistem ile aşağıda belirtildiği şekilde pastörize edildi.

Soğan suyunun pastörizasyonu için kullanılan sürekli sistem UV-C reaktörünün yapısı ve bileşenleri Şekil 3.1’de verilmiştir. İşlem başlamadan en az 30 dakika önce reaktör (II) içerisinde bulunan 4 adet UV-C lamba ışımının homojen bir dalga boyunda gerçekleşebilmesi için açık konuma getirildi. Bu işlemi takiben, soğan suyu rezervuara (IV) aseptik koşullarda eklendi. Rezervuarın içerisinde yer alan soğan suyuna başlangıç mikrobiyel yükün  $10^6$  ilâ  $10^7$  kob/mL arasında olacak şekilde *E. coli* K-12 inokulasyonu yine aseptik koşullarda gerçekleştirildi. Rezervuar içerisinde homojen dağılım manyetik karıştırıcı (IX) ve balık yardımıyla sağlandı. Başlangıçta ilk vananın (V) kapalı konumda olmasıyla birlikte, inokule edilen hedef mikroorganizmanın rezervuar içerisinde kalması ve pompaya (I) homojen bir şekilde ulaşması sağlandı. Pompanın (I) ve vananın (V) açık konuma getirilmesi ile birlikte döngü başlatıldı. Pompa (I) istenilen akış hızına (1,26, 1,54 ve 1,68 L/dak) göre ayarlandı. PTFE boru ile sarmal şekilde çevrelenmiş olan 4 adet UV-C lambadan oluşan reaktör (II) kısmına ulaşan soğan suyu bu bölgede UV-C ışına maruz kaldı. Sarmal borunun etrafı Alüminyum folyo ile kaplandı ve bu sayede yansıyan (reflection) UV-C ışınların kaçmadan tekrar sisteme geri döndürülmesi sağlandı. Alüminyum ile kaplanmış olan sarmal borunun dışına gerektiğinde reaktör sıcaklığının ayarlanabilmesi ve kullanıcının UV-C ışına maruz kalmaması için paslanmaz çelik bir ceket yerleştirildi. İşlem esnasında reaktör içerisindeki UV-C lambalardan kaynaklı olarak sıcaklık değişimi olmadığı için söz konusu ceket kullanılmadı. Reaktörden çıkan soğan suyunun *E. coli* K-12 sayısını belirleyebilmek için III no’lu vanadan aseptik olarak numune alındı. Akabinde soğan suyu tekrar rezervuara ulaştı ve böylece bir döngü tamamlanmış oldu.





Şekil 3.1 Sürekli sistem UV-C reaktörü ve bileşenleri

Sürekli UV-C ışın reaktöründe döngü süreleri hesaplanırken; soğan suyunun haznedan çıkıp UV reaktöre ulaşmasına kadar geçen süreye  $t_1$ , reaktörde UV ışınına maruz kaldığı süreye  $t_2$ , reaktörden hazneye ulaştığı süreye  $t_3$ , hazneye tekrar tamamen dolduğu süreye  $t_4$  kodları verildi. Elde edilen bütün bu sürelerin toplamıyla bütün bir döngünün süresi hesaplandı.

$$t_{\text{toplam}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \quad (3.4)$$

UV uygulamasından sonra sistemdeki soğan suyu musluklar yardımı ile boşaltıldı. Daha sonra UV sistemi içerisine  $80^\circ\text{C}$ 'de sıcak su ilave edildi ve sistemde pompa yardımı ile gezdirildi. Sirkülasyon esnasında sistemin dezenfeksiyonu için UV-C lambalar açık konuma bulandırıldı. Bu işlem 3 kere tekrar edildi. Ardından, rezervuar sistemden ayrıldı ve bağlantı yerleri pamuk ve alüminyum folyo ile

kapatılarak 121°C’de, 15 dakika boyunca, 2 mPa basınç altında steril edildi. Sterilizasyon sonrası aseptik bir şekilde rezervuar sisteme tekrar bağlandı.

Çizelge 3.2 UV-C reaktör sisteminin özellikleri

Sistem bileşeni	Özelliği
Teflon Boru Uzunluğu	15,5 m
Teflon Boru Çapı	0,8 cm
UV Lambaların Teflon Boruya Uzaklığı	2,5 cm
Bağlantı Borularının Çapı	0,7 cm
Rezervuar Hacmi	2 L
UV Lamba Gücü	20 W
Pompa Gücü	29 W
UV Lamba Sayısı	4
UV Lamba Tipi	Düşük basınçlı civalı
UV Reaktörde Sarmal Dikey Uzunluğu	44 cm
UV Reaktörde Sarmal İç Çapı	11,5 cm

### 3.2.5 Akış Özelliklerinin ve Doz Değerinin Belirlenmesi

Akış modelini belirlemek üzere Reynolds sayısından faydalanıldı. Reynolds sayısı formülü aşağıdaki verilmektedir.

$$N_{Re} = \frac{Dv\rho}{\mu} \quad (3.5)$$

Denklem 3.5’de  $N_{Re}$  Reynolds sayısını,  $D$ , boru çapını (m), akışkan yoğunluğunu ( $\rho$ ), akışkan viskozitesini ( $\mu$ ), akışkan ortalama hızını ( $v$ ) ifade etmektedir.

Buna göre soğan suyunun yoğunluğu ve viskozitesi Yıldız (2016)’ya göre sırasıyla  $1024 \text{ kg/m}^3$  ve  $1,32 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$  olarak alındı. Bu değerlerle birlikte reaktörde kullanılan PTFE hortumun çapı da hesaba katıldığında akışta türbülans yaratabilmek için bir başka deyişle Reynolds sayısının 4000’den yüksek olabilmesi için gerekli olan

ortalama akış hızı değerleri hesaplandı. Ortalama akış hızı, borunun kesit alanına bölünen hacimsel akış hızı olarak tanımlanır.

İkincil türbülansın varlığı Dean sayısının aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanması ile belirlendi.

$$De = Re\sqrt{D/D_c} \quad (3.6)$$

Burada  $D$ , tüp yarıçapını,  $D_c$  ise helezonun yarıçapını ifade etmektedir.  $D/D_c$  oranının 0,03 ila 0,10 arasında olması ikincil türbülansı işaret eder (Koutchma vd., 2007). Tez kapsamında yer alan UV reaktörün tasarımında bu oran göz önünde bulunduruldu.

UV-C reaktörde yukarıda anlatıldığı gibi türbülans yaratan çeşitli akış hızları (1,26, 1,54 ve 1,68 L/dak) denenmiş olup, buradan Denklem 3.8 ve 3.9 kullanılarak soğan suyunun reaktörde kalış süresi ve ayrıca maruz kaldığı UV doz miktarı hesaplandı.

Soğan suyuna uygulanan toplam UV dozun değeri Shahbaz vd. (2016)'e göre aşağıdaki formül ile hesaplandı.

$$\text{UV doz (J/mL)} = \text{UV-C lambadan toplam çıkış (W)} \times \text{akış hızı (mL/s)} \quad (3.7)$$

### 3.2.6 Mikrobiyel İnaktivasyon Eğrisinin Belirlenmesi

Mikrobiyel azalmanın optimize edildiği 1,26 L/dak akış hızında soğan suyu içerisinde bulunan hedef mikroorganizmanın inaktive edilmesi için UV-C sürekli sistem reaktöründe işlem gördü. Sabitlenen bu koşullar ile yapılan kinetik çalışmada 10 döngü boyunca her bir döngüden örnekler alındı. Alınan örneklerde *E. coli* K-12 sayımı yapılarak, hedef mikroorganizmanın, inaktivasyon değerleri kaydedilerek, inaktivasyonu ifade eden model belirlendi.

### 3.2.7 Raf Ömrü Takibi

38,09 kJ/L doz değerinde ve 1,26 L/dak akış hızında üretilen soğan suyu raf ömrü takibi için kullanıldı ve yapılacak raf ömrü analizi gün sayısı doğrultusunda şişeler

kuru sterilizasyon (80 °C, 12 saat) işlemi sonrası hazır hale getirildi. Amber renkli 250 mL'lik şişelere 125 mL soğan suyu aseptik koşullarda ilave edilerek uygun koşullarda saklandı. Raf ömrü analizi için kullanılan soğan suyu partisinin daha önceden fizikokimyasal özellikleri ve mikrobiyel yükü belirlendi. 6 hafta boyunca soğan suyunun raf ömrü takip edildi. 15 günde bir, rastgele seçilen 3 şişe raf ömrü analizi için açıldı ve duyuusal, mikrobiyolojik ve fizikokimyasal analizler yapıldı. Sonuçlar çizelge ve grafiklerle kaydedildi.

### 3.2.8 Tekstürel Profil Analizi

Soğan suyu UV-C reaktörde işlem gördükten sonra (38,09 kJ/L doz değerinde ve 1,26 L/dak akış hızında) et dilimleri üzerindeki etkisi araştırılmak üzere tekstürel profil analizi yapıldı. Analiz için yağsız dana eti (sırt) kullanıldı. Et, kas liflerine paralel olacak şekilde, eşit ağırlıkta kesildi ve en fazla 12 saat bekletilme koşulu ile buzdolabı şartlarında, yaklaşık 450 mL soğan suyu içerisinde bekletildi. TPA (tekstürel profil analizi), kontrol ve marine edilmiş etler pişirilmeden önce tekstürel analiz cihazı ile N (sertlik) değerleri belirlendi. Kontrol için temin edilen etler de marine edilmiş etler ile aynı koşullarda depolandı. TPA analizi, Brookfield marka cihazda, silindirik ve 12,7 mm' lik prob kullanılarak yapıldı. Prob hızları; 3,0 mms<sup>-1</sup> (pretest), 1,0 mms<sup>-1</sup> (test) ve 3,0 mms<sup>-1</sup> (posttest). Prob, numunenin %75 kalınlığına kadar baskı uygulamak üzere ayarlandı (Huidobro vd., 2005). Aynı işlem her bir test için 2 kez uygulandı. Kaydedilen sonuçlar Minitab versiyon 14.0 (ABD) yazılımına aktarılarak istatistiksel olarak hesaplandı ve tek-yönlü ANOVA testi ile analiz edildi. P-değerinin 0,05'den düşük olduğu farklar kayda değer olarak ifade edildi.

### 3.2.9 Sürekli Sistem UV-C Reaktör ile Isıl İşlemin Kombinasyonu

UV-C ile ısıl işlem kombinasyonu denemeleri akış hızının 1,26 L/dak, başlangıç *E. coli* K-12 yükünün 10<sup>6</sup> ilâ 10<sup>7</sup> kob/mL arasında, soğan suyu hacminin 1500 mL ve 4 adet UV-C lambanın açık konumda olduğu koşullarda gerçekleştirildi. Isıl işlem uygulaması için ise, rezervuarın ceketine (Şekil 3.1'de IV no'lu bileşen), su banyosunda 50, 55 ve 60°C'ye ayarlanmış sıcak su dolduruldu. Doldurma işlemi pompa (Şekil 3.1'de VII no'lu bileşen) ile yapıldı ve suyun derecesinin sabit kalması için cekete Şekil 3.1'de VI no'lu bileşen olarak gösterilen su banyosundan sürekli

sıcak su aktarımı yapıldı. Sıcaklığın ortam şartlarından etkilenmemesi için rezervuarın etrafı yalıtım malzemesi ile kaplandı. Rezervuardaki örneğin sıcaklığı, Şekil 3.1’de VIII no’lu bileşen olarak gösterilmiş olan cam ve steril termometre ile kontrol edildi. Sadece ısıtma işlemi (55°C) uygulaması yapıldığı denemede ise UV-C lambalar kapalı konumda tutuldu. Söz konusu sistemin fotoğrafı Şekil 3.2’de verildi.



Şekil 3.2 Sürekli sistem UV-C reaktör ile ısıtma işleminin kombinasyonu

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1 Sürekli Sistem UV-C Reaktör

Tez çalışması kapsamında tasarlanmış olan sürekli sistem UV-C reaktörde pastörizasyonu yapılacak olan soğan suyunun sistemden geçiş süreleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Toplam döngü süreleri;  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  ve  $t_4$  sürelerinin toplanması ile elde edilmiş olup, söz konusu süreler Materyal ve Yöntem 3.2.4 bölümünde tanımlanmıştır. Sistemde akışı sağlanan soğan suyunun akış hızı artırıldıkça, toplam döngü süresi beklenildiği şekilde azalmıştır. Çizelge 4.1’de verilmiş olan değerlere göre, akış hızının 1,26, 1,53 ve 2,06 L/dak olduğu durumlarda, 10. döngü sonunda teorik olarak soğan suyu reaktör içerisinde sırasıyla toplam 487,9, 324,6 ve 275,0 sn UV-C ışına maruz kalmıştır.

Çizelge 4.1 Akış hızına göre 1500 mL soğan suyunun sistemden geçiş süreleri

Akış hızı (L/dak)	Soğan suyunun sistemden geçiş süresi				Toplam döngü süresi (sn)	Toplam döngü süresi (dak)
	$t_1$ (s)	$t_2$ (s)	$t_3$ (s)	$t_4$ (s)		
1,26	1,82	48,79	3,12	53,86	107,59	1 dk 48 sn
1,54	1,10	32,46	2,57	37,37	73,50	1 dk 13 sn
2,06	1,10	27,50	1,90	32,46	62,96	1 dk 03 sn

Bunun yanında, sürekli sistem UV-C reaktörde soğan suyunun pastörizasyonunu incelemek amacıyla hedef mikroorganizma olarak seçilen aside adapte *E. coli* K-12’nin başlangıç mikrobiyel yükünün  $10^6$  ilâ  $10^7$  kob/mL arasında olması için yöntemler, Mikrobiyolojik Analizler bölümünde bahsedildiği şekilde hazırlanan *E. coli* K-12 tüplerinden 20 tüp/750 mL soğan suyu ya da 50 tüp/1500 mL soğan suyu oranlarında inokule edilmesi gerektiği yapılan denemeler ile belirlenmiştir.

Çizelge 4.2 incelendiğinde akış hızının 1,26, 1,54 ve 2,06 L/dak olduğu denemelerde hesaplanan Reynolds sayısı değerlerinin 2000’den fazla olduğu görülmektedir. Newton tipi sıvılarda Reynolds sayısının 2000’den fazla olduğu akışlarda türbülans olduğu belirtilmiştir (Koutchma vd., 2007).

Sarmal geometrinin, tüp içerisinde ilave türbülans oluşturmak gibi bir özelliği vardır. İç ve dış sınır seviyesi arasında yer alan kavisli yarıçap sayesinde Dean etkisi adı verilen ikincil bir türbülans oluşumu söz konusudur. Bu gibi akış biçimlerindeki akış hareketini ifade eden parametre Dean ( $D_e$ ) sayısıdır. Dean sayısı, Reynolds sayısı ile  $D/D_c$  (tüp çapı/sarmalın çapı) oranının çarpılmasıyla elde edilir. İkincil akış girdaplarının özellikle  $D/D_c$  oranının 0,03 ila 0,10 arasında olduğu durumlarda çoğaldığı belirtilmiştir (Dean, 1927). Tasarlanmış olan sistemde  $D/D_c$  oranının 0,073 olması, soğan suyunda oluşan ikincil akışın türbülansa ek bir karışım sağladığını göstermiştir (Çizelge 4.2).



Çizelge 4.2 Tasarlanan sürekli sistem UV-C reaktörün ve akışın özellikleri

Pompa kademesi	Boru özellikleri		Sıvının reaktörde aldığı yol	Ürün özellikleri		Reynolds sayısı	Akış özellikleri				Reaktör özellikleri			
	D (m)	r (m)	L (m)	$\mu$ (Pa.s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	N <sub>Re</sub>	v (m/s)	A (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (L/d ak)	Dean sayısı	V (L)	D <sub>c</sub> (m)	D/D <sub>c</sub>
2.	8x10 <sup>-3</sup>	4x10 <sup>-3</sup>	15,53	1,32x10 <sup>-3</sup>	1024	2586	0,42	5,03 x10 <sup>-5</sup>	2,09x10 <sup>-5</sup>	1,26	697			
3.	8x10 <sup>-3</sup>	4x10 <sup>-3</sup>	15,53	1,32x10 <sup>-3</sup>	1024	3139	0,51	5,03 x10 <sup>-5</sup>	2,54 x10 <sup>-5</sup>	1,54	847	0,78	1,10x10 <sup>-1</sup>	0,073
4.	8x10 <sup>-3</sup>	4x10 <sup>-3</sup>	15,53	1,32x10 <sup>-3</sup>	1024	4246	0,68	5,03 x10 <sup>-5</sup>	3,44 x10 <sup>-5</sup>	2,06	1145			



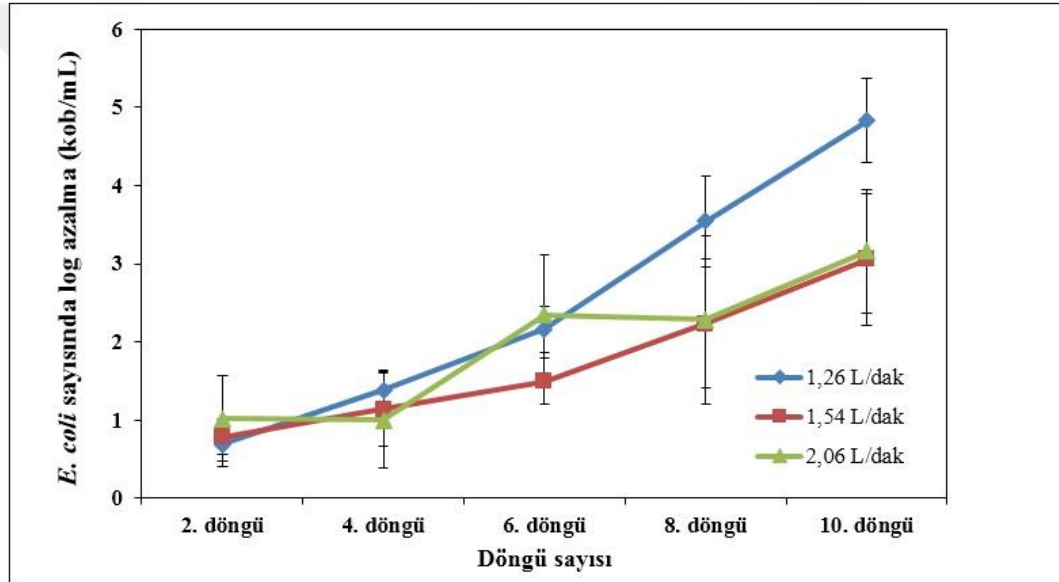
## 4.2 Akış Hızının *E. coli* K-12 İnaktivasyonu Üzerine Etkisi

Tasarlanmış olan sürekli sistem UV-C reaktörde, soğan suyunun, 1,26, 1,54 ve 2,06 L/dak akış hızlarında geçişi esnasında her bir döngü için *E. coli* K-12 inaktivasyonu incelenmiştir. Şekil 4.1’de verilmekte olan sonuçlara bakıldığında en yüksek *E. coli* sayısında log azalma değeri 1,26 L/dak akış hızınının 10. döngüsünde elde edilmiştir. Koutchma vd. (2007), yüksek absorptivite değerlerine (yaklaşık  $>15 \text{ cm}^{-1}$ ) sahip meyve sularında 5log’luk azalma standardını karşılamak için, sıvı ürünün birden fazla kez sistemden geçiş yapması gerektiğini bildirmiştir. Soğan suyunun absorbands katsayısının  $35,1 \text{ cm}^{-1}$  olduğu bilinmektedir (Yıldız, 2016), bu nedenle UV-C reaktörden birden fazla geçiş yapması benzer çalışmalar ile uyumludur (Donahue vd., 2004; Guerrero-Beltran ve Barbosa-Canovas, 2005; Crook vd., 2015).

Çalışılmış olan sistemde 1,26 L/dak akış hızında, toplam 8,13 dak (10. döngüsünde), 38,1 J/mL doz değerinde UV-C ışığa maruz kalmış olan soğan suyunda, FDA’nın mikrobiyel yükte 5log azalma kriterine ulaşılmıştır. Müller vd. (2014) sarmal tip bir UV reaktörde 100,47 J/mL (kJ/L) doz uygulanmış olan elma suyunda 0,5 log, üzüm suyunda ise yaklaşık 2log’luk toplam aerobik canlı sayımı düşüşü kaydetmişlerdir. Söz konusu düşüş 0,5 L/dak (30 L/saat) akış hızında, elma suyu için 1002, üzüm suyu için 1015 Reynolds sayısı ile sistemdeki 25. döngü sonucunda elde edilmiştir. Pala ve Toklucu (2013) ise yine sarmal bir sisteme 1,2 L/dak ile beslenen portakal suyundaki *E. coli* ATCC 25922’ye 36,09 J/mL UV doz uyguladıklarında 5,72log azalma gözlemlenmişlerdir. Gautam vd (2017) sürekli sistem sarmal tipte bir reaktörde 397,7 ve 596,4 Reynolds sayısına sahip akış uygulamasında, hindistan cevizi suyuna inokule edilmiş olan *E. coli* W1485’de 5 log ve üzeri inaktivasyon elde edebilmek için 0,802 J/mL doz uygulamışlardır.

Bu tez kapsamında, soğan suyuna 1,54 ve 2,06 L/dak akış hızları uygulandığında ise, 10. döngüde sırasıyla 31,2 ve 23,3 J/mL’lik doz değerlerine maruz kalmış olan soğan suyu örneklerinde ise 3’er log’luk azalmalar kaydedilmiştir. Bu durum, akış hızı arttıkça, inokule edilen mikroorganizmaların reaktörde kalış sürelerinin azalması ve dolayısıyla daha düşük doz değerlerine maruz kalmaları ile birlikte daha az inaktivasyon elde edilmesi şeklinde açıklanabilir (Feng vd., 2013). Bhullar vd. (2017)

sarmal tip bir UV-C reaktörde gerçekleştirdikleri bir çalışmada, farklı akış hızlarında sirküle edilen hindistan cevizi suyunda doz indikatörü olarak kullandıkları bakteriyofaj inaktivasyonu; bu tip reaktörlerde UV dozunun, ortalama kalış süresi ile doğru, akış hızıyla ise ters orantılı olduğunu ortaya koymuştur. Yine benzer bir sonuç olarak, sarmal tip UV reaktörde, akış hızının 5 gpm (18,9 L/dak)'den 7 gpm (26,7 L/dak)'e çıkarılmasıyla, model karamel çözeltilerine inokule edilmiş olan *E. coli* K12'nin inaktivasyonunda düşüş yaşandığı şeklinde bildirilmiştir (Koutchma vd., 2007). Bunun tam tersi bulgulara yer verilmiş olan çalışmalar da mevcuttur (Gautam vd., 2017).

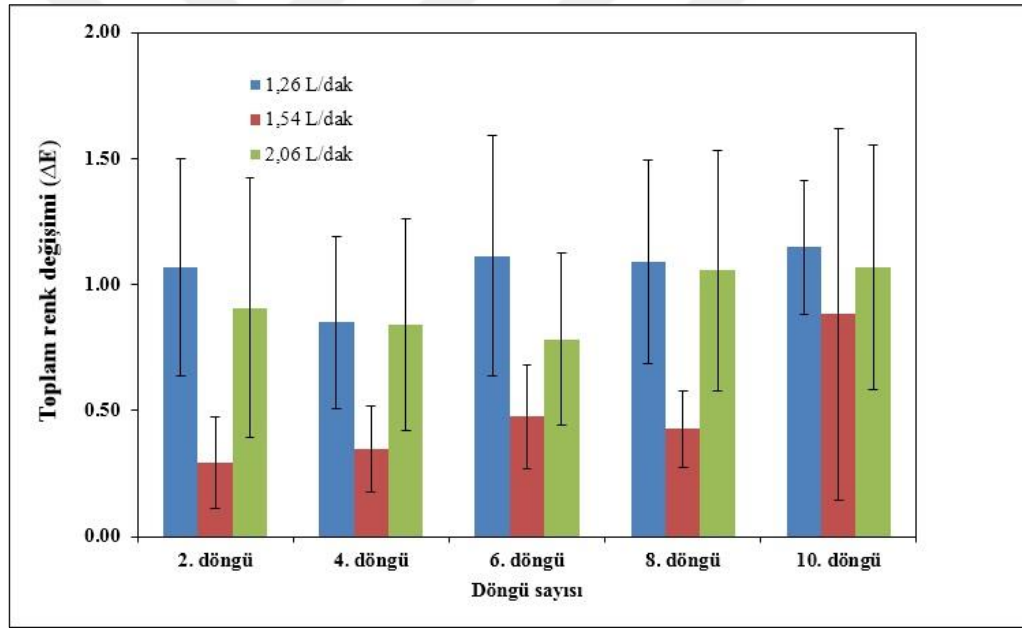


Şekil 4.1 Çeşitli akış hızlarında *E. coli* K-12 sayısında log azalma

### 4.3 Akış Hızının Toplam Renk Değişimi Üzerine Etkisi

1,26, 1,54 ve 2,06 L/dak akış hızlarında UV-C ile soğan suyunun muamelesi esnasında gerçekleşmiş olan renk değişimi, toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) olarak ifade edilmiştir. Şekil 4.2'ye bakıldığında 2. döngüden itibaren, 1,54 L/dak akış hızında soğan suyu örneklerinin renginin diğer iki akış hızına göre daha az değiştiği görülmüştür. Söz konusu durumun kullanılan soğan suyu partileri arasındaki farklılıklardan kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Bunun yanında Şekil 4.2 incelendiğinde; en

yüksek *E. coli* K-12 sayısında log azalma değerinin elde edildiği 1,26 L/dak akış hızında, 10. döngü sonucunda, toplam renk değişiminin 1,15 seviyesinde kaldığı ve Cserhalmi vd. (2006)'ye göre "hafifçe farkedilebilir" sınıfına dahil olduğu görülmüştür. Feng vd. (2013) tarafından sarmal tipte bir reaktörde 37,5 J/mL doz seviyesinde UV-C ile muamele edilmiş olan kavun suyu örneklerinde toplam renk değişiminin 0,90, Caminiti vd. (2012) tarafından tırmanan film UV reaktöründe *E. coli* sayımında 5log'luk azalma sağlamış olan 5,31 J/cm<sup>2</sup>'lik UV doz uygulaması sonrasında ise elma suyunda toplam renk değişiminin 0,68 seviyesinde kaldığı görülmüştür. Mohd-Hanif vd. (2016) ise Dean vorteks ile çalışan bir reaktörde 22,76 mJ/cm<sup>2</sup>'lik bir UV uygulaması sonucunda misket limonu suyunda 1,78'lik toplam renk değişimi meydana geldiğini görmüşlerdir.

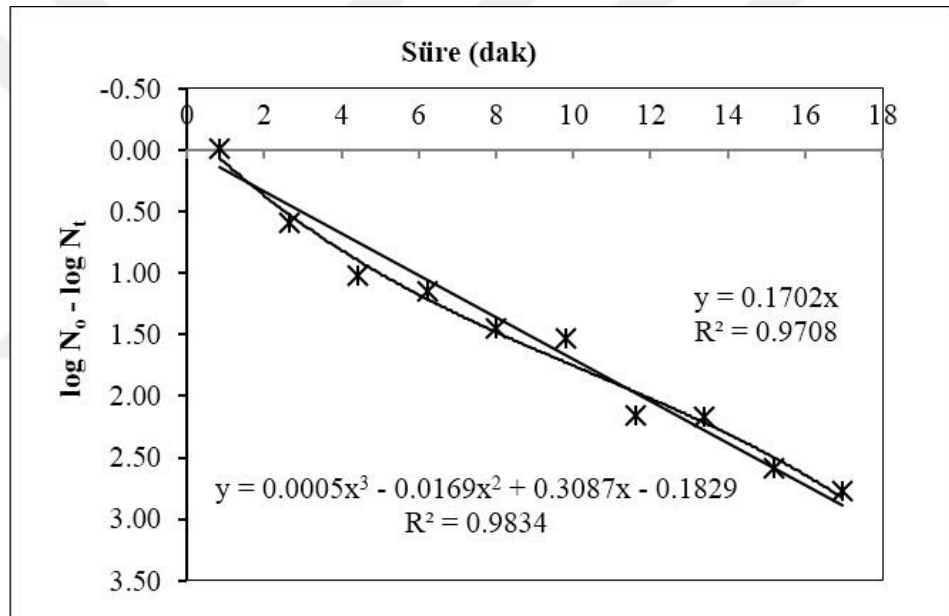


Şekil 4.2 Çeşitli akış hızlarında toplam renk değişimi (ΔE)

#### 4.4 Optimum Akış Hızında *E. coli* K-12 İnaktivasyon Kinetiği

*E. coli* K-12 inaktivasyonunun 5 log kriterine 1,26 L/dak akış hızında (10. döngüsünde) 38,1 J/mL doz değerinde ulaşılmış olduğundan, soğan suyunun bu koşullarda sürekli sistem UV-C reaktörde işlem görmesi esnasında her bir döngüden örnek alınmıştır. 0,84 ilâ 16,98 dakikalar arasında gerçekleştirilen örnek alma işlemi

sonucunda, *E. coli* K-12 sayımındaki değişime Şekil 4.3’de yer verilmiştir. Şekil 4.3 incelendiğinde uygulanan lineer modelin, deneysel veriler ile %97,08’lik bir oranla korelasyon gösterdiği söylenebilir. Birinci dereceden inaktivasyon modeli hedef mikroorganizma inaktivasyonu üzerine yapılan çalışmalarda en çok başvurulan ve en basit yaklaşımdır (Koutchma, 2009). Elde edilen veriler, üçüncü dereceden polinomial bir model uygulandığında korelasyon yüzdesi %98,34’e çıkmıştır. Polinomial modelin düz çizgi üzerine denk gelmeyen ilk kısımdaki noktaları hesaba kattığı düşünülmektedir (Guerrero-Beltran ve Barbosa-Canovas, 2005). UV-C sürekli sistemde *E. coli* inaktivasyonunda daha yüksek korelasyon oranına ulaşabilmek için lineer olmayan diğer modellerin de denenmesi gerekmektedir.



Şekil 4.3 *E. coli* K-12'nin soğan suyunda sürekli sistem UV-C reaktör ile inaktivasyon eğrisi

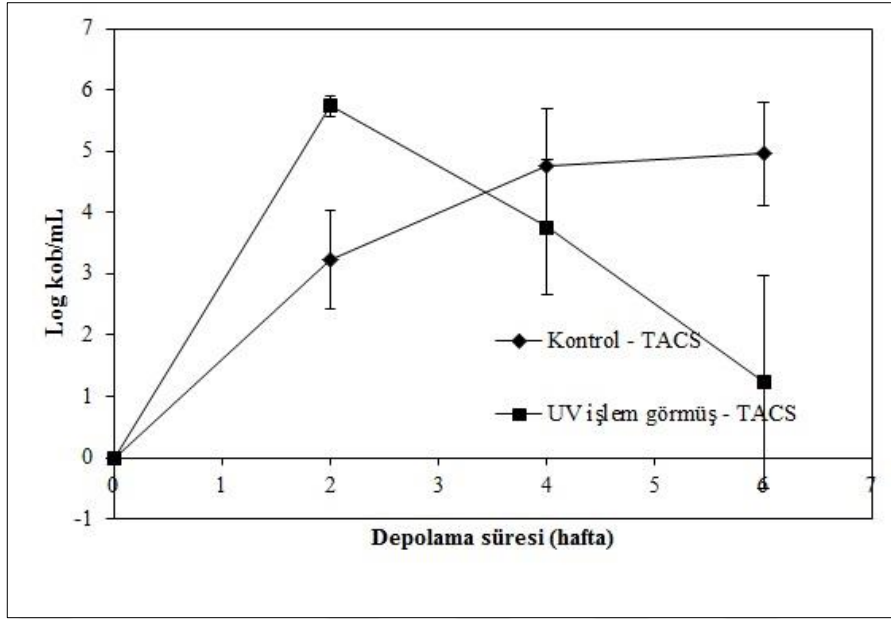
#### 4.5 Raf Ömrü Takibi

Raf ömrü takibi için UV-C işlem görmüş soğan suyu, Materyal ve Yöntem 3.2.1 bölümünde verilmekte olan yöntemle elde edildikten sonra 1,26 L/dak akış hızında ve 10. döngü sonucunda elde edilen UV-C ışınlama koşullarında pastörize edilerek üretilmiştir. Kontrol soğan suyu ise; aynı yöntemle elde edildikten sonra hiçbir işleme

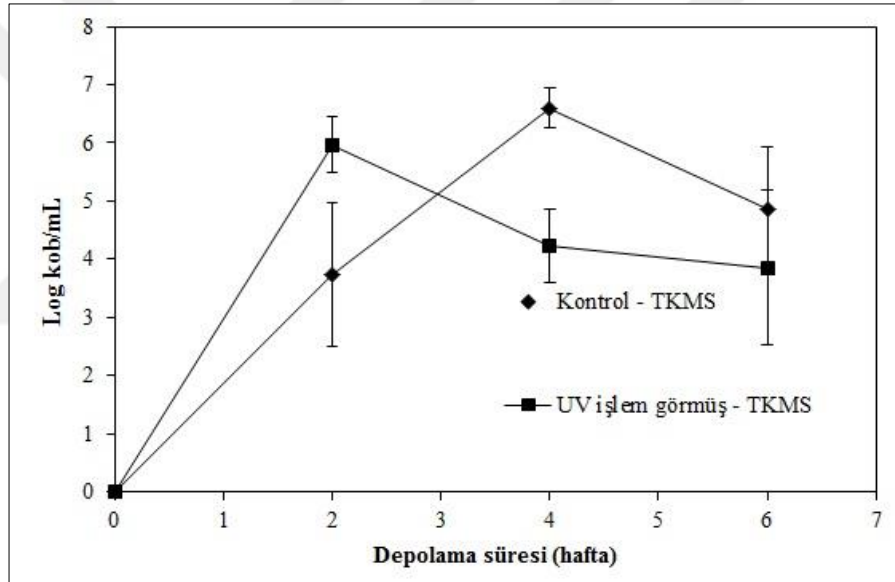
tabi tutulmadan doğrudan şişelenmiştir. Bahsedilen koşullarda üretilen soğan suları amber şişelerde ve oda sıcaklığında 6 hafta boyunca takip edilmiştir.

Şekil 4.4a ve b'de işlem görmemiş soğan suyu (kontrol) ve UV-C ile işlem görmüş soğan suyunda depolama süresi boyunca toplam aerobik canlı sayısının (TACS) ve toplam küf ve maya sayısının (TKMS) logaritmik değişimi verilmiştir. Buna göre Şekil 4.4a ve b'de görülebileceği gibi soğan suyunun başlangıç toplam aerobik canlı yükü ve toplam küf ve maya yükü 0 log kob/mL'dir. İkinci haftanın sonunda işlem görmemiş olan soğan suyunun toplam aerobik canlı yükü  $3,23 \pm 0,81$  log kob/mL, toplam küf ve maya yükü ise  $3,73 \pm 1,23$  log kob/mL seviyelerine çıkmıştır. Ünlütürk ve Atılğan (2014) tarafından taze sıkılmış beyaz üzüm suyunun UV-C ile muamelesi üzerine yapılmış olan bir çalışmada ikinci haftanın sonunda (14. gün) işlem görmemiş olan örneklerde laktik asit bakterisi, maya ve toplam aerobik canlı sayısının 4 log kob/mL ve üzerinde elde edildiği ifade edilmiştir.

UV-C işlem görmüş örnekler için gerek toplam aerobik canlı sayısı gerekse toplam küf ve maya sayısı 6 hafta bitiminde kontrol örneklerinden düşük çıkmış ve sırasıyla  $1,23 \pm 1,73$  log kob/mL ve  $3,85 \pm 1,33$  log kob/mL seviyelerinde bulunmuştur.



(a)



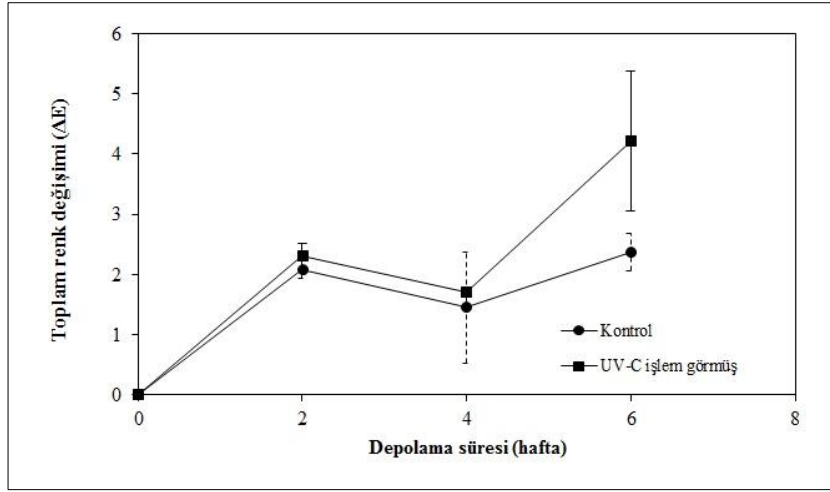
(b)

Şekil 4.4 İşlem görmemiş soğan suyu (kontrol) ve UV-C ile işlem görmüş soğan suyunda depolama süresi boyunca (a) toplam aerobik canlı sayısı (TACS) ve (b) toplam küf ve maya sayısı (TKMS) değişimi (hata çubukları üç deneyin ortalamasına ait standart sapma değeridir)

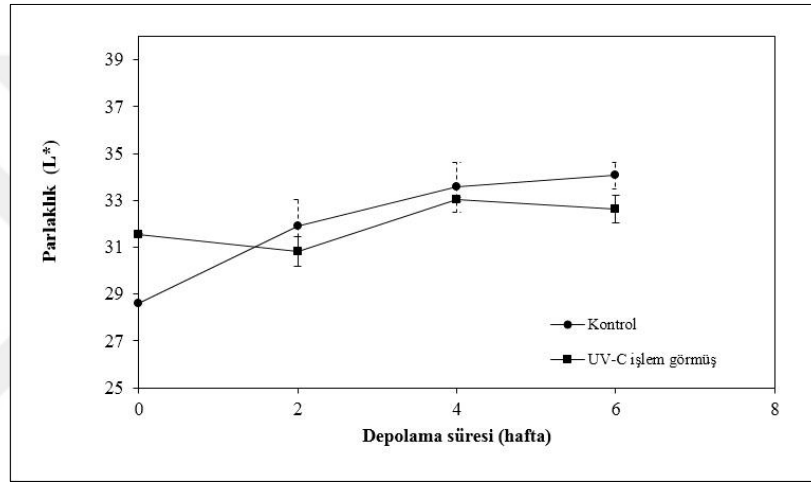
Mikrobiyolojik özelliklerin yanında fizikokimyasal özellikler de 6 hafta boyunca işlem görmemiş soğan suyu (kontrol) ve UV-C ile işlem görmüş soğan suyunda takip edilmiş olup sonuçlar Şekil 9'da verilmiştir. Buna göre Şekil 4.5a'ya bakıldığında, UV-C işlem görmüş örneklerde 6. hafta bitiminde kontrole göre daha yüksek renk değişimi olduğu söylenebilir. Fakat her iki çeşit için de elde edilen toplam renk değişimi

değerleri fark edilebilir ve hafifçe fark edilebilir sınıflarında yani düşük seviyede kalmıştır. Parlaklık değerlerine bakıldığında ise (Şekil 4.5b); hem kontrol hem de UV-C işlem görmüş soğan suyu örneklerinin parlaklığının 6. haftaya doğru artış gösterdiği görülmektedir. Kaya ve Ünlütürk (2016);  $L^*$  değerinde azalma,  $a^*$  değerinde ise artış görülmesinin iyi bir esmerleşme indikatörü olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada ise ters olarak  $L^*$  değerinde artış (Şekil 4.5b),  $a^*$  değerinde ise bariz bir azalış (Şekil 4.5c) olduğu görülmekte olup, tasarlanmış olan sürekli sistem UV-C reaktör ile işlem görmesi sonrasında soğan suyunun 6 hafta boyunca önemli ölçüde esmerleşmediği sonucuna varılmıştır. Bunun yanında UV-C ışınlamanın parlaklığı artırma etkisi olduğu ve depolama boyunca  $L^*$  değerinde artışa neden olduğu çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir (Donahue vd., 2004; Kaya vd., 2015).

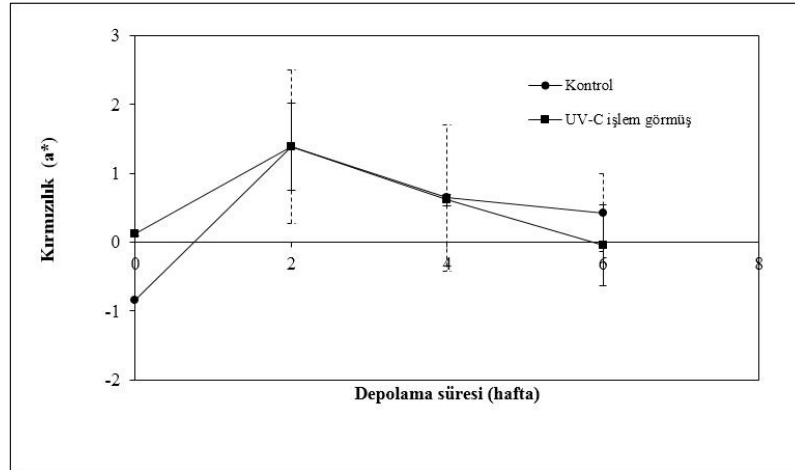




(a)



(b)

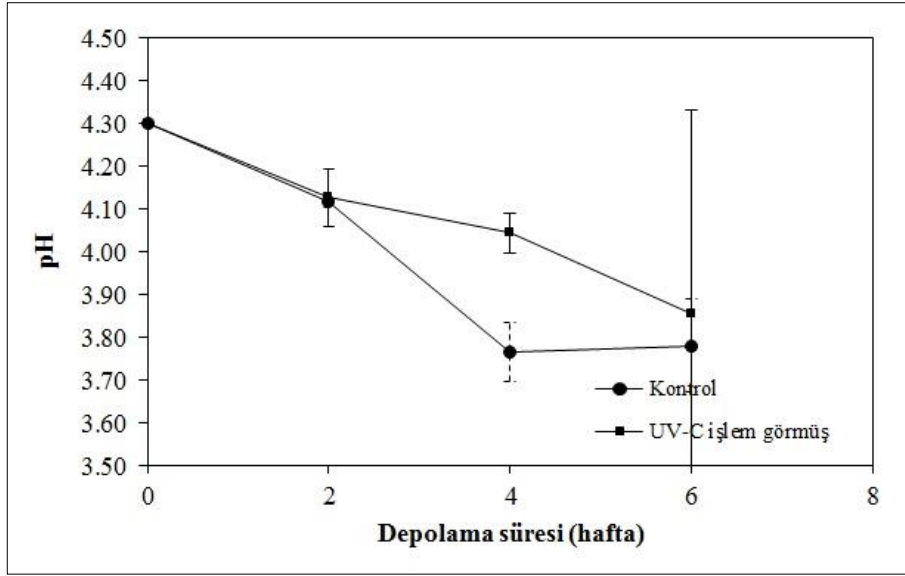


(c)

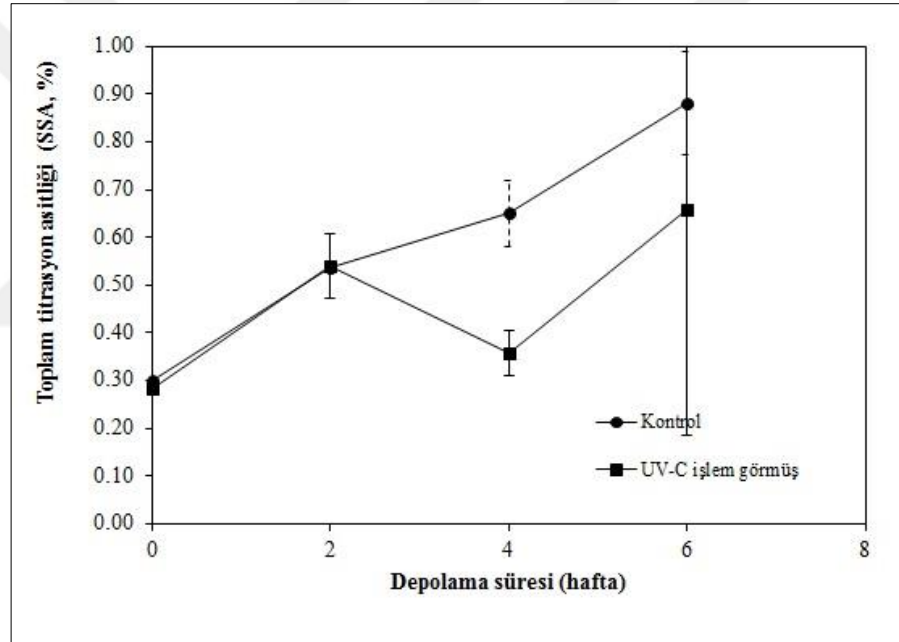
Şekil 4.5 İşlem görmemiş (kontrol) ve UV-C ile işlem görmüş soğan suyunda depolama süresi boyunca (a) toplam renk değişimi, (b) parlaklık ve (c) kırmızılık değişimi (hata çubukları üç deneyin ortalamasına ait standart sapma değeridir)



Yine 6. haftanın sonunda kontrol ve UV-C işlem görmüş örneklerin pH değerlerinin 3,80 seviyelerine gerilediği görülmüş olup (Şekil 4.6a), bu sonucun mikrobiyel gelişimden kaynaklandığı düşünülmektedir. pH düşüşüne paralel olarak toplam titrasyon asitliği de 6. haftanın sonunda kontrol ve UV-C işlem görmüş örnekler için başlangıç seviyesine göre kayda değer oranda yükselmiştir (Şekil 4.6b). Benzer olarak, Ünlütürk vd. (2014) taze sıkılmış bulanık üzüm suyunun anüler sistem UV-C reaktörde muamele etmiş ve takip edilen raf ömrünün son aşamasında pH değerinde düşüş, toplam titrasyon asitliğinde ise artış gözlemlemişlerdir. Suda çözünen katı madde ve enzimatik olmayan esmerleşme değerlerinde, hem kontrol hem de UV-C işlem görmüş örneklerde 6 hafta boyunca önemli bir değişim gözlemlenmemiştir (Şekil 4.7c, 4.8a). Bunun yanı sıra, bulanıklık değerinde her iki örnek çeşidi için de 2 katına yaklaşan artış belirlenmiştir (Şekil 4.7b). Bakteri, küf ve maya sayısındaki artışla birlikte soğan suyunun bulanıklığının da artmış olabileceği düşünülmektedir (Kaya vd., 2015). Toplam fenolik madde oranında ise, Şekil 4.8b'ye bakıldığında, 6. hafta bitiminde UV-C işlem görmüş örneklerde, kontrole göre önemli ölçüde artış tespit edilmiştir.

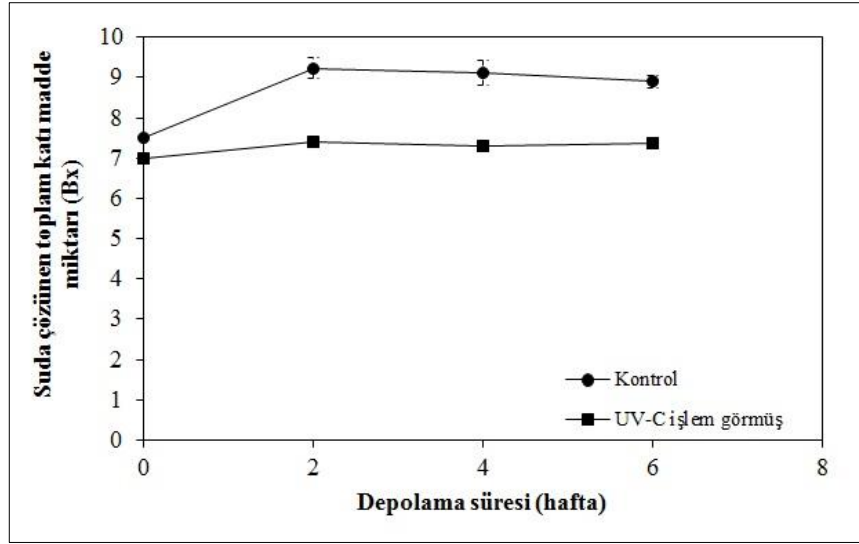


(a)

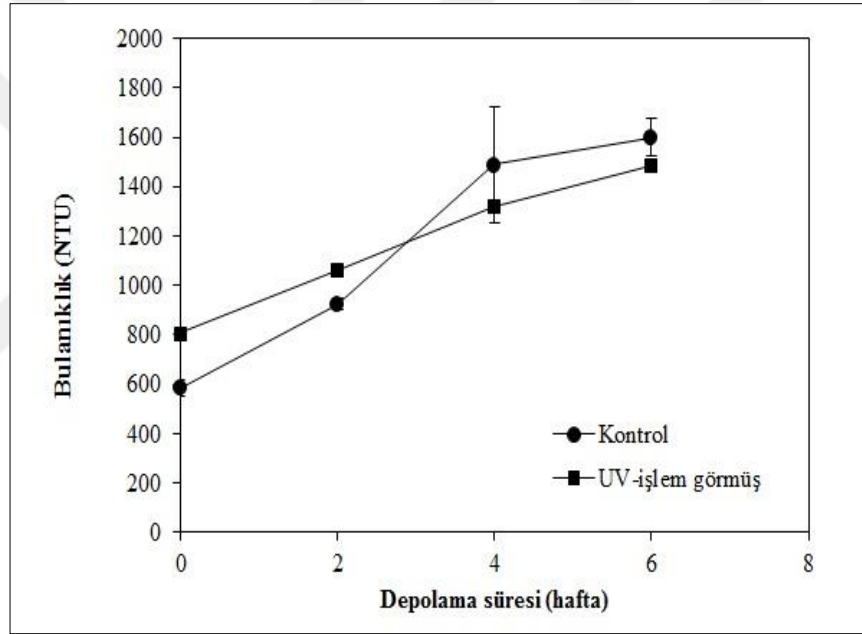


(b)

Şekil 4.6 İşlem görmüş soğan suyu ve UV-C ile işlem görmüş soğan suyunun depolama süresi boyunca a) pH değışimi ve b) toplam titrasyon asitliği değışimi

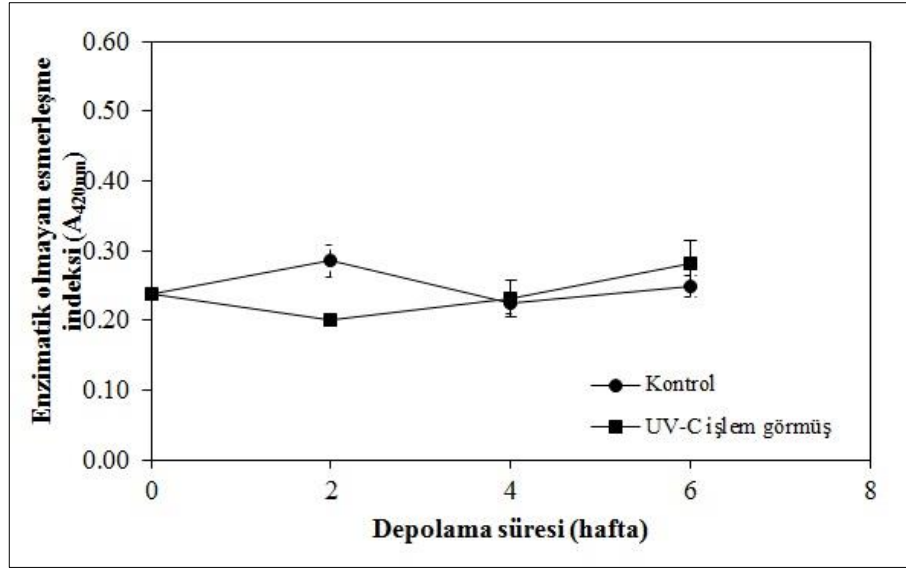


(a)

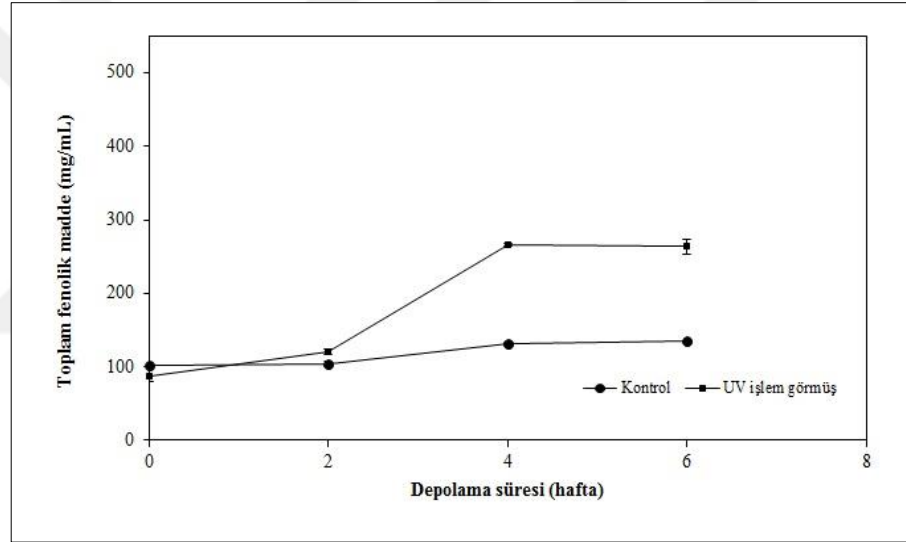


(b)

Şekil 4.7 İşlem görmüş soğan suyu ve UV-C ile işlem görmüş soğan suyunda depolama süresi boyunca a) suda çözünen toplam katı madde miktarı ve b) bulanıklık değişimi



(a)



(b)

Şekil 4.8 İşlem görmüş soğan suyu ve UV-C ile işlem görmüş soğan suyunda depolama süresi boyunca a) enzimatik olmayan esmerleşme indeksi ve b) toplam fenolik madde değişimi

#### 4.6 Tekstür Profil Analizinin Belirlenmesi

Marine edilmemiş (kontrol) ve UV-C işlem görmüş soğan suyunda (1,26 L/dak akış hızında ve 10. döngü sonucunda elde edilen UV-C ışınlama koşullarında) marine edilmiş etlerin tekstürel profil analiz sonuçları Çizelge 4.3'te özetlenmiştir. Elde edilen sonuçlar her bir tekstürel profil analiz parametresi için tek-yönlü ANOVA testi ile analiz edilmiş, *P*-değerinin 0,05'den düşük olduğu farklar kayda değer olarak ifade

edilmiştir. Buna göre kontrol ve UV-C işlem görmüş soğan suyunda marine etler arasında Sertlik-1 açısından kayda değer bir fark görülmüştür. Bunun yanında, UV-C işlem görmüş soğan suyunda marine edilmiş olan etlerin Sertlik-1 değeri kontrole göre bariz olarak daha düşüktür. Bu durum, daha önceki bir çalışmada (Yıldız, 2016) ortaya konulduğu gibi soğan suyunun eti yumuşatma özelliği olduğunu yeniden vurgulamış olup, ayrıca, UV-C reaktörde işlem görmesi sonucu soğan suyunun bu özelliğini kaybetmediğine işaret etmiştir. Soğan (*A. cepa* L.)'ın etin yumuşamasında rol alması muhtemel olan proteolitik enzimler içerdiği bildirilmiştir (Lin ve Yao, 1995). Ayrıca, ananas suyunda yapılan bir çalışmada ise bünyesindeki proteolitik enzimlerin UV-C ışınlama sonucunda aktivitesini %63,1 oranında koruduğu tespit edilmiştir (Sew vd., 2014). Sertlik-2 değeri ölçümleri ise örneklerin karşılaştırması açısından Sertlik-1 değerleri ile benzerlik göstermektedir. Yapışkanlık bakımından istatistiksel olarak farklı ( $P<0,05$ ) bulunan her iki et grubundan, UV-C işlem görmüş soğan suyunda marine edilmiş olan etlerin kontrole göre daha yapışkan olduğu tespit edilmiştir. Esneklik değerlerine bakıldığında incelenen her iki tip soğan suyu ile marine edilmiş olan etlerin birbirinden farklılık gösterdiği, en yüksek esneklik değerine ise işlem görmemiş soğan suyunda marine et ile ulaşıldığı görülmüştür.

Çizelge 4.3 Marine edilmemiş ve reaktörde UV-C ile ışınlanmış soğan suyunda marine edilmiş etlerin tekstürel profil analiz sonuçları

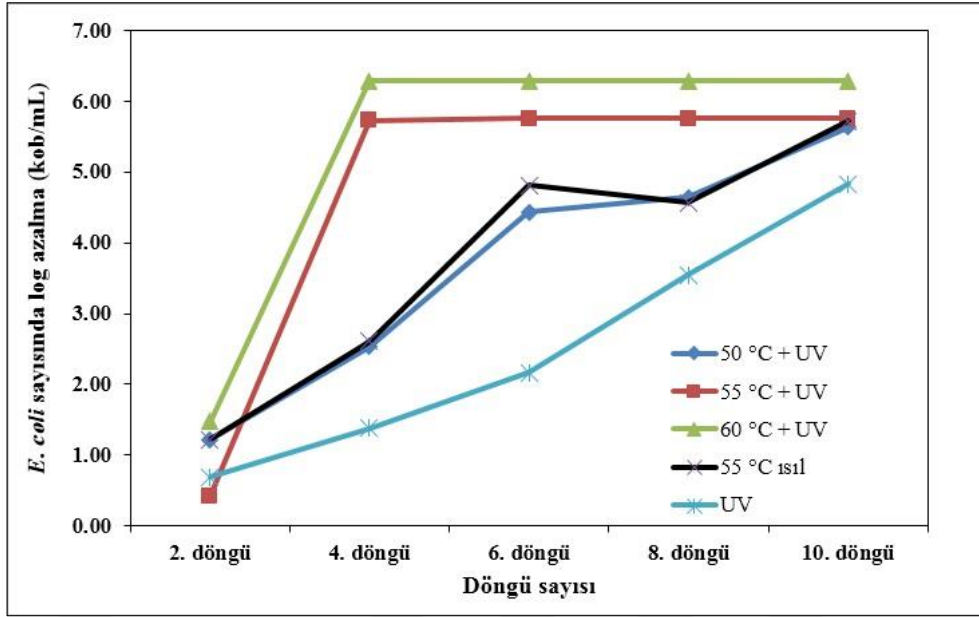
Tekstürel profil analizi parametresi	Kontrol (marine edilmemiş)	UV-C işlem görmüş soğan suyunda marine
Sertlik -1 (N)	35,7 ± 8,1 <sup>a</sup>	7,9 ± 2,7 <sup>b</sup>
Sertlik -2 (N)	24,2 ± 5,4 <sup>a</sup>	6,6 ± 2,1 <sup>b</sup>
Yapışkanlık (mJ)	0,3 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,5 ± 0,0 <sup>b</sup>
Esneklik (mm)	4,6 ± 0,4 <sup>a</sup>	3,0 ± 0,3 <sup>b</sup>

Not: Sonuçlar 3 sonucun ortalaması ± standart sapma şeklinde verilmiştir. Aynı satırda yanında harf bulunan sonuçlar arasında kayda değer fark ( $P<0,05$ ) bulunmaktadır.

#### 4.7 Sürekli Sistem UV-C Reaktör ile Isıl İşlemin Kombinasyonu

UV-C teknolojisinin sahip olduğu bazı kısıtlamalar nedeniyle, bu uygulama sıklıkla mikrobiyel inaktivasyon ve meyve/sebze suyu kalitesinin tutarlılığında maksimum faydayı sağlamak için diğer işleme teknikleriyle kombine edilir. Çalışmanın bu bölümünde; soğan suyunun pastörizasyonu amacıyla sürekli sistem UV-C ışınlama işlemi, ısıl işlem ile Bölüm 3.2.4'te belirtildiği gibi kombine edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.9'da verilmiştir. Şekil 4.9 incelendiğinde; UV-C işlem uygulamasının (1,26 L/dak akış hızı) hedef mikroorganizmada 5 log azalma kriterini sağlamakta tek başına yetersiz kaldığı görülmüştür. Aynı sistemde tek başına 55 °C'de ısıl işlem uygulandığı durumda ise, 5 log azalma kriterine ancak 10. döngüde ulaşılabildiği görülmüştür. Bunun yanında UV-C uygulaması ile 55 °C ısıl işlem kombine edildiğinde yalnızca 4. döngü sonunda 5 log azalma kriterine ulaşılmıştır. Ayrıca, söz konusu kombinasyon koşullarında, soğan suyunda toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) 0,72 seviyesinde kalmıştır. Döngü sayısının azalması ile birlikte, pastörizasyon işlemi daha kısa sürmüş ve dolayısıyla işlem daha ekonomik bir hale gelmiş olup, işlem sonunda ürünün duyu özelliklerinin de daha olumlu yönde etkilenmesi muhtemeldir. Elde etmiş olduğumuz bulgulara benzer olarak, Gouma vd. (2015)'nin elma suyunun anüler tip ince film UV-C reaktöründe işlem görmesi üzerine yapmış oldukları bir çalışmada, UV-C ışınlama (13,81–5,20 J/mL) ve ılımlı ısıl işlemin (45–60 °C) kombinasyonu sonucunda *Saccharomyces cerevisiae* inaktivasyonunda sinerjistik bir etki görüldüğü belirtilmiştir. Benzer şekilde portakal suyu üzerine Gayán vd. (2012) tarafından yapılmış olan bir çalışmada, UV-C ışınlama (23,72 J/mL) ve ılımlı ısıl işlemin (55 °C) kombine edilmesi ile birlikte *E. coli* inaktivasyonunda 5 log seviyesinin üzerine çıktığı rapor edilmiştir.

Çalışmanın bu kısmında akış hızının göreceli olarak yüksek olması nedeniyle, her bir döngü esnasında yeterli hacimde numune almak mümkün olamamış, bu nedenle yalnızca mikrobiyel değerlendirme yapılabilmiş, soğan suyunun fizikokimyasal ve duyu özellikleri detaylı olarak takip edilememiştir. Bunun yanında, kombinasyon işleminin sürekli sistemde soğan suyu pastörizasyonu için daha ılımlı ısıl işlem ve UV-C koşulları kullanımına olanak tanıdığı ortaya konulmuştur.



Şekil 4.9 Soğan suyuna uygulanan çeşitli işlemler sonrası hedef mikroorganizmada logaritmik azalma

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada tasarlanan ve hayata geçirilen sürekli sistem UV-C reaktör ile soğan suyunun pastörizasyonu incelenmiştir. Ayrıca, pastörize soğan suyunun mikrobiyel yükü yanında bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri de raf ömrü çalışması ile takip edilmiştir. Soğan suyunun sürekli sistem UV-C ışınlama ile pastörize edilmesi için hedef mikroorganizma olarak yararlanılan *Escherichia coli* K-12 suşu üzerinde optimum koşullar olarak belirlenen 1,26 L/dak akış hızı, 2586 Reynolds sayısı ve 38,1 J/mL UV dozu koşullarında FDA kriteri olan 5log azalmaya ulaşılmıştır. Belirlenmiş olan optimum koşullarda soğan suyunda *E. coli* K-12 inaktivasyonunu, üçüncü dereceden polimoniyel model denklem olarak ifade edilmiştir. Fakat raf ömrü boyunca UV-C işlem görmüş olan örneklerde 2. haftada mikrobiyel gelişim olması, sistem ve pastörizasyon koşulları ya da mikroorganizmanın reaktivasyonu üzerinde daha fazla çalışma yapılması gerektiğine işaret etmiştir. Raf ömrü takibi boyunca UV-C işlem görmüş örneklerin toplam renk değeri değerleri fark edilebilir ve hafifçe fark edilebilir seviyede kalmış olup, 6 hafta boyunca örneklerde enzimatik olmayan esmerleşme başlangıca göre değişim göstermemiştir. Soğan suyunda marine edilmiş olan et örnekleri üzerinde yapılmış olan tekstür analizi, UV-C işlem görmüş soğan suyunda marine edilmiş olan etlerin, marine edilmemiş olanlara göre sertlik değerini düşürdüğü belirlenmiştir. Ayrıca, 15,24 J/mL doz değerindeki UV-C ışınlamanın, 55 °C'deki ılımlı ısıtma işlem koşulları ile kombine edildiğinde, hedef mikroorganizmada 5log'luk inaktivasyon sağlanmıştır. Çalışmanın bu kısmında UV-C ışınlama ile ısıtma işleminin kombine edilmesinin mümkün olduğu ortaya konulmuş olup, ileriki çalışmalarda bu tip kombinasyonun ürünün fizikokimyasal özellikleri üzerinde yaptığı değişimin izlenmesi düşünülmektedir. Bunun yanında, tez kapsamında oluşturulan sistem ile soğan suyunun pilot ölçekli UV-C sistem ile üretiminin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan bilgi altyapısı sağlanmıştır.



## KAYNAKLAR

- Adhikari, C., Koutchma, T., Beecham-Bowden, T., Evaluation of HHEVC (4, 4',4''-tris-di-B-hydroxyethyl aminotriphenylacetonitrile) dye as a chemical actinometer in model buffers for UV treatment of apple juice and cider, *Food Science and Technology*, 38, 717–725, 2005.
- Alberini, F., Simmons, M.J., H., Parker, D.J., Koutchma, T., Validation of hydrodynamic and microbial inactivation models for UV-C treatment of milk in a swirl-tube ‘Sure-Pure Turbulator™’, 162, 63-69, 2015.
- Bintsis, T., Litopoulou-Tzanetaki, E., Robinson, R.K., Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry and a critical review, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 637-645. 2000.
- Caminiti, I.M., Palgan, I., Muñoz, A., Noci, F., Whyte P., Morgan, D.J., Cronin, D.A., Lyng, J. H., The effect of ultraviolet light on microbial inactivation and quality attributes of apple juice, *Food Bioprocess Technology*, 5, 680–686, 2012.
- Canitez, N., Pasteurization of apple cider with UV irradiation. The University of Maine, Doktora Tezi, 95, 2002.
- Corrales, M., de Souza, P.M., Stahl, M.R., Fernandez, A., Effects of the decontamination of a fresh tiger nuts milk beverage (Horchata) with short wave ultraviolet treatments (UV-C) on quality attributes, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 13, 163–168, 2012.
- Crook, J.A., Rossitto, P.V., Parko, J., Koutchma, T., Cullor, S.J. Efficacy of ultraviolet light in a Thin-Film turbulent flow for the reduction of milkborne pathogens. *Foodborne Pathogens and Disease*, 12(6), 502-513, 2015.
- Dean, W.R, Note on the motion of fluid in a curved pipe. *Philosophical magazine and Journal of Science*, Vol. 4(20), 208-223, 1927.
- Donahue, D.W., Canitez, N., Bushway, A.A., UV Inactivation of *E. coli* O157:H7 in apple cider: quality, sensory and shelf-life analysis, *Journal of Food Processing and Preservation*, 28 (5), 368-387, 2004.
- Eggleston, G., DeLucca, A., Sklanka, S., Dalley, C., Cyr, E.S., Powell, R., Investigation of the stabilization and preservation of sweet sorghum juices, *Industrial Crops and Products*, 64, 258-270, 2014.

- Engin, B., Güneşer, O., Yüceer, Y.K., Ultraviyole ışınlarının sütün mikrobiyel özellikleri üzerine etkisi, GIDA, 34(5), 303-308, 2009.
- Falguera, V., Pagan, J., Garza, S., Garvin, A., Ibarz, A., Ultraviolet processing of liquid food: A review. Part 1: Fundamental engineering aspects. Food Research International. 44, 1571-1579. 2011.
- Franz, C.M.A.P., Specht, I., Cho, G., Graef, V., Stahl, M.R., UV-C-inactivation of microorganisms in naturally cloudy apple juice using novel inactivation equipment based on Dean vortex technology, Food Control, 20, 1103–1107, 2009.
- Feng, M., Ghafoor, K., Seo, B., Yang, K., Park, J., Effects of ultraviolet-C treatment in teflon®-coil on microbial populations and physico-chemical characteristic of watermelon juice. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 19, 133-139, 2013.
- Gautam, D., Umagiliyage, A.L., Dhital, R., Joshi, P., Watson, D.G., Fisher, D.J., Choudhary, R., Nonthermal pasteurization of tender coconut water using a continuous flow coiled UV reactor, Food Science and Technology. 83, 127-131, 2017.
- Gayán, E., Serrano, M.J., Monfort, S., Álvarez, I., Condón, S., Combining ultraviolet light and mild temperatures for the inactivation of *Escherichia coli* in orange juice, Journal of Food Engineering, 113, 598–605, 2012.
- Geveke, D. J., UV inactivation of *E. coli* in liquid egg white, Food Bioprocess Technology, 1, 201–206, 2008.
- Gouma, M., Gayan, E., Raso, J., Condon, S., Alvarez, I., Inactivation of spoilage yeasts in apple juice by UV-C light and in combination with mild heat, Innovative Food Science and Emerging Technologies, 32, 146-155, 2015.
- Guerrero-Beltran, J.A., Barbosa-Canovas, G.V., Advantages and limitations on processing foods by UV light, Food Science and Technology International, 10, 137-148. 2004.
- Guerrero-Beltrán, J.A., Barbosa-Cánovas, G.V., Reduction of *Saccharomyces cerevisiae*, *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in apple juice by ultraviolet light, Biological Systems Engineering, 28, 437–452, 2005.

- Hakgüder Taze, B., Ünlütürk, S., Buzrul, S., Alpas, H., The impact of UV-C irradiation on spoilage microorganisms and colour of orange juice, *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 1000-1007, 2013.
- Jay, J., Radiation preservation of foods and nature of microbial radiation resistance, *Modern Food Microbiology*, 14, 304–323, 1996.
- Kaya, Z., Yıldız, S., Ünlütürk, S., Effect of UV-C irradiation and heat treatment on the shelf life stability of a lemon–melon juice blend: Multivariate statistical approach, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29, 230–239, 2015.
- Kaya, Z., Ünlütürk, S., Processing of clear and turbid grape juice by a continuous flow UV system, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 33, 282-288, 2016.
- Keyser, M., Müller, I. A., Cilliers, F. P., Nel, W., Gouws, P. A., Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9, 348–354, 2008.
- Koutchma, T., Keller, S., Chirtel, S., Parisi, B., Ultraviolet disinfection of juice products in laminar and turbulent flow reactors, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 179 – 189, 2004.
- Koutchma, T., Parisi, B., Patazca, E., Validation of UV coiled tube reactor for fresh juices, *Journal of Environmental Engineering and Science*, 6(3), 319-328, 2007.
- Koutchma, T., UV light for processing foods, *Science and Engineering*, 30, 1-6, 2008.
- Koutchma, T., Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods, *Food Bioprocess Technol*, 2, 138–155, 2009a.
- Koutchma, T., Fourny, L. J., Moraru, C. I., Ultraviolet light in food technology: principles and applications, Boca Raton: CRC press, 2009b.
- Liltved, H., Cripps, S.J., Removal of particle-associated bacteria by prefiltration and ultraviolet irradiation, *Aquaculture Research*, 30, 445–450, 1999.
- Lin, Y.H., Yao, W.H., Onion (*Allium cepa* L.) contains some high proteolytic activities already before germination, *Botanical Bulletin Academia Sinica*, 36, 81-87, 1995.

- López-Malo, A., Palou, E., Barbosa-Canovas, M.S. Tapia, M.P., Cano, Ultraviolet light and food preservation, Novel food processing Technologies, Boca Raton: CRC Press, 405–423, 2005.
- Matak, K.E., Sumner, S.S., Duncan, S.E., Hovingh, E., Worobo, R.W., Hackney, C.R., Effects of ultraviolet irradiation on chemical and sensory properties of goat milk, *Journal of Dairy Science*, 90, 3178–3186, 2007.
- Mohd-Hanif, H., Shamsudin, R., Adzahan, N.M., UV-C dosage effects on the physico-chemical properties of lime (*Citrus aurantifolia*) juice, *Food Science and Biotechnology*, 25, 63-37, 2016.
- Murakami, E.G., Jackson, L., Madsen, K., Schickedanz, B., Factors affecting the ultraviolet inactivation of *Escherichia coli* K12 in apple juice and a model system, *Journal of Food Process Engineering*, 29, 53–71, 2006.
- Müller, A., Noack, L., Greiner, R., Stahl, M.R., Posten, C., Effect of UV-C and UV-B treatment on polyphenol oxidase activity and shelf life of apple and grape juices, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 26, 498-504, 2014.
- Müller, A., Orłowska, M., Knörr, M., Stahl, M.R., Greiner, R., Koutchma, T., Actinometric and biosimetric evaluation of UV-C dose delivery in annular Taylor-Coutte and coiled tube continuous systems, *Food Science and Technology International*, 23(3), 222-234, 2016.
- Orłowska, M., Koutchma, T., Grapperhaus, M., Gallagher, J., Schaefer, R., Defelice, C., Continuous and pulsed ultraviolet light for nonthermal treatment of liquid foods, Part 1: effects on quality of fructose solution, apple juice and milk, *Food and Bioprocess Technology*, 6(6), 1580–1592, 2013.
- Oteiza, J.M., Peltzer, M., Gannuzzi, L., Zaritzky, N., Antimicrobial efficacy of UV radiation on *Escherichia coli* O157: H7 in fruit juices of different absorptivities, *Journal of Food Protection*, 68, 49–58, 2005.
- Pala, Ç.U., Toklucu, A.K., Effect of UV-C light on anthocyanin content and other quality parameters of pomegranate juice, *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, 790-795, 2011.
- Santhirasegaram, V., Razali, Z., George, D.S., Somasundram, C., Comparison of UV-C treatment and thermal pasteurization on quality of Chokanan mango

- (*Mangifera indica* L.) juice, *Food and Bioproducts Processing*, 94, 313–321, 2015.
- Sastry, S.K., Datta, A.K., Worobo, R.W., Ultraviolet light, *Journal of Food Science*, 65, 90–92. 2000.
- Sew, C.C., Ghazali, M.H., Martín-Belloso, O., Noranizan, M.A., Effects of combining ultraviolet and mild heat treatments on enzymatic activities and total phenolic contents in pineapple juice, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 26, 511-516, 2014.
- Shahbaz, H.M., Ryoo, H., Kim, J.U., Kim, S., Lee, D.U., Ghafoor, K., Park, J., Effect of UV-C in a teflon-coil and high hydrostatic pressure combined treatment for maintenance of the characteristic quality of dongchimi (watery radish kimchi) during room temperature storage, *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 188-196, 2016.
- Shama, G., Ultraviolet irradiation apparatus for disinfecting liquids of high ultraviolet absorptivities, *Letters in Applied Microbiology*, 15, 69–72, 1992.
- Singh, J.P., Ghaly, A.E., Reduced fouling and enhanced microbial inactivation during online sterilization of cheese whey using UV coil reactors in series, *Bioprocess and Biosystem Engineering*. 29, 269-281, 2006.
- Sizer, C.E., Balasubramaniam, V.M., New intervention processes for minimally processed juices, *Food Technology*, 53, 64–67, 1999.
- Solari, F., Girolimetti, G., Montanari, R., Vignali, G., A new method for the validation of ultraviolet reactors by means of photochromic materials, *Food Bioprocess Technology*, 8, 2192-2211, 2015.
- Souza, P.M., Müller, A., Beniaich, A., Mayer-Miebach, E., Oehlke, K., Stahl, M., Greiner, R., Fernandez, A., Functional properties and nutritional composition of liquid egg products treated in a coiled tube UV-C reactor, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 32, 200-207, 2015.
- Tran, T.T.M., Farid, M.M., Ultraviolet treatment of orange juice, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 495-502. 2004.
- Ünlütürk, S.K., Arastoopour, H., Koutchma, T., Modeling of UV dose distribution in a thin-film UV reactor for processing of apple cider, *Journal of Food Science*, DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2004.01.005, 2004.

- Ünlütürk, S., Atılgan, M.R., Baysal, A.H., Tarı, C., Use of UV-C radiation as a non-thermal process for liquid egg products (LEP), *Journal of Food Engineering*, 85, 561–568, 2008.
- Ünlütürk, S., Atılgan, M.R., UV-C Irradiation of freshly squeezed grape juice and modeling inactivation kinetics, *Journal of Food Process Engineering*, 37, 438-449, 2014.
- Yıldız, M.K. UV-C ışınlama işleminin soğan suyunun pastörizasyonunda kullanılabilirliği. Korkut Ata Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye, 82, 2016.
- Wright, J.R., Sumner, S.S., Hackney, C.R., Pierson, M.D., Zoeklein, B.W., Efficacy of ultraviolet light for reducing *Escherichia coli* O157: H7 in unpasteurized apple cider, *Journal of Food Protection*, 63, 563–567, 2000.

## ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : Mehmet Onur ORAL

2. Doğum Tarihi : 10.11.1990

3. Ünvanı : Gıda Mühendisi

4. Öğrenim Durumu : Yüksek Lisans

Derece	Bölüm/Program	Okul/Üniversite	Bitirme Yılı
Lise	Sayısal	İskenderun Cumhuriyet Anadolu Lisesi	2009
Lisans	Gıda Mühendisliği	Atatürk Üniversitesi	2015

**5. Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler:**

Demir, H., Oral, M. O., Ünlütürk, S., Onion Juice Pasteurization by Coiled-Type UV-C Reactor System, *International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies*, 15-17 May 2017, Cappadocia, Turkey, p: 1133 (poster).