

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MARULLARIN MİKROBİYAL GÜVENLİĞİNİN SAĞLANMASINDA DÜŞÜK
ŞİDDETLİ ELEKTRİK AKIMI VE ULTRASES İŞLEMLERİNİN ETKİSİ**

MAHMUT KILIÇLI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GIDA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. MEHMET BAŞLAR**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MARULLARIN MİKROBİYAL GÜVENLİĞİNİN SAĞLANMASINDA DÜŞÜK
ŞİDDETLİ ELEKTRİK AKIMI VE ULTRASES İŞLEMLERİNİN ETKİSİ**

Mahmut KILIÇLI tarafından hazırlanan tez çalışması 18.04.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Mehmet BAŞLAR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Osman SAĞDIÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof.Dr. M.Fatih ERTUGAY
Erzincan Üniversitesi

Doç.Dr. Mehmet BAŞLAR
Yıldız Teknik Üniversitesi



Bu alışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) TOVAG tarafından 113O448 numaralı 3501 araştırma projesi olarak desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen, tezimin her aşamasında bana çok yardımcı olan değerli danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Mehmet BAŞLAR’a sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmamın laboratuvar aşamasında yardımlarını esirgemeyen Yüksek Lisans öğrencileri Mustafa Ümit İRKİLMEZ ve Zeynep Hazal TEKİN’e desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışmasını, 113O448 proje no’lu “Sebzelerin Mikrobiyal Güvenliğinin Sağlanmasında Ultrases Ve Düşük Şiddet Elektrik Akımının Kullanılma Olanaklarının Belirlenmesi” isimli TOVAG projesini ve beni bu tez süresince maddi olarak desteklediği için TÜBİTAK’a teşekkür ederim.

Şubat, 2016

Mahmut KILIÇLI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	6
1.3 Hipotez	6
BÖLÜM 2	
KURAMSAL TEMELLER	7
2.1 Düşük şiddet elektrik akımı	7
2.2 Ultrases	8
2.3 Elektrosonikasyon	8
2.4 Vurgulu Elektrik Alan (PEF)	9
2.5 Ohmik Isıtma	9
BÖLÜM 3	
MATERYAL VE YÖNTEM	11
3.1 Materyal	11
3.1.1 Sebzelerin Temini	11
3.1.2 Mikrobiyal Kültürler	11
3.2 Yöntem	11
3.2.1 Çalışma Planı	14
3.3 Mikrobiyolojik Sayımlar	15
3.4 Kalıntı oksidant analizleri	18
3.5 Fizikokimyasal özellikler	18
BÖLÜM 4	
ARAŞTIRMA BULGULARI	19

4.1 Elektrosonikasyon işleminin maruldaki doğal mikrobiyata ve kalite özellikleri üzerine etkisi	19
4.2 Elektrosonikasyon işleminin fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisi	24
4.3 Model sistemde patojen mikroorganizmaların dekontaminasyonu	29
4.4 Marullara kontamine edilen patojen mikroorganizmaların dekontaminasyonu	34
4.5 Cihazın harcadığı güç seviyesinin belirlenmesi	43
4.6 Kalıntı oksidant değişimi	44
BÖLÜM 5	
SONUÇ ve ÖNERİLER	48
ÖZGEÇMİŞ.....	55



SİMGE LİSTESİ

L^*	Renk ölçümünde beyazlık-siyahlık göstergesi
P	İstatistikte anlamlılık seviyesi
t	Zaman
T	Sıcaklık
ΔE	Renk farkı göstergesi

KISALTMA LİSTESİ

AOAC	American Official Analytical Chemist
BPA	Baird Parker Agar
BPW	Buffered Peptone Water
Cfu	Colony forming units
dk	Dakika
DRBC	Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol
ES1	Ultrasonik Su Banyosu + Elektrik Akımı
ES2	Ultrasonik İşlemci + Elektrik Akımı
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü
g	Gram
GAP	Good Agricultural Practices
kHz	Kilohertz
kob	Koloni oluşturan birim
LSA	Listeria Selective Agar
ml	Mililitre
mm	Milimetre
PCA	Plate Count Agar
pH	Asitlik veya bazlık derecesini gösteren ölçü birimi
TMAB	Toplam Mezofil Aerob Bakteri
USB	Ultrasonik su banyosu
USİ	Ultrasonik işlemci
W	Watt
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Elektrik akımı (a) ve elektrosonikasyon (b) işleminin uygulanması.....	13
Şekil 3.2 Elektrosonikasyon işleminin ultrasonik su banyosuyla uygulanması.....	14
Şekil 3.3 Marullara daldırma yöntemi ile patojen inokülasyonu.....	16
Şekil 3.4 Marulların steril kabinde kurutulması.....	16
Şekil 4.1 Marulda elektrik akımı ve elektrosonikasyon işleminin koliform bakteriler üzerine etkisi.....	20
Şekil 4.2 Marulda elektrik akımı ve elektrosonikasyon işleminin toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) üzerine etkisi	21
Şekil 4.3 Marulda elektrik akımı ve elektrosonikasyon işleminin toplam maya küf üzerine etkisi.....	22
Şekil 4.4 Model sistemde elektrik akımı ve elektrosonikasyonla <i>E.coli</i> OH157:H7 inaktivasyonu	30
Şekil 4.5 Model sistemde elektrik akımı ve elektrosonikasyonla <i>L. monocytogenes</i> inaktivasyonu	32
Şekil 4.6 Model sistemde elektrik akımı ve elektrosonikasyonla <i>S. aureus</i> inaktivasyonu	33
Şekil 4.7 Marulda elektrik akımı ve elektrosonikasyonla <i>E.coli</i> OH157:H7 inaktivasyonu	37
Şekil 4.8 Marulda elektrik akımı ve elektrosonikasyonla <i>L.monocytogenes</i> inaktivasyonu	39
Şekil 4.9 Marulda elektrik akımı ve elektrosonikasyonla <i>S. aureus</i> inaktivasyonu.....	41

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin toplam L* değerine etkisi.....	25
Çizelge 4.2 Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin kroma değerine etkisi.....	26
Çizelge 4.3 Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin ΔE değerine etkisi.....	27
Çizelge 4.4 Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin toplam kuru madde (%) üzerine etkisi	28
Çizelge 4.5 Kullanılan sistemlerin harcadığı güç	44
Çizelge 4.6 Elektrosonikasyon uygulanan işlem sıvısındaki serbest klor değişimi.....	46
Çizelge 4.7 Elektrosonikasyon uygulanan işlem sıvısındaki hidrojen peroksit değişimi.....	47

**MARULLARIN MİKROBİYAL GÜVENLİĞİNİN SAĞLANMASINDA DÜŞÜK
ŞİDDETLİ ELEKTRİK AKIMI VE ULTRASES İŞLEMLERİNİN ETKİSİ**

Mahmut KILIÇLI

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet BAŞLAR

Taze tüketilen minimal işlenmiş sebzelerdeki mikrobiyal kontaminasyon gıda güvenliği açısından önemli bir problemdir. Ülkemizde gıda güvenliğinin sağlanabilmesi için gerekli üretim şartlarının yerine getirilememesi, çiftçilerin yeterince bilinçli olmaması ve hijyen kurallarına titizlikle uyulmamasından dolayı sebzelerin yüksek oranda patojen yüküne sahip olabildikleri bilinmektedir. Bu sebzelerden birisi olan ve yüksek miktarda tüketilen marul, bu çalışmada materyal olarak incelenmiştir. Bu çalışmada ısı olmayan yöntemlerden ultrases ve düşük şiddet elektrik akımı uygulamaları ile marulların mikrobiyal güvenliğinin sağlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla marul örneklerine farklı frekanslara (24 ve 40 kHz) sahip ultrases ve farklı akım şiddetlerinde (0,2 mA, 0,8 mA ve 1,4 mA) elektrik akımı ayrı ayrı ve birlikte kullanarak farklı sürelerde (2, 4, 6, 8 ve 10 dak.) uygulanmıştır. Bu işlemlerde *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* ve *Staphylococcus aureus* patojenlerinin dekontaminasyonunun incelenebilmesi için hem %1,5 tuz içeren model sisteme inoküle edilen patojenler hem de %1,5 tuzlu suda

marullara inoküle edilen patojenler bu işlemler kullanılarak inaktive edilmeye çalışılmıştır.

Yaklaşık 6 log kob/mL patojen inoküle edilen model sistem ve marul örneklerine uygulanan işlemlerde elektrik akımının şiddeti ve süresi arttıkça mikrobiyal inaktivasyon oranı da artmıştır. Model sistemde *E. coli* O157:H7 6. dakikadan sonra, *L. monocytogenes* 8. dakikadan sonra *S. aureus* ise 4. dakikadan sonra tespit edilememiştir (<1 log kob/mL). Marul örneklerinde ise en fazla dekontaminasyon oranı *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes* ve *S. aureus* patojenleri için sırasıyla 4,05, 3,12 ve 2,84 log kob/g olarak bulunmuştur.

Sadece ultrases uygulamasında, 24 kHz frekansa sahip ultrases işlemi genellikle 4. dakikasından itibaren patojenlerin daha fazla gelişmesini engellemiştir. Sadece elektrik akımı uygulamasında elektrik akımının artmasıyla birlikte dekontaminasyon seviyesinin arttığı, uygulanması gereken sürenin kısaldığı sonucu ortaya çıkmıştır.

İşlem uygulanmamış taze marullarda toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB), toplam maya küf ve toplam koliform bakterileri içerikleri sırasıyla $5,94 \pm 0,20$; $4,82 \pm 0,33$ ve $5,65 \pm 0,27$ kob/g olarak tespit edilmiştir. İnaktivasyon oranları ise sırasıyla 2,89 ; > 3 log kob/g ve 2,98 log kob/g olmuştur.

Model sistemde elektrik akımının iletilmesine mani olacak bir partikül veya sebze olmadığı için model sistemdeki dekontaminasyon seviyesinin marul içeren tuzlu su uygulamasına göre çok daha etkili olduğu, fakat materyalle çalışıldığı zaman bu etkinin azaldığı gözlemlenmiştir. Marul numunelerinde L^* değeri $49,11 \pm 2,41$; kroma değeri ise $29,85 \pm 4,99$ olarak tespit edilmiş olup işlem süresince önemli bir değişim olmamıştır. İşlem süresi ve şiddetine bağlı olarak marul numunelerinin kuru madde içeriklerinde istatistiksel olarak anlamlı seviyede düşüş gözlemlenmiştir ($P < 0,05$).

Anahtar Kelimeler: elektrik akımı, ultrases, elektrosonikasyon, patojen, dekontaminasyon

**EFFECT of ULTRASOUND and LOW-INTENSITY ELECTRICAL CURRENT for
PROVIDING MICROBIAL SAFETY of LETTUCE**

Mahmut KILIÇLI

Department of Food Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Mehmet BAŞLAR

Microbial contamination in fresh consumed, minimally processed vegetables is a significant problem for microbial safety. Lack of Good Agricultural Practices (GAP), insufficient farmer trainings and awareness, and failure to comply with hygienic care among the factors of high level of pathogenic microorganisms load in Turkey. Lettuce as one of these vegetables and which is consumed in large amounts was examined as a material in this study. In this study we aimed that ultrasound as one of the non-thermal methods and low-intensity electrical current practices to vegetables to make them safer for human health. The electrolysis applied in three different electric current (0.2, 0.8 and 1,4mA) and the ultrasonic process applied with two different frequencies (24 and 40 kHz). The process times are at the five different stages (2, 4, 6, 8 and 10 minute). First of all processes are applied for model system after that applied for lettuce samples with pathogenic microorganism. While pathogenic microorganisms inoculated into 1.5 % saline solution in model system, second stage inoculated the lettuce samples. In the model system *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*

and *Staphylococcus aureus* couldn't be detected after 6, 8 and 4 minutes, respectively (<1 log cfu/g). In the lettuce samples with pathogenic microorganism *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* inactivation rate calculated 4.05, 3.12 ve 2.84 log cfu/g as a logarithmic, respectively. Only in ultrasound application with 24 kHz it has been observed that there are more decontaminated to pathogens at fourth four minutes. As a result of processes when low-intensity electric current increased, microbial inactivation rate also increased and process time is lasting shorter. Because there is no particle or vegetables to prevent the transmission of electrical current in the model system which is more effective than saline application with lettuce, but when we studied the materiality of this effect, it has been observed that the effect is reduced. In the lettuce samples L^* and chromium value has been found 49.11 ± 2.41 and 29.85 ± 4.99 respectively and no significant change during processing. Depending on process time and electricity intensity, dry matter of lettuce samples was observed decline statistically ($P < 0.05$). In untreated fresh lettuce, total mesophilic bacteria (TMAB), total coliform, yeast and mold content was detected 5.94 ± 0.20 ; 4.82 ± 0.33 ve 5.65 ± 0.27 respectively. And also inactivation rates are 2.89 log ; > 3 log ve 2.98 log cfu/g.

Keywords: Electrical current, ultrasound, electrosonication, pathogen, decontamination.

1.1 Literatür Özeti

Dannehl vd. [1] tarafından yapılan bir çalışmada hasat edilmiş domateslere 15 ile 60 dk. arasında farklı sürelerde 100-500 mA yoğunlukta doğrudan elektrik akımı uygulandığı ve bütün elektrik akımı uygulamalarında ikincil bitki bileşenleri olan karotenoidler, fenolik bileşenler, likopen ve antioksidan aktivitesinde önemli artışlar olmuştur. Likopen artışı 100 mA'de en fazla 60 dakikada 1,2 mg/g'ın üstünde olmuştur. 300 mA ve 500 mA'de ise 30 dakika işlem sonucu en fazla değerine ulaşmıştır. β -karoten içeriği ise bütün elektrik uygulamalarında en yüksek 30 dakika işlem sonucunda ortaya çıkmıştır. En yüksek değerine ise 500 A'de 0,3 mg/gr üzerinde bulunmuştur. Toplam fenolik içeriği ise 300 mA'de 30 dakika işlem sürecinde yaklaşık 3,4 mg/gr bulunmuştur. Sıcaklık artışı ise en yüksek 60 dakika işlem sürecinde 100 mA'de 20,2 olurken, en düşük sıcaklık artışı ise 30 dakika işlem sürecinde 300 ve 500 mA'19.9 olarak rapor edilmiştir.

Birbir vd. [2] tarafından yapılan bir çalışmada, Ayamama ve Sarısu ırmaklarının denize döküldüğü noktalar ile Karadeniz ve Marmara denizlerinden su numuneleri toplanmıştır. Bu örneklerdeki *Escherichia coli* ATC 25922 ve fekal *E. coli* MAAG 1405 suşlarına alternatif elektrik akımı uygulamışlardır. Elektrik akımının ırmak sularındaki ve deniz sularındaki *E. coli* suşlarını inaktive etmede etkili bir yöntem olduğu ortaya çıkmıştır. Bu işlemlerde mikroorganizma suşu, elektrik akımı ve suyunun özelliklerinin mikroorganizma inaktivasyonu üzerine etkili olduğu rapor edilmiştir. Bu sonuçlara göre *E.coli* MAAG suşu suyun kaynağına bağlı olarak 1 ile 5 dakika içerisinde 4 log inaktive edildiği rapor edilmiştir. *E coli* ATCC 25922 ise suyun kaynağına bağlı olarak 1 ile 10

dakika içerisinde 4 log inaktive edildiği rapor edilmiştir. Ayrıca ırmakların denize döküldükleri yerler ve denizlerden alınan su örneklerindeki inaktivasyon daha kısa sürede gerçekleşmiştir. Lauril sülfat brot ile hazırlanan ortamda ise daha uzun sürede gerçekleşmektedir. Araştırmacılar bunun sebebi tuzlu suyun konsantrasyonundan kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca işlem görmüş kanalizasyon sularına böyle bir işlem uygulanacaksa düşük iletkenlik problemi çözmek için en az % 2 tuzlu su çözeltisi ilave edilmesi gerektiğini bildirmektedirler.

Park vd. [3] yaptıkları çalışmada, Kore'nin In-cheon sahilinden deniz suyu örneği toplanmıştır. Bu çalışmada atık deniz suyuna düşük şiddette alternatif akım uygulanarak geniş ölçekte, deniz suyunu dezenfekte etmeyi araştırmışlardır. Bu çalışmada direkt akım yerine alternatif akım uygulaması hem mikrobiyel inaktivasyonda hem de klor gazını azaltmada etkili olmuştur. Direkt elektrik akım uygulamasında 1 saniyede üretilen klor miktarı 212 mg/lt olmaktadır. Oluşan klor gözlerde, boğazda ve solunum yollarında kaşıntı ve yanmaya sebep olmaktadır. Bu sonuçlardan dolayı direkt elektrik akım uygulaması geniş ölçekte bir sterilizasyon için uygun görülmemiştir.

Mahapatra vd. [4] tarafından yapılan çalışmada, sığır eti yüzeyine *Escherichia coli* O157:H7'yi inoküle etmişler ve azaltmak için düşük voltajda elektrik akımı uygulamışlardır. Bu işlem için cam tabak içerisine koyulan sığır eti yüzeyi kapanacak şekilde 0.15 M NaCl solüsyonu dökülerek üzeri ince bir tabaka ile kaplanmıştır. Artan elektrik akımı, frekans ve işlem süresi *E. coli*'yi inaktive etmede pozitif sonuç vermiştir. En fazla inaktivasyon 900 mA'de, 16 dakikada yaklaşık %98,9 olmuştur. Sıcaklık artışı 300 mA'de 4,6 °C, 600 mA'de 12,5 °C ve 900 mA'de ise 31,9 °C'ye ulaştığı rapor edilmiştir. Duyusal olarak yapılan analizlerde işlem gören sığır eti ile işlem görmemiş sığır eti arasında önemli bir farkın olduğu, panelistler tarafından da işlem görmemiş etin işlem görene tercih edildiği belirtilmiştir. Ayrıca işlem görmüş et örneklerinde, bozulabilir derecede açık kahverengi bir rengin oluşmasının lokal olarak ısınmadan dolayı olduğu rapor edilmiştir.

Park vd. [5] yaptıkları çalışmada, Kore'nin In-cheon sahilinden deniz suyu örneği toplanmıştır. Bu örneğin bir kısmına *Vibrio parahaemolyticus* inoküle edilmiştir. İki numuneye de ayrı ayrı düşük şiddette elektrik akımı uygulanmıştır. Doğal deniz suyunda yaklaşık 3 log bulunan mikroorganizmalar 2 A'lık akımda 50 milisaniyede inaktive olurken, 1.55 A'de 1 saniyede inaktive etmişlerdir. Mikroorganizma inoküle edilen deniz suyu ise 2 A'lık akımda 100 milisaniyede 4 logluk bir azalma sağlarken, aynı azalma 100 mA'de 1 saniyede gerçekleşmiştir. Fakat 100 mA'nin altındaki akımlarda 4 log seviyesinde inoküle edilen mikroorganizmalar tamamen inaktive edilemeyip, sadece 1 log'luk mikroorganizma kalmıştır. Bütün farklı parametrelerde hatta 2 A'lık akımda 2 saniyede bile sıcaklık değişimi gözlemlenmemiştir. Ayrıca taramalı elektron mikroskopuyla yapılan gözlemler sonucunda da işlem görmüş deniz suyu ve işlem görmemiş deniz suyu arasındaki fark açık bir şekilde görülmektedir. 12 V ve 1 A'lık akımda hücre zarı parçalanmış ve hücreler arası işlevini kaybetmiştir.

Guillou ve Murr [6] tarafından yapılan bir çalışmada, düşük şiddette elektrik akımı uygulayarak *Saccharomyces cerevisiae* inaktivasyonu araştırılmıştır. Bu işlemde elektrik akımı iletmesi için 0,1 M pH 7,1'lik tampon fosfat çözeltisi kullanılmıştır. 90 dakikalık işlem sonucunda, akım 0,1 A'den 1 A'e çıktıkça *S. Cerevisiae* popülasyonu lineer bir şekilde azalmıştır. D değeri ise 0,1 A'de 1547 dakika iken 1 A'de 140 dakika olmuştur. Mikroorganizmaları inaktive etmede sıcaklığın etkisinin zayıf olduğu, düşük sıcaklıklarda bile elektrik akımının etkili olduğu rapor edilmiştir. 35 °C'de 180 dakikada 0,5 logluk bir inaktivasyon sağlanırken aynı sıcaklık ve aynı sürede 0,5 A'de yaklaşık 2 logluk bir azalma sağlanmıştır. 0,5 A ve 20 °C'de, elektriği ileten tampon çözelti için pH 5 ve pH 6'da D değeri 40 dakika civarında olurken pH 7,1 ve 8,5'ta ise D değerinin 70 dakika olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca maya inaktiasyonunun tampon çözeltinin konsantrasyonuna bakılmaksızın yaklaşık 1,5 log olduğu ortaya çıkmıştır.

Fickak ve May [7] tarafından yapılan bir çalışmada taze ve yarı kurutulmuş domateslerdeki maya ve küf içeriğini azaltmak için farklı konsantrasyonlarda (50, 100, 150 ve 200 ppm) hazırlanan klorlu suyun etkisini araştırmışlardır. İlk olarak taze domatesler 1 dakika boyunca mikroplu suyun içinde tutularak inokülasyon sağlanmıştır. İnoküle edilen domatesler kabin içerisinde 22 °C'de 18-22 saat tutularak mikroorganizmaların domateslerin yüzeyine yapışması sağlanmıştır. Daha sonra

inokülasyonu tamamlanan domatesler 3 kısma ayrılmıştır. Birinci grup inokülasyondan sonra hiçbir işlem uygulanmayan grup, ikinci grup inokülasyon sonrası çeşme suyu ile 1, 5 ve 10 dakika yıkanıp ardından kurutulan, üçüncü grup ise farklı konsantrasyonlardaki (50, 100, 150 ve 0,2 ppm) klorlu su ile yıkanıp, yine aynı sürelerde kurutulan gruptur. Kurutulan bu domateslerin nem içeriği % 35 olana kadar kurutulmuştur. Başlangıçta 4,2 log'luk maya ve küf inokülasyonu gerçekleştirilmiştir. En fazla maya ve küf inaktivasyonu 0,2 ppm'lik klorlu suda gerçekleşmiştir. 5 dakikada 1,7 log'luk bir azalma meydana gelirken, 10 dakikada 3.1 log'luk bir azalmanın olduğu rapor edilmiştir. Çeşme suyu ile yıkanan örneklerde ise sadece %10'luk bir azalma olmuştur.

Kerwick vd. [8] yaptıkları bir çalışmada 0,01M NaCl içeren tuzlu su çözeltisinde, 5V ve 32 mA/cm² elektrik akımı uygulayarak 10 dakikada yaklaşık 4 log, 60 dakikada ise yaklaşık 7 log *E. coli*'nin inaktive edildiğini bildirmişlerdir. Ayrıca bu çalışmada elektrik akımından dolayı klor radikalleri oluştuğunu rapor etmişlerdir. Klor radikallerinin konsantrasyonu 10. dakikada 0.2mg/L iken 60. dakikada 7 kat artarak 1.6mg/L olmuş ve inaktivasyonda önemli bir rolü olduğu rapor edilmiştir.

Birbir ve Birbir vd. [9] yaptıkları bir çalışmada, Tuz gölünden izole ettikleri, halofilik mikroorganizmaları içeren bir tuzlu su çözeltisine 0,5 A'lık düşük şiddetli doğrusal elektrik akımı uygulayarak 5 dakikada 3 ile 7 log arasında etkili bir mikrobiyal inaktivasyon elde etmişlerdir. Kullandıkları tuzlu su çözeltisi %25'lik olup ayrıca içinde organik maddelerde içermektedir. İşlemin 20. dakikasında ise bütün mikroorganizmaları tamamen (7 log) inaktive ettiklerini bildirmişlerdir. Elektrik akımı uygulanması sırasında işlem sıvısının sıcaklığının 10. dakikada 3-4°C, 30. dakikada ise 8-9°C arttığını rapor etmişlerdir. pH'nin ise pH 6'dan 10'a çıktığını belirtmişlerdir.

Guillou vd. [10] tarafından yapılan bir çalışmada, beyaz şaraptaki stabilizasyonu sağlamak için sülfür dioksit yerine alternatif olarak düşük şiddette elektrik akımı uygulamışlardır. Bu çalışmada elektrik akımını iletmesi için tampon fosfat çözeltisi kullanmışlardır. 4 log'tan 7 log'a kadar maya inokülasyonu yapılarak 0.16 A'de 4 saat işleme tabi tutulmuştur. İlk 1 saat içerisinde herhangi bir inaktivasyon gözlemlenmezken daha sonra 3,5 log'a kadar bir inaktivasyon gerçekleşmiştir. Ayrıca başlangıç inokülasyonunun önemli olduğu ortaya çıkmıştır. 6 log'tan 7 log'a çıkıldığında

inaktasyonun yaklaşık yarı yarıya azaldığı görülmüştür. Düşük şiddet elektrik akımının fizikokimyasal özelliklere etkisinin de sülfür dioksitle benzer olduğu da rapor edilmiştir.

Yıldız ve Baysal vd. [11] yaptıkları bir çalışmada, doğranmış domateslere 5 log civarında *Aspegillus niger* inoküle etmişlerdir. Daha sonra farklı şiddet ve sürelerde alternatif akım ile ısıtım işlemi uygulanarak mikrobiyel inaktivasyon, pektin metilesteraz inaktivasyonu ve domatesteki pektin içeriğini araştırmışlardır. *A. niger* sırasıyla 36, 48, 68 ve 108 V/cm şiddetinde 30, 20, 12 ve 6 saniyede tamamen inaktivasyon sağlanmıştır. Buna karşın pektin metilesteraz inaktivasyonu 65°C'de %75'ten fazlası inaktive edilirken, sıcaklık 98°C'ye ulaştığında 36 V/cm'de 80 saniyede tamamı inaktive edilebilmiştir. Toplam pektin içeriği ise en yüksek miktarına 89 °C'de %3,56 ile 80 saniyede 36 V/cm'de ulaştığı rapor edilmiştir.

Montagner vd. [12] tarafından yapılan bir çalışmada, sarıağız balığına (*Micropogonias furnieri*) elektrik akımı uygulanarak mikrobiyolojik kalitesi incelenmiştir. 12 A'lık (31 mA/cm²) akım ve %0,1'lik tuzlu su çözeltisinde, 6 dk. işlem uygulanan balık örnekleri 4°C'de 16 gün depolanmıştır. Elektrik akımı uygulanan balığın 3. gün ve 6. gündeki mezofilik bakteri yükü kontrole göre daha fazla olduğu rapor edilmiştir. Ancak 12. ve 16. gündeki psikrofilik mikroorganizma yükü azalmıştır. Elektrik uygulaması toplam mezofilik bakteri yükünü önemli ölçüde azaltırken, balık işletmeciliğinde kullanılan sudaki psikrofilik mikroorganizma yüküne ve balığın raf ömrüne etki etmemiştir.

Birbir vd. [13] tarafından yapılan bir çalışmada, tuzda bulunan halofilik bakterilerin üretmiş oldukları hidrolitik enzimlerin deri muhafazasında önemli ekonomik kayıplara neden olduğu için elektrik akımı ile onları yok etmeyi çalışmışlardır. Bu nedenle, İstanbul-Tuzla'da bulunan deri fabrikalarında tabaklamada kullanılan toplam 40 tuz örneği toplanmıştır. Bu örnekler %20'lik NaCl çözeltisinde, 0,1 A, 0,2 A, 0,3 A ve 0,4 A'de sırasıyla 15, 10, 5 ve 3 dakikada çözülmüştür. 0.5 A'de ise 1 dakikada çözülmüş ve 15 dk. işlem uygulanmıştır. Halofilik bakterilerin yanı sıra proteaz ve lipaz üreten halofilikleride inaktive etmişlerdir.

Millan Sango vd. [31] yaptıkları çalışmada marul yapraklarına inoküle ettikleri *E. coli* O157:H7 patojenini ultrases ve kekik yağı kullanarak inaktive etmeye çalışmışlardır. Bu çalışmada sadece saf su kullanıldığında yaklaşık 1,5 log'luk bir düşüş gerçekleşmiştir.

Ultrases ise vurgulu ve vurgusuz olmak üzere iki farklı şekilde uygulanmıştır. Kekik yağı toplam 5 farklı konsantrasyonda denenmiştir. Sürekli sistemde kekik yağının %0.018 ve %0.022 olduğu konsantrasyonlarda 3,34 ve 3,87 log'luk bir inaktivasyon gerçekleşmiştir. Kekik yağının hiç kullanılmadığı durumda ise bu oran 2,33 log'a vurgulu sistemde ise 2,30 log'a düşmüştür. Vurgulu sistemde aynı konsantrasyonlarda inaktivasyon oranı 3,23 ve 3,66 log olmuştur. Vurgulu sistemde ve en yüksek kekik yağı konsantrasyonunda (%0,025) 4.70 log'luk bir düşüş meydana geldiği rapor edilmiştir. Ayrıca bakterilerinin çoğunun inaktivasyondan ziyade suya geçtiği de raporun önemli bir kısmını oluşturmaktadır.

Forghani vd. [32] yaptıkları çalışmada, maruldaki bakterileri inaktive etmek ve raf ömrünü uzatmak için ultrases ve düşük konsantrasyonda elektrolize edilmiş su kombinasyonunun etkinliğini araştırmışlardır. 40 °C'de 3 dak. ultrases ve 3 dak. elektrolize edilmiş su ile muamele edilince toplam bakteri sayısı 5,81 log'tan 2,6 log'a *E. coli* O157:H7'de ise 7,03 log'tan 3,18 log'a bir azalma gerçekleştiğini rapor etmişlerdir.

1.2 Tezin Amacı

Ülkemizde ve tüm dünyada minimum işlem görmüş gıdalara karşı talebin artması bu yönde yapılan çalışmalara hız kazandırmıştır. Sebzeler açısından düşündüğümüzde ise şüphesiz domates ve marul minimum işlem görmüş gıdaların başında gelmektedir. Yapılan çalışmalarda doğrudan elektrik akımı uygulaması gıdalardan ziyade farklı materyallere uygulanmıştır. Bu çalışmada düşük şiddet elektrik akımının etkisinin marullara uygulanması durumunda doğal mikrobiyota, fizikokimyasal özellikleri ve inoküle edilmiş bazı patojen mikroorganizmalar üzerine etkisi belirlenmiştir.

1.3 Hipotez

Elektrik akımı ve ultrases işlemleri ısı esasa dayanmayan mikrobiyal dekontaminasyon özelliklerine sahiptirler. Marullar ısı işlemlere hassas ürünler olmaları nedeniyle bu ısı olmayan yöntemlerin kullanılması ile marulların dezenfekte edilmesinin mümkün olabileme potansiyeline sahiptir. Fakat bu işlemleri yapılırken ürünlerin kalite özelliklerinin korunması gerekli olup bu çalışmada alterantif yöntemlerle mikrobiyal dekontaminasyonun ürün kalite özelliklerine zarar vermeden yapılmasını öngörmektedir.

BÖLÜM 2

KURAMSAL TEMELLER

Marul (*Lactuca sativa* var. *longifolia*), içerdiği biyoaktif bileşenler, vitaminler ve minerallerce sağlığımız için önemli bir sebzedir [38,39]. Dünyadaki toplam marul üretimi 2012 FAO verilerine göre 24.946.142 ton üretilmiştir. Türkiye’de ise 419.066 ton üretilmiştir. Sebzeler, üretimin farklı aşamalarında patojen mikroorganizmalar tarafından kontamine olabilmektedir. Beslenme ve insan sağlığı arasındaki ilişkinin öneminin giderek artması ve insanların iş yoğunluğundan dolayı hazır gıdalara yönelmesi, özellikle taze tüketilen minimal işlem görmüş sebzelerdeki mikrobiyal kontaminasyonu da beraberinde getirmiştir. Bunun için genellikle tüketiciler kendisi için tarlaya en yakın ürünü tercih etmektedir. Isıl işlemlerin gıdalarda meydana getirdiği birtakım olumsuzluklar nedeniyle ısıl olmayan yöntemlere olan ilgi sadece ülkemizi değil, başta ABD ve Rusya olmak üzere birçok devleti bu yöndeki çalışmalara yöneltmiştir. Sebze ve meyvelerin yetersiz ve atık sularla sulanması, hasat, depolama ve taşıma aşamalarında veya satış noktalarında *L. monocytogenes*, *E. coli* O157: H7, *S. aureus* gibi patojenlerden bulaşı olabilmektedir [37].

Ultrases ve düşük şiddet elektrik akımıyla yapılan çalışmalar mikrobiyal kontaminasyonda etkili olduklarını göstermiştir. Yapılan bu çalışmada bu iki yöntemin ayrı ayrı ve birlikte kullanılma olanakları belirlenmeye çalışılmıştır.

2.1 Düşük şiddet elektrik akımı

Düşük şiddette elektrik akımı uygulaması, iletken bir çözelti kullanılarak anot ve katot arasındaki akım transferinde mikroorganizmaları inaktive etmektir. İletken çözelti

olarak farklı çözeltiler kullanılmakta olup [7,8] NaCl de bunlardan bir tanesidir. Yapılan bu çalışmalar bakterisidal etkinin açığa çıkan klor iyonlarından kaynaklandığını belirtmektedir.

Burada kullanılan proplar çözeltiyle tepkimeye girmeyen platin çubuklardan oluşmaktadır. Ayrıca işlemi gerçekleştirdiğimiz reaktör (beher), çift cidarlı olup sıcaklığın yükselmesi ve sabit bir sıcaklıkta kalmasını sağlanmaktadır.

2.2 Ultrases

Ultrases, 20 kHz veya daha yüksek seviyedeki ses dalgalarını tanımlamakla birlikte genellikle 10 MHz'e kadar olan frekanstaki uygulamaları kapsamaktadır [32,33]. Gıda proseslerinde mikrobiyel inaktivasyona neden olan kavitasyonu sağlamak için 20 ile 100 kHz arasındaki ses dalgaları kullanılmaktadır [34]. Ultrases sadece mikrobiyel inaktivasyonu değil, emülsiyon oluşturma, kurutma, sıvılarda gaz giderme, kristalizasyon, enzim inaktivasyonu, kesme ve ekstraksiyon işlemlerinde kullanılmaktadır [35,36].

Ultrasesin mikrobiyel inaktivasyon mekanizması, hücrenin zarında meydana gelen lokal olarak 5000 °C sıcaklık ve 50.000 kPa civarında bir basınç artışından dolayı hücrede yeni porların açılarak hücre kütle transferi kontrolünü yitirmekte ve hücre inaktif olmaktadır.

2.3 Elektrosonikasyon

Bu çalışmada elektrik akımının ve ultrasesin birlikte kullanılması denenmiş olup bu iki yöntemin birlikte kullanılmasına elektrosonikasyon denmiştir. Ultrases, ultrasonik işlemci ve ultrasonik su banyosu olmak üzere 2 farklı kısma ayrılmaktadır. Ultrasonik su banyosu ve elektrik akımının aynı anda kombine olarak uygulanmasında herhangi bir sıkıntı oluşmamaktadır. Burada kullanılan elektrik akımı düşük şiddette doğrudan elektrik akımı uygulamasıdır.

Bu yöntemlere benzer diğer ısı olmayan yöntemler ise vurgulu elektrik alan (PEF), elektrop plazmoliz, yüksek voltaj ark deşarjı, salınımlı manyetik alan, indüktif ısıtma,

kızılötesi ısıtma, UV radyasyonu gibi yöntemlerdir [18]. Ayrıca elektrik akımı ohmik ısıtma ve PEF işlemleriyle benzerlik taşımaktadır.

2.4 Vurgulu Elektrik Alan (PEF)

PEF (Vurgulu Elektrik Alan) Pulsed Electrical Field teknolojisi; gıdaların tat, aroma ve besin değerlerini koruyarak patojen mikroorganizmaları inaktive eden veya bu yükün azaltılmasında etkili olan ve geleneksel yöntemlere alternatif ısı olmayan bir teknolojidir [29].

PEF yöntemi genellikle akışkan gıdalar için uygulanan bir sistem olup, iki iletken elektrot arasına yerleştirilen ve iletken olmayan borudaki gıda aracılığıyla yüksek şiddetteki elektrik akımının gıdadan geçmeye zorlanmasıdır. Bu şekilde çok kısa sürelerle elektriğin vurgulu olarak verilmesiyle mikroorganizmalar inaktive edilmektedir [17]. Bu yöntemin etki mekanizması elektroporasyon ve elektrofizyona dayanmaktadır. Elektroporasyon ile hücrenin porlarında bir genişlediği ya da yeni porlar oluştuğu için hücre işlevini gerçekleştirememektedir. Elektrofizyonda ise hücre membranı yüksek şiddetteki elektrik alanından dolayı yük dağılımına bağlı olarak mekanik olarak yıkıma uğramaktadır.

2.5 Ohmik Isıtma

Ohmik ısıtma, elektriksel direnci yüksek ürünlerde elektriksel ısıtma metodu olarak elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüştürülmesine dayanan bir ısı işlemidir. Bu yöntemde ürün elektrotlarla temas halinde olmaktadır [18]. Ancak elektrik iletkenliği çok yüksek olursa ürün ısınmadan elektrik hızlı bir şekilde geçiş yapmış olur. Bunun sonucunda istediğimiz etkiyi tam olarak sağlayamayız. Elektrik iletkenliğinin çok düşük olması durumunda da elektrik gıdanın her yerine ulaşmadan sistemi terk eder. Ohmik ısıtmada elektrik akımı çok kısa süre içerisinde çok hızlı bir şekilde homojen olarak bir ısıtma gerçekleştirebilmektedir [19]. Ohmik ısıtmanın aseptik ürün hatlarına adapte edilebilmesinden dolayı mikrobiyal yük, muhafaza ve raf ömrü açısından daha iyi bir ürün elde edilebilmektedir [20]. Ohmik ısıtmanın mikroorganizmalar üzerine etkisi, hücre duvarında biriken yüklerin kritik akım yoğunluğunu aşmasından dolayı hücre zarında yeni porların veya mevcut porların genişlemesi şeklinde olmaktadır [28].

Yapılan çalışmalarda, geleneksel yöntemle sterilize edilen sütlerde ortaya çıkan bazı olumsuz aroma oluşumunun, ohmik ısıtma ile nlendiğini hatta taze süte benzer kalitede ürün elde edilebileceğini bildirmişlerdir [21].

Çok sessiz çalışan ohmik ısıtma sisteminin kullanımı pratik ve diğer ısıtma sistemlerine göre daha az yer kaplamaktadır. Sistemdeki boru sistemi, 30-40 cm uzunluğundaki 6 adet tüpün kombine edilmesiyle aktif olmaktadır [22]. Sistem 50-60 Hz alternatif akım ile 7 gün 24 saat çalışabilmektedir [23]. Çalışılan frekans aralığının düşük olması nedeniyle güç kaynağı basittir. Ayrıca bu aralıkta ürün içerisindeki elektrokimyasal reaksiyonlar minimum olmaktadır [24]. Sistemdeki elektrotlardan herhangi bir migrasyon olmaması için metal elektrot yerine elik, saf karbon, platin gibi paslanmayan ve elektroliz sonucunda reaksiyona girmeyen elektrotlar tercih edilmelidir [25].

Bu sistemdeki diğer önemli bir faktör ise gıdanın uygulanan akıma karşı göstermiş olduğu elektriksel dirençtir. Gıdanın direncine göre uygulanacak g ve ısıtıcı boyutları yeniden tasarım edilebilir [26].

Ohmik ısıtma sisteminde diğer önemli bir kriter ise akım yoğunluğudur. Akım yoğunluğuna bağlı olarak sistemde kullanılan elektrotların boyutları ve aralarındaki uzaklık hesaplanmaktadır [27].

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Sebzelerin Temini

Bu çalışmada kullanılan marullar yerel bir manavdan temin edilmiş olup işlemler hızlı bir şekilde uygulanmıştır. Marullar işlem uygulanana kadar +4 °C’de muhafaza edilmiştir.

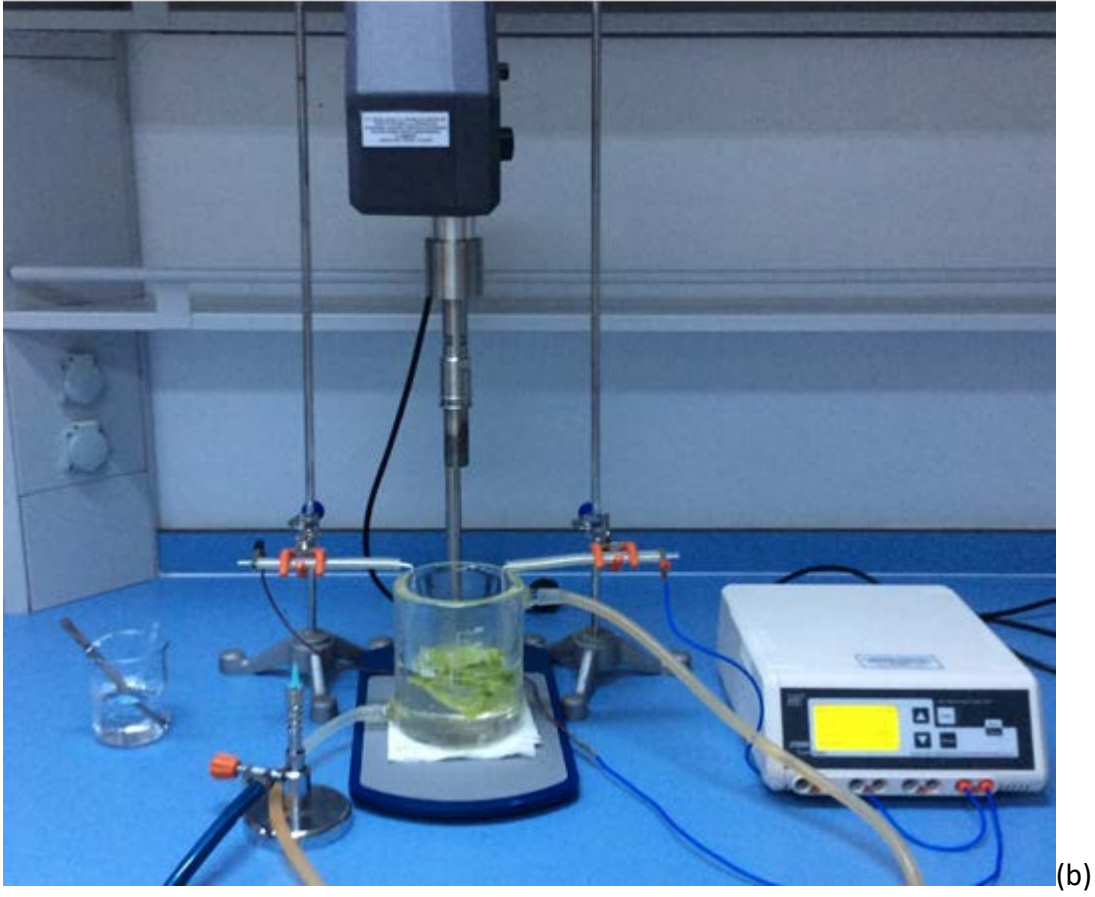
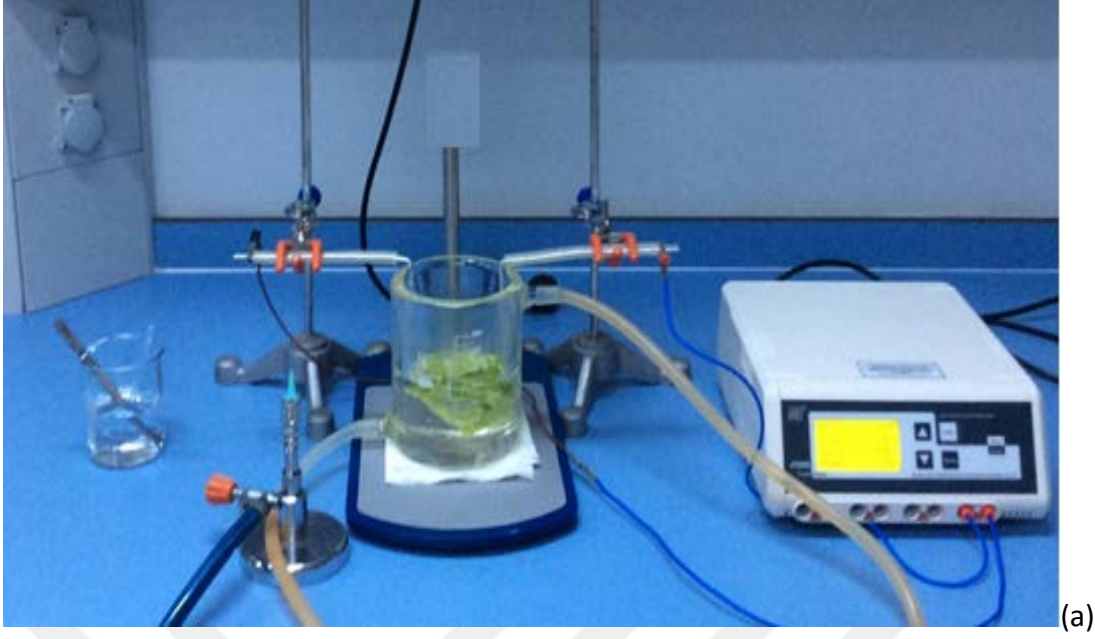
3.1.2 Mikrobiyal Kültürler

Bu çalışmada kullanılan *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 43885, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 ve *L. monocytogenes* ATCC 7614 patojenleri Yıldız Teknik Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, mikrobiyoloji laboratuvarından temin edilmiştir.

3.2 Yöntem

Elektrosonikasyon işleminde elektriği iletmesi için %1,5’lik tuz çözeltisi kullanılmıştır. Burada kullanılan ultrasonik su banyosu (Daihan WUC-D10H, Güney Kore) 40kHz frekansa sahip olup %100 güç seviyesinde kullanılmıştır. 22 mm proba sahip ultrasonik işlemci (UP400S, Almanya) ise 24kHz frekansta çalışmakta olup %100 güç seviyesinde kullanılmıştır. Güç kaynağı (LABART / JY-200C, Çin) tarafından sağlanan elektrik akımı 3 farklı amper (0,2, 0,8 ve 1,4 A) sisteme iletilmiştir. Ultrasonik işlemci ile elektrik akımının birlikte uygulanmasında ise ultrasonik işlemcinin içine herhangi bir elektrik iletirme riskinden dolayı işlemler sırayla 1 dakika elektrik 1 dakika ultrasonik işlemci şeklinde uygulanmaktadır. Elektrosonikasyon işlemi marullara 2, 4, 6, 8 ve 10 dakika

boyunca uygulanmıştır. Elektrik akımı, güç kaynağına bağlı birbirine paralel olacak şekilde 0,5 mm kalınlık, 5 mm genişlik ve 50 mm uzunluğundaki 2 adet düz platinin % 1,5 tuzlu suya daldırılarak aktarılmıştır. Bu elektrotlar çift cidarlı 500 mL hacimli bir soğutma reaktörünün kenarlarına yerleştirilmiş ve elektrotlar arasındaki uzaklık ~ 8 cm olacak şekilde ayarlanmıştır. İşlemin uygulanma yöntemi Şekil 3.1 ve 3.2’de gösterilmiştir. Uygulanacak işlemlerde sadece ultrases ve sadece düşük şiddet elektrik akımı da etkilerinin belirlenmesi açısından belirtilen sürelerde uygulanmıştır. Kontrol olarak hiç işlem görmemiş marullar ve tuzlu suyun içinde tutulan marul örnekleri kabul edilmiştir. Ultrases veya elektrik kaynaklı bir sıcaklık artışı olmaması için işlem sıvısının konduğu reaktör soğutmalı sirkülasyonlu su banyosuna bağlanmış ve 10°C sıcaklığındaki soğutma suyu 15L /dk. devirle hareket ettirilmiştir. Düşük şiddette elektrik akımı ve ultrasonik işlemci kombinasyonunda kombine uygulama imkanı olmaması nedeniyle 1 dak. elektrik 1 dak. ultrases olarak uygulanmıştır. Ortalama 20 g marul beher içine konduktan sonra 300 mL’ye kadar tuzlu su çözeltisi (%1,5) ile doldurulmuştur. İstanbul sebze halinden alınan marullar 4 gruba ayrılacaktır. Bu gruplar sadece ultrases işleminin uygulanacağı (1. Grup), sadece elektrik akımının uygulanacağı (2. Grup), ultrases ve elektrik akımının kombine uygulanacağı (3. Grup) ve işlem uygulanmayacak marullardan oluşan kontrol grubudur (4. Grup).



Şekil 3.1 Elektrik akımı (a) ve elektrosonikasyon (b) işleminin uygulanması



Şekil 3.2 Elektrosnikasyon işleminin ultrasonik su banyosuyla uygulanması

3.2.1 Çalışma Planı

Bu aşamada hem doğal mikrobiyota ve kalite özelliklerine etkisi hem de hem model sisteme ve marullara kontamine edilmiş patojen mikroorganizmaların inaktivasyonu üzerine elektrosnikasyon işleminin etkisi incelenmiş olup sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışma 3 aşamada anlatıldığı gibi uygulanmıştır:

a) Doğal mikrobiyota ve kalite özelliklerine etkisi: Bu aşamada marul örneklerindeki Toplam mezofilik-aerobik bakteri, toplam maya-küf ve toplam koliforma bakılmıştır. Ayrıca kalıntı oksidant (serbest klor ve hidrojen peroksit) ve fizikokimyasal (kuru madde ve renk) analizleri de yapılmıştır.

b) Model sistemde patojenlerin inaktivasyonu: Model sistem olarak 0,26 M tuzlu su çözeltisi öngörülmüş olup bu çözeltiye 6 log kob/mL seviyesinde *E. coli* O157:H7, *S. aureus* ve *L. monocytogenes* bulaştırılmıştır. Daha sonra model sistem 4 gruba ayrılmıştır. Bu gruplar, sadece ultrases işleminin uygulanacağı (1. Grup), sadece elektrik akımının uygulanacağı (2. Grup), ultrases ve elektrik akımının kombine kullanılacağı (3. Grup) ve işlem uygulanmamış marullardan oluşan kontrol grubudur (4. Grup).

c) Marullara kontamine edilen patojenlerin inaktivasyonu: İstanbul sebze halinden alınan sebzelere ~ 6 log kob/mL *E. coli* O157:H7, *S. aureus* ve *L. monocytogenes* ayrı ayrı

bulaştırıldıktan sonra sebzeler 4 gruba ayrılmıştır. Bu gruplar, sadece ultrases işleminin uygulanacağı (1. Grup), sadece elektrik akımının uygulanacağı (2. Grup), ultrases ve elektrik akımının kombine kullanılacağı (3. Grup) ve işlem uygulanmamış marullardan oluşan kontrol gruplarıdır (4. Grup). Ultrases probu titanyum, elektrik akımının uygulanacağı prob ise platinden imal edilmiştir. Bu nedenle kontamine olan problemler her işlemten önce üçer kez etil alkolle yakılarak dezenfekte edilmiştir. İşlemlerin uygulanacağı beher ise otoklavda steril edilmiştir.

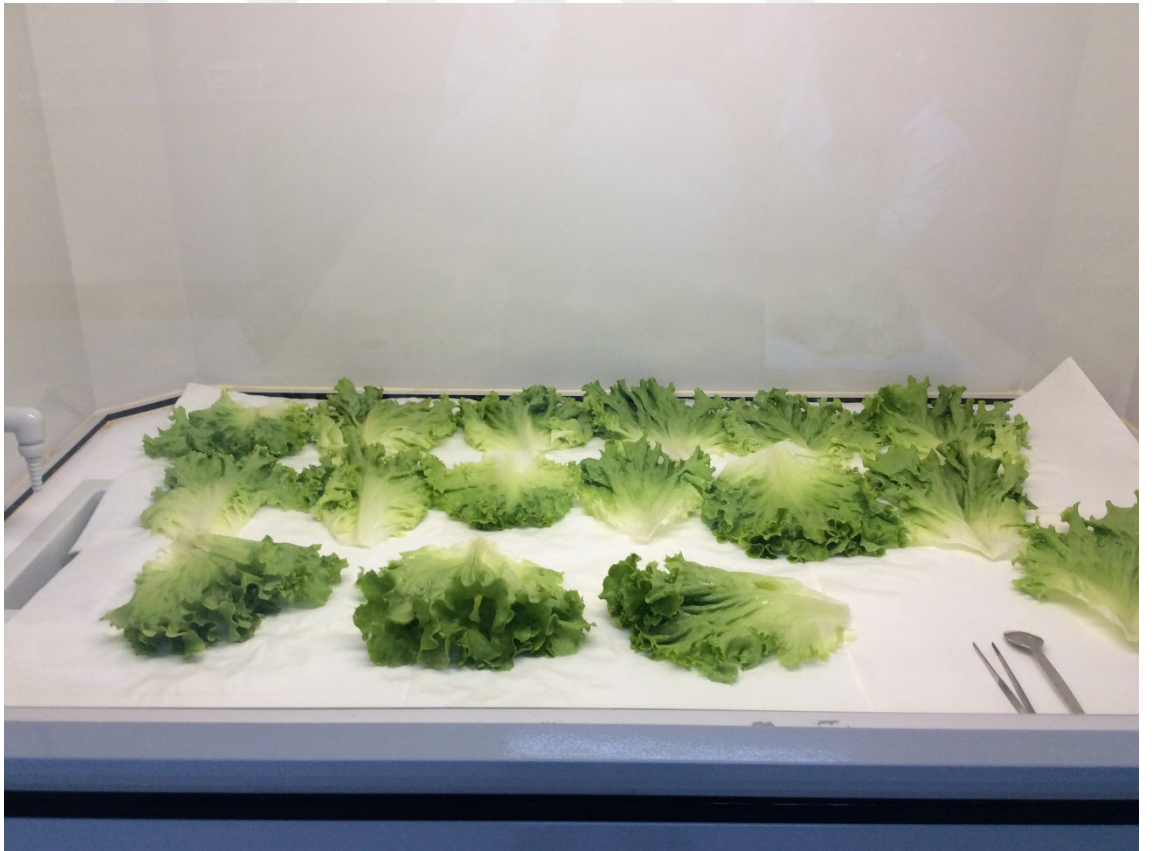
3.3 Mikrobiyolojik Sayımlar

Örnek Hazırlama: Bu çalışmada kullanılan marullar işlem gördükten sonra TMAB, toplam maya-küf, toplam koliform bakteri analizi için 25 g tartılarak 225 ml steril peptonlu su ile homojen karıştırılmıştır. Daha sonra bu karışımdan yine 9 ml peptonlu su çözeltisi ile 10^{-6} konsantrasyona kadar dilüsyonlar hazırlanarak, uygun besiyerleri üzerine bu dilüsyonlardan ekimler yapılmıştır.

Mikroorganizmaların inokülasyonu: Bu tez kapsamında kullanılacak olan marul örneklerine *E. coli* O157:H7, *S. aureus* ve *L. monocytogenes* bakterileri ve 10^6 kob/g konsantrasyonunda inoküle edilmiştir. İlk olarak stok bakteri kültürleri derin dondurucudan çıkartılarak uygun bir besiyerinde aktifleştirilmiştir. Aktifleşen bakteri kültürleri nutrient broth'da belirtilen konsantrasyonda örneklerle inoküle edilmiştir. İnokülasyon için Şekil 3.3'de gösterilen plastik kutu içerisine 1'er litre patojen ilave edilerek ve marullar buraya daldırılarak 2 dak. boyunca bekletilerek inokülasyon gerçekleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra steril pensle çıkartılıp steril kabine alınarak kuruyuncaya kadar beklenmiştir (Şekil 3.4). Daha sonra belirlenen işlemler steril koşullar altında uygulanmıştır. İşlemler uygulandıktan sonra aşağıda belirtilen bakteri sayımları yapılmıştır.



Şekil 3.3 Marullara daldırma yöntemi ile patojen inokülasyonu



Şekil 3.4 Marulların steril kabinde kurutulması

E. coli O157:H7 sayımı: *E. coli* O157:H7 sayımı için ise 25 g örnek 225 ml steril Maximum Recovery Diluent (MRD) ile homojen karıştırılarak ve yine 9 ml steril MRD ile uygun dilüsyonlar hazırlanmıştır. Daha önceden hazırlanmış Sorbitol MacConkey agar üzerine yayma usulü ekim yapılarak 37 °C 'da 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda renksiz zon oluşturan ve dumanımsı gri renkte 1-2 mm çapındaki koloniler tipik *E. coli* O157:H7 olarak sayımı yapılmıştır [41].

S. aureus sayımı: Örneklerden uygun dilüsyonlar hazırlandıktan sonra daha önceden hazırlanmış Baird–Parker agar (BPA - Oxoid CM0275) besiyerine yayma yöntemi ile ekim yapılmış ve 35°C'de 24-48 saat sonra gelişen siyah ve parlak renkli kolonilerin sayımı yapılmıştır [42].

L. monocytogenes sayımı: Örneklerden uygun dilüsyonlar hazırlandıktan sonra daha önceden hazırlanmış Listeria Oxford Selective Agar'a (LSA) ekim yapılarak, petrilere 37 °C'de 3 gün süreyle inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda siyah zonlu merkezi çukur kolonilerin sayımı yapılmıştır [43].

Toplam mezofilik-aerobik bakteri (TMAB): FDA-BAM'a göre Plate Count Agar (PCA) sterilize edildikten sonra petrilere dökülmüş ve petrilere katıldıktan sonra uygun dilüsyonlardan ekim yapılarak 30°C' de 48 saat süreyle inkübasyona bırakılmıştır [44].

Toplam maya-küf: FDA-BAM'a göre Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol (DRBC) agar sterilize edildikten sonra petrilere dökülmüştür. Petrilere katıldıktan sonra uygun dilüsyonlardan ekim yapılarak 25°C'de karanlıkta 5-7 gün süreyle inkübasyona bırakılmıştır [45].

Toplam koliform analizi: FDA-BAM'a göre 2 dakika kaynatılarak hazırlanan Violet Red Bile Agar (VRBA) 48°C'ye soğutmuştur. Petrilere 10mL dökülüp katıldıktan sonra ekim yapılmıştır. Kolonilerin yüzey büyümesi ve yayılmalarını engellemek için üzerine 5mL VRBA dökülerek petrilere 35°C'de 18-24 saat süreyle inkübe edilmiş ve sayım yapılarak toplam koliformlar belirlenmiştir [46].

3.4 Kalıntı oksidant analizleri

Serbest klor analizleri: 10 mL işlem sıvısıyla 1 adet Orion AC4P71 kiti karıştırılmış ve oluşan pembe renkli çözelti Orion AQ3070 Klormetre (ThermoScientific, Singapur) cihazıyla 525nm dalga boyundaki ışığın absorblanmasına bağlı olarak doğrudan mg/L cinsinden sonuçlar alınmıştır. Okuma aralığı (0,02-4 mg/L) aşıldığında ise saf suyla seyreltme yapılarak analizler tekrarlanmıştır.

Hidrojen peroksit analizi: MERCK (Almanya) 1.10011.0001 test şerit kiti kullanılarak kolorimetrik olarak belirlenmiştir. Test şeridi oda sıcaklığında işlem sıvısına 1 saniye daldırılarak emdirilmiş ve 15 saniye sonra renk skalasına kıyaslanarak kolorimetrik olarak belirlenmiştir. Testin hassasiyeti 0,5-25 mg/L H₂O₂ aralığında olup gerektiğinde saf suyla seyreltilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

3.5 Fizikokimyasal özellikler

Kuru madde analizi: Sebzeler 10'ar g tartılarak 70°C'de vakumlu kurutucuda (Daihan WOV-30, Kore) sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulup ağırlık kaybı esas alınarak hesaplanmıştır [47].

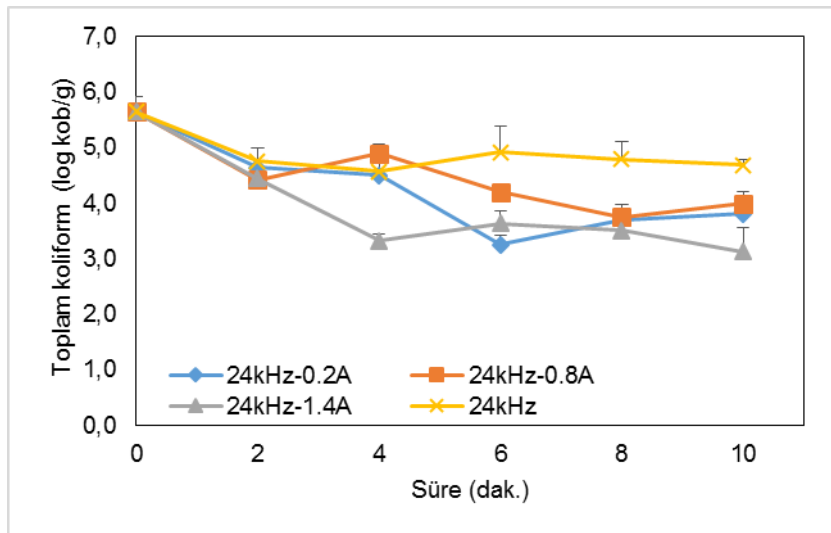
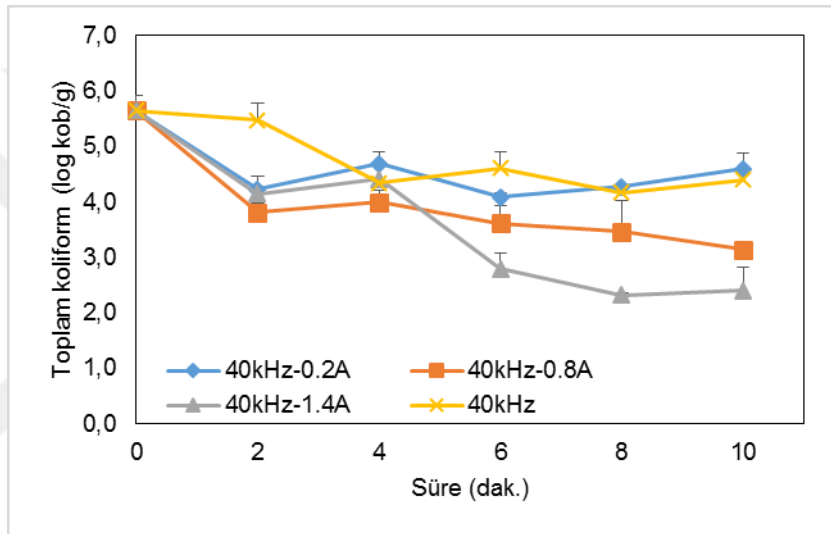
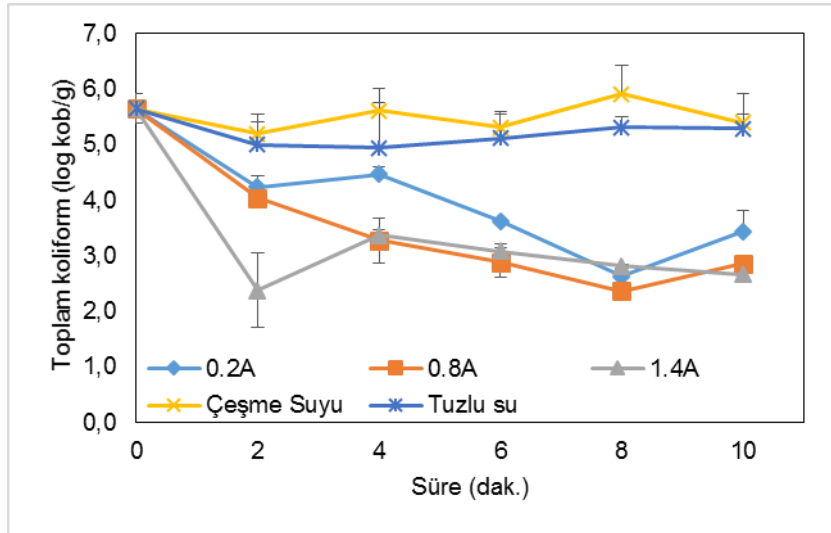
Renk analizi: Çalışmada üç boyutlu renk ölçümü esasına dayanan kolorimetre cihazı (Konica Minolta-CR 400, Japonya) kullanılmıştır. Örneklerin de bu kolorimetreye L*, a*, b* değerleri ölçülmüş ve kroma değerleri [$C = (a^2 + b^2)^{1/2}$] hesaplanmıştır [48].

ARAŞTIRMA BULGULARI

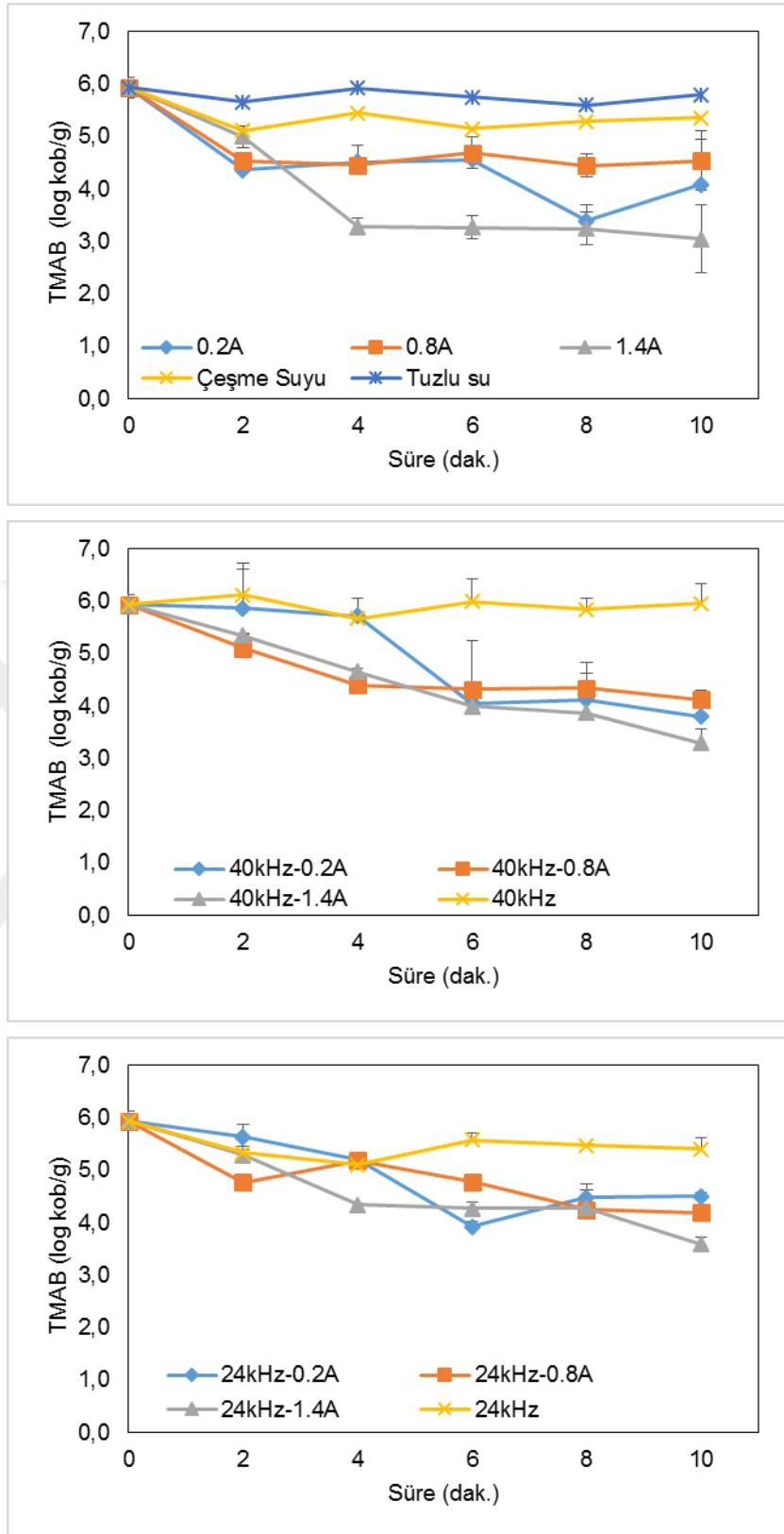
4.1 Elektrosonikasyon işleminin maruldaki doğal mikrobiyata ve kalite özellikleri üzerine etkisi

İşlem uygulanmamış taze marullarda tespit edilen toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB), toplam maya küf ve toplam koliform bakteri (TKB) içerikleri sırasıyla $5,94 \pm 0,20$; $4,82 \pm 0,33$ ve $5,65 \pm 0,27$ kob/g olarak tespit edilmiştir. Taze marullarda bulunan, toplam koliform, toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) ve toplam maya küflere elektrik akımı ve elektrosonikasyon yönteminin etkisi sırasıyla Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te sunulmuştur.

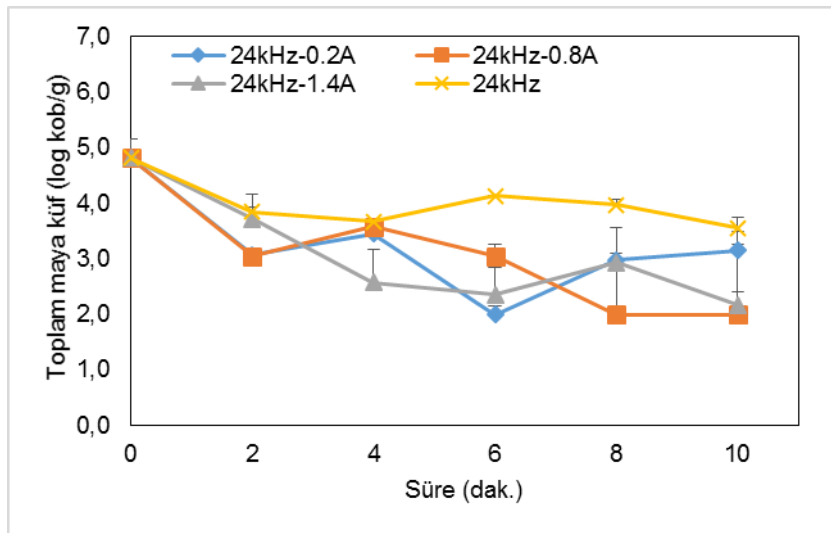
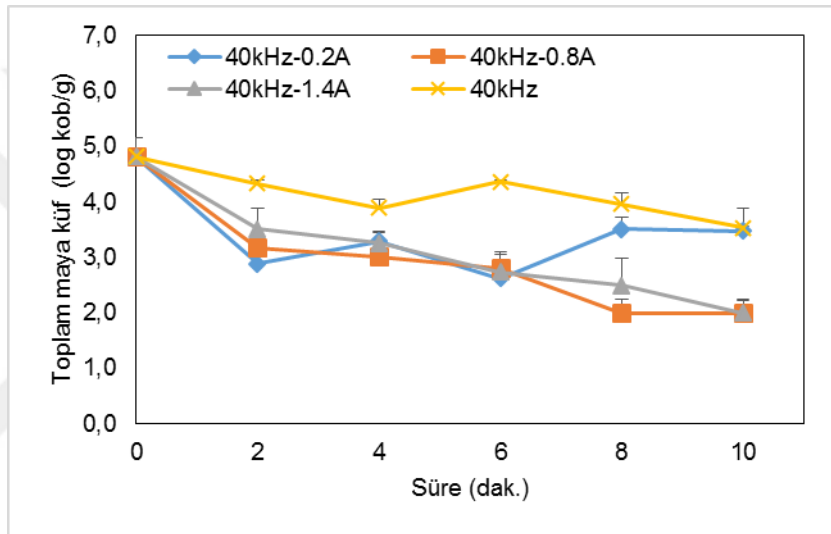
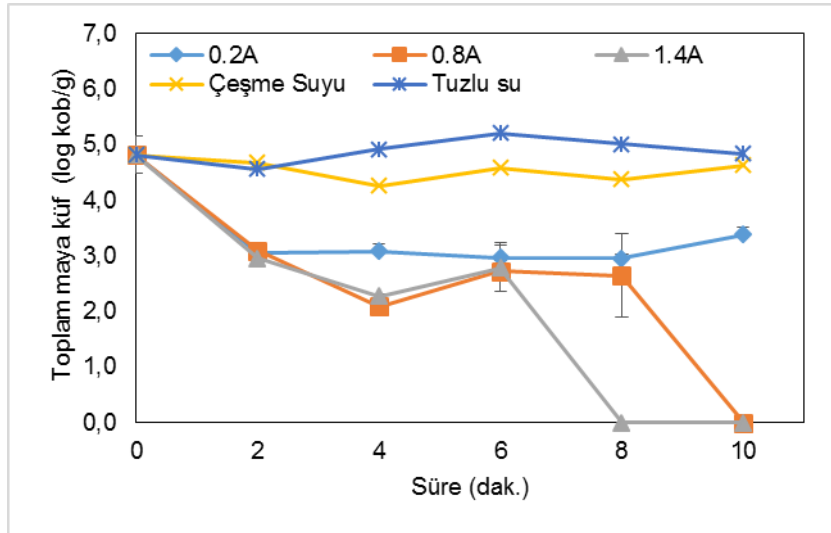
Elektrik akımı uygulanmış marul örneklerinde TMAB 2,90 log kob/g inaktive olurken, 40 kHz frekansta çalışan USB ile kombine edilen elektrosonikasyon (ES1) işlemiyle 2,64 log kob/g inaktivasyon sağlanmıştır. 24kHz frekansta çalışan USİ ile kombine edilen elektrosonikasyon (ES2) işlemiyle ise 2,45 log kob/g inaktivasyon gerçekleşmiştir. Toplam maya küf içeriği ise elektrik akımıyla tamamen inaktive edilebilirken (< 2 log kob/g), elektrosonikasyon işlemlerinde bazı tekerrürlerde tamamen inaktive edilebilirken (< 2 log kob/g) bazılarında tamamen inaktive edilememiştir. Numunelerde TMAB'nin yanı sıra TKB dekontaminasyonunda da sadece elektrik akımı uygulamasıyla daha iyi sonuç alınmıştır. 1,4 A elektrik akımında 10 dakika sonucunda yaklaşık 3 log kob/g inaktivasyon sağlanmıştır. Marul örneklerinde elektrik akımının artması mikroorganizma dekontaminasyonunda en önemli parametrelerin başında geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.1 Marulda elektrik akımı ve elektrosonikasyon işleminin koliform bakteriler üzerine etkisi



Şekil 4.2 Marulda elektrik akımı ve elektrosonikasyon işleminin toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) üzerine etkisi



Şekil 4.3 Marulda elektrik akımı ve elektrosonikasyon işleminin toplam maya küf üzerine etkisi

Çeşme suyuna ve tuzlu suya bırakılan marullarda yaklaşık 0,6 log kob/g kadar mikroorganizma azalması tespit edilmesine karşın sadece ultrasonik su banyosunda ultrasese maruz kalan mikroorganizmalarda TMAB sayılarında herhangi bir değişim olmazken toplam maya küf ve toplam koliform bakterilerinde sırasıyla 1,2 ve 1,3 log kob/g azalma görülmüştür. Bununla birlikte sadece ultrasonik işlemci (24kHz) ile yapılan işlemlerde TMAB, toplam maya-küf ve koliform bakteri sayılarında sırasıyla 0,5; 1,3 ve 1,0 log kob/g azalma kaydedilmiştir.

Pinheiro vd. [49] domateslerin depolama kalitesini artırmak üzere farklı seviyelerde US uyguladığı bir çalışmada, ise 3,8 log kob/g olan TMAB seviyesini yaklaşık olarak 1 log azaltmayı başarmışken, toplam maya ve küflerdeki bu dekontaminasyonun yaklaşık 0,5 log düzeyinde kaldığı tespit etmişler. Allende vd. [50] doğranmış havuçlarda yaptığı bir çalışmada TMAB sayısını 6 log'un üzerinde tespit etmiştir. Bu havuçları 100-1000 ppm seviyelerinde asitlendirilmiş klorit (ASC) çözeltisiyle yıkamış ve 100 ppm ASC ile 3 log'a yakın TMAB dekontaminasyonu sağlarken 500 ve 1000 ppm ASC ile tamamen dekontamine edilebilmiştir. Yaptığımız bu çalışmada ise 0,8 A'de 4 dakikada 141 mg/L klor oluşmuş ve yaklaşık 3 log inaktivasyon gerçekleşmiştir. En fazla klor ise 1,4 A'de 10 dakika sonucunda 312 mg/L oluşmuş ve tamamen (<2 log kob/mL) inaktivasyon gerçekleşmiştir. Çeşme suyu kullanıldığında ise herhangi bir değişim görülmemiştir. Dolayısıyla burada kullanılan dozun çok önemli bir parametre olduğu açıkça ortaya çıkmaktadır. Aynı şekilde Allende vd. [50] kıyılmış havuçlara uyguladığı ASC ile yıkama işleminin toplam maya küf üzerine de benzer bir etki gösterdiği açıkça görülmektedir. 100 ppm ASC ile 1 log'un altında bir dekontaminasyon sağlanırken 500 ve 1000 ppm ASC' ile yıkanan doğranmış havuçlarda toplam maya küfe rastlanmamıştır. Lee vd. [51] ise 200 ppm sodyum hipoklorit çözeltisiyle maş fasulyesi filizindeki TMAB sayısını azaltamadıklarını ifade etmektedir.

Yapılan çalışmanın sonuçlarıyla kıyaslandığında, tez kapsamında elektrosonikasyon işleminin çeşitli serbest klor bileşikleri ve hidrojen peroksit oluşumuna sebep olarak mikroorganizma dekontaminasyonuna sebep olduğu düşünülmektedir. Allende vd. [50] ve Lee vd. [51] ise farklı klorlu bileşikler ile dekontaminasyon yapmaya çalışmıştır. Bizim yaptığımız çalışmanın aksine onlar aktif bir şekilde klorlu su ile yıkama yapmışlardır. Her ne kadar Allende vd. [50] yaptığı çalışmada çok iyi sonuçlar alınsada

burada yıkamanın şeklinin endüstriye aktarılmasında bazı zorluklar oluşacağı için bizim tez çalışmamızda elde edilen sonuçların daha iyi dizaynlar yapılmak suretiyle küçük ölçekli üretim yapan işletme ve lokantalarda sebzeler için kullanılabileceği ortaya çıkmıştır.

4.2 Elektrosonikasyon işleminin fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisi

Elektrik akımı ve elektrosonikasyon işlemlerinin marul örneklerinin fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisi renk analizi ve kuru madde değişimi olarak belirlenmiştir. Renk değişimi, L^* değeri (Çizelge 4.1) ve kroma değerleri (Çizelge 4.2) olarak belirlenmiştir. L^* değeri taze marullarda $49,11 \pm 2,41$ olarak tespit edilmiştir. Kroma değeri ise taze marullarda $29,85 \pm 4,99$ olarak tespit edilmiştir. Marul numunelerinde L^* değeri ve kroma değerinde önemli bir değişim görülmemiştir ($P < 0,05$). Bunun en önemli sebebi, işlem uygulanmamış marullarda homojenliğin düşük olmasından dolayı standart sapmanın yüksek olmasıyla ilişkilendirilebilir. Çizelge 4.3'ten de görüleceği üzere önemli bir renk değişimi gözlemlenmemiştir.

Bu işlemlerin kuru madde içeriği üzerine değişimi ise Çizelge 4.4'te sunulmuştur. İşlem süresi ve şiddetine bağlı olarak marul numunelerinin kuru madde içeriklerinde istatistiksel olarak anlamlı seviyede düşüş gözlemlenmiştir ($P < 0,05$). Bunun işlem sıvısındaki suyun materyale nüfuz etmesi şeklinde olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.1 Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin toplam L* değerine etkisi

Numune İşlem	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)					
		0	2	4	6	8	10
Elektrik akımı	0,2	49,11 ^a	49,28 ^a	49,48 ^a	52,55 ^a	50,96 ^a	51,39 ^a
		±2,41	±5,60	±1,13	±1,13	±1,95	±4,29
	0,8	49,11 ^a	47,78 ^a	49,85 ^a	50,58 ^a	50,07 ^a	47,68 ^a
		±2,41	±2,27	±3,81	±4,98	±3,95	±3,10
	1,4	49,11 ^a	50,65 ^a	49,18 ^a	48,98 ^a	48,22 ^a	47,91 ^a
		±2,41	±3,09	±4,23	±4,00	±1,12	±2,07
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	49,11 ^a	48,80 ^a	53,14 ^a	50,67 ^a	54,24 ^a	51,96 ^a
		±2,41	±2,53	±2,40	±5,13	±2,04	±5,00
	0,2	49,11 ^{ab}	53,56 ^b	53,31 ^b	52,21 ^b	54,55 ^b	45,35 ^a
		±2,41	±3,47	±4,09	±2,39	±2,28	±0,42
	0,8	49,11 ^a	52,68 ^a	53,76 ^a	55,12 ^a	53,92 ^a	51,80 ^a
		±2,41	±3,40	±4,16	±1,70	±2,41	±1,69
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	1,4	49,11 ^a	48,30 ^a	52,07 ^{ab}	53,40 ^b	54,84 ^b	55,93 ^b
		±2,41	±3,89	±3,39	±4,31	±1,90	±0,84
	0	49,11 ^a	48,93 ^a	52,37 ^a	47,16 ^a	50,71 ^a	43,20 ^a
		±2,41	±3,19	±7,35	±9,99	±1,21	±7,20
	0,2	49,11 ^a	52,98 ^a	50,17 ^a	53,91 ^a	52,89 ^a	50,64 ^a
		±2,41	±4,88	±2,00	±4,74	±3,13	±6,72
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0,8	49,11 ^a	48,09 ^a	50,83 ^a	52,88 ^a	48,26 ^a	49,67 ^a
		±2,41	±8,98	±2,01	±2,05	±2,59	±1,90
	1,4	49,11 ^a	55,77 ^a	51,70 ^a	51,98 ^a	49,19 ^a	49,62 ^a
		±2,41	±3,13	±5,51	±3,69	±2,19	±5,96

Not: USB: Ultrasonik Su Banyosu (f:40kHz ve A:%100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f:24kHz ve A:%100)

Çizelge 4.2 Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin kroma değerine etkisi

Numune/İşlem	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)					
		0	2	4	6	8	10
Elektrik akımı	0,2	29,85 ^a	31,92 ^a	31,94 ^a	33,89 ^a	30,26 ^a	27,27 ^a
		±4,99	±3,83	±4,06	±4,79	±1,65	±6,76
	0,8	9,85 ^a	30,03 ^a	24,16 ^a	26,12 ^a	29,70 ^a	23,86 ^a
		±4,99	±5,44	±2,54	±4,20	±3,13	±5,51
	1,4	29,85 ^a	28,56 ^a	27,95 ^a	25,05 ^a	27,15 ^a	30,83 ^a
		±4,99	±2,71	±3,66	±5,62	±4,13	±3,09
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	9,85 ^a	29,44 ^a	26,68 ^a	25,04 ^a	24,51 ^a	25,94 ^a
		±4,99	±5,6	±5,23	±3,09	±5,85	±4,76
	0,2	29,85 ^b	27,05 ^b	29,24 ^b	28,87 ^b	30,41 ^b	18,03 ^a
		±4,99	±2,83	±5,08	±1,84	±2,76	±3,63
	0,8	29,85 ^a	28,79 ^a	31,65 ^a	26,32 ^a	33,19 ^a	29,08 ^a
		±4,99	±3,89	±6,45	±2,53	±2,49	±4,75
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	1,4	9,85 ^a	30,85 ^a	25,79 ^a	28,36 ^a	28,18 ^a	28,58 ^a
		±4,99	±0,88	±0,59	±2,78	±4,79	±4,59
	0	29,85 ^b	30,41 ^b	26,77 ^b	22,41 ^b	28,35 ^b	17,41 ^a
		±4,99	±2,39	±4,56	±4,26	±3,28	±4,49
	0,2	29,85 ^a	25,69 ^a	27,25 ^a	29,04 ^a	31,12 ^a	27,81 ^a
		±4,99	±6,34	±3,37	±5,18	±3,56	±4,43
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0,8	9,85 ^a	24,73 ^a	21,53 ^a	28,03 ^a	24,97 ^a	22,28 ^a
		±4,99	±8,71	±3,25	±4,21	±1,47	±4,48
	1,4	9,85 ^a	24,37 ^a	25,64 ^a	26,02 ^a	24,61 ^a	29,23 ^a
		±4,99	±3,48	±2,55	±3,20	±3,96	±5,30

Not: USB: Ultrasonik Su Banyosu (f:40kHz ve A:%100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f:24kHz ve A:%100)

Çizelge 4.3 Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin ΔE değerine etkisi

İşlem	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)				
		2	4	6	8	10
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0,2	6,04 ^b	4,15 ^a	6,81 ^b	6,41 ^b	7,65 ^c
		±2,40	±0,96	±0,94	±1,91	±1,53
	0,8	5,76 ^a	6,70 ^b	6,10 ^{ab}	7,42 ^b	8,28 ^c
		±2,08	±2,39	±3,86	±1,32	±2,53
	1,4	3,85 ^a	5,27 ^c	4,37 ^b	4,53 ^b	4,33 ^b
		±1,61	±0,84	±2,87	±1,84	±1,65
	0	5,32 ^a	6,59 ^b	6,96 ^b	8,96 ^c	8,62 ^c
		±1,01	±3,22	±2,69	±2,09	±3,91
	0,2	6,46 ^b	6,50 ^b	4,71 ^a	6,04 ^b	7,80 ^c
		±1,44	±0,71	±1,58	±2,01	±2,48
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0,8	5,57 ^a	8,00 ^c	7,24 ^{bc}	6,49 ^b	6,56 ^b
		±2,03	±2,93	±2,07	±1,32	±2,86
	1,4	5,43 ^a	5,83 ^a	6,09 ^b	7,12 ^{bc}	7,92 ^c
		±2,76	±0,89	±2,27	±2,65	±1,69
	0	3,28 ^a	8,42 ^c	8,48 ^c	7,12 ^b	8,65 ^c
		±1,50	±2,70	±0,43	±2,48	±1,72
	0,2	8,34 ^a	4,10 ^a	7,63 ^{bc}	6,40 ^b	8,46 ^c
		±3,85	±1,91	±1,87	±2,46	±1,44
	0,8	10,77 ^c	8,65 ^{bc}	5,71 ^a	5,46 ^a	7,18 ^b
		±2,40	±3,34	±1,78	±1,52	±1,89
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	1,4	10,78 ^c	8,12 ^b	7,28 ^a	7,40 ^a	7,41 ^a
		±2,16	±1,91	±1,45	±2,03	±1,40

Not: USB: Ultrasonik Su Banyosu (f:40kHz ve A:%100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f:24kHz ve A:%100)

Çizelge 4.4 Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin toplam kuru madde (%) üzerine etkisi

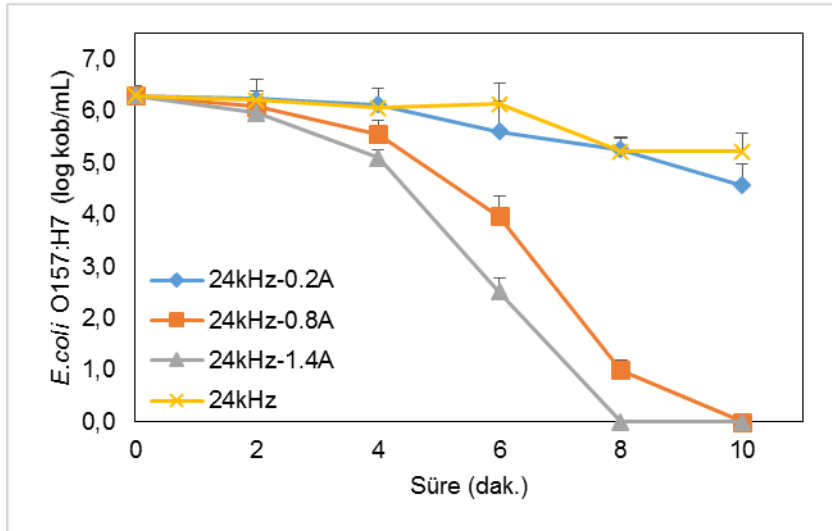
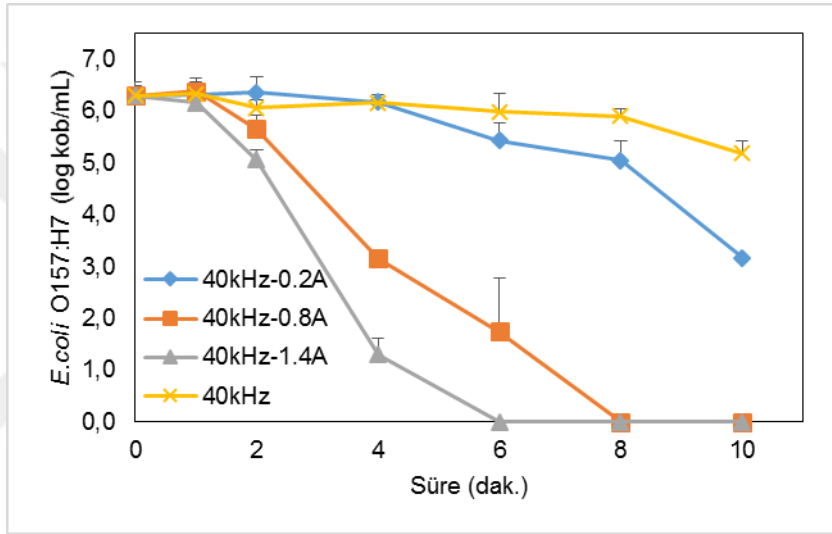
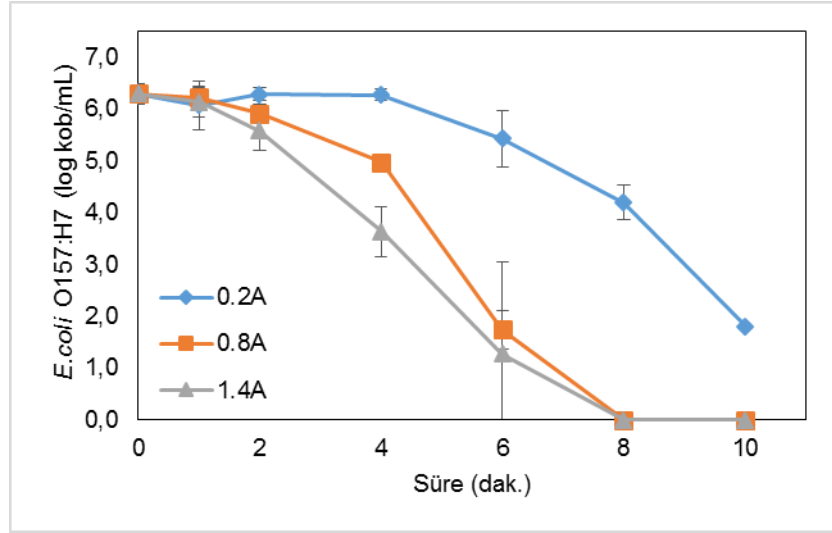
İşlem	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)					
		0	2	4	6	8	10
Elektrik akımı	0,2	5,06 ^d	4,88 ^{cd}	4,44 ^{abc}	4,14 ^a	4,34 ^{ab}	4,62 ^{bcd}
		±0,08	±0,10	±0,17	±0,20	±0,30	±0,08
	0,8	5,06 ^c	4,29 ^b	3,95 ^{ab}	3,90 ^a	4,15 ^{ab}	4,21 ^{ab}
		±0,08	±0,10	±0,07	±0,16	±0,21	±0,21
	1,4	5,06 ^c	4,07 ^a	4,14 ^a	4,32 ^a	4,65 ^a	4,21 ^a
		±0,08	±0,12	±0,17	±0,06	±0,13	±0,19
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	5,06 ^d	4,31 ^{ab}	4,22 ^a	4,21 ^a	4,54 ^{bc}	4,58 ^c
		±0,08	±0,07	±0,06	±0,12	±0,15	±0,08
	0,2	5,06 ^b	4,06 ^a	4,25 ^a	4,07 ^a	4,1 ^a	4,03 ^a
		±0,08	±0,13	±0,16	±0,20	±0,07	±0,13
	0,8	5,06 ^d	4,27 ^{ab}	4,13 ^a	4,18 ^{ab}	4,56 ^{bc}	4,67 ^c
		±0,08	±0,07	±0,18	±0,09	±0,28	±0,12
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	1,4	5,06 ^c	4,59 ^{bc}	3,90 ^a	4,30 ^{ab}	4,26 ^{ab}	4,32 ^{ab}
		±0,08	±0,33	±0,36	±0,25	±0,13	±0,28
	0	5,06 ^c	4,47 ^b	4,50 ^b	4,59 ^b	4,03 ^a	4,07 ^a
		±0,08	±0,32	±0,03	±0,04	±0,13	±0,08
	0,2	5,06 ^c	4,02 ^a	4,06 ^a	4,05 ^a	3,98 ^a	4,72 ^b
		±0,08	±0,14	±0,09	±0,10	±0,04	±0,23
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0,8	5,06 ^b	4,49 ^a	4,46 ^a	4,49 ^a	4,31 ^a	4,08 ^a
		±0,08	±0,18	±0,09	±0,33	±0,09	±0,10
	1,4	5,06 ^c	4,06 ^{ab}	4,06 ^{ab}	3,91 ^a	3,96 ^{ab}	4,40 ^b
		±0,08	±0,13	±0,08	±0,12	±0,06	±0,35

Not: USB: Ultrasonik Su Banyosu (f:40kHz ve A:%100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f:24kHz ve A:%100)

4.3 Model sistemde patojen bakterilerin dekontaminasyonu

Model sistemde (%1,5 tuzlu su çözeltisi) 3 farklı patojen bakteri, farklı işlemler kullanılarak dekontamine edilmeye çalışılmıştır. Bu işlemler düşük şiddette elektrik akımı ve ultrases işlemleri ile bu uygulamaların birlikte kullanıldığı elektrosonikasyon işlemleridir. Yaklaşık 6 log kob/g patojen inoküle edilen bu model sisteme 2, 4, 6, 8 ve 10 dakika süreyle işlem uygulanmıştır.

Şekil 4.4'de *Escherichia coli* O157:H7'ye ait inaktivasyon grafiği verilmiştir. Burada en etkili yöntemin birinci elektrosonikasyon yöntemi (Ultrasonik Su Banyosu+Düşük Şiddet Elektrik Akımı) olduğu görülmektedir. 1,4 A'de 6 dakikada içerisinde *E. coli* O157:H7 tespit edilememiştir (<1 log kob/mL). Birinci elektrosonikasyonda 0,8 A'de 8. dak. *E. coli* O157:H7 tespit edilemezken, 0,2 A'de en fazla 3,14 log kob/g inaktivasyon gözlemlenmiştir. İkinci elektrosonikasyon metodunda (Ultrasonik İşlemci+ Düşük Şiddet Elektrik Akımı) ise 1,4 A'de 8 dakikada, 0,8 A'de ise 10 dakikada *Escherichia coli* O157:H7 tespit edilemezken, 0,2 A'de birinci elektrosonikasyonun yaklaşık yarısı kadar bir inaktivasyon meydana gelmiştir. Elektrik akımı, US işlemci ve US banyosu tek başına kullanıldıklarında ise en büyük etkiyi elektrik akımı göstermiştir. Sadece ultrasonik işlemci ve sadece ultrasonik su banyosu sırasıyla 1,12 log ile 1,07 log kob/g aralığında bir inaktivasyon sağlanmıştır. Sonuç olarak Şekil 4.4'e bakıldığında elektrsonikasyon uygulamasının *E. coli* O157:H7 dekontaminasyonunda diğer işlemlere göre daha etkili bir yöntem olduğu görülmektedir.



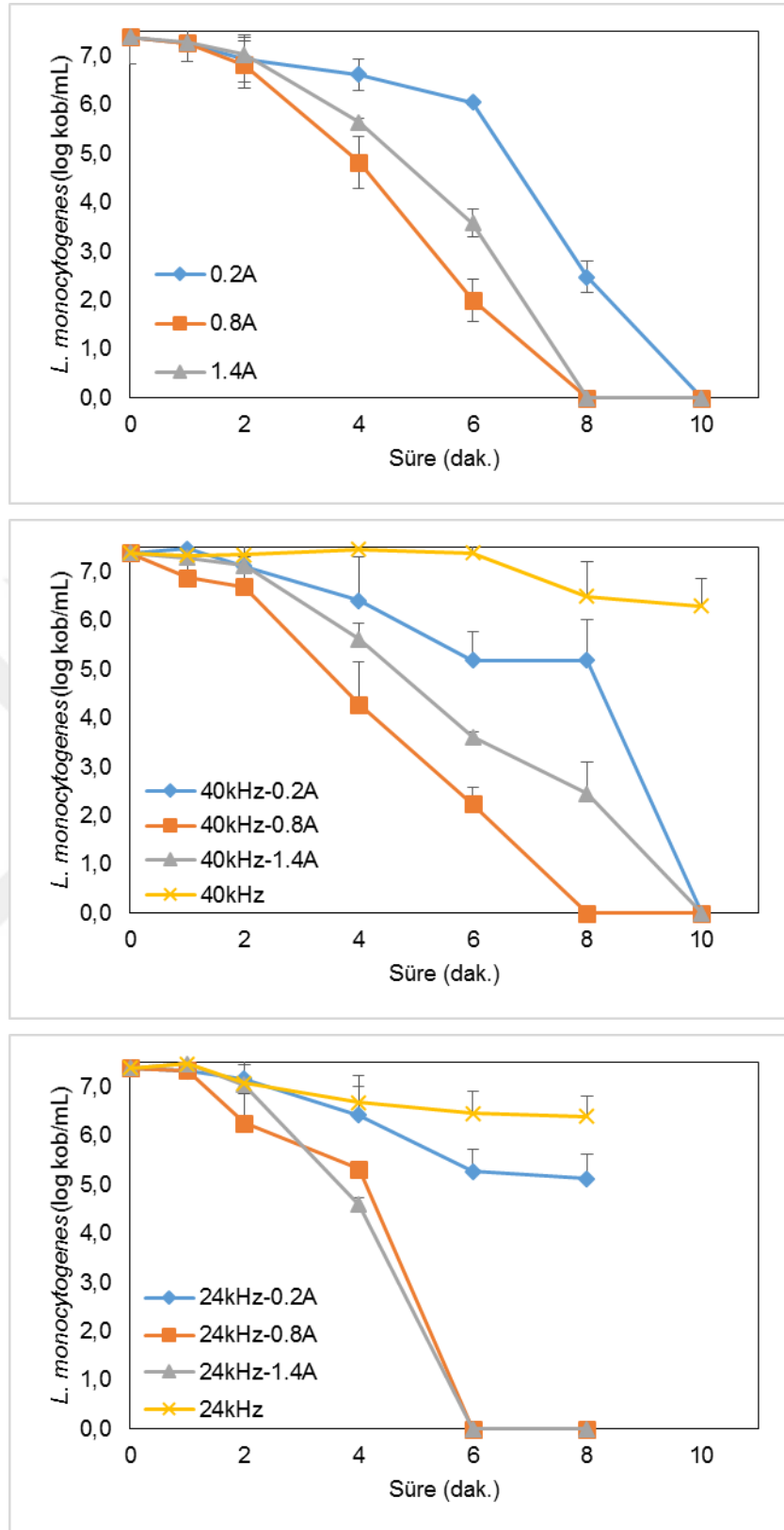
Şekil 4.4 Model sistemde elektrik akımı ve elektrosonikasyonla *E.coli* OH157:H7 inaktivasyonu

En etkili dekontaminasyon 0,8 ve 1,4 A seviyesindeki elektrik akımı işleminin gösterdiği bu şekillerden gözlemlenmektedir. Model sisteme inoküle edilen *L. monocytogenes*'in uygulanan işlemler sonrası inaktivasyon grafiği Şekil 4.5'de verilmiştir. Bu model sisteme *L. monocytogenes* 7,39±0,55 log kob/mL seviyesinde inoküle edilmiştir. Elektrosonikasyon işlemleri, sadece elektrik akımı uygulamasından daha yüksek bir inaktivasyon gerçekleştirdiği tespit edilirken sadece ultrases uygulamalarıyla *L. monocytogenes* inaktivasyonunun 1,09 log kob/mL olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca *L. monocytogenes*'de 0,2 A'de de *E. coli*'den farklı olarak tamamen bir inaktivasyon gerçekleştirmiştir (<1 log kob/mL).

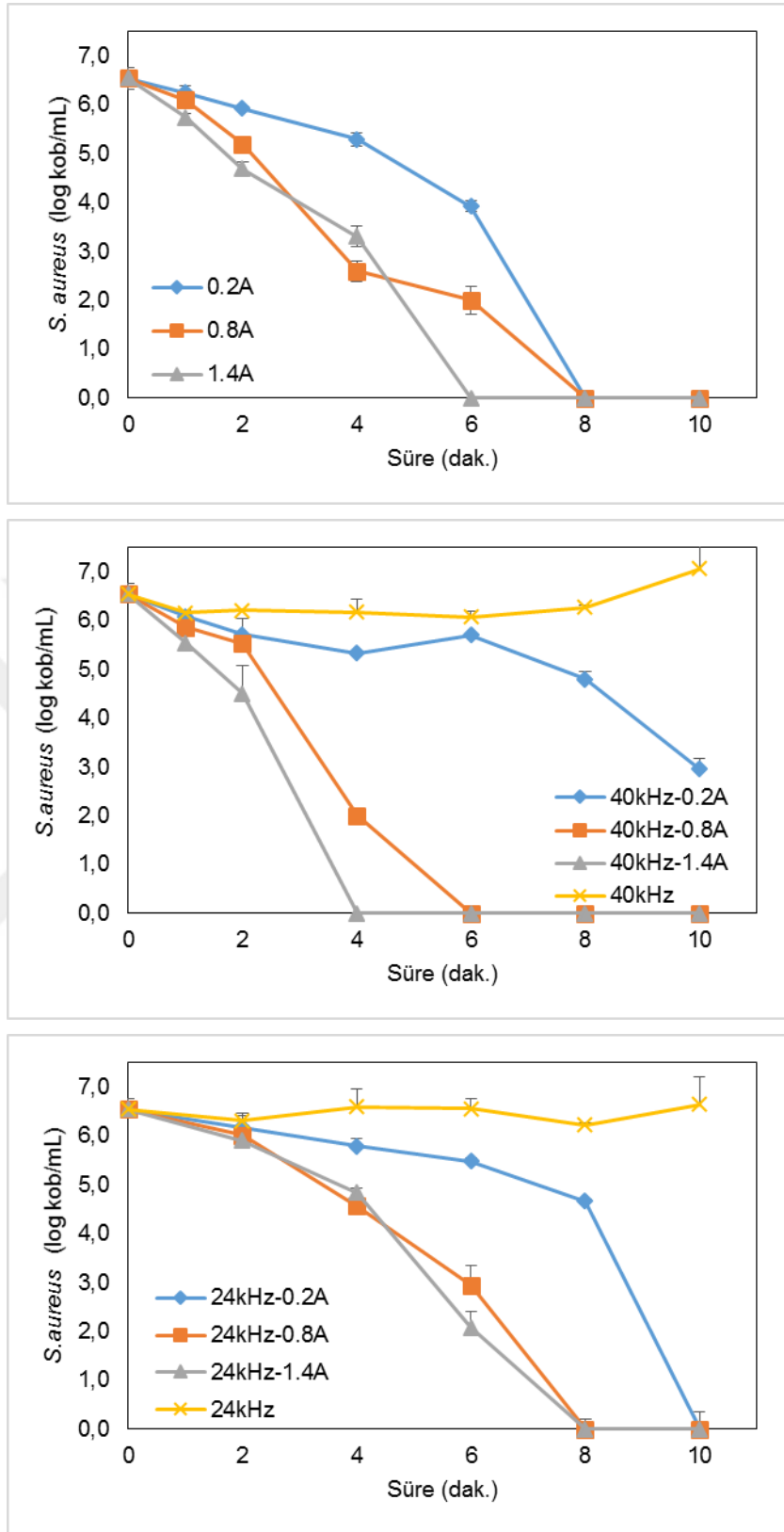
S. aureus model sisteme 6,55±0,22 log kob/mL seviyesinde inoküle edilmiştir ve uygulanan işlemler sonucunda dekontamine olan *S. aureus*'a ait inaktivasyon grafiği Şekil 4.6'te sunulmuştur. *S. aureus* diğer patojenlere nazaran bu dekontaminasyon işlemlerine diğer patojenlerden daha hassas olduğu tespit edilmiştir. 40 kHz ultrases ile 1,4 A elektrik akımında kombine edildiği elektrosonikasyon işleminin 4 dakika ve üzeri uygulamalarında *S. aureus* tespit edilememiştir (<1 log kob/mL). 24 kHz ultrases ile 1,4 A elektrik akımının kombine uygulandığı elektrosonikasyon işleminde ise 8. dakikadan itibaren tamamen inaktivasyon sağlanmıştır (<1 log kob/mL). Sadece elektrik akımı uygulamasında ise bu dekontaminasyon 6. dakikadan itibaren sağlandığı tespit edilmiştir. ES2'de elektrik akımının 0,2 A'de olması durumunda ise tam olarak bir inaktivasyon gerçekleşmiştir.

Sonuçlar göstermektedir ki model sistemde elektrosonikasyon uygulaması, sadece elektrik akımı ve sadece ultrases uygulamasından daha etkili olduğu görülmüştür. Çünkü materyal elektrik akımının her noktada aynı etkiyi göstermesine engel olabilmektedir.

Sadece doğrusal elektriksel akımı uygulaması tuzlu sudaki patojenleri 4 log'dan 7 log'a kadar çeşitli seviyelerde inaktive ettiği birçok çalışmada rapor edilmiştir [2, 5, 8, 53]. Bununla birlikte ultrasesin de mikroorganizmalar üzerine inaktive edici bir etkisi olduğu [54, 55, 56] rapor edilmektedir. İki işlemin kombine edilmesiyle daha güçlü bir inaktivasyonun olması beklenmesine rağmen böyle bir sonuç elde edilememiştir.



Şekil 4.5 Model sistemde elektrik akımı ve elektrosonikasyonla *L. monocytogenes* inaktivasyonu



Şekil 4.6 Model sistemde elektrik akımı ve elektrosonikasyonla *S. aureus* inaktivasyonu

4.4 Marullara kontamine edilen patojen mikroorganizmaların dekontaminasyonu

Marullara inoküle edilen *S. aureus*, *L. Monocytogenes* ve *E.coli* O157:H7 mikroorganizmalarının başlangıç yük seviyeleri sırasıyla 6.00 ± 0.70 , 6.36 ± 0.31 ve 6.48 ± 0.55 log kob/g olarak belirlenmiştir. Bu marullara inoküle edilen bu mikroorganizmaların elektrosonikasyon işlemi sonrası kalan mikroorganizma seviyeleri sırasıyla Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9'da rapor edilmektedir. Şekillerden anlaşılmaktadır ki 10 dakikalık sadece ultrasonik su banyosu uygulamasıyla sırasıyla 1,09 log, 1,64 log ve 2,45 log kob/g inaktivasyon gerçekleşmiştir. 10 dakikalık sadece ultrasonik işlemci uygulamasında ise sırasıyla 1,30 log, 1,84 log ve 1,82 log kob/g inaktivasyon sağlanmıştır. Şekil 4.7 grafiğinden anlaşılabileceği üzere sadece USB (40 kHz) kullanımının ilk dakikasında keskin bir düşüş olduğu gözlemlenirken daha sonra inaktivasyon hızı azalarak devam etmektedir. İlk dakikada 1,33 log kob/g bir inaktivasyon olduktan sonra işlem sonrasında (10. Dakika) 1,95 log kob/g inaktivasyon sağlanmıştır. Elektrik akımıyla birlikte USB kullanıldığında 0,2 A'de ilk dakikada 1,70 log kob/g inaktivasyon gerçekleşirken sonraki dakikalarda yine fazla bir değişiklik gözlemlenmeyip 10. dakikada 2,46 log kob/g inaktivasyon gerçekleşmiştir. 0,8 A'de ise ilk dakikada 1,58 log kob/g inaktivasyon gerçekleşirken 10. dakikada 2,41 log kob/g inaktivasyon gerçekleşerek 0,2 A ile aynı oranda bir inaktivasyon gerçekleştirdiği görülmüştür. 1,4 A'de ise ilk dakikada 1,39 log kob/g düşerken 4. dakikadan itibaren düzenli bir düşüş göstererek 10. dakikada 2,91 log kob/g inaktivasyon gerçekleşerek diğer iki elektrik akımından 0,5 log'dan fazla bir inaktivasyon gerçekleştirmiştir.

Sadece elektrik akımı uygulandığı kısımda ise 0,2 A'de ilk dakikada 0,87 log kob/g inaktivasyon 10. dakikada bu oranın iki katı bir düşüş yaşanarak toplamda 2,70 log kob/g inaktivasyon meydana gelmiştir. 0,8 A'de ilk dakikada 4.72 ± 0.65 seviyesine inerken 10. dakikada 3.49 ± 1.03 log kob/g seviyesine kadar dekontamine olmuştur. 1,4 A'de ise ilk dakikadaki etkisi diğer elektrik akımlarının aksine 5.26 ± 0.09 seviyesinde olurken 10. dakikada 2.43 ± 0.64 seviyesine düşerek toplamda 4,05 log kob/g'luk bir inaktivasyon meydana gelmiştir.

ES2 işleminde ise sırasıyla 1 dakika elektrik 1 dakika ultrasonik işlemci uygulaması yapılmıştır (Şekil 4.7). Ultrasonik su banyosuyla elektrik akımı birlikte uygulanmasına

rağmen ultrasonik işlemciyle elektrik akımının birlikte kullanılması mümkün olmamıştır. Ayrıca elektrik ünitesinin minimum işlem süresi 1 dakikadan kısa olmadığı için uygulamalara 2. dakikadan itibaren başlanmıştır. Sadece ultrasonik işlemci uygulandığında 2. dakikada $4,86 \pm 1,36$ log kob/g seviyesine inerek bundan sonraki dakikalarda çok küçük inaktivasyonlar meydana gelmiştir. 10. dakika sonunda $4,66 \pm 0,79$ log kob/g seviyesine kadar düşürülebilmektedir. Burada 2. dakikada inaktivasyonun büyük bir oranının gerçekleşerek sonraki dakikalarda değişimin hemen hemen hiç olmayışı inaktivasyondan ziyade ultrasenin titreşiminden dolayı patojenlerin suya geçmesinden dolayı olabileceği düşünülmektedir. Eğer inaktivasyon gerçekleşseydi 2. dakikadan sonra diğer dakikalarda da belirli bir oranda inaktivasyon meydana gelirdi.

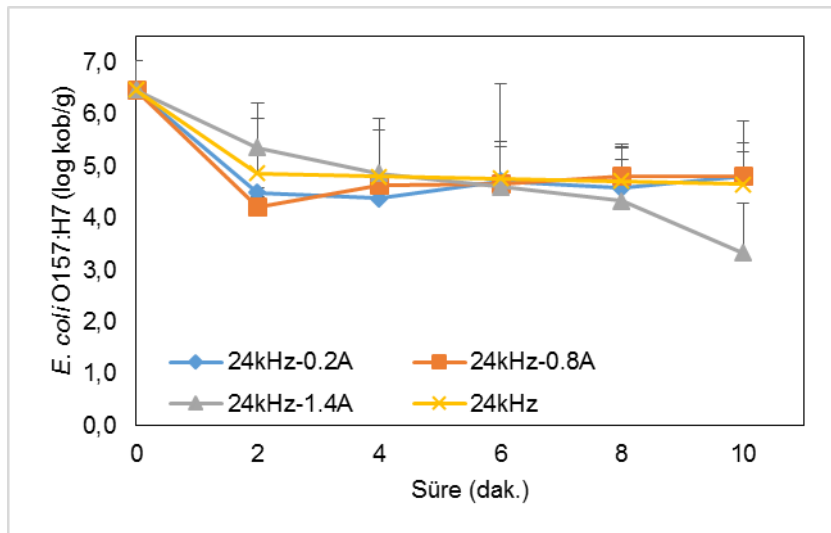
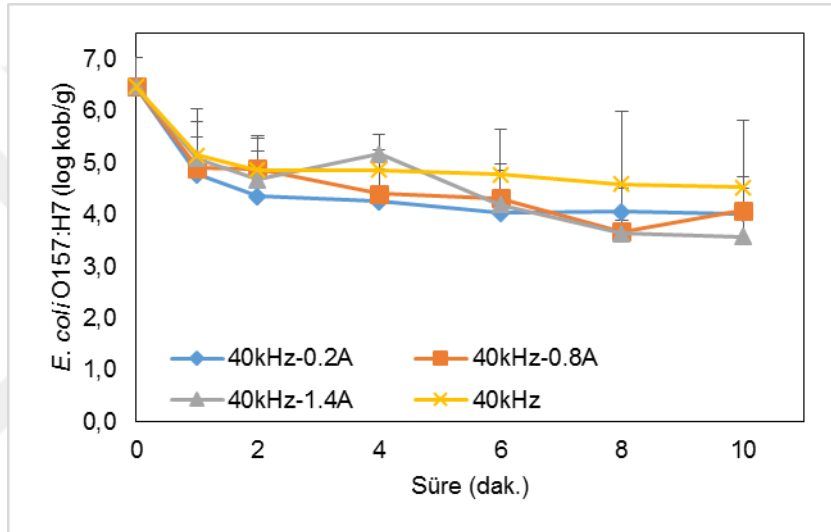
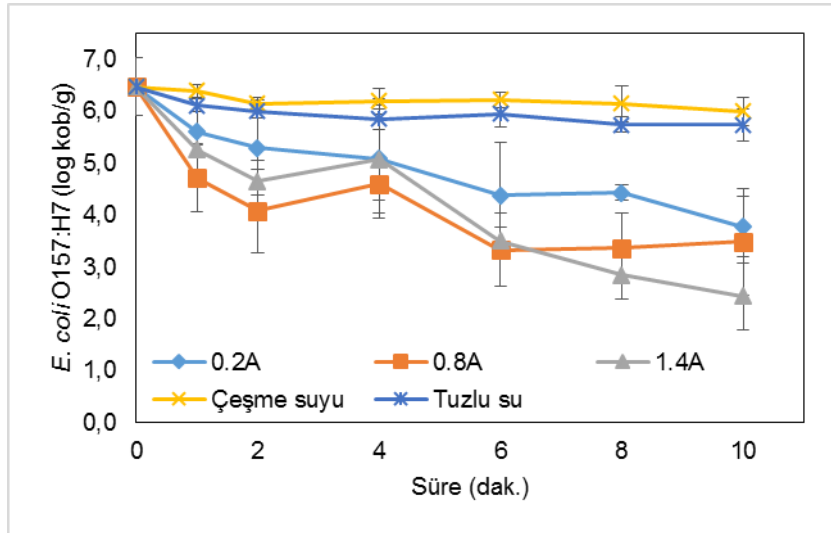
ES2'nin diğer aşamalarından birincisi 0,2 A seviyesinde bir akımla birlikte uygulanmıştır. Burada 2. dakikada 2 log kob/g seviyesinde bir inaktivasyon gerçekleşirken işlemin daha sonraki süreçlerinde mikroorganizma yükü azalmamıştır. Burada değişim olmamasının sebebi her 2 dakikalık işlem sonucunda elektrik akımının önce inaktivasyon gerçekleştirmesi sonra işlemcinin sudaki patojenleri tekrar marula bulaştırmamasından ileri gelmiş olabilir. 0,8 A'de 2. dakikada 2,26 log kob/g seviyesinde bir inaktivasyon gerçekleşirken sonraki dakikalarda sürenin olumlu bir etkisi olmamıştır. 1,4 A'de 2. dakikada 1,12 log kob/g'lık bir inaktivasyon sağlanırken 10.dakika sonunda inaktivasyon 3,15 log kob/g olmuştur. Sonuç olarak elektrik akımının daha güçlü olmasından dolayı zamana bağlı olarak inaktivasyon devam etmiştir. Ayrıca 1,4 A'de işlem uygulanırken diğer akımlara nazaran daha fazla klor açığa çıktığından dolayı inaktivasyon etki alanı daha geniş çapta olabilmektedir.

E. coli O157:H7 sadece tuzlu suda serbest bırakıldığında ise yaklaşık 0,8 log kob/g azalma görülmüştür. Bu azalma sebebi steril tuzlu suda çözünen patojenlerin maruldan fiziksel olarak uzaklaşmasıyla açıklanabilir. Ayrıca tuzlu suyun bakteriyostatik etkisinin de önemli ölçüde etkisi bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında elde edilen *E.coli* OH157:H7 patojen dekontaminasyonu Gonzalez vd. [59] tarafından 200 ppm klorin ile taze kesilmiş salataların yıkanmasıyla elde edilen 5,25-log seviyesinde dekontaminasyona oranla daha az gerçekleştiği görülmektedir. Allende vd. [50] musluk suyu ile havuçlara dekontamine edilmiş *E.coli* OH157:H7 patojen dekontamine

edilemediğini ancak 100 ppm asitlendirilmiş klorit çözeltisiyle yıkamanın ise bu patojenleri 2 log dekontamine edebildiğini rapor etmiştir.

Linton ve Mahmoud [57] tarafından yapılan bir çalışmada marul örneklerine *Escherichia coli* O157:H7 ve *Salmonella enterica* inoküle edilip farklı kondantrasyonlardaki klor dioksit gazı ile inaktive edilmeye çalışılmıştır. Başlangıçta yaklaşık 8,5 log inoküle edilen *E. coli* ve *S. enterica* 5,0 mg/L klor dioksit gazı konsantrasyonunda 14,5 ve 19 dakikada 5 log inaktivasyon sağlanmıştır. Yaptığımız çalışma ile bu çalışmanın inaktivasyon oranlarının benzer olduğu görülmüştür. Fakat işlem sonrası marul örneklerinin tüketici açısından istenmeyen bir görünüm aldığını rapor etmişlerdir. Yapmış olduğumuz çalışmada ise renk değişimi olmaksızın tekstüründe yumuşama meydana gelmiştir.

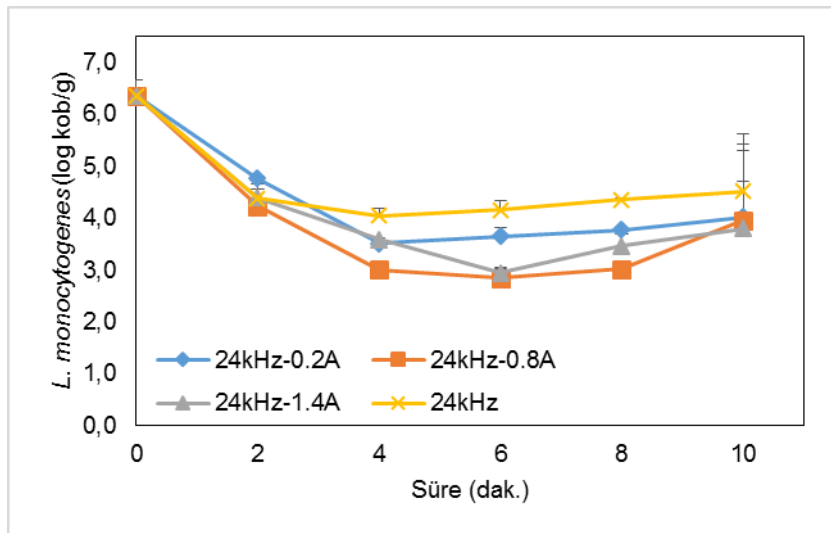
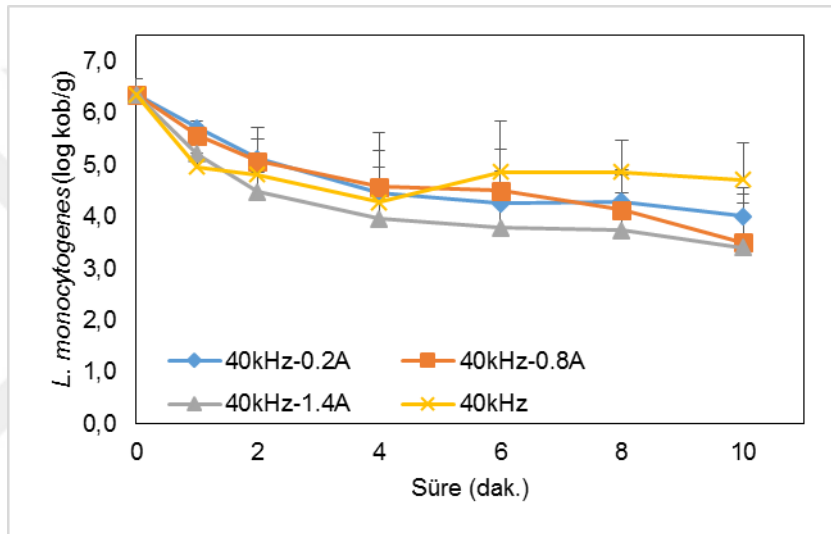
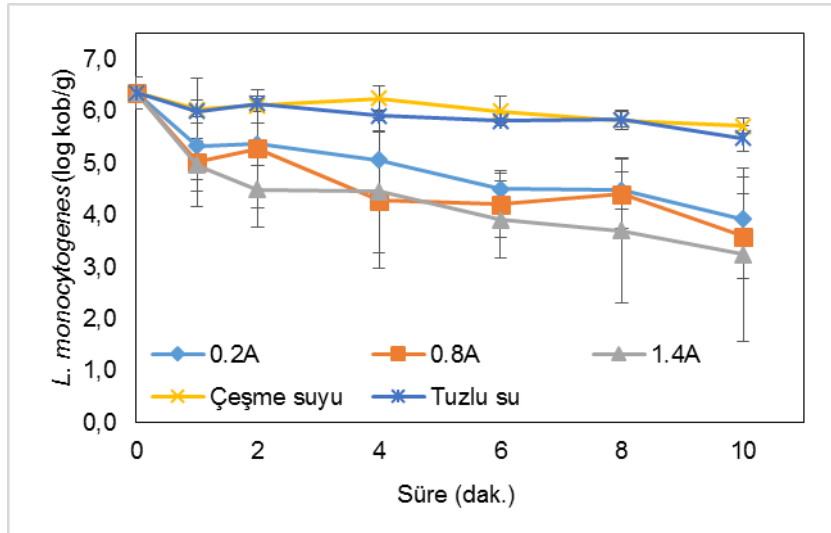
Başlangıçta $6,36 \pm 0,31$ log kob/g inoküle edilen patojene ilk aşamada ES1 uygulanmıştır. Şekil 4.8'te *Listeria monocytogenes*'e ait inaktivasyon seviyeleri verilmektedir. Burada sadece USB işleminde 1. dakikada 1,40 log kob/g'lık inaktivasyon sağlanırken, 10. dakika sonunda 1,64 log kob/g inaktivasyon sağlanmıştır. Açıkça görülmektedir ki, inaktivasyon zamana bağlı olarak artmamıştır. Elektrik akımıyla birlikte USB uygulandığında 0,2 A'de 1. dakikada 0,64 log kob/g'lık inaktivasyon gerçekleşirken 10 dakika işlem sonunda 2,35 log kob/g inaktivasyon sağlanmıştır. 0,8 A'de 1. dakikada 0,79 log kob/g inaktivasyon gerçekleşirken 10. dakika sonunda 3 log kob/g inaktivasyon olmuştur. 1,4 A ile birlikte USB uygulamasında ise ilk 1. dakikada 1,15 log kob/g inaktivasyon gerçekleşirken 10 dakikada 2,94 log kob/g inaktivasyonla 0,8 A'e yakın bir inaktivasyon sağlanmıştır. 0,8 A elektrik akımının göstermiş olduğu bu etki kullanılan sebzenin tekstürü ve harcanan güç açısından önem arz etmektedir.



Şekil 4.7 Marulda elektrik akımı ve elektrosonikasyonla *E.coli* OH157:H7 inaktivasyonu

Sadece elektrik akımı uygulandığında ise 0,2 A'de 1 dakikada 1 log kob/g inaktivasyon sağanırken, 10 dakikada 2,44 log kob/g seviyesinde bir inaktivasyon olmuştur. 0,8 A uygulanan işleme gelindiğinde 10. dakika sonunda 2,76 log kob/g inaktivasyonla 0,2 A'den fazla bir etkisi olmadığı görölmektedir. 1,4 A uygulandığında ise 10. dakika sonunda 3,12 log kob/g inaktivasyon sağlanarak maksimum inaktivasyon elde edilmiştir.

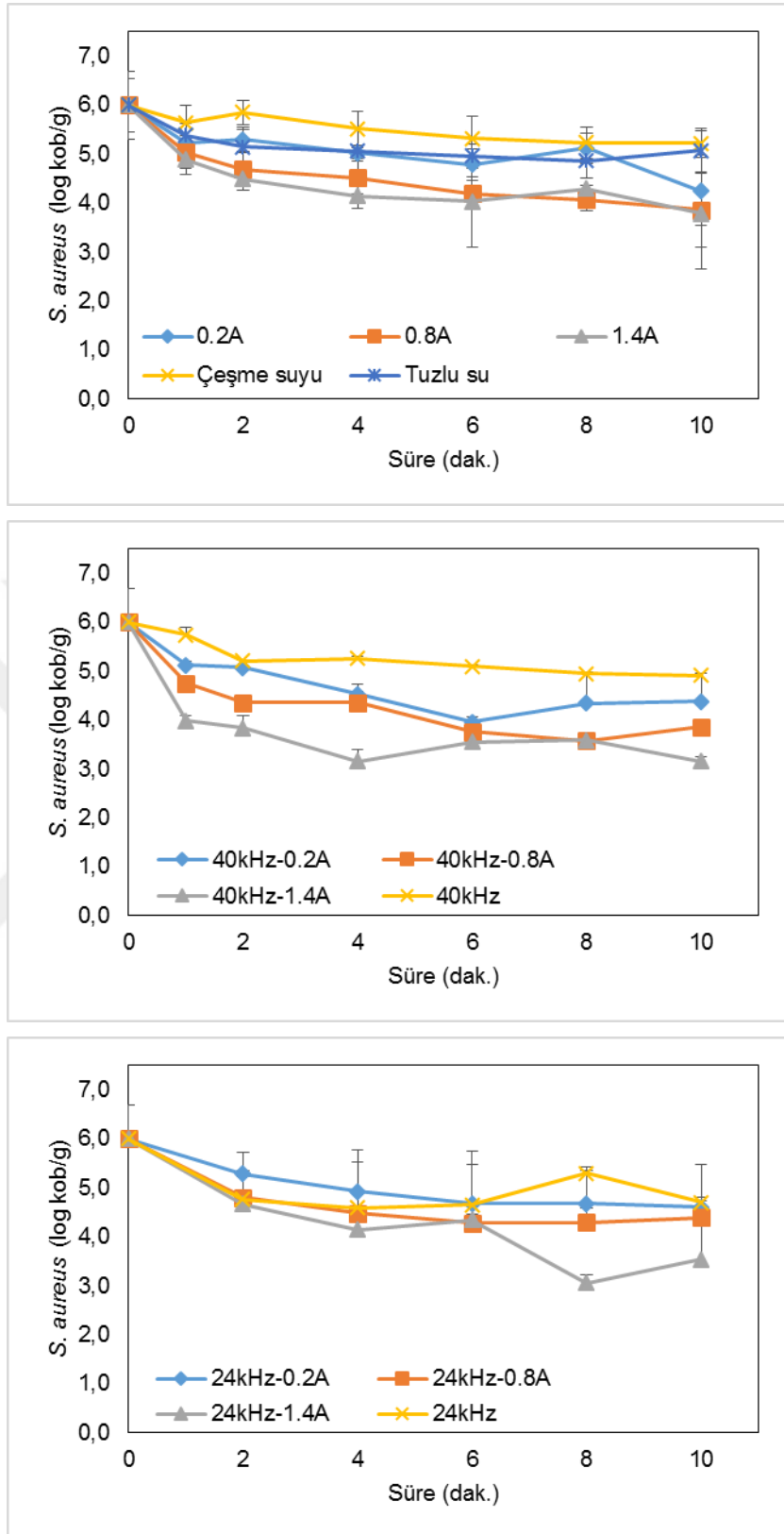
Yalnızca USİ'nin kullanıldığı uygulamaya bakacak olursak 2 dakikada 2 log kob/g inaktivasyon gerçekleşirken *E. coli* O157:H7'de olduğu gibi burada da artışlar olmuş ve 10 dakikada 1,84 log kob/g inaktivasyon ile işlem tamamlanmıştır. Ancak optimum inaktiasyon 4 dakika sonucunda 2,30 log kob/g'lık inaktivasyonla elde edilmiştir. 0,2 A'de ise yine 4 dakikada 2,84 log kob/g inaktivasyonla maksimum inaktivasyon sağlanmıştır. 0,8 A'de ise 6 dakikada 3,51 log kob/g inaktivasyon oranı ile en büyük etkiye ulaşılmıştır. En yüksek akımda da 6 dakikada 3,61 log kob/g inaktivasyon ile maksimum etki yakalanmıştır. Ancak 0,8 A ile birbirine inaktivasyon oranlarının yakın olması sebebiyle sebzelerin tekstürü açısından 0,8 A daha uygundur.



Şekil 4.8 Marulda elektrik akımı ve elektrosonikasyonla *L.monocytogenes* inaktivasyonu

Şekil 4.9'da ise *Staphylococcus aureus*'a ait inaktivasyon grafiği verilmiştir. Başlangıçta $6,00 \pm 0,70$ log kob/g inoküle edilen mikroorganizma 0,2 A'de 10 dakikada $4,24 \pm 0,70$ seviyesine gerileyerek 1,76 log kob/g bir inaktivasyon gerçekleşirken 0,8 A'de 10 dakika 2,14 log kob/g inaktivasyonla bir önceki işlemde 0,4 log daha fazla inaktivasyon sağlanmıştır. 1,4 A'deki uygulamalara baktığımızda $3,79 \pm 1,14$ seviyesine inerek 2,21 log kob/g ile maksimum bir inaktivasyon sağlanmıştır. Sadece USB uygulandığında 1. dakikada $5,75 \pm 0,14$ seviyesine inerken sonraki dakikalarda küçük düşüşlerle 10. dakikada $4,91 \pm 0,04$ seviyesine inerek 1 log civarında bir inaktivasyon gerçekleştirmiştir. 0,2 A elektrik akımıyla birlikte uygulandığında ise 1. dakikada 0,87 log kob/g inaktivasyon sağlanırken 6. dakikanın sonunda 2 log kob/g inaktivasyon ile maksimum etki sağlanmıştır. 0,8 A'de ise maksimum inaktivasyon 8 dakikada 2,5 log kob/g olmuştur. 1,4 A'de 4. dakikanın sonunda $3,15 \pm 0,24$ seviyesine kadar düşerek 2,85 log kob/g inaktivasyon sağlanmıştır. Buradaki yükselmeler muhtemelen ultrasonik su banyosunun vermiş olduğu titreşimleri belirli bir noktadan sonra elektrik akımının karşılayamamasından ileri gelmektedir. Çünkü sadece USB'nin fazla bir inaktivasyon etkisi olmadığı için titreşimlerle patojenleri suya verip daha sonra tekrar marullara kontamine etmesinden ileri gelmektedir.

Ultrasonik işlemcinin tek başına fazla bir etkisinin olmadığını görmekteyiz. Sadece ultrasonik işlemci uygulandığında 4 dakikada 1,40 log kob/g inaktivasyon olmuştur. Ultrasonik işlemci ile birlikte 0,2 A elektrik akımı uygulandığında ise yine 1,40 log kob/g inaktivasyon meydana gelmiştir. 0,8 A elektrik akımı ile birlikte uygulandığında ise 6 dakikada 1,70 log kob/g oranında bir inaktivasyon sağlanmıştır. 1,4 A şiddetinde bir akım uygulandığında ise 8 dakikada 3 log kob/g ile maksimum inaktivasyon sağlanmıştır.



Şekil 4.9 Marulda elektrik akımı ve elektrosonikasyonla *S. aureus* inaktivasyonu

Patojen mikroorganizmaların dekontaminasyon oranlarını kendi arasında incelediğimizde, sadece 0,2 A elektrik akımında 10 dakikada *E. coli* ve *L. monocytogenes* sırasıyla 2,70 log ve 2,44 log kob/g inaktive olurken *S. aureus* 1,76 log kob/g inaktive olabilmıştır. 0,8 A elektrik akım şiddetinde ise *E. coli* 6. dakikada 3,15 log kob/g ile maksimum inaktivasyon oranına ulaşırken *L. monocytogenes* ve *S. aureus* 10. dakikada sırasıyla 2,77 log ve 2,14 log kob/g olmuştur. 1,4 A'de 10 dakikada *E. coli* inaktivasyon oranı 4,05 log kob/g olurken *L. monocytogenes* 3,12 log kob/g, *S. aureus* ise 2,21 log kob/g inaktive edilebilmiştir.

40 kHz frekansa sahip ultrases işleminde ise 10 dakikada *E. coli* 1,95 log kob/g inaktive olurken *L. monocytogenes* 6. dakika sonunda 2,08 log kob/g inaktivasyon oranı elde ederken *S. aureus* ise 10 dakika sonunda sadece 1,09 log kob/g inaktive olabilmıştır. 40 kHz frekansa sahip ultrases 0,2 A şiddetindeki elektrik akımı ile birlikte uygulandığında ise *E. coli* ve *L. monocytogenes* sırasıyla 2,46 ve 2,35 log kob/g inaktive olurken *S. aureus* ise 6. dakika sonunda 2,04 log kob/g inaktive olmuştur. 0,8 A şiddetindeki elektrik akımı ile birlikte uygulandığında ise *E. coli* ve *L. monocytogenes* 8. dakika sonunda yaklaşık 2,80 log inaktive olurlarken *S. aureus* ise aynı sürede 2,40 log kob/g inaktive olabilmıştır. 1,4 A şiddetinde ise bütün patojenler yaklaşık 2,90 log kob/g inaktive olmuşlardır.

24 kHz frekansa sahip ultrases işlemine gelindiğinde *E. coli* için en etkili inaktivasyon seviyesi 1,4 A elektrik akım şiddeti ile birlikte 10 dakikada 3,15 log kob/g inaktivasyon gerçekleşmiştir. *L. monocytogenes* ise maksimum inaktivasyon oranına 0,8 ve 1,4 A akım şiddeti ile birlikte 6. dakikanın sonunda yaklaşık 3,50 log kob/g inaktivasyon elde edilebilmiştir. Son olarak *S. aureus* için ise 1,4 A'de 8 dakikada 2,95 log kob/g inaktivasyon sağlanmıştır.

Patojenlerin dekontaminasyonunda etki mekanizması incelendiğinde ultrasonik işlemlerde akustik kavitasyonun öne çıktığı rapor edilmektedir. Akustik kavitasyon ultrasonik şiddete bağlı olarak 5000K sıcaklık ve 2000atm basınç oluşturarak mikroorganizmaların dekontaminasyonuna sebep olmaktadır [55]. Elektrik akımı uygulamalarında ise Çizelge 4.6 ve 4.7'dan da açıkça görüldüğü üzere serbest klor ve hidrojen peroksit oluşumuyla açıklanmaktadır. Kerwich vd. [8] ve Gil vd. [58] serbest

klor oluşumunun mikroorganizma dekontaminasyonunda oldukça önemli olduğunu vurgulamıştır. Burada oluşan oksidantlar mikroorganizmalara nüfuz ederek üreme ve canlılık faaliyetlerini yavaşlatmakta veya tamamen sona erdirmektedir. Bu çalışmada model sistemde patojen dekontaminasyonun daha yüksek çıkmasına tespit edilmesine karşın marul uygulamalarında daha düşük çıkmasının gerekçesi sebzelerin etki mekanizmasını olumsuz etkilemesiyle açıklanabilir. Çünkü ultrasonik işlemlerde ultrases bir taraftan mikrotitreşimlerle sebzelerin üzerindeki patojenleri fiziksel olarak uzaklaştırırken, diğer bir taraftan sebzelerde su içeriğinin artışına sebep olmasının yanı sıra patojenlerin sebzeğe daha iyi nüfuz etmesine sebep olabilmektedir. Sebzelerdeki patojenlerin tutunma biçimine bağlı olarak uygulanan işlemlerden fazla etkilenmesi söz konusu olduğu anlaşılmaktadır. Aynı şekilde elektrosonikasyonla ortaya çıkan antagonistik etki bu şekilde açıklanabilir. Çünkü elektrik akımının oluşturduğu oksidant bileşenler sebzelerin içerisine nüfuz eden patojenlere nüfuzunu zorlaştırdığı durumlarda dekontaminasyon da zorlaşmaktadır.

4.5 Cihazın harcadığı güç seviyesinin belirlenmesi

Sistemlerinin çalışması için gereken gücün (W) tespit edilebilmesi için güçmetre göstergesi okunarak kaydedilmiştir. Kullanılan işlemlerin harcamış olduğu enerji seviyesi Çizelge 4.5’de sunulmuştur. Bu çizelgeden de anlaşılaacağı üzere elektrosonikasyon işlemleri elektrik akımına göre daha fazla enerjiye ihtiyaç duymuş ve harcadıkları enerji oldukça artırmıştır.

Çizelge 4.5 Kullanılan sistemlerin harcadığı güç

İşlem	Harcanan Güç (W)
ES1	Elektrik akımı (0,2 A)
	93
	Elektrik akımı (0,8 A)
	124
	Elektrik akımı (1,4 A)
	167
	Ultrasonik su banyosu (USB) (40 kHz)
	218
	USB + Elektrik akımı (0,2 A)
	237
ES2	USB + Elektrik akımı (0,8 A)
	268
	USB + Elektrik akımı (1,4 A)
	311
	Ultrasonik işlemci(USİ) (24 kHz)
	243
	USİ + Elektrik akımı (0,2 A)
	262
	USİ + Elektrik akımı (0,8 A)
	293
	USİ + Elektrik akımı (1,4 A)
	336

Not1: Bütün işlemlerde soğutmalı sirkülasyonlu su banyosu kullanılmıştır.

4.6 Kalıntı oksidant değişimi

Serbest klor değişimi ve hidrojen peroksit

Elektrik akımı uygulayarak yapılan mikrobiyal inaktivasyon işlemlerinde işlemin etki mekanizmaları arasında hipokloröz (HOCl) ve hipoklorit (OCl⁻) gibi serbest oksidantların oluşumu önemli bir rol almaktadır. Dezenfektant etkileriyle bu kimyasalların mikrobiyal inaktivasyonda rol almalarından dolayı bu işlemler elektrokimyasal bir metot olarak anılmaktadır [8]. Hipokloröz asit (HOCl) ve hipoklorit iyonu (OCl⁻) serbest kalıntı klor olarak anılmakta olup işlemlerden sonra işlem sıvılarında serbest klor değişimi Çizelge 4.6'da sunulmuştur. Serbest klor seviyesi elektrik akım şiddetiyle birlikte arttığı görülmüştür. Bununla birlikte mikrobiyal inaktivasyon oranı da artmıştır. Ayrıca işlemler sırasında elektrik akımı arttıkça klor kokusunun belirgin bir şekilde hissedilir olması da bunun bir diğer kanıtıdır. Hipokloröz asit mikroorganizmalara nüfuz ederek

birtakım reaksiyonlara girerek hücrenin okside olmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle klor denince aklımıza ilk olarak hipokloröz gelmektedir. Klorun etkinliği pH ile ters orantılı, sıcaklık ve konsantrasyon ile doğru orantılı olduğu ifade edilmektedir [3,40]. Bununla birlikte süre, konsantrasyon ve inaktivasyon oranı karşılaştırıldığında inaktivasyonun sadece klorla bağımlı olmadığı görülmektedir. Çünkü klor konsantrasyonu 60. dakikada 8 katına çıkarken, mikrobiyal inaktivasyon hızında ise zamanla azalma meydana gelmiştir [8].

Marullara uygulanan işlemlerde, işlem sıvısındaki hidrojen peroksit içeriklerindeki değişim Çizelge 4.7’de sunulmuştur. Hidrojen peroksit içeriği ultrases uygulamasının yapıldığı veya işlem yapılmayan numunelerde tespit edilememiştir. Hidrojen peroksitin uygulanan elektrik akımının şiddetinin artmasıyla arttığı anlaşılmaktadır. Ayrıca işlem süresinin artmasıyla lineer ilişkili olarak hidrojen peroksit içeriğinin arttığı gözlemlenmiştir. Çizelge 4.7’den anlaşılmaktadır ki, hidrojen peroksitin oluşumunda en önemli parametre elektrik akım şiddetidir ($P < 0,05$). Ultrases uygulaması serbest klor oluşumunda olduğu gibi hidrojen peroksit oluşumunda antagonistik bir etkiye sebep olmuştur. Bunun sebebinin, serbest klor oluşumunda da gözlemlendiği gibi marulların elektrik akımına kısmi olarak engel teşkil etmiş olabileceği düşünülmektedir. Serbest klor içeriği oluşumu ile hidrojen peroksit oluşumu arasında bir ilişkinin olduğu açıktır.

Sadece ultrasonik işlemcinin marullara uygulanması sırasında serbest klor oluşturabildiği, fakat hidrojen peroksit oluşturamadığı görülmektedir. Sadece ultrasonik su banyosunun kullanılması durumunda ise serbest klor ve hidrojen peroksitin oluşmadığı gözlemlenmektedir.

Hidrojen peroksit miktarı elektrik akımı arttıkça artmış ve buna bağlı olarak da mikrobiyal inaktivasyon oranı artmıştır. Sadece elektrik akımı uygulandığında hidrojen peroksit miktarı 1,4 A seviyesinde 45 mg/L iken ES-1(40kHz frekans)’de aynı akımda 80 mg/L seviyesine yükselmiştir. Diğer patojen grafiklerine baktığımızda da en yüksek mikrobiyal inaktivasyon oranının ES-1 seviyesinde maksimum akımda olduğu görülmektedir. Böylece klor ile birlikte hidrojen peroksitin de inaktivasyonda etkili olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6 Elektrosonikasyon uygulanan işlem sıvısındaki serbest klor değişimi

İşlem	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)					
		0	2	4	6	8	10
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0,2	0,07 ^a	6,7 ^b	37 ^c	45 ^d	60 ^e	84 ^f
		±0,01	±0,21	±0,35	±0,18	±0,71	±3,54
	0,8	0,07 ^a	39 ^b	141 ^c	139 ^c	167 ^d	250 ^e
		±0,01	±0,7	±0,7	±2,1	±0,35	±0,4
	1,4	0,07 ^a	59 ^b	155 ^c	196 ^d	260 ^e	312 ^f
		±0,01	±0,7	±2,1	±0,7	±0,00	±7,07
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0	0,07 ^a	0,15 ^b	0,24 ^c	0,18 ^b	0,23 ^c	0,43 ^d
		±0,01	±0,00	±0,00	±0,00	±0,00	±0,00
	0,2	0,07 ^a	15 ^b	26 ^c	34 ^d	48 ^e	62 ^f
		±0,01	±0,7	±0,71	±0,7	±0,7	±0,7
	0,8	0,07 ^a	49 ^b	121 ^c	162 ^d	196 ^e	261 ^f
		±0,01	±0,7	±0,7	±0,7	±0	±7,07
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	1,4	0,07 ^a	69 ^b	136 ^c	230 ^d	296 ^e	320 ^f
		±0,01	±1,4	±1,4	±0,00	±7,1	±0,00
	0	0,07 ^a	0,8 ^b	1,7 ^c	2,9 ^d	5,4 ^e	6,4 ^f
		±0,01	±0,00	±0,00	±0,00	±0,00	±0,00
	0,2	0,07 ^a	1,7 ^a	11 ^b	21 ^d	18 ^c	24 ^e
		±0,01	±0,00	±0,71	±0,71	±0,71	±0,35
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0,8	0,07 ^a	17 ^b	17 ^b	24 ^c	32 ^d	37,00 ^e
		±0,01	±0,35	±0,35	±0,71	±0,71	±1,41
	1,4	0,07 ^a	20 ^b	51 ^c	101 ^d	130 ^e	132 ^e
		±0,01	±0,4	±0,7	±0,7	±2,1	±0,7

Not: USB: Ultrasonik Su Banyosu (f:40kHz ve A:%100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f:20kHz ve A:%100)

Çizelge 4.7 Elektrosonikasyon uygulan işlem sıvısındaki hidrojen peroksit değişimi

İşlem	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)				
		2	4	6	8	10
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0,2	0.65 ^a	3.25 ^b	3.62 ^b	8.5 ^c	12.5 ^d
		±0.21	±0.35	±0.18	±0.71	±3.54
	0,8	6,5 ^a	7,5 ^a	10,5 ^a	32.5 ^b	37,5 ^b
		±0,7	±0,7	±2,1	±0.35	±0,4
	1,4	8,5 ^a	16,5 ^{ab}	23,5 ^b	40,0 ^c	45 ^c
		±0,7	±2,1	±0,7	±0.00	±7,07
	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		±0.00	±0.00	±0.00	±0.00	±0.00
	0,2	0,3 ^a	3.50 ^b	5,5 ^c	7,5 ^d	7,5 ^d
		±0,7	±0.71	±0,7	±0,7	±0,7
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0,8	7,5 ^a	9,5 ^a	24,5 ^b	30 ^{bc}	35 ^c
		±0,7	±0,7	±0,7	±0	±7.07
	1,4	16 ^a	19 ^a	30 ^b	65 ^c	80 ^d
		±1,4	±1,4	±0.00	±7,1	±0.00
	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		±0.00	±0.00	±0.00	±0.00	±0.00
	0,2	0,2 ^a	3,5 ^b	3,5 ^b	6.50 ^c	7,25 ^c
		±0.00	±0,71	±0,71	±0.71	±0,35
	0,8	3,25 ^a	8,25 ^b	7,5 ^b	8,5 ^b	12 ^c
		±0,35	±0,35	±0,71	±0,71	±1,41
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	1,4	1,25 ^a	8,5 ^b	7,5 ^b	21,5 ^c	24,5 ^d
		±0,4	±0,7	±0,7	±2,1	±0,7

Not: USB: Ultrasonik Su Banyosu (f:40kHz ve A:%100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f:20kHz ve A:%100)

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında ultrasesin tek başına yeterli bir dekontaminasyon yöntemi olmadığı ortaya çıkmıştır. Günümüzde yapılan çalışmalarda da ultrases işleminin mikroorganizmalar üzerine etkinliğinin yeterli olmaması nedeniyle ısı, basınç, UV, ozon gibi tekniklerle çeşitli kombinasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi olan termosonikasyon işlemi, ultrases işleminin 50°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda uygulanması işlemidir [52]. Aynı şekilde yüksek basınç ve UV ile ultrases işleminin kombinasyonlarında kısmi olarak sinerji elde edilebilmiştir [60,61]. Fakat bahsedilen bu kombinasyon işlemlerinin sebzeler için çok da uygun yöntemler olmaması nedeniyle elektrik akımının kullanılması hipotezi kurulmuştur. Bununla birlikte elde ettiğimiz sonuçlar ışığında ultrases işleminin elektrik akımıyla birlikte kullanılması durumunda beklenen sinerji elde edilememiştir. Ayrıca kimyasal metotlara alternatif olması beklenirken etki mekanizması oksidant oluşumuna sebep olması ve inaktivasyonla oksidan bileşikler arasında güçlü bağ sebebiyle çalışmada istenen bazı amaçlara ulaşamamıştır.

Çeşitli seviye ve sürelerde uygulanan sadece elektrik akımı, sadece ultrases ve elektrosonikasyon işlemleri marullardaki en fazla TMAB, toplam maya-küf ve toplam koliform bakteri dekontaminasyonu sırasıyla 2.89 log ; > 3 log ve 2.98 olarak belirlenmiştir.

Tuzlu su çözeltilerinden (%1,5) oluşan model sistemlerde $\sim 6 \log$ *E.coli* O157:H7, *S.aureus* ve *L.monocytogenes* patojenlerin elektrik akımı ve elektrosonikasyon işlemleriyle tamamen ($<1 \log$ kob/g) dekontamine edilebilmiştir. Sadece ultrases uygulamasıyla *E.coli* O157:H7 ve *L.monocytogenes* patojenlerin yaklaşık 1 log seviyesinde dekontamine edilebildiği, *S.aureus* patojeninin ise dekontamine edilemediği belirlenmiştir. Sebzelere $\sim 6 \log$ kontamine edilen bu patojenlerinin ise uygulanan hiçbir elektrik akımı, ultrases ve elektrosonikasyon işlemleriyle tamamen dekontamine edilemediği tespit edilmiştir. Dolayısıyla model sistemle gerçek gıda uygulamaları arasında önemli farklılıklar tespit edilmiştir.

Marulların uygulanan işlemlerden sonra tekstürel ve görsel olarak önemli seviyede olumsuz etkilendiği görülmüştür. Aynı zamanda uygulanan işlemlerden ötürü ürünlerdeki nem seviyesinin de kısmen artabildiği belirlenmiştir.

Genel olarak mikrobiyal dekontaminasyonda elektrik akımının şiddetine bağlı olarak çok önemli seviyede mikrobiyal güvenliğin sağlanabildiği, ultrasesin mikrobiyal dekontaminasyonda etkisinin sınırlı olduğu hatta elektrik akımıyla birlikte kullanılmaları durumunda bazen antagonistik etki gösterebildiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, elektrik akımının mikrobiyal güvenlikte oldukça önemli seviyelerde dekontaminasyon etkisine sahip olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Bu işlemlerin bütün sebzelerin dekontaminasyonu amacıyla değil, daha ziyade tüketimden hemen önce ve işlemlerden fizikokimyasal / tekstürel olarak olumsuz etkilenmeyecek sebzeler (patates, patlıcan, kabak, salatalık, soğan, şalgam, turp gibi) için kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında bu yöntemlerin mikrobiyal güvenlik açısından çok önemli bir potansiyel taşıdığı, uygulanabilir sonuçların elde edilmesi için daha detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Dannehl, D., Huyskens-keil, S., Eichholz, I., Ulrrichs, C., ve Schmidt, U., (2011). "Effects of Direct-electric-current on Secondary Plant Compounds and Antioxidant Activity in Harvested Tomato Fruits (*Solanum lycopersicon* L.) ", Food Chemistry, 126, 157-165.
- [2] Biribir, M., Hacıoğlu, H., ve Altuğ, G., (2009). "Inactivation of Escherichia Coli by Alternating Electric Current in Rivers Discharged Into Sea", Journal of Electrostatic, 67: 64-645.
- [3] Park, J., Lee, M., Lee, D., Park, B., Han, D., Uzawa, M., ve Takatori, K., (2003). "Inactivation of Bacteria in Seawater by Low Amperage Electric Current", Applied and Enviromental Microbiology, 69.4.2405-2408.
- [4] Gosukonda, R., Mahapatra, A., Liu, XL., ve Kannan, G., (2015). "Application of Artificial Neural Network to Predict Escherichia Coli O157:H7 Inactivation on Beef Surfaces", Food Control, 47, 606-614.
- [5] Park, J., Lee, M., Lee, D., Park, B., Han, D., Uzawa, M., Aihara, M., Lee, I., ve Takatori, K., (2008). "Inactivation of Vibrio parahaemolyticus in Effluent Seawater by Alternating-Current Treatment", Applied and Enviromental Microbiology, 70(3):1833-5
- [6] Guillou, S., ve Murr, N. El., (2002). "Inactivation of Saccharomyces Cerevisiae in Solution by Low-amperage Electric Treatment", Journal of Applied Microbiology, 92, 860-865.
- [7] May, B. K., ve Fickak, A., (2003). "The Efficacy of Chlorinated Water Treatments in Minimizing Yeast and Mold Growth in Fresh and Semi-dried Tomatoes", Drying Technology, 21, 1127-1135.
- [8] Kerwick, MI., Reddy, SM., Chamberlain, AHL., ve Holt, DM., (2005). "Electrochemical Disinfection an Environmentally Acceptable Method of Drinking Water Disinfection?" Electrochimica Acta, 5270-5277.
- [9] Birbir, Y., ve Birbir, M., (2006). "Inactivation of Extremely Halophilic Hide-damaging Bacteria via Low-level Direct Electric Current", Journal of Electrostatics, 64, 791-795.

- [10] Guillou, S., Federighi, M., Godet, C., Poulard, A., ve Murr, N. El., (2004). "Low-amperage-direct Electric Current as an Alternative Technique to Sulphur Dioxide in the Stabilisation of Semi-sweet White Wines", *Journal of Food Technology*, 3(2):114-119.
- [11] Yıldız, H., ve Baysal, T., (2006). "Effects of Alternative Current Heating Treatment on *Aspergillus niger*, Pectin Methylesterase and Pectin Content in Tomato", *Journal of Food Engineering*, 75, 327-332.
- [12] Montagner, S.T., Scherer, R., Lobato, L.P., Kriese, P.R., Milani, L.G., Kubota, E.H., Fries, L.M., ve Emanuelli, T., (2005). "Effect of Direct Electric Current on Microbiological Quality of White Croaker (*Micropogonias Furnieri*)", *Food Microbiology*, 22, 227-231.
- [13] Birbir, Y., Değirmenci, D., ve Birbir, M., (2008). "Direct Electric Current Utilization in Destruction of Extremely Halophilic Bacteria in Salt That is used in Brine Curing of Hides", *Journal of Electrostatics*, 66, 338-394.
- [14] Keskin, G., ve Gül, U., (2004). "Domates", *Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü, Bakış* 5 (13):1-4.
- [15] Capanoglu, E., Beekwilder, J., Boyacioglu, D., Hall, R., & de Vos, R., (2008). "Changes in Antioxidant and Metabolite Profiles During Production of Tomato Paste", *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 56, 964-973.
- [16] Inatsu, Y., Kitagawa, T., Bari, M.L., Nei, D., Juneja, V., Kawamoto, S., Barbosa-Canovas, G.V., ve Sepulveda, D., (2010). "Present Status and The Future of PEF Technology", *Novel Food Processing Technologies*, CRC Press, New York, USA.
- [18] Baysal, T., İçier, F., Baysal, A.H., (2011). "Güncel Elektriksel Isıtma Yöntemleri", *Sıdaş meyda*, İzmir.
- [19] Reznick, D., (1996). "Ohmic Heating of Fluid Foods", *Food Technology*, May, 250-251.
- [20] Biss, C.H., Coombes, S.A., Skudder, P.J., (1989). "The Development and Application of Ohmic Heating fort The Continuous Heating of Particulate Foodstuffs", *In Process Engineering in the Food Industry: Developments and Opportunities*, (Field, R.W., Howell J.A., Eds), pp. 17-25, Elsevier, New York.
- [21] Anon., (2000). "Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies", U. S. Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition, June 2, 2000, [www.cfsan.fda.gov/~comm/ift-pref.html-review \(01.04.2009\)](http://www.cfsan.fda.gov/~comm/ift-pref.html-review (01.04.2009)).
- [22] Reznick, D., (1998). "Electroheating Technology Promises to Send Shock Waves Through the Food Processing Industry", in www.raztek.com/news.html
- [23] Reznick, D., (2000). "Electroheating", www.raztek.com/electroheating.html
- [24] Skudder, J., (1989). "Ohmic Heating in Food Processing", *Asean Food Journal*, 4, 4, 162-163.
- [25] Allen, K., Eidman, V., Kinsey, J., (1996). "An Economic-Engineering Study of Ohmic Food Processing", *Journal of Food Technology*, 50 (5), 269-273.

- [26] Tempest, P., (1995). "Ohmic Heating Systems, in APV Processed Food Sector Process Manual Section-9", Electrical Heating, Issue 1, 54 p.
- [27] Tempest, P., (1996). "Electroheat Technologies in Food Processing", APV Marketing Bulletin,, 16 p.
- [28] Sastry, S.K ve Salengke, S., (1998). "Ohmic Heating of Solid-Liquid Mixtures: A Comparison of Mathematical Models Under Worst-Case Heating Conditions", Journal of Food Process Engineering, 15, 241-261.
- [29] Zhao, Y. ve Kolbe, E., (1999). "A Method to Characterize Electrode Corrosion During Ohmic Heating", Journal of Food Process Engineering, 22, 81-89.
- [30] Sastary, SK, Barach, JT. (2001). "Ohmic and Inductive Heating", Journal of Food Science Special Supplement: Kinetics of Microbial Inactivation For Alternative Food Processing Technologies, 42-46.
- [31] Milan-Sango, D., McElhatton, A., P. Valdramidis, V., (2015). "Determination of The Efficacy of Ultrasound in Combination with Essential oil of Oregano for The Decontamination of *Escherichia coli* on Inoculated Lettuce Leaves", Food Research International, 67, 145-154.
- [32] Brondum, J., Egebo, M., Agerskov, C., Busk, H., (1998). "Online pork carcass grading with the autoform ultrasound system", Journal of Animal Science 76, 1859–1868.
- [33] Butz, P., Tauscher, B., (2002). "Emerging technologies: chemical aspects", Food Research International 35 (2/3), 279– 284.
- [34] Piyasena, P., Mohareb E., McKellar R.C., (2003). "Inactivation of microbes using ultrasound: a review", International Journal of Food Microbiology 87 (2003) 207– 216
- [35] Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., & Lee, D. U., (2004). Applications and potential of ultrasonics in food processing. Trends in Food Science and Technology, 15(5), 261-266.
- [36] Suslick, K. S., Didenko, Y., Fang, M. M., Hyeon, T., Kolbeck, K. J., McNamara, W. B., III, et al. (1999). Acoustic cavitation and its chemical consequences. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 357(1751), 335-353.
- [37] Abadias, M., Usall, J., Anguera, M., Solsona, C., & Viñas, I., (2008). Microbiological quality of fresh, minimally-processed fruit and vegetables and sprouts from retail establishments. International Journal of Food Microbiology, 123(1-2), 121-129.
- [38] Dupont, M.S., Mondin, Z., Williamson, G., Price, K.R., (2000). Effect of variety, processing, and storage on the flavonoid glycoside content and composition of lettuce and endive. J. Agric. Food Chem. 48, 3957–3964.
- [39] Kaur, C., Kapoor, H.C., (2001). Antioxidants in fruits and vegetables the millennium's health. Int. J. Food Sci. Technol. 36, 703–725.
- [40] McDonnell G, Russell AD., (1998). Antiseptics, and disinfectants: activity, action, and resistance. Clin Microbiology Review, 12, 147-79.

- [41] Tornuk F, Cankurt H, Ozturk I, Sagdic O, Bayram O. and Yetim H., (2011). Efficacy of various plant hydrosols as natural food sanitizers in reducing *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella Typhimurium* on fresh cut carrots and apples. *International Journal of Food Microbiology*, 148, 30-35.
- [42] AOAC., (1995). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (8th Edition), Washington.
- [43] Ögüt, S., Polat, M., (2009). Bazı beş yıldızlı otellerde hazırlanan gıdaların mikrobiyolojik açıdan değerlendirilmesi, *SDÜ Yaşam Dergisi*, Isparta, 1(2): 12-16.
- [44] Maturin L.J, Peeler J.T., (2001). Aerobic plate count. In: *Bacteriological analytical manual* online, Available online [http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm063346.htm], visited on August 05, 2013.
- [45] Tournas V, Stack M.E., Mislivec, P.B., Koch H.A., Bandler R., (2001). Chapter 18. Yeast, mold and mycotoxins. In: *Food and Drug Administration (FDA), Bacteriological Analytical Manual* Online, Available online [http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm071435.htm], visited on August 05, 2013.
- [46] Feng, P., Weagant S.D., Grant M.A., Burkhardt W., (2002). Chapter 4. Enumeration of *Escherichia coli* and the Coliform Bacteria. In: *Food and Drug Administration (FDA), Bacteriological Analytical Manual* Online, Available online [http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm064948.htm], visited on August 05, 2013.
- [47] Cemeroğlu, B., (2010). *Gıda analizlerinde genel yöntemler*. Gıda Analizleri, Ed: B. Cemeroğlu. Gıda Teknolojisi Yayınları, No:34, Ankara.
- [48] Ozdemir, M., (2001). *Mathematical analysis of color changes and chemical parameters of roasted hazelnuts*. Ph.D. thesis. Istanbul Technical University, 161 pp.
- [49] Pinheiro J, Alegria C, Abreu M, Gonçalves EM, Silva CL., (2015). Influence of postharvest ultrasounds treatments on tomato (*Solanum lycopersicum*, cv. Zinac) quality and microbial load during storage. *Ultrasound Sonochem*, 27,552-9.
- [50] Allende, A. Gonzalez, R.J. McEvoy, J. Luo, Y., (2008). Assessment of sodium hypochlorite and acidified sodium chlorite as antimicrobial agents to inhibit growth of *Escherichia coli* O157:H7 and natural microflora on shredded carrots. *International Journal of Vegetable Science*, 13, 51–63.
- [51] Lee SY, Yun KM, Fellman J, Kang DH., (2002). Inhibition of *Salmonella Typhimurium* and *Listeria monocytogenes* in mung bean sprouts by chemical treatment. *J Food Prot.* Jul; 65(7), 1088-92.
- [52] Evrendilek, G.S., Mehmetoğlu, A.Ç., Coşansu, S. and Erkmen, O., (2010). *Yeni yöntemlerle gıdaların korunması*. Gıda Mikrobiyolojisi, Ed: O. Erkmen. 2. Basım. Efil Yayınevi, Ankara.
- [53] Mahapatra AK, Harris DK, Nguyen CN, Kannan G., (2011). Reduction of *Escherichia* O157:H7 on beef surfaces using low-voltage direct electric current and the impact on sensory properties. *Journal of Electrostatics*, 69, 30-35.

- [54] Mason, T.J., Paniwnyk, L. and Chemat F., (2003). Ultrasound as a preservation technology. Food preservation techniques, Eds: P. Zeuthen and L. Bugh-Sørensen. CRC Press, USA.
- [55] Mason, T.J., Riera E., Vercet A. and Lopez-Buesa, P., (2005). Application of ultrasound. Emerging technology for food processing, Ed: D.W. Sun. Elsevier Academic Press, Londra.
- [56] Valero, M., Recrosio N., Saura D., Munoz N., Marti N. and Lizama V., (2007). "Effects of ultrasonic treatments in orange juice processing". Journal of Food Engineering, 80 (2), 509-516.
- [57] Linton R.H. and Mahmoud B.S.M., (2008). "Inactivation kinetics of inoculated *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* on lettuce by chlorine dioxide gas". Food Microbiology, 25, 244-252.
- [58] Gil MI, Selma MV, López-Gálvez F, Allende A., (2009). "Fresh-cut product sanitation and wash water disinfection: problems and solutions". Int J Food Microbiol., 134(1-2):37-45.
- [59] Gonzalez, R.J., Luo Y., Ruiz-Cruz, S., McEvoy J.L., (2004). "Efficacy of sanitizers to inactivate *Escherichia coli* O157:H7 on fresh-cut carrot shreds under simulated process water conditions". J Food Prot., 67(11),2375-80.
- [60] Başlar M., (2011). Ultrases, fotosonikasyon ve vurgulu elektriksel alan işlemlerinin elma suyunun bazı kalite özelliklerine etkisi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.
- [61] Weiss, J., Gulseren, I. and Kjartansson, G., (2011). Physicochemical effects of high-intensity ultrasonication on food proteins and carbohydrates. Nonthermal processing Technologies for Food, Eds: H.Q. Zhang, G.V. Barbosa-Cánovas, V. M. B. Balasubramaniam, C. P. Dunne, D.F. Farkas, J.T.C. Yuan. Blackwell Publishing, USA.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Mahmut KILIÇLI
Doğum Tarihi ve Yeri :13.10.1989 YEŞİLHİSAR
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :kiliclimahmut@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Gıda Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lisans	Gıda Mühendisliği	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniveristesi	2012
Lise	Fen Bilimleri	M.Ö.Anadolu Lisesi	2007

YAYINLARI

SSCI, AHCI indekslerine giren dergilerde yayınlanan makaleler

1. Başlar M, **Kılıçlı M**, Toker ÖS, Sagdic O, Arici M. (2014) Ultrasonic Vacuum Drying Technique as a Novel Process for Shortening the Drying Period for Beef and Chicken Meats. *Innovative Food Science and Emerging Technology*, 26, 182–190.
2. Başlar M, Karasu S, **Kılıçlı M**, Us AA, Sagdic O. (2014) Degradation kinetics of bioactive compounds and antioxidant activity of pomegranate arils during drying process. *International J Food Engineering*, 10(4):839-848.
3. Başlar M, **Kılıçlı M**, Yalınkılıç B. (2015). Dehydration kinetics of salmon and trout fillets using ultrasonic vacuum drying as a novel technique. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27; 495-502.
4. Karasu S, **Kılıçlı M**, Başlar M, Arici M, Sagdic O, Karaagaçlı M. (2015) Dehydration kinetics and changes of bioactive compounds of tulip and poppy petals as a natural colorant under vacuum and oven conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2096-2106
5. Karasu S, Başlar M, Karaman S, **Kılıçlı M**, Us AA, Yaman H, Sagdic O. (2016) Comprehensive Characterization of Some Turkish Grapes Cultivars: Volatile profile, bioactive and physicochemical properties, and thermal degradation kinetics of anthocyanin determination. *Turkish Journal of Agricultural and Forestry*, 40(2): 177-185.

Bildiriler

1. Başlar, M., **Kılıçlı, M.**, Toker, Ö. S., Sağdıç, O., Arıcı, M. (2015). Vakumlu Ortamda Ultrases Yardımıyla Etlerin Kurutulması. Pamukkale Gıda Sempozyumu III; “Kurutulmuş ve Yarı Kurutulmuş Gıdalar. 13-15 Mayıs, Denizli.
2. Başlar, M., Karasu, S., **Kılıçlı, M.**, Us, A. A., Sağdıç, O. (2014). Degradation kinetics of bioactive compounds and antioxidant activity of pomegranate arils during drying process. 7th International Conference and Exhibition on Nutraceuticals and Functional Foods. 14-17 Ekim, İstanbul.
3. **Kılıçlı, M.**, Başlar, M., Durak M.Z., Sağdıç, O. (2016). Decontamination of Pathogens on Fresh Lettuce by Electrosonication. 15th Meeting of European Society of Sonochemistry. 27 Haziran- 1 Temmuz, İstanbul.

Proje

PROJE ADI	KURUM	BÜTÇE	TARİH	GÖREV	Proje No
Sebzelerin mikrobiyal ve pestisit güvenliğinin sağlanmasında ultrases ve düşük şiddet elektrik akımının birlikte kullanılma olanaklarının belirlenmesi	TÜBİTAK	181.000TL	15.11.2013 15.11.2015	Bursiyer	TOVAG 1120835
Vakumlu ortamda ultrases yardımıyla etlerin kurutulması	YTÜ	25.000TL	15.11.2012 15.02.2014	Araştırmacı	KAP 2012-07-05- KAP05
Şalgam suyu üretim teknolojisinde yeni bir yöntem olarak ultrason ve ultraviyole işlemlerinin kullanım olanaklarının belirlenmesi (Devam ediyor.)	TÜBİTAK	300.000TL	15.04.2015 15.10.2016	Bursiyer	TOVAG 2140417