



**Sebzelerin Mikrobiyal ve Pestisit Güvenliğinin  
Sağlanmasında Ultrases ve Düşük Şiddet Elektrik Akımının  
Birlikte Kullanılma Olanaklarının Belirlenmesi**

**Program Kodu: 3501**

**Proje No: 1130448**

Proje Yürütücüsü:

**DoÇ.Dr. Mehmet BAŞLAR**

Araştırmacılar:

Yrd. DoÇ. Dr. Muhammed Zeki DURAK

DoÇ. Dr. Mehmet Fatih CENGİZ

DoÇ. Dr. İsmet ÖZTÜRK

Prof. Dr. Mustafa Sait YAZĐAN

Uz. Dr. Azime YILMAZ

Danışmanlar:

Prof. Dr. Osman SAĞDIÇ

Prof. Dr. Mustafa Fatih ERTUGAY

Bursiyerler:

Mahmut KILIÇLI

Onur BASANÇELEBİ

OCAK 2016  
İSTANBUL

## ÖNSÖZ

TÜBİTAK 3501-Kariyer Geliştirme Programı çerçevesinde desteklenen “*Sebzelerin Mikrobiyal ve Pestisit Güvenliğinin Sağlanmasında Ultrases ve Düşük Şiddet Elektrik Akımının Birlikte Kullanılma Olanaklarının Belirlenmesi*” isimli proje başarılı bir şekilde tamamlanmıştır. Projemizi destekleyen TÜBİTAK TOVAG Araştırma Grubu’na teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Ayrıca genç bilim insanlarının desteklenmesi açısından 3501 koduyla yürürlükte olan bu programın şahsım ve tüm genç bilim insanlarına sunduğu fırsatlardan dolayı ilgili emeği geçen tüm idarecilere teşekkürlerimi sunarım.

Bu projenin gerçekleşmesinde proje ekibinde yer alan tüm hocalarıma ve öğrencilerime göstermiş oldukları özveriden dolayı ayrı ayrı teşekkür ederim. Proje ekibinde olmamalarına rağmen ihtiyaç duyulduğunda yardımlarını esirgemeyen lisansüstü öğrencilerim Muhammet Ali ÇAKIR ve Mustafa İRKİLMEZ’e de yapmış olduğu yardımlardan dolayı teşekkür ederim. Ayrıca bu projenin yürütülmesinde kolaylık sağlayan bölümümüz ve üniversitemizin tüm yetkililerine teşekkür ederim.

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçların bilim dünyasına katkı sağlaması temennisiyle...

15.11.2015

Proje Yürütücüsü  
Doç.Dr. Mehmet BAŞLAR

## ÖZET

### SEBZELERİN MİKROBİYAL VE PESTİSİT GÜVENLİĞİNİN SAĞLANMASINDA ULTRASES VE DÜŞÜK ŞİDDET ELEKTRİK AKIMININ BİRLİKTE KULLANILMA OLANAKLARININ BELİRLENMESİ

**Proje No:** 1130448

#### **Proje Yürütücüsü**

Doç. Dr. Mehmet BAŞLAR

Taze tüketilen minimal işlenmiş sebzelerdeki mikrobiyal kontaminasyon ve pestisit kalıntıları gıda güvenliği açısından önemli bir problemdir. Yetiştirme sırasında sebzeleri böcek, bitki ve mikroorganizmalara karşı korumak amacıyla kullanılan pestisitler sebzelere de nüfuz ederek pestisit kalıntılarına sebep olurken, üretim ve taşımanın çeşitli aşamalarında ise mikrobiyal kontaminasyonlar olabilmektedir. Tüm dünyada sebze tüketimi ile ilişkilendirilmiş mikrobiyal veya kimyasal faktörlerin neden olduğu ölüm vakaları görülmektedir. Bu çalışmanın amacı ısı olmayan yöntemlerden ultrases ve elektrik akımı uygulamalarını birlikte kullanarak (elektrosonikasyon) sebzeleri, insan sağlığı için daha güvenli hale getirecek pratik bir yöntem geliştirmektir.

Bu çalışmada materyal olarak domates ve marul örnekleri kullanılmıştır. Farklı frekanslara (22 ve 40 kHz) sahip ultrases işlemi ile farklı voltaj (5, 10 ve 20V) veya amperdeki (0.5A, 1A ve 2A) elektroliz ünitesinin kombine edilmesi planlanmaktadır. Bu proje dört aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir: I. Aşama: Elektrosonikasyon işleminin sebzelerdeki doğal mikrobiyota, tekstür ve fizikokimyasal özellikler üzerine etkisi; II. Aşama: Kontamine edilmiş patojen mikroorganizmaların inaktivasyonu üzerine elektrosonikasyon işleminin etkisi; III. Aşama: Pestisit degradasyonu üzerine elektrosonikasyon işleminin etkisi; IV. Aşama: Elektrosonikasyon uygulanmış sebzelerdeki mikrobiyal gelişim üzerine depolamanın etkisi.

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara göre; uygulanan işlemlerle mikroorganizma yükünün model sistemde 5,5 log'un üzerinde; domates ve marul örneklerinde ise 4,3 log'un üzerinde inaktive edilebildiği ortaya konulmuştur. Mikrobiyal dekontaminasyonda ultrasesin düşük bir dekontaminasyon etkinliğine sahip olduğu (<1,1 log) görülmüştür. Captan, metalaxyl ve thiamethoxam pestisitlerine uygulanan işlemlerle model sistemde %78-100 arasında, kontamine edilmiş sebzelerde ise %70-95 arasında kalıntı degradasyonuna sebep olduğu görülmüştür. Pestisit degradasyonunda dominant degradasyon etkisinin ultrasese ait olduğu ortaya çıkmıştır. Maalesef, uygulanan işlemlerin özellikle marul örneklerinde önemli tekstürel bozukluklara sebep olduğu görülmüştür. Sebzelerin işlem sırasında ıslanmış olmasından dolayı depolama sürecinde çabuk bozulduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak elektrosonikasyon işleminin bütün sebzelerde kullanılmasının uygun olmamakla birlikte domates gibi bazı sebzelerde uzun depolamanın gerektirmediği ama mikrobiyal ve pestisit dekontaminasyonunun istendiği uygulamalarında kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Ultrases, elektrik akımı, dekontaminasyon, sebzeler, pestisit, patojen.

## ABSTRACT

### DETERMINATION of ENSURING OPPORTUNITIES of COMBINATION of ULTRASOUND and LOW INTENSITY ELECTRIC CURRENT for MICROBIAL and PESTICIDE SAFETY of VEGETABLE

Project No: 113O448

#### **Project Manager**

Assoc. Prof. Dr. Mehmet BAŞLAR

Lack of ability to ensure microbial and chemical safety of vegetables is an important problem. While the pesticides are used for various purposes, they could penetrate the vegetables and microbial contamination could be introduced in various stages of production and transportation. It is the observed death cases caused by microbial or chemical factors associated with vegetable consumption in all over the world. The purpose of this study is to develop a practical method which aims to provide safer vegetables for human consumption by using a combination of ultrasound and electrical current applications of non-thermal methods (electrosonication).

In this study, samples of tomatoes and lettuce have been used as the testing materials. The electrolysis have been applied in three different voltages (5, 10, and 20V) or three different amperes (0.5, 1 and 2A). The ultrasonic process have been applied with two different frequencies (22 and 40 kHz). This project have been carried out in four stages: I. Stage: The effect of electrosonication process on natural flora and the textural and physicochemical properties of vegetables; II. Stage: The effect of electrosonication process on inactivation of contaminated pathogen microorganisms; III. Stage: The effect of electrosonication process on degradation of pesticides; IV. Stage: Effect of storage on microbial growth of vegetables treated with electrosonication.

According to the results obtained in this study; it have been demonstrated the treatments inactivated more than 5.5 log pathogenic microbial load in model systems, more than 4,3 log on tomatoes and lettuce samples. It was observed ultrasonic decontamination has low effectiveness for microbial decontamination. It has been observed to cause degradation of the residue between 78 to 100 % in model system and degradation of the residue between 70 to 95% on contaminated vegetables for captan, metalaxyl and thimethoxam pesticides because of applying process. Ultrasound treatment has dominant degradation effect at degradation of pesticides. However, it was observed to cause significant textural defects on especially lettuce samples during processing. It is predicted vegetable is perishable for long storage due to the soaked of vegetables during the processing. As a result, it has been revealed that electrosonication treatment is not suitable for all kind of vegetables, however, the treatments can be used vegetable like tomato which desired in applications of decontamination of microbial and pesticide but not require long storage.

**Key Words:** Ultrasound, electric current, decontamination, vegetables, pesticide, pathogen

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xi
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ .....	4
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER .....	8
3.1. Materyal.....	8
3.1.1. Sebzelerin temini.....	8
3.1.2. Pestisit çalışmasında kullanılacak sebzelerin temini .....	8
3.1.3. Mikrobiyal Kültürler .....	8
3.1.4. Kimyasal malzemeler .....	8
3.2. Yöntem .....	10
3.2.1. Elektrik akımı ve elektrosonikasyon işlemlerinin uygulanması .....	10
3.2.2. Fizikokimyasal özellikler .....	10
3.2.3. Antioksidan özelliklerin belirlenmesi .....	11
3.2.4. Toplam karotenoid içeriğinin belirlenmesi.....	11
3.2.5. Tekstür analizi .....	11
3.2.6. Mikrobiyolojik sayımlar .....	12
3.2.7. Kalıntı oksidant analizleri .....	14
3.2.8. Sistemin enerji sarfiyatının belirlenmesi.....	14
3.2.9. Pestisit çalışmaları.....	14
3.2.10. Verilerin istatistiksel analizi .....	18
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	19
4.1. Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin doğal mikrobiyota ve biyokimyasal/ fizikokimyasal/ tekstürel özellikleri ve üzerine etkisi (I. İş paketi).....	19
4.1.1. Doğal mikrobiyota üzerine etkisi .....	19
4.1.2. Antioksidan özelliklerine etkisi .....	28
4.1.3. Karotenoid içeriği üzerine etkisi .....	32

4.1.4. Tekstürel özelliklerine etkisi .....	34
4.1.5. Fizikokimyasal özelliklerine etkisi.....	36
4.1.6. Kalıntı oksidant değişimi .....	41
4.1.7. Cihazın harcadığı güç seviyesinin belirlenmesi.....	44
4.2. Kontamine edilmiş patojen mikroorganizmaların inaktivasyonu üzerine elektrosonikasyon işleminin etkisi (II. İş paketi) .....	45
4.2.1. Model sistemde patojenlerin inaktivasyonu .....	45
4.2.2. Kontamine edilen domateslerdeki patojenlerin inaktivasyonu .....	50
4.2.3. Kontamine edilen marullardaki patojenlerin dekontaminasyonu .....	54
4.3. Pestisitlerin degradasyonu üzerine elektrosonikasyon işleminin etkisi (III. İş paketi) .....	60
4.3.1. Model sistemde pestisit kalıntılarını azaltılması .....	63
4.3.2. Pestisit kontamine edilmiş domateslerdeki kalıntıların azaltılması .....	69
4.3.3. Pestisit kontamine edilmiş marullardaki kalıntıların azaltılması .....	73
4.3.4. Pestisit degradasyon ürünlerinin belirlenmesi .....	77
4.4. Elektrosonikasyon uygulanmış sebzelerin fizikokimyasal, tekstürel ve mikrobiyal özellikleri üzerine depolamanın etkisi (IV. İş paketi) .....	79
4.4.1. Elektrik akımı uygulanmış sebzelerin fizikokimyasal/tekstürel özellikleri ve doğal mikrobiyota üzerine depolamanın etkisi.....	79
4.4.2. Patojen inoküle edilen sebzelerin işlem sonrası depolanması .....	108
5. SONUÇ ve ÖNERİLER .....	115
KAYNAKLAR.....	117

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Elektrik akımının uygulanma şekli .....	4
Şekil 2.2. Ultrases ve elektrik akımının birlikte uygulandığı sistem .....	7
Şekil 3.1. İşlemlerin uygulanması .....	10
Şekil 4.1. Domateslerdeki toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) üzerine elektrik akımı ve elektrosonikasyonun etkisi.....	21
Şekil 4.2. Domateslerdeki toplam maya küf üzerine elektrik akımı ve elektrosonikasyonun etkisi22	
Şekil 4.3. Domateslerdeki toplam koliform bakteriler üzerine elektrik akımı ve elektrosonikasyonun etkisi.....	23
Şekil 4.4. Marullardaki toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) üzerine elektrik akımı ve elektrosonikasyonun etkisi.....	25
Şekil 4.5. Marullardaki toplam maya küf üzerine elektrik akımı ve elektrosonikasyonun etkisi ..	26
Şekil 4.6. Marullardaki toplam koliform bakteriler üzerine elektrik akımı ve elektrosonikasyonun etkisi.....	27
Şekil 4.7. Ultrasonik işlemcinin domateslere verdiği zararı gösteren bir resim .....	35
Şekil 4.8. Elektrosonikasyon işlemi sonrası yumuşayan marulları gösteren resim .....	35
Şekil 4.9. Model sistemde elektrik akımı ve elektrosonikasyonla <i>E.coli</i> OH157:H7 inaktivasyonu46	
Şekil 4.10. Model sistemde elektrik akımı ve elektrosonikasyonla <i>L. monocytogenes</i> inaktivasyonu .....	48
Şekil 4.11. Model sistemde elektrik akımı ve elektrosonikasyonla <i>S. aureus</i> inaktivasyonu ....	49
Şekil 4.12. Domatese inoküle edilen <i>E.coli</i> O157:H7'nin elektrik akımı ve elektrosonikasyonla dekontaminasyonu .....	51
Şekil 4.13. Domatese inoküle edilen <i>L. monocytogenes</i> 'in elektrik akımı ve elektrosonikasyonla dekontaminasyonu .....	52
Şekil 4.14. Domatese inoküle edilen <i>S. aureus</i> 'nin elektrik akımı ve elektrosonikasyonla dekontaminasyonu .....	53
Şekil 4.15. Marullara inoküle edilen <i>E.coli</i> O157:H7'nin elektrik akımı ve elektrosonikasyonla dekontaminasyonu .....	56
Şekil 4.16. Marullara inoküle edilen <i>L.monocytogenes</i> 'in elektrik akımı ve elektrosonikasyonla dekontaminasyonu .....	58

Şekil 4.17. Marullara inoküle edilen <i>S.aureus</i> 'nin elektrik akımı ve elektrosonikasyonla dekontaminasyonu .....	59
Şekil 4.18. Kullanılan pestisitlerin moleküler yapısı.....	60
Şekil 4.19. Araştırma konusu pestisitlere ait örnek bir kromatogram.....	61
Şekil 4.20. Captan pestisiti için elde edilen kalibrasyon eğrisi.....	61
Şekil 4.21. Thiamethoxam pestisiti için elde edilen kalibrasyon eğrisi.....	62
Şekil 4.22. Metalaxyl pestisiti için elde edilen kalibrasyon eğrisi .....	62
Şekil 4.23. Depolama sürecinde bozulduğu tespit edilen sebzelerin görüntüsü .....	80
Şekil 4.24. Elektrik akımı uygulanan domateslerdeki TMAB'nin depolama sürecindeki değişimi82	
Şekil 4.25. Elektrik akımı uygulanan domateslerdeki toplam koliform bakterilerinin depolama sürecindeki değişimi .....	83
Şekil 4.26. Elektrik akımı uygulanan domateslerdeki toplam maya-küf (TMK) depolama sürecindeki değişimi .....	84
Şekil 4.27. Elektrik akımı uygulanan marullardaki TMAB'nin depolama sürecindeki değişimi ...	85
Şekil 4.28. Elektrik akımı uygulanan marullardaki TPPB'nin depolama sürecindeki değişimi ....	86
Şekil 4.29. Elektrik akımı uygulanan marullardaki toplam koliform bakteri depolama sürecindeki değişimi.....	87
Şekil 4.30. Elektrik akımı uygulanan marullardaki toplam maya-küflerin depolama sürecindeki değişimi.....	88
Şekil 4.31. Elektrosonikasyon uygulanan domateslerin toplam fenolik madde (mg/kg) içeriğinin depolama sürecindeki değişimi.....	90
Şekil 4.32. Elektrosonikasyon uygulanan domateslerin toplam flavanoid madde (mg/kg) içeriğinin depolama sürecindeki değişimi.....	91
Şekil 4.33. Elektrosonikasyon uygulanan domateslerin DPPH radikali indirgeme aktivitesinin (%) depolama sürecindeki değişimi.....	92
Şekil 4.34. Elektrosonikasyon uygulanan marulların toplam fenolik madde (mg/kg) içeriğinin depolama sürecindeki değişimi.....	93
Şekil 4.35. Elektrosonikasyon uygulanan marulların toplam flavonoid madde (mg/kg) içeriğinin depolama sürecindeki değişimi.....	94
Şekil 4.36. Elektrosonikasyon uygulanan marulların DPPH radikali indirgeme aktivitesinin (%) depolama sürecindeki değişimi.....	95



Şekil 4.37. Elektrosonikasyon uygulanan domateslerin toplam karotenoid (mg/kg) içeriğinin depolama sürecindeki değişimi.....	97
Şekil 4.38. Elektrosonikasyon uygulanan marulların toplam karotenoid (mg/kg) içeriğinin depolama sürecindeki değişimi.....	98
Şekil 4.39. Elektrosonikasyon uygulanan domateslerin sertliğinin depolama sürecindeki değişimi.....	99
Şekil 4.40. Elektrosonikasyon uygulanan domateslerin L* değerinin depolama sürecindeki değişimi.....	100
Şekil 4.41. Elektrosonikasyon uygulanan domateslerin kroma değerinin depolama sürecindeki değişimi.....	101
Şekil 4.42. Elektrosonikasyon uygulanan domateslerin kuru madde (%) içeriğinin depolama sürecindeki değişimi.....	102
Şekil 4.43. Elektrosonikasyon uygulanan domateslerin pH değerinin depolama sürecindeki değişimi.....	103
Şekil 4.44. Elektrosonikasyon uygulanan marulların L* değerinin depolama sürecindeki değişimi.....	104
Şekil 4.45. Elektrosonikasyon uygulanan marulların kroma değerinin depolama sürecindeki değişimi.....	105
Şekil 4.46. Elektrosonikasyon uygulanan marulların kuru madde (%) içeriğinin depolama sürecindeki değişimi.....	106
Şekil 4.47. Elektrosonikasyon uygulanan marulların pH değerinin depolama sürecindeki değişimi.....	107
Şekil 4.48. Domatese inoküle edilen <i>E.coli</i> O157:H7'nin elektrosonikasyon uygulamasından sonra depolama sürecindeki değişimi.....	108
Şekil 4.49. Marula inoküle edilen <i>E.coli</i> O157:H7'nin elektrosonikasyon uygulamasından sonra depolama sürecindeki değişimi.....	109
Şekil 4.50. Domatese inoküle edilen <i>L.monocytogenes</i> 'nin elektrosonikasyon uygulamasından sonra depolama sürecindeki değişimi.....	111
Şekil 4.51. Marula inoküle edilen <i>L.monocytogenes</i> 'nin elektrosonikasyon uygulamasından sonra depolama sürecindeki değişimi.....	112
Şekil 4.52. Domatese inoküle edilen <i>S.aureus</i> 'nin elektrosonikasyon uygulamasından sonra depolama sürecindeki değişimi.....	113
Şekil 4.53. Marula inoküle edilen <i>S.aureus</i> 'nin elektrosonikasyon uygulamasından sonra depolama sürecindeki değişimi.....	114

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 3.1. Kullanılan referans standart maddeler ve özellikleri .....	8
Tablo 3.2. Analizlerde kullanılan kimyasal maddeler ve özellikleri .....	9
Tablo 3.3. Araştırma konusu pestisitlerin ticari preparatları ve bazı özellikleri.....	9
Tablo 3.4. Pestisit kalıntılarını azaltıcı uygulama denemeleri.....	15
Tablo 3.5. Enstrümental (GC MS/MS) şartlar .....	16
Tablo 3.6. Enstrümental (GC ECD) şartlar.....	17
Tablo 4.1. Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin toplam fenolik madde üzerine etkisi.....	29
Tablo 4.2. Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin toplam flavonoid madde üzerine etkisi.....	30
Tablo 4.3. Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin toplam DPPH indirgeme özelliğine etkisi ....	31
Tablo 4.4. Elektrosonikasyon işleminin domateslerin toplam karotenoid (mg/kg) içeriğine etkisi	33
Tablo 4.5. Domatesin sertlik (g) özelliği üzerine etkisi .....	34
Tablo 4.6. Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin toplam L* değerine etkisi .....	37
Tablo 4.7. Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin kroma değerine etkisi .....	38
Tablo 4.8. Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin pH değerine etkisi.....	39
Tablo 4.9. Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin toplam kuru madde (%) üzerine etkisi.....	40
Tablo 4.10. İşlem sıvısındaki serbest klor (mg/L) oluşumu .....	42
Tablo 4.11. İşlem sıvısındaki hidrojen peroksit (mg/L) oluşumu.....	43
Tablo 4.12. Kullanılan sistemlerin harcadığı güç.....	44
Tablo 4.13. Pestisitlere ait analitik performans test sonuçları.....	63
Tablo 4.14. Model sistemdeki yüksek oran captan(1558,44 ppb) pestisitinin değişimleri .....	64
Tablo 4.15. Model sistemdeki düşük oran captan pestisitinin (57,14 ppb) değişimleri.....	65
Tablo 4.16. Model sistemdeki yüksek oran metalaxyl pestisitinin (1985,69 ppb) değişimleri .....	66
Tablo 4.17. Model sistemdeki düşük oran metalaxyl pestisitinin (82,35 ppb)değişimleri .....	67
Tablo 4.18. Model sistemdeki yüksek oran thiamethoxam pestisitinin ( 1190,95 ppb) değişimleri	68
Tablo 4.19. Model sistemdeki düşük oran thiamethoxam pestisitinin (65,83 ppb) değişimleri ...	69
Tablo 4.20. Domates numunelerinde captan kalıntı değişimleri (ppb).....	70
Tablo 4.21. Domates numunelerinde metalaxyl kalıntı değişimleri (ppb) .....	71
Tablo 4.22. Domates numunelerinde thiamethoxam kalıntı değişimleri (ppb) .....	72

Tablo 4.23. Marul numunelerinde captan kalıntı değişimleri (ppb).....	74
Tablo 4.24. Marul numunelerinde metalaxyl kalıntı değişimleri (ppb).....	75
Tablo 4.25. Marullarda thiamethoxam kalıntı değişimleri (ppb).....	76
Tablo 4.26. IV. iş paketinde uygulanacak işlemler şartları .....	79

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Amper
ACN	: Asetonitril
DDT	: Dikloro Difenil Trikloroetan
DEE	: Diethatyl-ethyl
f	: frekans
g/L	: gram / litre
GC-ECD	: Gas Chromatography-Electron Capture Dedector (Gaz Kromatografisi-Elektron Yakalayıcı Dedektör)
GC-MS/MS	: Gas Chromatography Tandem Mass Spectrometry (Gaz Kromatografisi-Kütle/Kütle Spektrometresi)
IS	: Internal standard
kHz	: Kilohertz
LOD	: Limit of Dedection (Tespit Limiti)
LOQ	: Limit of Quantification (Tayin Limiti)
MRL	: Maximum Residue Limit (Maksimum Kalıntı Düzeyi)
ppb	: parts per billion (milyarda bir kısım)
ppm	: parts per million (milyonda bir kısım)
PSA	: Primary Secondary Amine
QUECHERS	: "Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged ve Safe" esasına dayanan metod
USB	: Ultrasonik Su Banyosu
USİ	: Ultrasonik İşlemci

## 1. GİRİŞ

Domates (*Lycopersicon esculentum*), dünyada en çok üretilen ve ülkemizde de en çok üretilen ve tüketilen ürünler arasında olmakla birlikte, gıda sanayinde çeşitli kullanım alanlarına sahip Solanaceae ailesinden bir türdür (Keskin ve Gül, 2004). Domates, fenolik bileşenler, antioksidanlar, vitaminler, likopen ve  $\beta$ -karotene zengin bir meyvedir (Sastary vd., 2001). Domatesin yapısında başta likopen olmak üzere diğer karotenoidleri içermesi ve bu bileşenlerin özellikle prostat kanserine karşı koruyucu özelliğe sahip olması domatese olan ilgiyi artırmıştır. Endüstriyel işlemlerde, domates ve domates orjinli ürünlerdeki mikroorganizmaları veya enzimleri yok etmek, ya da istediğimiz konsantrasyonu elde etmek için bazı işlemler uygulanmaktadır (Çapanoğlu vd., 2008). Bir diğer önemli sebze olan marul (*Lactuca Sativa* var. *longifolia*) da içerdiği biyoaktif bileşenler, vitaminler ve minerallerce sağlığımız için önemli bir sebzedir. Dünyadaki toplam marul üretimi 2012 FAO verilerine göre 24.946.142 ton üretilmiştir. Türkiye’de ise 419.066 ton üretilmiştir (Dupont vd., 2002; Kaur ve Kapoor 2001). Sebzeler, üretimin farklı aşamalarında patojen veya zararlı bakteriler tarafından kontamine olabilmektedir. Beslenme ve insan sağlığı arasındaki ilişkinin öneminin giderek artması ve insanların iş yoğunluğundan dolayı hazır gıdalara yönelmesi, özellikle taze tüketilen minimum işlem görmüş sebzelerdeki mikrobiyal kontaminasyonu da beraberinde getirmiştir. Bunun için tüketici kendisi için tarlaya en yakın ürünü tercih etmektedir.

Giderek artan üretim sektörü, insanları iş yoğunluğundan dolayı hazır gıdalara yönelmesine neden olmuştur. Bu kapsamda marketlerde temizlenip yıkanarak minimal işlenmiş ve ambalajlanmış taze sebze ve meyveler giderek yaygın hale gelmektedir. Ancak bu durumda da bu taze hazırlanmış ürünlerin güvenliği ve barındırdığı riskler problem olarak ortaya çıkmıştır. Bu ürünlerde yıkama suyundan kaynaklı mikrobiyal kontaminasyonların önemli bir problem olmasından dolayı doğal sanitizere ve yeni muhafaza tekniklerine ilgi oldukça artmaktadır.

Sürekli artan nüfusa paralel olarak daha fazla üretim yapma isteği ve ekilebilir tarım alanlarında kalitenin düşmesine bağlı olarak toprağın daha verimli kullanımı, daha kaliteli gıda üretimi gerçekleştirme düşüncesi, içinde bulunduğumuz tarımsal üretim sisteminde pestisit kullanımının daha da yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Tarımsal üretimde karşılaşılan hastalıklar, pestisit zararları ve bitki gelişimindeki problemler üretimde pestisit olarak adlandırılan zirai ilaçların kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Pestisitler diğer mücadele yöntemlerine kıyasla tatbik etmesi kolay, etkisini hızlı bir şekilde gösteren ve nispeten daha ekonomik olduğu için, bunların üreticiler tarafından zirai üretimde kabul görmüş, elzem girdilerden olduğu söylenebilmektedir. Buna karşın, yoğun ve bilinçsiz olarak yürütülen pestisit uygulamaları kanserojen, mutajen ve teratojen özellikleriyle uzun vadede insan sağlığını oldukça ciddi bir şekilde etkileyebilmektedir.

Pestisitlerin kullanımında yeterli bilincin oluşmamasının yanı sıra sağlığa zararlı pestisitlerin de kullanılabilirdiği düşünülürse pestisitlerin oluşturduğu risk büyüktür. Yetiştirme sırasında kullanılan pestisitler sebzelere nüfuz ederek pestisit kalıntılarına sebep olmaktadır. Ülkemizde gıda güvenliğinin sağlanabilmesi için gerekli üretim şartlarının yerine getirilememesine bağlı olarak sebzelerin yüksek oranda pestisit yüküne sahip olabildikleri görülmektedir. Bunun yanı sıra ürünlerde, kullanımı yasaklanmış pestisit kalıntılarına rastlandığı yapılan çalışmalarla ortaya konmaktadır (Ersoy vd 2011a, Ersoy vd 2011b). Pestisit kalıntıları ise çevre ve insan sağlığını tehdit etmesinin yanı sıra Avrupa ülkeleri ve Rusya sebze ihracatında ciddi problemlere sebep olabilmektedir. Bu nedenle sebzelerdeki pestisit kalıntılarının gerek insan sağlığını gerekse gıda kalitesini etkilemeyecek bir yöntemle giderilmesi ülkemiz açısından oldukça önemlidir.

Isıl işlem yöntemleri kullanılarak gıdalar güvenli hale getirildiği zaman, gıdaların fiziksel ve besinsel değerlerinde olumsuzluklar meydana gelmesinden dolayı, son zamanlarda ısıl olmayan işlemler alanında birçok çalışma yürütülmektedir. Isıl işlemlerin gıdalarda meydana getirdiği birtakım olumsuzluklar nedeniyle ısıl olmayan yöntemlere olan ilgi önemli seviyede artmıştır. Sebzelere uygulanabilecek pek çok ısıl olmayan gıda muhafaza yöntemi olmakla birlikte bunlardan düşük şiddet elektrik akımı ultrases ve bunların kombine uygulamaları sebzelerin dekontaminasyonunda önemli bir potansiyel taşımaktadır.

Düşük şiddette elektrik akım uygulaması, iletken bir çözelti kullanılarak anot ve katot arasındaki akım transferinde mikroorganizmaları inaktive etme esasına dayanan ve üzerine çeşitli dekontaminasyon çalışmaları yapılan bir tekniktir. İletken çözelti olarak farklı çözeltiler kullanılmakta olup tuz bunlardan bir tanesidir (May ve Fickak, 2003; Kerwich vd., 2005). Bir diğer önemli ısıl olmayan yöntem olan ultrases tekniği, 20 kHz veya daha yüksek seviyedeki ses dalgalarını tanımlamakla birlikte genellikle 20 kHz'den 10 MHz'e kadar olan frekanstaki uygulamalardır (Brondum vd., 1998; Butz ve Tauscher, 2002). Gıda proseslerinde mikrobiyal inaktivasyona neden olan kavitasyonu sağlamak için 20 ile 100 kHz arasındaki ses dalgaları kullanılmaktadır (Piyasena vd., 2003). Ultrases sadece mikrobiyel inaktivasyonu değil, emülsiyon oluşturma, kurutma, sıvılarda gaz giderme, kristalizasyon, enzim inaktivasyonu ve ekstraksiyon işlemlerinde kullanılmaktadır (Knorr vd., 2004; Susulick vd., 1999). Elektrosonikasyon işlemi ise, ultrases ve elektrik akımının kombine olarak kullanıldığı ısıl olmayan esasa dayanan bir yöntem olup, dekontaminasyon amacıyla daha önce yapılan herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Elektrik akımı iletken bir ortamda anottan katota doğru ilerlerken karşılaştığı mikroorganizmaları inaktif etme potansiyeline sahip bir yöntemdir. Ultrases işlemi ise kavitasyon mekanizmasıyla

mikrobiyal inaktivasyona sebep olmaktadır. Elektrik akımının, mekanik bir işlem olan ultrases işlemiyle birlikte uygulanmasının sinerjistik bir etki ortaya çıkarması beklenmektedir. Çünkü ultrasesin oluşturduğu türbülansla elektrik iletiminin güzergâhı mikrosaniyeler içerisinde sürekli olarak değiştirilerek elektrik akımının daha fazla mikroorganizmaya temas etmesi hedeflenmiştir. Ayrıca oluşturduğu güçlü titreşimlerle mekanik temizlemelerde bile kullanılan ultrases işleminin sebzelere çeşitli şekillerde yapışmış olan mikroorganizmaların işlem sıvısına geçmesini sağlayarak mikroorganizmaların elektrik akımına daha çok maruz kalacağı düşünülmektedir. Ultrases işlemindeki güçlü titreşimler sebzelerin yüzeyinde bulunan pestisitleri de koparması ve bu unsurları fiziksel olarak uzaklaşması düşünülmektedir. Elektrosonikasyon işleminde, elektrik akımının ultrasesin temel etki mekanizması olan kavitasyon oluşumunu hızlandırması ve daha güçlü kavitasyon oluşturması beklenmektedir.

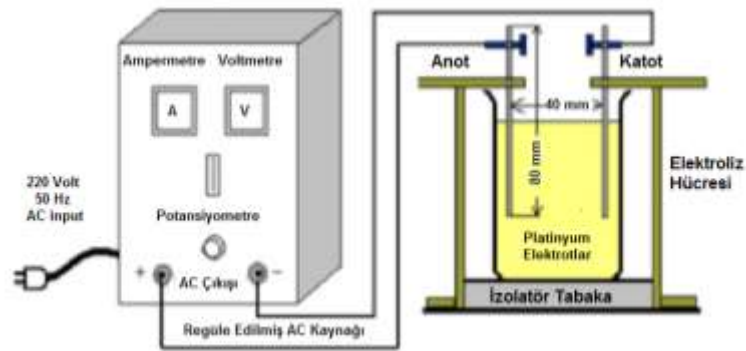
Düşük şiddet elektrik akımı uygulaması, ohmik ısıtma ve vurgulu elektriksel alan (PEF) işlemleriyle benzer özellik göstermekle birlikte birbirlerinden farklı işlemlerdir. PEF işleminin esası iletken olmayan bir boru sistemine iki iletken elektrot yerleştirilerek yüksek elektrik alan şiddetine sahip elektriğin mikrosaniyeler içerisinde vurgulu olarak verilmesine dayanmaktadır. Böylece sistemdeki boru iletken olmadığı için elektrotlar arasındaki elektrik transferi sıvı gıdadan geçmeye zorlanarak mevcut mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmektedir. (Barbosa-Canovas ve Sepulveda, 2005). Ohmik ısıtma, elektriksel direnci yüksek ürünlerde elektriksel ısıtma metodu olarak elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüştürülmesine dayanan bir ısıtma işlemidir (Baysal ve İçier, 2011). PEF işleminin etki mekanizması elektroporasyon ve elektrofizyon esasına dayanan ısıtma olmayan bir işlemken, ohmik ısıtma işleminin temel esası ısıtma işlemine dayanmaktadır. Elektrik akımı uygulaması ise iki elektrot arasında elektrik akımının doğrudan uygulanması olup elektrokimyasal bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Kerwick vd., 2005). Bu işlem PEF ve ohmik ısıtma yöntemlerinden farklılık arz etmektedir. PEF gibi elektriğin iletilmesi esasına dayanan ve ısıtma olmayan bir işlem olan elektrik akımı uygulaması, PEF işleminin aksine kondensatörde elektrik akımının biriktirilerek çok yüksek elektriksel alan şiddetine ulaşılan ve mikrosaniyelerde uygulanan bir işlem değildir. Ohmik ısıtma ise elektriğin doğrudan kullanıldığı ve temelde ürünün ısıtılmasına dayanan bir işlem tekniğidir (Baysal ve İçier, 2011).

Elektrosonikasyon işleminde; ultrases işleminin elektriğin daha etkin olmasında rol alacağı ve bu iki ısıtma olmayan işlemin birbirlerinin etkinliğini artıracığı düşünülmektedir. Sundarandiyen vd., (2009) organik kirleticilerin parçalanmasında bu işlemleri kombinasyonunun başarılı bir şekilde uygulandığını rapor etmiş, Schlager ve Gorski (2004) ise suların dezenfekte edilmesinde ultrases ve elektrik akımının birlikte kullanılmasının önemini ifade etmiştir. Bu gerekçeler ekseninde hem patojenlerin inaktive edilmesinde hem de pestisit degradasyonunda başarılı sonuçların elde edilmesi beklenmektedir.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Son yıllarda taze ve doğranmış sebzelerdeki mikroorganizmaların inaktivasyonu için yıkama ve sanitasyon uygulamaları üzerine çok sayıda önemli çalışmalar yapılmıştır (Gil vd., 2009). Sebzelerin dekontaminasyonu için ultrases, PEF, UV, yüksek basınç, radyo frekansı ve düşük voltaj elektrik akımı uygulamaları gibi birçok ısıl olmayan işlemin kullanılmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir. Elektrik akımı uygulaması diğer fiziksel metotlardan ayrılan bir teknolojidir. Elektrik akımının etki mekanizması genel olarak oksijenden elde edilen güçlü oksitleyici ajanların yanı sıra klor iyonu içeren tuzlu sularda klor radikallerinin oluşturulmasına dayanmaktadır. Ayrıca oksijen ve klor radikalleri, hipokloröz (HOCl) ve hipoklorit (OCl<sup>-</sup>) gibi serbest oksidantlarla reaksiyona girmektedir. Elektrik akımı uygulamasının bu özelliğinden dolayı çoğunlukla elektrokimyasal bir metot olarak ifade edilmiştir (Kerwich vd., 2005; Gil vd., 2009). Bazı araştırmacıların (Shimada ve Shimahara, 1982; Liu vd., 1997) düşük şiddet elektrik akımının mikrobiyal inaktivasyon etkisini hidrojen peroksitle açıklamasına karşın bazıları hidrojen peroksit tespit edememiştir (Guillou ve Murr, 2002). Bununla birlikte Park vd., (2003), 4 log mikrobiyal inaktivasyonun gözlemlendiği bir elektrik akımı uygulamasında, elektrik akımın mikroorganizmaları parçalayıcı etkide bulunduğunu rapor etmiş ve bunu transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ile göstermiştir.

Birbir vd. (2009), antibiyotiğe dayanıklı olan *E.coli* ATCC 25922 ve *E.coli* MAAG 1405 suşları, alternatif elektrik akımı kullanarak 1-2 dakikada tamamen (4 log) inaktive etmeyi başarmışlardır. Kullandığı sistemde şehir elektriğini 0,5 ile 2A arasında alternatif elektrik akımına çevirerek iki elektrot arasındaki tuzlu su çözeltisine uyguladığı çalışmadaki sistem Şekil 1'de sunulmuştur. Suların dezenfeksiyonunda kullanılan bazı elektrik akımı uygulamalarında ise sürekli sistemde çalışan sistemler kullanılmıştır (Kerwich vd., 2005).



Şekil 2.1. Elektrik akımının uygulanma şekli



Kerwick vd. (2005), 5V ve 4mA/cm<sup>2</sup> elektrik akımı ile 0,01M NaCl içeren tuzlu su çözeltisinde 10 dakikada 4 log, 60 dakikada ise 7 log *E. coli*'nin inaktive edildiğini rapor etmiştir. Ayrıca bu çalışmada elektrik akımından dolayı klor radikalleri oluşmuştur. Klor radikallerinin konsantrasyonu 10. dakikada 0.2mg/L iken 60. dakikada 1.6mg/L olmuş ve inaktivasyonda önemli bir rolü olduğu rapor edilmiştir. Bununla birlikte süre, konsantrasyon ve inaktivasyon oranı karşılaştırıldığında inaktivasyonun sadece klor bağımlı olmadığı görülmektedir. Klorun konsantrasyonu 60. dakikada 8 katına çıkarken, mikrobiyal inaktivasyon hızı zamanla yavaşlamıştır.

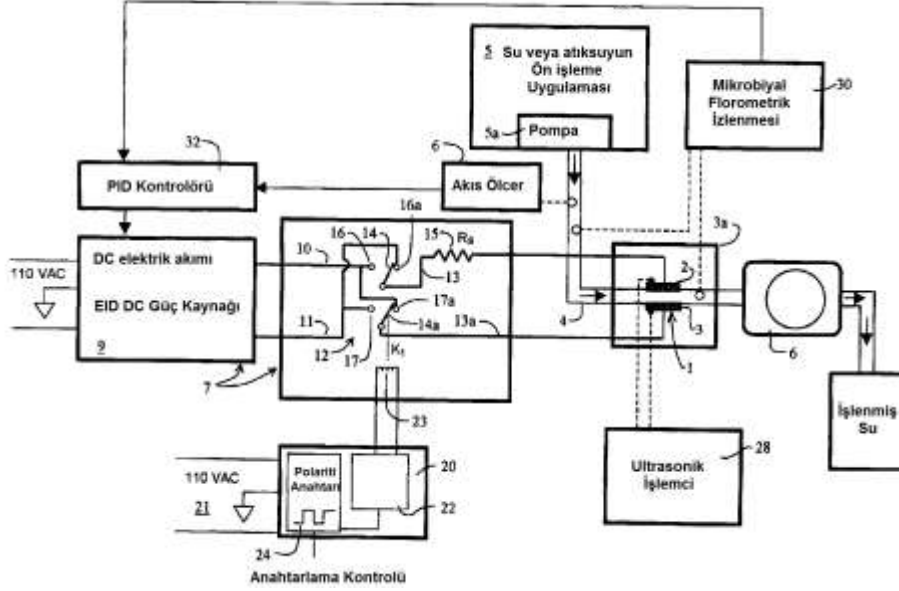
Park vd. (2003) *Vibrio parahaemolyticus* inoküle edilmiş deniz suyuna 1A ve 12V elektrik akımı uygulayarak 4 log mikrobiyal inaktivasyon elde etmeyi başarmışlardır. Başka bir çalışmada Tuz gölünden izole edilen halofilik mikroorganizmaları içeren bir tuzlu su çözeltisine 0,5 A'lık düşük şiddetli doğrusal elektrik akımı uygulayarak 5 dakikada 3 ile 7 log arasında etkili bir mikrobiyal inaktivasyon elde edilmiştir. İşlemin 20. dakikasında ise bütün mikroorganizmalar tamamen (7 log) inaktive edilmiştir. Elektrik akımı uygulanması sırasında işlem sıvısının sıcaklığı 10. dakikada 3-4°C, 30. dakikada ise 8-9°C arttığını rapor etmiştir (Birbir ve Birbir, 2006). Mahapatra vd., (2011) sığır etinin yüzeyini 0,15M NaCl çözeltisiyle ince film şeklinde kaplayıp, elektrik akımı uygulamasıyla *E. coli* O157:H7'nin 2 logaritmik inaktive etmeyi başarmıştır. Ayrıca, 0.3, 0.6 ve 0.9A elektrik alan şiddetinin kullanıldığı sistemde amper seviyenin artmasıyla inaktivasyon oranının da arttığı rapor edilmiştir. Başka bir çalışmada ise tuzlardaki halofilik mikroorganizmaları inaktive etmek için doğrusal elektrik akımı kullanılmıştır. 0.5 A elektrik akımıyla 10 dakika içerisinde 5-6 log ağırlıklı olarak lipaz ve proteaz üreten halofilik bakteriler inaktive edilmiştir (Birbir vd., 2008a). Birbir vd. (2008b), yaptıkları bir çalışmada Şekil 2.1'deki sisteme yakın bir sistem kullanarak doğrusal elektrik akımıyla mezofilik bakterilerde 3-4 log inaktivasyon elde etmeyi başarmışlardır. Danneh vd. (2011) domateslere doğrusal elektrik akımı uygulamasının ikincil bileşenler ve antioksidan aktivitesi üzerine etkisini incelemişler ve sebzelerdeki likopen, β-karoten, toplam fenolik ve antioksidan aktivitesi gibi sağlık için önemli bileşenleri artırmak için doğrusal elektriksel akımı uygulamasının çeşitli seviyelerde olumlu etki gösterdiğini belirlemişlerdir. Başka bir çalışmada marullarda 2,6 log mikrobiyal inaktivasyon elde edilmiştir (Gopal vd., 2010). Elektrik akımının mikrobiyal inaktivasyonda etkinliğiyle ilgili birçok çalışma olmakla birlikte pestisitler üzerine nasıl bir etki oluşturduğu bilinmemektedir.

Ultrases işleminin ise genellikle mikroorganizmalar ve enzimler üzerine önemli bir inaktivasyon etkisi mevcuttur. Çünkü akustik kaviteasyondan kaynaklanan noktasal sıcaklık ve basınç değişimleri ile birlikte oluşan mikromekaniksel şoklar hücrelerin yapısını bozabileceği gibi enzimlerin de denatürasyonuna sebep olabilir. Fakat bu etki noktasal olmasından dolayı yeteri kadar geniş bir alana yayılamaz (Mason vd. 2003; Evrendilek vd. 2010). Ultrases mikrobiyal

inaktivasyon için tek başına yeterli olmasa bile mikroorganizmalarda oluşan hasarlanma ve olumsuz etkilenmeler nedeniyle kalan mikroorganizmaların belli bir süre gelişimleri yavaşlayabilmekte veya durabilmektedir (Valero vd. 2007). Ultrasesin mikrobiyal inaktivasyon mekanizması genel olarak meydana gelen kavitasyonla oluşan mekanik şokların hücrede yeni porlar açması ve bunun sonucunda hücrenin şişerek lizise sebep olduğu şeklinde açıklanmaktadır (Mason vd. 2003). Ultrases işlemi mikroorganizmanın türü ve özelliklerine bağlı olarak değişik seviyelerde inaktivasyon etkisine sahiptir. Genellikle büyük hücreler küçüklere, yuvarlak şekilliler çubuk olanlara, gram pozitifler gram negatiflere, yaşlı hücreler gençlere, sporlar vejetatiflere, aerobikler anaerobikler göre daha dirençlidirler (Mason vd. 2003; Mason vd. 2005). Ayrıca, Şengül vd. (2011) sütteki toplam mezofilik ve koliform bakterilerini ultrases işlemiyle 1,31 log/mL ve 4,01 log/mL, fotosonikasyon işlemiyle 4,79 log/mL ve 5,31 log/mL düzeyinde inaktif etmeyi başarmışlardır. Ayrıca koliform bakterileri fotosonikasyonla 9. dakikadan itibaren tamamen inaktif hale getirilirken, ultrasesle 15. dakikada bile inaktif edilememiştir. Yapılan birçok çalışmada da ultrases işleminin mikrobiyal etkinliğinin artırılması için kombine kullanımlar başarılı sonuçlar vermiştir (Başlar, 2011).

Yoğun ve bilinçsiz olarak yürütülen pestisit uygulamaları kanserojen, mutajen ve teratojen özellikleriyle uzun vadede insan sağlığını oldukça ciddi bir şekilde etkileyebilmektedir (Yürümez vd., 2007; Büyükkuroğlu vd., 2008a; Büyükkuroğlu vd., 2008b; Cemek vd., 2010a; Cemek vd., 2010b; Cemek vd., 2010c). Dünya genelinde 3 milyon tona yakın pestisit kullanıldığı, ülkemizde ise pestisit kullanımının giderek arttığı ve 2008 yılı içinde toplam 22.681 tona ulaştığı rapor edilmiştir (Durmuşoğlu ve ark., 2010). Pestisitlerin kullanımında yeterli bilincin oluşmamasının yanı sıra sağlığa zararlı pestisitlerin de kullanılabilirdiği düşünülürse pestisitlerin oluşturduğu risk büyüktür. Bu yüzden, son zamanlarda yapılan çalışmalarda pestisitlerin insanlar degradasyonu üzerine çeşitli çalışmalar olmuştur. Thangavadivel (2010b), yaptığı doktora tez çalışmasında DDT gibi bazı kimyasal kirleticilerin degradasyonu için yüksek frekans ultrases şiddeti (1,6 MHz, 145 W/L) kullanmış ve DDT'lerin %90'a kadar, diğer bazı kimyasal kirleticilerin ise %50'ye kadar degradasyonun olabirliğini göstermiştir. Ayrıca Thangavadivel vd., (2010b) 8mg/L kloroform içeren çözeltiyi 24kHz ultrases uygulayarak tamamen parçalamayı başarmıştır. Bazı çalışmalarda ise ultrasesle birlikte ozon ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'in kullanılması yalnız ultrases işlemine göre daha başarılı sonuçların elde edilmesini sağlamıştır (Farooq vd., 2008; Gong vd., 2011). Bununla birlikte pestisit degradasyon ürünlerinin genellikle pestisit kendisine göre daha az toksik olduğu veya tamamen etkisiz forma dönüştüğü bilinmesine rağmen, bazı durumlarda pestisit degradasyon ürünlerinin pestisit kendisinden daha toksik olabildiği de ifade edilmektedir (Andereu ve Pico, 2004). Dolayısıyla bu durumun da göz ardı edilmemesi önemli bir konudur.

Suların dezenfeksiyonu için kullanılmak üzere ultrases ve elektrik akımının eş zamanlı olarak kullanıldığı ve sürekli sistemde çalışan bir sistemin patenti Şekil 2.2'de sunulmuştur (Schlager ve Gorski, 2004). Sundarandiyam vd., (2009) atık sulardaki çeşitli kirletici organik maddelerin elektrooksidasyonunda ultrases kullanarak bu maddelerin parçalanmasını artırmıştır. Bu işlemlerin 15 dakika birlikte uygulanması olumlu sonuçların alınmasında yeterli olmuştur.



Şekil 2.2. Ultrases ve elektrik akımının birlikte uygulandığı sistem (Schlager ve Gorski, 2004)

### 3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Sebzelerin temini

Bu çalışmada materyal olarak cherry cinsi domates ve kıvırcık marul olmak üzere 2 çeşit sebze kullanılmıştır. Bu sebzeler İstanbul Sebze Hali'nden temin edilmiş ve işlemler hızlı bir şekilde uygulanmıştır. Sebzeler işlemler uygulanana kadar +4°C'de muhafaza edilmiştir.

##### 3.1.2. Pestisit çalışmasında kullanılacak sebzelerin temini

Projenin 3. iş paketini oluşturan "pestisitlerin degradasyonu üzerine elektrosonikasyon işleminin etkisi" çalışmalarında kullanılan domates ve marul örnekleri, Antalya ilimizde organik ürün satan bölgesel marketlerden temin edilmiştir. Temin edilen domates ve marul örneklerinin eşdeğer yüzey alanını en uygun hale getirmek için, her birinin benzer nitelikte ve ağırlıklarının eşit düzeyde olmasına ve ayrıca izlenebilirlik belgelerinin bulunmasına dikkat edilmiştir. Organik marketlerden toplanan numunelerin araştırılan pestisit kalıntıları açısından deneysel çalışmalar öncesi analiz edilerek bu maddelerin örneklerde bulunmadığı doğrulanmıştır.

##### 3.1.3. Mikrobiyal Kültürler

Bu çalışmada *E.coli* O157:H7 ATCC 43885, *S. aureus* ATCC 25923 ve *L. monocytogenes* ATCC 7614 patojenleri kullanılmış olup, bu mikroorganizmalar Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümünden (Doç.Dr. İsmet Öztürk) temin edilmiştir.

##### 3.1.4. Kimyasal malzemeler

Kromatografik analizlerde kullanılan ve Tablo 3.1'de özellikleri belirtilen referans standart maddeler, kromatografik saflıkta ve sertifikalı olup, Dr. Ehrenstorfer GmbH Ausburg Almanya firmasından temin edilmiştir.

Tablo 3.1. Kullanılan referans standart maddeler ve özellikleri

Standart madde adı	Firma Adı	Katalog No	Özellikleri
Metalaxyl	Dr. Ehrenstorfer	CA14920000	Sertifikalı 0.1 g
Thiomethoxam	Dr. Ehrenstorfer	C17453000	Sertifikalı 0.1 g
Captan	Dr. Ehrenstorfer	C10960000	Sertifikalı 0.25 g
Diethatyl-ethyl	Dr. Ehrenstorfer	DRE-C 12602000	Sertifikalı 0.1 g

Analizlerde kullanılan kimyasal malzemeler, teknik özellikleri ve temin edilen firmalar Tablo 3.2'de sunulmuştur.

Tablo 3.2. Analizlerde kullanılan kimyasal maddeler ve özellikleri

Kimyasal Madde Adı	Özelliği	Katalog No	Firma adı
Asetonitril	Acetonitrile Chromasolv gradient grade for HPLC >99.9%	34851	Fluka
Toluene	Toluene puriss. P.a. ACS reagent, reag. ISO, reag. Ph. Eur., ≥99.7% (GC)	32249	Sigma
Asetik Asit	Acetic acid, Puriss, meets analytical specification of Ph. Eur., BP, USP, FCC, 99.8-100.5%	27225	Sigma
Sodyum klorid	Sodium chloride, Puriss, meets analytical specification of Ph. Eur., BP, USP, 99.0-100.5% (calc. To the dried substance) ≤0.00002% Al	13423	Sigma
Quechers ekstraksiyon kiti	Dispersive SPE 15ml, Pigment Sample EN	AGT-5982-5256	Agilent
Quechers ekstraksiyon kiti	Dispersive SPE 15ml, Fruits And Veg, EN	AGT-5982-5056	Agilent
Quechers ekstraksiyon kiti	QuEChERS Extraction Packets, EN Method	AGT-5982-7650	Agilent
Quechers ekstraksiyon kiti	QuEChERS Extract Tubes, EN Method	AGT-5982-5650	Agilent

Kromatografik analizler sırasında kullanılan ultra saf su (18,2 MΩ cm) Millipore/Milli-Q cihazında üretilmiştir. Gaz kromatografisi cihazlarında kullanılan helyum ve azot gazları yüksek saflıkta (%99,999) olup, Habaş firmasından temin edilmiştir. Denemeler sırasında kullanılan ticari pestisit preparatları ve özellikleri aşağıdaki Tablo 3.3'te sunulmuştur. Ticari preparatların belirlenmesinde Antalya bölgesinde faaliyet gösteren Teknik Tarım A.Ş. firması ile görüşülmüş olup, kullanım sıklığı açısından son zamanlarda en yaygın kullanılan ticari preparatların seçilmesi ve ayrıca araştırma konusu pestisitlerin birbirleriyle karışım halinde hazırlanarak uygulanabilirliği dikkate alınmıştır.

Tablo 3.3. Araştırma konusu pestisitlerin ticari preparatları ve bazı özellikleri

Aktif madde adı	Ticari preparat adı	Aktif madde konsantrasyonu (%)	Firma adı
Metalaxyl	Masspirin	35	Ertar Kimya
Thiomethoxam	Artiste	24	Safa Tarım A.Ş.
Captan	Odeon	50	Agri Sciences

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Elektrik akımı ve elektrosonikasyon işlemlerinin uygulanması

Düşük şiddet elektrik akımı ve elektrosonikasyon işlemlerinde elektriği iletmesi için işlem sıvısı olarak % 1.5'lik tuzlu su çözeltisinin kullanılmıştır. Bu çalışmada ultrasonik su banyosu (40kHz) ve ultrasonik işlemciden (24kHz) elde edilecek 2 farklı ultrases kaynağı ile 3 farklı ampere (0.2; 0.8 ve 1.4A) sahip elektrik akımı kullanılmıştır. İşlem sıvısının ve amper aralığının seçiminde cihazın kapasitesi ön denemelere bağlı olarak revize edilmiştir. İşlem süresi 2 dakika aralıklarla 10 dakikaya kadar uygulanmıştır. Elektrik akımı, güç kaynağına bağlı birbirine paralel olacak şekilde 2 adet düz platinin (0,50×3cm ebatlarında ve 0,5 mm kalınlığında) kullanılarak tuzlu suya aktarılmıştır. Bu elektrotlar 500 mL hacimli bir beherin kenarlarına yerleştirilmiş ve elektrotlar arasındaki uzaklık 8 cm olacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 3.1). 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. Ultrasonik işlemcinin uygulanması sırasında sıcaklık artışının engellenmesi sirkülasyonlu su banyosu kullanılmıştır. İşlemlerin yapıldığı beherin hacmi 500ml olup 300 mL işlem sıvısı kullanılmıştır.



Şekil 3.1. İşlemlerin uygulanması

### 3.2.2. Fizikokimyasal özellikler

**Kuru madde analizi:** Sebzeler 10'ar g tartılarak 70°C'de vakumlu kurutma dolabında sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulup madde kaybı esas alınarak hesaplanmıştır (Cemeroğlu, 2010).

**pH değeri belirlenmesi:** Sebzeler blender ile parçalandıktan sonra, işlem sıvısı ise doğrudan prob daldırılarak 20°C sıcaklıkta pH metre kullanılarak belirlenmiştir (Cemeroğlu 2010).

**Renk analizi:** Çalışmada üç boyutlu renk ölçümü esasına dayanan kolorimetre cihazı kullanılmıştır. Örneklerin de bu kolorimetreye  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  değerleri ölçülmüş ve kroma değerleri  $[C = (a^2 + b^2)^{1/2}]$  hesaplanmıştır (Ozdemir 2001).

### 3.2.3. Antioksidan özelliklerin belirlenmesi

**Toplam fenolik madde içeriği:** Folin-Ciocalteu metodu ile spektrofotometrik olarak yapılmıştır. Sebzelerden etil alkolle çözüldürüp filtre edilerek hazırlanan ekstraktan 0,5mL alınıp, önce 0,2 N 2,5 ml Folin-Ciocalteu reaktifi, sonra 2mL %7.5  $Na_2CO_3$  çözeltisi ilave edildikten 30 dakika sonra maviye dönen karışımın rengi 760nm'de ölçülmüştür. Sonuçlar gallik asit eşdeğeri olarak ifade edilmiştir (Li vd., 2006).

**Toplam flavonoid içeriği:** Sebzelerden alınan flavonoid ekstraktından 1 mL alınıp, 4 mL saf su ve 0,3 ml %5'lik  $NaNO_2$  üzerine ilave edilmiştir. 5 dakika sonra 0,3 mL %10'luk  $AlCl_3$  ve 6 dakika sonra 2 mL 1 M NaOH eklenip toplam hacim saf suyla 10mL'ye tamamlanmıştır. Oluşan pembe renkli çözeltinin absorbansı 510nm'de spektrofotometrik olarak ölçülüp kateşin eşdeğeri olarak verilmiştir (Zhinsen vd., 1999).

**Antiradikal aktivite analizi:** Sebzelerden metanolla alınan ekstraktan viallere 0.1mL alınıp 5 ml 0.1mM DPPH çözeltisi eklenerek 27°C'de 20 dakika beklendikten sonra 517nm'de okunarak belirlenmiştir (Singh vd., 2002).

### 3.2.4. Toplam karotenoid içeriğinin belirlenmesi

Sebzeler homojenize edildikten sonra 30 g numuneye 5 g Hyflo süper cel ve 75 mL metanol ilave edilerek Whatman 2'den süzölmüştür. Kalıntı, 75mL aseton-petrol eteri karışımıyla (50:50) 2 defa ekstarkte edilmiştir. Daha sonra 25mL %10'luk KOH ilave edilerek ayırma hunisinde kendi haline bırakılarak süzölmüştür. Epifazik katman susuz  $Na_2SO_4$  kullanılarak filtre edildikten sonra petrol eteriyle 250mL'ye tamamlanmış ve sonuçlar, ekstraktın 350-750nm arasındaki maksimum absorbans değerine göre hesaplanmıştır (Özkan vd., 2010).

### 3.2.5. Tekstür analizi

Domates örneklerinin sertlik değeri tekstür analiz cihazı kullanılarak (Stable Macro System - TA.XT2i) gerçekleştirilmiştir. Örneklerin sertliğini belirleyebilmek için silindirik prob (P/2) kullanılmıştır. Test öncesi, test ve test sonrası hızlar sırasıyla 1.5 mm/s, 1.0 mm/s ve 10 mm/s

olarak ayarlanmıştır. Ürüne yüksekliğinin % 50 penetrasyon (strain = % 50) uygulanarak bu penetrasyon için gerekli kuvvet elde edilen zaman-deformasyon grafiği kullanılarak belirlenmiştir. Ürünün sertliği bu penetrasyonun gerçekleştirilebilmesi için gerekli kuvvet olarak hesaplanmıştır. Enstrümental tekstür ölçümlerinde oluşacak varyasyon çokluğundan dolayı tekstür ölçümleri 9 paralel yapılmıştır.

### 3.2.6. Mikrobiyolojik sayımlar

**Örnek hazırlama:** Bu çalışmada kullanılan sebzeler işlem gördükten sonra toplam mezofilik-aerobik bakteri, toplam psikrotrofik bakteri, toplam maya-küf, toplam koliform analizi için 25 g tartılarak 225 ml steril maximum recovery diluent (MRD) çözeltisi ile homojen karıştırılmıştır. Daha sonra bu karışımdan yine 9 ml MRD çözeltisi ile  $10^7$  konsantrasyona kadar dilüsyonlar hazırlanmış ve uygun besiyerleri üzerine bu dilüsyonlardan ekimler yapılmıştır.

**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 35°C' de 48 saat süreyle inkübasyona bırakılmıştır (Maturin ve Peeler, 2001).

**Toplam psikrotrofik bakteri:** Plate Count Agar (PCA) sterilize edildikten sonra petrilere dökülmüş ve petrilere katıldıktan sonra uygun dilüsyonlardan ekim yapılarak 10°C' de 7-10 gün süreyle inkübasyona bırakılmıştır (Harrigan, 1998).

**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 (Tournas vd., 2001).

**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 (Feng vd., 2002).

**Salmonella varlyok testi:** 25 g numune 225 ml Buffered Peptone Water (BPW) içinde 37°C'de 24 saat ön zenginleştirmeye tabi tutulduktan sonra, buradan 1 ml Rappaport Vassiliadis (RV) ve 10 mL Selenite Cytine (SC) buyyona aktarılarak, sırasıyla 41°C ve 37°C'de 24 saat süreyle selektif zenginleştirmeye alınmıştır. Selektif besiyerlerine (Brillant gren Phenol Red Agar, Xylose Lysine Desoxycholate Agar, XLD ve XLT4 Agar) kolonilerden ekim yapılmış, inkübasyon süresini (35 °C'de 20–24 h) takiben gelişen koloniler değerlendirilmiştir (AOAC, 1995). Şüpheli



görülen koloniler daha sonra Triple Sugar Iron Agar' a ekim yapılarak doğrulama yapılmıştır. Son aşama olarak Singlepath Salmonella kitleri kullanılarak son doğrulamaları yapılmıştır.

**Escherichia coli sayımı:** AOAC 'ye göre örnek hazırlanıp dilüsyonları yapıldıktan sonra, ardışık 3 dilüsyondan 3'er adet LST (Lauril Sülfat Triptoz) besiyerine 1 'er mL ekim yapılmış, 35°C'de 48 saat süren inkübasyondan sonra pozitif sonuç veren tüpler muhtemel koliform grup olarak değerlendirilmiştir. İkinci aşamada pozitif sonuç veren bu tüplerden BGGB (Brilliant Green Bile Broth) ve EC (*E. coli*) Broth besiyerlerine ekim yapıp, 35°C'de 48 saat inkübe edildikten sonra, BGGB tüplerinden alınan pozitif sonuçlar koliform grup olarak doğrulanıp, 44,5°C'de 48 saate kadar inkübe edilen EC Broth tüplerinden alınan pozitif sonuçlar ise fekal koliform olarak kabul edilip ve sayılmıştır. Son olarak EC Broth besiyerinde gaz pozitif tüplerden Eosin Metilen Blue Agar (EMB) besiyerine sürme yapılarak *E. coli* doğrulanmıştır (AOAC, 1995).

**Mikroorganizmaların inokülasyonu:** Bu araştırma kapsamında kullanılmış olan domates ve marul örneklerine *E. coli* O157:H7, *S. aureus* ve *L. monocytogenes* bakterileri 10<sup>6</sup> kob/g konsantrasyonda ilave edilmiştir. Bu amaçla stok bakteri kültürleri derin dondurucudan çıkartılarak Nutrient Broth'ta aktiveleştirilmiştir. Aktifleşen bakteri kültürleri belirtilen konsantrasyonlarda örneklere inoküle edilmiştir. İnokülasyon için 2 L'lik beherlere 500'er mL patojen ilave edilmiş ve sebzeler buraya daldırılıp 2 dakika inoküle edildikten sonra steril süzgeçlerle çıkartılıp steril kavanozlara alınarak kuruyuncaya kadar beklenmiştir. İşlemler uygulandıktan sonra aşağıda belirtilen bakteri sayımları yapılmıştır.

**E. coli O157:H7 sayımı:** *E. coli* O157:H7 sayımı için ise 25 g örnek 225 ml steril MRD ile homojen karıştırılmış ve yine 9 ml steril MRD ile uygun dilüsyonlar hazırlanmıştır. Daha önceden hazırlanmış SMAC Agar üzerine yayma usulü ekim yapılarak 37 °C 'da 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübyasyon sonunda renksiz veya dumanımsı gri renkte 1-2 mm çapında koloniler tipik *E. coli* O157:H7 olarak sayımı yapılmıştır (Tornuk ve ark 2011).

**S. aureus sayımı:** Örneklerde uygun dilüsyonlar hazırlandıktan sonra daha önceden hazırlanmış Baird–Parker agar (BPA - Oxoid CM0275) besiyerine yayma yöntemi ile ekim sonucu 35°C'de 24-48 saat sonra gelişen siyah ve parlak renkli koloniler değerlendirilmiştir (AOAC, 1995).

**L. monocytogenes sayımı:** Örneklerde uygun dilüsyonlar hazırlandıktan sonra daha önceden hazırlanmış Listeria Oxford Selective Agar'a (LSA) ekim yapılmış ve petriler 37 °C'de 3 gün süreyle inkübasyona bırakılmıştır. İnkübyasyon sonunda siyah zonlu merkezi çukur kolonilerin sayımı yapılmıştır (Öğüt ve ark., 2009).

### 3.2.7. Kalıntı oksidant analizleri

**Serbest klor analizleri:** 10 mL işlem sıvısıyla 1 adet Orion AC4P71 kiti karıştırılmış ve oluşan pembe renkli çözelti Orion AQ3070 Klometre (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 1.10011.0001 test şerit kiti kullanılarak kolorimetrik olarak belirlenmiştir. Test şeridi oda sıcaklığında işlem sıvısına 1 saniye daldırılarak emdirilmiş ve 15 saniye sonra resmi çekilerek renk skalasına kıyaslanarak kolorimetrik olarak belirlenmiştir. Testin hassasiyeti 0,5-25 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> aralığında olup gerektiğinde saf suyla seyreltilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.8. Sistemin enerji sarfiyatının belirlenmesi

Sistemlerinin çalışması için gereken gücün (W) tespit edilebilmesi için güçmetre göstergesi okunarak kaydedilmiştir.

### 3.2.9. Pestisit çalışmaları

**Model sistemin oluşturulması:** Projede araştırılması planlanan pestisitlerin domates ve marul örneklerinde proje konusu işlemlerle kalıntılarının değişimi izlenmeden önce işlemlerin uygulanacağı tuzlu su çözeltisinde pestisitlerin iki farklı konsantrasyonda çözeltileri hazırlanarak işlemler uygulanmış ve kalıntı değişimleri incelenmiştir. Tuzlu su çözeltisinin konsantrasyondağeri için projenin 2. aşaması olan "Kontamine edilmiş patojen mikroorganizmaların inaktivasyonu üzerine elektrosonikasyon işleminin etkisi" aşamasında optimize edilen konsantrasyon değeri (ultrasaf su içinde %1.5) kullanılmıştır. Belirlenen konsantrasyonda tuzlu su çözeltisi kullanılarak kalıntı miktarları değişimleri araştırılacak pestisitlerin 0.1 ve 2 mg/L'lik çözeltileri elde edilmiştir. Elde edilen çözeltiler Tablo 3.4'te belirtilen deneme planı çerçevesinde işlemlere tabi tutulmuş ve ekstrakte edilerek kalıntı miktarlarındaki değişimleri incelenmiştir.

**Pestisit içeren sebzelerin elde edilmesi:** Bitkiler üzerindeki pestisit kalıntı düzeyi, tarla veya sera ortamında tarım ilacı uygulaması sırasında ve sonrasında pek çok faktörden etkilenebilmektedir. Bu etkiler arasında, uygulanan tarım ilacının bitkinin bulunduğu konum itibarı ile homojen bir şekilde nüfuz edememesi, sıcaklık ve nem gibi ortam şartlarının tam olarak kontrol edilememesi, muhafazalı bir ortam oluşturulmaya çalışılsa da tarla veya sera ortamında kullanılan diğer kimyasallardan etkileşimin meydana gelmesi ve ayrıca örnekleme ve taşıma sırasında meydana gelebilecek olumsuzluklar sıralanabilir. Literatürde kalıntı miktarını azaltıcı uygulamaların değerlendirilmesi çalışmalarında bu türlü faktörlerin etkilerini en aza

indirebilmek ve çalışmayı kontrol edilebilir şartlarda gerçekleştirebilmek amaçları ile pilot sistemlerde çalışma geniş bir şekilde yer bulmaktadır (Hwang vd 2002, Chavarri vd 2005, Matthies vd 2008). Bu gerekçelere ilaveten, kalıntı düzeyi araştırılan pestisitlerin sistemik olmayan bir yapıda olmasından dolayı kolay bir şekilde modellenebilmesi nedeni ile pestisit içeren sebzelerin elde edilmesinde, laboratuvar ortamında uygun şartların oluşturulduğu pilot bir sistem kullanılmıştır. Bu amaçla araştırma konusu pestisitlerin ticari preparatları prospektüslerinde belirtildiği şekliyle 10 litrelik bir tank içinde ultra saf su kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan homojen çözelti içerisine sebze örnekleri daldırılarak bir saat bekletilmiş ve süre sonunda tanktan alınarak bir filtre kağıdı üzerinde oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Tank içinde pestisit çözeltisinin homojen bir şekilde sebzeye nüfuz edebilmesini sağlamak için sebzelerin tamamen çözelti içine daldırılmasına ve kurutma sırasına birbirleri ile temas etmemesine özen gösterilmiştir.

**Pestisit kalıntılarını azaltıcı uygulama denemeleri:** Hazırlanan model sistem (tuzlu su) ve sebze örnekleri Tablo 3.4’de belirtilen deneme planına göre işlemlere tabii tutularak kalıntı analizlerine alınmışlardır. Denemelerde kullanılan düşük şiddet elektrik akımı ve elektrosonikasyon işlemlerinde elektriği iletmesi için işlem sıvısı olarak % 1.5’lik tuzlu su çözeltisinin kullanılmıştır. Bu çalışmada ultrasonik su banyosu (40kHz) ve ultrasonik işlemciden (24kHz) elde edilecek 2 farklı ultrases kaynağı ile 3 farklı akım şiddetine (0.2; 0.8 ve 1.4 A) sahip elektrik akımı uygulanmıştır.

Tablo 3.4. Pestisit kalıntılarını azaltıcı uygulama denemeleri

Uygulama No	Açıklama	Süre (dakika)					
		1	2	4	6	8	10
1	Kontrol				A*		
2	Elektrik akımı (0,2 A)	A	A	A	A	A	A
3	Elektrik akımı (0,8 A)	A	A	A	A	A	A
4	Elektrik akımı (1,4 A)	A	A	A	A	A	A
5	Ultrasonik Su Banyosu	A	A	A	A	A	A
6	Ultrasonik Su Banyosu + Elektrik akımı (0,2 A)	A	A	A	A	A	A
7	Ultrasonik Su Banyosu + Elektrik akımı (0,8 A)	A	A	A	A	A	A
8	Ultrasonik Su Banyosu + Elektrik akımı (1,4 A)	A	A	A	A	A	A
9	Ultrasonik İşlemci		A	A	A	A	A
10	Ultrasonik İşlemci + Elektrik akımı (0,2 A)		A	A	A	A	A
11	Ultrasonik İşlemci + Elektrik akımı (0,8 A)		A	A	A	A	A
12	Ultrasonik İşlemci + Elektrik akımı (1,4 A)		A	A	A	A	A

A\* : Analiz

### Pestisit kalıntılarının ekstraksiyonu

Domates, marul ve tuzlu su örneklerindeki araştırılan pestisitlerin kalıntıları QUECHER's yöntemi kullanılarak ekstrakte edilmiştir. Yöntem aşağıda belirtilen aşamaları içermektedir:

- i. Yaklaşık 250 gram civarında domates veya marul örneği blender kullanılarak homojenize edilmiş ve homojen hale getirilen örnekten  $15 \pm 0.1$  g hassasiyette içinde 50 ml'lik santrifüj tüpüne alınmıştır. Tuzlu su için yapılan analizlerde ise  $10 \pm 0.1$  ml örnek alınmıştır.
- ii. Santrifüj tüpüne 5 mg/L konsantrasyonundaki internal standart [Diethyl-ethyl, (DEE)] çözeltisinden 300 µl ilave edilerek 1 dakika vortekslenmiştir.
- iii. 15 ml ekstraksiyon çözeltisi (asetonitril/asetik asit, 99/1, v/v) ilave edilmiş ve kapağı kapatılarak elle 1 dakika çalkalanmıştır.
- iv. Santrifüj tüpünün kapağı açılarak içine 4 g MgSO<sub>4</sub>, 1 g NaCl, 1 g Na Citrate ve 0.5 g Disodium citrate sesquihydrate içeren Quchers-1 paketi ilave edilmiş ve kapağı kapatılarak 3 dakika boyunca kuvvetlice çalkalanmıştır.
- v. 4000 devir/dakika hızda 5 dakika santrifüj edilmiştir.
- vi. Santrifüj işleminden sonra üstteki ACN fazından otomatik pipetle 4,5 ml alınarak içinde 150 mg PSA ve 900 mg MgSO<sub>4</sub> bulunan 15 ml'lik ekstraksiyon tüpüne konmuştur.
- vii. Ekstraksiyon tüpünün kapağı kapatılarak 1 dakika vortekslenmiş ve daha sonra 4000 devir/dakikada 5 dakika santrifüj edilmiştir..
- viii. Santrifüj sonrası elde edilen çözeltiliye %20 oranında toluen ilave edilerek Tablo 3.5'te verilen GC MS/MS ve ayrıca Tablo 3.6'da verilen GC ECD sistemlerine enjekte edilmiştir:

Tablo 3.5. Enstrümental (GC MS/MS) şartlar

Gaz Kromatografi cihazı	Thermo Scientific ISQ GC-MS (Thermo Fisher Scientific Inc. Waltham, Massachusetts, USA)
Dedektör	MS / MS
Kolon	TR-5MS (30 m × 0.25 mm × 0.25 µm)
Enjeksiyon tipi	Otosampler / Pulsed Splitless
Enjeksiyon bloğu sıcaklığı.	280 °C
Dedektör sıcaklığı	150 °C
İyon kaynağı sıcaklığı	230 °C
Fırın sıcaklığı	50 °C'de 2,2 dakika 35 °C artışla 270 °C 270 °C'de 3 dakika
Taşıyıcı gaz	Helyum
Taşıyıcı gaz akışı	1 ml/dk, sabit akış
Tanımlama	SIM (Selective Ion Monitoring)
Spektral veritabanı	NIST (National Institute of Standards and Technology)
Enjeksiyon hacmi	1 µl

Tablo 3.6. Enstrümental (GC ECD) şartlar

Gaz Kromatografi cihazı	GC-2010 Plus GC FID, ECD (Shimadzu Corporation, Kyoto, Japonya)
Dedektör	ECD
Kolon	TRB-5MS (30 m × 0.25 mm × 0.25 µm)
Enjeksiyon tipi	Otosampler / Pulsed Splitless
Enjeksiyon bloğu sıcaklığı.	240 °C
Dedektör sıcaklığı	300 °C
Fırın sıcaklığı	70 °C'de 1 dakika 20 °C artışla 265 °C 265 °C'de 20 dakika
Kolon gaz akışı	Azot/Hava
Taşıyıcı toplam gaz akışı	Toplam akış : 4 ml/dk Kolon akışı : 1 ml/dk, sabit akış
Enjeksiyon hacmi	2 µl

**Analitik performans testleri:** Örneklerdeki pestisit kalıntı düzeylerinin belirlenmesinden önce yöntem, aşağıda açıklanan şekilde metot analitik performans testleri ile optimize edilmiştir. Bu amaçla aşağıda belirtilen doğrusalılık, geri kazanım, tespit sınırı ve ölçüm sınırı çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

**Doğrusallık:** Metodun analiz edilen maddenin konsantrasyonu ile orantılı sonuçlar elde etme özelliği doğrusalılık olarak tanımlanmaktadır. Doğrusal aralık ise kalibrasyon işleminin lineer bir doğru olarak elde edilebildiği konsantrasyon değerlerindeki aralıktır. Doğrusal aralık kalibrasyon eğrisi ile belirlenmiştir.

**Geri kazanım:** Geri kazanım çalışması metodun gerçekliğinin en önemli göstergelerinden biridir. Çalışma, matriks içinden analitin ekstraksiyonu ile elde edilen miktarın, analitin saf çözeltisine göre % olarak ne kadar geri kazanıldığına analiz edilmesi olarak tanımlanmaktadır. % geri kazanım çalışması aşağıda belirtilen formül aracılığı ile tespit edilmiştir.

$$\% \text{ Geri kazanım} = (\text{Tespit edilen miktar} / \text{İlave edilen miktar}) * 100$$

Yapılan çalışmada; araştırılan madde içermediği ön denemelerle belirlenen domates, marul ve tuzlu su örneklerine belirli düzeyde pestisit standart çözeltisinden ilave edilmiştir. Araştırılan madde için örneğe uygulanan analitik işlem basamakları uygulanmış ve önceden oluşturulan kalibrasyon eğrisine göre cihazda analitik veriler elde edilmiştir. Örneğe uygulanan

konsantrasyon düzeyi ile cihazda tespit edilen düzey karşılaştırılarak ilave edilen madde ve konsantrasyonu düzeyinde % geri kazanım değeri tespit edilmiştir.

**Tespit sınırı ve ölçüm sınırı:** Tespit sınırı; örnekte ölçülebilen fakat kesin olarak miktarı belirlenemeyen en küçük miktardır. Ölçüm sınırı ise; kabul edilebilir doğrulukta ve tekrarlanabilirlikte ölçülebilen en küçük konsantrasyondur. Yaklaşık olarak beklenen LOD değerinin üç katı konsantrasyondaki standardın kromatografik analizi sonucu ortaya çıkan sinyal değerinden miktar hesaplaması yapılmaktadır. 10 kez tekrar edilen analizden elde edilen standart sapma değerinin 3 katı alınarak LOD değeri, 10 katı alınarak LOQ değeri belirlenmektedir. Tespit ve ölçüm sınır değerlerinin belirlenmesi çalışmasında, pestisitlerin en düşük kalibre edilen seviyelerinde standart cihaza 10 kez enjeksiyonu ile aşağıda belirtilen eşitlikler kullanılarak tespit ve ölçüm sınır değerleri belirlenmiştir.

LOD = En düşük kalibre edilen standart düzeyindeki analiz sonuçlarının standart sapması x 3  
LOQ = En düşük kalibre edilen standart düzeyindeki analiz sonuçlarının standart sapması x 10

**Tekrarlanabilirlik:** Tekrarlanabilirlik; bir metodun aynı laboratuvarında, aynı cihazla, aynı kişi tarafından kısa zaman aralığında yapılan ölçüm sonuçlarının birbirine yakınlığının ölçüsüdür. Repeatability olarak da literatürde yer alan bu çalışmada tekrarlanabilirlik değeri; aynı gün içerisinde her bir konsantrasyon için yapılan analizlerden elde edilen sonuçların bağıl standart sapmaları olarak (%RSD) ifade edilmiştir.

### 3.2.10. Verilerin istatistiksel analizi

Bu çalışmada farklı faktörler ultrases (0, 24kHz ve 40kHz), Elektrik akımı (0, 0.2A, 0.8A ve 1.4A), süre (0, 1, 2, 4, 6, 8 ve 10)'ye ilaveten kontrol denemelerinden oluşmaktadır. Elde edilen verilerin analiz edilmesinde ise SPSS istatistik programı kullanılarak Duncan varyans analizi yapılmıştır. Çalışmalar 2 tekerrürlü ve 3 paralel olarak yapılmıştır.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Ön denemelerde %0,1'den %2'ye kadar farklı tuz konsantrasyonlarında çözeltiler hazırlanmış ve 10mA'den 2000mA'e kadar elektrik akımı uygulanmıştır. Aynı zamanda elektrik akımı 5V'dan 45V'a kadar uygulanarak çalışma aralığı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu uygulamalar sırasında bazı işlem şartlarında aşırı sıcaklık artışı olmasından dolayı en uygun işlem çalışma aralığında bazı değişikliklere gidilmiştir. Projede bazı referans değerler verilmekle birlikte ön denemeler sonrasında işlem şartlarının belirleneceği ifade edilmektedir. Bu nedenler ön denemeler sonrasında tuzlu su içeriği %1,5 olarak belirlenmiş olup, elektrik akımının 0,2A, 0,8A ve 1,4 mA olarak uygulanmasına karar verilmiş ve çalışmalar bu şekilde devam ettirilmiştir.

### 4.1. Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin doğal mikrobiyota ve biyokimyasal/fizikokimyasal/ tekstürel özellikleri ve üzerine etkisi (I. İş paketi)

Bu çalışmanın amacı piyasadaki temin edilen domates ve marul örneklerine elektrosonikasyon işlemleri uygulanması durumunda sebzelerindeki doğal mikroorganizmaların ne düzeyde dekontamine edeceğinin ve bu dekontaminasyon sürecinde ürünün biyokimyasal/fizikokimyasal/ tekstürel özellikleri üzerine olan etkilerin belirlenmesini kapsamakta olup projede I. iş paketi olarak tanımlanmıştır.

#### 4.1.1. Doğal mikrobiyota üzerine etkisi

Domateslerde bulunan toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB), toplam maya küf ve toplam koliform bakterilerin elektrik akımı ve 2 farklı ultrases kaynağı kullanılarak kombine edilen elektrosonikasyon yönteminin etkisi sırasıyla Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te sunulmuştur. Aynı işlemlerin marullardaki mikrobiyota üzerine etkisi ise Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'da sunulmuştur. Temin edilen domates ve marul numunelerinde *E.coli* ve *Salmonella* var/yok testi yapılmış olup bu mikroorganizmalara rastlanmamıştır.

Herhangi bir işleminin uygulanmadığı domates numunelerinde toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB), toplam maya küf ve toplam koliform bakterileri içerikleri sırasıyla  $6,35 \pm 0,49$ ;  $6,37 \pm 0,30$  ve  $5,54 \pm 0,19$  olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.1-a'dan da anlaşılacağı üzere 1.4A elektrik akımı uygulamasının TMAB'leri 6. dakikadan itibaren başarılı bir şekilde inaktive edildiği ( $< 2 \log$  kob/g) tespit edilmiştir. En yüksek elektrik akımında elde edilen bu inaktivasyonun, elektrik akımı ve ultrasesin kombinasyonu olan elektrosonikasyon işlemlerinde elde edilemediği görülmektedir. Aynı şekilde 0,2A ve 0,8A elektrik akımının uygulandığı işlemlerde de TMAB'lerin tamamı inaktive edilememiştir.

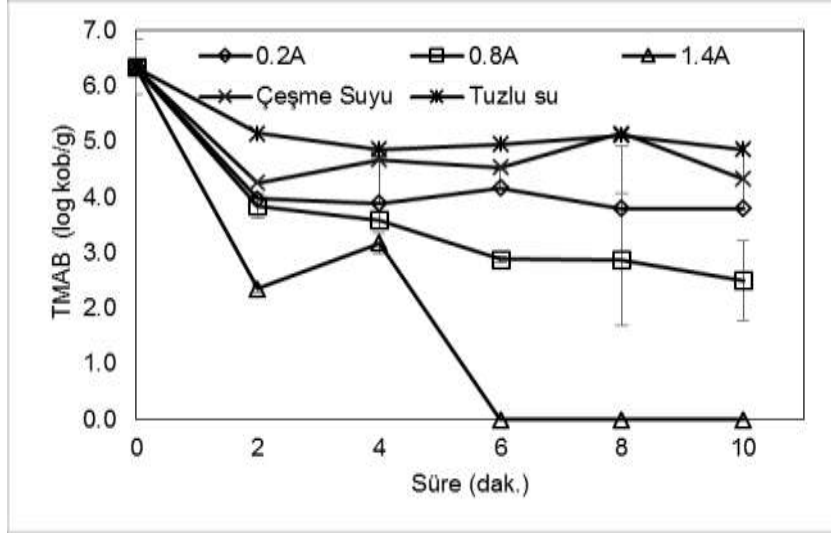
Domateslerdeki toplam maya ve küflerin ve koliform bakterilerinin dekontamine edilmesinde ise elektrosonikasyon uygulamaları ile sadece elektrik akımı uygulamasına göre daha iyi sonuçlar elde edildiği Şekil 4.2 ve 4.3'ten anlaşılmaktadır. Bu şekillerden de anlaşılacağı üzere elektrik akımının artması mikroorganizma dekontaminasyonunda en önemli parametrelerin başında gelmektedir.

Çeşme suyuna ve tuzlu suya bırakılan domateslerde TMAB, TMK ve TKB sayılarında sırasıyla 1,5; 1,2 ve 2,0 log kob/g civarında mikroorganizma azalması tespit edilmiştir. Dolayısıyla domates numunelerine yapılan işlemlerden bir kısmında meydana gelen dekontaminasyonun işlemden dolayı değil de mikroorganizmaların işlem sıvısına difüzyonundan kaynaklanmış olabileceği görülmektedir.

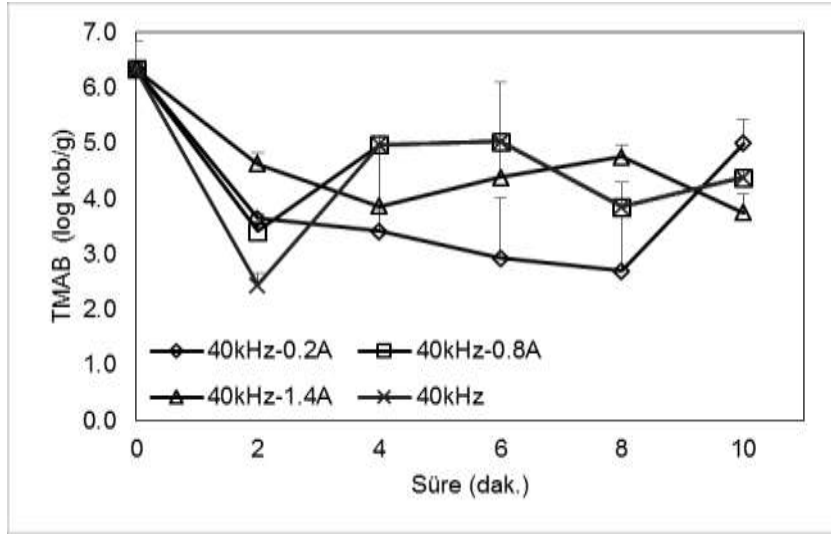
Sadece ultrasonik banyo ile yapılan işlemlerde domateslere 40kHz frekansta ultrases dalgaları gönderilmiş olup, bu işlemler sonucunda TMAB'ler 4.39 log kob/g 'e kadar, toplam maya ve küf yükü 2.62 log kob/g 'e kadar, toplam koliform bakterileri ise 3,42 log kob/g seviyesine kadar dekontamine edilmiştir. Sadece ultrasonik işlemci kullanılarak 24kHz frekansta domateslere uygulanan ultrases uygulamasında ise TMAB'ler 1,80 log kob/g 'e kadar, toplam maya ve küf yükü 3,05 log kob/g 'e kadar, toplam koliform bakterileri ise < 2 log kob/g seviyesine kadar dekontamine edilmiştir (Şekil 4.1-4.3). Ultrasonik işlemlerin tek başına uygulanması durumunda toplam maya-küf içeriği ve toplam koliform bakteriler üzerine TMAB'lerden daha etkili olmasından dolayı elektrosonikasyon işlemlerinde TMAB'lere göre daha başarılı sonuçların alınmasıyla ilgili olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca IV. iş paketi çerçevesinde sadece elektrik akımı uygulanan domateslerde hiçbir mikroorganizma grubu tamamen inaktif edilemediği vedepolam sürecinde bu mikroorganizmaların hızla çoğaldıkları tespit edilmiş olup, bu durum sebzelerdeki mikro düzeyde meydana gelebilecek hasarlardan olduğu düşünülmektedir.

Domateslerdeki toplam maya ve küf içeriğinin ultrasonik su banyosunun kullanıldığı elektrosonikasyon işleminde 4. dakikadan itibaren inaktif edildiği görülmektedir (< 2 log kob/g). Bununla birlikte ultrasonik işlemcinin kullanıldığı elektrosonikasyon işleminde ise bazı tekerrürlerde 4. dakikadan itibaren maya ve küf tespit edilemezken (< 2 log kob/g) bazılarında ise 2 log'un üzerinde mikroorganizma tespit edilmiştir. Bu nedenle böyle durumlarda bu işlemlerin sonucu 2 log olarak grafikte sunulmuştur. Ayrıca IV. iş paketinde depolama yapolamanın yapılması için sadece elektrik akımı uygulanarak domateslerde dekontaminasyon yapılmış ve 2 log'un üzerinde mikroorganizma tespit edilmiştir (Şekil 4.26). Dolayısıyla tamamen bir inaktivasyonun olmadığı da ortaya çıkmıştır. Aynı şekilde toplam koliform bakterilerde de bazı tekerrürlerde mikrobiyal sayım yapılamazken (< 2 log kob/g), bazılarının petrilere gelişim gözlemlenmiş olup(> 2 log kob/g) bu durum grafikte 2 log olarak ifade edilmiştir.

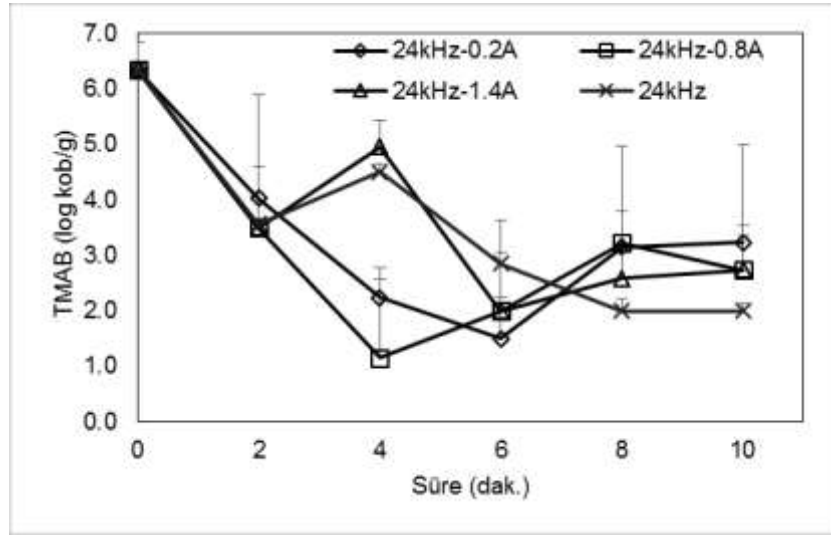




(a)

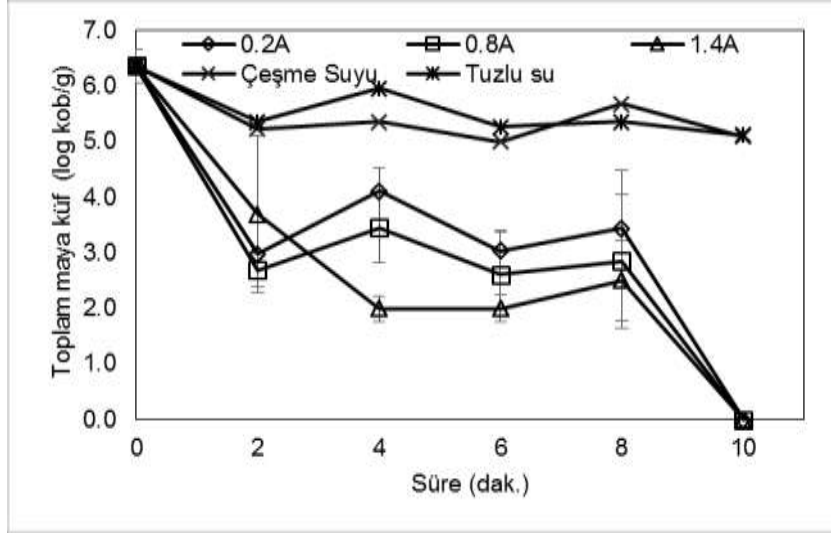


(b)

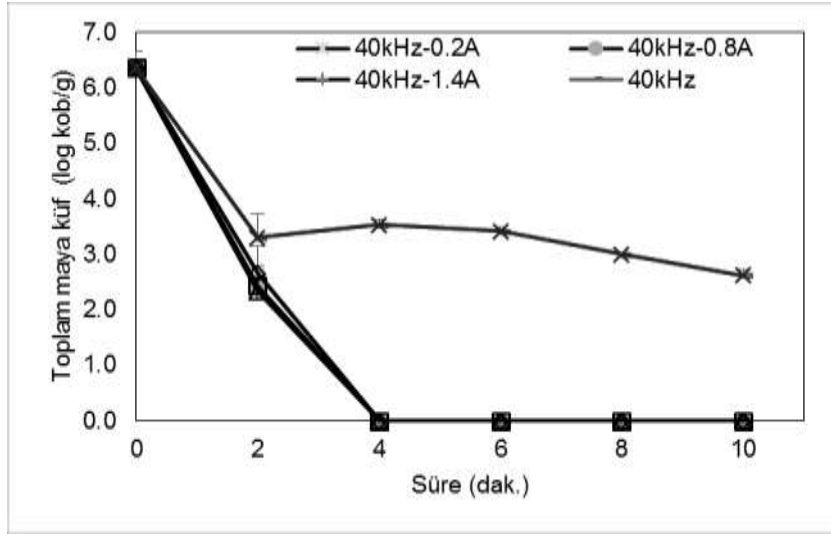


(c)

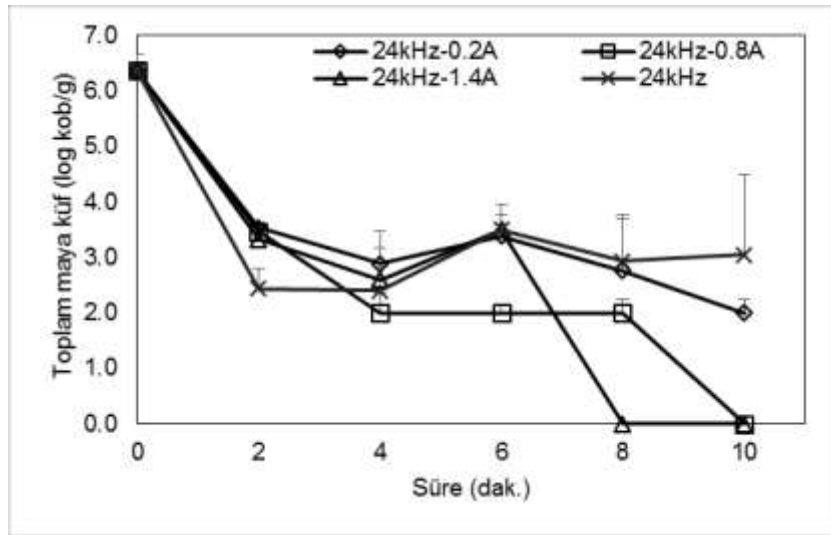
Şekil 4.1. Domateslerdeki toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) üzerine elektrik akımı ve elektrosonikasyonun etkisi



(a)

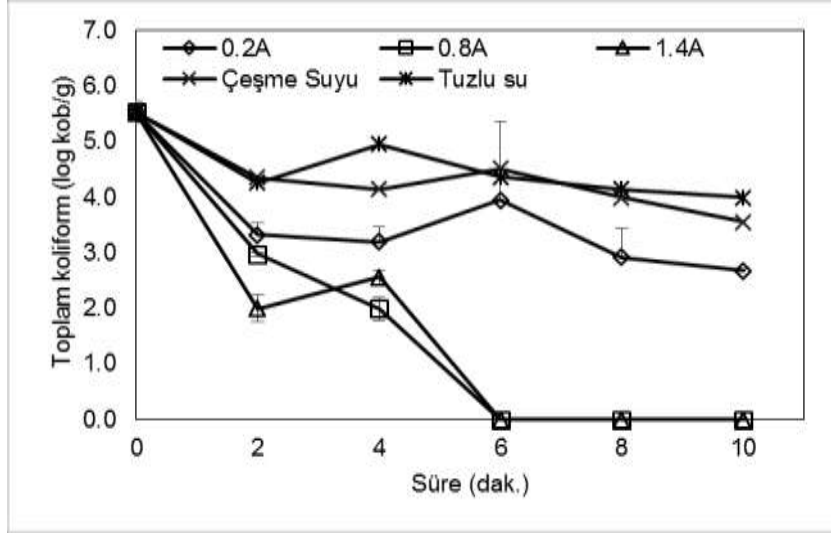


(b)

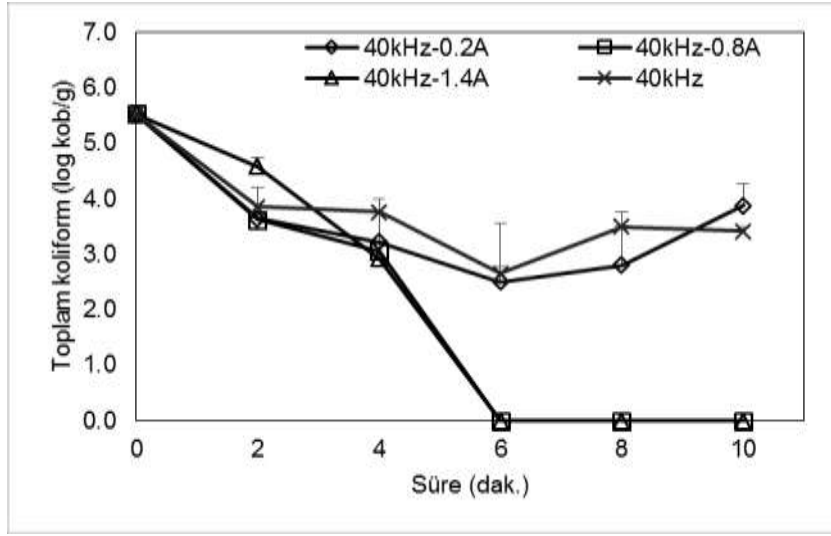


(c)

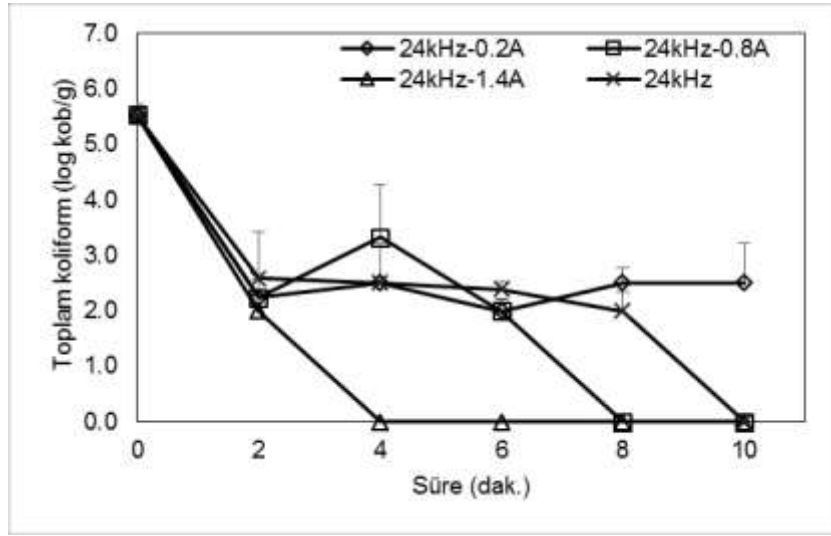
Şekil 4.2. Domateslerdeki toplam maya küf üzerine elektrik akımı ve elektrosonikasyonun etkisi



(a)



(b)



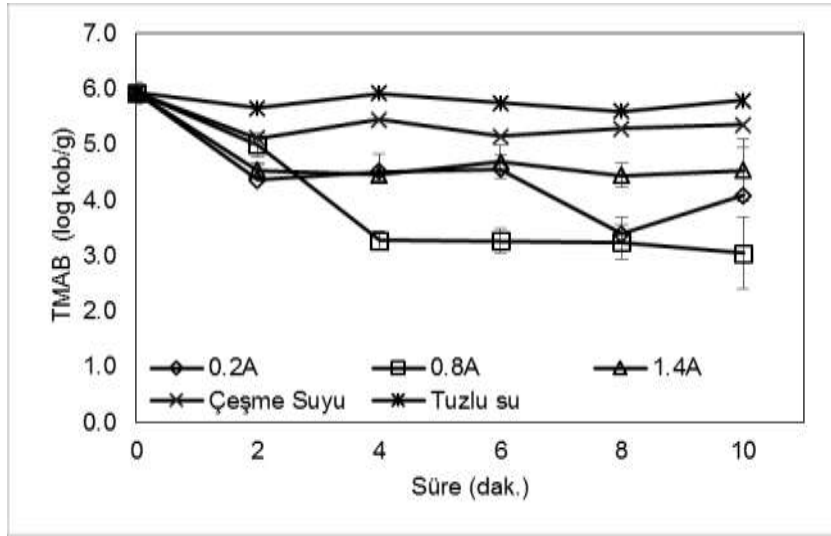
(c)

Şekil 4.3. Domateslerdeki toplam koliform bakteriler üzerine elektrik akımı ve elektrosonikasyonun etkisi

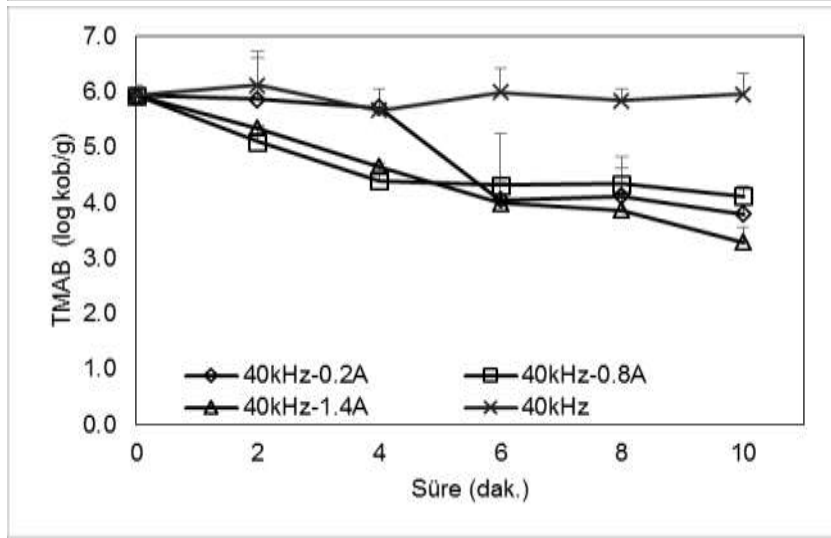
İşlem uygulanmamış taze marullarda tespit edilen toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB), toplam maya küf ve toplam koliform bakterileri içerikleri sırasıyla  $5,94\pm 0,20$ ;  $4,82\pm 0,33$  ve  $5,65\pm 0,27$  olarak tespit edilmiştir. Taze marullarda bulunan toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB), toplam maya küf ve toplam koliform bakterilerin elektrik akımı ve elektrosonikasyon yönteminin etkisi sırasıyla Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'da sunulmuştur. Temin edilen marul numunelerinde *E.coli* ve *Salmonella* var/yok testi yapılmış olup bu mikroorganizmalara rastlanmamıştır.

Elektrik akımı uygulanmış marul örneklerinde TMAB sayısı  $3,05\pm 0,65$  log kob/g seviyesine kadar inerken, 40kHz frekansta çalışan USB ile kombine edilen elektrosonikasyon I işlemiyle  $3,30\pm 0,26$  log kob/g; 24kHz frekansta çalışan USİ ile kombine edilen elektrosonikasyon II işlemiyle 3,59 log kob/g seviyesine kadar düşürülebilmektedir. Toplam maya küf içeriği ise elektrik akımıyla tamamen inaktif edilebilirken ( $< 2$  log kob/g), elektrosonikasyon işlemlerinde bazı tekerrürlerde tamamen inaktif edilebilirken ( $< 2$  log kob/g) bazılarında tamamen inaktif edilememiştir. Marullarda TMAB'nin yanı sıra TMK dekontaminasyonunda da sadece elektrik akımı uygulamasıyla daha iyi sonuç alınmıştır. Domateslere uygulanan işlemlerde olduğu gibi marul örneklerinde de elektrik akımının artması mikroorganizma dekontaminasyonunda en önemli parametrelerin başında gelmektedir.

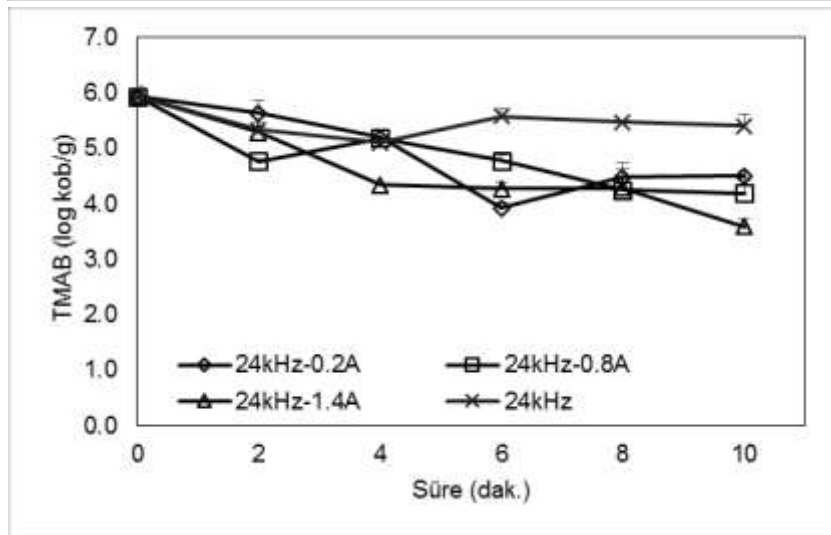
Çeşme suyuna ve tuzlu suya bırakılan marullarda 0,6 log kob/g 'a kadar mikroorganizma azalması tespit edilmesine karşın sadece ultrasonik su banyosunda ultrasese maruz kalan mikroorganizmalarda TMAB sayılarında herhangi bir değişim olmazken toplam maya küf ve toplam koliform bakterilerinde sırasıyla 1,2 ve 1,3 log kob/g azalması görülmüştür. Bu sonuçlar da göstermektedir ki sadece suyun içerisine bırakan marullarda bile domateslerdeki mikroorganizmaların çeşme suyuna ve tuzlu suya geçmesi söz konusu olurken ultrasonik su banyosunda böyle bir sonuç elde edilememiştir. Bununla birlikte sadece ultrasonik işlemci (24kHz) ile yapılan işlemlerde TMAB, TMK ve TKB sayılarında sırasıyla 0,5; 1,3 ve 1,0 log kob/g azalma kaydedilmiştir.



(a)

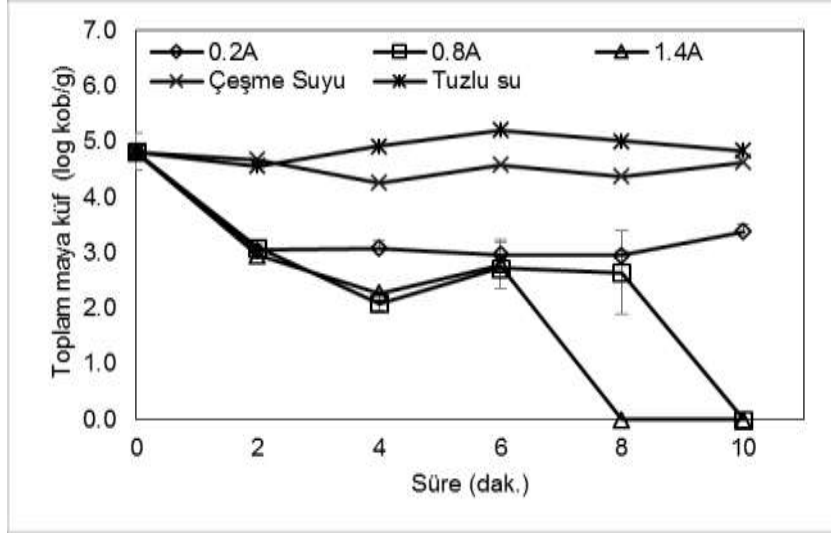


(b)

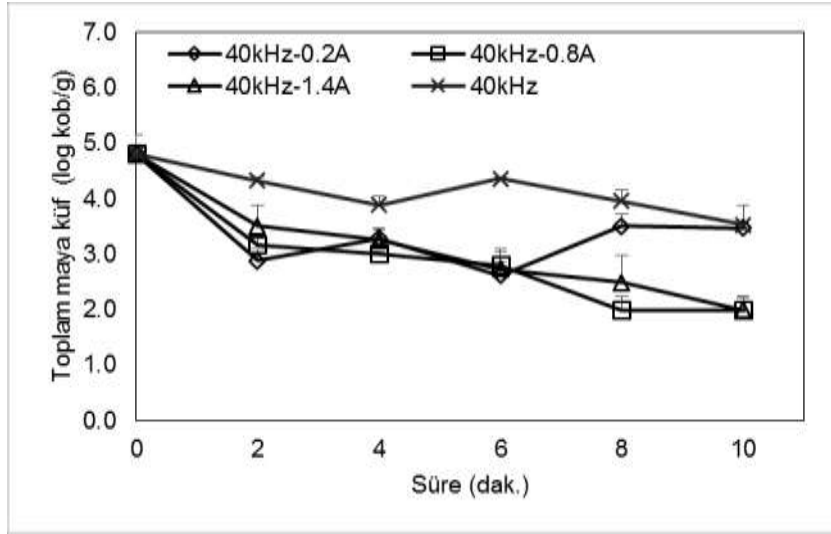


(c)

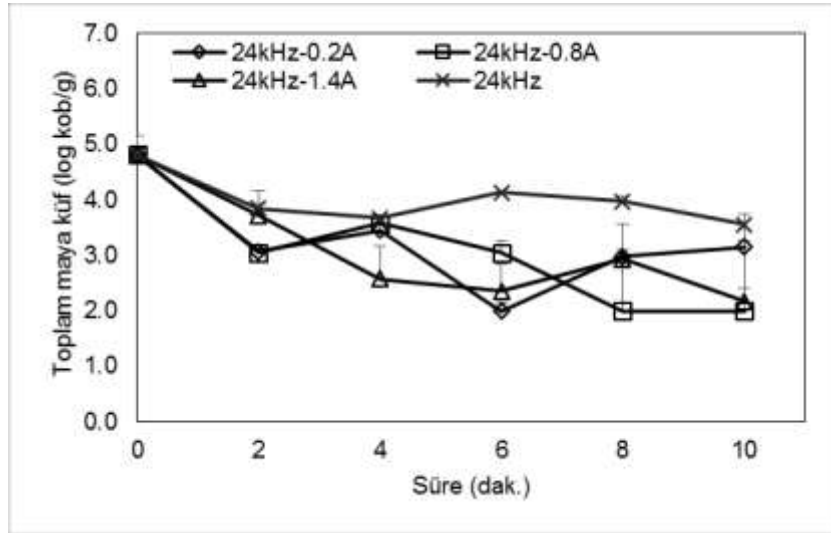
Şekil 4.4. Marullardaki toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) üzerine elektrik akımı ve elektrosonikasyonun etkisi



(a)

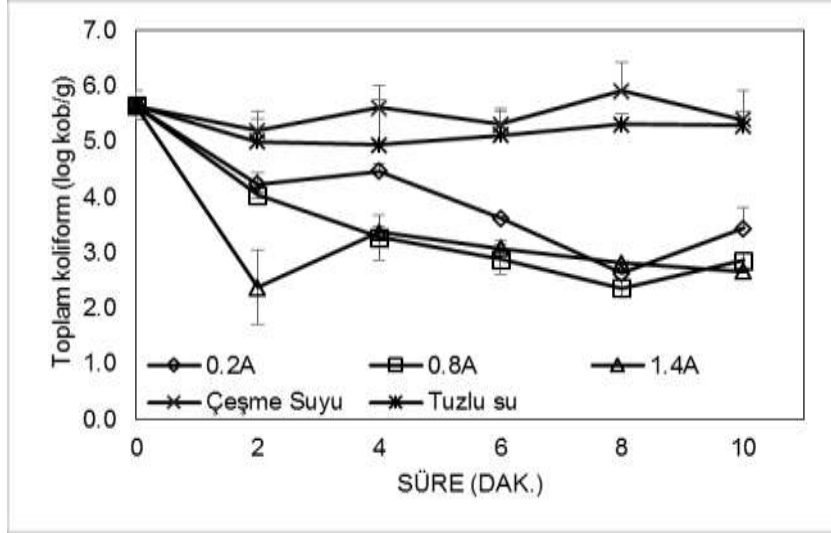


(b)

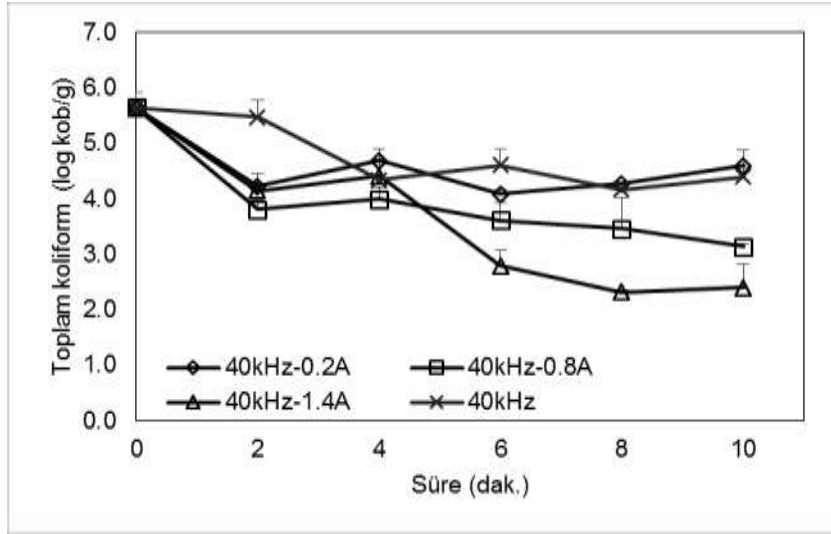


(c)

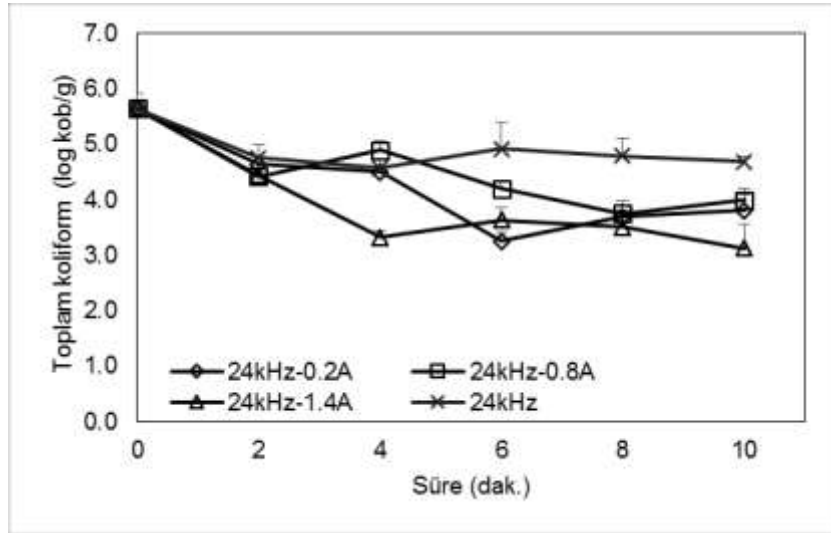
Şekil 4.5. Marullardaki toplam maya küf üzerine elektrik akımı ve elektrosonikasyonun etkisi



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.6. Marullardaki toplam koliform bakteriler üzerine elektrik akımı ve elektrosonikasyonun etkisi

Pinheiro vd. (2015) domateslerin depolama kalitesini artırmak üzere farklı seviyelerde US uyguladığı bir çalışmada ise 3.8 log olan TMAB seviyesini yaklaşık olarak 1 log azaltmayı

başarmışken, toplam maya ve küflerdeki bu dekontaminasyonun yaklaşık 0,5 log düzeyinde kaldığı tespit edilmiştir. Allende vd. (2008) doğranmış havuçlarda yaptığı bir çalışmada TMAB sayısını 6 log'un üzerinde tespit etmiştir. Bu havuçlara 100-1000ppm seviyelerinde asitlendirilmiş klorit (ASC) çözeltisiyle yıkamış ve 100ppm ASC ile 3 log'a yakın TMAB dekontaminasyonu sağlarken 500 ve 1000 ppm ASC ile tamamen dekontamine edilebilmiştir. Çeşme suyu kullanıldığında ise herhangi bir değişim görülmemiştir. Dolayısıyla burada kullanılan dozun çok önemli bir parametre olduğu açıkça ortaya çıkmaktadır. Aynı şekilde Allende et al (2008) kıyılmış havuçlara uyguladığı ASC ile yıkama işleminin toplam maya küf üzerine de benzer bir etki gösterdiği açıkça görülmektedir. 100ppm ASC ile 1 log'un altında bir dekontaminasyon sağlanırken 500 ve 1000 ppm ASC ile yıkanan doğranmış havuçlarda toplam maya küfe rastlanmamıştır. Lee vd. (2002) ise 200ppm sodyum hipoklorit kullanarak TMAB sayısını azaltamadıklarını ifade etmektedir.

Yapılan çalışmanın sonuçlarıyla kıyaslandığında, proje kapsamında elektrosonikasyon işleminin çeşitli serbest klor bileşikleri ve hidrojen peroksit oluşumuna sebep olarak mikroorganizma dekontaminasyonuna sebep olduğu ifade edilebilir. Allende et al (2008) ve Lee vd. (2002) 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 et al (2008) yaptığı çalışmada çok iyi sonuçlar alınsa da burada yıkamanın şeklinin endüstriye aktarılmasında bazı zorluklar oluşacağı için bizim proje çalışmamızda elde edilen sonuçların daha iyi dizaynlar yapılmak suretiyle küçük ölçekli üretim yapan işletme ve lokantalarda işlemde fiziksel zarara uğramayacak sebzeler için kullanılabilmesi ortaya çıkmıştır.

#### **4.1.2. Antioksidan özelliklerine etkisi**

Domates ve marul örneklerinin elektrik akımı ve elektrosonikasyon işlemleri uygulandıktan sonra antioksidan özellikleri üzerine etkisi toplam fenolik madde (Tablo 4.1), toplam flavonoid madde (Tablo 4.2) ve DPPH radikal indirgeme aktivitesi (Tablo 4.3) olarak sunulmuştur.

Domateslerdeki toplam fenolik, toplam flavonoid ve DPPH indirgeme aktivitesi sırasıyla  $414,7 \pm 6,4$  GAE mg/kg;  $121,5 \pm 1,9$  kateşin eşdeğeri mg/kg ve  $\%11,1 \pm 0,2$  olarak tespit edilmiştir. İşlem uygulanmamış marul örneklerinde ise toplam fenolik, toplam flavonoid ve DPPH indirgeme aktivitesi sırasıyla  $112,6 \pm 3,9$  GAE mg/kg;  $32,2 \pm 0,8$  kateşin eşdeğeri mg/kg ve  $\%20,6 \pm 0,9$  olarak tespit edilmiştir. Sadece elektrik akımı uygulanan domates ve marul örneklerinde bazı işlemlerde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlemlenmiştir ( $P < 0,05$ ). Elektrik akımı uygulanan bu materyallerde antioksidan özelliklerinde küçük değişimler gözlenmekle birlikte bu değişimlerin elektrik akımı işlemlerinden ziyade materyal farklılıklarına bağlı olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte elektrosonikasyon işlemlerinde ise kısmen



antioksidan özelliklerinde azalma görülmüştür ( $P<0,05$ ). Sebzelere sadece ultrases uygulamasının da bazen anlamlı seviyede azalmalar görülebilmektedir. Özellikle marullarda antioksidan özelliklerin nispeten daha fazla azaldığı görülmekte olup, marullardaki dokular arası gevşemeye (Şekil 4.8) bağlı olarak içerisindeki suda çözünen antioksidan bileşiklerin uzaklaşmış olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 4.1. Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin toplam fenolik madde üzerine etkisi

Numune / İşlem*	Elektrik akımı		İşlem süresi (dak)**						
	(A)	0	2	4	6	8	10		
Domates	Elektrik akımı	0,2	414,7 <sup>a</sup> ±6,4	386,0 <sup>a</sup> ±6,3	394,9 <sup>a</sup> ±2,6	417,0 <sup>a</sup> ±44,0	373,3 <sup>a</sup> ±5,1	421,1 <sup>a</sup> ±49,0	
		0,8	414,7 <sup>a</sup> ±6,4	389,8 <sup>a</sup> ±18,7	336,2 <sup>a</sup> ±53,8	345,8 <sup>a</sup> ±45,7	393,7 <sup>a</sup> ±40,0	368,4 <sup>a</sup> ±17,1	
		1,4	414,7 <sup>b</sup> ±6,4	332,6 <sup>a</sup> ±16,9	379,5 <sup>ab</sup> ±55,7	345,1 <sup>a</sup> ±15,5	347,4 <sup>a</sup> ±2,3	329,1 <sup>a</sup> ±2,2	
	Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	414,7 <sup>b</sup> ±6,4	391,1 <sup>ab</sup> ±4,2	354,6 <sup>a</sup> ±43,6	376,6 <sup>ab</sup> ±16,4	385,6 <sup>ab</sup> ±5,7	367,0 <sup>ab</sup> ±11,4	
		0,2	414,7 <sup>b</sup> ±6,4	391,1 <sup>ab</sup> ±1,5	315,2 <sup>a</sup> ±78,3	388,4 <sup>ab</sup> ±17,6	379,0 <sup>ab</sup> ±13,5	388,5 <sup>ab</sup> ±11,6	
		0,8	414,7 <sup>b</sup> ±6,4	382,1 <sup>ab</sup> ±2,9	332,3 <sup>a</sup> ±46,4	399,5 <sup>ab</sup> ±40,7	375,7 <sup>ab</sup> ±27,4	377,3 <sup>ab</sup> ±12,2	
		1,4	414,7 <sup>a</sup> ±6,4	359,1 <sup>a</sup> ±11,9	336,9 <sup>a</sup> ±11,5	428,6 <sup>a</sup> ±93,3	403,3 <sup>a</sup> ±66,0	390,2 <sup>a</sup> ±30,9	
		0	414,7 <sup>a</sup> ±6,4	413,8 <sup>a</sup> ±22,4	335,1 <sup>a</sup> ±62,4	335,5 <sup>a</sup> ±56,4	342,8 <sup>a</sup> ±47,9	385,0 <sup>a</sup> ±1,9	
		0,2	414,7 <sup>c</sup> ±6,4	371,0 <sup>abc</sup> ±11,6	362,6 <sup>abc</sup> ±3,1	337,8 <sup>a</sup> ±11,0	395,6 <sup>bc</sup> ±49,5	341,6 <sup>ab</sup> ±2,2	
	Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0,8	414,7 <sup>a</sup> ±6,4	339,2 <sup>a</sup> ±20,5	332,6 <sup>a</sup> ±15,1	406,5 <sup>a</sup> ±86,3	358,6 <sup>a</sup> ±2,9	334,4 <sup>a</sup> ±2,9	
		1,4	414,7 <sup>b</sup> ±6,4	352,7 <sup>ab</sup> ±17,1	319,7 <sup>a</sup> ±43,9	390,3 <sup>ab</sup> ±47,3	370,0 <sup>ab</sup> ±34,7	377,7 <sup>ab</sup> ±24,5	
	Marul	Elektrik akımı	0,2	112,6 <sup>a</sup> ±3,9	112,6 <sup>a</sup> ±10,1	101,6 <sup>a</sup> ±12,0	96,9 <sup>a</sup> ±5,3	99,8 <sup>a</sup> ±9,1	91,6 <sup>a</sup> ±6,7
			0,8	112,6 <sup>b</sup> ±3,9	118,1 <sup>b</sup> ±27,8	97,7 <sup>ab</sup> ±15,2	69,6 <sup>a</sup> ±8,2	101,1 <sup>ab</sup> ±13,7	71,4 <sup>a</sup> ±8,4
			1,4	112,6 <sup>c</sup> ±3,9	54,1 <sup>a</sup> ±16,1	53,5 <sup>a</sup> ±3,9	81,8 <sup>b</sup> ±0,1	58,2 <sup>a</sup> ±9,9	56,5 <sup>a</sup> ±0,2
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)		0	112,6 <sup>a</sup> ±3,9	94,0 <sup>a</sup> ±39,4	120,2 <sup>a</sup> ±7,7	96,4 <sup>a</sup> ±24,4	119,3 <sup>a</sup> ±18,5	143,2 <sup>a</sup> ±2,4	
		0,2	112,6 <sup>b</sup> ±3,9	75,9 <sup>ab</sup> ±9,3	66,5 <sup>ab</sup> ±14,6	74,8 <sup>ab</sup> ±36,2	51,4 <sup>a</sup> ±5,3	47,4 <sup>a</sup> ±20,7	
		0,8	112,6 <sup>b</sup> ±3,9	72,5 <sup>ab</sup> ±1,3	47,3 <sup>a</sup> ±5,2	49,3 <sup>a</sup> ±22,1	45,3 <sup>a</sup> ±20,9	38,3 <sup>a</sup> ±25,7	
		1,4	112,6 <sup>b</sup> ±3,9	52,9 <sup>a</sup> ±9,8	68,6 <sup>ab</sup> ±18,01	52,5 <sup>a</sup> ±18,6	59,5 <sup>a</sup> ±21,4	66,2 <sup>ab</sup> ±30,0	
		0	112,6 <sup>ab</sup> ±3,9	116,1 <sup>ab</sup> ±10,8	90,6 <sup>a</sup> ±36,5	180,9 <sup>b</sup> ±68,9	156,7 <sup>ab</sup> ±14,6	159,4 <sup>ab</sup> ±4,5	
		0,2	112,6 <sup>a</sup> ±3,9	104,3 <sup>a</sup> ±19,3	131,0 <sup>a</sup> ±63,7	95,4 <sup>a</sup> ±1,3	97,1 <sup>a</sup> ±32,1	94,2 <sup>a</sup> ±1,7	
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)		0,8	112,6 <sup>a</sup> ±3,9	96,0 <sup>a</sup> ±9,1	66,5 <sup>a</sup> ±41,9	110,6 <sup>a</sup> ±16,0	64,1 <sup>a</sup> ±17,5	86,8 <sup>a</sup> ±0,6	
		1,4	112,6 <sup>b</sup> ±3,9	91,0 <sup>ab</sup> ±3,4	52,7 <sup>a</sup> ±22,4	95,1 <sup>b</sup> ±13,2	85,9 <sup>ab</sup> ±23,6	81,6 <sup>ab</sup> ±9,3	

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f:40kHz ve A:%100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f:24kHz ve A:%100).

\*\* Aynı satırda aynı harfle gösterilen sonuçlar Duncan analizine göre  $P:0,05$  seviyesinde aynı kabul edilmektedir.

Tablo 4.2. Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin toplam flavonoid madde üzerine etkisi

Numune/İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak)**						
		0	2	4	6	8	10	
Domates	Elektrik akımı	0,2	121,5 <sup>a</sup> ±1,9	119,9 <sup>a</sup> ±4,8	114,3 <sup>a</sup> ±15,1	106,6 <sup>a</sup> ±4,0	106,9 <sup>a</sup> ±16,9	108,6 <sup>a</sup> ±6,0
		0,8	121,5 <sup>a</sup> ±1,9	95,1 <sup>a</sup> ±24,2	118,4 <sup>a</sup> ±18,2	106,8 <sup>a</sup> ±6,4	86,9 <sup>a</sup> ±26,0	99,7 <sup>a</sup> ±0,5
		1,4	121,5 <sup>a</sup> ±1,9	121,7 <sup>a</sup> ±23,0 <sup>ab</sup>	134,3 <sup>a</sup> ±39,1	102,0 <sup>a</sup> ±3,3	118,4 <sup>a</sup> ±8,9	110,4 <sup>a</sup> ±13,4
	Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	121,5 <sup>a</sup> ±1,9	105,2 <sup>a</sup> ±15,0	122,4 <sup>a</sup> ±12,2	104,1 <sup>a</sup> ±1,8	101,4 <sup>a</sup> ±2,6	103,1 <sup>a</sup> ±4,8
		0,2	121,5 <sup>a</sup> ±1,9	91,6 <sup>a</sup> ±14,6	98,1 <sup>a</sup> ±2,7	90,5 <sup>a</sup> ±31,1	93,6 <sup>a</sup> ±18,6	129,5 <sup>a</sup> ±33,8
		0,8	121,5 <sup>a</sup> ±1,9	105,0 <sup>a</sup> ±3,0	119,3 <sup>a</sup> ±3,3	124,6 <sup>a</sup> ±26,2	109,1 <sup>a</sup> ±13,7	113,2 <sup>a</sup> ±3,4
		1,4	121,5 <sup>a</sup> ±1,9	142,9 <sup>a</sup> ±38,5	97,9 <sup>a</sup> ±6,8	114,4 <sup>a</sup> ±21,3	100,4 <sup>a</sup> ±15,4	99,9 <sup>a</sup> ±10,6
		0	121,5 <sup>b</sup> ±1,9	110,6 <sup>ab</sup> ±6,6	132,1 <sup>b</sup> ±24,1	100,9 <sup>ab</sup> ±3,3	75,6 <sup>ab</sup> ±32,7	101,9 <sup>ab</sup> ±6,9
		0,2	121,5 <sup>a</sup> ±1,9	87,7 <sup>a</sup> ±20,7	122,4 <sup>a</sup> ±29,7	110,3 <sup>a</sup> ±6,5	124,8 <sup>a</sup> ±17,7	91,9 <sup>a</sup> ±6,0
	Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0,8	121,5 <sup>a</sup> ±1,9	98,7 <sup>a</sup> ±2,7	126,7 <sup>a</sup> ±18,5	110,8 <sup>a</sup> ±7,2	127,0 <sup>a</sup> ±29,2	108,4 <sup>a</sup> ±14,1
		1,4	121,5 <sup>a</sup> ±1,9	121,2 <sup>a</sup> ±6,5	114,5 <sup>a</sup> ±7,5	126,1 <sup>a</sup> ±13,4	119,5 <sup>a</sup> ±8,1	111,0 <sup>a</sup> ±8,3
		0,2	32,2 <sup>b</sup> ±0,8	29,3 <sup>ab</sup> ±2,8	27,8 <sup>ab</sup> ±3,1	30,ab ±1,8	31,ab ±0,1	25,9 <sup>a</sup> ±2,1
Marul	Elektrik akımı	0,8	32,2 <sup>b</sup> ±0,8	26,8 <sup>ab</sup> ±2,5	27,1 <sup>ab</sup> ±5,2	26,3 <sup>ab</sup> ±2,5	24,2 <sup>a</sup> ±3,0	26,3 <sup>ab</sup> ±0,6
		1,4	32,2 <sup>a</sup> ±0,8	27,5 <sup>a</sup> ±4,9 <sup>ab</sup>	28,0 <sup>a</sup> ±0,6	28,1 <sup>a</sup> ±4,2	29,2 <sup>a</sup> ±1,1	29,7 <sup>a</sup> ±0,2
		0	32,2 <sup>a</sup> ±0,8	27,5 <sup>a</sup> ±4,1	26,8 <sup>a</sup> ±5,9	27,3 <sup>a</sup> ±1,3	28,4 <sup>a</sup> ±0,4	24,3 <sup>a</sup> ±2,7
	Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0,2	32,2 <sup>c</sup> ±0,8	31,7 <sup>c</sup> ±0,9	25,1 <sup>ab</sup> ±1,1	31,6 <sup>c</sup> ±0,5	23,3 <sup>a</sup> ±4,6	29,6 <sup>bc</sup> ±1,9
		0,8	32,2 <sup>b</sup> ±0,8	30,0 <sup>ab</sup> ±0,6	26,4 <sup>a</sup> ±0,8	30,6 <sup>ab</sup> ±2,8	28,0 <sup>ab</sup> ±3,2	29,4 <sup>ab</sup> ±1,0
		1,4	32,2 <sup>c</sup> ±0,8	25,1 <sup>a</sup> ±0,8	28,1 <sup>b</sup> ±0,1	26,6 <sup>ab</sup> ±0,3	31,7 <sup>c</sup> ±0,8	25,8 <sup>a</sup> ±1,1
	Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0	32,2 <sup>a</sup> ±0,8	26,4 <sup>a</sup> ±2,4	28,5 <sup>a</sup> ±2,7	25,8 <sup>a</sup> ±4,0	28,1 <sup>a</sup> ±3,2	27,5 <sup>a</sup> ±1,6
		0,2	32,2 <sup>c</sup> ±0,8	30,5 <sup>bc</sup> ±0,1	28,4 <sup>abc</sup> ±0,3	24,0 <sup>a</sup> ±2,1	27,6 <sup>abc</sup> ±4,8	25,4 <sup>ab</sup> ±0,1
		0,8	32,2 <sup>a</sup> ±0,8	28,1 <sup>a</sup> ±0,4	25,7 <sup>a</sup> ±1,2	27,3 <sup>a</sup> ±1,1	26,1 <sup>a</sup> ±4,0	27,1 <sup>a</sup> ±5,2
		1,4	32,2 <sup>b</sup> ±0,8	24,1 <sup>ab</sup> ±5,7	23,3 <sup>a</sup> ±3,3	25,1 <sup>ab</sup> ±3,0	24,0 <sup>ab</sup> ±1,8	23,7 <sup>a</sup> ±1,7
		0,2	32,2 <sup>c</sup> ±0,8	30,5 <sup>bc</sup> ±0,1	28,4 <sup>abc</sup> ±0,3	24,0 <sup>a</sup> ±2,1	27,6 <sup>abc</sup> ±4,8	25,4 <sup>ab</sup> ±0,1
		0,8	32,2 <sup>a</sup> ±0,8	28,1 <sup>a</sup> ±0,4	25,7 <sup>a</sup> ±1,2	27,3 <sup>a</sup> ±1,1	26,1 <sup>a</sup> ±4,0	27,1 <sup>a</sup> ±5,2

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f:40kHz ve A:%100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f:24kHz ve A:%100).

\*\* Aynı satırda aynı harfle gösterilen sonuçlar Duncan analizine göre P:0,05 seviyesinde aynı kabul edilmektedir.

Tablo 4.3. Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin toplam DPPH indirgeme özelliğine etkisi

Numune /İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak)**							
		0	2	4	6	8	10		
Domates	Elektrik akımı	0,2	11,1 <sup>a</sup> ±0,2	10,8 <sup>a</sup> ±0,1	9,9 <sup>a</sup> ±0,4	11,0 <sup>a</sup> ±0,2	9,6 <sup>a</sup> ±2,0	11,7 <sup>a</sup> ±2,1	
		0,8	11,1 <sup>a</sup> ±0,2	10,8 <sup>a</sup> ±0,1	9,9 <sup>a</sup> ±1,5	10,2 <sup>a</sup> ±0,0	11,2 <sup>a</sup> ±0,0	11,5 <sup>a</sup> ±1,0	
		1,4	11,1 <sup>ab</sup> ±0,2	9,8 <sup>a</sup> ±1,2	10,1 <sup>a</sup> ±0,2	9,9 <sup>a</sup> ±0,5	12,5 <sup>b</sup> ±1,7	11,2 <sup>ab</sup> ±0,2	
	Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	11,1 <sup>a</sup> ±0,2	10,6 <sup>a</sup> ±0,4	9,4 <sup>a</sup> ±2,5	11,8 <sup>a</sup> ±0,4	11,2 <sup>a</sup> ±0,2	9,9 <sup>a</sup> ±1,9	
		0,2	11,1 <sup>a</sup> ±0,2	13,1 <sup>a</sup> ±0,4	10,4 <sup>a</sup> ±2,6	12,9 <sup>a</sup> ±1,5	13,7 <sup>a</sup> ±1,9	14,3 <sup>a</sup> ±1,8	
		0,8	11,1 <sup>a</sup> ±0,2	13,8 <sup>ab</sup> ±2,3	10,1 <sup>a</sup> ±3,0	11,2 <sup>ab</sup> ±1,6	12,0 <sup>ab</sup> ±0,1	13,0 <sup>ab</sup> ±0,7	
	Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	1,4	11,1 <sup>a</sup> ±0,2	12,5 <sup>a</sup> ±1,3	11,0 <sup>a</sup> ±0,7	13,7 <sup>a</sup> ±2,5	11,9 <sup>a</sup> ±0,5	12,8 <sup>a</sup> ±0,7	
		0	11,1 <sup>a</sup> ±0,2	11,3 <sup>a</sup> ±0,9	10,7 <sup>a</sup> ±2,2	12,2 <sup>a</sup> ±0,5	11,2 <sup>a</sup> ±0,1	13,4 <sup>a</sup> ±0,6	
		0,2	11,1 <sup>a</sup> ±0,2	12,6 <sup>a</sup> ±1,0	10,3 <sup>a</sup> ±2,8	13,9 <sup>a</sup> ±1,9	15,0 <sup>a</sup> ±3,0	13,8 <sup>a</sup> ±0,9	
	Marul	Elektrik akımı	0,8	11,1 <sup>ab</sup> ±0,2	12,0 <sup>ab</sup> ±1,0	10,3 <sup>a</sup> ±2,5	13,7 <sup>ab</sup> ±1,1	12,4 <sup>ab</sup> ±0,8	13,9 <sup>b</sup> ±1,0
			1,4	11,1 <sup>a</sup> ±0,2	11,2 <sup>a</sup> ±2,0	10,5 <sup>a</sup> ±2,4	12,0 <sup>a</sup> ±0,4	16,0 <sup>a</sup> ±4,8	12,7 <sup>a</sup> ±0,4
			0,2	20,6 <sup>a</sup> ±0,9	20,6 <sup>a</sup> ±0,5	20,4 <sup>a</sup> ±0,7	20,1 <sup>a</sup> ±0,6	20,8 <sup>a</sup> ±0,3	20,7 <sup>a</sup> ±0,3
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)		0,8	20,6 <sup>a</sup> ±0,9	20,3 <sup>a</sup> ±0,4	19,1 <sup>a</sup> ±2,0	18,9 <sup>a</sup> ±1,0	18,0 <sup>a</sup> ±0,9	18,6 <sup>a</sup> ±0,4	
		1,4	20,6 <sup>a</sup> ±0,9	20,5 <sup>a</sup> ±0,1	21,2 <sup>a</sup> ±0,5	18,3 <sup>a</sup> ±1,8	19,8 <sup>a</sup> ±0,0	21,2 <sup>a</sup> ±2,0	
		0	20,6 <sup>a</sup> ±0,9	18,5 <sup>a</sup> ±2,9	19,9 <sup>a</sup> ±0,8	20,1 <sup>a</sup> ±0,5	18,7 <sup>a</sup> ±0,8	20,0 <sup>a</sup> ±1,1	
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)		0,2	20,6 <sup>a</sup> ±0,9	20,2 <sup>a</sup> ±1,0	19,4 <sup>a</sup> ±1,4	20,6 <sup>a</sup> ±0,1	23,5 <sup>a</sup> ±4,1	20,7 <sup>a</sup> ±2,1	
		0,8	20,6 <sup>b</sup> ±0,9	20,8 <sup>b</sup> ±0,1	20,9 <sup>b</sup> ±0,5	21,0 <sup>b</sup> ±0,4	20,4 <sup>b</sup> ±0,2	19,1 <sup>a</sup> ±0,3	
		1,4	20,6 <sup>a</sup> ±0,9	20,7 <sup>a</sup> ±0,2	20,1 <sup>a</sup> ±0,6	20,2 <sup>a</sup> ±0,5	19,9 <sup>a</sup> ±0,2	20,4 <sup>a</sup> ±1,6	
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)		0	20,6 <sup>a</sup> ±0,9	22,3 <sup>a</sup> ±2,6	20,9 <sup>a</sup> ±0,4	20,5 <sup>a</sup> ±0,5	19,8 <sup>a</sup> ±1,3	19,7 <sup>a</sup> ±1,3	
		0,2	20,6 <sup>a</sup> ±0,9	18,0 <sup>a</sup> ±4,0	19,3 <sup>a</sup> ±0,4	21,0 <sup>a</sup> ±1,9	20,9 <sup>a</sup> ±2,3	20,5 <sup>a</sup> ±1,1	
		0,8	20,6 <sup>a</sup> ±0,9	19,4 <sup>a</sup> ±0,9	21,2 <sup>a</sup> ±1,2	21,3 <sup>a</sup> ±1,1	21,2 <sup>a</sup> ±2,5	20,3 <sup>a</sup> ±1,8	
	1,4	20,6 <sup>a</sup> ±0,9	20,2 <sup>a</sup> ±0,9	21,1 <sup>a</sup> ±1,4	19,4 <sup>a</sup> ±0,6	21,1 <sup>a</sup> ±2,2	19,3 <sup>a</sup> ±0,2		

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f:40kHz ve A:%100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f:24kHz ve A:%100).

\*\* Aynı satırda aynı harfle gösterilen sonuçlar Duncan analizine göre P:0,05 seviyesinde aynı kabul edilmektedir.

#### 4.1.3. Karotenoid içeriği üzerine etkisi

İşlem uygulanmamış domates ve marul numunelerine ait toplam karotenoid içeriği sırasıyla  $43,7 \pm 0,8$  ve  $26,8 \pm 0,6$  mg/kg olarak belirlenmiştir. Domates ve marul örneklerinin elektrik akımı ve elektrosonikasyon işlemlerini uygulandıktan sonra toplam karotenoid içeriğindeki değişimler Tablo 4.4'de sunulmuştur. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere karotenoid içeriklerinde istatistiksel olarak önemli ( $P < 0,05$ ) bir azalmanın olduğu tespit edilmiştir. Karotenoid içeriği domateslerin renklerinde önemli bir kalite parametresi olarak kendini göstermektedir. Bununla ilişkili olarak domateslerin renk değerleriyle kıyaslandığında çoğunlukla kroma değerinde (Tablo 4.7) istatistiksel olarak anlamlı ( $P < 0,05$ ) değişimler olduğu gözlemlenmiştir. Domateslerin de L değerinde önemli bir azalma gözlemlenmiştir. Marullarda genellikle karotenoid bileşik olarak  $\beta$ -karoten bulunmakta olup, uygulanan işlemlerde marulların gevrekliğinin azaldığı ve üründe renk koyulaşmaların belirlemektedir (Şekil 4.8). Gıda proseslerinde yeşil ürünlere haşlama sonrasında görülen bu tarz bir koyulaşmanın kısmi olarak görülmesi ürünlere dokular arası gevşemenin görüldüğünün bir göstergesi olup buna bağlı olarak içerişindeki karotenoid bileşenlerin uzaklaşmış olabileceği düşünölmektedir.

Tablo 4.4. Elektrosonikasyon işleminin domateslerin toplam karotenoid (mg/kg) içeriğine etkisi

Numune /İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak)**							
		0	2	4	6	8	10		
Domates	Elektrik akımı	0,2	43,7 <sup>c</sup> ±0,8	43,0 <sup>bc</sup> ±0,6	42,4 <sup>abc</sup> ±0,1	42,3 <sup>ab</sup> ±0,5	41,5 <sup>a</sup> ±0,6	41,4 <sup>a</sup> ±0,3	
		0,8	43,7 <sup>b</sup> ±0,8	42,6 <sup>b</sup> ±0,6	40,5 <sup>a</sup> ±0,2	40,0 <sup>a</sup> ±0,1	39,7 <sup>a</sup> ±0,6	39,2 <sup>a</sup> ±0,8	
		1,4	43,7 <sup>e</sup> ±0,8	41,8 <sup>d</sup> ±0,6	41,2 <sup>cd</sup> ±1,0	39,8 <sup>bc</sup> ±0,4	38,9 <sup>ab</sup> ±0,4	37,8 <sup>a</sup> ±0,8	
	Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	43,7 <sup>c</sup> ±0,8	43,3 <sup>bc</sup> ±0,6	42,3 <sup>ab</sup> ±0,1	42,4 <sup>abc</sup> ±0,1	41,4 <sup>a</sup> ±0,4	41,7 <sup>a</sup> ±0,6	
		0,2	43,7 <sup>c</sup> ±0,8	42,3 <sup>bc</sup> ±0,2	41,5 <sup>b</sup> ±0,6	39,1 <sup>a</sup> ±1,1	38,8 <sup>a</sup> ±0,4	38,9 <sup>a</sup> ±0,9	
		0,8	43,7 <sup>d</sup> ±0,8	42,3 <sup>cd</sup> ±0,3	42,0 <sup>cd</sup> ±0,4	40,9 <sup>bc</sup> ±0,9	39,2 <sup>ab</sup> ±0,8	37,8 <sup>a</sup> ±0,8	
	Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	1,4	43,7 <sup>d</sup> ±0,8	41,3 <sup>c</sup> ±0,3	41,0 <sup>c</sup> ±0,6	40,1 <sup>c</sup> ±0,2	37,8 <sup>b</sup> ±0,8	35,7 <sup>a</sup> ±0,6	
		0	43,7 <sup>c</sup> ±0,8	43,4 <sup>bc</sup> ±0,	42,5 <sup>abc</sup> ±0,6	41,7 <sup>a</sup> ±0,7	42,1 <sup>ab</sup> ±0,7	43,0 <sup>abc</sup> ±0,2	
		0,2	43,7 <sup>c</sup> ±0,8	42,3 <sup>bc</sup> ±0,1	42,2 <sup>bc</sup> ±0,8	40,0 <sup>ab</sup> ±0,9	38,5 <sup>a</sup> ±0,4	40,1 <sup>ab</sup> ±2,1	
	Marul	Elektrik akımı	0,8	43,7 <sup>d</sup> ±0,8	42,2 <sup>c</sup> ±0,4	41,6 <sup>c</sup> ±0,1	38,6 <sup>b</sup> ±0,1	38,3 <sup>b</sup> ±0,1	36,2 <sup>a</sup> ±0,0
			1,4	43,7 <sup>e</sup> ±0,8	41,6 <sup>d</sup> ±0,1	41,6 <sup>d</sup> ±0,3	39,7 <sup>c</sup> ±0,1	37,2 <sup>b</sup> ±0,4	35,0 <sup>a</sup> ±0,1
			0,2	26,8 <sup>b</sup> ±0,6	26,1 <sup>ab</sup> ±1,0	24,8 <sup>a</sup> ±0,6	24,6 <sup>a</sup> ±0,6	24,9 <sup>a</sup> ±0,4	25,5 <sup>ab</sup> ±0,2
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)		0,8	26,8 <sup>b</sup> ±0,6	24,7 <sup>a</sup> ±0,8	25,3 <sup>a</sup> ±0,1	24,6 <sup>a</sup> ±0,6	25,3 <sup>a</sup> ±0,1	24,5 <sup>a</sup> ±0,4	
		1,4	26,8 <sup>b</sup> ±0,6	23,9 <sup>a</sup> ±0,4	24,2 <sup>a</sup> ±0,1	24,8 <sup>a</sup> ±0,8	24,5 <sup>a</sup> ±0,5	23,8 <sup>a</sup> ±0,0	
		0	26,8 <sup>d</sup> ±0,6	23,5 <sup>ab</sup> ±0,0	24,7 <sup>c</sup> ±0,1	22,9 <sup>a</sup> ±0,1	24,0 <sup>bc</sup> ±0,1	24,0 <sup>abc</sup> ±0,8	
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)		0,2	26,8 <sup>b</sup> ±0,6	24,5 <sup>ab</sup> ±0,3	25,4 <sup>a</sup> ±0,4	24,1 <sup>a</sup> ±1,1	24,4 <sup>a</sup> ±0,2	23,9 <sup>a</sup> ±0,8	
		0,8	26,8 <sup>c</sup> ±0,6	25,8 <sup>bc</sup> ±0,1	24,5 <sup>ab</sup> ±0,4	24,1 <sup>a</sup> ±1,0	24,1 <sup>a</sup> ±0,6	22,9 <sup>a</sup> ±0,8	
		1,4	26,8 <sup>b</sup> ±0,6	24,6 <sup>a</sup> ±0,4	23,9 <sup>a</sup> ±0,3	24,7 <sup>a</sup> ±0,1	24,2 <sup>a</sup> ±0,2	24,0 <sup>a</sup> ±0,8	
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)		0	26,8 <sup>c</sup> ±0,6	23,4 <sup>b</sup> ±0,4	23,1 <sup>b</sup> ±0,6	23,4 <sup>b</sup> ±0,2	22,6 <sup>ab</sup> ±0,3	21,3 <sup>a</sup> ±0,8	
		0,2	26,8 <sup>d</sup> ±0,6	24,1 <sup>c</sup> ±0,0	23,5 <sup>bc</sup> ±0,1	22,2 <sup>a</sup> ±0,8	22,4 <sup>ab</sup> ±0,6	21,2 <sup>a</sup> ±0,2	
		0,8	26,8 <sup>c</sup> ±0,6	23,7 <sup>b</sup> ±0,2	23,4 <sup>b</sup> ±0,6	23,2 <sup>ab</sup> ±0,9	21,8 <sup>a</sup> ±0,7	22,4 <sup>ab</sup> ±0,4	
	1,4	26,8 <sup>c</sup> ±0,6	22,2 <sup>a</sup> ±0,1	22,3 <sup>a</sup> ±0,1	24,1 <sup>b</sup> ±0,6	21,8 <sup>a</sup> ±0,9	21,2 <sup>a</sup> ±0,4		

\* USB:Ultrasonik Su Banyosu (f:40kHz ve A:%100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f:24kHz ve A:%100).

\*\* Aynı satırda aynı harfle gösterilen sonuçlar Duncan analizine göre P:0,05 seviyesinde aynı kabul edilmektedir.

#### 4.1.4. Tekstürel özelliklerine etkisi

Domatesler için zaman-deformasyon eğrileri elde edilerek ürünün sertlik değerleri belirlenmiştir (Tablo 4.5). Tablo 4.5'e göre elektrik akımı ve elektrosonikasyon işlemleri domatesin sertliği üzerine önemli bir değişime sebep olmamaktadır ( $P>0,05$ ). Bununla birlikte ultrasonik işlemcinin kullanıldığı elektrosonikasyon işlemlerinde ultrasesin probunun domateslerle temas ettiği yerlerde kısmi yumuşamalar görülmüş olup Şekil 4.7'de bu ezilmeler gösterilmiştir. Marullarda ise işlemler sonrasında aşırı yumuşama meydana geldiği için tekstürel analizler yapılamamıştır. Elektrosonikasyon-2'de ise US işlemcisinden dolayı yumuşamanın yanı sıra Şekil 4.8'de de gösterildiği gibi zedelenmeler meydana gelmiştir.

Domateslerin tekstürel özellikleri üzerine önemli zararlarının olmaması veya bu zararların küçük proses dizaynları ile düzeltilebilecek elde edilen diğer sonuçlarla birlikte düşünüldüğünde oldukça önemli iken, marulların aşırı yumuşaması/kendini bırakması ise bu tekniğin marullarda uygulanma ihtimalini güçleştirmektedir.

Tablo 4.5. Domatesin sertlik (g) özelliği üzerine etkisi

İşlem*	Elektrik	İşlem süresi (dak.)**					
	akımı (A)	0	2	4	6	8	10
Elektrik akımı	0,2	1,08 <sup>a</sup> ±0,11	1,09 <sup>a</sup> ±0,32	1,07 <sup>a</sup> ±0,25	0,93 <sup>a</sup> ±0,24	1,12 <sup>a</sup> ±0,18	0,95 <sup>a</sup> ±0,29
	0,8	1,08 <sup>a</sup> ±0,11	0,98 <sup>a</sup> ±0,27	0,99 <sup>a</sup> ±0,2	1,07 <sup>a</sup> ±0,18	0,92 <sup>a</sup> ±0,08	1,03 <sup>a</sup> ±0,15
	1,4	1,08 <sup>a</sup> ±0,11	1,01 <sup>a</sup> ±0,25	1,00 <sup>a</sup> ±0,17	1,01 <sup>a</sup> ±0,18	0,99 <sup>a</sup> ±0,09	0,99 <sup>a</sup> ±0,11
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	1,08 <sup>a</sup> ±0,11	1,04 <sup>a</sup> ±0,21	1,04 <sup>a</sup> ±0,32	0,96 <sup>a</sup> ±0,20	1,13 <sup>a</sup> ±0,20	1,14 <sup>a</sup> ±0,14
	0,2	1,08 <sup>a</sup> ±0,11	1,14 <sup>a</sup> ±0,16	1,01 <sup>a</sup> ±0,13	0,96 <sup>a</sup> ±0,21	1,06 <sup>a</sup> ±0,19	1,13 <sup>a</sup> ±0,14
	0,8	1,08 <sup>a</sup> ±0,11	0,99 <sup>a</sup> ±0,20	1,03 <sup>a</sup> ±0,17	1,00 <sup>a</sup> ±0,24	0,96 <sup>a</sup> ±0,14	1,07 <sup>a</sup> ±0,15
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	1,4	1,08 <sup>a</sup> ±0,11	0,92 <sup>a</sup> ±0,18	1,06 <sup>a</sup> ±0,15	1,00 <sup>a</sup> ±0,23	1,18 <sup>a</sup> ±0,20	1,06 <sup>a</sup> ±0,13
	0	1,08 <sup>a</sup> ±0,11	0,89 <sup>a</sup> ±0,17	1,07 <sup>a</sup> ±0,20	1,01 <sup>a</sup> ±0,22	0,98 <sup>a</sup> ±0,18	1,04 <sup>a</sup> ±0,21
	0,2	1,08 <sup>a</sup> ±0,11	0,98 <sup>a</sup> ±0,14	1,04 <sup>a</sup> ±0,13	1,19 <sup>a</sup> ±0,16	1,09 <sup>a</sup> ±0,20	1,14 <sup>a</sup> ±0,16
	0,8	1,08 <sup>a</sup> ±0,11	1,06 <sup>a</sup> ±0,17	0,99 <sup>a</sup> ±0,18	1,09 <sup>a</sup> ±0,27	0,99 <sup>a</sup> ±0,13	0,99 <sup>a</sup> ±0,31
	1,4	1,08 <sup>a</sup> ±0,11	1,05 <sup>a</sup> ±0,22	0,98 <sup>a</sup> ±0,21	1,09 <sup>a</sup> ±0,17	1,17 <sup>a</sup> ±0,09	1,19 <sup>a</sup> ±0,11

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f:40kHz ve A:%100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f:24kHz ve A:%100).

\*\* Aynı satırda aynı harfle gösterilen sonuçlar Duncan analizine göre P:0,05 seviyesinde aynı kabul edilmektedir.



Şekil 4.7. Ultrasonik işlemcinin domateslere verdiği zararı gösteren bir resim



Şekil 4.8. Elektrosonikasyon işlemi sonrası yumuşayan marulları gösteren resim

#### 4.1.5. Fizikokimyasal özelliklerine etkisi

Elektrik akımı ve elektrosonikasyon işlemlerinin domates ve marul örneklerinin fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisi renk analizi, pH değeri ve kuru madde değişimi olarak belirlenmiştir. Renk değişimi, L\* değeri (Tablo 4.6) ve kroma değerleri (Tablo 4.7) olarak belirlenmiştir. L\* değeri taze domateslerde  $35,58 \pm 0,99$  taze marullarda ise  $49,11 \pm 2,41$  olarak tespit edilmiştir. Kroma değeri ise taze domateslerde  $29,13 \pm 2,14$  taze marullarda ise  $29,85 \pm 4,99$  olarak tespit edilmiştir. Domates numunelerinde L\* değeri ve kroma değerinde önemli bir değişim görülürken ( $P < 0,05$ ), marullarda bu değişim sınırlı kaldığı tespit edilmiştir. Bunun en önemli sebebinin kullanılan domateslerin birbirine oldukça homojen bir renk uyumu sergilemesinden dolayı işlem uygulanmamış kontrol örneklerinde standart hatasının oldukça düşük olmasına karşın, işlem uygulanmamış marullarda ise homojenliğin düşük olmasından dolayı standart sapmanın yüksek olmasıyla ilişkilendirilebilir.

Bu işlemlerin pH ve kuru madde içeriği üzerine değişimleri ise Tablo 4.8 ve 4.9'da sunulmuştur. Sonuçlara göre bu işlemlerin domates ve marul numunelerinin pH değerleri üzerine önemli bir değişim göstermediği anlaşılmaktadır. Bazı işlemlerin sebzelerin pH değerinde anlamlı değişimlere sebep olduğu tespit edilmiştir ( $P < 0,05$ ). Bununla birlikte işlem süresi ve şiddetine bağlı olarak domates ve marul numunelerinin kuru madde içeriklerinde istatistiksel olarak anlamlı seviyede düşüş gözlemlenmiştir ( $P < 0,05$ ). Bunun işlem sıvısındaki suyun materyale nüfuz etmesi olarak düşünülebilir.



Tablo 4.6. Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin toplam L\* değerine etkisi

Numune/İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)**						
		0	2	4	6	8	10	
Domates	Elektrik akımı	0,2	35,58 <sup>b</sup> ±0,99	32,17 <sup>a</sup> ±0,71	32,13 <sup>a</sup> ±2,25	32,35 <sup>a</sup> ±0,56	32,35 <sup>a</sup> ±0,28	31,99 <sup>a</sup> ±1,14
		0,8	35,58 <sup>bc</sup> ±0,99	31,42 <sup>a</sup> ±0,53	32,70 <sup>a</sup> ±0,35	33,68 <sup>ab</sup> ±2,65	34,01 <sup>ab</sup> ±2,29	37,91 <sup>c</sup> ±1,49
		1,4	35,58 <sup>b</sup> ±0,99	33,39 <sup>ab</sup> ±2,07	33,62 <sup>ab</sup> ±2,11	34,77 <sup>ab</sup> ±3,23	32,98 <sup>ab</sup> ±2,36	31,82 <sup>a</sup> ±1,04
	Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	35,58 <sup>bc</sup> ±0,99	31,71 <sup>a</sup> ±0,49	32,26 <sup>a</sup> ±0,84	35,61 <sup>a</sup> ±6,48	31,33 <sup>a</sup> ±1,34	32,69 <sup>a</sup> ±2,53
		0,2	35,58 <sup>b</sup> ±0,99	34,07 <sup>b</sup> ±2,38	31,90 <sup>ab</sup> ±0,82	33,53 <sup>ab</sup> ±3,42	35,04 <sup>b</sup> ±1,34	30,14 <sup>a</sup> ±3,43
		0,8	35,58 <sup>bc</sup> ±0,99	32,49 <sup>a</sup> ±1,20	32,80 <sup>a</sup> ±1,13	34,28 <sup>ab</sup> ±2,27	32,63 <sup>a</sup> ±0,83	32,56 <sup>a</sup> ±1,51
		1,4	35,58 <sup>b</sup> ±0,99	32,25 <sup>a</sup> ±1,08	32,70 <sup>a</sup> ±1,52	31,74 <sup>a</sup> ±0,67	34,13 <sup>ab</sup> ±2,52	33,79 <sup>ab</sup> ±1,92
		0	35,58 <sup>bc</sup> ±0,99	31,79 <sup>a</sup> ±0,46	33,85 <sup>ab</sup> ±2,47	38,72 <sup>c</sup> ±2,55	36,93 <sup>bc</sup> ±3,94	31,15 <sup>a</sup> ±2,04
		0,2	35,58 <sup>b</sup> ±0,99	31,23 <sup>a</sup> ±0,76	32,99 <sup>ab</sup> ±2,12	35,53 <sup>b</sup> ±2,85	31,78 <sup>a</sup> ±1,65	33,88 <sup>ab</sup> ±2,85
	Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0,8	35,58 <sup>bc</sup> ±0,99	33,35 <sup>a</sup> ±2,28	34,19 <sup>a</sup> ±1,28	35,11 <sup>a</sup> ±2,33	33,14 <sup>a</sup> ±2,15	33,46 <sup>a</sup> ±2,43
		1,4	35,58 <sup>b</sup> ±0,99	33,55 <sup>a</sup> ±2,15	33,72 <sup>a</sup> ±2,99	37,07 <sup>ab</sup> ±2,06	38,01 <sup>b</sup> ±0,82	35,44 <sup>ab</sup> ±3,18
		0,2	49,11 <sup>a</sup> ±2,41	49,28 <sup>a</sup> ±5,60	49,48 <sup>a</sup> ±1,13	52,55 <sup>a</sup> ±1,13	50,96 <sup>a</sup> ±1,95	51,39 <sup>a</sup> ±4,29
Marul	Elektrik akımı	0,8	49,11 <sup>a</sup> ±2,41	47,78 <sup>a</sup> ±2,27	49,85 <sup>a</sup> ±3,81	50,58 <sup>a</sup> ±4,98	50,07 <sup>a</sup> ±3,95	47,68 <sup>a</sup> ±3,10
		1,4	49,11 <sup>a</sup> ±2,41	50,65 <sup>a</sup> ±3,09	49,18 <sup>a</sup> ±4,23	48,98 <sup>a</sup> ±4,00	48,22 <sup>a</sup> ±1,12	47,91 <sup>a</sup> ±2,07
		0	49,11 <sup>a</sup> ±2,41	48,80 <sup>a</sup> ±2,53	53,14 <sup>a</sup> ±2,40	50,67 <sup>a</sup> ±5,13	54,24 <sup>a</sup> ±2,04	51,96 <sup>a</sup> ±5,00
	Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0,2	49,11 <sup>ab</sup> ±2,41	53,56 <sup>b</sup> ±3,47	53,31 <sup>b</sup> ±4,09	52,21 <sup>b</sup> ±2,39	54,55 <sup>b</sup> ±2,28	45,35 <sup>a</sup> ±0,42
		0,8	49,11 <sup>a</sup> ±2,41	52,68 <sup>a</sup> ±3,40	53,76 <sup>a</sup> ±4,16	55,12 <sup>a</sup> ±1,70	53,92 <sup>a</sup> ±2,41	51,80 <sup>a</sup> ±1,69
		1,4	49,11 <sup>a</sup> ±2,41	48,30 <sup>a</sup> ±3,89	52,07 <sup>ab</sup> ±3,39	53,40 <sup>b</sup> ±4,31	54,84 <sup>b</sup> ±1,90	55,93 <sup>b</sup> ±0,84
		0	49,11 <sup>a</sup> ±2,41	48,93 <sup>a</sup> ±3,19	52,37 <sup>a</sup> ±7,35	47,16 <sup>a</sup> ±9,99	50,71 <sup>a</sup> ±1,21	43,20 <sup>a</sup> ±7,20
		0,2	49,11 <sup>a</sup> ±2,41	52,98 <sup>a</sup> ±4,88	50,17 <sup>a</sup> ±2,00	53,91 <sup>a</sup> ±4,74	52,89 <sup>a</sup> ±3,13	50,64 <sup>a</sup> ±6,72
		0,8	49,11 <sup>a</sup> ±2,41	48,09 <sup>a</sup> ±8,98	50,83 <sup>a</sup> ±2,01	52,88 <sup>a</sup> ±2,05	48,26 <sup>a</sup> ±2,59	49,67 <sup>a</sup> ±1,90
	Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	1,4	49,11 <sup>a</sup> ±2,41	55,77 <sup>a</sup> ±3,13	51,70 <sup>a</sup> ±5,51	51,98 <sup>a</sup> ±3,69	49,19 <sup>a</sup> ±2,19	49,62 <sup>a</sup> ±5,96

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f:40kHz ve A:%100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f:24kHz ve A:%100).

\*\* Aynı satırda aynı harfle gösterilen sonuçlar Duncan analizine göre P:0,05 seviyesinde aynı kabul edilmektedir.

Tablo 4.7. Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin kroma değerine etkisi

Numune/İşlem*	Elektrik akımı		İşlem süresi (dak.)**					
	(A)	0	2	4	6	8	10	
Domates	Elektrik akımı	0,2	29.13 <sup>a</sup> ±2.14	35.13 <sup>b</sup> ±1.33	34.07 <sup>b</sup> ±2.60	36.75 <sup>b</sup> ±1.44	36.63 <sup>b</sup> ±0.18	34.47 <sup>b</sup> ±2.17
		0,8	29.13 <sup>ab</sup> ±2.14	35.03 <sup>c</sup> ±1.25	32.85 <sup>bc</sup> ±1.31	33.54 <sup>c</sup> ±4.71	32.65 <sup>bc</sup> ±2.33	26.36 <sup>a</sup> ±1.81
		1,4	29.13 <sup>a</sup> ±2.14	33.43 <sup>ab</sup> ±2.91	33.91 <sup>ab</sup> ±3.81	32.29 <sup>ab</sup> ±4.28	35.80 <sup>b</sup> ±2.92	35.58 <sup>b</sup> ±3.30
	Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	29.13 <sup>ab</sup> ±2.14	35.72 <sup>c</sup> ±1.21	33.22 <sup>bc</sup> ±2.59	32.14 <sup>abc</sup> ±3.32	30.94 <sup>abc</sup> ±6.20	27.25 <sup>a</sup> ±2.16
		0,2	29.13 <sup>ab</sup> ±2.14	31.62 <sup>bc</sup> ±3.58	31.88 <sup>bc</sup> ±3.27	31.23 <sup>bc</sup> ±1.81	35.98 <sup>c</sup> ±6.60	26.31 <sup>a</sup> ±3.32
		0,8	29.13 <sup>ab</sup> ±2.14	31.63 <sup>b</sup> ±1.78	31.78 <sup>b</sup> ±0.70	29.92 <sup>ab</sup> ±2.09	30.16 <sup>ab</sup> ±2.46	27.24 <sup>a</sup> ±3.95
		1,4	29.13 <sup>ab</sup> ±2.14	35.65 <sup>c</sup> ±1.84	31.16 <sup>b</sup> ±3.88	35.45 <sup>c</sup> ±1.47	27.31 <sup>a</sup> ±2.90	27.88 <sup>ab</sup> ±0.69
		0	29.13 <sup>ab</sup> ±2.14	35.91 <sup>c</sup> ±1.66	32.83 <sup>bc</sup> ±6.75	27.85 <sup>ab</sup> ±2.86	24.67 <sup>a</sup> ±3.32	32.83 <sup>bc</sup> ±3.94
		0,2	29.13 <sup>a</sup> ±2.14	36.61 <sup>c</sup> ±2.08	35.53 <sup>ab</sup> ±2.98	31.24 <sup>a</sup> ±3.32	33.34 <sup>ab</sup> ±3.22	32.30 <sup>ab</sup> ±3.84
	Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0,8	29.13 <sup>a</sup> ±2.14	33.14 <sup>a</sup> ±3.46	31.14 <sup>a</sup> ±4.69	32.62 <sup>a</sup> ±3.65	30.64 <sup>a</sup> ±3.93	32.61 <sup>a</sup> ±3.23
		1,4	29.13 <sup>bc</sup> ±2.14	32.54 <sup>c</sup> ±2.72	31.36 <sup>c</sup> ±3.96	26.56 <sup>ab</sup> ±0.99	23.43 <sup>a</sup> ±2.70	25.26 <sup>ab</sup> ±2.36
		0,2	29,85 <sup>a</sup> ±4,99	31,92 <sup>a</sup> ±3,83	31,94 <sup>a</sup> ±4,06	33,89 <sup>a</sup> ±4,79	30,26 <sup>a</sup> ±1,65	27,27 <sup>a</sup> ±6,76
Marul	Elektrik akımı	0,8	29,85 <sup>a</sup> ±4,99	30,03 <sup>a</sup> ±5,44	24,16 <sup>a</sup> ±2,54	26,12 <sup>a</sup> ±4,20	29,70 <sup>a</sup> ±3,13	23,86 <sup>a</sup> ±5,51
		1,4	29,85 <sup>a</sup> ±4,99	28,56 <sup>a</sup> ±2,71	27,95 <sup>a</sup> ±3,66	25,05 <sup>a</sup> ±5,62	27,15 <sup>a</sup> ±4,13	30,83 <sup>a</sup> ±3,09
		0	29,85 <sup>a</sup> ±4,99	29,44 <sup>a</sup> ±5,6	26,68 <sup>a</sup> ±5,23	25,04 <sup>a</sup> ±3,09	24,51 <sup>a</sup> ±5,85	25,94 <sup>a</sup> ±4,76
	Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0,2	29,85 <sup>b</sup> ±4,99	27,05 <sup>b</sup> ±2,83	29,24 <sup>b</sup> ±5,08	28,87 <sup>b</sup> ±1,84	30,41 <sup>b</sup> ±2,76	18,03 <sup>a</sup> ±3,63
		0,8	29,85 <sup>a</sup> ±4,99	28,79 <sup>a</sup> ±3,89	31,65 <sup>a</sup> ±6,45	26,32 <sup>a</sup> ±2,53	33,19 <sup>a</sup> ±2,49	29,08 <sup>a</sup> ±4,75
		1,4	29,85 <sup>a</sup> ±4,99	30,85 <sup>a</sup> ±0,88	25,79 <sup>a</sup> ±0,59	28,36 <sup>a</sup> ±2,78	28,18 <sup>a</sup> ±4,79	28,58 <sup>a</sup> ±4,59
		0	29,85 <sup>b</sup> ±4,99	30,41 <sup>b</sup> ±2,39	26,77 <sup>b</sup> ±4,56	22,41 <sup>b</sup> ±4,26	28,35 <sup>b</sup> ±3,28	17,41 <sup>a</sup> ±4,49
		0,2	29,85 <sup>a</sup> ±4,99	25,69 <sup>a</sup> ±6,34	27,25 <sup>a</sup> ±3,37	29,04 <sup>a</sup> ±5,18	31,12 <sup>a</sup> ±3,56	27,81 <sup>a</sup> ±4,43
		Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0,8	29,85 <sup>a</sup> ±4,99	24,73 <sup>a</sup> ±8,71	21,53 <sup>a</sup> ±3,25	28,03 <sup>a</sup> ±4,21	24,97 <sup>a</sup> ±1,47
	1,4		29,85 <sup>a</sup> ±4,99	24,37 <sup>a</sup> ±3,48	25,64 <sup>a</sup> ±2,55	26,02 <sup>a</sup> ±3,20	24,61 <sup>a</sup> ±3,96	29,23 <sup>a</sup> ±5,30

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f:40kHz ve A:%100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f:24kHz ve A:%100).

\*\* Aynı satırda aynı harfle gösterilen sonuçlar Duncan analizine göre P:0,05 seviyesinde aynı kabul edilmektedir.

Tablo 4.8. Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin pH değerine etkisi

Numune/İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak)**							
		0	2	4	6	8	10		
Domates	Elektrik akımı	0,2	4,21 <sup>a</sup> ±0,08	4,22 <sup>a</sup> ±0,09	4,24 <sup>a</sup> ±0,02	4,29 <sup>a</sup> ±0,01	4,25 <sup>a</sup> ±0,01	4,27 <sup>a</sup> ±0,03	
		0,8	4,21 <sup>a</sup> ±0,08	4,30 <sup>ab</sup> ±0,03	4,25 <sup>ab</sup> ±0,02	4,27 <sup>ab</sup> ±0,04	4,29 <sup>ab</sup> ±0,04	4,33 <sup>b</sup> ±0,04	
		1,4	4,21 <sup>a</sup> ±0,08	4,27 <sup>a</sup> ±0,04	4,21 <sup>a</sup> ±0,06	4,23 <sup>a</sup> ±0,02	4,27 <sup>a</sup> ±0,01	4,28 <sup>a</sup> ±0,04	
	Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	4,21 <sup>b</sup> ±0,08	4,11 <sup>a</sup> ±0,01	4,31 <sup>c</sup> ±0,02	4,08 <sup>a</sup> ±0,01	4,14 <sup>ab</sup> ±0,03	4,09 <sup>a</sup> ±0,01	
		0,2	4,21 <sup>b</sup> ±0,08	4,12 <sup>a</sup> ±0,01	4,85 <sup>c</sup> ±0,17	4,00 <sup>a</sup> ±0,00	4,09 <sup>a</sup> ±0,02	4,10 <sup>a</sup> ±0,01	
		0,8	4,21 <sup>bc</sup> ±0,08	4,08 <sup>a</sup> ±0,00	4,17 <sup>abc</sup> ±0,01	4,10 <sup>ab</sup> ±0,01	4,21 <sup>c</sup> ±0,03	4,14 <sup>abc</sup> ±0,06	
	Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	1,4	4,21 <sup>b</sup> ±0,08	4,11 <sup>ab</sup> ±0,04	4,16 <sup>a</sup> ±0,02	4,06 <sup>b</sup> ±0,04	4,17 <sup>b</sup> ±0,00	4,17 <sup>b</sup> ±0,01	
		0	4,21 <sup>a</sup> ±0,08	4,18 <sup>a</sup> ±0,04	4,33 <sup>a</sup> ±0,02	4,24 <sup>a</sup> ±0,04	4,28 <sup>a</sup> ±0,10	4,34 <sup>a</sup> ±0,06	
		0,2	4,21 <sup>a</sup> ±0,08	4,35 <sup>a</sup> ±0,01	4,18 <sup>a</sup> ±0,25	4,31 <sup>a</sup> ±0,01	4,30 <sup>a</sup> ±0,02	4,25 <sup>a</sup> ±0,01	
	Marul	Elektrik akımı	0,8	4,21 <sup>a</sup> ±0,08	4,14 <sup>a</sup> ±0,03	4,14 <sup>a</sup> ±0,02	4,12 <sup>a</sup> ±0,06	4,17 <sup>a</sup> ±0,02	4,20 <sup>a</sup> ±0,02
			1,4	4,21 <sup>a</sup> ±0,08	4,19 <sup>a</sup> ±0,02	4,20 <sup>a</sup> ±0,02	4,14 <sup>a</sup> ±0,04	4,18 <sup>a</sup> ±0,01	4,14 <sup>a</sup> ±0,06
			0,2	5,55 <sup>a</sup> ±0,01	5,46 <sup>b</sup> ±0,02	5,42 <sup>b</sup> ±0,01	5,47 <sup>b</sup> ±0,01	5,53 <sup>a</sup> ±0,01	5,57 <sup>a</sup> ±0,01
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)		0,8	5,55 <sup>bc</sup> ±0,01	5,52 <sup>bc</sup> ±0,03	5,43 <sup>a</sup> ±0,01	5,58 <sup>c</sup> ±0,01	5,50 <sup>b</sup> ±0,00	5,50 <sup>b</sup> ±0,01	
		1,4	5,55 <sup>b</sup> ±0,01	5,44 <sup>a</sup> ±0,01	5,58 <sup>c</sup> ±0,00	5,65 <sup>d</sup> ±0,01	5,72 <sup>e</sup> ±0,01	5,80 <sup>f</sup> ±0,01	
		0	5,55 <sup>a</sup> ±0,01	5,72 <sup>e</sup> ±0,01	5,61 <sup>b</sup> ±0,01	5,66 <sup>c</sup> ±0,01	5,70 <sup>e</sup> ±0,01	5,71 <sup>e</sup> ±0,00	
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)		0,2	5,55 <sup>a</sup> ±0,01	5,72 <sup>c</sup> ±0,01	5,65 <sup>b</sup> ±0,01	5,68 <sup>bca</sup> ±0,00	5,66 <sup>b</sup> ±0,00	5,52 <sup>a</sup> ±0,02	
		0,8	5,55 <sup>e</sup> ±0,01	5,33 <sup>c</sup> ±0,00	5,37 <sup>d</sup> ±0,00	5,22 <sup>b</sup> ±0,00	4,76 <sup>a</sup> ±0,01	5,22 <sup>b</sup> ±0,00	
		1,4	5,55 <sup>c</sup> ±0,01	5,70 <sup>e</sup> ±0,01	5,32 <sup>a</sup> ±0,00	5,65 <sup>d</sup> ±0,01	5,45 <sup>b</sup> ±0,00	5,43 <sup>b</sup> ±0,01	
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)		0	5,55 <sup>e</sup> ±0,01	5,49 <sup>c</sup> ±0,01	5,51 <sup>c</sup> ±0,00	5,44 <sup>b</sup> ±0,01	5,55 <sup>e</sup> ±0,01	5,40 <sup>a</sup> ±0,01	
		0,2	5,55 <sup>c</sup> ±0,01	5,52 <sup>bc</sup> ±0,01	5,54 <sup>c</sup> ±0,01	5,49 <sup>a</sup> ±0,01	5,55 <sup>c</sup> ±0,00	5,50 <sup>ab</sup> ±0,00	
		0,8	5,55 <sup>cd</sup> ±0,01	5,50 <sup>b</sup> ±0,00	5,54 <sup>bb<sup>c</sup></sup> ±0,01	5,50 <sup>b</sup> ±0,00	5,46 <sup>a</sup> ±0,01	5,58 <sup>e</sup> ±0,01	
	1,4	5,55 <sup>b</sup> ±0,01	5,47 <sup>a</sup> ±0,00	5,54 <sup>b</sup> ±0,01	5,49 <sup>a</sup> ±0,01	5,79 <sup>c</sup> ±0,00	5,85 <sup>e</sup> ±0,01		

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f:40kHz ve A:%100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f:24kHz ve A:%100).

\*\* Aynı satırda aynı harfle gösterilen sonuçlar Duncan analizine göre P:0,05 seviyesinde aynı kabul edilmektedir.

Tablo 4.9. Elektrosonikasyon işleminin sebzelerin toplam kuru madde (%) üzerine etkisi

Numune/İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)**							
		0	2	4	6	8	10		
Domates	Elektrik akımı	0,2	4,90 <sup>ab</sup> ±0,03	4.80 <sup>a</sup> ±0.03	4.94 <sup>b</sup> ±0.02	4.94 <sup>b</sup> ±0.02	4.92 <sup>b</sup> ±0.03	4.78 <sup>a</sup> ±0.10	
		0,8	4,90 <sup>a</sup> ±0,03	4.95 <sup>ab</sup> ±0.05	4.93 <sup>ab</sup> ±0.03	4.86 <sup>a</sup> ±0.05	5.12 <sup>bc</sup> ±0.11	5.31 <sup>c</sup> ±0.14	
		1,4	4,90 <sup>a</sup> ±0,03	5.16 <sup>b</sup> ±0.06	5.11 <sup>b</sup> ±0.09	5.21 <sup>b</sup> ±0.08	5.21 <sup>b</sup> ±0.08	5.09 <sup>b</sup> ±0.04	
	Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	4,90 <sup>a</sup> ±0,03	5.16 <sup>b</sup> ±0.09	4.94 <sup>a</sup> ±0.07	4.90 <sup>a</sup> ±0.01	4.82 <sup>a</sup> ±0.04	5.13 <sup>b</sup> ±0.04	
		0,2	4,90 <sup>abc</sup> ±0,03	5.21 <sup>bc</sup> ±0.01	5.44 <sup>c</sup> ±0.64	4.56 <sup>ab</sup> ±0.07	4.47 <sup>a</sup> ±0.08	4.82 <sup>abc</sup> ±0.06	
		0,8	4,90 <sup>b</sup> ±0,03	5.23 <sup>c</sup> ±0.16	5.07 <sup>bc</sup> ±0.10	4.52 <sup>a</sup> ±0.14	5.06 <sup>bc</sup> ±0.08	5.00 <sup>bc</sup> ±0.04	
	Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	1,4	4,90 <sup>a</sup> ±0,03	5.06 <sup>ab</sup> ±0.08	5.07 <sup>ab</sup> ±0.07	5.18 <sup>b</sup> ±0.11	5.11 <sup>ab</sup> ±0.16	5.09 <sup>ab</sup> ±0.14	
		0	4,90 <sup>a</sup> ±0,03	4.91 <sup>a</sup> ±0.15	5.29 <sup>a</sup> ±0.20	5.04 <sup>a</sup> ±0.02	4.70 <sup>a</sup> ±0.70	5.40 <sup>a</sup> ±0.03	
		0,2	4,90 <sup>bc</sup> ±0,03	4.87 <sup>abc</sup> ±0.04	5.05 <sup>d</sup> ±0.04	4.92 <sup>c</sup> ±0.04	4.79 <sup>a</sup> ±0.01	4.82 <sup>ab</sup> ±0.04	
	Marul	Elektrik akımı	0,8	4,90 <sup>b</sup> ±0,03	5.39 <sup>d</sup> ±0.06	5.35 <sup>cd</sup> ±0.08	5.23 <sup>c</sup> ±0.04	4.79 <sup>b</sup> ±0.08	4.58 <sup>a</sup> ±0.05
			1,4	4,90 <sup>b</sup> ±0,03	5.22 <sup>c</sup> ±0.14	4.48 <sup>a</sup> ±0.06	4.88 <sup>b</sup> ±0.05	4.92 <sup>b</sup> ±0.04	4.85 <sup>b</sup> ±0.10
			0,2	5,06 <sup>d</sup> ±0,08	4.88 <sup>cd</sup> ±0,10	4.44 <sup>abc</sup> ±0,17	4.14 <sup>a</sup> ±0,20	4.34 <sup>ab</sup> ±0,30	4.62 <sup>bcd</sup> ±0,08
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)		0,8	5,06 <sup>c</sup> ±0,08	4.29 <sup>b</sup> ±0,10	3.95 <sup>ab</sup> ±0,07	3.90 <sup>a</sup> ±0,16	4.15 <sup>ab</sup> ±0,21	4.21 <sup>ab</sup> ±0,21	
		1,4	5,06 <sup>c</sup> ±0,08	4.07 <sup>a</sup> ±0,12	4.14 <sup>a</sup> ±0,17	4.32 <sup>a</sup> ±0,06	4.65 <sup>a</sup> ±0,13	4.21 <sup>a</sup> ±0,19	
		0	5,06 <sup>d</sup> ±0,08	4.31 <sup>ab</sup> ±0,07	4.22 <sup>a</sup> ±0,06	4.21 <sup>a</sup> ±0,12	4.54 <sup>bc</sup> ±0,15	4.58 <sup>c</sup> ±0,08	
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)		0,2	5,06 <sup>b</sup> ±0,08	4.06 <sup>a</sup> ±0,13	4.25 <sup>a</sup> ±0,16	4.07 <sup>a</sup> ±0,20	4.1 <sup>a</sup> ±0,07	4.03 <sup>a</sup> ±0,13	
		0,8	5,06 <sup>d</sup> ±0,08	4.27 <sup>ab</sup> ±0,07	4.13 <sup>a</sup> ±0,18	4.18 <sup>ab</sup> ±0,09	4.56 <sup>bc</sup> ±0,28	4.67 <sup>c</sup> ±0,12	
		1,4	5,06 <sup>c</sup> ±0,08	4.59 <sup>bc</sup> ±0,33	3.90 <sup>a</sup> ±0,36	4.30 <sup>ab</sup> ±0,25	4.26 <sup>ab</sup> ±0,13	4.32 <sup>ab</sup> ±0,28	
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)		0	5,06 <sup>c</sup> ±0,08	4.47 <sup>b</sup> ±0,32	4.50 <sup>b</sup> ±0,03	4.59 <sup>b</sup> ±0,04	4.03 <sup>a</sup> ±0,13	4.07 <sup>a</sup> ±0,08	
		0,2	5,06 <sup>c</sup> ±0,08	4.02 <sup>a</sup> ±0,14	4.06 <sup>a</sup> ±0,09	4.05 <sup>a</sup> ±0,10	3.98 <sup>a</sup> ±0,04	4.72 <sup>b</sup> ±0,23	
		0,8	5,06 <sup>b</sup> ±0,08	4.49 <sup>a</sup> ±0,18	4.46 <sup>a</sup> ±0,09	4.49 <sup>a</sup> ±0,33	4.31 <sup>a</sup> ±0,09	4.08 <sup>a</sup> ±0,10	
	1,4	5,06 <sup>c</sup> ±0,08	4.06 <sup>ab</sup> ±0,13	4.06 <sup>ab</sup> ±0,08	3.91 <sup>a</sup> ±0,12	3.96 <sup>ab</sup> ±0,06	4.40 <sup>b</sup> ±0,35		

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f:40kHz ve A:%100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f:24kHz ve A:%100).

\*\* Aynı satırda aynı harfle gösterilen sonuçlar Duncan analizine göre P:0,05 seviyesinde aynı kabul edilmektedir.

#### 4.1.6. Kalıntı oksidant değişimi

Bu alışma çerçevesinde kalıntı oksidant değişiminin belirlenmesi için işlemin uygulandığı sıvılarda serbest klor ve hidrojen peroksit değişimleri Tablo 4.10 ve 4.11 sunulmuştur.

Elektrik akımı uygulayarak yapılan mikrobiyal inaktivasyon işlemlerinde işlemin etki mekanizmaları arasında hipokloröz (HOCl) ve hipoklorit (OCl<sup>-</sup>) gibi serbest oksidantların oluşumu önemli bir rol almaktadır. Dezenfektan etkileriyle bu kimyasalların mikrobiyal inaktivasyonda rol almalarından dolayı bu işlemler elektrokimyasal bir metot olarak anılmaktadır (Kerwich vd., 2005; Gil vd., 2009). Hipokloröz (HOCl) ve hipoklorit (OCl<sup>-</sup>) serbest kalıntı klor olarak anılmakta olup işlemlerden sonra işlem sıvılarında serbest klor değişimi Tablo 4.10'de sunulmuştur. Işlemin uygulanmadan önce işlem sıvısında 0,07±0,01mg/L seviyesinde serbest klor tespit edilmiştir. Buna karşın serbest klor seviyesi elektrik akım şiddetiyle birlikte çok önemli seviyede arttığı görülmüştür. Serbest klor seviyesinin artmasında en önemli parametrenin akım şiddeti olduğu görülmektedir. Ultrason işlemleri serbest klor oluşumunu engelleyici bir fonksiyon gösterdiği Tablo 4.10'dan anlaşılmaktadır (P<0,05). Ayrıca domateslere uygulanan işlemler sırasında işlem sıvısında oluşan serbest klor içeriğindeki artışın marullara uygulanan işlemlerde işlem sıvısındaki serbest klor artışından daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bunun sebebinin marulların elektrik akımında domateslere göre kısmi olarak engel teşkil etmiş olabileceği düşünülmektedir.

Domates ve marullara uygulanan işlemlerde, işlem sıvısındaki hidrojen peroksit içeriklerindeki değişim Tablo 4.11'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. Tablo 4.11'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 akımında domateslere göre kısmi olarak engel teşkil etmiş olabileceği düşünülmektedir. Serbest klor içeriği oluşumu ile hidrojen peroksit oluşumu arasında bir ilişkinin olduğu açıktır.

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

Tablo 4.10. İşlem sıvısındaki serbest klor (mg/L) oluşumu

Numune / İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)**						
		0	2	4	6	8	10	
Domatesin İşlem Suyu	Elektrik akımı	0,2	0,1a ±0,0	0,13a ±0,0	1,7b ±0,0	6,5c ±0,3	7,4cd ±0,4	7,8d ±0,1
		0,8	0,1a ±0,0	12,6b ±0,3	25,6c ±0,1	32,5d ±0,7	68,0e ±0,3	102,0f ±0,8
		1,4	0,1a ±0,0	69,0b ±1,8	145,0c ±1,6	211,0d ±2,8	324,0e ±4,2	401,0f ±8,5
	Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	0,1a ±0,0	0,2a ±0,0	0,1a ±0,0	0,1a ±0,0	0,1a ±0,0	0,1a ±0,0
		0,2	0,1a ±0,0	11,5b ±0,1	42,0c ±2,8	62,0d ±2,8	84,0e ±4,2	93,0f ±5,7
		0,8	0,1a ±0,0	107,0b ±2,8	177,0c ±5,7	190,0d ±4,2	210,0e ±8,5	220,0e ±7,1
	Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	1,4	0,1a ±0,0	124,0b ±4,2	201,0c ±4,2	241,0d ±5,7	296,0e ±9,9	312,0e ±7,1
		0	0,1a ±0,0	0,4b ±0,0	0,9c ±0,1	1,3cd ±0,6	2,32d ±0,6	3,1d ±0,4
		0,2	0,1a ±0,0	7,0b ±0,7	16,9c ±0,8	24,0d ±1,1	35,0e ±1,4	53,0f ±2,8
		0,8	0,1a ±0,0	13,5b ±0,8	55,0c ±2,8	111,0d ±2,8	183,0e ±5,7	210,0f ±4,2
		1,4	0,1a ±0,0	21,0b ±1,4	58,0c ±1,4	130,0d ±2,8	320,0e ±8,5	330,0e ±7,1
		0,2	0,1a ±0,0	6,7b ±0,3	37,0c ±2,8	45,0d ±1,4	60,0e ±2,8	84,0f ±4,2
Marulun İşlem Suyu	Elektrik akımı	0,8	0,1a ±0,0	39,0b ±4,2	141,0c ±4,2	139,0d ±7,1	167,0e ±8,5	250,0f ±5,7
		1,4	0,1a ±0,0	59,0b ±4,2	155,0c ±5,7	196,0 ±7,1	260,0 ±5,7	312,0 ±4,2
		0	0,1a ±0,0	0,2ab ±0,1	0,3b ±0,1	0,2b ±0,0	0,2b ±0,0	0,4b ±0,1
	Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0,2	0,1a ±0,0	15,0b ±1,4	26,0c ±2,1	34,0d ±1,4	48,0e ±2,8	62,0f ±2,8
		0,8	0,1a ±0,0	49,0b ±4,2	121,0c ±2,8	162,0d ±2,8	196,0e ±4,2	261,0f ±7,1
		1,4	0,1a ±0,0	69,0b ±2,8	136,0c ±2,8	230,0d ±4,2	296,0e ±7,1	320,0f ±8,5
	Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0	0,1a ±0,0	0,8b ±0,0	1,7c ±0,1	2,9d ±0,1	5,4e ±0,3	6,4e ±0,4
		0,2	0,1a ±0,0	1,7b ±0,1	11,0c ±0,7	21,0de ±0,8	18,0d ±2,1	24,0e ±2,3
		0,8	0,1a ±0,0	17,0b ±0,8	17,0b ±0,7	24,0c ±1,4	32,0d ±2,8	37,0d ±2,8
		1,4	0,1a ±0,0	20,0b ±1,4	51,0c ±2,8	101,0d ±1,4	130,0e ±2,8	132,0d ±2,8

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f:40kHz ve A:%100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f:24kHz ve A:%100).

\*\* Aynı satırda aynı harfle gösterilen sonuçlar Duncan analizine göre P:0,05 seviyesinde aynı kabul edilmektedir.

Tablo 4.11. İşlem sıvısındaki hidrojen peroksit (mg/L) oluşumu

Numune / İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)**							
		0	2	4	6	8	10		
Domatesin İşlem Suyu	Elektrik akımı	0,2	0.0a ±0.0	0.9b ±0.1	3.5c ±0.7	5.5d ±0.7	12.8e ±0.4	16.5f ±0.7	
		0,8	0.0a ±0.0	8.5b ±0.7±	13.0c ±1.4	19.0d ±1.4	27.5e ±3.5	45.0f ±7.1	
		1,4	0.0a ±0.0	11.0b ±1.4	19.0c ±1.4	29.0d ±1.4	55.0e ±7.1	75.0f ±7.1	
	Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	0.0a ±0.0	0.0a ±0.0	0.0a ±0.0	0.0a ±0.0	0.0a ±0.0	0.0a ±0.0	
		0,2	0.0a ±0.0	1.0b ±0.0	4.5c ±0.7	9.0d ±1.4	15.0e ±1.4	20.0f ±0.0	
		0,8	0.0a ±0.0	11.0b ±1.4	16.5c ±2.1	23.5d ±2.1	45.0e ±7.1	75.0f ±7.1	
		1,4	0.0a ±0.0	16.5b ±2.1	27.5c ±3.5	55.0d ±7.1	105.0e ±7.1	140.0f ±14.1	
		0	0.0a ±0.0	0.0a ±0.0	0.0a ±0.0	0.0a ±0.0	0.0a ±0.0	0.0a ±0.0	
		0,2	0.0a ±0.0	1.5b ±0.7	3.5c ±0.7	11.0d ±1.4	15.5e ±0.7	22.0f ±2.8	
	Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0,8	0.0a ±0.0	6.5b ±2.1	11.0c ±1.4	17.5d ±3.5	21.0d ±1.4	30.0e ±0.0	
		1,4	0.0a ±0.0	9.0b ±1.4	11.0b ±1.4	27.5c ±3.5	35.0c ±7.1	55.0d ±7.1	
		0,2	0.0a ±0.0	0.7b ±0.2	3.3c ±0.4	3.6c ±0.2	8.5d ±0.7	12.5e ±0.4	
	Marulun İşlem Suyu	Elektrik akımı	0,8	0.0a ±0.0	6,5b ±0,7	7,5b ±0,7	10,5c ±2,1	32,5d ±3,5	37,5e ±3,5
			1,4	0.0a ±0.0	8,5a ±0,7	16,5b ±2,1	23,5c ±0,7	40,0d ±0,0	45,0e ±0,7
			0	0.0a ±0.0	0.0a ±0.0	0.0a ±0.0	0.0a ±0.0	0.0a ±0.0	0.0a ±0.0
		Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0,2	0.0a ±0.0	0,3a ±0,7	3,5b ±0,7	5,5c ±0,7	7,5d ±0,7	7,5d ±0,7
			0,8	0.0a ±0.0	7,5b ±0,7	9,5c ±0,7	24,5d ±0,7	30,0e ±0,0	35,0f ±7,1
			1,4	0.0a ±0.0	16,0b ±1,4	19,0c ±1,4	30,0d ±0,0	65,0e ±7,1	80,0f ±0,0
0			0.0a ±0.0	0.0a ±0.0	0.0a ±0.0	0.0a ±0.0	0.0a ±0.0	0.0a ±0.0	
0,2			0.0a ±0.0	0,2b ±0.0	3,5c ±0,7	3,5c ±0,7	6,50d ±0.7	7,3e ±0,4	
0,8			0.0a ±0.0	3,3b ±0,4	8,3c ±0,4	7,5c ±0,7	8,5c ±0,7	12,0d ±1,4	
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)		1,4	0.0a ±0.0	1,3b ±0,4	8,5c ±0,7	7,5c ±0,7	21,5d ±2,1	24,5e ±0,7	

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f:40kHz ve A:%100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f:24kHz ve A:%100).

\*\* Aynı satırda aynı harfle gösterilen sonuçlar Duncan analizine göre P:0,05 seviyesinde aynı kabul edilmektedir.

#### 4.1.7. Cihazın harcadığı güç seviyesinin belirlenmesi

Kullanılan işlemlerin harcamış olduğu enerji seviyesini Tablo 4.12’te sunulmuştur. Tablodan da anlaşılacağı üzere elektrosonikasyon işlemleri elektrik akımına göre daha fazla enerjiye ihtiyaç duymuş ve maliyetleri oldukça artırmıştır.

Tablo 4.12. Kullanılan sistemlerin harcadığı güç\*

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

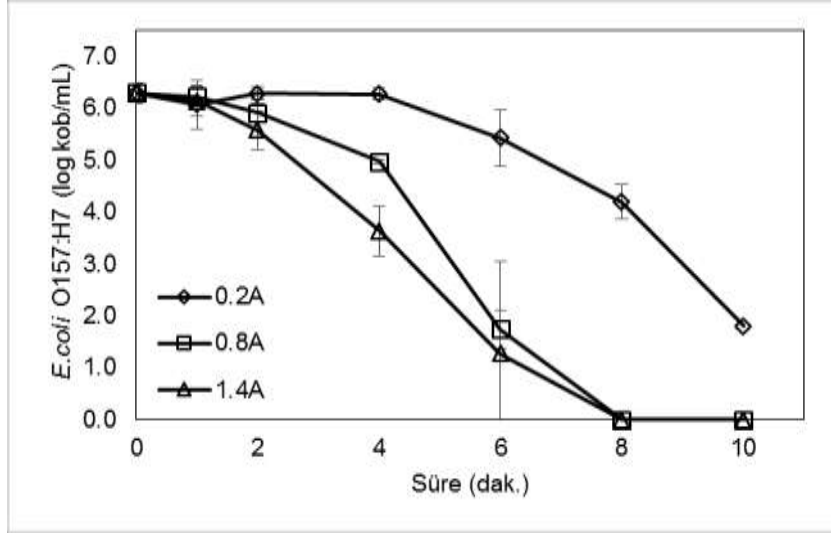
\* Bütün işlemlerde soğutmalı sirkülasyonlu su banyosu kullanılmıştır.



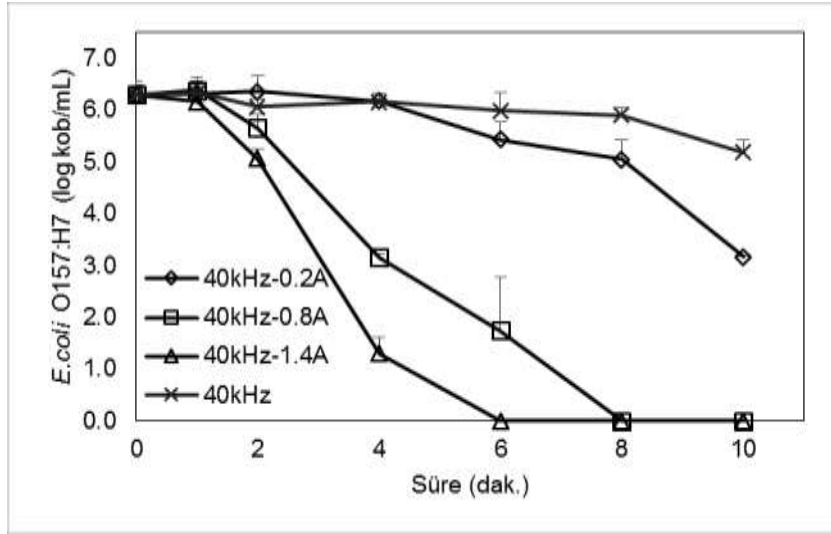
## 4.2. Kontamine edilmiş patojen mikroorganizmaların inaktivasyonu üzerine elektrosonikasyon işleminin etkisi (II. İş paketi)

### 4.2.1. Model sistemde patojenlerin inaktivasyonu

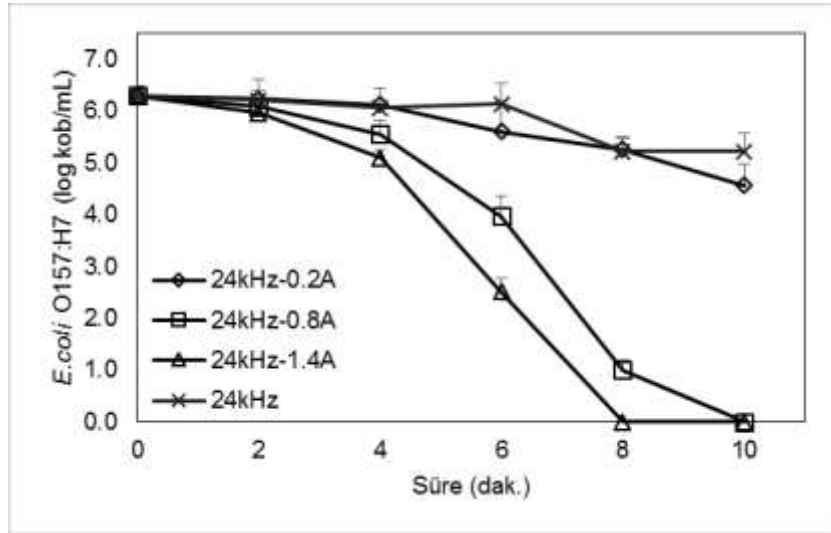
Model sistemde 3 farklı patojen mikroorganizmaya farklı işlemler uygulanmıştır. Bunlar düşük şiddette elektrik akımı, ultrases ve elektrosonikasyon işlemleridir.  $6,00 \pm 0,70$  ile  $6,48 \pm 0,55$  log kob/mL aralığında patojen inoküle edilen bu model sistemlere işlemler 1, 2, 4, 6, 8 ve 10 dakika süreyle uygulanmıştır. Şekil 4.1'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 dak. içerisinde *Escherichia coli* O157:H7 tespit edilememiştir ( $<1$  log kob/gr). Birinci elektrosonikasyonda 0,8 A'de 8. dak. *Escherichia coli* O157:H7 tespit edilemezken, 0,2 A'de sadece  $3,14 \pm 0,02$  log kob/g bir azalma gözlemlenmiştir. İkinci elektrosonikasyon metodunda (Ultrasonik İşlemci + Düşük Şiddet Elektrik Akımı) ise yine 1,4 A'de 8 dak. 0,8 A'de ise 10 dak.'da *Escherichia coli* O157:H7 tespit edilemezken, 0,2 A'de birinci elektrosonikasyonun yaklaşık yarısı kadar bir inaktivasyon meydana gelmiştir. Bu uygulamalar tek başına uygulandığında ise en büyük etkiyi elektrik akımı göstermiştir. Sadece ultrasonik işlemci ve sadece ultrasonik su banyosu  $1,12 \pm 0,1$  ile  $1,07 \pm 0,08$  log kob/g aralığında bir inaktivasyon sağlamıştır. Sonuç olarak Şekil 4.1'e baktığımızda elektrik akımının çok belirgin bir şekilde inaktivasyon meydana getirdiği görülmüştür.



(a)



(b)



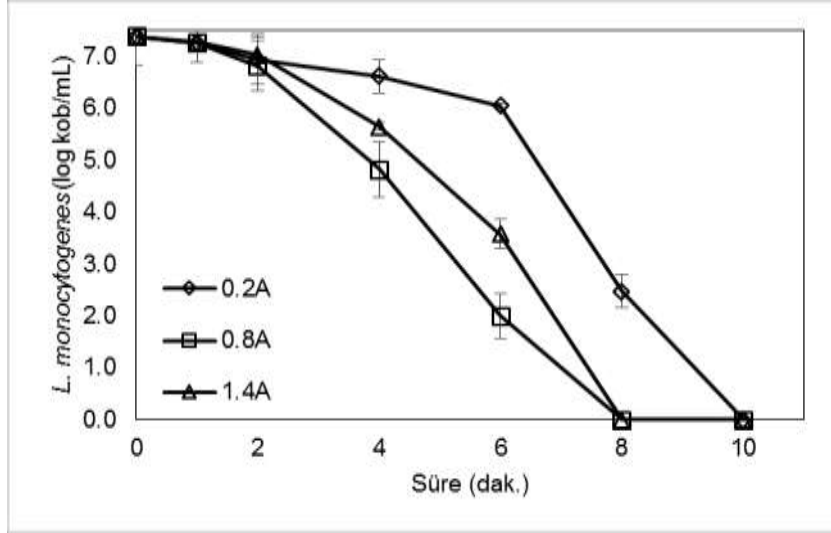
(c)

Şekil 4.9. Model sistemde elektrik akımı ve elektrosonikasyonla *E. coli* OH157:H7 inaktivasyonu

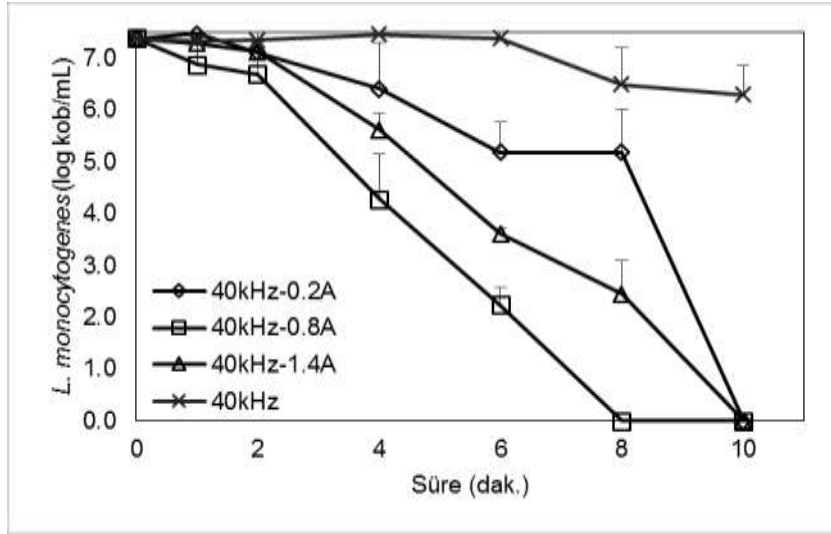
Şekil 4.10'de ise *L. monocytogenes*'in inaktivasyon grafikleri verilmiştir. Bu model sistemde patojen mikroorganizma  $7,39 \pm 0,55$  log kob/mL olarak belirlenmiştir. Yine en kuvvetli etkiyi 800 ve 1,4 A seviyesindeki elektrik akımı göstermiştir. ES1 ve ES2 sadece elektrik akımı gibi yüksek düzeyde bir inaktivasyon gerçekleştirirken sadece ultrases *Escherichia coli* O157:H7'de olduğu gibi  $1,09 \pm 0,45$  log kob/g inaktivasyon gerçekleştirmiştir. Ayrıca *L. monocytogenes*'de 0,2 A'de bile (10 dak) *E. coli*'den farklı olarak tamamen bir inaktivasyon gerçekleşmiştir.

Şekil 4.11'te ise *Staphylococcus aureus*'a ait inaktivasyon grafikleri verilmiştir. *S. aureus* diğer patojenlere nazaran daha hassas olduğu için ES1'de en yüksek elektrik akımında 4 dak.'da inaktivasyonu sağlanmıştır. ES2'de ise 8. dakikadan itibaren tamamen inaktivasyon sağlanırken sadece elektrik akımında ise 6. dakikadan itibaren tam olarak bir inaktivasyon gerçekleşmiştir. Yine ES2'de de 0,2 A'de tam olarak bir inaktivasyon gerçekleşmiştir.

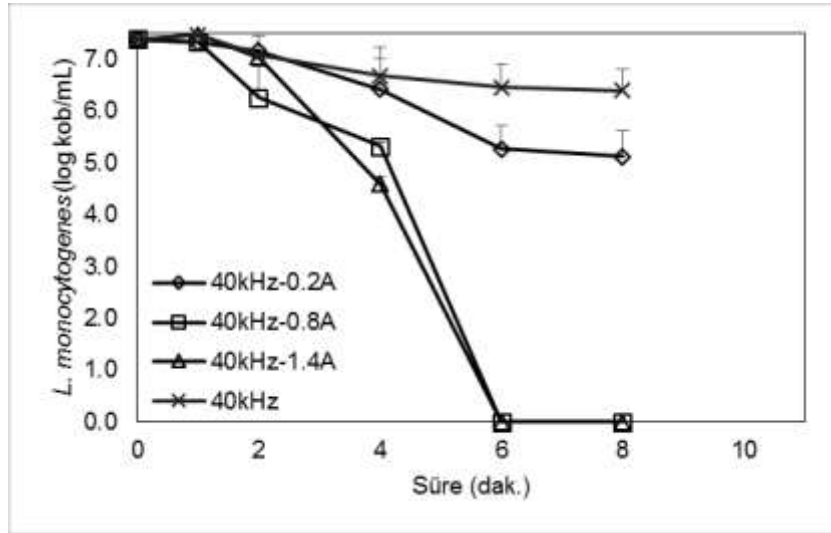
Bu iki yöntemin kombine olarak kullanılması (elektrosonikasyon) durumunda öncelikli olarak sebzelere kontamine olmuş mikroorganizmaların inaktive olması beklenmekteydi. Çünkü sadece doğrusal elektriksel akımı uygulaması bile tuzlu sudaki patojenleri 4 log'dan 7 log'a kadar çeşitli seviyelerde inaktive ettiği bir çok çalışmada rapor edilmiştir (Park vd., 2003; Kerwich vd., 2005; Birbir vd., 2009; Mahapatra vd., 2011). Bununla birlikte ultrasesin de mikroorganizmalar üzerine inaktive edici bir etkisi olduğu bilinmektedir (Mason vd., 2003; Valero vd., 2007; Mason vd., 2005). İki işlemin kombine edilmesiyle güçlü bir inaktivasyonun olması beklenmekteydi. Fakat beklenen etkinin ortaya çıkmadığı görülmektedir. İşlemlerin etki mekanizması üzerinden bu sonucun sebepleri analiz edilmesi durumunda elektrik akımının oksidant oluşumuyla güçlü bir ilişkisi olduğu çeşitli çalışmalarda daha önceden vurgulanmıştı (Kerwick vd., 2005). Ultrason işleminin de oluşturduğu akustik kaviteasyona bağlı olarak bir etki oluşturduğu görülmektedir. Proje çerçevesinde elde edilen mikrobiyal dekontaminasyon sonuçlarının çoğunlukla ve güçlü bir şekilde elektrik akımıyla ilişkilidir. Fakat elektrik akımı ve elektrosonikasyon işlemlerinin oluşturduğu oksidant bileşikler incelendiğinde (Tablo 4.10 ve 4.11) ultrasesin oksidant oluşumunu engellediği ve dolayısıyla ultrasonun çoğunlukla antagonistik etkiye sebep olduğu görülebilir.



(a)

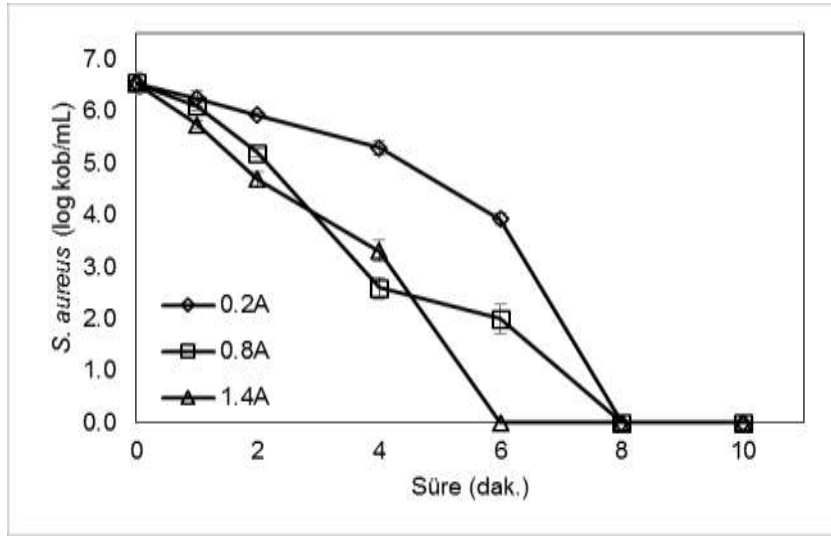


(b)

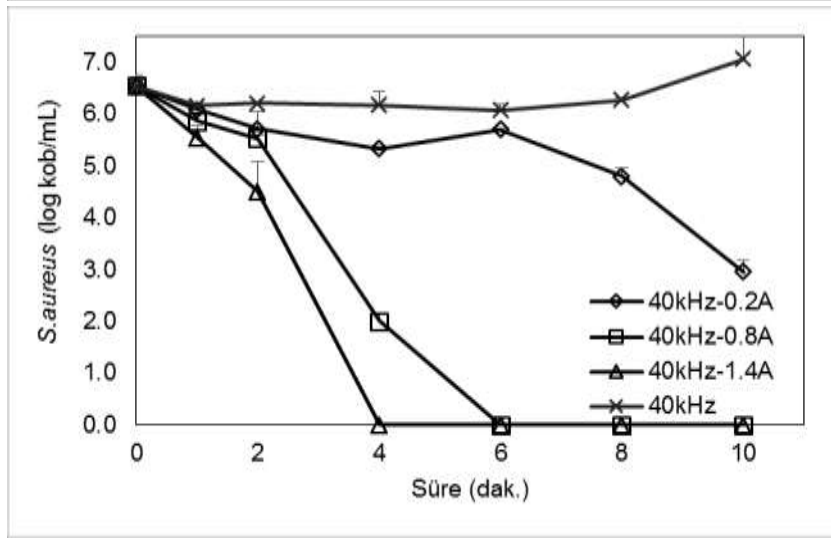


(c)

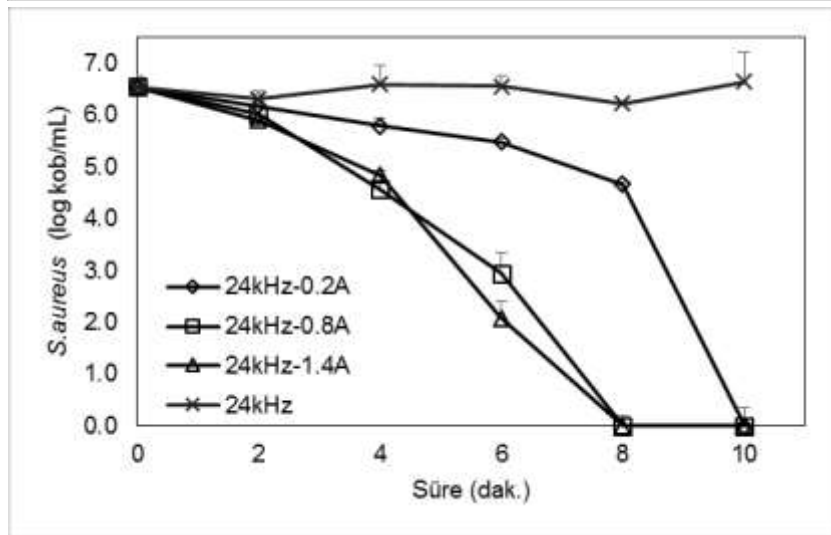
Şekil 4.10. Model sistemde elektrik akımı ve elektrosonikasyonla *L. monocytogenes* inaktivasyonu



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.11. Model sistemde elektrik akımı ve elektrosonikasyonla *S. aureus* inaktivasyonu

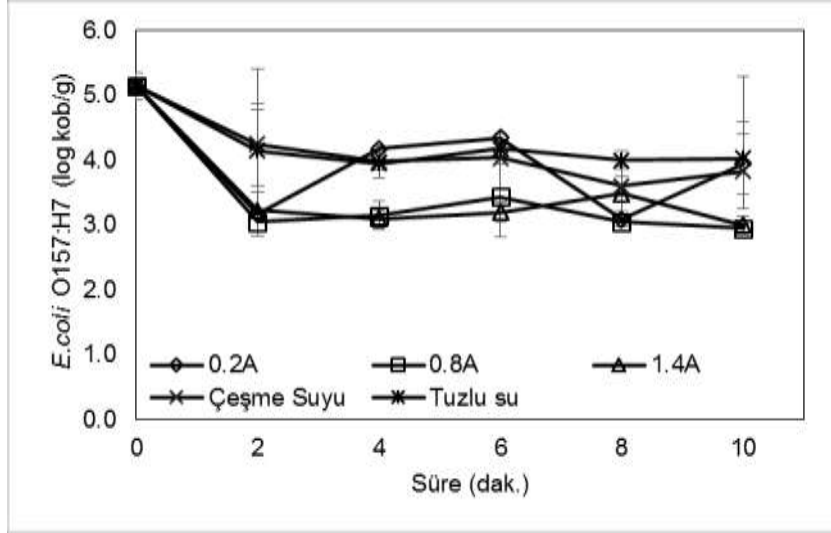
#### 4.2.2. Kontamine edilen domateslerdeki patojenlerin inaktivasyonu

Elektrik akımı ve elektrosonikasyon işlemlerinin *E.coli* O157:H7, *L. monocytogenes* ve *S.aureus* inaktivasyonu üzerine etkileri model sistemden sonra kontamine edilmiş domates örneklerinde incelenmiş olup sonuçlar sırasıyla Şekil 4.12-14'de gösterilmiştir.

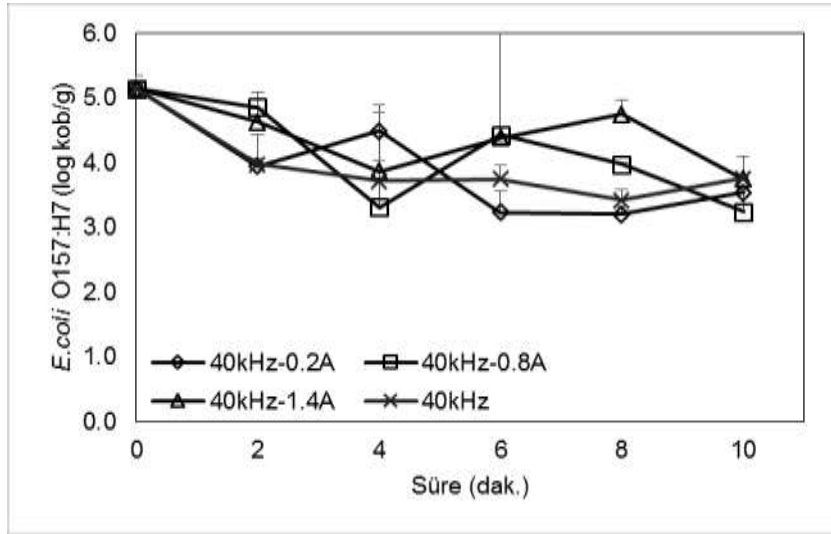
Patojen kontamine edilmiş domatesler üzerine elektrik akımı ve elektrosonikasyon işlemlerindeki patojen dekontaminasyonu model sistemdeki gibi yüksek seviyelerde olmamıştır. Bununla birlikte bu patojenlerin dekontaminasyonu, uygulanan işleme bağlı olarak 2-3 log'a kadar çıkabildiği tespit edilmiştir. Elektrosonikasyon olarak adlandırılan ultrases ve elektrik akımı kombinasyonunda ultrases işleminin elektrik akımına önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla meydana gelen bu dekontaminasyonun elektrik akımına bağlı olarak oluşan serbest klor ve hidrojen peroksit bağı olarak gerçekleştiği düşünülmektedir. Aynı şekilde Gonzalez vd. (2004) farklı klorin (200ppm) ile taze kesilmiş salataları yıkayarak 5,25-log seviyesinde *E.coli* OH157:H7 patojenlerinin dekontamine edilebildiğini rapor etmiştir.

Model sistemde daha açık olarak ortaya konulmakla birlikte domatese kontamine edilen patojenlere uygulanan işlemlerde de görülmektedir ki elektrik akımının artması mikrobiyal dekontaminasyonu artırmaktadır. Tablo 4.10'ten de görüleceği üzere elektrik akımının şiddetine bağlı olarak ortamdaki suyun serbest klor içeriğini artırdığı gözlemlenmektedir. Aynı şekilde Tablo 4.11'den elektrik akımının şiddetine bağlı olarak hidrojen peroksit seviyesinin arttığı görülmektedir. Sonuç olarak; düşük şiddet elektrik akımının sebzelerde mikrobiyal dekontaminasyonda önemli bir işlem olarak kullanılabilme potansiyelinin olduğu fakat ultrases işleminin elektrik akımının kombinasyonuna dayanan elektrosonikasyon işleminde ise ultrasese bağlı etkinin sınırlı olduğu ifade edilebilir.

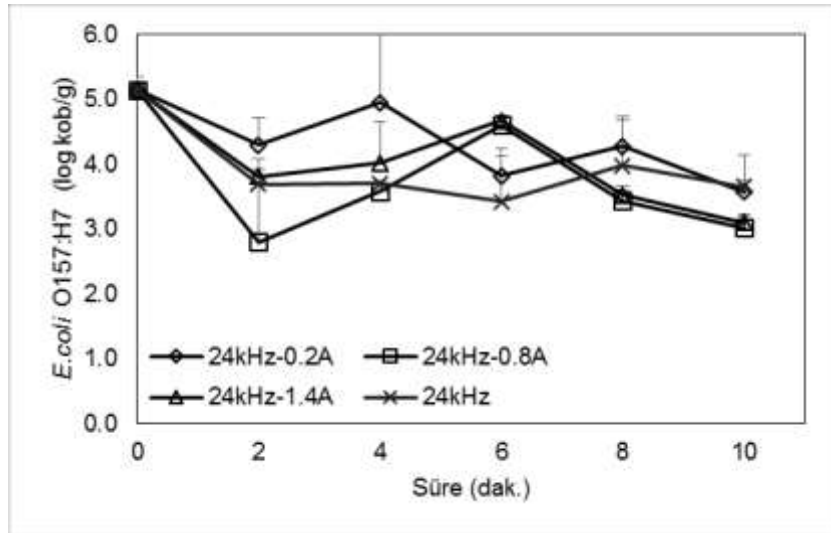
Bu proje çalışmasında ultrasonun tek başına yeterli bir dekontaminasyon yöntemi olmadığı ortaya çıkmıştır. Günümüzde yapılan çalışmalarda da ultrases işleminin mikroorganizmalar üzerine etkinliğinin yeterli nedeniyle ısı, basınç, UV, ozon gibi tekniklerle çeşitli kombinasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan yöntemlerden birisi olan termosonikasyon işlemi, ultrases işleminin 50°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda uygulanması işlemidir (Evrendilek vd. 2010). Aynı şekilde yüksek basınç ve UV ile ultrases işleminin kombinasyonlarında kısmi olarak sinerji elde edilebilmiştir (Weiss vd. 2011; Başlar, 2011). 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 projede istenen bazı amaçlara ulaşılamamıştır.



(a)

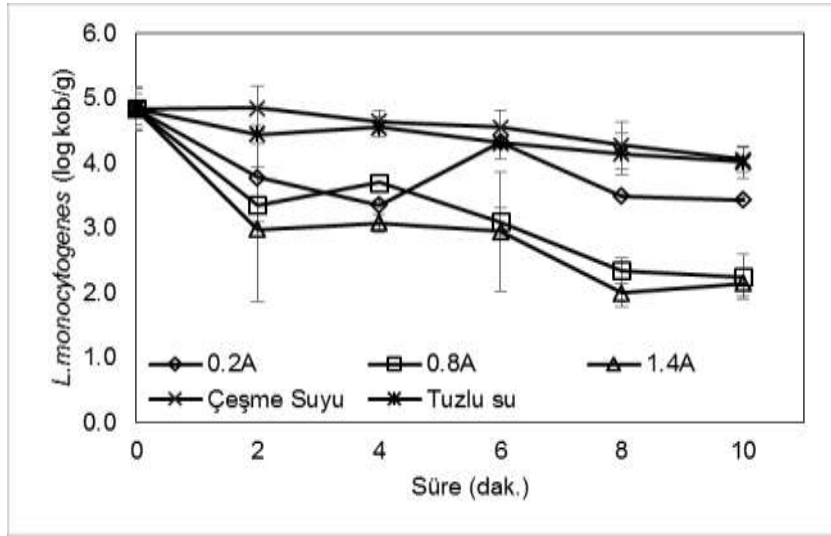


(b)

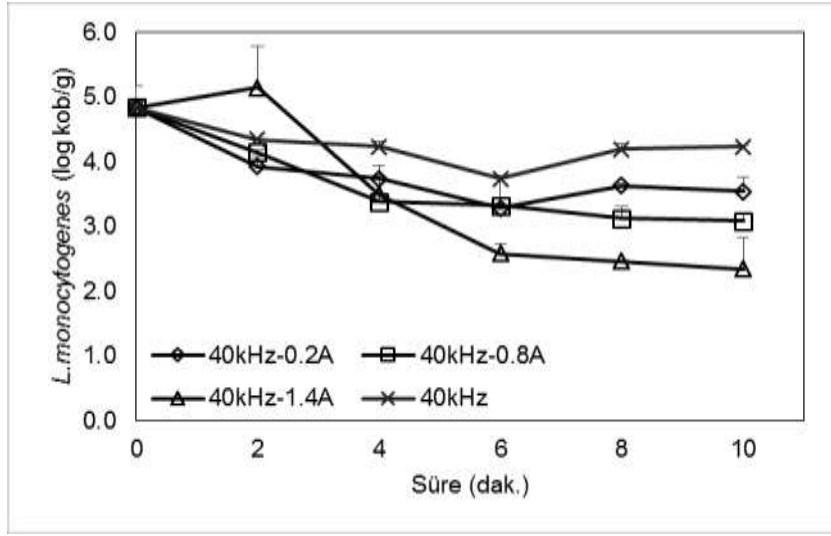


(c)

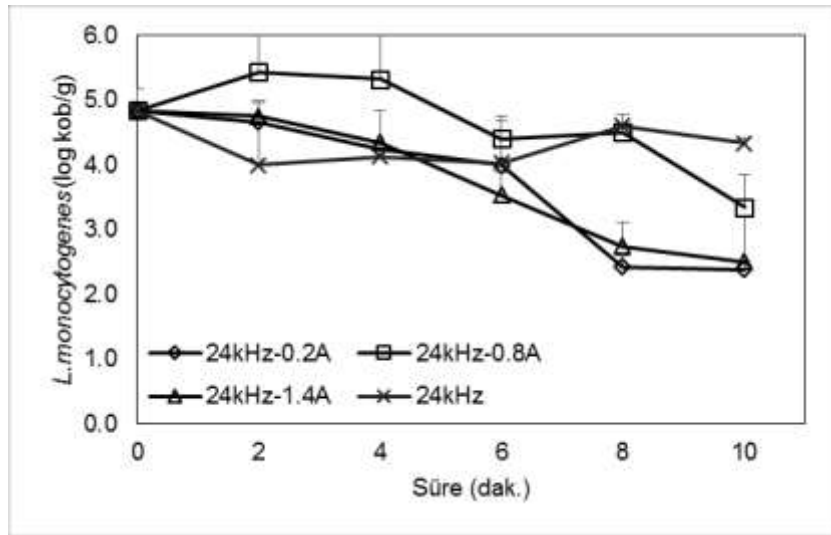
Şekil 4.12. Domatese inoküle edilen *E.coli* O157:H7'nin elektrik akımı ve elektrosonikasyonla dekontaminasyonu



(a)



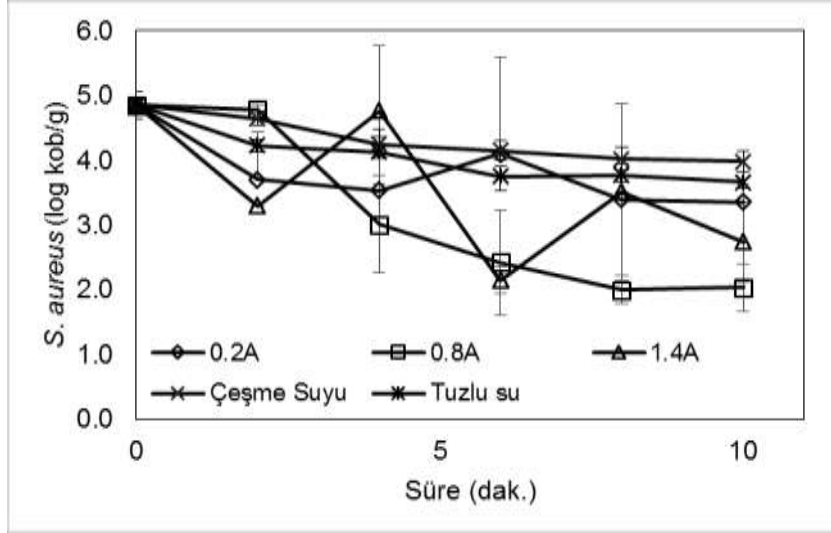
(b)



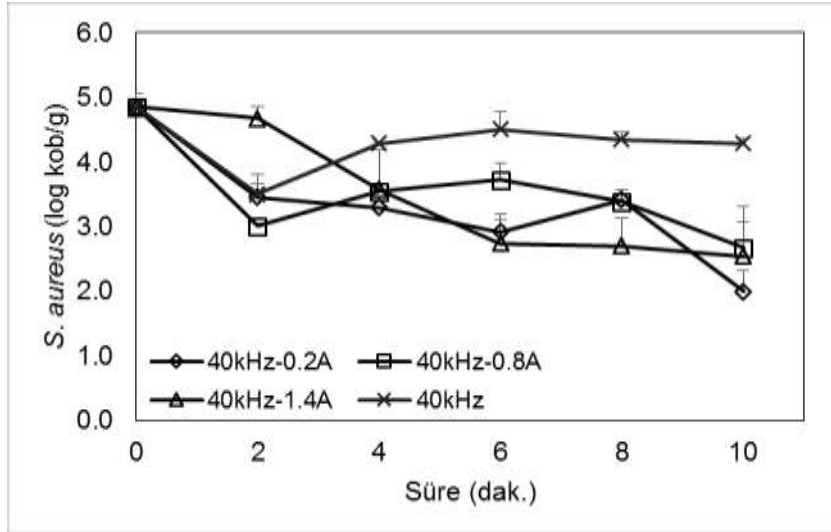
(c)

Şekil 4.13. Domatese inoküle edilen *L. monocytogenes*'in elektrik akımı ve elektrosonikasyonla dekontaminasyonu

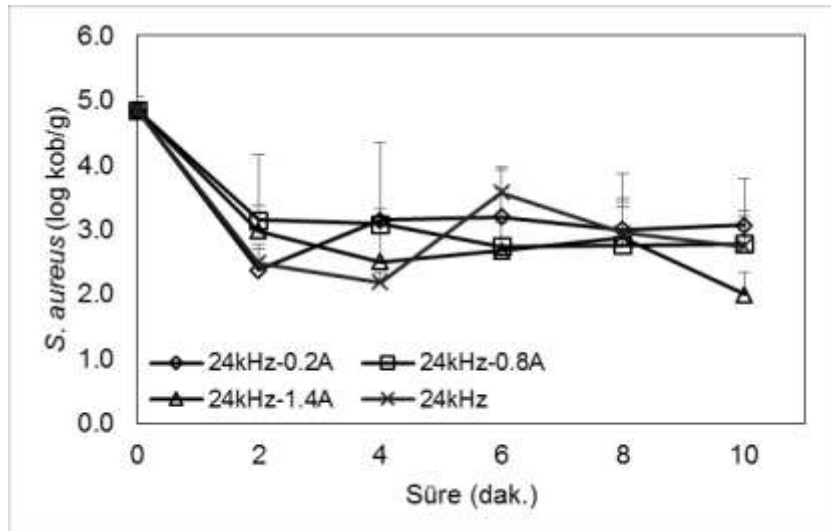




(a)



(b)



(c)

Şekil 4.14. Domatese inoküle edilen *S. aureus*'nin elektrik akımı ve elektrosonikasyonla dekontaminasyonu

### 4.2.3. Kontamine edilen marullardaki patojenlerin dekontaminasyonu

Marullara inoküle edilen *S. aureus*, *L. monocytogenes* ve *E.coli* O157:H7 mikroorganizmalarının başlangıç yük seviyeleri sırasıyla  $6.00 \pm 0.70$ ,  $6,36 \pm 0,31$  ve  $6.48 \pm 0,55$  log kob/g olarak belirlenmiştir. Bu marullara inoküle edilen bu mikroorganizmaların elektrosonikasyon işlemi sonrası kalan mikroorganizma seviyeleri logaritmik olarak sırasıyla Şekil 4.15, 4.16 ve 4.17'da rapor edilmektedir. Şekillerden anlaşılmaktadır ki 10 dakikalık sadece ultrasonik su banyosu uygulamasıyla mikroorganizma yükleri sırasıyla  $4.91 \pm 0.04$ ,  $4.72 \pm 0.71$  ve  $4.53 \pm 0.20$  seviyelerine kadar indirilebilmiştir. 10 dakikalık sadece ultrasonik işlemci uygulamasında ise bu seviyeler sırasıyla  $4.70 \pm 0.79$ ,  $4.52 \pm 0.79$  ve  $4.66 \pm 0.79$  seviyelerine kadar düşürülmüştür. Şekil 4.15.b grafiğinden anlaşılacağı üzere sadece USB kullanımının ilk dakikasında keskin bir düşüş olduğu gözlemlenirken daha sonra dekontaminasyon hızı azalarak devam etmektedir. İlk dakikada  $6.48$  log kob/g'dan  $5.15$  log kob/g'a bir düşüş olduktan sonra 2. dakikada  $4.86$  log kob/g'a düşmüş ve işlem sonrasında (10. dakika)  $4,53 \pm 0,20$  log kob/g'a kadar düşmüştür. Elektrik akımıyla birlikte USB kullanıldığında 0,2 A' de ilk dakikada  $4,78 \pm 0,16$  log kob/g'a düşerken sonraki dakikalarda yine fazla bir değişiklik gözlemlenmeyip 10. dakikada  $4,02 \pm 0,48$  log kob/g'a kadar düşerek  $2,45 \pm 0,36$  log kob/g bir inaktivasyon gerçekleşmiştir. 0,8 A' de ise ilk dakikada  $4,90 \pm 1,16$  log kob/g'a inerken 10. dakikada  $4,09 \pm 0,15$  log kob/g'a düşerek 0,2 A ile aynı oranda bir inaktivasyon gerçekleştirdiği görülmüştür. 1,4 A' de ise ilk dakikada  $5,09 \pm 0,41$  log kob/g'a düşerken 4. dakikadan itibaren düzenli bir düşüş göstererek 10. dakikada  $3,57 \pm 2,25$  log kob/g'a düşerek diğer iki elektrik akımından 0,5 log kob/g fazla bir inaktivasyon gerçekleştirmiştir.

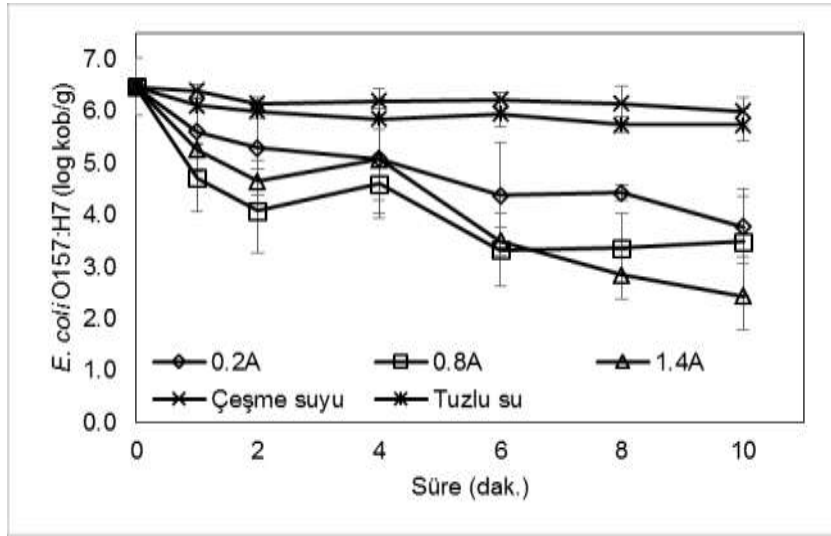
Şekil 4.15.a'da sadece elektrik akımı uygulandığında 0,2 A' de ilk dakikada  $5,61 \pm 0,78$  log kob/g'a daha sonra yaklaşık 0,25 log'luk bir düşüşle 8. dakikaya kadar gelmiş daha sonra 10. dakikada bu oranın iki katı bir düşüş yaşanarak toplamda  $2,70$  log kob/g inaktivasyon meydana gelmiştir. 0,8 A' de ilk dakikada  $4,72 \pm 0,65$  seviyesine inerken 2. dakikada  $4,08 \pm 0,81$  seviyesine düşmüş, 4. Dakikada ise  $4,61 \pm 0,32$  seviyesinde bir mikroorganizma yükü kalmıştır. Ancak 4. dakikadan itibaren önemli bir değişim olmamış ve 10. dakikada  $3,49 \pm 1,03$  seviyesine kadar düşebilmiştir. 1,4 A' de ise ilk dakikadaki etkisi diğer elektrik akımlarının aksine  $5,26 \pm 0,09$  seviyesinde olurken 4. dakikada  $5,08 \pm 1,04$  seviyesinde, 6. dakikada ise düzenli bir azalışla  $3.50 \pm 0,27$  seviyesine düşüp, 8. dakikada  $2,85 \pm 0,47$  ve 10. dakikada  $2.43 \pm 0,64$  seviyesine düşerek  $4,05$  log kob/g'lık bir inaktivasyon meydana gelmiştir.

Şekil 4.15.c'da ES2 işleminde ise sırasıyla 1 dak. elektrik 1 dak. ultrasonik işlemci uygulaması yapılmıştır. Ultrasonik su banyosuyla elektrik akımı birlikte uygulanmasına rağmen ultrasonik işlemciyle elektrik akımının birlikte kullanılması mümkün olamamıştır. Ayrıca elektriksel ünitenin minimum işlem süresi 1 dakikadan kısa olmadığı için uygulamalara 2. dakikadan itibaren

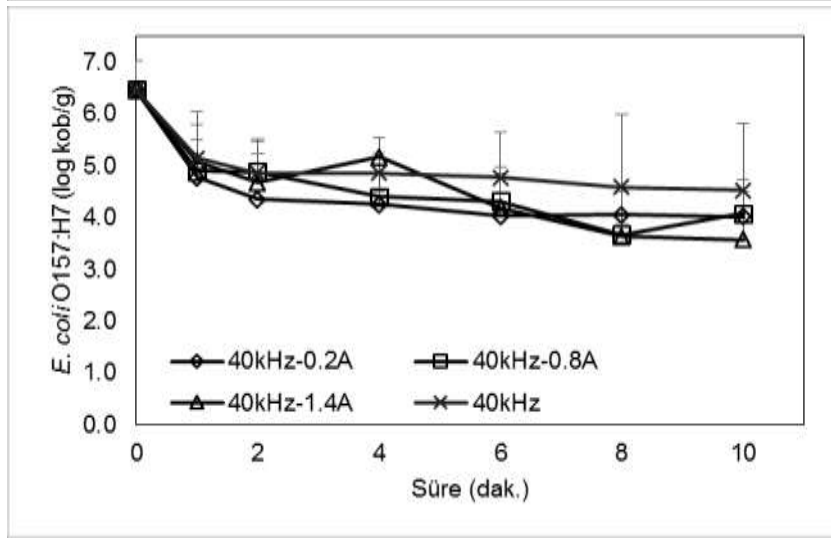
başlanmıştır. Sadece ultrasonik işlemci uygulandığında 2. dakikada  $4,86\pm 1,36$  seviyesine inerek bundan sonraki dakikalarda çok küçük inaktivasyonlar meydana gelmiştir. 10. dakika sonunda  $4,66\pm 0,79$  seviyesine kadar düşürülebilmektedir. Burada 2. dakikada inaktivasyonun büyük bir oranının gerçekleşerek sonraki dakikalarda değişimin hemen hemen hiç olmayışı inaktivasyondan ziyade ultrasenin titreşiminden dolayı patojenlere 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  $4,49\pm 0,09$  seviyesine düşerken 4. dakikada düşüş devam ederek  $4,38\pm 0,00$  seviyesine 6. dakikada  $4,72\pm 0,67$  seviyesine çıkmış, 8. dakikada tekrar  $4,58\pm 0,54$  seviyesine düşerek 10. dakikada  $4,82\pm 1,05$  seviyesine çıkıp işlem bitmiştir. Buradaki değişimin sebebi her 2 dakikalık işlem sonucunda elektrik akımının önce inaktivasyon gerçekleştirmesi sonra işlemcinin sudaki patojenleri tekrar marula bulaştırmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Çünkü yukarıdaki sadece ultrasonik işlemci uygulamasında ilk önce bir inaktivasyon görüldüğü sonra ise değişim gözlenmediği görülmüştür. 0,8 A' de 2. dakikada  $4,22\pm 0,19$  seviyesine inip daha sonraki dakikalarda artışlar göstererek  $4,82\pm 0,46$  seviyesine çıkmıştır. 1,4 A' de 2. dakikada 0,8 A' e göre  $5,36\pm 0,56$  seviyesine inmesine rağmen daha sonra dakikalarda 0,8 A'in aksine bir azalış göstererek  $3,33\pm 0,96$  seviyesine kadar inmiştir. 200 ve 0,8 A' de yukarıda savunulan tezin gerçekleşme olasılığı olmasına rağmen 1,4 A' de bu görüş yanıt bulamamıştır. Bu etkinin elektrik akımının daha güçlü olmasından ileri geldiği düşünülmektedir. 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 azalma görülmüştür.

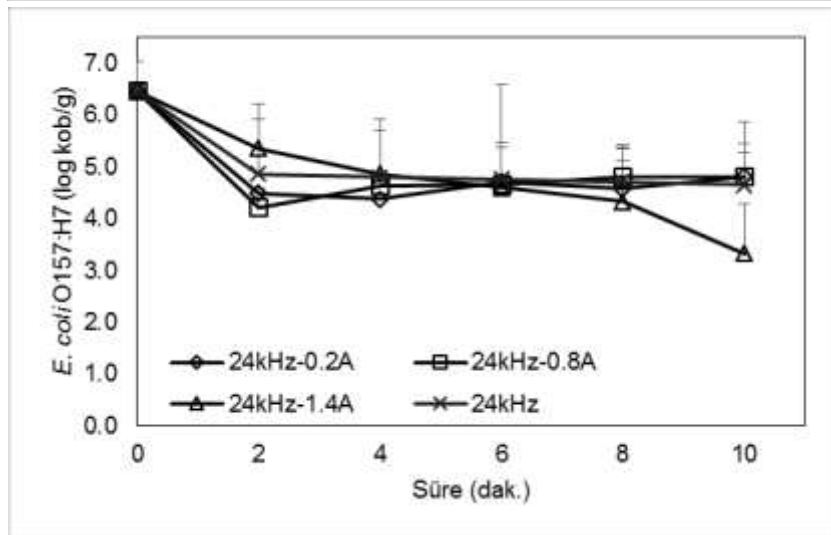
Bu proje kapsamında elde edilen *E.coli* O157:H7 patojen dekontaminasyonu Gonzalez vd. (2004) tarafından 200 ppm klorin ile taze kesilmiş salataların yıkanmasıyla elde edilen 5,25-log seviyesinde dekontaminasyona oranla daha az gerçekleştiği görülmektedir. Allende vd. (2008) musluk suyu ile havuçlara dekontamine edilmiş *E.coli* O157:H7 patojen dekontamine edilemediğini ancak 100 ppm asitlendirilmiş klorit çözeltisiyle yıkamanın ise bu patojenleri 2 log dekontamine edebildiğini rapor etmiştir.



(a)



(b)



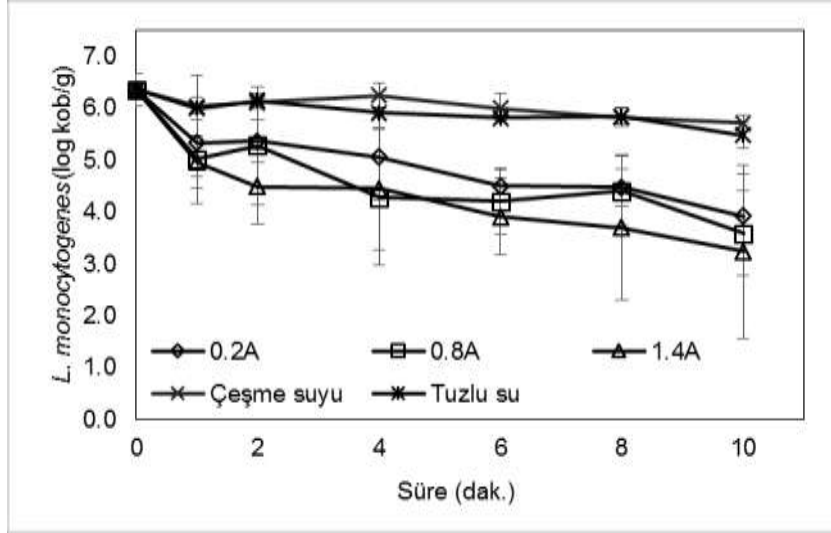
(c)

Şekil 4.15. Marullara inoküle edilen *E.coli* O157:H7'nin elektrik akımı ve elektrosonikasyonla dekontaminasyonu

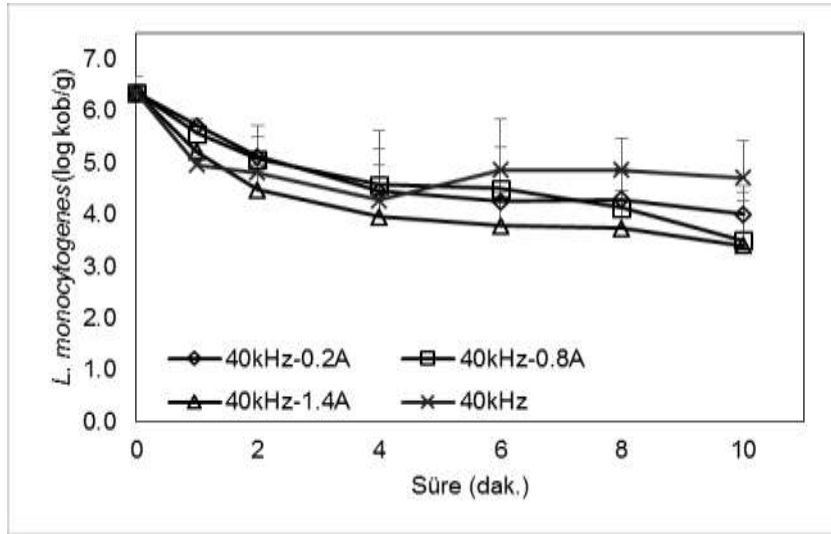
Şekil 4.16'te *L. monocytogenes*'e ait inaktivasyon grafikleri verilmektedir. Başlangıçta  $6,36 \pm 0,31$  log kob/mL inoküle edilen patojene ilk aşamada ES1 uygulanmıştır. Burada sadece USB işlemi uygulamasıyla (10 dak) patojen seviyesi  $4,72 \pm 0,71$  log kob/g düzeyine kadar gerilemiştir. Elektrik akımıyla birlikte USB uygulandığında ise patojen yükü  $3,40 \pm 0,87$  log kob/g düzeyine kadar düşmüştür. Sadece tuzlu suyla muamele edildiğinde bile yaklaşık 0,9 log kob/g mikroorganizma azalması görülmektedir. En etkili dekontaminasyonun sadece elektrik akımıyla elde edildiği görülmektedir. Elektrosonikasyon işlemlerinin *L.monocytogenes* dekontaminasyonunda antagonistik bir etki gösterdiği gözlemlenmektedir. Çünkü sadece ultrases uygulamalarında bile 1,6-1,8 log kob/g düzeyinde dekontaminasyon sağlanırken ultrases ile elektrik akımının birlikte uygulanmasının dekontaminasyonu azalttığı görülmektedir.

Şekil 4.17'de ise marullara inoküle edilen *S. aureus* içeriğindeki değişim gözlemlenmiştir. Sadece tuzlu suyla muamele edildiğinde bile yaklaşık 0,9 log kob/g mikroorganizma azalması görülmektedir. En etkili dekontaminasyonun sadece USB'nin kullanıldığı elektrosonikasyon işlemi olduğu görülmektedir. Elektrosonikasyon işlemlerinin *S. aureus* dekontaminasyonunda sinerjik bir etki gösterdiği gözlemlenmektedir.

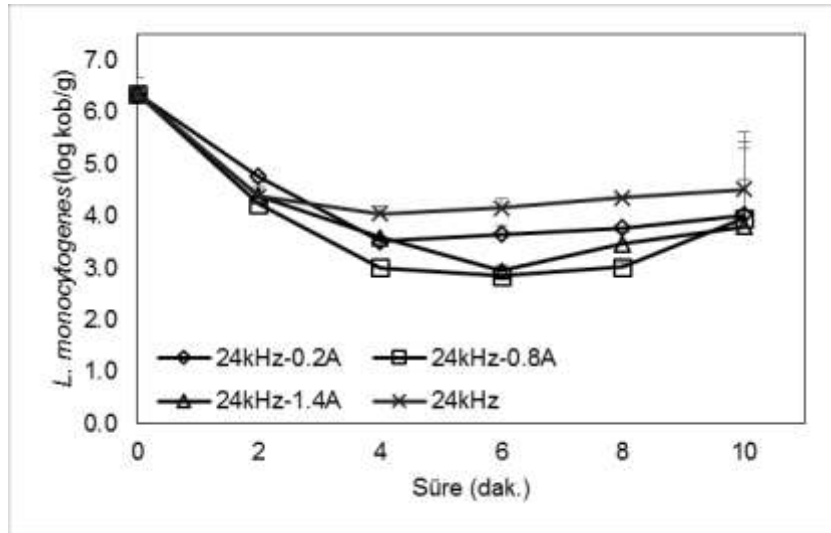
Patojenlerin dekontaminasyonunda etki mekanizması incelendiğinde ultrasonik işlemlerde akustik kaviteasyonun öne çıktığı rapor edilmektedir. Akustik kaviteasyon ultrasonik şiddete bağlı olarak 5000K sıcaklık ve 2000atm basınç oluşturarak mikroorganizmaların dekontaminasyonuna sebep olmaktadır (Mason vd. 2005). Elektrik akımı uygulamalarında ise Çizelge 4.10 ve 4.11'den de açıkça görüldüğü üzere serbest klor ve hidrojen peroksit oluşumuyla açıklanmaktadır. Kerwich vd. (2005) ve Gil vd. (2009) da 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 domates ve marul uygulamalarında daha düşük çıkmasının gerekçesi sebzelerin etki mekanizmasına 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 sebzeyle 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.



(a)

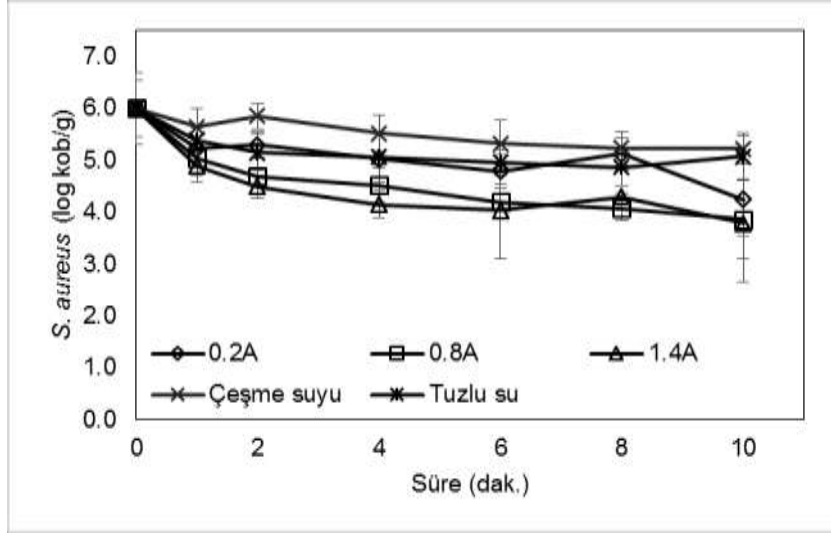


(b)

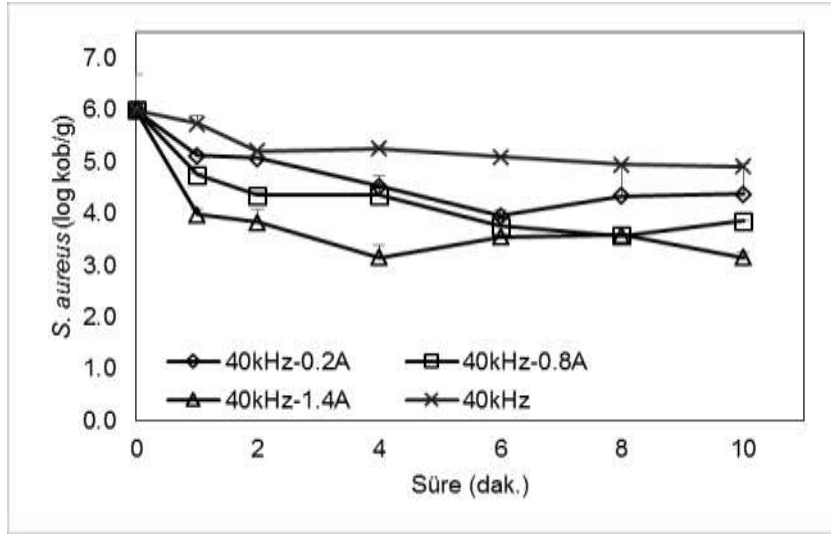


(c)

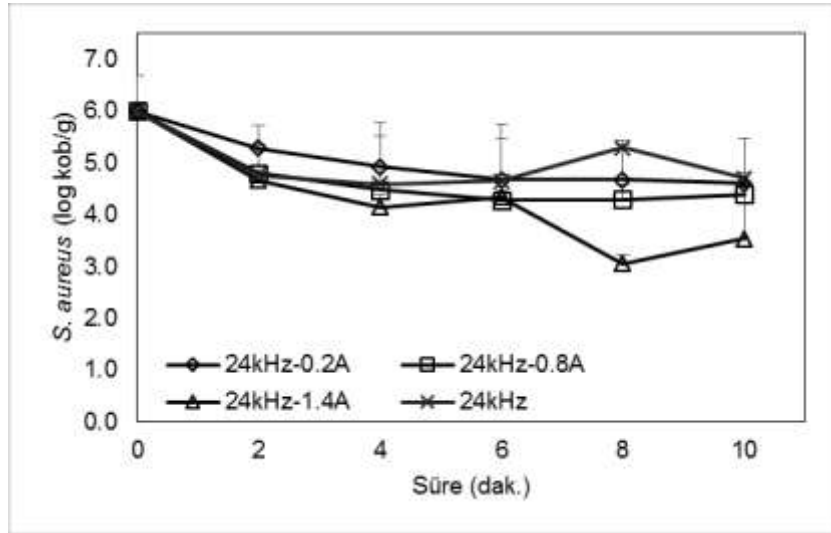
Şekil 4.16. Marullara inoküle edilen *L.monocytogenes*'in elektrik akımı ve elektrosonikasyonla dekontaminasyonu



(a)



(b)

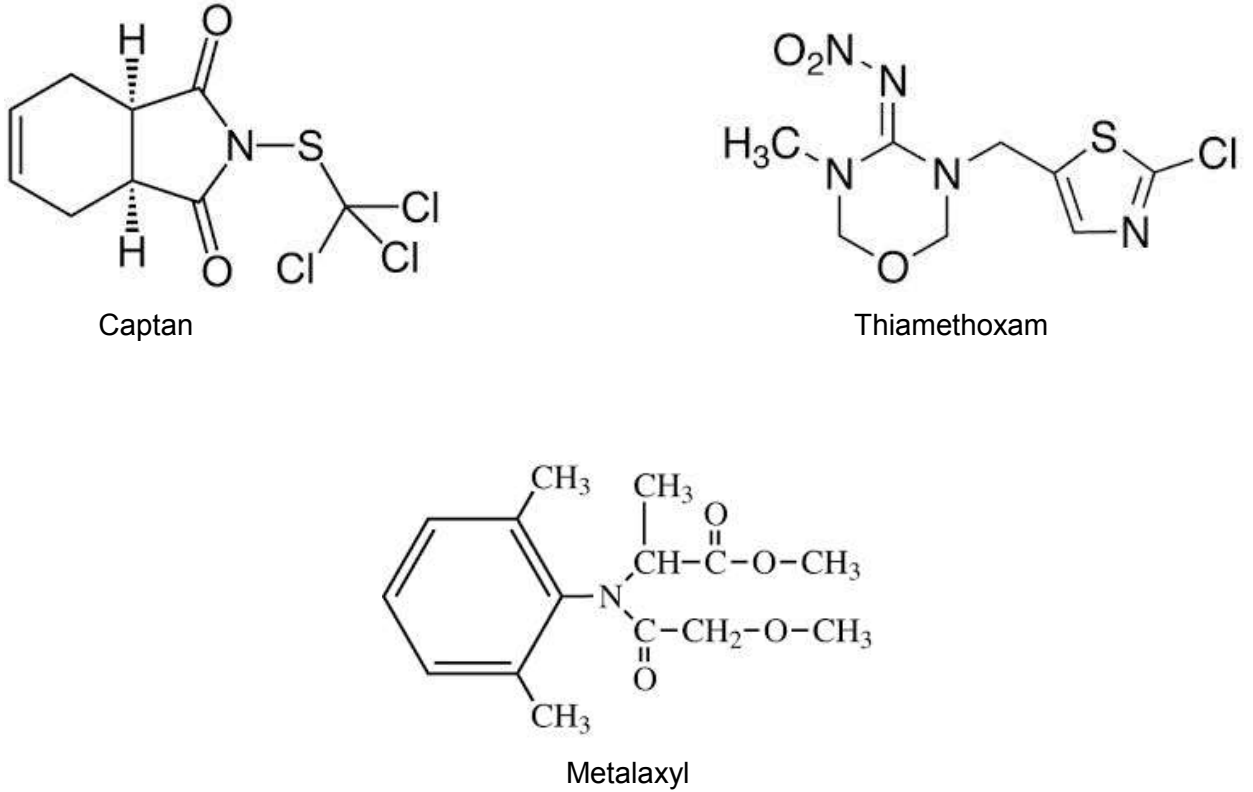


(c)

Şekil 4.17. Marullara inoküle edilen *S.aureus*'nin elektrik akımı ve elektrosonikasyonla dekontaminasyonu

#### 4.3. Pestisitlerin degradasyonu üzerine elektrosonikasyon işleminin etkisi (III. İş paketi)

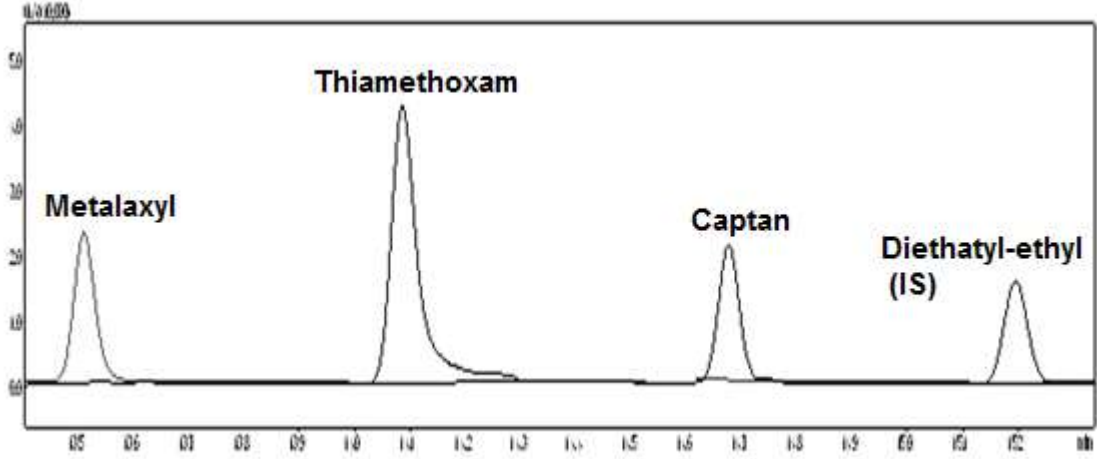
7 farklı konsantrasyonda hazırlanan referans standart çözeltileri 3 tekrarlı olacak şekilde GC MS/MS ve GC-ECD cihazlarına enjekte edilerek kalibrasyon tabloları oluşturulmuştur. Tabloların hazırlanmasında analitik tekrarlanabilirliği artırmak ve sistemden kaynaklanabilecek olumsuzlukları en aza indirmek amaçları ile her bir referans standart çözelti içine bilinen konsantrasyonda internal standart ilave edilmiştir. Kalibrasyon tablosu ilgili pestisite ait konsantrasyon değerine karşılık referans standart / internal standart oranı değerleri kullanılarak oluşturulmuştur. Değerlerin regresyon analizine tabi tutulmasıyla kalibrasyon doğru denklemi elde edilmiştir. Uygulama konsantrasyon değerlerine karşılık GC MS/MS ve GC-ECD cihazlarından elde edilen cevaplar değerlendirildiğinde GC-ECD cihazından elde edilen cevapların daha yüksek olduğu ve bunun yanında araştırma konusu üç pestisite de aynı anda analiz edebilme imkanının olduğu belirlenmiştir. Tespit edilen bu durumun ECD dedektörün halojenik, organometalik, nitril ve azotlu gruplar içeren bileşiklere karşı olan yüksek hassasiyetinden kaynaklandığı sonucuna bağlanmıştır. Bu açıdan değerlendirildiğinde araştırma konusu pestisitlerden captan, thiamethoxam ve internal standart olarak kullanılan Diethatyl-ethyl, (DEE)'in halojenik gruplar, metalaxyl'in ise azotlu gruplar içerdikleri Şekil 4.18'de verilen moleküler yapılarından da anlaşılmaktadır.



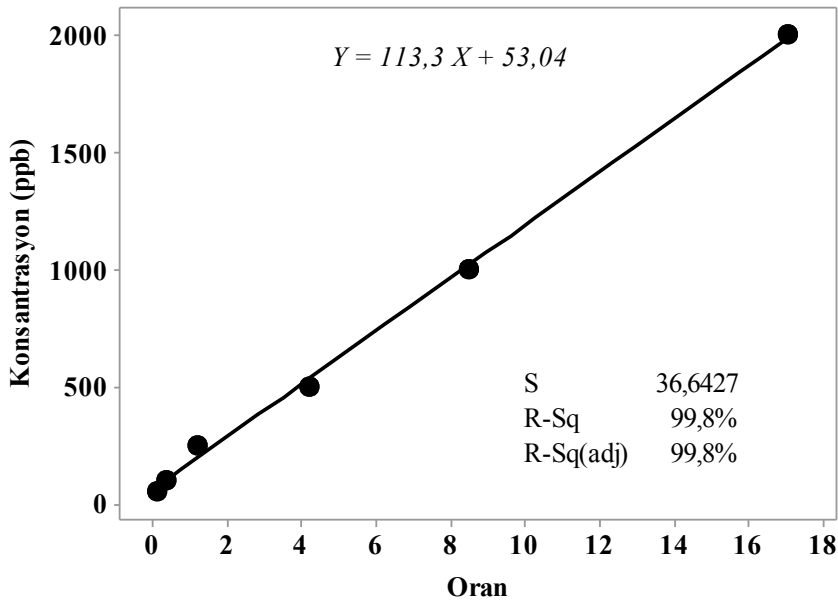
Şekil 4.18. Kullanılan pestisitlerin moleküler yapısı



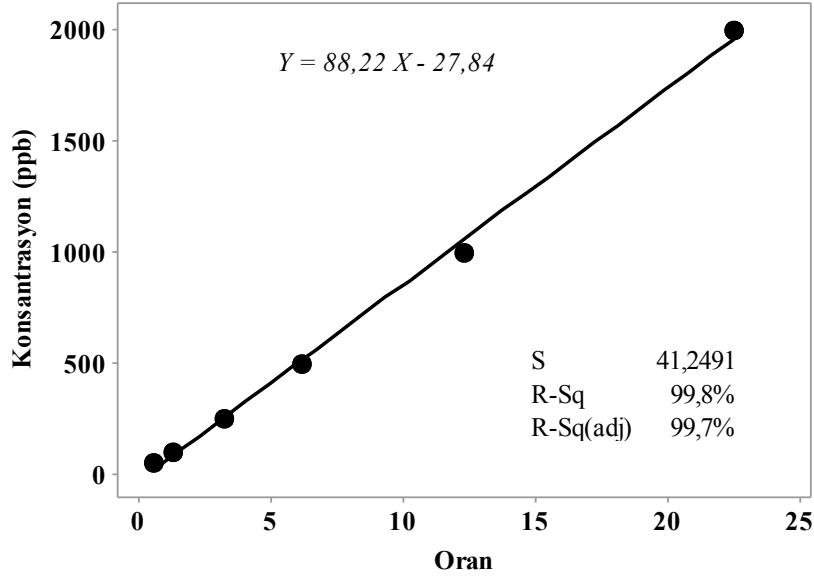
Sonuç olarak elde edilen araştırma konusu pestisitlerin cihazlardaki hassasiyet değerlerindeki artış, üç pestisit de aynı anda analiz edilebilme imkanı ve aynı zamanda internal standart olarak kullanılan diethatyl-ethyl'in de ECD dedektörlü GC'de stabil sonuçlar üretmesi nedenleri ile çalışmanın GC-ECD cihazında yapılmasına karar verilmiştir. GC-ECD cihazına standart enjeksiyon sonucu elde edilen kromatogram Şekil 4.19'da ve pestisitlere ait oluşturulan kalibrasyon grafikleri Şekil 4.20-22'de sunulmaktadır.



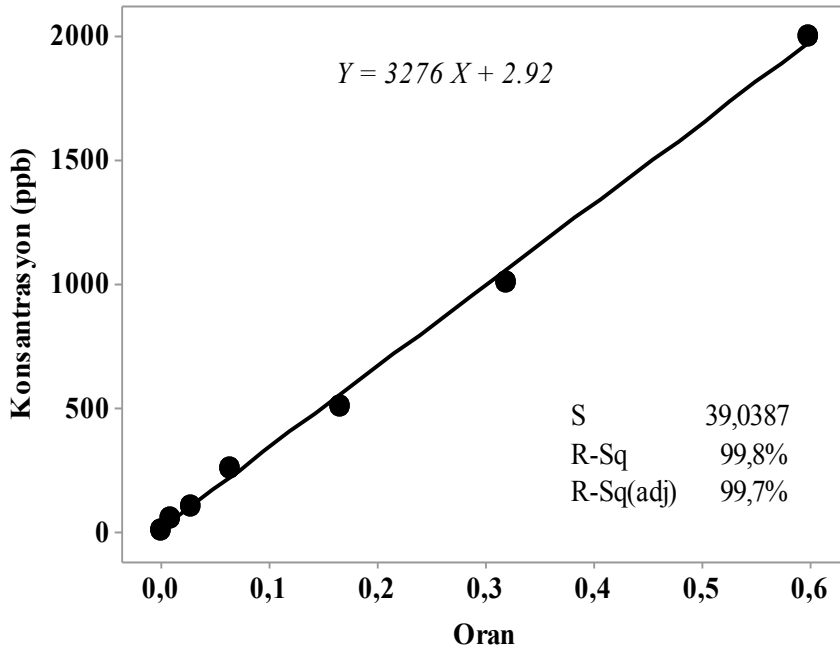
Şekil 4.19. Araştırma konusu pestisitlere ait örnek bir kromatogram



Şekil 4.20. Captan pestisiti için elde edilen kalibrasyon eğrisi



Şekil 4.21. Thiamethoxam pestisiti için elde edilen kalibrasyon eğrisi



Şekil 4.22. Metalaxyl pestisiti için elde edilen kalibrasyon eğrisi

Araştırma konusu pestisitlere ait elde edilen diğer analitik performans tesleri sonuçları Tablo 4.13'de sunulmaktadır.

Tablo 4.13. Pestisitlere ait analitik performans test sonuçları

Parametre	Captan	Thiamethoxam	Metalaxyl
Kalibrasyon Aralığı (ppb)	50-2000	50-2000	50-2000
Kalibrasyon Eşitliği	$y=113,3x+53,04$	$y=88,22x-27,84$	$y=3276x+2,92$
$R^2$	99,8	99,8	99,8
Domates Geri Kazanım (%)	90,25	78,86	104,95
Marul Geri Kazanım (%)	85,16	76,34	95,86
Tuzlu Su Geri Kazanım (%)	93,26	89,82	99,17
Tespit sınırı (ppb)	17,79	16,38	17,17
Tayin sınırı (ppb)	59,31	54,61	57,23
Tekrarlanabilirlik	3,77	5,10	3,54

Elde edilen sonuçlara göre, araştırma konusu her üç pestisit için 50-2000 ppb aralığında cihazda üretilen cevapların doğrusal ( $R^2>99.8$ ), tespit ve tayin sınır değerlerinin örneklerde tahmin edilen pestisit konsantrasyon değerlerinin ölçümlenebilmesi için yeterli düzeylerde, tekrarlanabilirlik değerinin  $<20$ , ve geri kazanım değerlerinin ise kabul edilebilir değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Belirlenen bu değerlerin Avrupa Birliği tarafından yayınlanan gıda ve yemlerde pestisit kalıntıları için kalite kontrol prosedürleri ve metod validasyonu dökümanında belirtilen değerlerle uyum içinde olduğu sonucuna varılmıştır (Anonymous, 2007).

Tablo 3.4'te verilen deneme planı çerçevesinde domates ve marul örneklerindeki pestisit kalıntılarının uzaklaştırılması amacıyla proje kapsamına giren çeşitli uygulamalar denenmiş ve elde edilen bulgular aşağıdaki tablolarda sunulmuştur. Ayrıca araştırma konusu pestisitlerin model sistemdeki kalıntı azalış davranışlarını görmek amacı ile hazırlanan tuzlu su çözeltilerinden elde edilen bulgulara da tablolarda yer verilmiştir (Tablo 4.14 - 4.25).

#### 4.3.1. Model sistemde pestisit kalıntılarını azaltılması

Tuzlu su içerisinde 1558,44 ppb ve 57,14ppb düzeyinde çözündürülen captan pestisitleri işlemler uygulandıktan sonra tespit edilebilir düzeylerde belirlenememiştir (Tablo 4.14-4.15), Bununla birlikte captan kalıntısı içeren domates ve marul örneklerinde ise uygulanan işlemin türü ve süresine bağlı olarak çeşitli düzeylerde captan kalıntısı tespit edilmiştir. Belirlenen bu durum, captan'ın model sistemdeki stabilizasyonunun oldukça düşük ve kararsız olmasına, bunun karşılığında bitki yüzeyine olan bağlanma ilgisinin yüksek olabileceğine işaret etmektedir.

Tablo 4.14. Model sistemdeki yüksek oran captan(1558,44 ppb) pestisitinin değişimleri

İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)						
		0	1	2	4	6	8	10
Elektrik akımı	0,2	1558,44 ±67,92	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0,8	1558,44 ±67,92	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	1,4	1558,44 ±67,92	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	1558,44 ±67,92	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0,2	1558,44 ±67,92	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0,8	1558,44 ±67,92	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	1,4	1558,44 ±67,92	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0	1558,44 ±67,92	-	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0,2	1558,44 ±67,92	-	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0,8	1558,44 ±67,92	-	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	1,4	1558,44 ±67,92	-	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f:40kHz ve A:%100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f:24kHz ve A:%100), LOD (Tespit Sınırı) <17,79 ppb

Tablo 4.15. Model sistemdeki düşük oran captan pestisitinin (57,14 ppb) değişimleri

İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)						
		0	1	2	4	6	8	10
Elektrik akımı	0,2	57,14 ±0,63	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0,8	57,14 ±0,63	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	1,4	57,14 ±0,63	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	57,14 ±0,63	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0,2	57,14 ±0,63	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0,8	57,14 ±0,63	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	1,4	57,14 ±0,63	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0	57,14 ±0,63	-	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0,2	57,14 ±0,63	-	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0,8	57,14 ±0,63	-	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	1,4	57,14 ±0,63	-	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f:40kHz ve A:%100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f:24kHz ve A:%100), LOD (Tespit Sınırı) <17,79 ppb

Model sistemde yüksek dozda (1985,69 ppb) çözündürülen metalaxyl pestisitinin sadece yüksek elektrik akımının ultrasesle kombine edildiği elektrosonikasyon işlemlerde sonra tamamen dekontamine edilebildiği tespit edilmiştir (Tablo 4.16). Elektrik akımı uygulamasında süre ve akım değerleri dikkate alındığında önemli düzeyde bir değişimin olmadığı ancak 1,4 A uygulamasının yüksek işlem sürelerinde (6. dakikadan sonra) kalıntının daha fazla azaldığı görülmektedir. Metalaxyl pestisitinin elektrik akımıyla %78'e kadar azaltılabilmesi de oldukça önemli bir sonuçtur. Bununla birlikte elektrosonikasyon uygulamalarında tamamen dekontamine edilebildiği görülmektedir.

Tablo 4.16. Model sistemdeki yüksek oran metalaxyl pestisitinin (1985,69 ppb) değişimleri

İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)						
		0	1	2	4	6	8	10
Elektrik akımı	0,2	1985,69 ±25,36	892,89 ±46,79	700,60 ±38,99	893,29 ±40,03	1156,03 ±51,43	1066,16 ±40,11	1090,75 ±69,94
	0,8	1985,69 ±25,36	903,89 ±36,62	964,77 ±27,40	1034,30 ±60,26	1120,44 ±55,14	1194,05 ±29,92	1210,31 ±113,34
	1,4	1985,69 ±25,36	1005,81 ±17,31	1006,38 ±55,70	909,00 ±51,73	931,84 ±55,46	694,60 ±9,70	435,60 ±28,86
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	1985,69 ±25,36	98,84 ±7,33	95,08 ±8,54	87,07 ±5,33	90,23 ±13,02	87,70 ±7,41	83,06 ±9,06
	0,2	1985,69 ±25,36	727,24 ±4,03	667,86 ±12,14	688,73 ±27,00	882,65 ±57,47	773,76 ±21,53	106,56 ±9,03
	0,8	1985,69 ±25,36	103,23 ±10,35	84,22 ±9,27	72,16 ±15,69	26,44 ±15,96	<LOD	<LOD
	1,4	1985,69 ±25,36	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0	1985,69 ±25,36	-	99,30 ±9,18	89,94 ±10,19	83,46 ±9,18	80,64 ±5,40	79,26 ±5,87
	0,2	1985,69 ±25,36	-	99,75 ±7,55	127,54 ±8,87	98,77 ±4,85	87,67 ±5,85	<LOD
	0,8	1985,69 ±25,36	-	66,59 ±5,93	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	1,4	1985,69 ±25,36	-	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f: 40kHz ve A: %100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f: 24kHz ve A: %100), LOD (Tespit Sınırı) <16,38 ppb

Captan pestisiti çalışmasında da görüldüğü gibi uygulanan elektriksel akımın USB uygulamasına olan antagonistik etkisinden kaynaklanmış olabileceği ile açıklanabilmektedir. Elektrosonikasyon 2 uygulamasında ise kalıntı azalımının en yüksek derecelere çıktığı görülmektedir. Bu uygulamada özellikle 0,8 A uygulamasının 2. dakikasından sonra ve 1,4 A uygulamasının tüm süre değerlerinde kalıntı tespit edilmez hale gelmiştir. Benzer durumu domates ve marul uygulamalarında da görmek mümkündür. Örneklerdeki metalaxyl kalıntılarını

uzaklaştırmada en etkili uygulamanın USİ uygulaması ile birlikte elektrik akımı uygulamasının olduğu tespit edilmiştir. Özellikle yüksek mA derecelerinde kalıntı azalımının oransal olarak arttığı gözlemlenmiştir.

Model sistemde düşük doz (82,35 ppb) düzeyinde çözündürülen metalaxyl pestisitinin ise uygulanan işlemlerden sonra belirlenemediği Tablo 4.17'den anlaşılmaktadır. Burada düşük dozda olmasından dolayı uygulanan işlemlerle hızlı bir şekilde miktarının azaldığı ve tespit edilebilir seviyenin altına düştüğü anlaşılmaktadır.

Tablo 4.17. Model sistemdeki düşük oran metalaxyl pestisitinin (82,35 ppb)değişimleri

İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)						
		0	1	2	4	6	8	10
Elektrik akımı	0,2	82,35 ±9,62	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0,8	82,35 ±9,62	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	1,4	82,35 ±9,62	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	82,35 ±9,62	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0,2	82,35 ±9,62	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0,8	82,35 ±9,62	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	1,4	82,35 ±9,62	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0	82,35 ±9,62	-	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0,2	82,35 ±9,62	-	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0,8	82,35 ±9,62	-	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	1,4	82,35 ±9,62	-	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f: 40kHz ve A: %100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f: 24kHz ve A: %100)  
LOD (Tespit Sınırı) <16,38 ppb

Yüksek (1190,95 ppb) ve düşük (65,83 ppb) düzeyinde thiamethoxam pestisit içeren tuzlu sulara uygulanan işlemlerden sonra kalıntı pestisit içerikleri Tablo 4.17 ve 4.18'de sunulmuştur. Düşük düzeyde çözüldürülen thiamethoxam pestisitinin bütün işlemlerde işlem sonrası tespit edilebilir düzeyde belirlenemediği Tablo 4.19'den anlaşılmaktadır. Thiamethoxam pestisitinin en fazla elektrosonikasyon işlemleriyle %97'ye kadar degrade edilebildiği, bununla birlikte sadece elektrik akımının da önemli seviyede pestisit degradasyonuna sebep olduğu görülmektedir (Tablo 4.18). Başka bir ifadeyle uygulanan elektrik akımına ve süreye bağlı birtakım azalmalar göze çarpmaktadır. 0,2A'lık elektrik akımında sürenin keskin bir katkısı görülmemekle birlikte, 0,8 ve 1,4 A düzeylerinde 1 dakikadan sonra kayda değer azalmalar belirlenmiştir. Elektrosonikasyon uygulamalarında ise kalıntı değerlerinin ultrasonik banyo (USB) ve ultrasonik işlemci (USİ) uygulamalarında kontrol örneklerine göre önemli düzeyde azalma belirlenmesine rağmen, kalıntı düzeyinin süreye bağlı olarak değişmediği tespit edilmiştir. Ancak USB ve USİ uygulamalarına ilave olarak elektrik akımı uygulandığında ise özellikle 6. Dakikadan sonra önemli düzeylerde kalıntının azaldığı tespit edilmiştir. Buna ilave olarak tüm uygulamalardaki elektrik akım değerindeki artışla birlikte kalıntı düzeyinin de azaldığı görülmektedir.

Tablo 4.18. Model sistemdeki yüksek oran thiamethoxam pestisitinin ( 1190,95 ppb) değişimleri

İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)						
		0	1	2	4	6	8	10
Elektrik akımı	0,2	1190,95 ±95,51	209,27 ±9,62	226,99 ±16,10	167,50 ±4,26	164,59 ±2,25	158,61 ±4,16	161,61 ±16,53
	0,8	1190,95 ±95,51	203,31 ±6,74	23,36 ±1,55	13,05 ±0,86	12,96 ±0,14	14,02 ±0,46	13,40 ±0,30
	1,4	1190,95 ±95,51	225,10 ±13,24	18,44 ±1,73	17,69 ±0,58	21,53 ±2,08	14,51 ±1,46	20,63 ±2,81
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	1190,95 ±95,51	377,26 ±12,12	399,81 ±20,69	390,24 ±43,21	369,95 ±14,23	358,46 ±18,44	340,49 ±9,37
	0,2	1190,95 ±95,51	199,89 ±5,22	203,05 ±1,03	209,63 ±10,88	55,22 ±1,33	44,53 ±4,18	13,94 ±1,00
	0,8	1190,95 ±95,51	194,02 ±7,12	154,80 ±9,87	48,10 ±1,86	21,61 ±1,50	15,02 ±0,32	13,55 ±1,01
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	1,4	1190,95 ±95,51	131,64 ±8,62	51,94 ±3,43	43,93 ±0,72	38,65 ±3,76	32,99 ±3,52	40,25 ±4,73
	0	1190,95 ±95,51	-	680,36 ±9,00	638,70 ±16,23	650,96 ±8,85	671,25 ±19,08	641,87 ±6,00
	0,2	1190,95 ±95,51	-	683,27 ±13,25	558,40 ±0,92	153,04 ±0,34	125,42 ±1,26	114,52 ±2,86
	0,8	1190,95 ±95,51	-	290,72 ±1,68	76,09 ±1,20	56,67 ±1,95	53,24 ±0,32	48,94 ±0,01
	1,4	1190,95 ±95,51	-	317,90 ±35,53	47,72 ±0,15	47,42 ±0,39	47,96 ±1,79	32,82 ±1,59

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f: 40kHz ve A: %100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f: 24kHz ve A: %100)

LOD (Tespit Sınırı) <17,17 ppb



Tablo 4.19. Model sistemdeki düşük oran thiamethoxam pestisitinin (65,83 ppb) değişimleri

İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)						
		0	1	2	4	6	8	10
Elektrik akımı	0,2	65,83 ±1,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0,8	65,83 ±1,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	1,4	65,83 ±1,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	65,83 ±1,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0,2	65,83 ±1,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0,8	65,83 ±1,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	1,4	65,83 ±1,00	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0	65,83 ±1,00	-	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0,2	65,83 ±1,00	-	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	0,8	65,83 ±1,00	-	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
	1,4	65,83 ±1,00	-	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f: 40kHz ve A: %100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f: 24kHz ve A: %100), LOD (Tespit Sınırı) <17,17 ppb

#### 4.3.2. Pestisit kontamine edilmiş domateslerdeki kalıntıların azaltılması

Domates ve marul örnekleri aynı süre ve konsantrasyonda ticari pestisit preparatları içinde bekletilmelerine rağmen, kontrol örneklerinde tespit edilen pestisit kalıntı düzeyleri karşılaştırıldığında marul örneklerinde domates örneklerine göre daha fazla miktarda kalıntı düzeyi belirlenmiştir. Tespit edilen bu farklılığın domates ve marulların yüzey karakteristiklerine ve birim ağırlık başına marulların daha fazla yüzey alanına sahip olmaları ile ilişkilendirilmiştir. Çünkü domates marullara kıyasla daha mumsu bir yapıya sahip ve daha pürüzsüzdür.

Pestisitli kontamine edilen domateslerde 1290,46±23,53 ppb düzeyinde captan tespit edilmiştir. Bu domateslere uygulanan işlemler sonucunda 74,28±4,04 ppb'ye kadar düşürülebilmektedir. Bu captan pestisitlerinin %94 oranında uzaklaştırılması anlamına gelmektedir ki oldukça önemli olduğu düşünülmektedir. Ticari pestisit uygulanmış domates numuneleri üzerine yapılan kalıntı azaltıcı uygulama çalışmalarında; kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında captan düzeylerinin uygulama türüne ve süre değerlerine bağlı olarak farklılık arz ettiği belirlenmiştir. Bu örneklerine

farklı değerlerde elektriksel akım uygulandığı takdirde her iki üründe de akım değerinin artışı ile birlikte kalıntı düzeylerinde de bir azalma söz konusudur. Elde edilen sonuçlara göre ayrıca, kalıntı azalımı üzerine süre değerlerinin de önemli olduğu söylenebilmektedir.

Ultrasonik su banyosunun (40kHz) kullanıldığı elektrosonikasyon işleminin diğer işlemlerden daha iyi pestisit azaltıcı etkiye sahip olduğu Tablo 4.20'den açıkça görülmektedir. Uygulanan işlem süresinin artmasıyla birlikte pestisit degradasyonunun da istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde artmıştır ( $P<0,05$ ). Ayrıca sadece ultrasonik işlemci veya sadece ultrasonik su banyosu kullanılarak domateslerdeki captanın %91 oranında degradasyon sağlanmıştır.

Tablo 4.20. Domates numunelerinde captan kalıntı değişimleri (ppb)

İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)						
		0	1	2	4	6	8	10
Elektrik akımı	0,2	1290,46 ±23,53	594,46 ±18,72	546,07 ±11,94	438,89 ±6,14	391,83 ±7,66	339,08 ±2,44	249,68 ±1,20
	0,8	1290,46 ±23,53	642,07 ±3,75	444,36 ±2,15	388,00 ±3,39	383,51 ±2,53	399,75 ±6,43	279,93 ±6,69
	1,4	1290,46 ±23,53	468,18 ±6,98	408,67 ±3,30	358,35 ±14,86	362,39 ±12,89	300,58 ±6,10	299,88 ±4,46
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	1290,46 ±23,53	318,49 ±8,78	254,51 ±10,41	268,65 ±5,93	184,63 ±2,51	134,19 ±1,28	114,23 ±2,31
	0,2	1290,46 ±23,53	448,29 ±10,11	406,76 ±10,21	258,73 ±7,72	184,54 ±1,51	168,61 ±2,61	138,52 ±15,38
	0,8	1290,46 ±23,53	442,30 ±9,90	392,09 ±4,57	182,91 ±5,99	156,96 ±3,33	176,96 ±4,38	86,15 ±2,48
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	1,4	1290,46 ±23,53	448,95 ±12,28	426,80 ±1,05	314,70 ±11,17	166,36 ±4,67	136,73 ±0,86	74,28 ±4,04
	0	1290,46 ±23,53	-	114,11 ±0,89	116,47 ±0,62	186,75 ±5,93	176,34 ±1,57	184,55 ±20,61
	0,2	1290,46 ±23,53	-	456,19 ±19,69	386,07 ±19,37	300,55 ±2,19	250,94 ±1,67	198,52 ±15,23
	0,8	1290,46 ±23,53	-	364,91 ±7,86	354,05 ±9,40	346,81 ±4,86	300,75 ±22,78	140,24 ±3,20
	1,4	1290,46 ±23,53	-	236,98 ±6,75	128,78 ±0,33	126,11 ±17,81	120,19 ±2,87	116,69 ±2,36

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f: 40kHz ve A: %100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f: 24kHz ve A: %100)

Pestisitli kontamine edilen domateslerde 2493,26±245,64 ppb düzeyinde metalaxyl tespit edilmiştir. Bu domateslere uygulanan işlemler sonucunda 130,36±8.98 ppb'ye kadar düşürülebilmektedir. Yani domatesteki metalaxyl pestisitlerinin %95'i başarılı bir şekilde parçalanmıştır. Ultrasonik işlemcinin (24kHz) kullanıldığı elektrosonikasyon işleminin diğer işlemlerden daha iyi pestisit azaltıcı etkiye sahip olduğu Tablo 4.21'den açıkça görülmektedir. Uygulanan işlem süresinin artmasıyla birlikte pestisit degradasyonunun da istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde artmıştır (P<0,05). Ayrıca domateslerdeki metalaxyl pestisitleri sadece ultrasonik işlemci ile %92 degradasyon sağlanırken, sadece ultrasonik su banyosunun kullanılmasıyla %82 oranında degradasyon sağlanmıştır.

Tablo 4.21. Domates numunelerinde metalaxyl kalıntı değişimleri (ppb)

İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)						
		0	1	2	4	6	8	10
Elektrik akımı	0,2	2493,26 ±245,64	555,31 ±15,97	779,18 ±5,08	776,20 ±3,37	633,70 ±56,21	547,19 ±13,25	539,14 ±58,95
	0,8	2493,26 ±245,64	798,57 ±57,60	601,38 ±24,91	626,12 ±33,16	518,91 ±14,65	509,95 ±30,34	508,15 ±28,30
	1,4	2493,26 ±245,64	635,79 ±93,70	613,78 ±22,21	688,67 ±64,44	679,02 ±17,59	566,60 ±22,50	503,85 ±24,36
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	2493,26 ±245,64	1294,64 ±30,77	1002,32 ±29,36	865,67 ±16,47	846,10 ±34,31	892,04 ±13,70	444,19 ±127,72
	0,2	2493,26 ±245,64	934,37 ±120,42	879,78 ±31,82	924,27 ±63,35	752,82 ±32,27	708,33 ±20,07	589,23 ±69,23
	0,8	2493,26 ±245,64	789,25 ±36,88	703,21 ±13,59	567,05 ±25,40	405,79 ±30,26	404,88 ±47,36	354,61 ±31,71
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	1,4	2493,26 ±245,64	495,76 ±80,37	495,65 ±40,88	477,22 ±25,72	371,57 ±24,67	352,83 ±24,29	185,48 ±10,39
	0	2493,26 ±245,64	-	241,99 ±27,19	219,31 ±8,99	178,79 ±1,49	240,41 ±15,89	233,21 ±10,18
	0,2	2493,26 ±245,64	-	199,19 ±4,94	193,16 ±12,70	194,32 ±5,61	160,99 ±11,41	161,56 ±2,01
	0,8	2493,26 ±245,64	-	180,32 ±6,55	148,64 ±2,79	116,26 ±6,56	195,36 ±27,47	186,43 ±10,60
	1,4	2493,26 ±245,64	-	136,71 ±16,55	146,20 ±23,91	168,74 ±4,48	130,36 ±8,98	123,24 ±5,61

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f: 40kHz ve A: %100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f: 24kHz ve A: %100)

Pestisitli kontamine edilen domateslerde  $78,62 \pm 0,67$  ppb düzeyinde thiamethoxam tespit edilmiştir. Bu domateslere uygulanan işlemler sonucunda  $23,74 \pm 2,45$  ppb'ye kadar düşürülebilmektedir. Yani domatesteki thiamethoxam pestisitlerinin %70'ü başarılı bir şekilde parçalanmıştır. Ultrasonik işlemcinin (24kHz) kullanıldığı elektrosonikasyon işleminin diğer işlemlerden daha iyi pestisit azaltıcı etkiye sahip olduğu Tablo 4.22'den açıkça görülmektedir. Uygulanan işlem süresinin artmasıyla birlikte pestisit degradasyonunun da istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde artmıştır ( $P < 0,05$ ). Ayrıca domateslerdeki thiamethoxam pestisitleri sadece ultrasonik işlemci ile %65 degradasyon sağlanırken, sadece ultrasonik su banyosunun kullanılmasıyla %56 oranında degradasyon sağlanmıştır.

Tablo 4.22. Domates numunelerinde thiamethoxam kalıntı değişimleri (ppb)

İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)						
		0	1	2	4	6	8	10
Elektrik akımı	0,2	78,62 $\pm 0,67$	61,31 $\pm 4,04$	73,37 $\pm 2,03$	52,60 $\pm 2,03$	49,83 $\pm 0,48$	52,70 $\pm 1,36$	47,77 $\pm 0,66$
	0,8	78,62 $\pm 0,67$	58,11 $\pm 0,75$	50,38 $\pm 0,32$	50,56 $\pm 3,14$	53,45 $\pm 6,65$	51,09 $\pm 2,40$	41,72 $\pm 4,34$
	1,4	78,62 $\pm 0,67$	50,20 $\pm 4,42$	54,54 $\pm 0,96$	59,10 $\pm 2,70$	65,21 $\pm 2,15$	51,37 $\pm 1,14$	56,87 $\pm 3,99$
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	78,62 $\pm 0,67$	53,67 $\pm 3,96$	55,29 $\pm 5,45$	43,02 $\pm 13,31$	48,95 $\pm 0,79$	60,78 $\pm 1,78$	50,71 $\pm 12,81$
	0,2	78,62 $\pm 0,67$	51,12 $\pm 6,02$	47,26 $\pm 2,22$	43,18 $\pm 3,24$	37,77 $\pm 1,02$	41,20 $\pm 3,46$	34,21 $\pm 0,43$
	0,8	78,62 $\pm 0,67$	53,82 $\pm 9,56$	50,39 $\pm 7,61$	35,71 $\pm 4,02$	54,98 $\pm 0,78$	34,84 $\pm 2,86$	41,29 $\pm 0,63$
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	1,4	78,62 $\pm 0,67$	51,71 $\pm 4,88$	46,79 $\pm 9,94$	26,62 $\pm 0,54$	30,10 $\pm 1,29$	30,45 $\pm 2,45$	33,42 $\pm 0,63$
	0	78,62 $\pm 0,67$	-	56,25 $\pm 3,05$	27,38 $\pm 0,50$	33,71 $\pm 3,72$	33,06 $\pm 0,43$	27,53 $\pm 0,90$
	0,2	78,62 $\pm 0,67$	-	48,65± 10,45	36,24 $\pm 3,25$	31,45 $\pm 3,54$	28,70 $\pm 3,69$	33,51 $\pm 2,35$
	0,8	78,62 $\pm 0,67$	-	34,58± 15,49	27,05 $\pm 1,14$	25,73 $\pm 0,25$	31,29 $\pm 0,52$	23,74 $\pm 2,45$
	1,4	78,62 $\pm 0,67$	-	34,10 $\pm 3,54$	31,63 $\pm 1,72$	30,97 $\pm 0,70$	29,22 $\pm 0,21$	27,21 $\pm 5,61$

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f: 40kHz ve A: %100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f: 24kHz ve A: %100)

Literatürde elektrik akımıyla pestisit dekontaminasyonuna rastlanmasa da ultrases işleminin pestisit degradasyonunda başarılı sonuçlar verdiği rapor edilmektedir (Farooq vd., 2008; Thangavadivel, 2010; Gong vd., 2011). UV ışığının da kimyasal bileşiklerde fotooksidasyona sebep olarak bileşiklerin yapısını bozabildiği (Davies ve Truscott 2001; Manzocco vd. 2009) ifade edilmiştir. Ayrıca Khoobdel vd., (2010) 4mg/L seviyesinde suda çözündürülen Carbaryl

çözeltilisine UV uygulayarak 1 dakikada %80 ve 8 dakikada %100'lük bir degradasyon elde etmiştir. Elektrik akımının pestisit degradasyonu üzerine etkisine literatürde rastlanmamış olmasına rağmen pestisitlerin oksidan bileşiklerle reaksiyona girmesi sonucu degrade oldukları düşünülmektedir. Bu proje kapsamında da sadece elektrik akımı uygulaması ile pestisitlerin etkili bir şekilde degrade edilebildiği görülmüştür. Elektrik akımıyla ultrases işleminin kombine olarak kullanılması durumunda daha iyi sonuçların elde edildiği bu proje çerçevesinde açıkça ortaya konmuştur. Hem model sistemde hem domateslere kontamine edilen pestisitlerde hem de marullara kontamine edilen pestisitlerde çok önemli pestisit degradasyonu elde edildiği görülmüştür. Bu açıdan elde edilen çalışmaların literatürle uygunluk sağladığı ve önemli katkılar sunduğu ifade edilebilir.

#### **4.3.3. Pestisit kontamine edilmiş marullardaki kalıntıların azaltılması**

Captan pestisitli kontamine edilen marullarda 5572,93±33,63 ppb düzeyinde kalıntı tespit edilmiştir. Bu marullara uygulanan işlemler sonucunda 413,82±25,53 ppb'ye kadar düşürülebilmektedir. Yani marullardaki captan pestisitlerinin %93'ü başarılı bir şekilde parçalanmıştır. Ultrasonik işlemcinin (24kHz) kullanıldığı elektrosonikasyon işleminin diğer işlemlerden daha iyi pestisit azaltıcı etkiye sahip olduğu Tablo 4.23'den açıkça görülmektedir. Uygulanan işlem süresinin artmasıyla birlikte pestisit degradasyonunun da istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde artmıştır (P<0,05). Ayrıca marullardaki captan pestisitleri sadece ultrasonik işlemci ile %70 degradasyon sağlanırken, sadece ultrasonik su banyosunun kullanılmasıyla %80 oranında degradasyon sağlanmıştır.

Thangavadi (2010b), yaptığı doktora tez çalışmasında DDT gibi bazı kimyasal kirleticilerin degradasyonu için yüksek frekans ultrases şiddeti (1,6 MHz, 145 W/L) kullanmış ve DDT'lerin %90'a kadar, diğer bazı kimyasal kirleticilerin ise %50'ye kadar degradasyonun gerçekleştiğini göstermiştir. Bu proje çerçevesinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca Thangavadi vd., (2010b) 8mg/L kloroform içeren çözeltiyi 24kHz ultrases uygulayarak tamamen parçalamayı başarmıştır. Başka bir çalışmada ise ultrasesle birlikte ozon ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'in kullanılması yalnız ultrases işlemine göre daha başarılı sonuçların elde edilmesini sağlamıştır (Farooq vd., 2008; Gong vd., 2011). Bu proje çerçevesinde elektrosonikasyon işlemiyle sinerjistik etki gözlemlenirse de birçok pestisit degradasyonunun da elektrosonikasyon uygulaması tek başına uygulanan işlemlerden çok daha iyi sonucun elde edilmesine sebep olmuştur.

Tablo 4.23. Marul numunelerinde captan kalıntı değişimleri (ppb)

İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)						
		0	1	2	4	6	8	10
Elektrik akımı	0,2	5572,93 ±33,63	1736,12 ±21,08	1605,36 ±7,44	1310,92 ±10,77	1243,68 ±2,88	1052,64 ±19,31	908,34 ±25,91
	0,8	5572,93 ±33,63	1424,64 ±45,31	1120,71 ±9,47	1020,97 ±25,03	1044,70 ±23,97	954,96 ±7,30	556,33 ±39,34
	1,4	5572,93 ±33,63	1473,07 ±45,39	1038,05 ±20,03	954,93 ±38,89	982,43 ±49,78	872,52 ±16,46	543,59 ±30,72
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	5572,93 ±33,63	1455,88 ±3,47	1864,79 ±19,74	2056,06 ±12,61	2128,96 ±15,73	2100,88 ±24,20	2660,08 ±38,74
	0,2	5572,93 ±33,63	2468,17 ±27,44	2612,41 ±23,49	2574,31 ±62,04	1724,12 ±30,55	1434,78 ±18,57	1070,52 ±18,96
	0,8	5572,93 ±33,63	2650,54 ±12,67	2602,53 ±15,30	2400,77 ±14,69	1720,85 ±36,92	1354,55 ±6,37	1000,56 ±21,82
	1,4	5572,93 ±33,63	2596,51 ±58,31	2700,73 ±38,29	1338,02 ±63,17	1270,20 ±13,71	2418,11 ±23,57	1000,84 ±23,91
	0	5572,93 ±33,63	-	2032,35 ±31,45	1932,61 ±20,72	1684,72 ±14,23	1664,76 ±28,46	1648,76 ±31,90
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0,2	5572,93 ±33,63	-	2300,06 ±14,57	1858,70 ±17,96	1208,76 ±17,55	1092,02 ±15,07	984,61 ±31,66
	0,8	5572,93 ±33,63	-	2352,30 ±31,95	1848,33 ±18,59	1258,28 ±8,80	1018,89 ±19,60	908,50 ±13,00
	1,4	5572,93 ±33,63	-	2319,40 ±25,60	1656,74 ±47,77	1181,24 ±31,61	422,23 ±12,01	413,82 ±25,53

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f: 40kHz ve A: %100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f: 24kHz ve A: %100)

Metalaxyl pestisiti kontamine edilen marullarda 10162,32±46,85 ppb düzeyinde kalıntı tespit edilmiştir. Bu marullara uygulanan işlemler sonucunda 906,51±7,78 ppb'ye kadar düşürülebilmektedir. Yani marullardaki metalaxyl pestisitlerinin %91'ü başarılı bir şekilde parçalanmıştır. Sadece elektrik akımının (1.4A) uzun süre (10dak.) uygulandığı işlemlerde Metalaxyl'in daha fazla degrade edilebildiği tespit edilmiştir. Diğer işlem süresi ve akım şiddetlerinde genellikle ultrasonik işlemcinin (24kHz) kullanıldığı elektrosonikasyon işleminin daha iyi pestisit azaltıcı etkiye sahip olduğu Tablo 4.24'den açıkça görülmektedir. Uygulanan işlem süresinin artmasıyla birlikte pestisit degradasyonunun da istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde artmıştır (P<0,05). Çoğunlukla elektrosonikasyon işlemleri sadece elektrik akımı ve sadece ultrason uygulamalarından daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca marullardaki metalaxyl pestisitleri sadece ultrasonik işlemci ile %72 degradasyon sağlanırken, sadece ultrasonik su banyosunun kullanılmasıyla %56 oranında degradasyon sağlanmıştır.

Tablo 4.24. Marul numunelerinde metalaxyl kalıntı değişimleri (ppb)

İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)						
		0	1	2	4	6	8	10
Elektrik akımı	0,2	10162,32 ±46,85	1460,12 ±10,62	2167,62 ±19,77	1599,29 ±2,66	4361,62 ±4,68	4070,85 ±6,50	4012,36 ±8,88
	0,8	10162,32 ±46,85	4799,91 ±24,11	4708,83 ±19,40	4645,93 ±11,11	4173,21 ±6,80	3612,21 ±6,76	2407,26 ±7,82
	1,4	10162,32 ±46,85	3832,45 ±17,60	3715,61 ±8,54	3799,16 ±27,00	3711,29 ±6,85	2135,58 ±5,38	906,51 ±7,78
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	10162,32 ±46,85	1941,43 ±11,61	2892,20 ±9,79	3137,46 ±5,56	3184,26 ±4,63	3407,27 ±4,78	4502,56 ±10,79
	0,2	10162,32 ±46,85	4102,56 ±33,74	4769,23 ±40,08	4606,56 ±1,17	3091,73 ±18,24	2437,12 ±1,13	2035,24 ±6,62
	0,8	10162,32 ±46,85	4804,05 ±11,69	4888,60 ±1,70	4198,69 ±13,18	4177,94 ±44,28	3387,38 ±5,47	1695,47 ±6,59
	1,4	10162,32 ±46,85	4159,66 ±13,75	4707,65 ±38,71	1985,29 ±6,28	1944,56 ±8,30	1800,82 ±9,45	1668,24 ±7,37
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	0	10162,32 ±46,85	-	5837,04 ±10,71	3224,73 ±10,67	2465,64 ±1,45	2276,29 ±1,12	2840,37 ±5,95
	0,2	10162,32 ±46,85	-	4932,55 ±3,25	3850,45 ±0,59	3570,69 ±10,85	2148,38 ±3,12	1675,68 ±8,70
	0,8	10162,32 ±46,85	-	4580,64 ±3,71	3312,10 ±5,26	2606,22 ±4,75	1577,53 ±6,66	1536,25 ±6,76
	1,4	10162,32 ±46,85	-	4442,89 ±17,36	2996,42 ±17,84	2185,67 ±7,64	695,56 ±42,04	956,41 ±6,00

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f: 40kHz ve A: %100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f: 24kHz ve A: %100)

Thiamethoxam pestisitli kontamine edilen marullarda 10115,10±713,42 ppb düzeyinde kalıntı tespit edilmiştir. Bu marullara uygulanan işlemler sonucunda 1973,36±58,06 ppb'ye kadar düşürülebilmektedir. Yani marullardaki thiamethoxam pestisitlerinin %81'i başarılı bir şekilde parçalanmıştır. Ultrasonik işlemcinin (24kHz) kullanıldığı elektrosonikasyon işlemi ve sadece elektrik akımının uygulandığı işlemlerin ultrasonik su banyosunun kullanıldığı elektrosonikasyon işleminden daha iyi pestisit azaltıcı etkiye sahip olduğu Tablo 4.25'den açıkça görülmektedir. Uygulanan işlem süresinin artmasıyla birlikte pestisit degradasyonunun da istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde artmıştır (P<0,05). Ayrıca marullardaki metalaxyl pestisitleri sadece ultrasonik işlemci ile %59 degradasyon sağlanırken, sadece ultrasonik su banyosunun kullanılmasıyla %69 oranında degradasyon sağlanmıştır.

Tablo 4.25. Marullarda thiamethoxam kalıntı değişimleri (ppb)

İşlem*	Elektrik akımı (A)	İşlem süresi (dak.)						
		0	1	2	4	6	8	10
Elektrik akımı	0,2	10115,10 ±713,42	4044,49 ±106,39	3870,43 ±98,00	3570,40 ±109,37	3561,76 ±150,55	3540,36 ±143,86	3483,51 ±18,65
	0,8	10115,10 ±713,42	3750,13 ±403,05	3597,77 ±497,38	3573,59 ±129,22	2855,27 ±89,67	2836,39 ±97,54	2799,77 ±170,63
	1,4	10115,10 ±713,42	2861,61 ±129,42	2898,08 ±170,46	2455,18 ±83,96	2371,02 ±232,55	1973,36 ±58,06	1821,34 ±15,08
Elektrosonikasyon-1 (USB + Elektrik akımı)	0	10115,10 ±713,42	4522,43 ±117,62	4977,96 ±371,34	5665,06 ±103,59	4920,73 ±265,22	4884,15 ±54,56	4999,85 ±354,19
	0,2	10115,10 ±713,42	4495,92 ±255,76	3440,05 ±383,78	3226,56 ±311,17	3460,86 ±147,13	3327,75 ±287,62	3157,07 ±321,56
	0,8	10115,10 ±713,42	4564,84 ±180,13	4037,88 ±286,81	4184,07 ±148,37	4016,39 ±207,42	4039,84 ±208,75	3423,90 ±426,14
Elektrosonikasyon-2 (USİ + Elektrik akımı)	1,4	10115,10 ±713,42	4742,89 ±399,02	4324,45 ±252,17	4370,01 ±300,25	4305,23 ±191,55	3467,10 ±138,36	3460,65 ±209,28
	0	10115,10 ±713,42	-	4723,99 ±88,29	4368,62 ±117,51	4238,82 ±67,86	4151,76 ±38,04	4124,86 ±223,32
	0,2	10115,10 ±713,42	-	3916,14 ±267,05	3411,28 ±116,20	3342,67 ±19,13	3260,91 ±149,91	2736,83 ±118,91
	0,8	10115,10 ±713,42	-	3822,70 ±165,00	3391,94 ±180,64	3307,04 ±32,81	2908,85 ±116,23	2875,58 ±68,38
	1,4	10115,10 ±713,42	-	3234,11 ±164,14	2998,06 ±225,78	2279,59 ±174,74	2257,34 ±104,09	1824,27 ±32,90

\* USB: Ultrasonik Su Banyosu (f: 40kHz ve A: %100), USİ: Ultrasonik İşlemci (f: 24kHz ve A: %100)



Thiamethoxam pestisitinin bitkisel örneklerden uzaklaştırılması konusunda USB ve USİ uygulamaları karşılaştırıldığında USİ uygulamasının daha etkili olduğu görülmektedir. Ancak her iki uygulamada da elektrik akımı devreye girdiğinde kalıntının yalnız USB veya USİ uygulamasından elde edilen sonuçlara göre daha yüksek olarak belirlendiği göze çarpmaktadır. Tespit edilen bu durumun uygulanan elektriksel akımın USB veya USİ uygulamasına olan antagonistik etkisinden kaynaklanmış olabileceği ile açıklanabilmektedir. Elde edilen verilere göre captanın domates ve marul örneklerinden uzaklaştırılmasında elektrik akımı destekli USB ve USİ uygulamalarının uygulanan akıma ve süreye göre azaldığı belirlenmiş olup, uzaklaştırmada en etkili uygulamanın domateslerde USB + 1,4 A marullarda ise USİ + 1,4 A elektrik akımının 10'ar dakikalık tatbiki olarak belirlenmiştir.

Thiamethoxam'ın uygulanan işlemlere vermiş olduğu tepkinin model sistem, domates ve marul örneklerinde kısmen farklılık göstermektedir. 0,8 ve 1,4 A'de uygulama süresinin artmasıyla marul örneklerindeki thiamethoxam kalıntılarının oldukça durağan bir şekilde azaldığı (Tablo 4.25), ancak domates örneklerinde ise sürenin kalıntı değişimine bir katkısının olmadığı görülmektedir (Tablo 4.22). Tespit edilen bu durum model sistem uygulamasından elde edilen sonuçla tam olarak örtüşmemektedir. Thiamethoxamın tuzlu suda elektriksel ortamda kısa sürede dekompoze olurken, bitki yüzeyinde daha stabil kalması moleküler yapı olarak bu pestisit bitki yüzeyine affinitesinin yüksek olması ile açıklanabilir. Aynı zamanda ticari pestisit preparatlarında molekülün bitki yüzeyine bağlanmasını artırıcı bir takım ilave kimyasalların da buna katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. USB uygulamasının marul örneklerindeki thiamethoxam kalıntılarını ilk 4 dakikada süreye bağlı olarak artırdığı dikkati çekmektedir (Tablo 4.25). Bu durumun USB'de uygulana titreşimler etkisi ile bitki yüzeyinden çözünerek uzaklaşması gereken pestisit bitkiye penetre olmuş olabileceğini ve böylelikle oransal olarak daha yüksek bir kalıntı ile karşılaşılabilceğini düşündürmektedir. Sonraki süre değerlerinde ise kalıntı düzeyinin stabil olarak kaldığı görülmektedir. USB ve USİ uygulamalarına ilave olarak elektrik akımı da devreye girdiğinde marul ve tuzlu su örneklerinde kalıntının önemli düzeyde azalışlar gösterdiği tespit edilmiştir. Domates örneklerinde ise thiamethoxam kalıntı düzeyleri oldukça düşük düzeylerde belirlenmiş olup uygulamalara bağlı kalıntı seyirlerinin oransal olarak marul örneklerinden elde edilenlere göre benzerlikler gösterdiği bulunmuştur.

#### **4.3.4. Pestisit degradasyon ürünlerinin belirlenmesi**

Proje çalışmasında planlanan pestisit degradasyon ürünlerinin belirlenmesi ile ilgili olarak işlemler sonucunda meydana gelebilecek degradasyon ürünlerinin GC/MS cihazı ile test edileceği ve bu analizler sırasında kütle spektroskopisinde belirlenen piklerden pestisit ve tuz haricindeki bileşiklerin model sistemde başka madde bulunmaması gerekçesi ile pestisit

degradasyon ürünü olarak kabul edileceği bildirilmişti. Ancak proje konusu analitlerin domates ve marulda kullanımlarının yasaklandığı belirlenmiş olup, kalıntısı izlenmesi gereken pestisitler konusunda Antalya Tarım İl Müdürlüğü, Bitki Koruma Şubesi ile görüşülerek bu ürünlerde ruhsatlı ve son zamanlarda oldukça yaygın kullanılan pestisitlerin seçimi yoluna gidilmiştir. Bu kapsamda captan, thiamethoxam ve metalaxyl etken maddeli pestisitler hedef olarak seçilmiştir. Belirtilen etken maddeler ile yapılan ön denemelerde GC/MS ve GC/ECD sistemler ile denenmiş ve sonuçta araştırma konusu pestisitlerin GC/ECD sisteminde daha fazla hassasiyet göstermesi, üç pestisit de aynı anda analiz edilebilme imkanı ve aynı zamanda internal standart olarak kullanılan diethatyl-ethyl'in de ECD dedektörlü GC'de stabil sonuçlar üretmesi nedenleri ile çalışmanın GC-ECD cihazında yapılmasına karar verilmiştir. Teorik olarak hassasiyet artışının nedenleri proje raporunun "pestisitlerin degradasyonu üzerine elektrosonikasyon işleminin etkisi" bölümünde anlatılmıştır. GC-ECD sistemi araştırma konusu maddelere yönelik bir takım avantajlar sunmasına rağmen, kütleli anlamda bir tanımlama mekanizması içermemektedir ve bu nedenle kromatogram üzerindeki herhangi bir pikin moleküler yapısının tahminlenmesini gerçekleştirememektedir. Sonuç olarak elde edilen bir pikin kalıntısı araştırılan pestisit degradasyonundan kaynaklanıp kaynaklanmadığını söylemek mümkün olamamaktadır.

Domates ve marul örneklerindeki kalıntı düzeyinin belirlenmesinde gerçek durumu yansıtmaması açısından ticari pestisit preparatları kullanılmıştır. Model sistem denemelerinde de benzer şekilde ticari pestisit preparatları kullanılarak bu maddelerin bitki örneği olmadığı tuzlu su koşullarındaki kalıntı değişimi izlenerek elde edilen sonuçlar bitki örnekleri ile karşılaştırılmıştır. Ticari pestisit preparatları etken madde haricinde bir takım dolgu materyallerini de ihtiva etmekte ve bu maddelerden kaynaklanan bir takım bileşikler kromatograma yansımaktadır. Bu noktadan hareketle pestisit aktif madde harici elde edilen diğer pikleri degradasyon ürünü olarak değerlendirmek yanımlara neden olabilmektedir.

Verilen bu bilgiler ışığında, proje kapsamına giren analizlerin kalıntıları GC-ECD sistemi ile analiz edilmiş ve bu maddelerin degradasyon ürünleri belirtilen sistemle tanımlanamamıştır.

#### 4.4. Elektrosonikasyon uygulanmış sebzelerin fizikokimyasal, tekstürel ve mikrobiyal özellikleri üzerine depolamanın etkisi (IV. İş paketi)

I. ve II. İş paketinde elde edilen sonuçlara göre tekstür, antioksidan özellikler, toplam karotenoid miktarı ve fizikokimyasal özelliklerdeki düşük değişimlerin; mikrobiyotaya üzerine yüksek inaktivasyonların gözlemlendiği beş farklı işlem şartı belirlenmiştir (Tablo 4.26). Bu işlem şartlarında I. ve II. İş paketindeki sonuçlardan da gözlemleneceği üzere ultrases işleminin birlikte kullanılmasının önemli bir etkisi olmadığı, dekontaminasyonlar üzerine elektrik akımının etkisinin yüksek olduğu ortaya koyulmuştur. Belirlenen işlemler sebzelere uygulanmış ve bu sebzeler 2 hafta boyunca +4 ve +10°C depolanarak depolama süresince meydana gelen değişimler izlenmiştir. İstanbul sebze halinden alınan sebzeler iki gruba ayrılmış ve işlemler aşağıdaki gibi uygulanmıştır.

a) Depolamanın sebzelerin fizikokimyasal/tekstürel özellikleri ve doğal mikrobiyotaya üzerine etkisi

b) Depolamanın sebzelerin patojen mikroorganizmalar üzerine etkisi

Tablo 4.26. IV. iş paketinde uygulanacak işlem şartları

İşlem	Elektrik akımı (A)	Ultrases	Süre (dak.)	İşlem kodu
Kontrol	-	-	-	Kontrol
1. İşlem	200	-	10	0,2A-10dak
2. İşlem	800	-	5	0,8A-5dak
3. İşlem	800	-	10	0,8A-10dak
4. İşlem	1400	-	5	1,4A-5dak
5. İşlem	1400	-	10	1,4A-10dak

#### 4.4.1. Elektrik akımı uygulanmış sebzelerin fizikokimyasal/tekstürel özellikleri ve doğal mikrobiyotaya üzerine depolamanın etkisi

##### 4.4.1.1. Doğal mikrobiyotaya üzerine etkisi

Seçilen 5 farklı dekontaminasyon yöntemleri domates ve marullara çok seri bir şekilde uygulanmış ve kontrole karşı 2 hafta boyunca depolanmıştır. Fakat marul örneklerinde 2 haftadan daha önce bozulduğu görülmüştür (Şekil 4.23). Bozulan örneklerde depolamaya devam edilmemiş ve analizler sonlandırılmıştır. Buna karşılık domates örneklerinde bazen domates yüzeyinde yumuşamalar ve küflenme tespit edilmiş ve depolama en fazla 12. güne kadar devam ettirilmiştir. Elektrik akımı genel olarak şiddet ve sürenin artışına bağlı olarak bütün mikroorganizma gruplarında önemli seviyede ( $P < 0,05$ ) dekontaminasyona sebep olmakla birlikte her iki sıcaklıkta da yapılan depolama işleminde raf ömrü üzerine olumlu bir katkı tespit edilememiştir.

İşlem uygulanan marullar ıslanmanın ve işlem sırasında dokuda oluşan yumuşama gibi bazı fiziksel özelliklerindeki değişimin de etkisiyle daha hızlı bozulabildiği tespit edilmiştir. Marul örnekleri 4°C'de 8.gün ve 10°C'de 6. gündenden itibaren bozulduğu tespit edilmiştir. 0,8 A elektrik akımının 5 dakika uygulandığı marul örnekleri de kontrole aynı sürede bozulurken, diğer işlemlerin uygulandığı marullar kontrol örneklerinden daha önce bozulduğu tespit edilmiştir. Marullara uygulanan işlemler neticesinde örnekler ıslanmış ve işlem sırasında dokuda meydana gelen küçük tahribatların da etkisiyle mikroorganizma yükü düşmesine rağmen hızlı bir şekilde bozulma eğilimde olmuşlardır. Eğer bu ürünler hemen tüketime sunulursa dekontaminasyonların önemli seviyelerde gerçekleştiği I. iş paketinin sonuçlarından anlaşılmaktadır. Ayrıca I. iş paketinde yapılan bazı işlemlerde işlem sonrası herhangi bir mikrobiyal gelişime rastlanmasına rağmen IV. iş paketi çerçevesinde yapılan işlemlerdekinde nispeten daha düşük dekontaminasyonun elde edildiği tespit edilmiştir. Bu farklılığın domateslerin yüzeysel ve yapısal olarak mikroorganizmayı tutma ve işlem etkinliğini engellemede önemli olabileceği sonucuna götürmüştür. Bu iş paketi çerçevesinde yapılan işlemler, I. iş paketinden yaklaşık 6-12 ay sonra gerçekleştirilmiş olup, kullanılan domateslerin aynı çeşit sebzeler olmasına rağmen iklim, yetiştirilme şartları vb. faktörlere bağlı olarak sonuçlarda dekontaminasyon seviyesinin IV. iş paketinde bazen farklılıklar olabilmektedir.



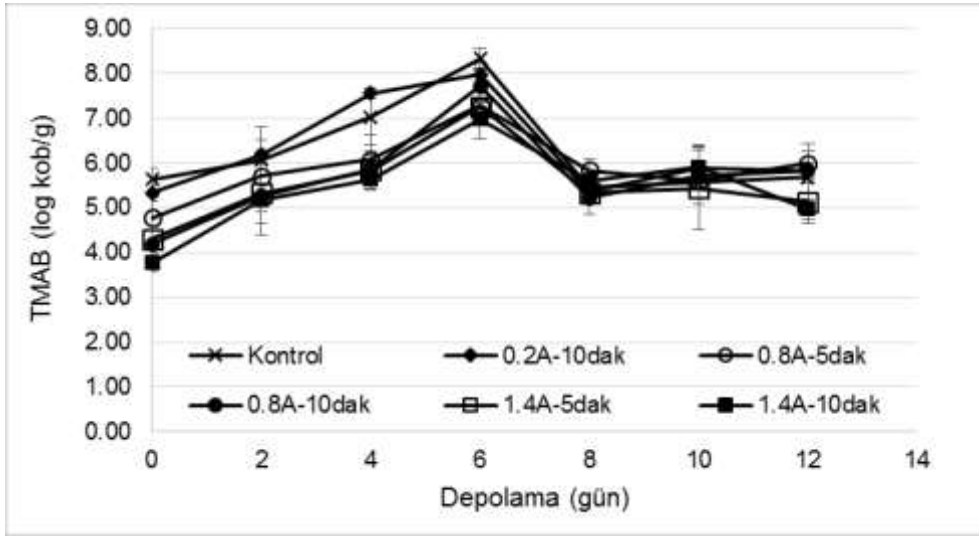
Şekil 4.23. Depolama sürecinde bozulduğu tespit edilen sebzelerin görüntüsü

Domateslerdeki toplam mezofilik-aerobik bakteri (TMAB) yükü  $5,64 \pm 0,25$  log kob/g olarak tespit edilmiştir. Domateslere 5 farklı elektrik akımı uygulanmış ve kontrole karşı 2 hafta boyunca +4 ve 10°C'de depolanmış ve domateslerdeki TMAB değişimi 2 gün arayla izlenmiştir (Şekil 4.49). +4°C'de depolamanın 12., 10°C'de ise 10. gününden sonra domateslerin bozulması nedeniyle depolama sonlandırılmıştır. Kontrol örnekleri 6 gün içinde  $5,64 \pm 0,25$  log kob/g'dan  $8,33 \pm 0,21$  log kob/g'a kadar yükselmiş ve daha sonrasında TMAB yükü düşmeye başlamış ve 12.günde  $5,68$  log kob/g seviyesine kadar azalmıştır. Elektrosonikasyon işlemi sonrasında TMAB patojenini en fazla 1.4A'in 10 dak. uygulandığı elektrik akımın sebep olduğu ve TMAB yükünü  $2,77 \pm 0,21$  log kob/g'a kadar düşürdüğü tespit edilmiştir. Dolayısıyla yaklaşık 3 log'luk bir

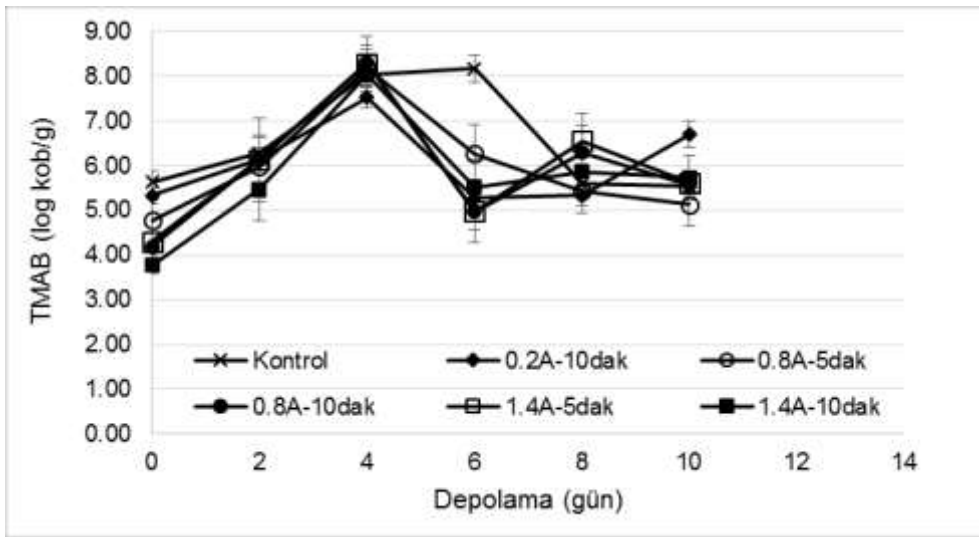
inaktivasyon olmuştur. Bununla birlikte işlem uygulandıktan sonra en düşük dekontaminasyon ise 0.2A'in 10 dak. uygulanması durumunda ise 1,3 log mikrobiyal dekontaminasyon olmuştur. Bununla birlikte I. iş paketinde yapılan işlemlerde TMAB dekontaminasyonunun 0,2A-10dak işlemiyle 2,5 log, 1,4A-10dak işlemiyle ise >4,3 log seviyesinde dekontamine edildiği görülmektedir (Şekil 4.1). Uygulanan işlemlerin mevsimsel farklılığına bağlı olarak ürünlerdeki yapısal değişimlere bağlı olarak mikroorganizmaların materyale tutunma seviyelerinin değiştiği ve dolayısıyla işlemlere bağlı dekontaminasyonların farklı olduğu düşünülmektedir. Patojenlerin genel olarak 6. güne kadar hızlı bir şekilde yükseldiği ve 6. günden sonra ise sayıların azaldığı görülmüştür. 10°C'de yapılan depolamada ise benzer şekilde 4. günde en yüksek seviyeye ulaşılmıştır. TMAB'lerin domateslerin yüzeyindeki mikronutrientleri kullanarak sayılarının arttığı ve 8. Günden itibaren sayılarının azaldığı düşünülmektedir. İşlem uygulanmış domateslerde patojen dekontaminasyonunun yüksek olmasına rağmen daha hızlı geliştikleri görülmektedir. Buna işlemler sırasında domateslerin mikro düzeyde zarar görmesine bağlı olarak mikroorganizmaların gelişebileceği ortamın oluşmuş olabileceği düşünülmektedir.

Pinheiro vd. (2015) domateslerin depolama kalitesini artırmak üzere farklı seviyelerde US işlemi uygulamış olup, bu işlemler sonucunda 3,8 log olan TMAB seviyesini yaklaşık olarak 1 log azaltmayı başarmıştır. Depolamanın 8. gününde kontrol örneklerindeki TMAB sayısı 6 log'a ulaşırken uygulana işlem seviyesindeki farklılıklara bağlı olarak US uygulanmış domateslerdeki TMAB sayısı 2-5 log arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada 4. iş paketi çerçevesinde sadece elektrik akımı ile muamele yapılmış olup US işlemleri uygulanmamıştır. Elektrik akımı uygulamasında daha iyi dekontaminasyon sonuçları elde edilmesine rağmen depolama süresinde mikroorganizmalar hızla çoğalmıştır.

İşlem uygulanmamış domateslerdeki psikrofilik-psikrotrofik mikroorganizma sayısı (TPPB)  $5,35 \pm 0,42$  log kob/g olarak tespit edilmiş olup, depolama boyunca TMAB'ler göre biraz daha fazla gelişim göstermişlerdir. +4°C'de yapılan depolama işlemlerinde TMAB'lerde olduğu gibi (Şekil 2.24) 6. günde en yüksek seviyeye ulaşılmış ve daha sonrasında mikroorganizma sayısında azalma görülmüştür. +10°C'de yapılan depolama işlemlerinde (Şekil 4.24) TMAB'lerdekin gelişimine benzer bir gelişim sergileyerek 4. günde en yüksek seviyeye ulaşılmıştır. Besin ortamının azalması nedeniyle sonraki günlerde sayılarında kısmen azalma görülmüştür (TPPB'lerin gelişim grafiği rapor edilmemiştir).



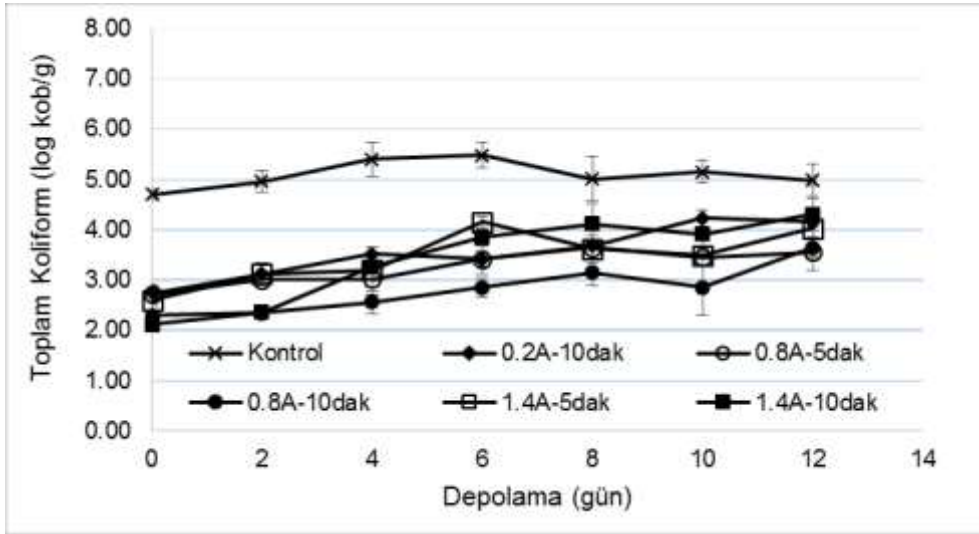
(+4°C)



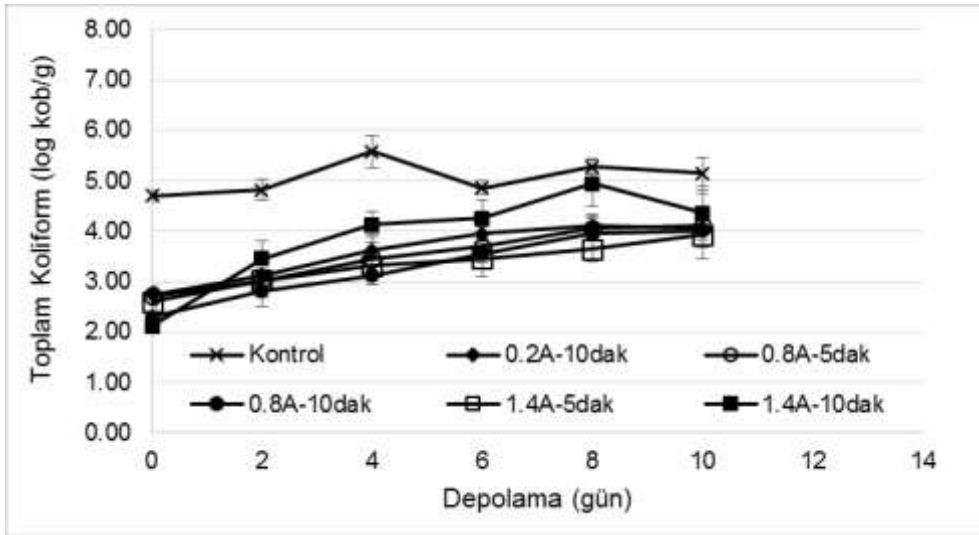
(10°C)

Şekil 4.24. Elektrik akımı uygulanan domateslerdeki TMAB'nin depolama sürecindeki değişimi

Domateslerdeki toplam koliform bakteri (TKB) yükü  $4,70 \pm 0,11$  log kob/g olarak tespit edilmiştir. Domateslere 5 farklı elektrik akımı uygulanmış ve kontrole karşı 2 hafta boyunca  $+4$  ve  $10^{\circ}\text{C}$ 'de depolanmış ve domateslerdeki TMAB değişimi 2 gün arayla izlenmiştir (Şekil 4.25).  $+4^{\circ}\text{C}$ 'de depolamanın 12.,  $10^{\circ}\text{C}$ 'de ise 10. gününden sonra domateslerin bozulması nedeniyle depolama sonlandırılmıştır. Kontrol örnekleri  $+4^{\circ}\text{C}$ 'de yapılan depolamada 6. günde  $5,48 \pm 0,26$  log kob/g'a,  $10^{\circ}\text{C}$ 'de ise  $5,58 \pm 0,32$  log kob/g'a kadar nispeten hızlı bir şekilde yükselmiş ve daha sonra durağan bir seyir izlemiştir. İşlem uygulanmış domateslerdeki koliform da bu şekilde seyretmiş olup, işlem uygulanmış ürünlerde koliform bakteri sayısı kontrol örneklerine ulaşmamıştır.



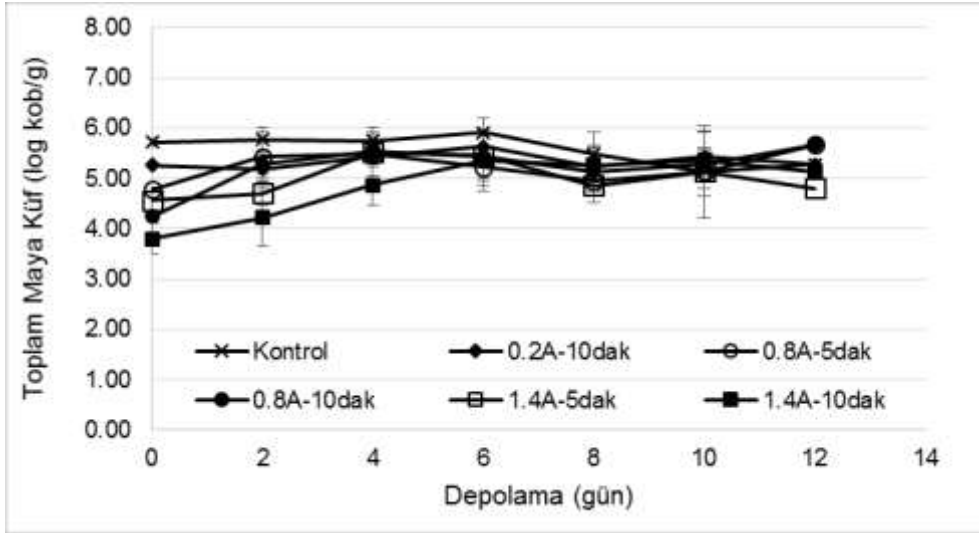
( $+4^{\circ}\text{C}$ )



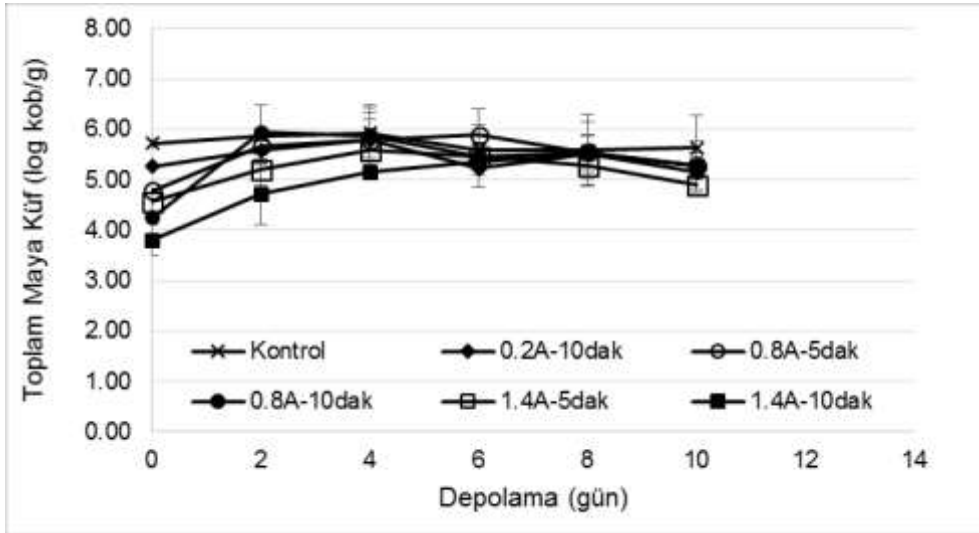
( $10^{\circ}\text{C}$ )

Şekil 4.25. Elektrik akımı uygulanan domateslerdeki toplam koliform bakterilerinin depolama sürecindeki değişimi

Domateslerdeki başlangıç toplam maya ve küf (TMK) yükü  $5,60 \pm 0,08$  log kob/g olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.26). Domatesler uygulanan elektrik akımı sebebiyle yaklaşık 2 log seviyesinde bir dekontaminasyon meydana gelmiştir. I. iş paketi çerçevesinde yapılan dekontaminasyon işlemlerinde 4 log'un üzerinde bir dekontaminasyon olduğu görülmüştür (Şekil 4.5) depolamanın yapılacağı bu çalışmada daha düşük seviyede bir dekontaminasyon olduğu görülmektedir. İş paketleri farklı mevsimlerde uygulandığı için domateslerin yetiştirildiği yer/dönem ve mikroorganizmaların domateslere tutunmasındaki farklılıklara bağlı olarak elektrik akımının daha düşük seviyede dekontaminasyona sebep olduğu düşünülmektedir. Maya ve küflerin gelişmesi diğer mikroorganizmalar kıyasla daha yavaş olduğu görülmektedir. Bunun sebebi mikroorganizmalar ölmeseyse de hasar görmesinin bir sonucu ortaya çıkmış olabilir. Belli bir süre sonra ise ortamdaki besinlerin azalmasıyla gelişimleri iyice durağanlaştığı görülmektedir.



(+4°C)

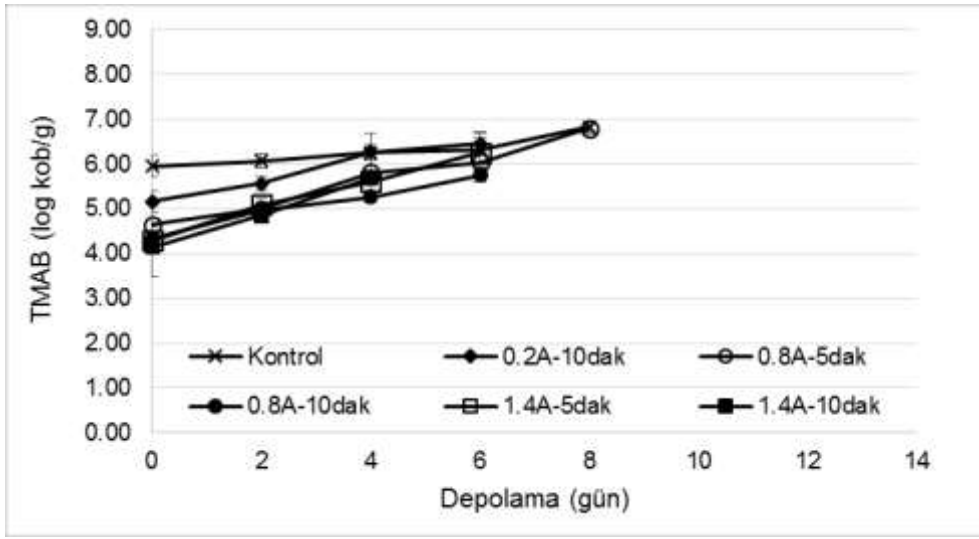


(10°C)

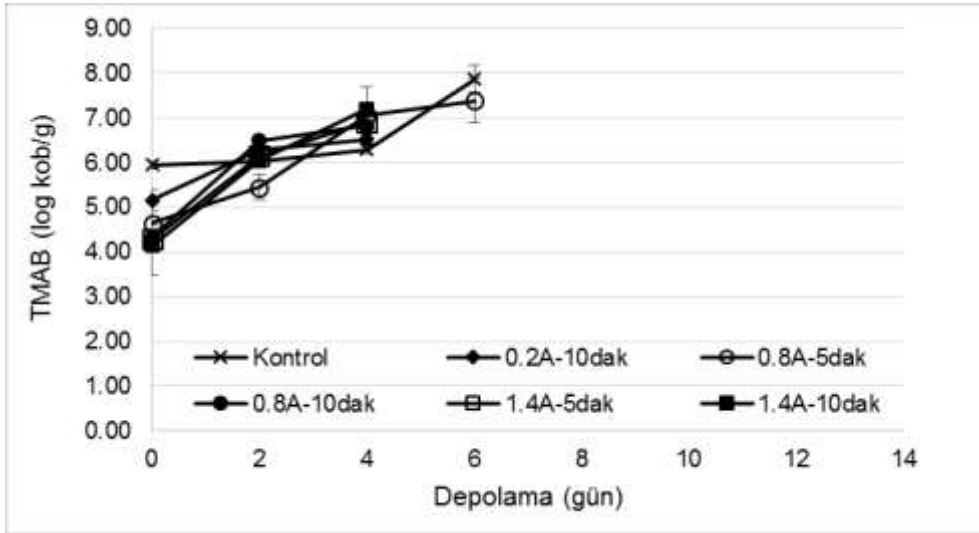
Şekil 4.26. Elektrik akımı uygulanan domateslerdeki toplam maya-küf (TMK) depolama sürecindeki değişimi



İşlem uygulanmamış marul örneklerinde TMAB yükü  $5,95 \pm 0,18$  log kob/g olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.27). Uygulanan işlemler sonrasında yaklaşık 1,8 log mikroorganizma dekontaminasyonunun gerçekleştiği görülmektedir. Kontrol işlemiyle sadece 1 elektrik akımı uygulaması (0,8A-5dak) eşit sürede depolanırken diğer örnekler 2 gün daha önce bozuldukları tespit edilmiştir. Kontrol örneği  $+4^{\circ}\text{C}$ 'de depolanırken 8. güne kadar 0,9 log artarken işlem uygulanmış (0,8A-5dak) marullar işlemin verdiği zararlanmanın da etkisiyle 2,2 log seviyesinde artış göstermiştir. Kontrol örneği  $+10^{\circ}\text{C}$ 'de depolanırken 6. güne kadar 1,9 log artarken işlem uygulanmış marullar işlemin verdiği zararlanmanın da etkisiyle 2,7 log seviyesinde artış göstermiştir.



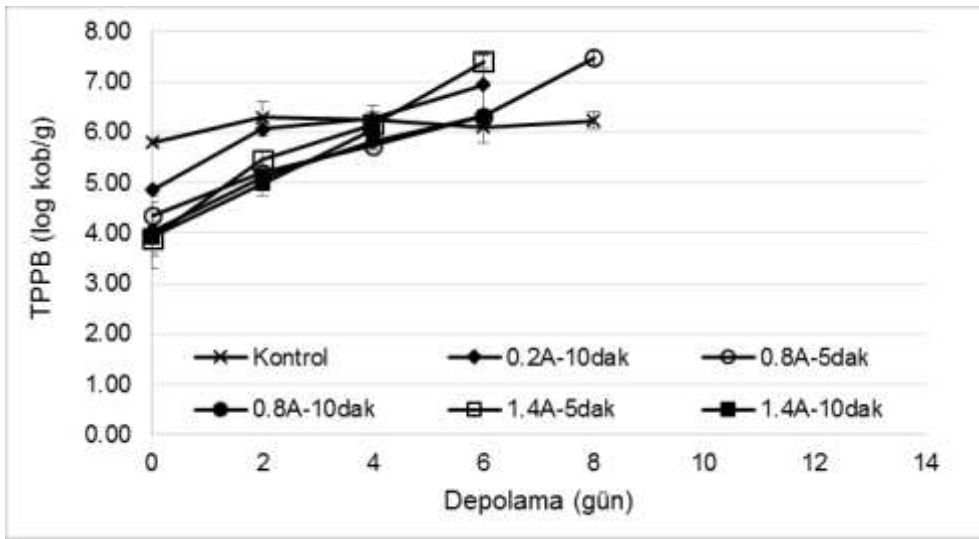
( $+4^{\circ}\text{C}$ )



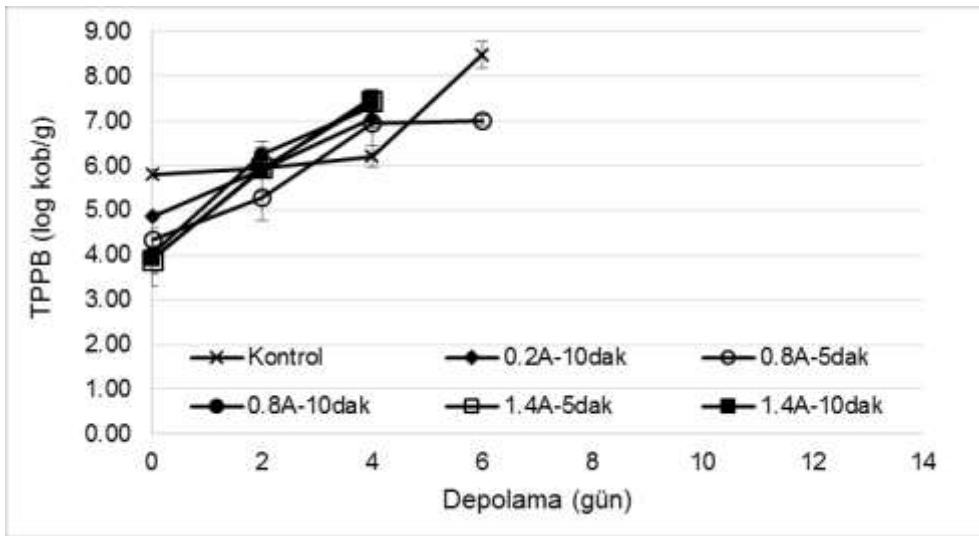
( $+10^{\circ}\text{C}$ )

Şekil 4.27. Elektrik akımı uygulanan marullardaki TMAB'nin depolama sürecindeki değişimi

İşlem uygulanmamış marul örneklerinde TPPB yükü  $5,80 \pm 0,24$  log kob/g olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.28). Uygulanan işlemler sonrasında yaklaşık 2 log mikroorganizma dekontaminasyonunun gerçekleştiği görülmektedir. Kontrol işlemiyle sadece 1 elektrik akımı uygulaması (0,8A-5dak) eşit sürede bozulmadan depolanırken diğer örnekler 2 gün öncesinde bozuldukları tespit edilmiştir. Kontrol örneği  $+4^{\circ}\text{C}$ 'de depolanırken 6. güne kadar 1 log artarken, işlem uygulanmış (0,8A-5dak) marullar işlemin verdiği zararlanmanın da etkisiyle 2,8 log seviyesinde artış göstermiştir. Kontrol örneği  $+10^{\circ}\text{C}$ 'de depolanırken 4. güne kadar 1,9 log artarken işlem uygulanmış marullar işlemin verdiği zararlanmanın da etkisiyle 2,7 log seviyesinde artış göstermiştir.



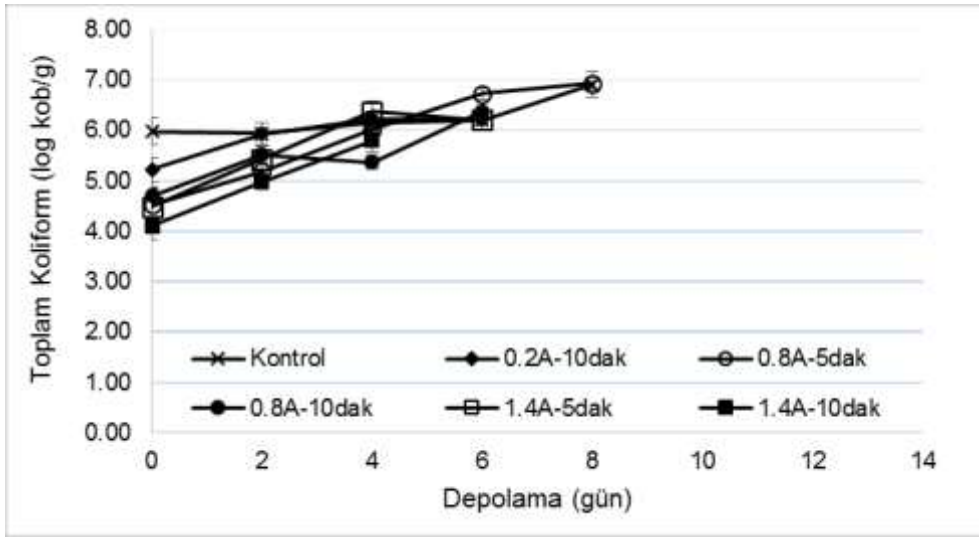
( $+4^{\circ}\text{C}$ )



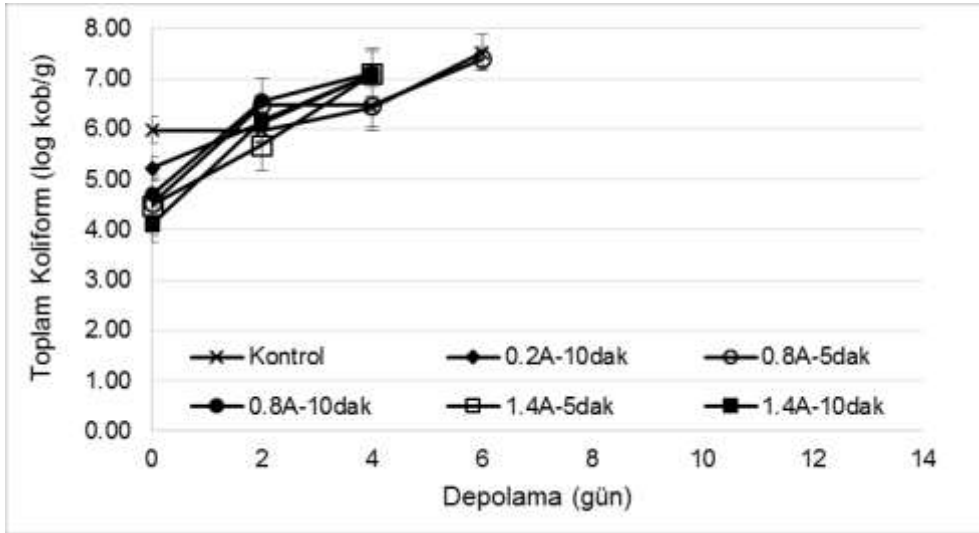
( $+10^{\circ}\text{C}$ )

Şekil 4.28. Elektrik akımı uygulanan marullardaki TPPB'nin depolama sürecindeki değişimi

İşlem uygulanmamış marul örneklerinde toplam koliform bakteri yükü  $5,80 \pm 0,24$  log kob/g olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.29). Uygulanan işlemler sonrasında yaklaşık 1,6 log mikroorganizma dekontaminasyonun gerçekleştiği görülmektedir. Kontrol işlemiyle sadece 1 elektrik akımı uygulaması (0,8A-5dak) eşit sürede bozulmadan depolanırken diğer örnekler 2 gün öncesinde bozuldukları tespit edilmiştir. Kontrol örneğinin koliform yükü  $+4^{\circ}\text{C}$ 'de depolanırken 6. güne kadar 1,5 log artarken, işlem uygulanmış (0,8A-5dak) marullar işlemin verdiği zararlanmanın da etkisiyle 2,4 log seviyesinde artış göstermiştir. Kontrol örneğinin koliform yükü  $+10^{\circ}\text{C}$ 'de depolanırken 4. güne kadar 1,5 log artarken işlem uygulanmış marullar işlemin verdiği zararlanmanın da etkisiyle mikrobiyal yük 2,9 log seviyesinde artış göstermiştir.



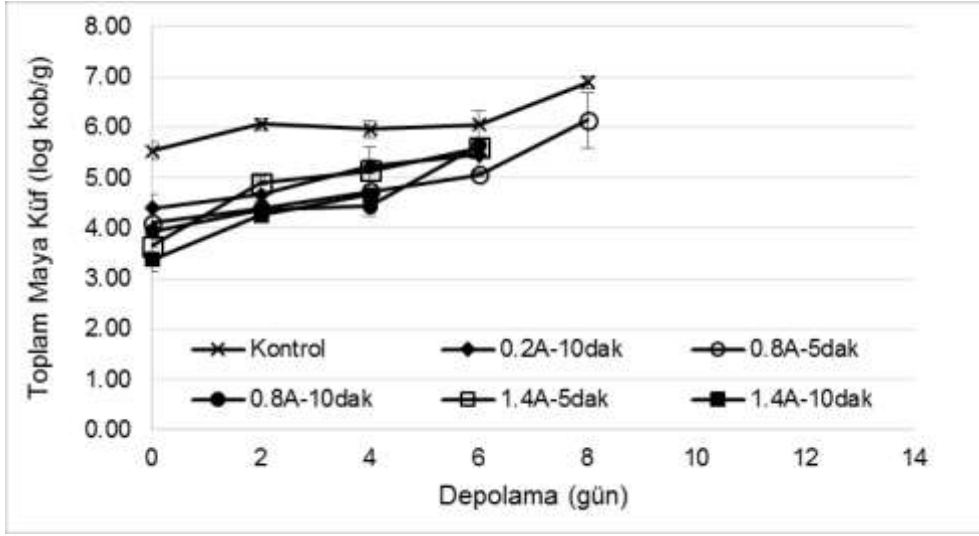
( $+4^{\circ}\text{C}$ )



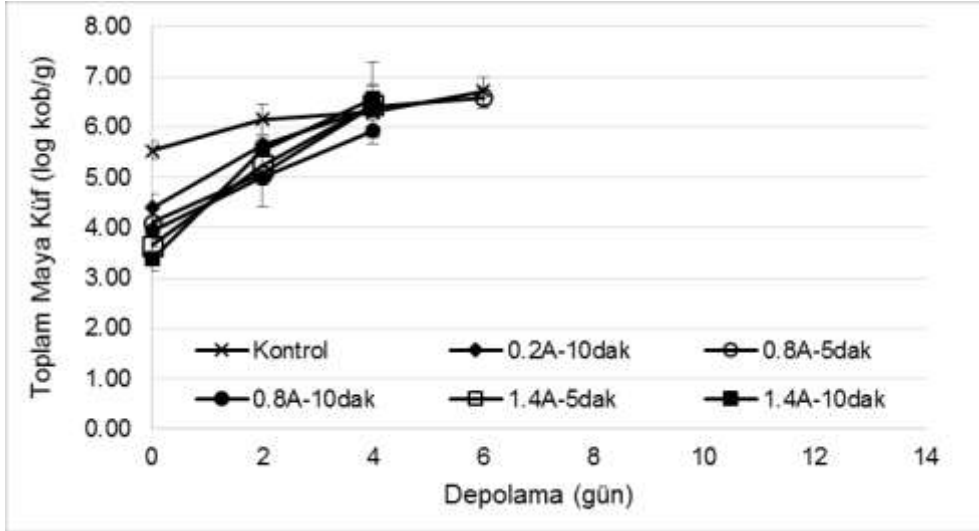
( $+10^{\circ}\text{C}$ )

Şekil 4.29. Elektrik akımı uygulanan marullardaki toplam koliform bakteri depolama sürecindeki değişimi

İşlem uygulanmamış marul örneklerinde toplam maya ve küf yükü  $5,53 \pm 0,18$  log kob/g olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.30). Uygulanan işlemler sonrasında yaklaşık 1,9 log mikroorganizma dekontaminasyonun gerçekleştiği görülmektedir. Kontrol işlemiyle sadece 1 elektrik akımı uygulaması (0,8A-5dak) eşit sürede bozulmadan depolanırken diğer örnekler 2 gün öncesinde bozuldukları tespit edilmiştir. Kontrol örneği  $+4^{\circ}\text{C}$ 'de depolamanın 6. güne kadar mikrobiyal yük 1,2 log artarken, işlem uygulanmış (0,8A-5dak) marullar işlemin verdiği zararlanmanın da etkisiyle mikrobiyal yük 2,0 log seviyesinde artış göstermiştir. Kontrol örneğinin mikrobiyal yükü  $+10^{\circ}\text{C}$ 'de depolanması sürecinde 4. güne kadar 1,4 log artarken işlem uygulanmış marullar işlemin verdiği zararlanmanın da etkisiyle mikrobiyal yükü 2,5 log seviyesinde artış göstermiştir.



( $+4^{\circ}\text{C}$ )



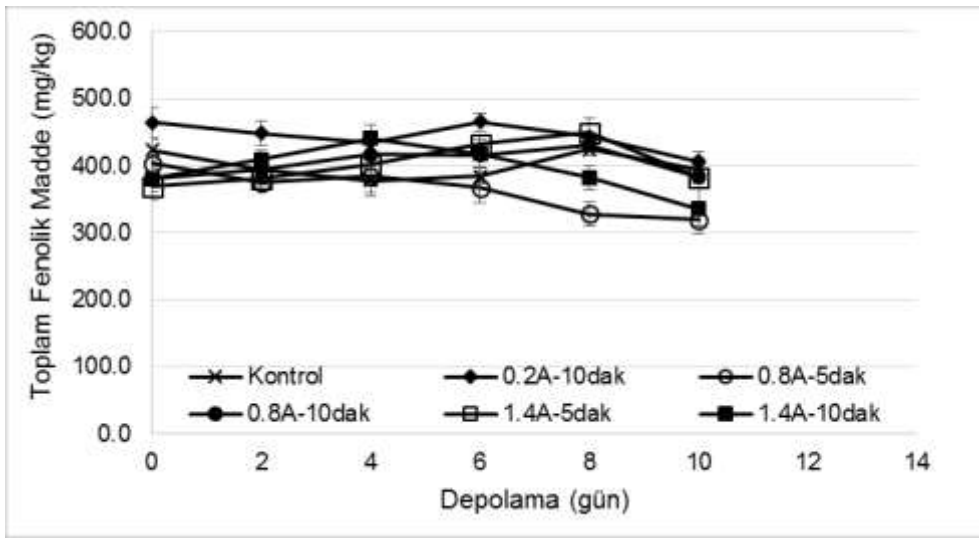
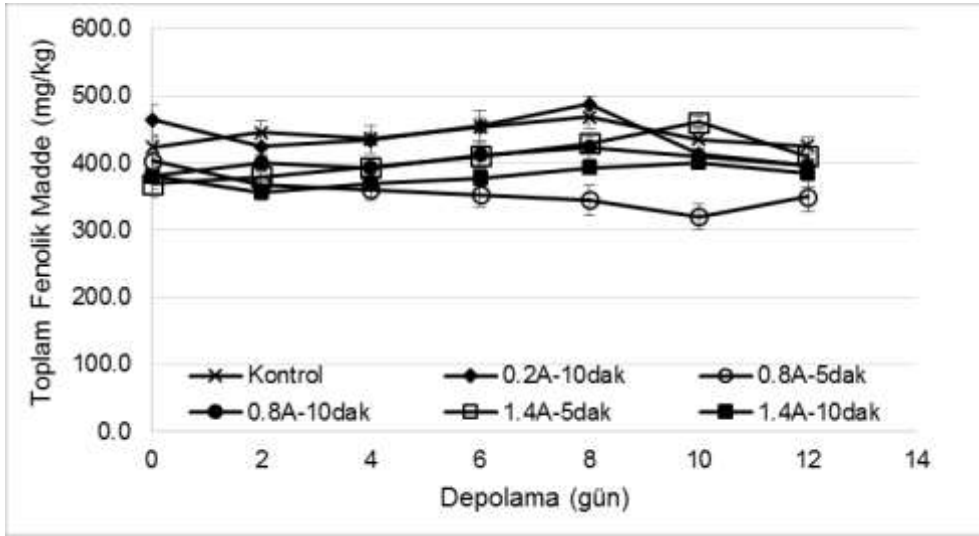
( $+10^{\circ}\text{C}$ )

Şekil 4.30. Elektrik akımı uygulanan marullardaki toplam maya-küflerin depolama sürecindeki değişimi

Allende vd. (2008) doğranmış havuçlarda yaptığı bir çalışmada TMAB sayısını 100ppm asitlendirilmiş klorit (ASC) ile 3 log'a yakın TMAB dekontaminasyonu sağlarken 250, 500 ve 1000 ppm ASC ile TMAB tamamen dekontamine edilebilmiştir. Bahsedilen bu asitlendirilmiş klorit üretimi elektrik akımı uygulaması ile kontrollü şartlarda gerçekleştirilmiştir. +5°C'de yapılan 14 günlük depolamanın sonunda TMAB sayısı 2 log artarken 250 ppm ASC uygulanan havuçların TMAB yükü yaklaşık 7 log, 500ppm ASC uygulanan havuçlarda ise yaklaşık 4 log seviyesinde bir artış gözlemlenmiştir. 1000ppm ASC ile yıkanan havuçlarda ise 14. gün bile gelişim olamamıştır. Allende vd. (2008) doğranmış havuçların TMAB zerine bulunduğu sonuçlar aynı örneklerin toplam maya küf üzerine de benzer bir etki gösterdiği açıkça görülmektedir. 100ppm ASC ile 1 log'un altında bir dekontaminasyon sağlanırken 500 ve 1000 ppm ASC' ile yıkanan doğranmış havuçlarda toplam maya kfe rastlanmamıştır. +5°C'de yapılan depolamanın 7. gününde 250ppm ASC ile yıkanan havuçlarda 3 log maya küf gelişimi olurken 500 ASC ile yıkanmış olan havuçlarda maya küf gelişimi 14. günde 4 log'a yakın olmuştur. 1000ppm ASC ile yıkanan havuçlarda ise 14. gün bile gelişim olamamıştır. Dolayısıyla burada kullanılan dozun çok önemli bir parametre olduğu görülmektedir. Bizim projemiz çerçevesinde elde edilen sonuçlarda da uygulanan işlemlerde elde edilen serbest klor ile ilişkili bir şekilde mikrobiyal dekontaminasyon olmuştur.

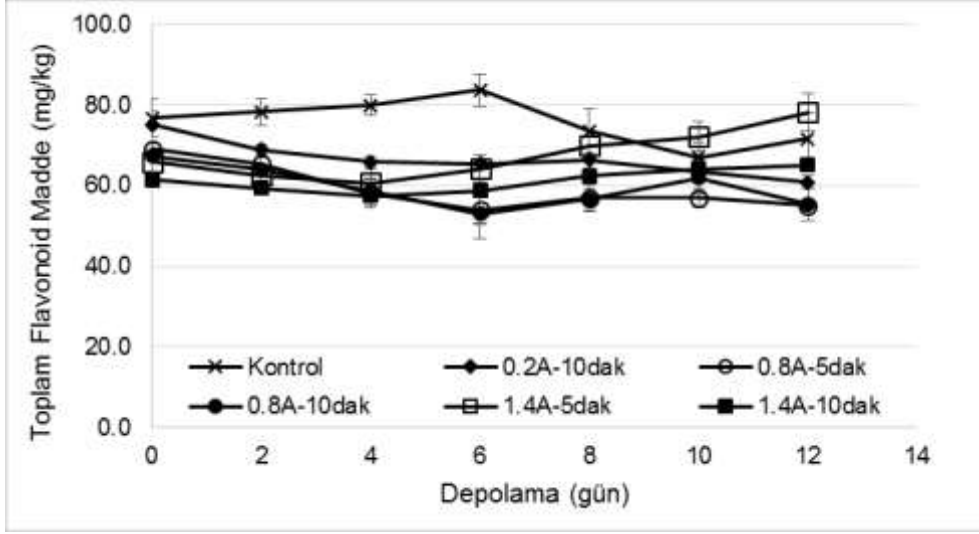
#### **4.4.1.2. Antioksidan zelliklerine etkisi**

işlem uygulanmamış domateslerde 423,6±15,1 GAE mg/kg düzeyinde toplam fenolik bileşik düzeyi tespit edilmiştir (şekil 4.31). Pinheiro vd. (2015) domateslerin depolama kalitesini artırmak üzere farklı seviyelerde US uyguladığı bir çalışmasında US işleminin şiddetine bağlı olarak fenolik bileşiklerin nispeten arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca depolamaya bağlı olarak hem kontrol hem de işlem uygulanmış örneklerde fenolik bileşiklerin önemli seviyede arttığı tespit edilmiştir. Domateslerin depolama sürecinde canlılığını devam ettirmesine bağlı olarak fenolik bileşiklerdeki artış açıklanabilir bir durum olmakla birlikte bizim tarafımızdan yapılan depolama işleminde kontrole ait fenolik bileşiklerde önemli seviyede bir değişim gözlemlenmemiştir. Altun (2011) tarafından yapılan tez çalışmasında da domateslerin çeşitlerine bu değişimin artma veya azalma yönünde olabileceği rapor edilmektedir. Elektrik akımı uygulanan örneklerde fenolik bileşiklerde istatistiksel olarak önemli seviyede ( $P<0,05$ ) fenolik kaybı yaşanmış olup bu oran +4C'de yapılan depolamada %13'e kadar ulaşırken +10C'de yapılan depolamada %21'e kadar düştüğü tespit edilmiştir.

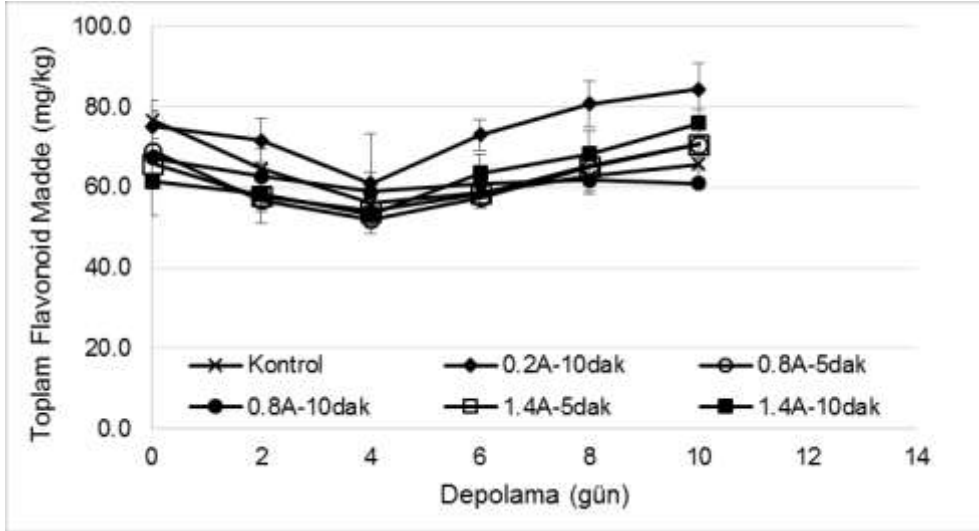


Şekil 4.31. Elektrosonikasyon uygulanan domateslerin toplam fenolik madde (mg/kg) içeriğinin depolama sürecindeki değişimi

İşlem uygulanmamış domateslerde  $76,8 \pm 11,8$  kateşin eşdeğeri mg/kg düzeyinde toplam flavonoid madde tespit edilmiştir (Şekil 4.32).  $+4^{\circ}\text{C}$ 'de yapılan depolama işleminde kontrol örneklerinin flavonoid içeriğinde önemli seviyede bir azalma gözlemlenmezken ( $P>0,05$ ),  $+10^{\circ}\text{C}$ 'de yapılan depolamada %14 seviyesinde bir azalma olmuştur. Bununla birlikte elektrik akımı uygulanan örneklerde flavonoid bileşiklerde istatistiksel olarak önemli seviyede ( $P<0,05$ ) flavonoid kaybı yaşanmış olup bu oran  $+4^{\circ}\text{C}$ 'de yapılan depolamada %13'e kadar ulaşırken  $+10^{\circ}\text{C}$ 'de yapılan depolamada %21'e kadar düştüğü tespit edilmiştir.



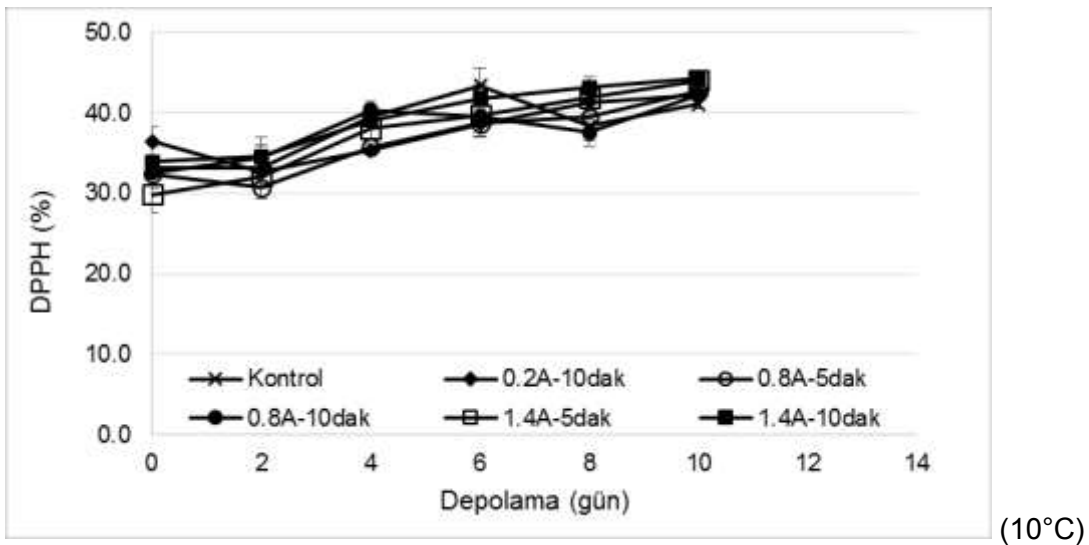
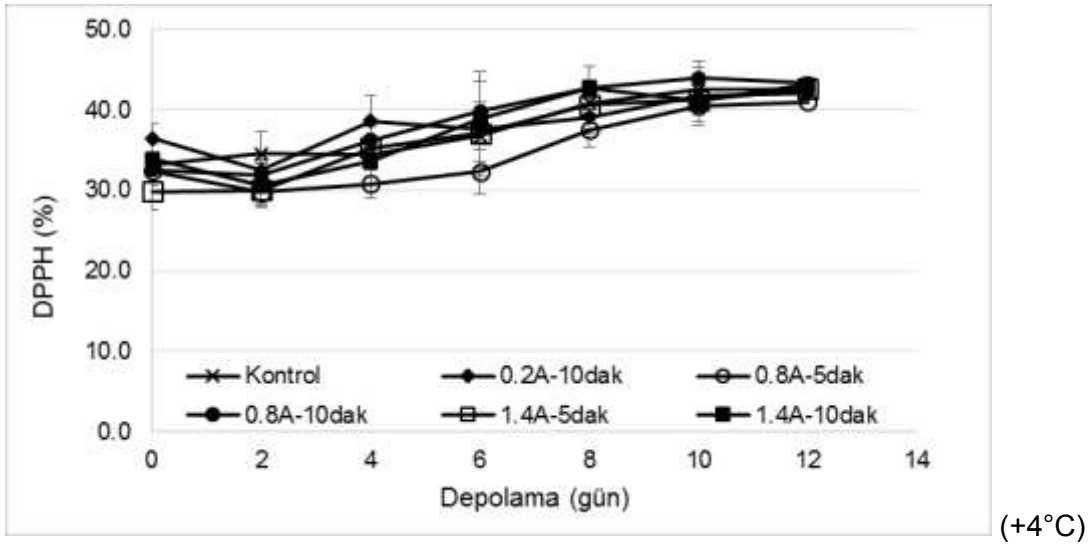
( $+4^{\circ}\text{C}$ )



( $+10^{\circ}\text{C}$ )

Şekil 4.32. Elektrosonikasyon uygulanan domateslerin toplam flavonoid madde (mg/kg) içeriğinin depolama sürecindeki değişimi

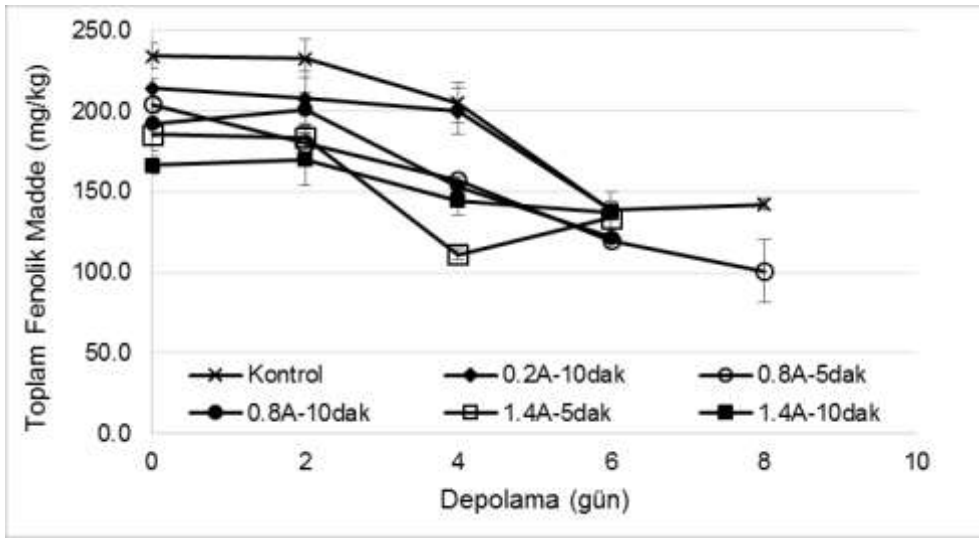
İşlem uygulanmamış domateslerde DPPH serbest radikalini indirgeme aktivitesi %33,2 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.33). Yapılan depolama işleminde hem kontrol örneklerinin hem de işlem uygulanmış örneklerin DPPH serbest radikalini indirgeme aktivitesi önemli seviyede arttığı tespit edilmiştir ( $P<0,05$ ). Bu değişim depolama sonunda kontrol için %19-22 arasında olurken, işlem uygulanmış domateslerde %19-24 arasında olduğu tespit edilmiştir. Fenolik bileşiklerde önemli bir değişim olmamasına rağmen DPPH indirgeme aktivitesinin artması depolama sürecinde yumuşayan domatesteki fenolik bileşiklerin haricinde C vitamini gibi bazı antioksidan bileşenlerin depolama sürecinde miktarsal olarak değişmeleri veya materyalden ekstrakte edilebilirlik seviyesindeki değişimlere bağlanabilir. Çapanoğlu ve Boyacığlu (2010), domateslerin olgunlaşması sırasında antioksidanların artış veya azalış gösterebildiğini, fakat bunun nedenlerinin tam olarak hangi mekanizmayla gerçekleştiğinin belirlenemediğini ifade etmişlerdir. Bununla birlikte literatürde benzer bir sonuca veya nasıl yorumlanabileceğine dair herhangi bir açıklamaya da rastlanmamıştır. Bunların yanı sıra numunelerdeki farklılığa veya analiz hatalarına bağlı olarak meydana gelmiş bir durum olma ihtimali de mevcuttur.



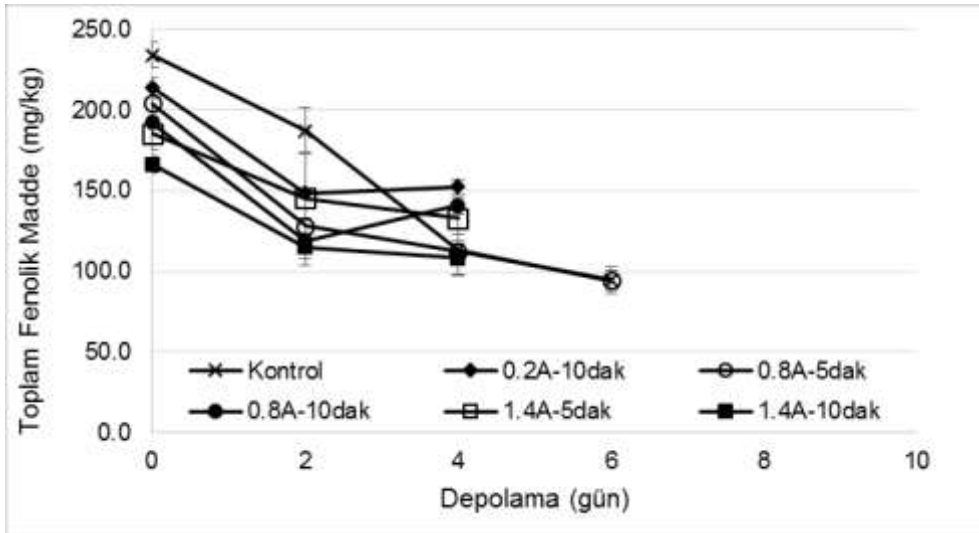
Şekil 4.33. Elektrosonikasyon uygulanan domateslerin DPPH radikali indirgeme aktivitesinin (%) depolama sürecindeki değişimi



İşlem uygulanmamış marullarda  $234,1 \pm 8,0$  GAE mg/kg düzeyinde toplam fenolik madde tespit edilmiştir (Şekil 4.34). I. iş paketinde işlem sonrası marullarda olduğu gibi elektrik akımı uygulaması fenolik bileşiklerde istatistiksel olarak önemli seviyelerde fenolik kaybına sebep olmuştur ( $P < 0,05$ ). Ayrıca,  $+4^{\circ}\text{C}$ 'de yapılan depolamanın son gününde (8. gün) kontrol örneklerinin fenolik içeriğinde %39 seviyesinde bir azalma gözlemlenirken; en fazla depolanın yapıldığı (8 gün) 0,8A'de 5 dakikalık elektrik akımı uygulan marullarda depolama sonrası bu azalma %60 olmuştur. Aynı şekilde  $+10^{\circ}\text{C}$ 'de yapılan depolamanın son gününde (6. gün) kontrol örneklerinin fenolik içeriğinde %57 seviyesinde bir azalma gözlemlenirken, en fazla depolanın yapıldığı (6 gün) 0,8A'de 5 dakikalık elektrik akımı uygulan marullarda depolama sonrası bu azalma %60 olmuştur.



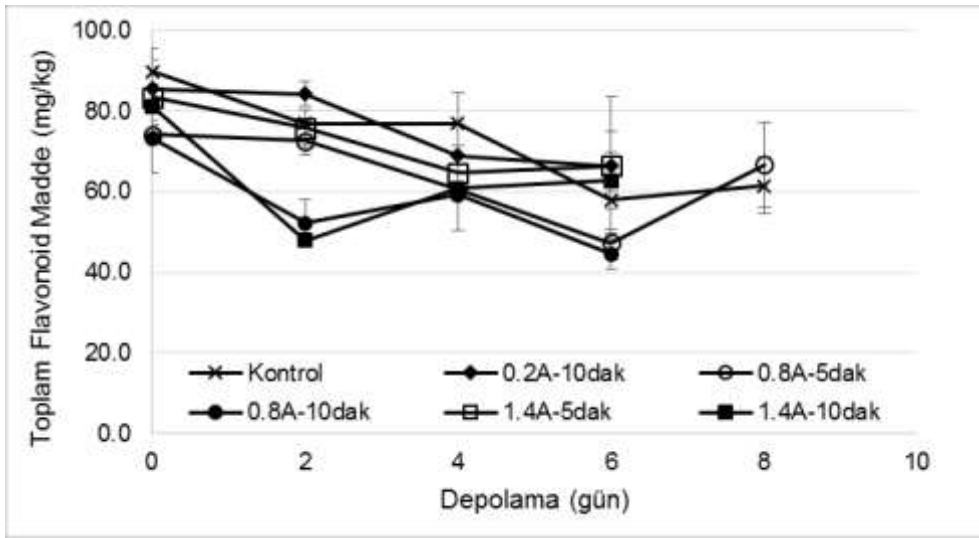
( $+4^{\circ}\text{C}$ )



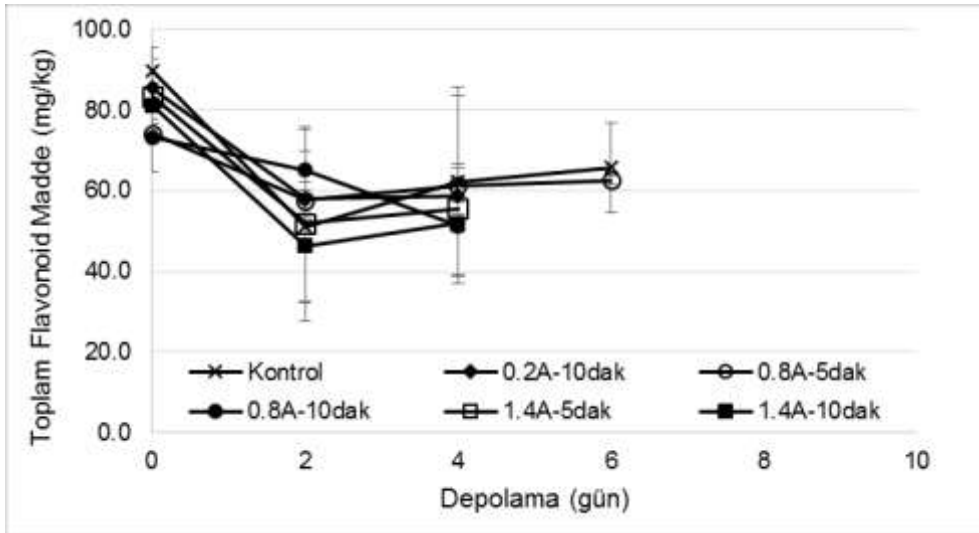
( $+10^{\circ}\text{C}$ )

Şekil 4.34. Elektrosonikasyon uygulanan marulların toplam fenolik madde (mg/kg) içeriğinin depolama sürecindeki değişimi

İşlem uygulanmamış marullarda  $89,8 \pm 3,1$  kateşin eşdeğeri mg/kg düzeyinde toplam flavonoid madde tespit edilmiştir (Şekil 4.35). I. iş paketinde işlem sonrası marullarda olduğu gibi elektrik akımı uygulaması flavonoid bileşiklerde istatistiksel olarak önemli seviyelerde flavonoid kaybına sebep olmuştur ( $P < 0,05$ ). Ayrıca,  $+4^{\circ}\text{C}$ 'de yapılan depolamanın son gününde (8. gün) kontrol örneklerinin flavonoid içeriğinde %31 seviyesinde bir azalma gözlemlenirken; en fazla depolanın yapıldığı (8 gün) 0,8A'de 5 dakikalık elektrik akımı uygulan marullarda depolama sonrası bu azalma %26 olmuştur. Aynı şekilde  $+10^{\circ}\text{C}$ 'de yapılan depolamanın son gününde (6. gün) kontrol örneklerinin flavonoid içeriğinde %27 seviyesinde bir azalma gözlemlenirken, en fazla depolanın yapıldığı (6 gün) 0,8A'de 5 dakikalık elektrik akımı uygulan marullarda depolama sonrası bu azalma %30 olmuştur.



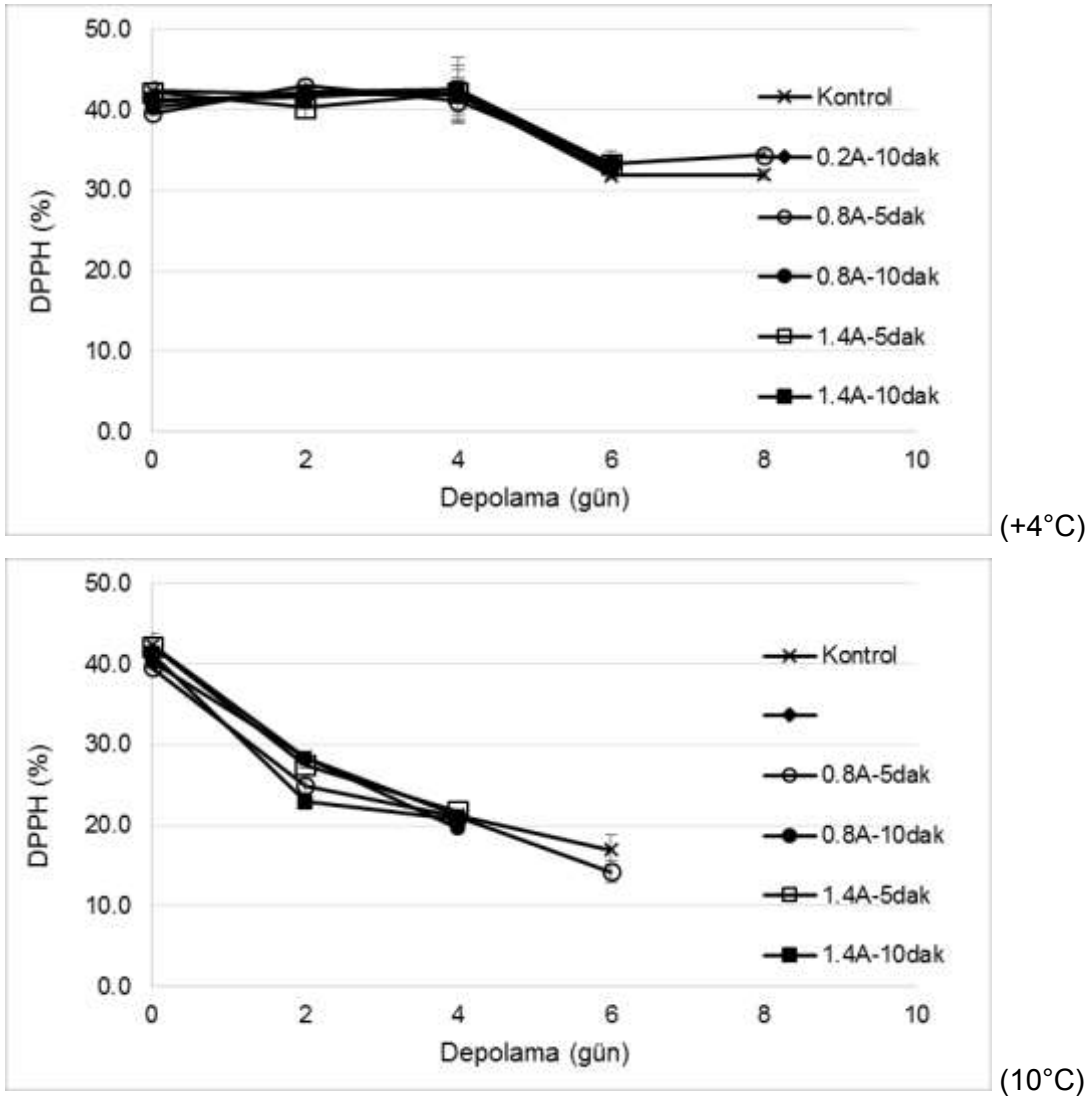
( $+4^{\circ}\text{C}$ )



( $+10^{\circ}\text{C}$ )

Şekil 4.35. Elektrosonikasyon uygulanan marulların toplam flavonoid madde (mg/kg) içeriğinin depolama sürecindeki değişimi

İşlem uygulanmamış marullarda DPPH serbest radikalini indirgeme aktivitesi  $42,3 \pm 1,5$  olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.36). I. iş paketinde işlem sonrası marullarda olduğunun aksine elektrik akımı uygulaması DPPH serbest radikalini indirgeme aktivitesinde istatistiksel olarak önemli seviyelerde azalmaya sebep olmuştur ( $P < 0,05$ ). Ayrıca,  $+4^{\circ}\text{C}$ 'de yapılan depolamanın son gününde (8. gün) kontrol örneklerinin DPPH serbest radikalini indirgeme aktivitesinde %24 seviyesinde bir azalma gözlemlenirken; en fazla depolanın yapıldığı (8 gün) 0,8A'de 5 dakikalık elektrik akımı uygulan marullarda depolama sonrası bu azalma %19 olmuştur. Aynı şekilde  $+10^{\circ}\text{C}$ 'de yapılan depolamanın son gününde (6. gün) kontrol örneklerinin DPPH serbest radikalini indirgeme aktivitesinde %60 seviyesinde bir azalma gözlemlenirken, en fazla depolanın yapıldığı (6 gün) 0,8A'de 5 dakikalık elektrik akımı uygulan marullarda depolama sonrası bu azalma %66 olmuştur.



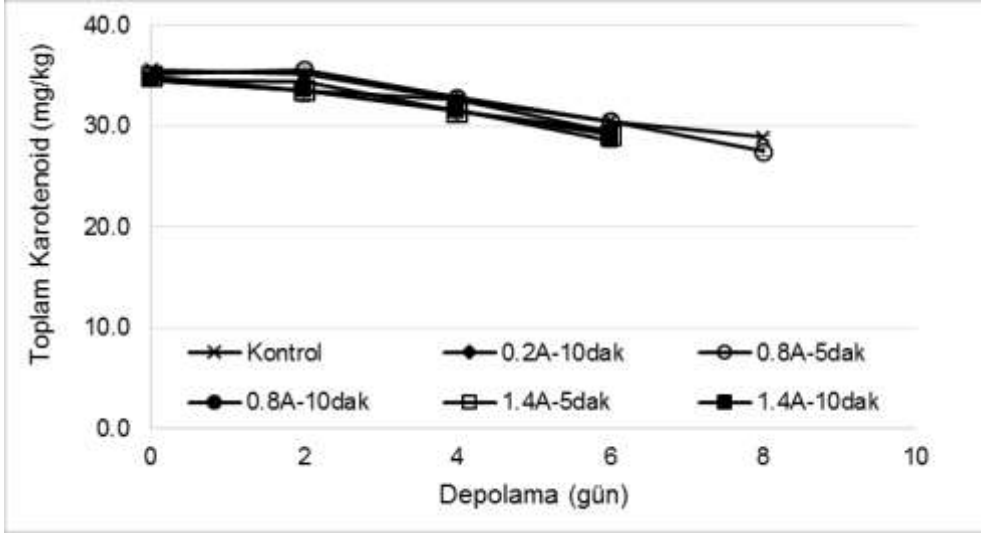
Şekil 4.36. Elektrosonikasyon uygulanan marulların DPPH radikali indirgeme aktivitesinin (%) depolama sürecindeki değişimi

Farklı cins domateslerin depolama raf ömürlerinin belirlendiği bir tez çalışmasında raf ömrü uzun olan domateslerde genellikle fenolik bileşiklerin ve aynı şekilde paralel TEAC antioksidan değerinin arttığı fakat depolama süresi kısa olan domateslerde ise hem fenolik bileşiklerin hem de toplam antioksidan değerlerinin düştüğü belirlenmiştir (Altun, 2011). Farklı modifiye atmosferin uygulanarak depolanan marul örneklerinde ise (Aydın, 2011) depolamanın ilk aşamalarında toplam fenolik ve TEAC antioksidan kapasitesinin artış sergilediği fakat depolamanın sonuna doğru bu antioksidan özelliklerinin azaldığı belirtilmiştir. Bizim tarafımızdan yapılan proje çalışmasında ise genellikle hem kontrol hem de işlem uygulanmış örneklerde domateslerin fenolik ve flavonoid bileşiklerindeki düşüşe rağmen DPPH antioksidan özelliklerin kısmen arttığı görülmüştür. Bu sonuçlar çerçevesinde diğer antioksidan bileşiklerin depolama sürecinde kısmen artış göstermiş olabileceği düşünülmektedir. Marullarda ise DPPH aktivitesi +4°C'de yapılan depolamada 6. günden sonra düşerken +10°C'de yapılan depolama işlemlerinde ise 2. günden itibaren keskin bir düşüş olmuştur. Bununla birlikte fenolik ve flavonoid içeriklerindeki kayıplar DPPH antioksidan aktivitesindeki kadar keskin olamamıştır.

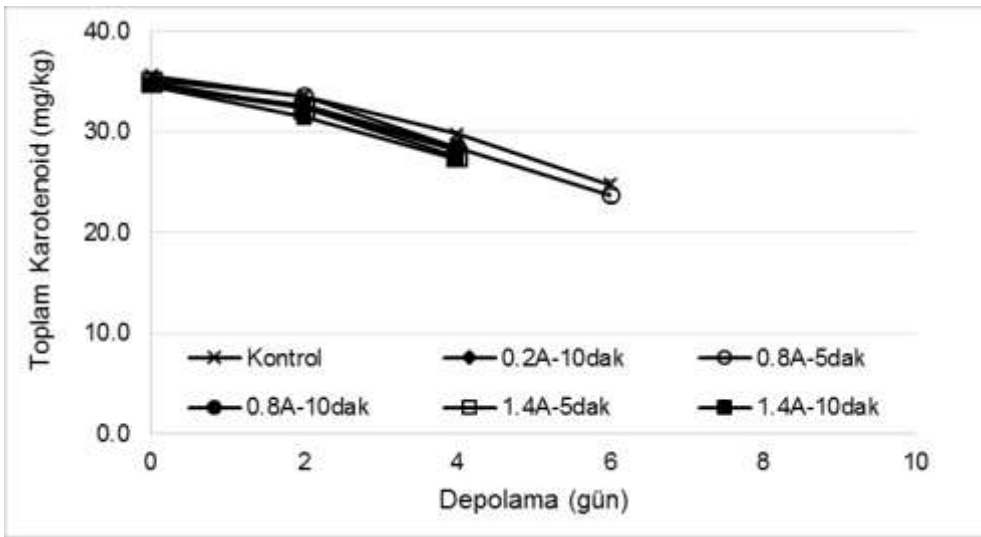
#### **4.4.1.3. Karotenoid içeriği üzerine etkisi**

İşlem uygulanmamış domateslerde 51,3±0,5 mg/kg düzeyinde toplam karotenoid madde tespit edilmiştir (Şekil 4.37). I. iş paketinde işlem sonrası domateslerde olduğu gibi elektrik akımı uygulaması karotenoid bileşiklerde istatistiksel olarak önemli seviyelerde karotenoid kaybına sebep olmuştur (P<0,05). Ayrıca, +4°C'de yapılan depolamanın son gününde (8. gün) kontrol örneklerinin karotenoid içeriğinde istatistiksel olarak önemli bir azalma gözlemlenmezken (P>0,05); en fazla depolamanın yapıldığı (8 gün) 0,8A'de 5 dakikalık elektrik akımı uygulan domateslerde depolama sonrası bu azalma önemli (P<0,05) olmuştur. Aynı şekilde +10°C'de yapılan depolamadaki istatistiksel değişimler +4°C'de yapılan depolamaya paralel olmuştur.

İşlem uygulanmamış marullarda 35,6±0,3 mg/kg düzeyinde toplam karotenoid madde tespit edilmiştir (Şekil 4.38). I. iş paketinde işlem sonrası marullarda olduğu gibi elektrik akımı uygulaması karotenoid bileşiklerde istatistiksel olarak önemli seviyelerde karotenoid kaybına sebep olmuştur (P<0,05). Ayrıca, +4°C'de yapılan depolamanın son gününde (8. gün) kontrol örneklerinin karotenoid içeriğinde %19 seviyesinde bir azalma gözlemlenirken; en fazla depolanın yapıldığı (8 gün) 0,8A'de 5 dakikalık elektrik akımı uygulan marullarda depolama sonrası bu azalma %23 olmuştur. Aynı şekilde +10°C'de yapılan depolamanın son gününde (6. gün) kontrol örneklerinin flavonoid içeriğinde %30 seviyesinde bir azalma gözlemlenirken, en fazla depolanın yapıldığı (6 gün) 0,8A'de 5 dakikalık elektrik akımı uygulan marullarda depolama sonrası bu azalma %33 olmuştur.

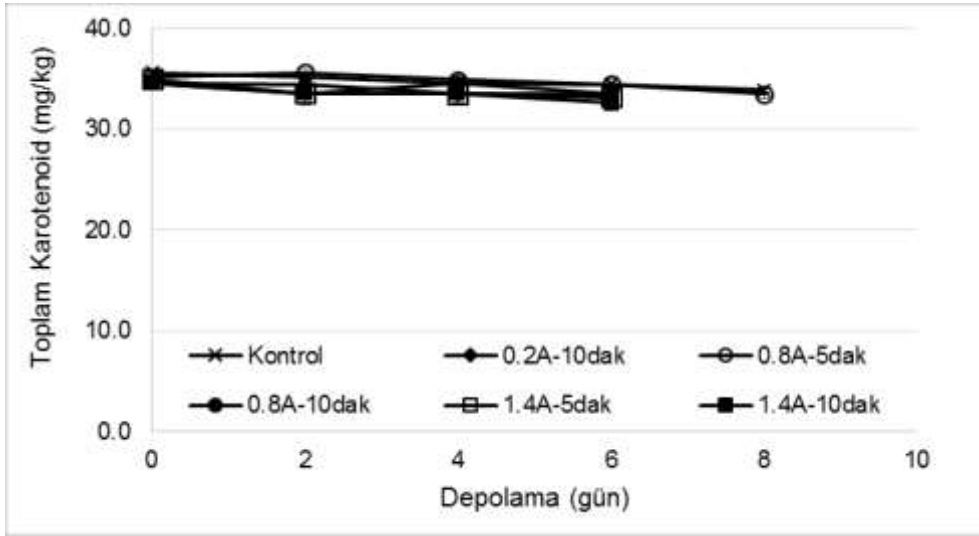


(+4°C)

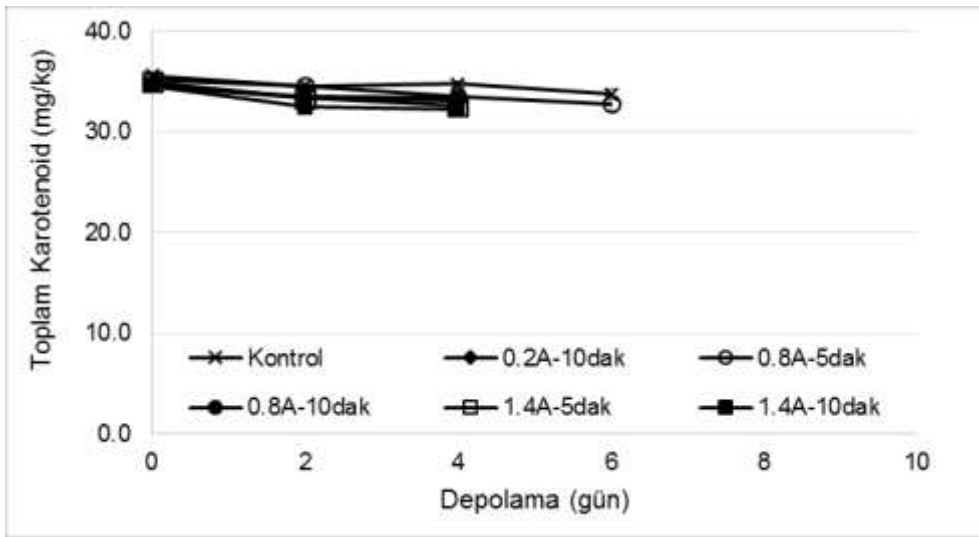


(10°C)

Şekil 4.37. Elektrosonikasyon uygulanan domateslerin toplam karotenoid (mg/kg) içeriğinin depolama sürecindeki değişimi



(+4°C)

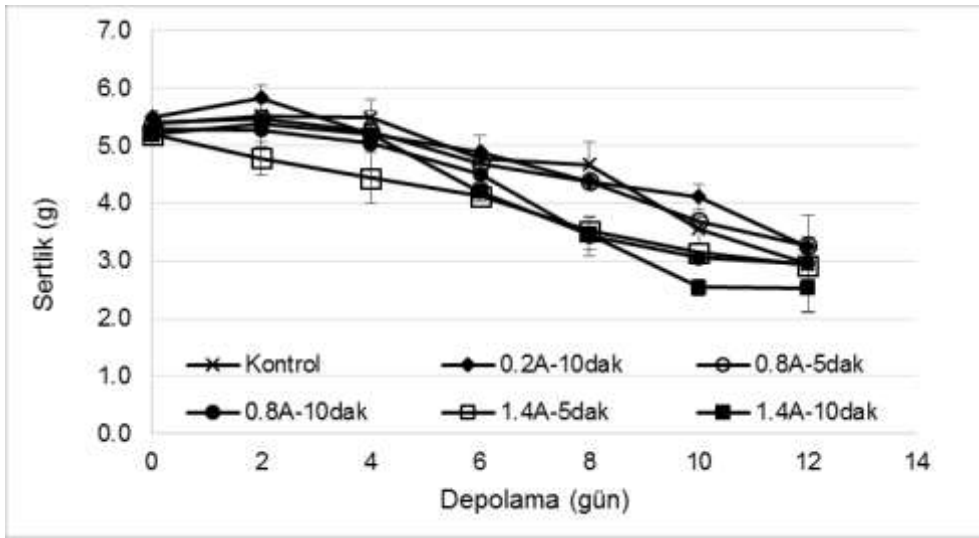


(10°C)

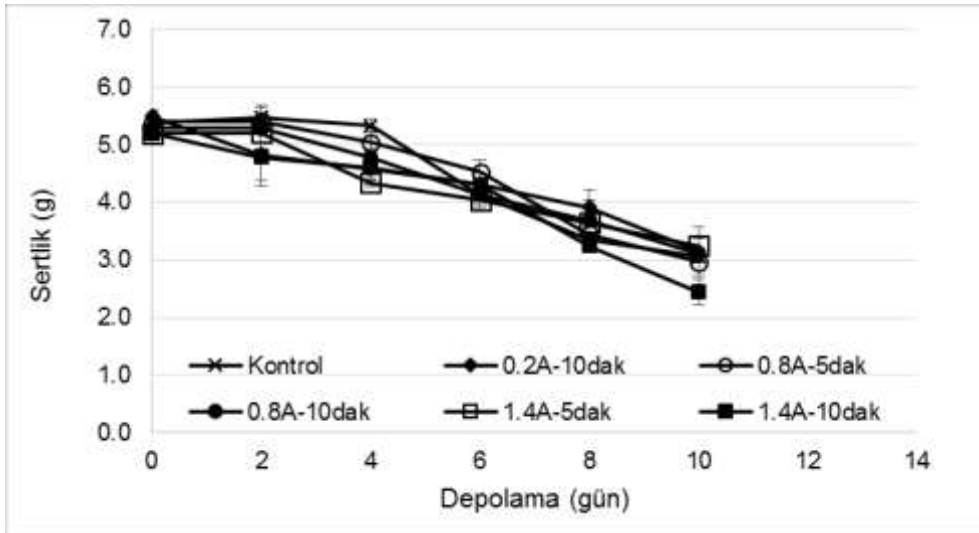
Şekil 4.38. Elektrosonikasyon uygulanan marulların toplam karotenoid (mg/kg) içeriğinin depolama sürecindeki değişimi

#### 4.4.1.4. Tekstürel özelliklerine etkisi

İşlem uygulanmamış domateslerin sertlik değeri 5,4 g olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.39). Bu I. iş paketinde elde edilen domateslere göre daha sert bir yapıda olduğunu gösteriyor. Kontrol domateslerin sertlik değerlerinin yanı sıra işlem uygulanmış domateslerde de %50'ye yakın bir kaybın söz konusu olduğu ve +10°'de depolamanın 2 gün daha erken olması sebebiyle yaklaşık hepsinin aynı sertliğe düştükleri söylenebilir. Pinheiro vd. (2015) domateslerin depolama kalitesini artırmak üzere farklı seviyelerde US uyguladığı bir çalışmada işlem uygulanmamış domateslerin sertliğini  $11,42 \pm 2,11N$  olarak belirlemiştir. Zamana bağlı olarak hem kontrol hem de işlem uygulanmış örneklerde sertliğin önemli seviyede azaldığı tespit edilmiştir.



(+4°C)

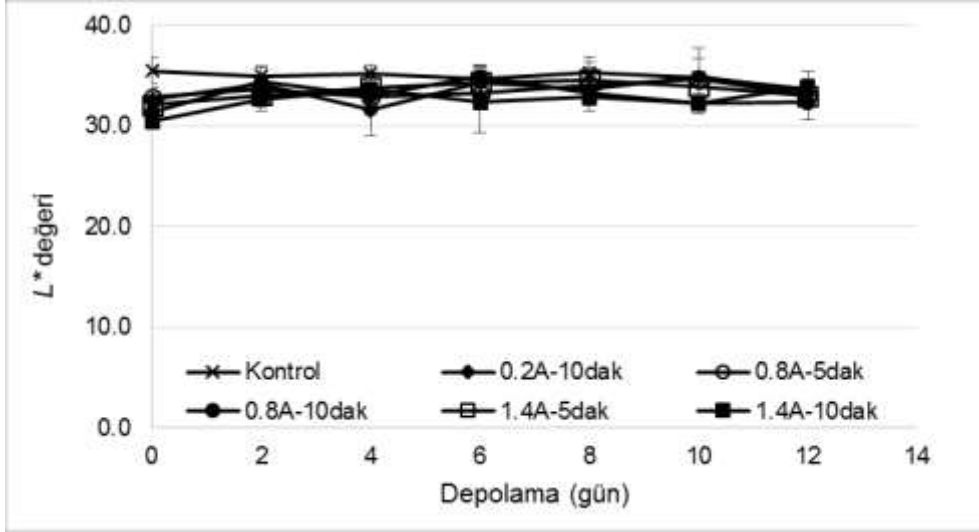


(+10°C)

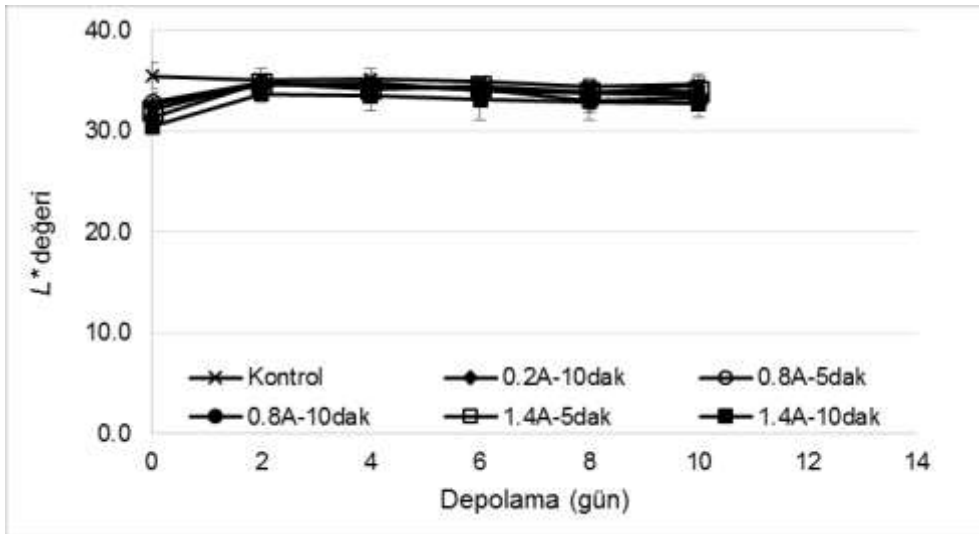
Şekil 4.39. Elektrosonikasyon uygulanan domateslerin sertliğinin depolama sürecindeki değişimi

#### 4.4.1.5. Fizikokimyasal özelliklerine etkisi

İşlem uygulanmamış domateslerin  $L^*$  değerleri  $35,5 \pm 1,3$  olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.40). İşlem sonrası Depolama süresine bağlı olarak domateslerin  $L^*$  değerlerinin önemli seviyede değişiklik olmasına rağmen ( $P < 0,05$ ) depolama sürecinde bu değişim önemsiz ( $P > 0,05$ ) bulunmuştur. Her iki depolama sıcaklığında da sonuçlar benzerlik göstermektedir.



(+4°C)

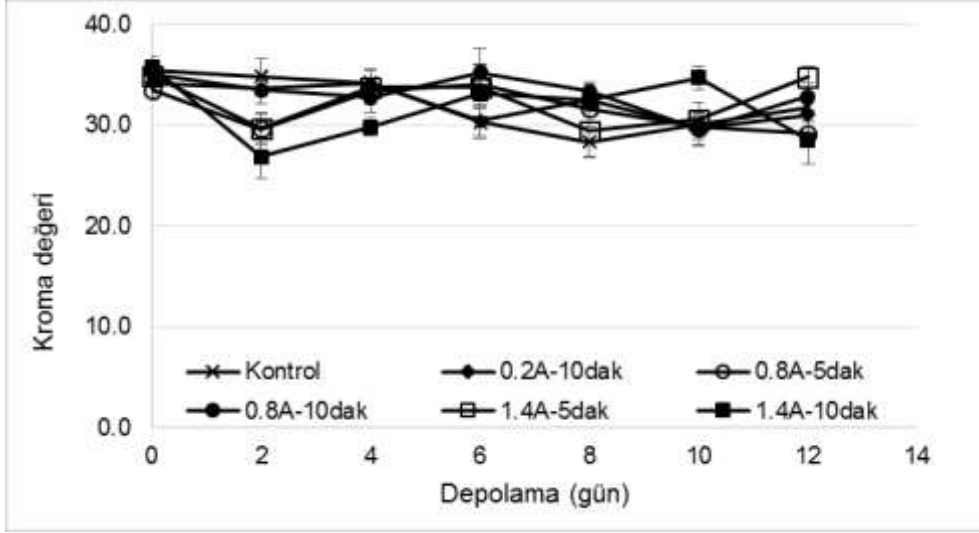


(10°C)

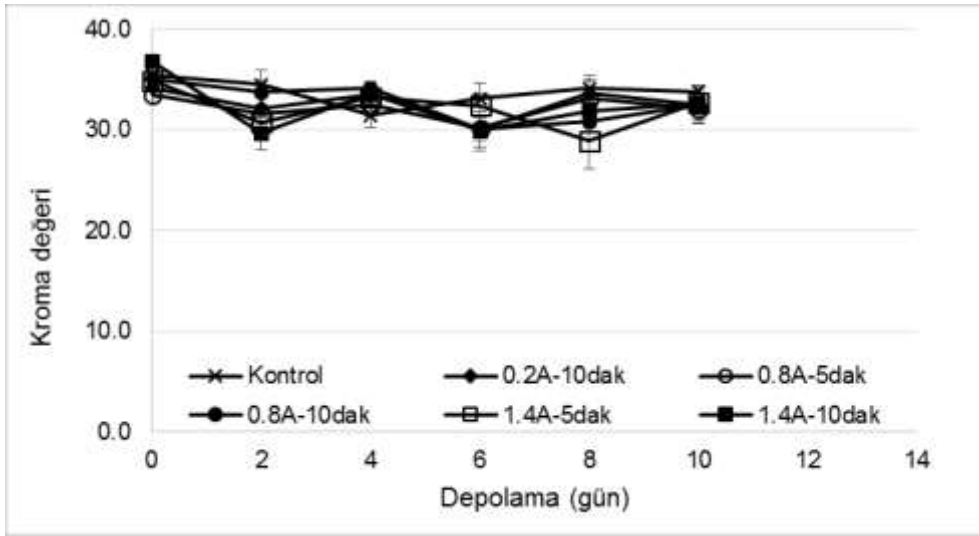
Şekil 4.40. Elektrosonikasyon uygulanan domateslerin  $L^*$  değerinin depolama sürecindeki değişimi



İşlem uygulanmamış marulların kroma değerleri  $35,5 \pm 1,3$  olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.41). İşlem sırasında domateslerin kroma değerlerinde önemli bir değişim ( $P > 0,05$ ) olmamasına rağmen, depolama sürecinde bu önemli ( $P < 0,05$ ) seviyede azalma tespit edilmiştir. Her iki depolama sıcaklığında da sonuçlar benzerlik göstermektedir.



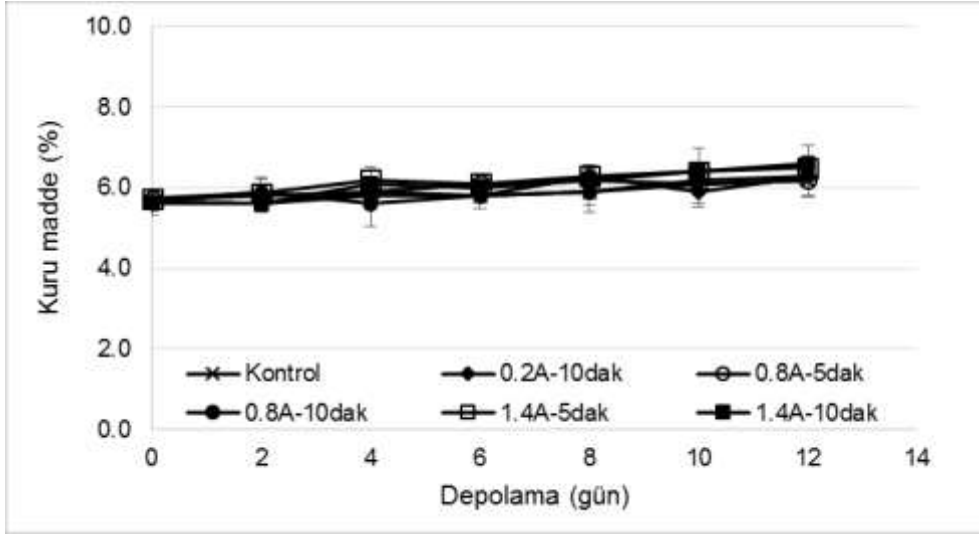
(+4°C)



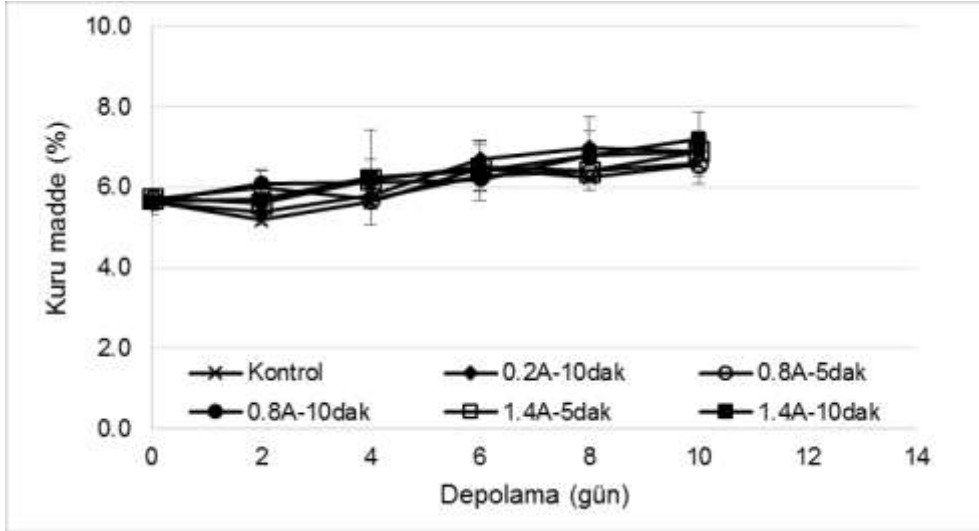
(10°C)

Şekil 4.41. Elektrosonikasyon uygulanan domateslerin kroma değerinin depolama sürecindeki değişimi

İşlem uygulanmamış domates örneklerinin kuru madde içerikleri  $5,66 \pm 0,23$  olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.42). Her iki sıcaklıkta da depolama sonrası kuru madde içeriğindeki artış önemli bulunmuştur ( $P < 0,05$ ).  $+4^{\circ}\text{C}$ 'de yapılan depolamada kuru madde içeriği kontrol örneklerinde  $6,19$ 'a kadar çıkarken işlem uygulanmış domateslerde bu değer  $6,6$ 'ya kadar çıkmıştır. Bu depolama sonrasında domateslerin önemli seviyede bir su kaybına uğradığını göstermektedir.  $+10^{\circ}\text{C}$ 'de yapılan depolamada kuru madde içeriği kontrol örneklerinde  $6,58$ 'e kadar çıkarken işlem uygulanmış domateslerde bu değer  $7,2$ 'ye kadar çıkmıştır. Bu depolama sonrasında domateslerin önemli seviyede bir su kaybına uğradığını göstermektedir.



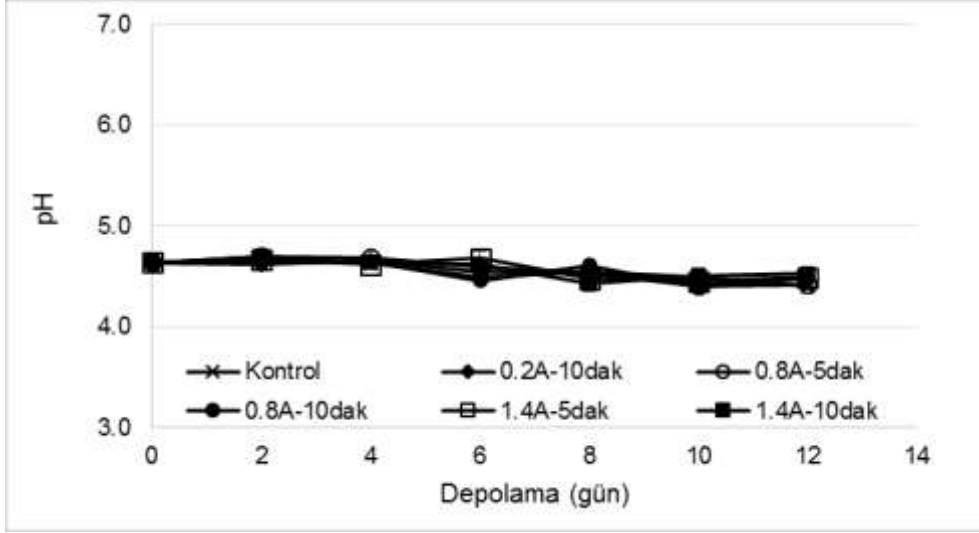
( $+4^{\circ}\text{C}$ )



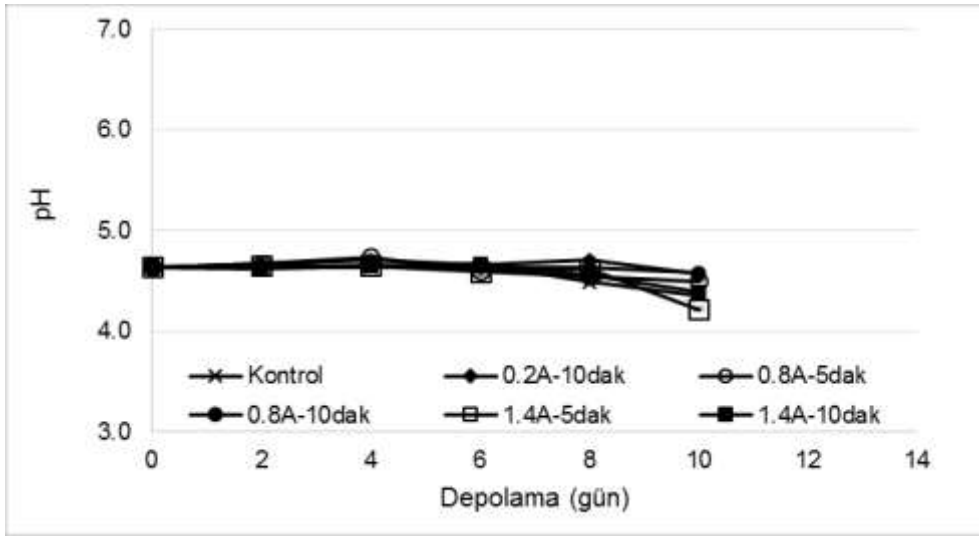
( $+10^{\circ}\text{C}$ )

Şekil 4.42. Elektrosonikasyon uygulanan domateslerin kuru madde (%) içeriğinin depolama sürecindeki değişimi

İşlem görmemiş domateslerin pH değerleri  $4,64 \pm 0,01$  olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.43). Her iki depolama sıcaklığında da domateslerin pH değerinde önemli ( $P < 0,05$ ) bir azalma tespit edilmiştir. Fakat uygulanan işlemlerin pH değerleri üzerine etkisi önemsiz çıkmıştır. Kontrol örneklerinin pH değerinin daha fazla düştüğü ortaya çıkmıştır.



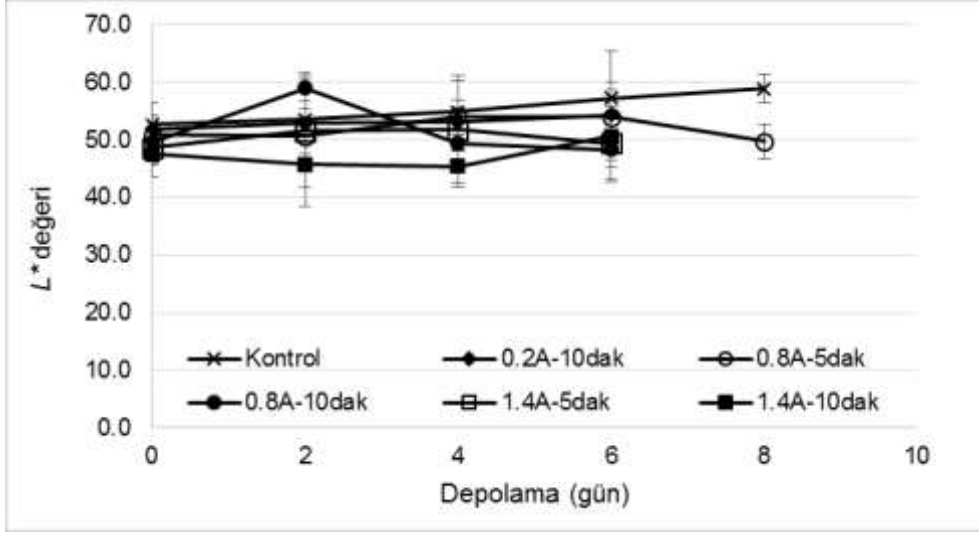
(+4°C)



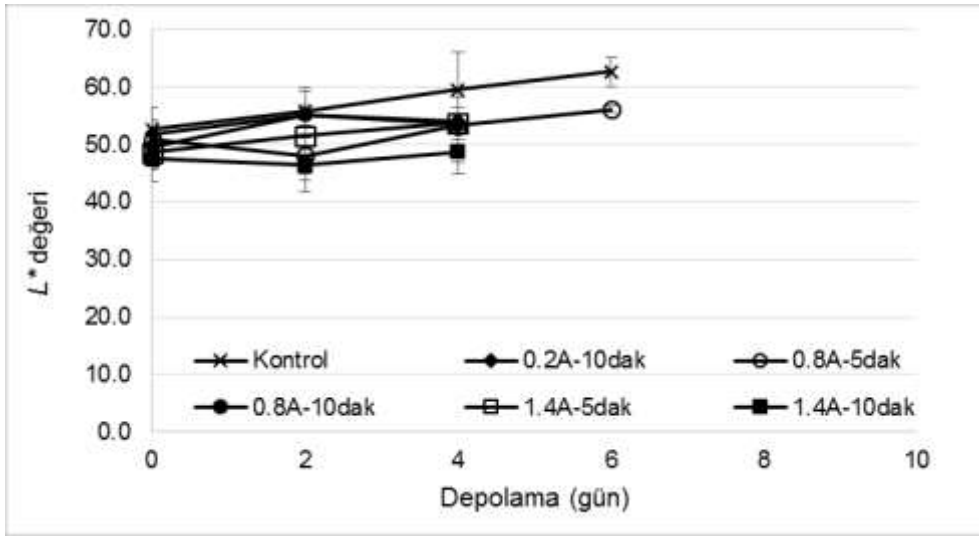
(10°C)

Şekil 4.43. Elektrosnikasyon uygulanan domateslerin pH değerinin depolama sürecindeki değişimi

İşlem uygulanmamış marullarda  $L^*$  değerleri  $52,6 \pm 3,9$  olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.44). İşlem sırasında marulların  $L^*$  değerlerinin önemli seviyede bir değişiklik olmasına rağmen ( $P > 0,05$ ); depolama sürecinde  $L^*$  değerinde önemli seviyede ( $P < 0,05$ ) bir artış gerçekleşmiştir. Her iki depolama sıcaklığında da sonuçlar benzerlik göstermektedir.



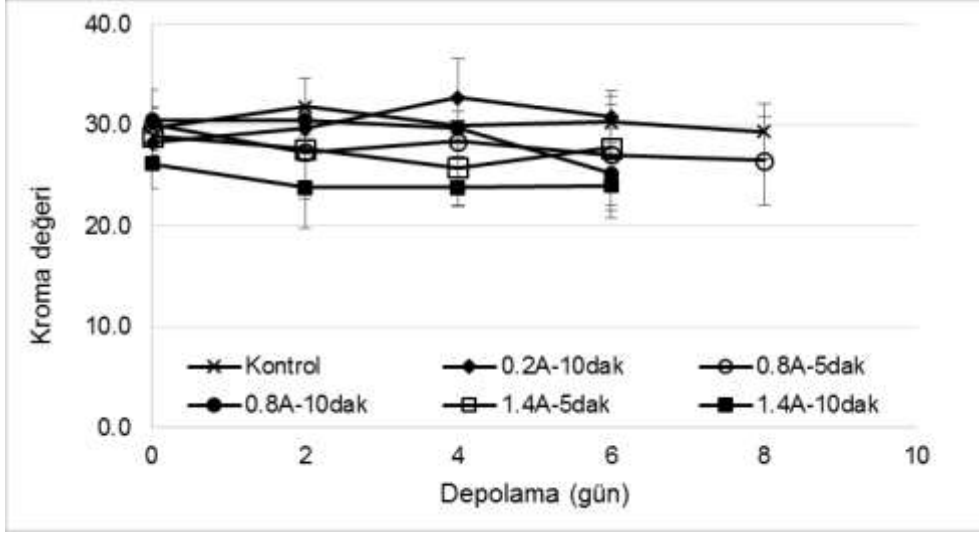
(+4°C)



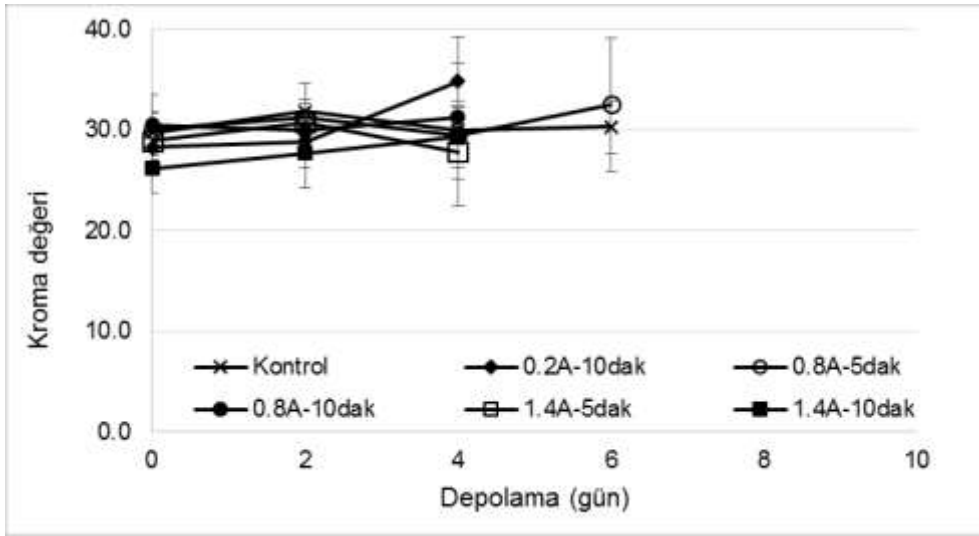
(10°C)

Şekil 4.44. Elektrosonikasyon uygulanan marulların  $L^*$  değerinin depolama sürecindeki değişimi

İşlem uygulanmamış marulların kroma değerleri  $29,8 \pm 2,1$  olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.45). İşlem sırasında domateslerin kroma değerlerinde önemli bir değişim ( $P > 0,05$ ) olduğu gibi, depolama sürecinde bu değişim önemli ( $P < 0,05$ ) bulunmuştur. Her iki depolama sıcaklığında da sonuçlar benzerlik göstermektedir.



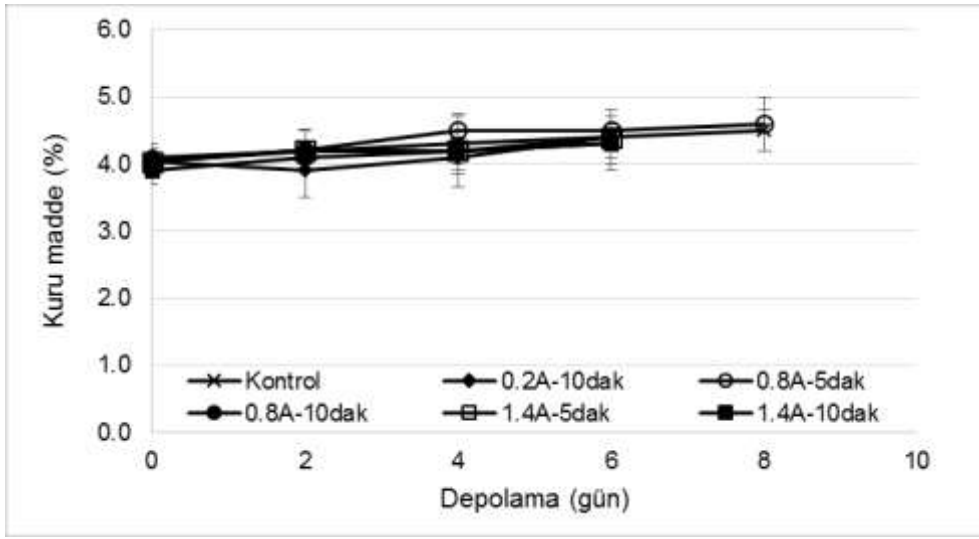
(+4°C)



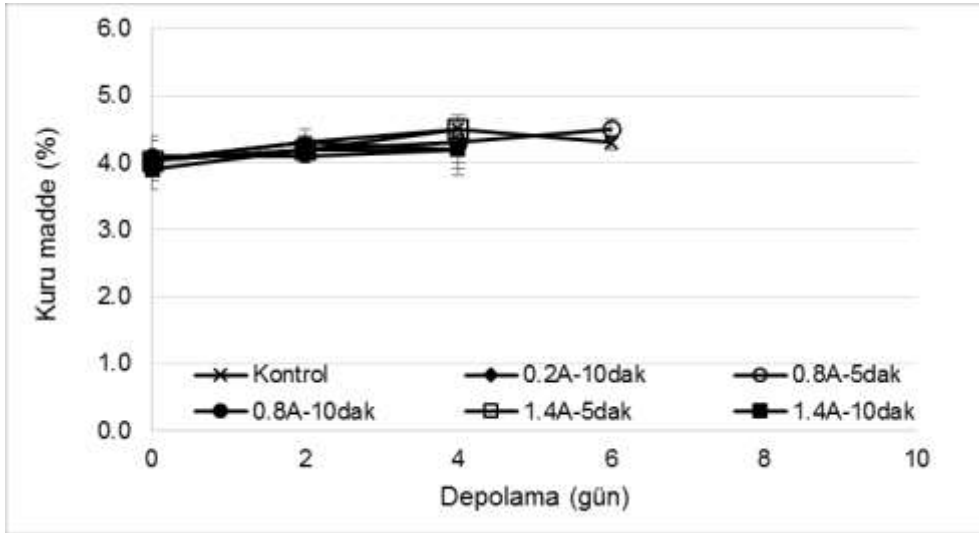
(10°C)

Şekil 4.45. Elektrosonikasyon uygulanan marulların kroma değerinin depolama sürecindeki değişimi

İşlem uygulanmamış marul örneklerinin kuru madde içerikleri  $4,03 \pm 0,20$  olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.46). Her iki sıcaklıkta da depolama sonrası kuru madde içeriğindeki artış önemli bulunmuştur ( $P < 0,05$ ).  $+4^{\circ}\text{C}$ 'de yapılan depolamada kuru madde içeriği kontrol örneklerinde  $4,50 \pm 0,30$ 'a kadar çıkarken işlem uygulanmış domateslerde bu değer  $4,60 \pm 0,40$ 'a kadar çıkmıştır. Bu depolama sonrasında domateslerin önemli seviyede bir su kaybına uğradığını göstermektedir.  $+10^{\circ}\text{C}$ 'de yapılan depolamada kuru madde içeriği kontrol örneklerinde  $4,30 \pm 0,10$ 'e kadar çıkarken işlem uygulanmış domateslerde bu değer  $4,50 \pm 0,15$ 'e kadar çıkmıştır. Bu depolama sonrasında domateslerin önemli seviyede bir su kaybına uğradığını göstermektedir.



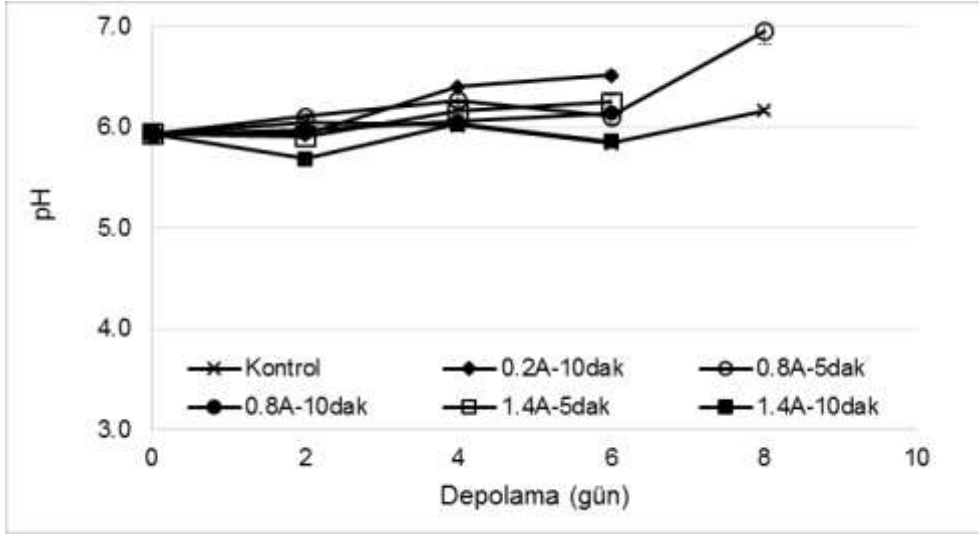
( $+4^{\circ}\text{C}$ )



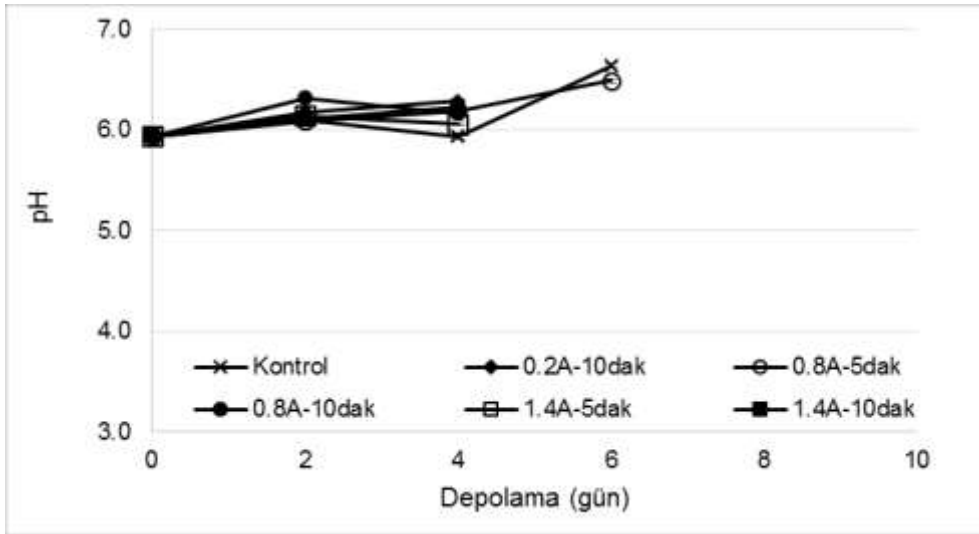
( $+10^{\circ}\text{C}$ )

Şekil 4.46. Elektrosonikasyon uygulanan marulların kuru madde (%) içeriğinin depolama sürecindeki değişimi

İşlem görmemiş marul örneklerinin pH değerleri  $5,94 \pm 0,08$  olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.47). Her iki depolama sıcaklığında da domateslerin pH değerinde önemli ( $P < 0,05$ ) bir azalma tespit edilmiştir. Fakat uygulanan işlemlerin pH değerleri üzerine etkisi önemsiz çıkmıştır. Kontrol örneklerinin pH değerindeki artış  $6,17 \pm 0,02$ 'ye kadar olurken, işlem uygulanmış marul örneklerinde bu değer  $6,96 \pm 0,14$ 'e kadar çıkmıştır ( $+4^{\circ}\text{C}$ ).



( $+4^{\circ}\text{C}$ )



( $10^{\circ}\text{C}$ )

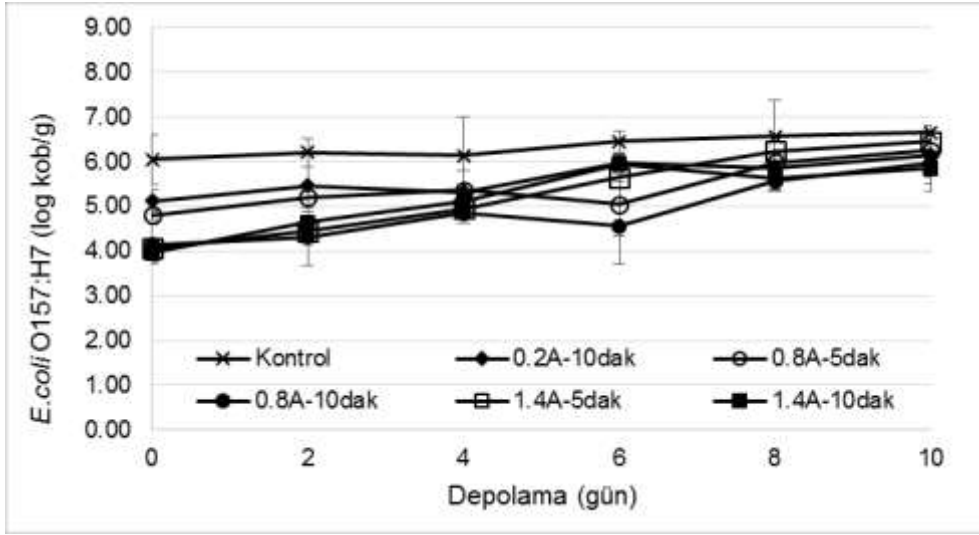
Şekil 4.47. Elektrosonikasyon uygulanan marulların pH değerinin depolama sürecindeki değişimi

Farklı cins domateslerin depolama raf ömürlerinin belirlendiği bir tez çalışmasında (Altun, 2011), domateslerin  $L^*$  değerleri çoğunlukla azalırken bazı domateslerde durağan bir seyir izlemiştir. Bu domateslerin depolama sürecinde (Altun, 2011), kuru madde içerikleri bazı cinslerde depolamaya bağlı olarak azalırken bazı örneklerde ise artış gözlemlenmiştir. Farklı modifiye atmosferin uygulanarak depolanmış marul örneklerinde ise (Aydın, 2011) depolamaya bağlı olarak kuru madde içeriklerinde önemli seviyelerde artış gözlemlenirken pH değerlerinde ise kısmen azalmıştır.

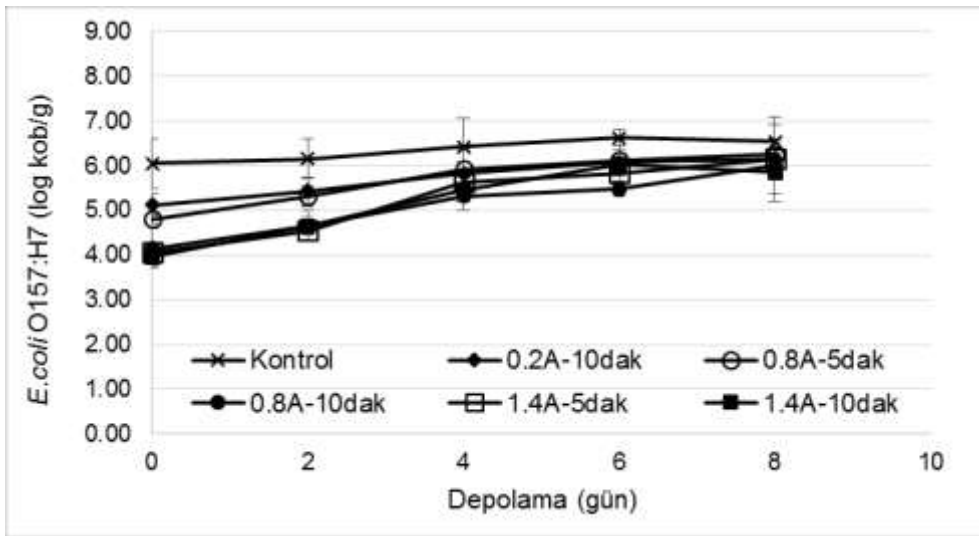
#### 4.4.2. Patogen inoküle edilen sebzelerin işlem sonrası depolanması

##### 4.4.2.1. *E.coli* OH157:H7 inoküle edilen sebzelerin işlem sonrası depolanması

Domateslerin işlem uygulanmamış domateslere örneklerine  $6,05 \pm 0,56$  log kob/g düzeyinde *E.coli* OH157:H7 patojen inoküle edildikten sonra 2 hafta boyunca +4 ve 10°C'de depolanmış ve patojen yükündeki değişim 2 gün arayla izlenmiştir (Şekil 4.48). Domateslerin depolanması +4°C'de 10 gün sürerken, +10°C'de 8 gün devam etmiştir ve kontamine edilmiş domateslerdeki patojen yükünün kontrole karşı kıyaslanabilmesi için aynı sıcaklıklar için hepsi eşit süre depolanmıştır. +4°C'de depolama sonrası kontrol örneklerinde patojen yükü yaklaşık 0,6 log artarken, işlem uygulanmış domateslerde 10. günün sonunda 1,9 log'a kadar artmıştır. +10°C'de depolamanın 6. gününde kontrol örneklerinde patojen yükü yaklaşık 0,8 log artarken, işlem uygulanmış domateslerde 10. günün sonunda 2,1 log'a kadar artmıştır.



(+4°C)

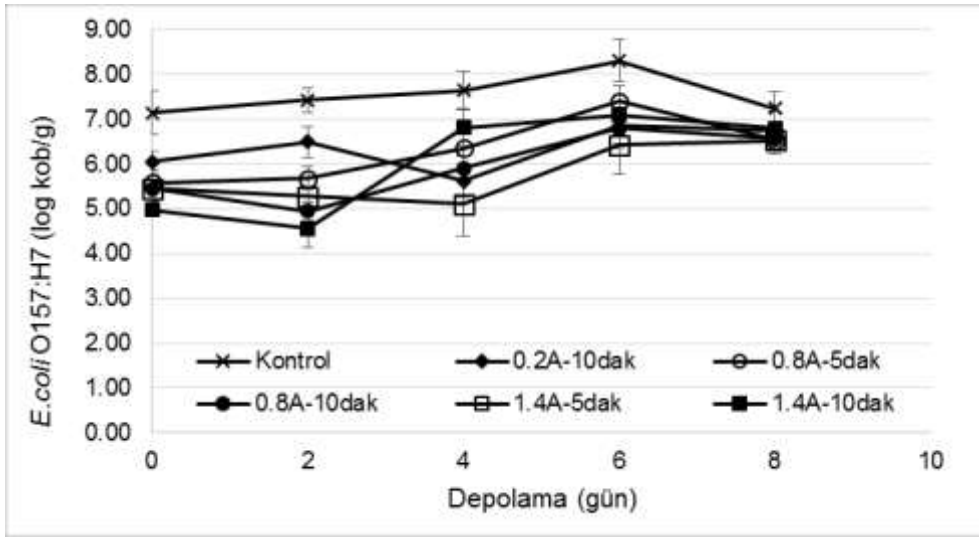


(10°C)

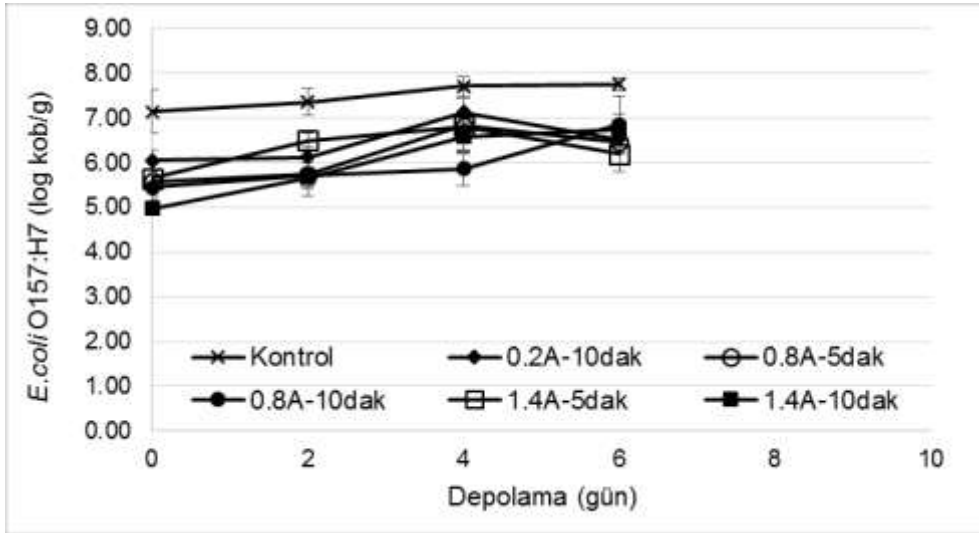
Şekil 4.48. Domatese inoküle edilen *E.coli* O157:H7'nin elektrosonikasyon uygulamasından sonra depolama sürecindeki değişimi



İşlem uygulanmamış marul örneklerine  $7,14 \pm 0,49$  log kob/g düzeyinde *E.coli* OH157:H7 patojen inoküle edildikten sonra 2 hafta boyunca +4 ve 10°C'de depolanmış ve patojen yükündeki değişim 2 gün arayla izlenmiştir (Şekil 4.49). Marulların depolanması +4°C'de 8 gün sürerken, +10°C'de 6 gün devam etmiştir ve kontamine edilmiş marullardaki patojen yükünün kontrole karşı kıyaslanabilmesi için aynı sıcaklıklar için hepsi eşit süre depolanmıştır. +4°C'de depolamanın 6. Günü kontrol örneklerinde patojen yükü yaklaşık 1,2 log artarken, işlem uygulanmış örneklerde 8. günün sonunda 1,9 log'a kadar artmıştır. +10°C'de depolama sonrası kontrol örneklerinde patojen yükü yaklaşık 0,6 log artarken, işlem uygulanmış marulların 6. günün sonunda 1,8 log'a kadar artmıştır.



(+4°C)



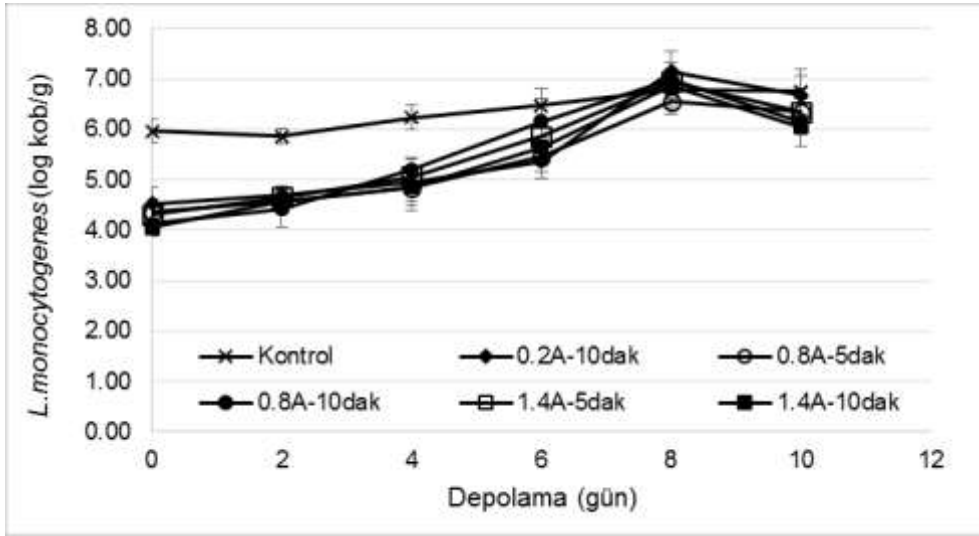
(10°C)

Şekil 4.49. Marula inoküle edilen *E.coli* O157:H7'nin elektrosonikasyon uygulamasından sonra depolama sürecindeki değişimi

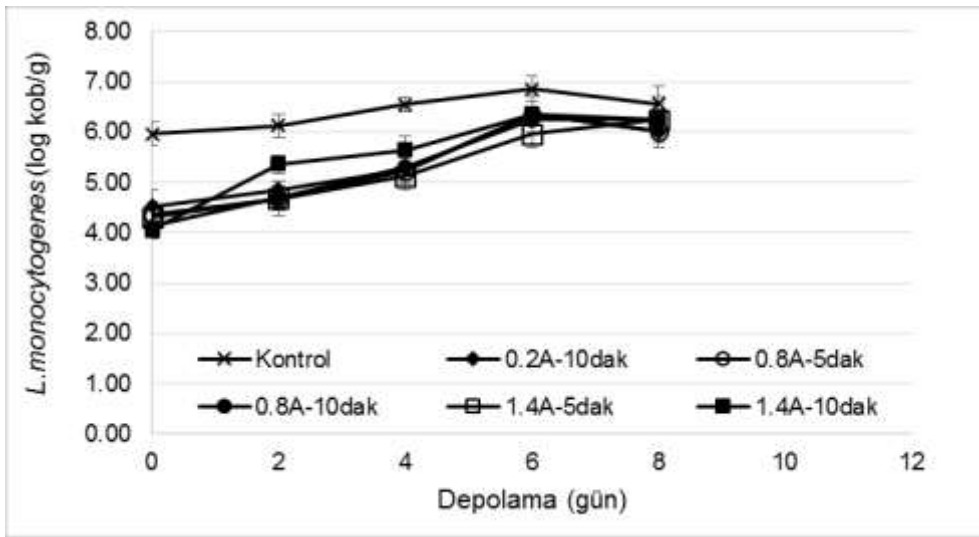
Gonzalez vd. (2014) farklı yıkama sularıyla yaptığı çalışmada doğranmış salatalarda *E.coli* OH157:H7'nin dekontamine edilebilmesi için asitlendirilmiş klorin (200ppm) kullanmıştır. Yapılan çalışmada 5,25-log patojen dekontaminasyonu elde edilmiştir. Yaptıkları +5°C'de yapılan 14 günlük depolama boyunca da klorin ilave edilmiş örneklerin patojen yükü kontrol örneklerini geçmemiştir. Proje kapsamında yapılan çalışmalarla kıyaslandığında domates ve marul örneklerinde bu seviyede bir dekontaminasyonun elde edilemediği görülmektedir. Başka bir çalışmada Allende vd. (2008) doğranmış havuca 100 ppm'e kadar asitlendirilmiş sodyum klorit (ASC) veya 200 ppm'e kadar sodyum hipoklorit (SH) ile yıkama işlemi *E.coli* OH157:H7 dekontaminasyonunda 2 log başarı sağladı. 100ppm'in üzerindeki ASC uygulaması bu dekontaminasyonu 6 log'a kadar azalttığı rapor edilmiştir. 1000 ppm ASC ile yıkanan doğranmış havuçlarda 2 hafta sonunda bile *E.coli* OH157:H7'ye rastlanmamıştır.

#### **4.4.2.2. *L.monocytogenes* inoküle edilen sebzelerin işlem sonrası depolanması**

İşlem uygulanmamış domates örneklerine  $5,96 \pm 0,23$  log kob/g düzeyinde *L. monocytogenes* patojen inoküle edildikten sonra 2 hafta boyunca +4 ve 10°C'de depolanmış ve patojen yükündeki değişim 2 gün arayla izlenmiştir (Şekil 4.50). Domateslerin depolanması +4°C'de 10 gün sürerken, +10°C'de 8 gün devam etmiştir ve kontamine edilmiş domateslerdeki patojen yükünün kontrole karşı kıyaslanabilmesi için aynı sıcaklıklar için hepsi eşit süre depolanmıştır. +4°C'de depolamanın 8. gününde kontrol örneklerinde patojen yükü yaklaşık 0,8 log artarken, işlem uygulanmış örneklerde 8. günün sonunda 2,0 log'a kadar artmıştır. +10°C'de depolamanın 6. gününde kontrol örneklerinde patojen yükü yaklaşık 0,9 log artarken, işlem uygulanmış domateslerin 6. günün sonunda 2,3 log'a kadar artmıştır.



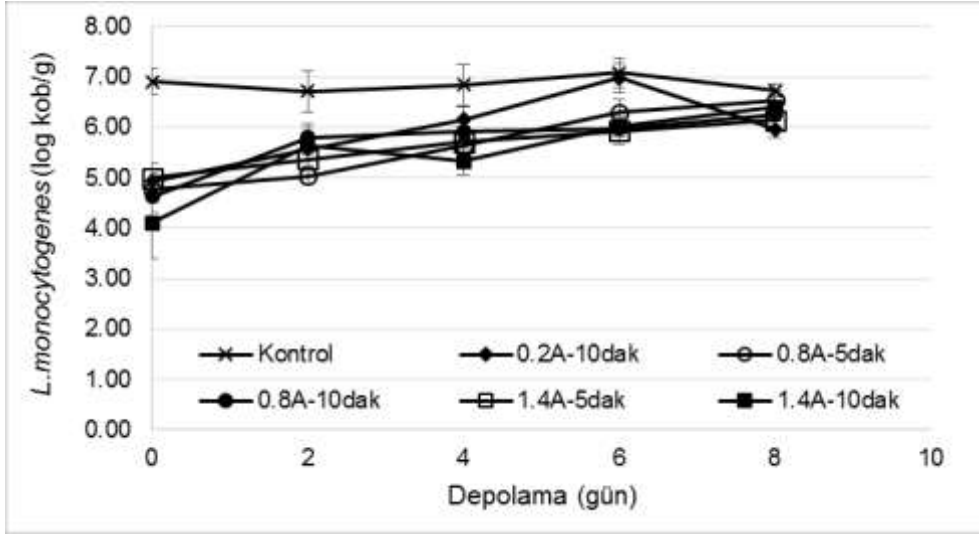
(+4°C)



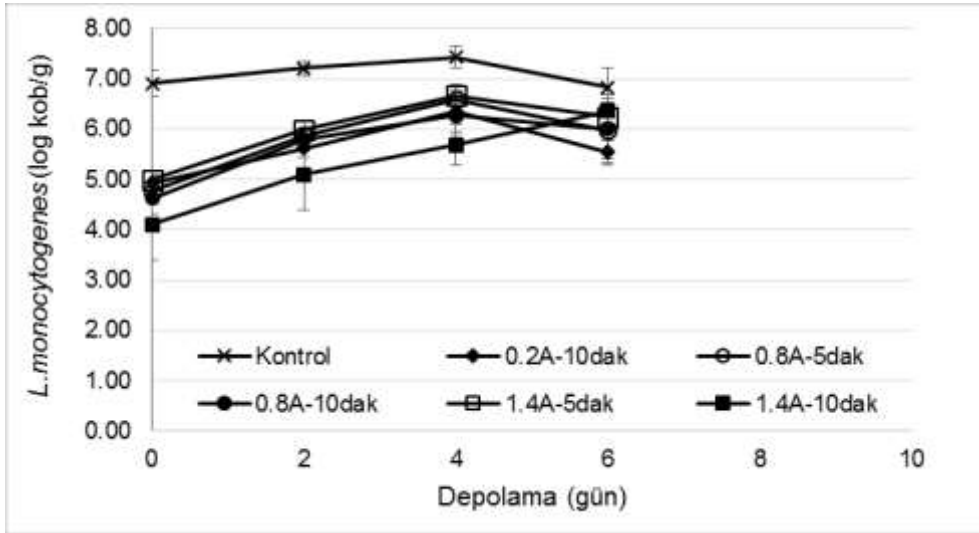
(10°C)

Şekil 4.50. Domatese inoküle edilen *L.monocytogenes*'nin elektrosonikasyon uygulamasından sonra depolama sürecindeki değişimi

İşlem uygulanmamış marul örneklerine  $6,91 \pm 0,25$  log kob/g düzeyinde *L. monocytogenes* patojen inoküle edildikten sonra 2 hafta boyunca +4 ve 10°C'de depolanmış ve patojen yükündeki değişim 2 gün arayla izlenmiştir (Şekil 4.50). Marulların depolanması +4°C'de 8 gün sürerken, +10°C'de 6 gün devam etmiştir ve kontamine edilmiş domateslerdeki patojen yükünün kontrole karşı kıyaslanabilmesi için aynı sıcaklıklar için hepsi eşit süre depolanmıştır. +4°C'de depolamanın 6. gününde kontrol örneklerindeki patojen yükü yaklaşık 0,4 log artarken, işlem uygulanmış örneklerde 8. günün sonunda 2,3 log'a kadar artmıştır. +10°C'de depolamanın 6. gününde kontrol örneklerinde patojen yükü yaklaşık 0,5 log artarken, işlem uygulanmış marulların 6. günün sonunda 2,2 log'a kadar artmıştır.



(+4°C)

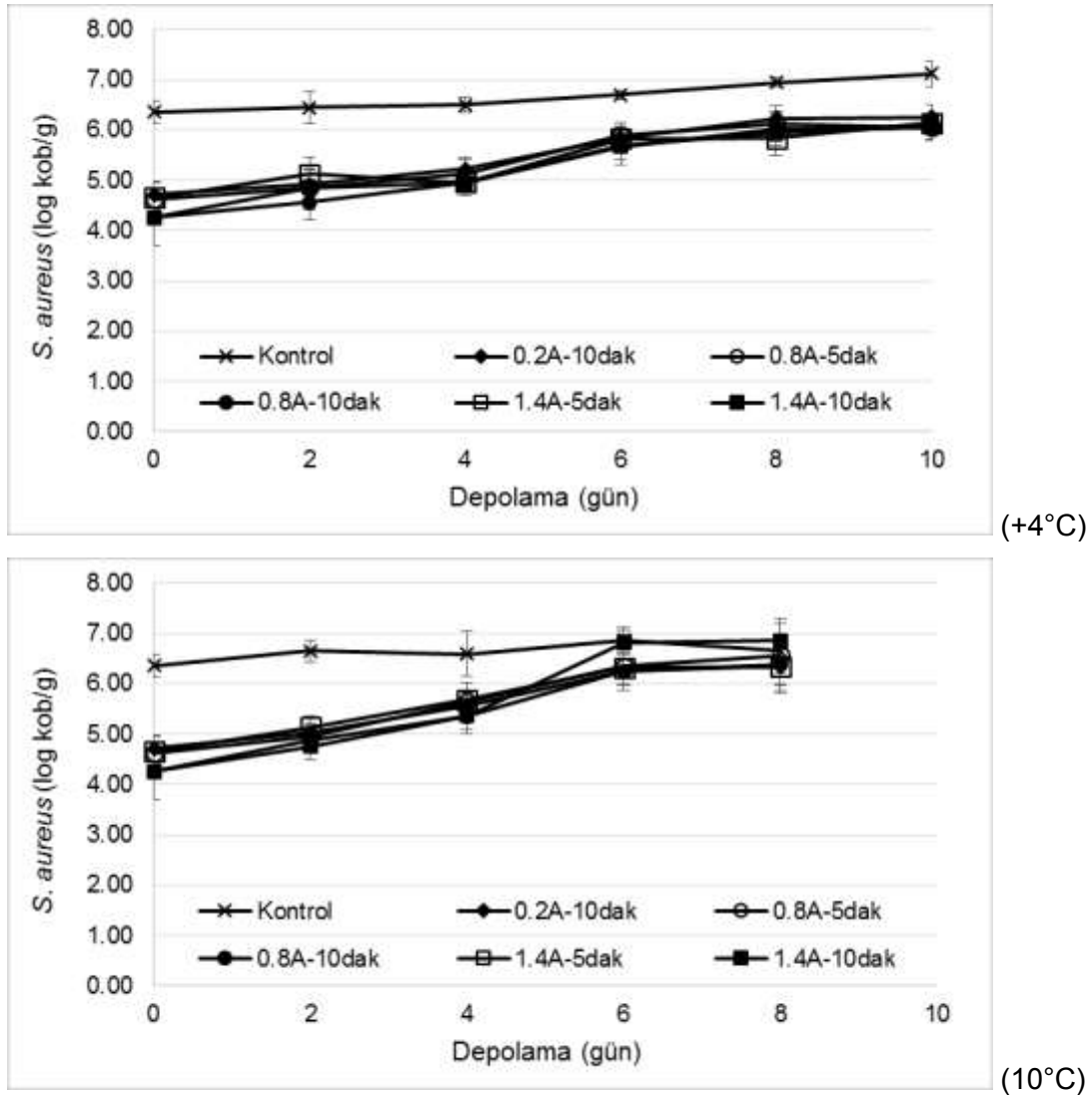


(10°C)

Şekil 4.51. Marula inoküle edilen *L.monocytogenes*'nin elektrosonikasyon uygulamasından sonra depolama sürecindeki değişimi

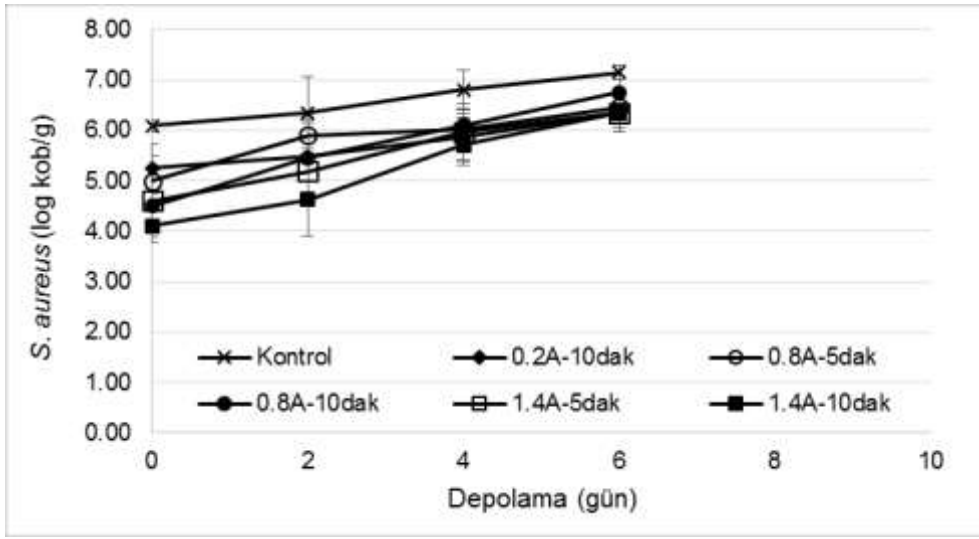
#### 4.4.2.3. *S. aureus* inoküle edilen sebzelerin işlem sonrası depolanması

İşlem uygulanmamış domates örneklerine  $6,36 \pm 0,23$  log kob/g düzeyinde *S. aureus* patojen inoküle edildikten sonra 2 hafta boyunca +4 ve 10°C'de depolanmış ve patojen yükündeki değişim 2 gün arayla izlenmiştir (Şekil 4.50). Domateslerin depolanması +4°C'de 10 gün sürerken, +10°C'de 8 gün devam etmiştir ve kontamine edilmiş domateslerdeki patojen yükünün kontrole karşı kıyaslanabilmesi için aynı sıcaklıklar için hepsi eşit süre depolanmıştır. +4°C'de depolamanın 8. gününde kontrol örneklerindeki patojen yükü yaklaşık 0,8 log artarken, işlem uygulanmış örneklerde 8. günün sonunda 1,9 log'a kadar artmıştır. +10°C'de depolamanın 6. gününde kontrol örneklerinde patojen yükü yaklaşık 0,5 log artarken, işlem uygulanmış marulların 8. günün sonunda 2,4 log'a kadar artmıştır.

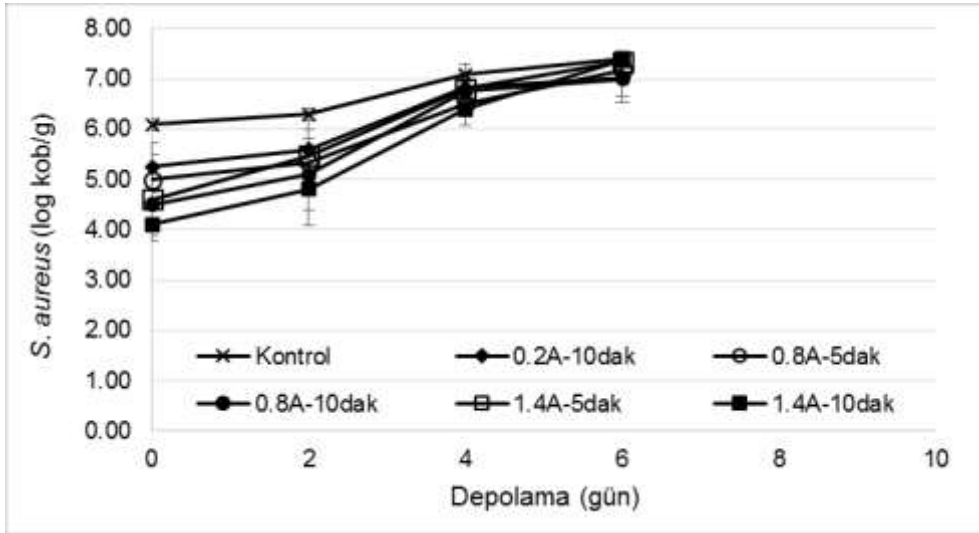


Şekil 4.52. Domatese inoküle edilen *S.aureus*'nin elektrosonikasyon uygulamasından sonra depolama sürecindeki değişimi

İşlem uygulanmamış marul örneklerine  $6,09 \pm 0,12$  log kob/g düzeyinde *S. aureus* patojen inoküle edildikten sonra 2 hafta boyunca +4 ve 10°C'de depolanmış ve patojen yükündeki değişim 2 gün arayla izlenmiştir (Şekil 4.50). Marullar her iki sıcaklıkta da 6 gün depolanmış ve kontamine edilmiş domateslerdeki patojen yükünün kontrole karşı kıyaslanabilmesi için aynı sıcaklıklar için hepsi eşit süre depolanmıştır. +4°C'de depolamanın +6. gününde kontrol örneklerindeki patojen yükü yaklaşık 1,0 log artarken, işlem uygulanmış örneklerde 8. günün sonunda 2,2 log'a kadar artmıştır. +10°C'de depolamanın 6. gününde kontrol örneklerinde patojen yükü yaklaşık 1,3 log artarken, işlem uygulanmış marulların 8. günün sonunda 3,2 log'a kadar artmıştır.



(+4°C)



(10°C)

Şekil 4.53. Marula inoküle edilen *S.aureus*'nin elektrosonikasyon uygulamasından sonra depolama sürecindeki değişimi

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Çeşitli seviye ve sürelerde uygulanan sadece elektrik akımı, sadece ultrases ve elektrosonikasyon işlemleri domateslerdeki en fazla TMAB, toplam maya-küf ve toplam koliform bakteri dekontaminasyonu sırasıyla >4,3 log, >4,3 log ve >3,5 log seviyesinde gerçekleştirmiştir. Marullarda bu dekontaminasyon seviyesi sırayla 2,9 log, >2,8 log ve 3 log olarak belirlenmiştir. Buna rağmen IV. iş paketi çerçevesinde seçilen elektrik akımı işlemlerinin sebzelerin depolanması sürecinde değişimi izlenirken bu seviyenin altında dekontaminasyonlar gerçekleşmiştir. Dolayısıyla sebzelerin yapısal ve mevsimsel özelliklerinin yanı sıra mikroorganizmaların sebzelerin yüzeyine olan tutunma biçimlerinin ve mikrofloranın çeşitliliğinin bu dekontaminasyon seviyesini çok önemli düzeylerde etkileyebileceği belirlenmiştir.

Tuzlu su çözeltilerinden (%1,5) oluşan model sistemlerde yaklaşık 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 yaklaşık 6 log kontamine edilen bu patojenlerinin ise uygulanan hiçbir elektrik akımı, ultrases ve elektrosonikasyon işlemleriyle tamamen dekontamine edilemediği tespit edilmiştir. Uygulanan sadece elektrik akımı, sadece ultrases ve elektrosonikasyon işlemleriyle domateslere kontamine edilen *E.coli* O157:H7, *S.aureus* ve *L.monocytogenes* patojenlerindeki en yüksek dekontaminasyonun sırasıyla 2,2 log, 2,8 log ve 2,8 log seviyesinde olduğu tespit edilmiştir. Marullara inoküle edilen bu patojenlerin işlemler sonrasında en yüksek dekontaminasyon seviyesinin sırasıyla 3,1 log, 3,5 log ve 2,9 log seviyesinde olduğu tespit edilmiştir.

Marulların uygulanan işlemlerden sonra tekstürel ve görsel olarak çok önemli seviyede olumsuz etkilendiği, domateslerin ise tekstürel olarak çok önemli seviyede etkilenmemesine rağmen işlemin dizaynının iyileştirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Aynı zamanda uygulanan işlemlerden ötürü ürünlerdeki nem seviyesinin de kısmen artabildiği belirlenmiştir. İşlemler sonucunda seçilen 5 farklı elektrik akımı uygulamasından sonra yapılan depolama işlemlerinde kontrol sebzelerden daha uzun süre raf ömrüne sahip herhangi bir işlem uygulanmış sebze ortaya çıkmamıştır. Eğer depolama süresi daha fazla uzatılması isteniyorsa sebzelere işlem uygulandıktan sonra uygun bir şekilde üzerindeki işlem sıvısının uzaklaştırılıp kurutulmasının fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Çünkü ürünlerin nispeten hızlı bozulmasında işlemin uygulanması sırasında işlem sıvısı tarafından ıslatılmış olmalarının da önemli bir rolü olduğu düşünülmektedir.

Tuzlu su çözeltilerinden (%1,5) oluşan model sistemlerde yüksek dozda (2ppm) ve düşük dozda (0,1ppp) çözündürülen captan, metalaxyl ve thiamethoxam pestisitlerine uygulanan işlemlerde sadece elektrik akımı, sadece ultrases ve elektrosonikasyon işlemleri kullanılarak düşük dozdaki tüm pestisitler degrade edilebilmiştir(<LOD). Yüksek dozdaki pestisitlerde ise sırasıyla %100 (<LOD), %78 ve %97 seviyesinde kalıntı degradasyonu sağlanmıştır. Domatese kontamine edilen bu pestisitler, uygulanan işlemlerle en fazla sırasıyla %91, %95 ve %70 seviyesinde degrade edilirken, marullarda bu degradasyon düzeyi %93, %91 ve %81 seviyesinde olmuştur. Ultrases işlemi ve ultrases ile elektrik akımının kombine edildiği elektrosonikasyon işlemlerinin pestisit degradasyonunda çok etkili olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte elektrik akımının da kalıntı uzaklaştırılmasında oldukça önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

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. Pestisit dekontaminasyonun da ise ultrasesin elektrik akımına göre çok yüksek seviyede etkili olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, elektrik akımının mikrobiyal güvenlikte ultrasonun da pestisit güvenliği açısından oldukça önemli seviyelerde dekontaminasyon etkisine sahip olduğu, hem mikrobiyal hem de pestisit dekontaminasyonun tek bir işlem ile sağlanmasının istenmesi durumunda elektrosonikasyon işleminin bu görevi başarılı bir şekilde yerine getirebileceği fakat 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 ve pestisit dekontaminasyonunda çok önemli bir potansiyel taşıdığı, uygulanabilir sonuçların elde edilmesi için daha detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulduğu düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

- 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.
- Altun A. 2011. Farklı iri etli domates genotiplerinin depolama sürelerinin belirlenmesi üzerinde araştırmalar. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı Doktora Tezi, İzmir.
- Andreo V. and Pico Y. 2004. Determination of pesticides and their degradation products in soil: critical review and comparison of methods. *ds in Analytical Chemistry*, Vol. 23, No. 10–11.
- AOAC. 1995. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (8th Edition)*, Washington.
- Aydın C. 2011. Az işlem görmüş marulların modifiye atmosferde depolanması sürecinde fitokimyasal özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilimdalı, Yüksek Lisans Tezi, Tokat.
- Barbosa-Canovas, G.V. and Sepulveda, D. 2005. Present status and the future of PEF technology. *Novel food processing technologies*, Eds: G.V. Barbosa-Canovas, M.S. Tapia and M.P. Cano. CRC Press, New York, USA.
- 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.
- Başlar, M. and Ertugay, M. F. 2012. The effect of ultrasound and photosonication treatment on polyphenoloxidase (PPO) activity, total phenolic component and colour of apple juice. *International Journal of Food Science & Technology*. 48(4):886-892
- Baysal T. and İçier F. 2011. Güncel elektriksel ısıtma yöntemleri. Sidaş meyda Ltd.Sti., İzmir.
- Birbir M, Hacıoğlu H, Birbir Y and Altuğ G. 2009. Inactivation of *escherichia coli* by alternative electric current in rivers discharged into sea. *Journal of Electrostatic*, 67: 640-645.
- Birbir Y and Birbir M., 2006. Inactivation of extremely halophilic hide-damaging bacteria via low-level direct electric current. *Journal of electrostatics*. 64: 70-91-795.
- Birbir Y, Değirmenci D, 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: 388-394.
- Birbir, Y., Uğur G. and Birbir M. 2008. Inactivation of bacterial population in hide-soak liquors via direct electric current, *Journal of Electrostatics*, 66(7-8): 355-360.

- 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.
- Butz, P., Tauscher, B. 2002. Emerging technologies: chemical aspects, *Food Research International* 35 (2/3), 279– 284.
- Büyükokuroğlu M. E., M. Cemek, M. Tosun, Y. Yürümez, O. Baş, Y. Yavuz. 2008b. Dantrolene may prevent organophosphate-induced oxidative stress and muscle injury. *Pesticide Biochemistry and Physiology.*, 92:156–163.
- Büyükokuroğlu M. E., M. Cemek, Y. Yürümez, Y. Yavuz, A. Aslan. 2008a. Antioxidative role of melatonin in organophosphate toxicity in rats. *Cell Biol Toxicol.*, 24(2):151-8.
- 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.
- Cemek M, Büyükben, A Büyükokuroğlu, M.E. Aymelek, F Tür, L. 2010c. Protective roles of vitamin E ( $\alpha$ -tocopherol), Selenium and vitamin E plus Selenium in organophosphate toxicity *in vivo*: A comparative study. *Pesticide Biochemistry and Physiology.* 96, 113-118.
- Cemek M, Büyükokuroğlu, M.E., Yürümez, Y., Yavuz, Y., Aslan, A., Büyükben, A., Aymelak F. 2010a. Tissue trace and major element levels in organophosphate insecticide fenthion (Lebaycid®) toxicity in rats: Prophylactic and therapeutic effect of exogenous melatonin. *Ecotoxicol Environ Saf.*, 73, 206–212.
- Cemek M, Büyükokuroğlu, M.E., Büyükben, A., Aymelek, F., Özcan L. 2010b. Effects of vitamin E and selenium on tissue bio-element status in organophosphate toxicity in rats. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 98, 9–18.
- Cemeroğlu, B. 2010. Gıda analizlerinde genel yöntemler. *Gıda Analizleri*, Ed: B. Cemeroğlu. Gıda Teknolojisi Yayınları, No:34, Ankara.
- Çapanoğlu E., Boyacıoğlu D. 2010. Domatesin Gelişimi Sırasında Antioksidan Bileşiklerinde Meydana Gelen Değişimler. *Akademik Gıda* 8 (1): 44-48.
- Dannehl D, Huyskens-kein S, Eichholz I, Ulrichs C, Schmidt U. 2011. Effect of direct-electric-current on secondary plant compounds and antioxidant activity in harvested tomato fruit (*Solanum lycopersion* L.). *Food chemistry*, 126: 157-165.
- 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.
- Durmusoglu E., Tiryaki, O., Canhilal R. 2010. Türkiye’de pestisit kullanımı, kalıntı ve dayanıklılık sorunları. *Türkiye Ziraat Mühendisliği 7. Teknik Kongresi*, Ankara, 11-15 Ocak.

- Ersoy, N., Tatlı, Ö., Özcan, S., Evcil, E., Coşkun, L.Ş., Erdoğan, E. ve Keskin, G. 2011a. Konya'da Halkın Tüketimine Sunulan Bazı Yumuşak Çekirdekli Meyve Türlerinde Pestisit Kalıntı Düzeyleri. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25 (1) 84-89.
- Ersoy, N., Tatlı, Ö., Özcan, S., Evcil, E., Coşkun, L.Ş., Erdoğan, E., Keskin, G. 2011b. Üzüm ve Çilekte Pestisit Kalıntılarının LC-MS/MS ve GC-MS İle Belirlenmesi. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25 (2) 70-80.
- 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.
- FAO, 2002. Oxamyl (126) in Pesticide Residues in food 2002 – Evaluations Part I – Residues Volume 1. ISSN 0259-2517.
- Farooq R, Shaukat SF, Khan AK, Farooq U. 2008. Ultrasonic induced decomposition of methidathion pesticide. *Journal of Applied Sciences*, 8(1): 140-145.
- 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.
- 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.
- Gong J., Li Z, Zhong H, Tang J., Li Y. 2011. Ozone/ultrasound degradation effect on residual pesticides in commercially available apples. *Bioinformatics and Biomedical Engineering, (ICBBE) 2011 5th International Conference*. IEEE conference publications. Page 1-4.
- 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.
- Gopal A, Coventry J, Wan J, Roginski H, Ajlouni S. 2010. Alternative disinfection techniques to extend the shelf life of minimally processed iceberg lettuce. *Food Microbiol.*, 27(2):210-219.
- Guillou S., and Murr N.E. 2002. Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* in solution by low-amperage electric treatment. *Journal of Applied Microbiology*, 92, 860–865.
- Harrigan, W. F. 1998. *Laboratory Methods in Food Microbiology* (3<sup>rd</sup> Ed.), San Diego, California, USA.
- Jackman S.A., Maini G., Sharman A.K., Knowles C.J. 1999. The effects of direct electric current on the viability and metabolism of acidophilic bacteria - the Lasagna process. *Enzyme and Microbial Technology*, 24(5) 316-324.

- Kaur, C., Kapoor, H.C. 2001. Antioxidants in fruits and vegetables—the millennium's health. *Int. J. Food Sci. Technol.* 36, 703–725.
- Kerwick, M.I., Reddy, S.M., Chamberlain, A.H.L. and Holt, D.M. 2005. Electrochemical disinfection, an environmentally acceptable method of drinking water disinfection? *Electrochimica Acta*, 50 (25-26): 5270–5277.
- Kerwick, M.I., Reddy, S.M., Chamberlain, A.H.L. and Holt, D.M. 2005. Electrochemical disinfection, an environmentally acceptable method of drinking water disinfection? *Electrochimica Acta*, 50 (25-26): 5270–5277.
- Keskin, G., ve Gül, U. 2004. Domates, *Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü, Bakış* 5 (13):1-4.
- Khoobdel, M., Shayeghi, M., Golsorkhi, S., Abtahi, M. Vatandoost, H, Zeraatii, H and Bazrafkan S. 2010. Effectiveness of ultrasound and ultraviolet irradiation on degradation of carbaryl from aqueous solutions. *Iran J Arthropod Borne Dis.* 4(1): 47–53.
- 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), 261e266.
- 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.
- Li, Y., Guo, C., Yang, J., Wei, J., Xu, J. and Cheng, S. 2006. Evaluation of antioxidant properties of pomegranate peel extract in comparison with pomegranate pulp extract, *Food Chemistry*, 96:254-260.
- Lin KD, Yuan DX. 2005. Degradation kinetics and products of triazophos in intertidal sediment. *J Environ Sci (China)*. 17(6):933-6.
- Liu W.K., Brown, M.R.W. and Elliott, T.S.J. 1997. Mechanisms of the bactericidal activity of low amperage electric current. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 39, 687–695.
- 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.
- Mason, T.J., Paniwnyk, L. and Chemat F., 2003. Ultrasound as a preservation technology. *Food preservation techniques*, Eds: P. Zeuthen and L. Bùgh-Sùrensen. CRC Press, USA.
- 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.
- Maturin L.J, Peeler J.T. 2001. Aerobic plate count. In: *Bacteriological analytical manual online*, Available <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm063346.htm>, visited on August 05, 2013.

- May, B.K. and 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.
- Öğüt, S., Polat, M. 2009. Bazı beş yıldızlı otellerde hazırlanan gıdaların mikrobiyolojik açıdan değerlendirilmesi, *SDÜ Yaşam Dergisi*, Isparta, 1(2): 12-16.
- Ozdemir, M. 2001. Mathematical analysis of color changes and chemical parameters of roasted hazelnuts. Ph.D. thesis. Istanbul Technical University, 161 pp.
- Özkan, M., Kirca, A. ve Cemeroğlu, B. 2010. Gıdalara uygulanan bazı analiz yöntemleri. *Gıda analizleri*, Ed: B. Cemeroğlu. Gıda Teknolojisi Yayınları, No:34, Ankara.
- Park CJ, Lee MS, Lee DH, Park BJ, Han DW, Uzawa M, Takatori K. 2003. In activation of bacteria in seawater by low-amperage electric current. *Applied and Environmental Microbiology*. 69(4): 2405-2408.
- 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. *Ultrason Sonochem*. 27:552-9.
- Piyasena, P., Mohareb E., McKellar R.C. 2003. Inactivation of microbes using ultrasound: a review, *International Journal of Food Microbiology* 87:207– 216.
- 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.
- Schlager K.J. and Gorski SH., 2004. Electroionic water disinfection apparatus. United States Patent. Patent No: US 6,780, 306 B2.
- Şengül, M., Erkaya, T., Başlar, M. and Ertugay, M.F. 2011. Effect of photosonation on inactivation of total and coliform bacteria in milk. *Food Control*, 22 (11), 1803-1806.
- Shimada, K. and Shimahara, K. 1982. Responsibility of hydrogen peroxide for the lethality of resting *Escherichia coli* B exposed to alternating current in phosphate buffer solution. *Agricultural and Biological Chemistry* 46, 1329–1337.
- Singh, R.P., Murthy, K.N.C. and Jayaprakasha, G.K. 2002. Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro models, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50:81-86.
- Sundarapandiyan S., Svakumar V., Rajeswari G., Saravanan P. 2009. Effect of sonication on electro-oxidation of organic pollutant in saline wastewater. *Water Environ Res*, 81(3): 319-324.
- Suslick, K. S., Didenko, Y., Fang, M. M., Hyeon, T., Kolbeck, K. J., McNamara, W. B., III, 1999. Acoustic cavitation and its chemical consequences. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 357(1751), 335e353.

- Thangavadivel K, Megharaj M, Smart RS, Lesniewski PJ, Naidu R. 2010. Sonochemical destruction of chloroform by using low frequency ultrasound in batch and flow cell. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.* 45(4):483-9.
- Thangavadivel, K. 2010. Development and Application of Ultrasound Technology for Treatment of Organic Pollutants. The University of South Australia. PhD Thesis.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Yürümez, Y., M. Cemek, Y. Yavuz, Y. O. Birdane ve M. E. Büyükkuroğlu. 2007. "Beneficial Effect of N-Acetylcysteine Againsts Organophosphate Toxicity in Mice," *Biol. Pharm. Bull*, 30 (3):490-4.
- Zhishen, J., Mengcheng, T. and Jianming, W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64: 555–559.