



T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ATIMLI ELEKTRİK AKIM (PEF) UYGULAMASI İLE VIŞNE
SUYU KAYISI VE ŞEFTALİ NEKTARLARININ BAZI
TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ VE MİKROBİYOLOJİK
İNAKTİVASYONUN İNCELENMESİ

JÜLİDE ALTUNTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY

TEMMUZ - 2007

T.C.

Mustafa Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne,

Doç. Dr. Gülsün AKDEMİR EVRENDİLEK danışmanlığında, JÜLİDE ALTUNTAŞ tarafından hazırlanan bu çalışma/...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Gülsün Akdemir Evrendilek	İmza.....
Üye : Doç. Dr. Zerrin Erginkaya	İmza.....
Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa Kemal Sangün	İmza.....

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Kod No:

İmza

...../...../.....

Enstitü Müdürü

Bu çalışma M.K.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca desteklenmiştir.

Proje No: 07 M 1501

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
ÖNSÖZ.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
1.GİRİŞ.....	1
1.1. PEF Teknolojisi.....	5
1.1.1. PEF Teknolojisinde Kullanılan Atım Modelleri.....	6
1.1.1.1. Logaritmik Azalan Atım Modeli.....	7
1.1.1.2. Dikdörtgen Biçimli Atım Modeli.....	8
1.1.1.3. Ani Geri Dönüşümlü Atım Modeli.....	10
1.1.1.4. Titreşimli Atım Modeli.....	11
1.1.2. PEF Ekipmanları.....	11
1.1.2.1. Elektrik Akım Jeneratörü.....	12
1.1.2.2. Uygulama Odacıkları.....	12
1.1.2.2.1. Durağan Sistem Odacıkları.....	13
1.1.2.2.1.1. U-Şeklinde Biçimlendirilmiş Polistiren Odacık.....	13
1.1.2.2.1.2. Cam Bobinli Durağan Odacık.....	14
1.1.2.2.2. Sürekli Sistem Odacıkları.....	15
1.1.2.2.2.1. İletken İyon Membran Odacığı.....	15
1.1.2.2.2.2. Hazneli Odacık.....	16
1.1.2.2.2.3. Arttırılmış Elektrik Alan Uygulama Odacıkları.....	16
1.1.2.2.2.4. Koaksial Odacık.....	18
1.1.3. PEF Uygulamalarında Kritik Faktörler.....	19
1.1.3.1. Proses Faktörleri.....	21
1.1.3.1.1. Elektrik Alan Yoğunluğu.....	21
1.1.3.1.2. Uygulama Zamanı.....	21

	Sayfa
1.1.3.1.3. Dalga Modeli.....	22
1.1.3.1.4. Uygulama Sıcaklığı.....	23
1.1.3.2. Ürün Faktörleri.....	24
1.1.3.2.1. İletkenlik, pH ve İyonik Direnç.....	24
1.1.3.2.2. Gıdanın Partikül Yapısı.....	25
1.1.3.2.3. Engel Oluşturma.....	25
1.1.3.3. Mikrobiyal Faktörler.....	25
1.1.3.3.1. Mikroorganizma Türü.....	25
1.1.3.3.2. Mikroorganizma Yoğunluğu.....	26
1.1.3.3.3. Mikroorganizma Gelişim Evresi.....	26
1.1.4. PEF Uygulamasında Mikrobiyal İnaktivasyon Mekanizması.....	27
1.1.4.1. Elektriksel Yıkım	27
1.1.4.2. Elektroporasyon.....	28
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	30
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	37
3.1. Materyal.....	37
3.1.1. Mikroorganizmalar	37
3.1.2. Vişne Suyu, Şeftali ve Kayısı Nektarı.....	37
3.1.3. Atımlı Elektrik Akım (PEF) Jeneratörü.....	37
3.2. Yöntem	39
3.2.1. Mikroorganizmaların Hazırlanması.....	39
3.2.2. Meyve Suyu/Nektarların Hazırlanması.....	40
3.2.3. Meyve Suyu/Nektarlarına PEF Uygulaması.....	40
3.2.4. Fiziksel ve Kimyasal Analizler.....	40
3.2.4.1. Asitlik.....	40
3.2.4.2. Titrasyon Asitliği.....	41
3.2.4.3. °Briks.....	41
3.2.4.4. Kondaktivite Ölçümü.....	41
3.2.4.5. Renk Ölçümü	41
3.2.4.6. Esmerleşme İndeksi	41

	Sayfa
3.2.4.7. Metal İyon Ölçümü.....	42
3.2.5. Mikrobiyolojik Analizler.....	43
3.2.5.1. İnoküle Edilen Bakterilerin Sayımı.....	43
3.2.5.2. İnoküle Edilen Fungusların Sayımı.....	43
3.2.6. İstatistiksel Analiz.....	43
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	44
4.1. Vişne Suyunda Fiziksel, Kimyasal ve Mikrobiyolojik Analizler	44
4.1.1. Atımlı elektrik akımı (PEF) uygulamasında elektrik akım şiddetinin vişne suyunun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkisi.....	44
4.1.2. Atımlı elektrik akımı (PEF) uygulamasında uygulama süresinin vişne suyunun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkisi.....	53
4.2. Kayısı Nektarında Fiziksel, Kimyasal ve Mikrobiyolojik Analizler.	62
4.2.1. Atımlı elektrik akımı (PEF) uygulamasında elektrik akım şiddetinin kayısı nektarının fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkisi.....	62
4.2.2. Atımlı elektrik akımı (PEF) uygulamasında uygulama süresinin kayısı nektarının fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkisi.....	72
4.3. Şeftali Nektarında Fiziksel, Kimyasal ve Mikrobiyolojik Analizler	80
4.3.1. Atımlı elektrik akımı (PEF) uygulamasında elektrik akım şiddetinin şeftali nektarının fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkisi.....	80
4.3.2. Atımlı elektrik akımı (PEF) uygulamasında uygulama süresinin şeftali nektarının fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkisi.....	88
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	101
KAYNAKLAR.....	103
ÖZGEÇMİŞ.....	109

ÖZET

ATIMLI ELEKTRİK AKIM (PEF) UYGULAMASI İLE VIŞNE SUYU KAYISI VE ŞEFTALİ NEKTARLARININ BAZI TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ VE MİKROBİYOLOJİK İNAKTİVASYONUN İNCELENMESİ

Bu çalışma kapsamında yüksek voltajlı elektrik atımı teknolojisinin vişne suyunun yanı sıra şeftali ve kayısı nektarlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkisi ve inoküle edilmiş olan mikroorganizmaların inaktivasyonu amaçlanmıştır.

Vişne suyu ve şeftali ile kayısı nektarları *Escherichia coli* O157:H7, *Pseudomonas syringae* subs. *syringae*, *Listeria monocytogenes*, *Penicillium. expansum*, *Erwinia carotovora*, *Staphylococcus aureus* ve *Botrytis cinerea* kültürleri ile 10^6 - 10^7 kob/ml oranında inoküle edilmiştir. Örnekler OSU-4A atım jeneratörü kullanılarak proses edilmiş olup 50 mL/dak akış hızı, 3 µs atım genişliği, 20µs iki atım arasındaki uzaklık ve 500 atım/saniye frekans proses parametreleri olarak belirlenmiştir. Bu parametreler sabitken elektrik akım şiddeti değişken faktör olarak ele alınmış olup, 0 (kontrol), 17, 20, 23, 27 ve 30 kV/cm seviyelerinde uygulanmıştır. Benzer şekilde elektrik akım şiddeti 17kV/cm seviyesinde sabitken uygulama süresi bağımsız değişken olarak ele alınmış ve frekans değiştirilerek 0(kontrol), 66, 105, 131, 157 ve 210 µs süreleri uygulanmıştır. PEF uygulamasında çift kutuplu kare dalga boylu elektrik atımları kullanılmış olup, proses öncesi ve sonrası örneklerde pH, titrasyon asitliği (TA), °Briks, kondaktivite, renk (L, a ve b), esmerleşme indeksi, metal iyon içeriği ölçümleri yapılmış ve inoküle edilen mikroorganizmaların inaktivasyonu belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar artan elektrik akım şiddeti ve uygulama süresinin vişne suyu, kayısı ve şeftali nektarlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinde önemli bir değişime yol açmadığını göstermiştir ($P>0.05$). Buna karşın inoküle edilen mikroorganizmaların inaktivasyonu artan elektrik akım şiddeti ve uygulama süresine paralel olarak artış göstermiştir ($P\leq 0.05$).

Sonuç olarak vişne suyu, kayısı ve şeftali nektarlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinde olumsuz bir değişim olmadan ve mikroorganizmalar inaktive edilerek PEF ile proses edilebileceği kanısına varılmıştır.

2007, 109 Sayfa

Anahtar kelimeler: Atımlı elektrik akımı (PEF), vişne suyu, şeftali nektarı, kayısı nektarı

ABSTRACT

EXAMINATION OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES AND MICROBIAL INACTIVATION OF SOUR CHERRY JUICE, APRICOT AND PEACH NECTARS PROCESSED BY PULSED ELECTRIC FIELDS (PEF)

Processing of sour cherry juice, apricot and peach nectars by pulsed electric fields (PEF) and determination of physical and chemical properties of the juice/nectars as well as inactivation of inoculated microorganisms were aimed in the study.

Sour cherry juice, apricot and peach nectars were inoculated with *Escherichia coli* O157:H7, *Pseudomonas syringae* subs. *syringae*, *Listeria monocytogenes*, *Penicillium expansum*, *Erwinia carotovora*, *Staphylococcus aureus* and *Botrytis cinerea* at the level of 10^6 - 10^7 cfu/mL and processed by OSU-4A bench scale pulse generator. PEF processing conditions were 50mL/min flow rate, 3 μ s pulse width, 20 μ s pulse delaying time and 500 pulse per second (pps) frequency. When these parameters were constant, electric field strength was changed as 0 (control), 17, 20, 23, 27 and 30 kV/cm. Similarly, when abovementioned parameters and electric field strength (17 kV/cm) were constant, the treatment time was changed to 0 (control), 66, 105, 131, 157 ve 210 μ s by changing frequency. Bipolar square wave electric pulses were applied. Before and after PEF processing pH, titratable acidity (TA), °Brix, conductivity, color (L, a and b), browning index, metal ion content of the samples as well as inactivation of inoculated microorganisms were measured.

Results revealed no significant change in the physical and chemical properties of the samples with increased electric field strength and treatment time ($P>0.05$). However, inactivation of microorganisms increased with increased electric field strength and treatment time ($P\leq 0.05$).

As a result, it can be concluded that PEF treatment can be used to process sour cherry juice, apricot and peach nectars without any adverse effect on physical and chemical properties and with significant reduction on the microflora.

2007, 109 pages

Key words: Pulsed electric fields (PEF), sour cherry juice, apricot nectar, peach nectar,

ÖNSÖZ

Son yıllarda tüketici tercihleri doğrultusunda en az düzeyde işlem görmüş daha doğal ve beslenme fizyolojisi açısından yüksek kalitede gıdalara olan talebin artması ile gerek gıda endüstrisi gerekse bu alanda çalışan bilim insanları tarafından taze yada tazeye yakın özelliklerini kaybetmemiş gıda ürünlerinin üretimi yoğun ilgi gösterilen bir alan olmuştur. Bu nedenle de gıda maddelerinin daha dayanıklı hale getirilmesinde kullanılan yöntemlerin geliştirilmesi ve bu amaca yönelik yeni işleme yöntemlerinin araştırılması çabaları hız kazanmıştır.

Bilindiği üzere Türkiye meyve ve sebze üretimi bakımından çok verimli bir ülkedir. Meyve Suyu Endüstrisi Derneği (MEYED) istatistiklerine göre ülkemizde 2005 verileri incelendiğinde 629.4 bin ton meyve, meyve suyuna işlenmiş olup, bu rakamın 37.1 bin tonunu vişne suyu, 30.8 bin tonunu kayısı ve 75.1 bin tonunu ise şeftali suyu kapsamaktadır. Yine MEYED, 2005 istatistiki verilerine göre 144.9 bin ton meyve, meyve konsantresi ve meyve pulpuna işlenmiştir ve bu rakamın 48.2 bin tonu şeftali püresinden, 16.8 bin tonu kayısı püresi ve 7.3 bin tonu ise vişne suyu konsantresinden oluşmaktadır (ANONİM, 2007a). Ülkemizde en fazla üretimi yapılan meyve suyu ve nektarları olmaları nedeniyle bu çalışma kapsamında vişne suyu, kayısı ve şeftali nektarları ile çalışılmıştır.

Çalışma kapsamında kullanılan atımlı elektrik akım jeneratörü (pulsed electric fields, PEF) Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Tarım, Ormancılık ve Veterinerlik Araştırma Grubu (TUBİTAK-TOVAG) tarafından desteklenen “Atımlı Elektrik Akımı (PEF) Teknolojisi ile Meyve Suları/Nektarlarının Pastörize Edilmesi: Mikrobiyal İnaktivasyon, Kimyasal, Fiziksel ve Duyusal Özelliklerinin İncelenmesi” projesi (104 O 585) kapsamında alınmıştır. Yüksek lisans tezimin ana temasını oluşturan bu cihazın sağlanması konusunda büyük destek sağlayan TUBİTAK-TOVAG grubuna öncelikle teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunuyorum. Ayrıca tez projesine (Proje no: 07 M 1501) olan desteklerinden dolayı Mustafa Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (MKÜ BAP) Başkanlığı’na teşekkürlerimi sunuyorum.

Araştırma konumun seçiminde yardımcı olan ve çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve yardımlarını, manevi desteğini esirgemeyen danışmanım Doç. Dr. Gülsün

AKDEMİR EVRENDİLEK'e (Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü) sonsuz teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarken; tezimde desteklerini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Mustafa Kemal SANGÜN'e (Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü), Yrd. Doç. Dr. Yahya Kemal AVŞAR'A (Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü), tez jürimde bulunarak tezimin son şeklinin oluşmasında değerli destek ve görüşlerini sunan sayın Doç. Dr. Zerrin ERGİNKAYA'ya (Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü), *Botrytis cinerea* ve *Penicillium expansum* kültürlerinin geliştirilmesini sağlayan Arş. Gör. M. Fatih TOK'a (Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü) sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca maddi ve manevi desteğini hiç eksik etmeyen ailem basta olmak üzere, çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Ahmet Sezgin, Ebru Akın ve Emel Ünlüer'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyuna inoküle edilen mikroorganizmaların inaktivasyonu.....	51
Çizelge 4.2. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyuna inoküle edilen mikroorganizmaların inaktivasyonu.....	60
Çizelge 4.3. Elektrik akım şiddetinin bir fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarına inoküle edilen mikroorganizmaların inaktivasyonu.....	70
Çizelge 4.4. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarına inoküle edilen mikroorganizmaların inaktivasyonu.....	78
Çizelge 4.5. Elektrik akım şiddetinin bir fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarına inoküle edilen mikroorganizmaların inaktivasyonu.....	86
Çizelge 4.6. Uygulama süresinin bir fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarına inoküle edilen mikroorganizmaların inaktivasyonu.....	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. PEF teknolojisinde uygulanan farklı atım modelleri.....	6
Şekil 1.2. Logaritmik azalan dalga modeli devre şeması.....	8
Şekil 1.3. Dikdörtgen biçimli atım modelinin oluşturulması için gerekli devre şeması ve tek kutuplu dikdörtgen atım modeli.....	9
Şekil 1.4. Ani geri dönüşümlü atım modeli (a: atım periyodu (s), b: atım genişliği (µs), c: atımın maksimum düzeye çıkış süresi, e: maksimum şiddet (kV), f: pik şiddeti).....	10
Şekil 1.5. Laboratuvar ölçekli PEF sistemi.....	11
Şekil 1.6. U-şeklinde biçimlendirilmiş polistiren odacık modeli.....	13
Şekil 1.7. Cam bobinli durağan odacık modeli.....	14
Şekil 1.8. İletken iyon membran odacığı.....	15
Şekil 1.9. Hazneli odacık modeli.....	16
Şekil 1.10. Arttırılmış elektrik alan uygulama odacığı.....	17
Şekil 1.11. Arttırılmış elektrik alan donanımının farklı konfigürasyonları.....	17
Şekil 1.12. Koaksial odacık modeli.....	18
Şekil 1.13. Geri dönüşümlü ve geri dönüşümsüz yıkım teorisinin şematik diyagramı (a: V'm potansiyelli hücre zarı, b: hücre basıncı, c: geri dönüşümlü yıkım sonucunda por oluşumu, d: geri dönüşümsüz yıkım ile oluşan büyük çaplı porlar).....	28
Şekil 1.14. Hücre zarı elektroporasyonu.....	29
Şekil 3.1. Laboratuvar ölçekli PEF sistemi.....	38
Şekil 3.2. İki kutuplu kare şeklinde uygulanan elektrik atım dalgası.....	39
Şekil 4.1. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda pH ölçümü.....	44
Şekil 4.2. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda °Briks ölçümü.....	45
Şekil 4.3. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda titrasyon asitliği ölçümü.....	46

	Sayfa
Şekil 4.4. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda kondaktivite ölçümü.....	46
Şekil 4.5. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda esmerleşme indeksi ölçümü....	47
Şekil 4.6. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda renk (L, a ve b) ölçümü.....	48
Şekil 4.7. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda metal iyonları ölçümü.....	49
Şekil 4.8. Elektrik akım şiddetinin bir fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım uygulaması ile işlenmiş vişne suyunda <i>E. coli</i> O157:H7, <i>S.aureus</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>P. syringae</i> subs. <i>syringae</i> , <i>E. carotovara</i> , <i>P. expansum</i> ve <i>B. cinerea</i> inaktivasyonu	52
Şekil 4.9. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda pH ölçümü.....	53
Şekil 4.10. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik alan teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda °Briks ölçümü.....	54
Şekil 4.11. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda titrasyon asitliği ölçümü.....	55
Şekil 4.12. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda kondaktivite ölçümü.....	56
Şekil 4.13. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda esmerleşme indeksi ölçümü.....	56
Şekil 4.14. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda renk değerleri (L, a ve b) ölçümleri.....	57
Şekil 4.15. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda metal iyonları ölçümleri.....	58
Şekil 4.16. Uygulama süresinin bir fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda <i>E. coli</i> O157:H7, <i>S. aureus</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>P. syringae</i> subs. <i>syringae</i> , <i>E. carotovara</i> , <i>P. expansum</i> ve <i>B. cinerea</i> inaktivasyonu.....	61

Şekil 4.17.	Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında pH ölçümü.....	62
Şekil 4.18.	Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında °Briks ölçümü.....	63
Şekil 4.19.	Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında titrasyon asitliği ölçümü.....	64
Şekil 4.20.	Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında kondaktivite ölçümü.....	65
Şekil 4.21.	Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında esmerleşme indeksi ölçümü.	66
Şekil 4.22.	Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş edilen kayısı nektarında renk değerleri (L, a ve b) ölçümü.....	67
Şekil 4.23.	Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında metal iyon ölçümü.....	68
Şekil 4.24.	Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında <i>E. coli</i> O157:H7, <i>S. aureus</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>P. syringae</i> subs. <i>syringae</i> , <i>P. expansum</i> , <i>E. carotovora</i> ve <i>B. cinerea</i> inaktivasyonu.....	71
Şekil 4.25.	Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında pH ölçümü.....	72
Şekil 4.26.	Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında °Briks ölçümü.....	73
Şekil 4.27.	Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında titrasyon asitliği ölçümü.....	74
Şekil 4.28.	Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında kondaktivite ölçümü.....	74
Şekil 4.29.	Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik alan teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında esmerleşme indeksi ölçümü.....	75

Şekil 4.30. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında renk değerleri (L, a ve b) ölçümleri.....	76
Şekil 4.32. Uygulama süresinin bir fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında <i>E. coli</i> O157:H7, <i>S. aureus</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>P. syringae</i> subs. <i>syringae</i> , <i>P. expansum</i> , <i>E. carotovora</i> ve <i>B. cinerea</i> inaktivasyonu.....	79
Şekil 4.33. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında pH ölçümü.....	80
Şekil 4.34. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında °Briks ölçümü.....	81
Şekil 4.35. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında titrasyon asitliği ölçümü.....	81
Şekil 4.36. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında kondaktivite ölçümü.....	82
Şekil 4.37. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında esmerleşme indeksi ölçümü.....	83
Şekil 4.38. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında renk değerleri (L, a ve b) ölçümü.....	84
Şekil 4.39. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında metal iyon değerleri ölçümü.....	85
Şekil 4.40. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında <i>E. coli</i> O157:H7, <i>S. aureus</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>P. syringae</i> subs. <i>syringae</i> , <i>P. expansum</i> , <i>E. carotovora</i> ve <i>B. cinerea</i> inaktivasyonu.....	87
Şekil 4.41. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında pH ölçümü.....	88

	Sayfa
Şekil 4.42. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında °Briks ölçümü.....	89
Şekil 4.44. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında kondaktivite ölçümü.....	91
Şekil 4.45. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında esmerleşme indeksi ölçümü	92
Şekil 4.46. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında renk değerleri (L, a ve b) ölçümü.....	92
Şekil 4.47 Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında metal iyonları ölçümü.....	93
Şekil 4.48 Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında <i>E. coli</i> O157:H7, <i>S. aureus</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>P. syringae</i> subs. <i>syringae</i> , <i>P. expansum</i> , <i>E. carotovara</i> ve <i>B. cinerea</i> inaktivasyonu.....	96
.	
.	

1. GİRİŞ

Sıvı gıdaların tüketime hazır hale getirilmesi için uygulanan en yaygın yöntem ısı ile muhafaza yöntemidir. Klasik ısı ile muhafaza uygulamaları, gıdalarda enzimatik ve mikrobiyal inaktivasyonun sağlanmasını amaçlamaktadır. Bu tip uygulamalar enzim inaktivasyonunu sağlayabilmekte fakat proses edilen gıdanın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde istenmeyen değişikliklere (kararma, tekstür kayıpları, vitamin ve uçucu bileşiklerin kaybı) veya besin değerinde azalmaya neden olmaktadır. Günümüzde daha bilinçli bir tüketici kitlesinin oluşması ve bu kitlenin, hiçbir katkı maddesi bulundurmeyen, doğal veya doğala yakın ürünler tercih etmesi, uzun vadede kanserojen etkileri bilinen katkı maddelerinin kullanımını sınırlandırmaktadır. Besin değerinin korunması açısından ısı ile muhafaza yöntemleri dışında alternatif yöntemlerin araştırılması son yıllarda popülerlik kazanmaktadır. Bu yöntemler arasında yüksek basınç uygulaması, radyasyon, X-ışınları özellikle de üzerinde çok durulan atımlı elektrik akım uygulaması (PEF) gıdalarda ısı ile muhafaza yöntemine alternatif olarak öne çıkmıştır. Söz konusu bu yöntemlerin en büyük avantajı kalite kayıplarını minimuma indirmeleridir (CASTRO ve ark., 1993; EVRENDİLEK ve ark., 2001). Isısız olmayan teknolojilerle ilgili çalışmalar son yıllarda hız kazanmış olsa da özellikle gıdaların işlenmesinde elektrik enerjisi kullanımı fikri eskilere dayanmaktadır. BEATTLE ve LEWIS (1924)'un bildirdiğine göre ilk olarak 1915 yılı başlarında İngiltere'nin Liverpool şehrinde sütün elektrik enerjisi ile işleme çalışmaları denenmiştir.

PEF uygulamasının enzim ve mikroorganizmalar üzerindeki inhibitif etkisi son yıllarda yapılan çalışmalarda kanıtlanmış olsa da bu teknolojinin yaygınlaştırılması için farklı ürünlerin prosesi ve bu ürünlerde kalite kontrolleri ile mikrobiyal inaktivasyon çalışmaları yapılmalıdır. PEF ile proses edilen ürünler arasında elma suyu, portakal suyu gibi ürünler göze çarpmakla beraber üzüm, havuç, greyfurt, nar, karadut gibi meyvelerin meyve suları, kayısı ve şeftali gibi meyvelerin nektarlarının PEF ile prosesi denenmeli ve *Escherichia coli* O157:H7, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* gibi gıda kaynaklı patojenler ile *Pseudomonas syringae* subs. *syringae* ve *Erwinia caratovora* gibi bozulma etmeni olan bakteriler ve *Penicillium expansum* ve *Botrytis cinerea* gibi bozulma etmeni olan fungusların (küflerin) inaktivasyonun çalışılması sözkonusu teknolojinin yaygınlaştırılması için büyük önem taşımaktadır.

Escherichia coli O157:H7, *Enterobacteriaceae* familyasına ait, Gram negatif çubuk şeklinde bir bakteridir. *E. coli* O157:H7 bağırsak çeperine ciddi hasarlara neden olacak güçlü toksinleri yüksek miktarlarda üretmektedir. Bu toksinler [verotoksin (VT), shiga-benzeri toksin] *Shigella dysenteriae* tarafından üretilen toksinlere benzer özellik göstermektedir (ANONİM, 2007b).

Çiğ sebze ve meyvelerin *E.coli* O157:H7 ile kontaminasyonları, yetiştirme sırasında büyükbaş ve küçükbaş hayvanlarla temastan kaynaklanabileceği gibi gübre olarak uygun olmayan karışımlar uygulandığında oluşabilir. Bu kontaminasyon riski, meyve ve sebzeler ağaçtan toprağa düştüklerinde ve daha sonra işlem zincirine katıldıklarında artmaktadır. Aynı zamanda ağaçlardaki ve asmalardaki meyveler için kontamine gübrenin toz parçaları hava kaynaklı risk oluşturabilmektedir. Tarlada veya paketleme ünitelerinde çalışan işçilerde *E. coli* O157:H7 için kros- kontaminasyon kaynağı olabilir (BEUCHAT, 1998).

Koliform grubunda yer alan diğer bakterilerden farklı olarak *E. coli* O157:H7 elma suyu ve cidere gibi yüksek asitli gıdalara kontaminasyon yoluyla bulaştığı zaman uzun süre canlılığını sürdürebilmektedir. Bu nedenle meyvelere yada bu meyvelerden elde edilen meyve suyu veya nektarlara bulaşması durumunda meyve suyu endüstrisi için büyük bir risk oluşturmaktadır ve dolayısı ile pastörize edilmemiş meyve suyu/nektarından kaçınılmalıdır (EVRENDİLEK ve ark., 1999). Meyve suyu endüstrisinde olası *E. coli* O157:H7 kontaminasyonuna karşı pastörizasyon veya eşdeğer bir gıda muhafaza yönteminin mutlak suretle uygulanması gerekmektedir.

Staphylococcus aureus, mikroskobik olarak incelendiğinde çift, kısa zincirli ve üzüm gibi salkım halinde olduğu gözlenen, kok şeklinde Gram pozitif bir bakteridir. Bazı suşları insanlarda hastalığa neden olan yüksek ısıya dayanıklı protein toksinleri üretme eğilimindedir (ANONİM, 2007c).

S. aureus'un insanların ağız ve burunlarında taşındıkları bilinmektedir. *S. aureus* varlığı çiğ ürünlerde, yemeye hazır sebze ve meyve salatalarında izlenmektedir. En önemli kontaminasyon kaynağı, hijyen ve sanitasyon önlemlerine uymayan gıda işçileridir (BEUCHAT, 1998). Bu nedenle üretim hattında meyvelerin *S. aureus* ile kontaminasyonu meyvelerin meyve suyuna işlenmeleri sırasında sorunlara yol açmaktadır.

Listeria monocytogenes, kuyruklu yapısından dolayı hareketli olarak nitelendirilen Gram pozitif bir bakteri tipidir. *L. monocytogenes*, insan ve hayvan bağırsaklarında bulunan düşük sıcaklıkta ve oksijen varlığında gelişme gösteren patojen bakterilerdendir ve nispeten düşük su aktivitelerinde de gelişme gösterebilmektedir. *Listeria* türleri toprakta, bitkilerde, kanalizasyon sularında, hayvan yemlerinde, gübrelerde ve taşıyıcı hayvan ve insanlarda bulunabilmektedir. Tarımsal faaliyetler sonucu bitkilere geçmektedir ve böylece meyvelerde ve taze kesilmiş sebzelerde bulunma ihtimali artmaktadır (BEUCHAT, 1998; RODRÍGUEZ ve ark., 2000). *L. monocytogenes* spor oluşturmeyen bakteriler için uygulanan, dondurma, kurutma ve ısıtma gibi gıda işleme yöntemlerinin öldürücü etkilerine karşı oldukça dirençlidir. Bu yüzden de meyve ve meyve sularının *L. monocytogenes* ile kontamine olması durumunda pastörizasyon işlemi yeterli olmayabilmektedir (ANONİM, 2007d).

Pseudomonas syringae subs. *syringae*, *Pseudomonas* cinsine ait çubuk şeklinde, Gram pozitif, polar flagellaya sahip bir bakteridir. *P. syringae* bitki patojeni olup birçok bitki türü için hastalık etmenidir ve oksidaz negatif arginin dehidrolaz negatif özellik göstermektedir. *P. syringae* syringomycin adı verilen toksin üretir (ANONİM, 2007c).

P. syringae subs. *syringae* kayısı, şeftali ve vişne gibi sert çekirdekli meyvelerde sürgün ve dal yanıklığı hastalığına neden olmaktadır. Bu hastalığın tipik belirtileri yapraklarda oluşturduğu küçük, yuvarlak ve şekilsiz lekelerdir. Meyvede ise çağa döneminde yüzeysel ve meyvenin iriliğine oranla değişik ebatlarda lekeler oluşturmaktadır. Bu lekeler başlangıçta yeşil, yağlımsı görünümünde olup, yaşlandıkça koyulaşmaktadır. Kayısı ve kiraz meyve enfeksiyonu içeri çökmüş, siyah lekeler halindedir. En hassas türler kiraz ve bazı erik çeşitleridir. Şeftali bunlara oranla daha dayanıklıdır. Bu nedenle meyvelerin hasattan önce *P. syringae* subs. *syringae* ile kontamine olması meyve suyu/nektara işlenmeleri sırasında bu hastalık etmeninin meyve suyuna/nektarına kontaminasyonuna neden olmaktadır (ANONİM, 2007c).

Erwinia caratovora, Enterobacteriaceae familyasına dahil Gram negatif, katalaz (-), anaerobik, enterik çubuk şeklinde bakterilerdir. *E. caratovora* şekerleri ve alkollerini fermente edebilir ve bazı sebzelerde bulunan ramnoz, arabinoz ve mannitol gibi şekerleri kolayca kullanabilir. Çoğu 37 °C'de gelişme gösterirken bazı suşların buzdolabı sıcaklığında gelişebildiği belirtilmiştir. Meyvelerde protopektin halinde bulunan pektini, sahip oldukları protopektinaz enzimi ile parçalayarak yumuşak

çürümeye neden olurlar (ANONİM, 2007e). Kontamine olmuş meyveden meyve suyuna geçen bakteri son ürün kalitesinde problemlere neden olmaktadır.

Penicillium expansum'un oluşturduğu miseller septalıdır. Konidiforları bazen tek bazen de dallanmış haldedir. Uç taraflarında fırça görünümünde konidi taşıyıcıları yer alır. Hasat sonrası taşıma depolama, gibi işlemlerde meyve kabuğunun yaralanması nedeniyle meyve içerisine girerek bozulmaya neden olurlar. Konidiler yuvarlak olup maviden mavi-yeşile kadar değişen tonlarda koloni oluştururlar ve hemen hemen her türlü gıdada gelişmesi mümkündür. *P. expansum* meyvelerde yumuşak çürümeye neden olur ve özellikle elma suyunda patulin adı verilen ısıya dirençli mikotoksin üretir (AKBULUT, 2005). Patulinin bitki ve hayvan hücreleri ve dokuları için yüksek toksik etkiye sahip olduğu söylenmektedir (STOTT ve BULLERMAN, 1975; ENGEL ve TEUBER, 1984). Elma gibi meyveler uzun süre depolanabildiklerinden dolayı patulin oluşumu diğer meyvelere göre daha yüksek miktarlardadır. Fakat patulinin meyve üzerindeki difuzyonu da çok önemlidir. Elmanın işlenmesi sırasında küflü bölgenin uzaklaştırılması sonucunda geri kalan bölümde patuline rastlanmamıştır Fakat şeftali gibi yumuşak meyvelerde urunun bir tarafında küflenme sonucu oluşan patulin ürünün her yerine dağılabilmektedir. Suda çözünebilmesinden dolayı da meyvelerin meyve suyuna islenmesi sırasında meyve suyuna geçebilmektedir (ACAR, 2003).

Botrytis cinsine mensup küf türleri birçok bitki ve bitkisel gıda üzerinde gri küflenmeye yol açarlar. Özellikle çilek ve üzüm gibi meyvelerde bozulma etmeni olarak yaygın olarak görülmekle birlikte yumuşak ve sert çekirdekli meyvelerde de gri çürüklük etmeni olarak rol alırlar. Meyve ve sebzelerin pazarlanması sırasında büyük sorun oluştururlar. Özellikle *Botrytis cinerea* meyvelerde küllenme hastalığı etmenidir. Turunçgiller, armut, elma ve üzüm de gri küf çürümesine neden olmaktadır (ANONİM 2007f). *Botrytis cinerea* antosiyanin parçalayarak koyu renkli meyve sularının renginin açılmasına neden olur. Bunun yanında bu türler şekerlerden polisakakrit yapısında bileşikler sentezleyerek meyve sularının viskozitesinin yükselmesine yol açar. Sonuçta kontamine olmuş meyve suyunun işlenmesi özellikle de filtrasyonu güçleşir (ACAR, 2003).

1.1. PEF Teknolojisi

Yüksek voltajlı atımlı elektrik akım teknolojisinin esası, gıdaya mikro saniyelerle ifade edilen, çok küçük zaman dilimlerinde uygulanan yüksek voltajın (20-80 kV) enzimler ve mikroorganizmalar üzerindeki inaktivasyonu etkisine dayanır (MARTIN-BELLOSO Ve ark. 1997a ve 1997b). Bu yöntem daha çok sıvı ve yarı sıvı gıdaların işlenmesine olanak vermektedir. Bu yüzden gıdanın viskozitesi ve elektrik iletkenliği (kondaktivitesi) yani iyonik yapısı çok büyük önem taşımaktadır. Gıdanın iletkenlik katsayısının yüksek olması elektriksel iletimini kolaylaştırmakta ve buna bağlı olarak etkili inaktivasyon için gereken enerji miktarını düşürmektedir.

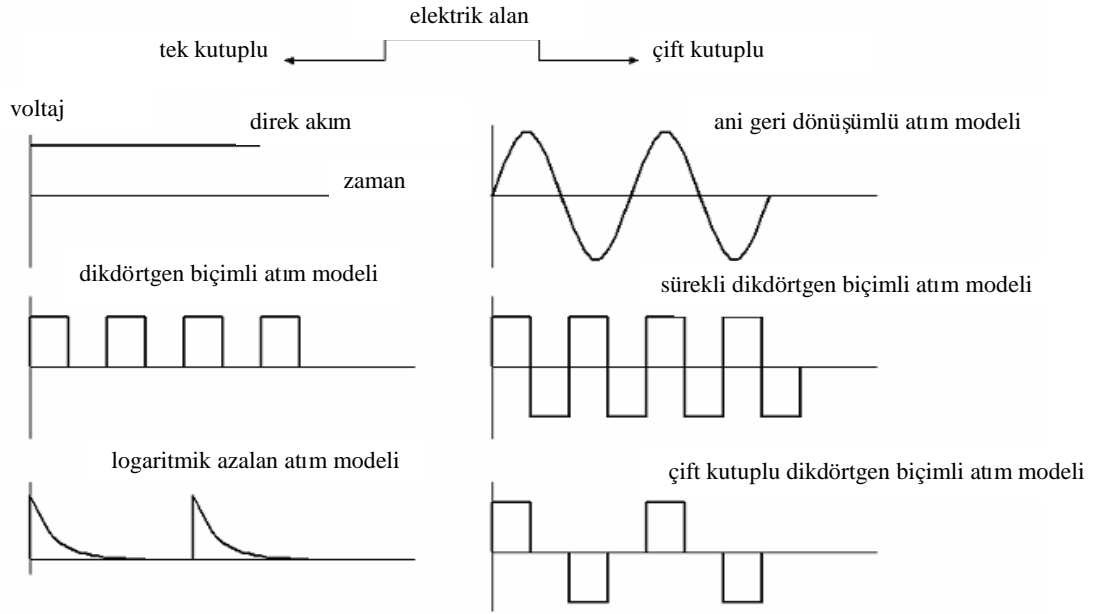
Genel olarak PEF sistemi; elektrik enerjisinin oluşturulması için yüksek voltaj DC jeneratörü, jeneratör tarafından oluşturulan elektrik enerjisini depolayacak kapasitörler dizisi; enerjinin kapasitörlerden elektrotlara ulaştırılmasını sağlayacak yüksek voltaj anahtarı ve örneğin tutulması ve proses edilmesi için gerekli olan uygulama odacıkları gibi ekipmanlardan oluşur (NGADI ve ark., 2003). Sistemde şarj resistörüne bağlı kapasitörler DC güç kaynağı kullanılarak şarj edilir (R_s) ve sistem çalıştırıldığında kapasitörlerde depolanmış olan elektrik uygulama odacığı içerisinden geçirilen gıdaya aktarılır (ZHANG ve ark., 1995a).

PEF prosesi iki elektrot arasından akışı sağlanan gıda üzerine kısa dalga boyuna sahip, yüksek voltajlı (20-80 KV/cm) elektrik akımının periyodik olarak uygulanması ile gerçekleştirilir. Uygulama, oda sıcaklığında ya da oda sıcaklığının biraz altında veya üstündeki sıcaklıklarda gerçekleştirilir. İşlem sırasında gıdanın elektrik akımına gösterdiği dirençten dolayı ısı artışı gerçekleşir. Isınmanın engellenmesi ise sisteme bağlı soğutucu donanım ile gerçekleşir (QIN ve ark., 1995a).

PEF teknolojisi uygulamasında, yüksek voltajlı elektrik akımı üretiminin sağlanması, işleme sırasında sıcaklık değişimlerini minimize edecek ve üniform uygulama yapılmasını sağlayacak uygulama odacıkları oluşturulması, elektrotların, elektroliz tehlikesini en aza indirgeyecek şekilde tasarlanması, gıdaya uygulanacak elektrik akım şiddetinin ve uygulama süresinin seçimi, işlenecek gıdanın viskozitesi gibi hususlar dikkate alınmalıdır. Yapılan araştırmalar PEF teknolojisi ile gıda işleme yönteminin geleneksel pastörizasyon yöntemlerine göre enerji gereksinimi bakımından daha ekonomik olduğunu göstermiştir (QIN ve ark., 1995b).

1.1.1. PEF Teknolojisinde Kullanılan Atım Modelleri

Elektrik akım atım modelleri PEF uygulamalarında tasarımın önemli bir parçasını oluşturur. Sabit elektrik alan yoğunluğunda ve sabit enerji girdisi koşullarında uygulanan atım modeli ile mikrobiyal inaktivasyon derecesinin birbiri ile yakın ilişkili olduğu yapılan çalışmalarda bulunmuştur (QIN ve ark., 1994).



Şekil 1.1. PEF teknolojisinde uygulanan farklı atım modelleri (NGADI ve ark., 2003)

PEF teknolojisi uygulamalarında kullanılan atım modellerinin başında, logaritmik azalan atım modeli, dikdörtgen biçimli atım modeli, ani geri dönüşümlü atım modeli ve titreşimli atım modeli gelmektedir. Logaritmik azalan atım modeli ve dikdörtgen biçimli atım modeli PEF uygulamalarında en çok kullanılan atım modelleridir (BARBOSA-CANOVAS ve ark., 2000). PEF teknolojisinde atım modelleri uygulama süresince kısa zamanda çok sayıda atım oluşması gibi pratikte karşılaşılan güçlükler nedeniyle sınırlandırılmıştır (NGADI ve ark., 2003).

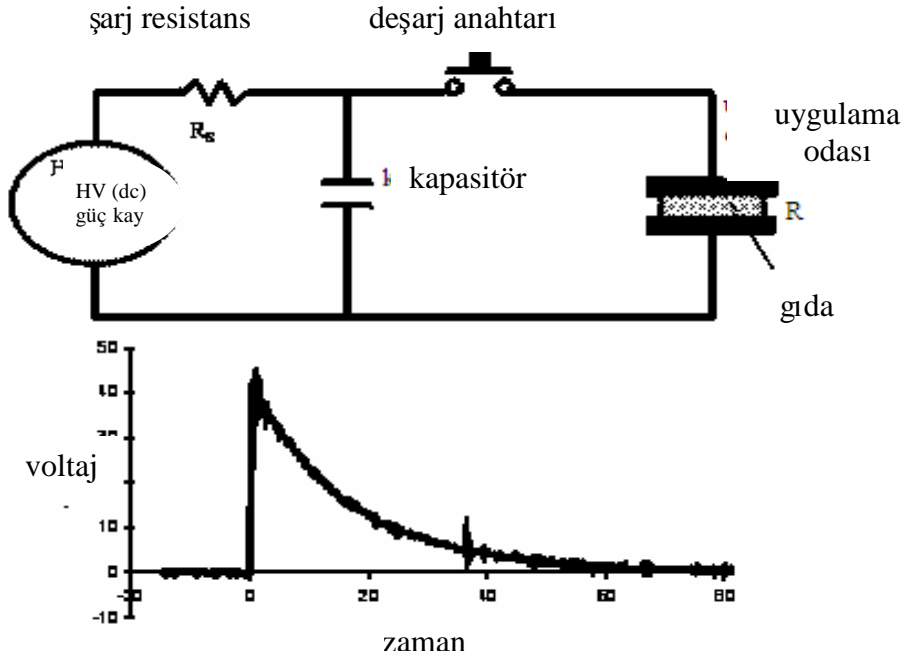
GULYI ve ark. (1994) meyve suyunun, çift kutuplu atım modeli kullanarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmesi durumunda meyve suyu saflığının (toplam kuru

maddedeki şeker içeriği), klasik pastörizasyon yöntemleri göre, 1-2 % oranında, tek kutuplu uygulanması durumunda ise 3-5 % oranında arttığını bildirmişlerdir.

ZHANG ve ark. (1994) ise atımın tek kutuplu uygulanması durumunda yüklü moleküllerin polarizasyon kapasitesinin arttığına dikkat çekmişlerdir. Bütün bu nedenlerden dolayı PEF uygulamasında atım modellerinin proses edilen gıdanın kalitesi açısından önem taşıdığı söylenebilir (KUPCHIK ve ark., 1991).

1.1.1.1. Logaritmik Azalan Atım Modeli

Logaritmik azalan atım modelinin oluşturulabilmesi için sadece şarj resistörüne bağlı kapasitörlerin bulunması yeterlidir. Bu nedenden dolayı diğer modellere kıyasla elde edilmesi kolaydır (BARBOSA-CANOVAS ve ark., 2000). Bu atım modelinde yüksek voltaj DC güç kaynağından elde edilen elektrik enerjisi kapasitörlerde depolanır ve hızlıca uygulama odacığına verilerek gıdaya uygulanır (NGADI ve ark., 2003). Akım şiddeti maksimum düzeye hızla çıkar ve logaritmik olarak azalarak sifıra ulaşır. Uygulamada sisteme elektrik akımı verildikten sonra akımın kendiliğinden azalması beklenir. PEF projesinin çalışılmaya başlandığı ilk zamanlarda ortaya atılan bu model atım süresinin hesaplanmasının zorluğu yüzünden teknolojik gelişmelerle beraber yerini daha kullanışlı modellere bırakmıştır (ANONİM, 2000).



Şekil 1.2. Logaritmik azalan dalga modeli devre şeması (ANONİM, 2000).

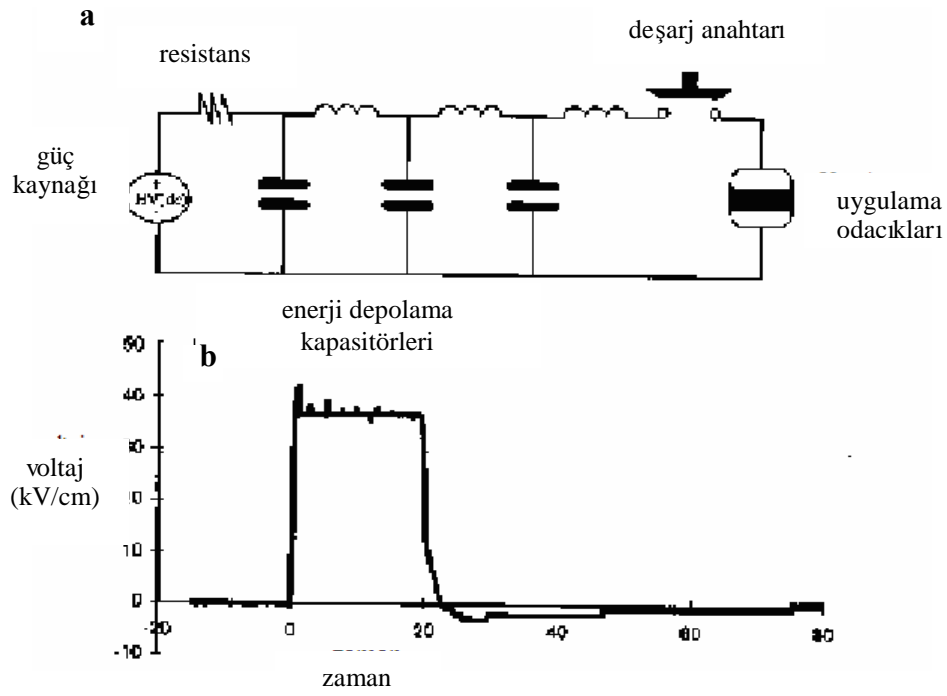
1.1.1.2. Dikdörtgen Biçimli Atım Modeli

Dikdörtgen biçimli atım dalgalarının elde edilmesi için düzenli olarak sıralanmış olan kapasitörlerin bağlı olduğu bir atım oluşturan ağ (pulsed-forming-network), indüktör ve devre anahtarı gereklidir. Bu yüzden oluşturulması daha zahmetlidir.

Dikdörtgen biçimli atım modelinin etkinliği sadece jeneratörde üretilen elektrik enerjine bağlı olmayıp proses edilecek materyalin özelliklerine ve devrenin öz direncine de bağlıdır (GRAHL ve MARKL, 1996; ANGRESBACH ve ark., 2002). Bu model tek kutuplu ve çift kutuplu olarak iki şekilde uygulanabilmektedir. Tek kutuplu atım modelinde elektrik atımları pozitif yönde belirli frekansta verilmektedir. Çift kutuplu atım modelinde ise birbirlerini belirli zaman aralıklarıyla takip eden bir pozitif bir negatif yönde atım uygulanmaktadır (EVRENDİLEK ve ZHANG, 2005). Modelde akım aniden maksimum düzeye çıkar ve belli bir süre için bu seviyede kalır daha sonra maksimum düzeye çıktığı hızda sıfıra iner. Dikdörtgen biçimli atım modelinde uygulama süresi, dalga boyu ve elektrik akım uygulama alanı kolaylıkla

hesaplanabilmektedir (ANONIM, 2000). Farklı atım modelleri kullanılarak yapılan çalışmalarda elde edilen verilere göre mikrobiyal inaktivasyon mekanizmasını üzerine en etkili dalga modelin, dikdörtgen biçimli çift kutuplu atım modeli olduğu ortaya çıkmıştır (QIN ve ark., 1994). Eğer akımın örneğe ulaşması için gereken süre kapasitörlerin dolması için gereken sabit süreden daha az ise dikdörtgen biçimli atım modeli logaritmik azalan atım modeline dönüştürülebilmektedir (GRAHL ve MARKL, 1996).

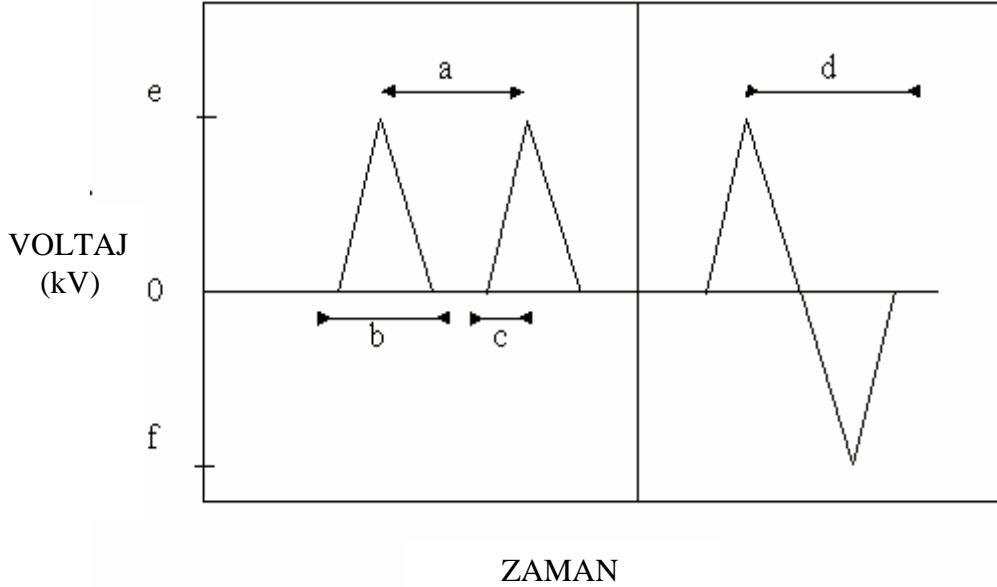
PEF uygulamasında kullanılan atım modelleri arasında, hücre zarı elektroporasyonu açısından bakıldığında, dikdörtgen biçimli atım modelinin, logaritmik azalan atım ve titreşimli atım modelleri ile kıyaslandığında daha etkili olduğu kanıtlanmıştır (KNORR ve ark., 1994; QIN ve ark., 1996).



Şekil 1.3. Dikdörtgen biçimli atım modelinin oluşturulması için gerekli devre şeması ve tek kutuplu dikdörtgen atım modeli (ANONIM, 2000).

1.1.1.3. Ani Geri Dönüşümlü Atım Modeli

Ani geri dönüşümlü atım modeli $a+V_c$ ve $a-V_c$ olmak üzere iki şekilde karakterize edilebilir. Bu formlar farklı dalga boylarında ve farklı pik genişliklerinde olabilmektedir. Ani geri dönüşümlü atım modeli dikdörtgen şeklindeki atım modelinden farklı olarak ulaştığı maksimum noktada hiç beklemeden düşmeye başlar, aynı hızda geri döner. Bu modelde tek kutuplu ve çift kutuplu olmak üzere iki tip uygulama mevcuttur. Tek kutuplu atımda akım hep pozitif yönde cereyan eder ve maksimum düzey her zaman grafiğin pozitif bölgesindedir, çift kutuplu atımda ise akım hem pozitif hem de negatif yönde maksimum şiddete ulaşır. Atımın negatif yönlü oluşması akımın şiddetini, periyodunu ve süresini değiştirmez. Atım $y=mx+n$, doğru grafiği, şeklinde artar yine aynı şekilde azalıp sıfıra ulaşır. HO ve MITTAL (1997), ani geri dönüşümlü atım modelini kullanarak mikrobiyal hücrelerin elektroporasyon mekanizması için gerekli olan minimum elektrik akım şiddetini düşürebileceklerini ifade etmişlerdir. Gerçekten de bu atım modeliyle diğer atım şekillerine göre enerji ve donanım kullanımında 1/5 ve 1/6 oranında tasarruf sağlanabilmektedir.



Şekil 1.4. Ani geri dönüşümlü atım modeli (a: atım periyodu (s), b: atım genişliği (μ s), c: atımın maksimum düzeye çıkış süresi, e: maksimum şiddet (kV), f: pik şiddeti, HO ve ark., 1995).

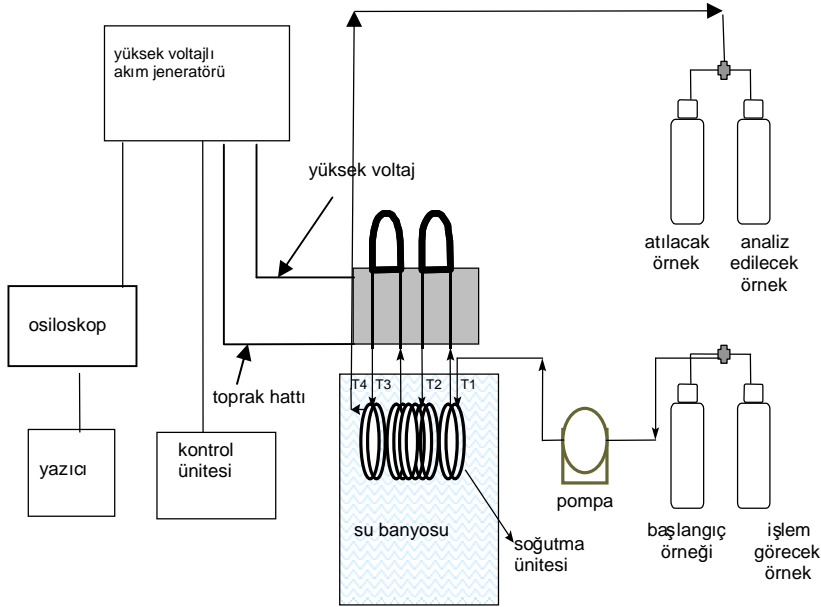
1.1.1.4. Titreşimli Atım Modeli

Verimliliği en düşük olan atım modelidir. Çünkü mikrobiyal hücrelerin elektrik akım etkisi altında sürekli bir şekilde kalmalarını engellemekte ve hücre zarında geri dönüşümsüz kırılmalar oluşmamakta, sonuç olarak mikrobiyal inaktivasyon istenilen düzeyde gerçekleşmemektedir (JEYAMKOMDAN ve ark., 1999). Bu nedenden dolayı da tercih edilen bir atım modeli değildir.

1.1.2. PEF Ekipmanları

Gerek laboratuvar ölçekli gerekse ticari ölçekli PEF sistemleri temel olarak aynı ünitelerden oluşmaktadır. Buna göre PEF sistemi 3 ana parçadan oluşur:

- Yüksek akım işlem odacıkları,
- Elektrik akım jeneratörü,
- Sıvı gıdanın PEF sisteminde taşınımını sağlayan sıvı taşıma sistemi.



Şekil 1.5. Laboratuvar ölçekli PEF sistemi (EVRENDİLEK ve ark., 1999).

1.1.2.1. Elektrik Akım Jeneratörü

Bu jeneratör düşük seviyedeki enerjiyi yüksek seviyedeki enerjiye çevirir ve PEF sistemine yüksek voltaj sağlar. Kapasitorlerde biriktirilip depo edilen düşük seviyeli voltaj yüksek voltaja çevrilir.

1.1.2.2. Uygulama Odacıkları

Uygulama odacıkları, sistemde gıda üzerine elektrik akımının uygulandığı bölmeler olarak tanımlanabilir. Odacıklarda karşılıklı yerleştirilmiş elektrotlar bulunur ve materyal bu elektrotlar arasından geçerken yüksek voltajlı elektrik atımına maruz bırakılır. Odacıklar birbirine seri halde bağlanmış durumdadır ve iki odacık arasında iletimi sağlayan borular yerleştirilmiştir. Borular soğuk su içerisine daldırılmış konumdadır. Böylece sistemde fazla ısınma da engellenebilmektedir.

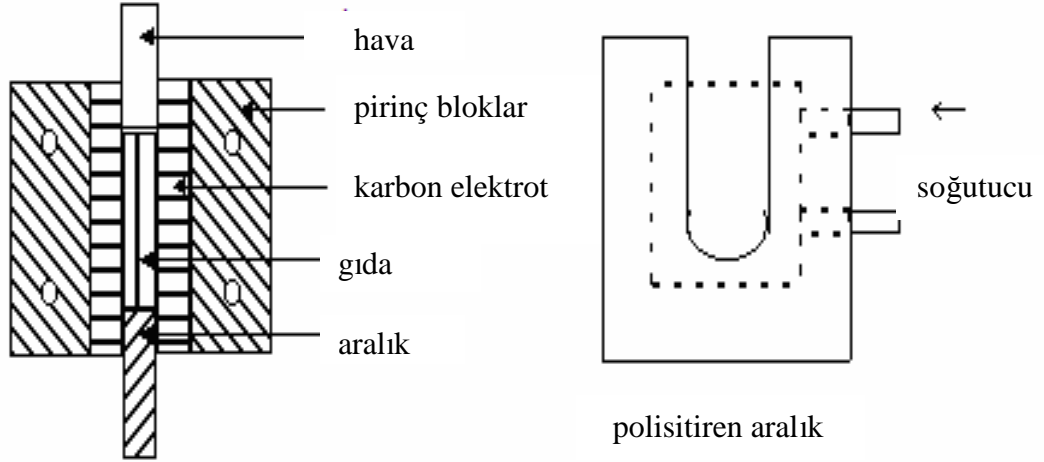
ZHANG (1998) bildirdiğine göre PEF teknolojisi ile yapılan çalışmalar sırasında, zaman içinde pek çok uygulama odacığı tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Her odacık uygulamada kullanılacak gıdanın kendine has özelliklerine dayanarak tasarlanmıştır. Bir PEF cihazı konfigürasyonunda gıdanın karakteristiği, uygulama odacıklarının dizaynı, uygulama sırasında gıdanın sistemde akış hızı (debisi) ve yüksek voltaj elde etmek için gerekli olan ekipmanlar önem taşımaktadır. Gıdada iletkenliğin artması durumunda harcanan elektrik alan yoğunluğu artmaktadır; bunun sonucu olarak ta sistemde güç gereksinimi artacaktır. Mesela gıdaya tuz eklenmesi gerekiyorsa bu PEF uygulamasından sonra yapılmalıdır. Elektrot arasındaki boşluk ise uygulama yapılan gıdanın partikül yapısının en az 3 katı olmalıdır. Partikül büyüklüğü 6 mm olan gıdaların PEF teknolojisi ile işlenmesi sırasında 35 kV/cm'lik bir elektrik akım şiddeti elde edebilmek için 18 mm elektrot aralığına ihtiyaç vardır. Bununla birlikte elektrot aralığı geniş ve elektrot yüzeylerinin küçük olduğu tasarımlarda düşük direnç sağlayan ve istenildiğinde sistemi kapatma olanağı veren kontrol mekanizması mevcuttur. Bu tür sistemler 50-900 kV/cm'lik yüksek yoğunluklu elektrik alan elde etmeye uygundur.

1.1.2.2.1. Durağan Sistem Odacıkları

1.1.2.2.1.1. U-Şeklinde Biçimlendirilmiş Polistiren Odacık

U şeklinde Polistiren odacık dıştan içe doğru pirinç bloklar, karbon elektrotlar ve polistiren bölümden oluşur. Pirinç bloklar işleme tabi tutulan gıdanın sıcaklığının kontrol edilmesi ve suyun sirkülasyonun sağlanması için ceketlerle (kaplama) desteklenmiştir. Model maksimum 30 KV/cm'lik uygulamaya izin vermektedir (ANONİM, 2000) (Şekil 1.6).

DUNN ve PEARLMAN (1987), tarafından geliştirilen durağan odacık tasarımı ise paslanmaz çelikten yapılmıştır ve modelde 2 elektrot ve silindirik plastik aralık kullanılmıştır. Odacık 2 cm yüksekliğinde ve 10 cm iç çapa sahiptir, elektrotlar ise 78 cm² lik bir alanı kaplamaktadır (Şekil 1.6).



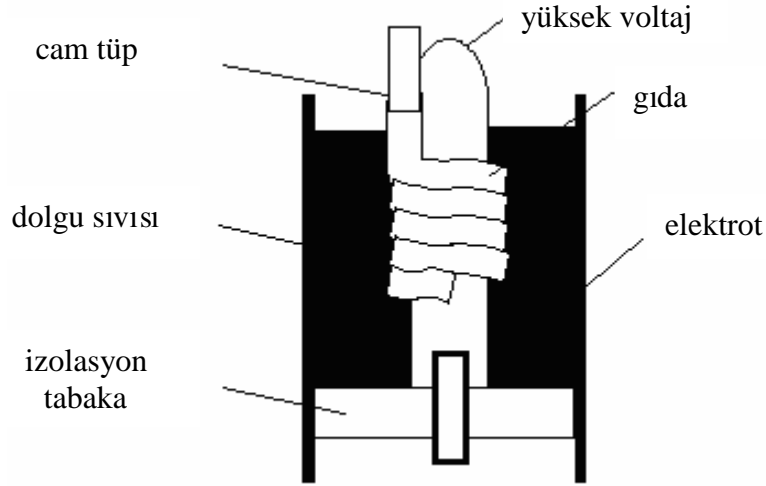
Şekil 1.6. U-şeklinde biçimlendirilmiş polistiren odacık modeli (ANONİM, 2000).

Bir başka tasarım ise 2 adet paslanmaz çelik elektrot kullanılarak tasarlanmıştır. Isı yalıtımı için polisulfan veya fleksiglas kullanılmıştır. Elektrot alanı yaklaşık 27 cm²'dir ve elektrotlar arasında 0.95 ile 0.5 cm arasında değişen değerlerde boşluk bırakılır. Bu tasarım 70 kV/cm'lik elektrik akım uygulamasına uygundur. Sistemde

ısınmanın engellenmesi için soğuk su kullanılır, soğuk suyun sirkülasyonu elektrotların üzerine yerleştirilen ceketlerle sağlanır (BARBOSA-CANOVAS ve ark., 1999).

1.1.2.2.1.2. Cam Bobinli Durağan Odacık

Cam bobinli durağan odacık LUBICKI ve JAYARAM (1997), tarafından tasarlanmış bir modeldir. Sistemde 23 cm³ hacminde, yüksek iletkenliğe sahip ve dolgu sıvısı ile doldurulmuş bir odacık mevcuttur. Dolgu sıvısının içine yerleştirilen anot cam bobinle sarılmış durumdadır. Anotta oluşturulan yüksek voltaj cam bobin içerisinden geçirilen gıdaya uygulanarak inaktivasyon sağlanır (Şekil 1.7). Prosesin verimliliği açısından kullanılan dolgu sıvısının iletkenlik katsayısı çok önemlidir (ANONİM, 2000).



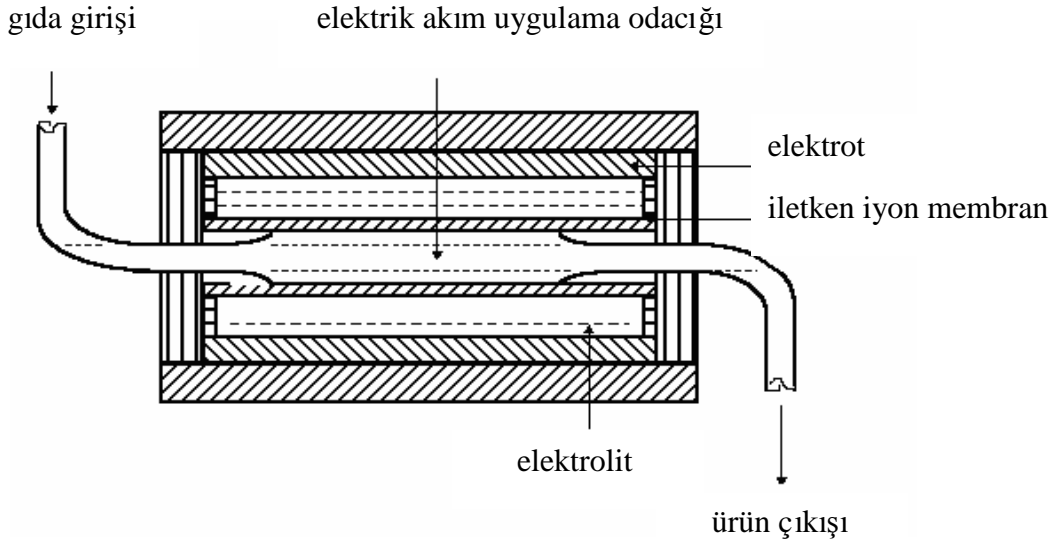
Şekil 1.7. Cam bobinli durağan odacık modeli (ANONİM, 2000).

1.1.2.2.2. Sürekli Sistem Odacıkları

Sürekli sistemler büyük miktarlardaki gıda prosesleri için uygundur ve durağan sistemlere göre daha verimlidir. Çünkü gıdanın sistem içerisinde sirkülasyonu sağlanabilmektedir.

1.1.2.2.2.1. İletken İyon Membran Odacığı

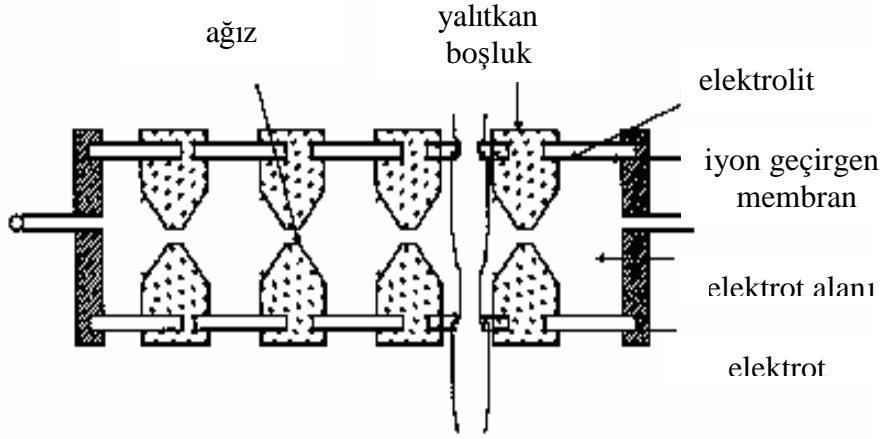
İletken iyon membran odacık tasarımında birbirine paralel yerleştirilmiş tabaka şeklinde iki elektrot ve iletken iyon membranlar kullanılır. Elektrotlar gıdadan, sulfonat polistiren ve akrilik asit kopolimerlerinden yapılmış iletken membran yardımıyla ayrılır. Elektrotlar ile iyon membran arasında elektrik akımı iletimini kolaylaştırmak için elektrolit kullanılır (DUNN ve PEARLMAN, 1987). Yine DUNN ve PEARLMAN, (1987) tarafından geliştirilen modelde tabaka şeklinde elektrotlar yerine hazneler şeklinde elektrotlar kullanılmıştır (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. İletken iyon membran odacığı (ANONİM, 2000).

1.1.2.2.2.2. Hazneli odacık

Elektrotlar paslanmaz çelikten yapılmıştır ve disk şeklinde biçimlendirilmiştir. Elektrot ve odacık arasına ise polisülfan tabaka yerleştirilmiştir. Sistemde odacık hacmi 20–8 ml, elektrot kalınlığı 0.95–0.51 cm, akış hızı 1200–6 mL/dak'dır (Şekil 1.9) (BARBOSA-CANOVAS ve ark., 1999).

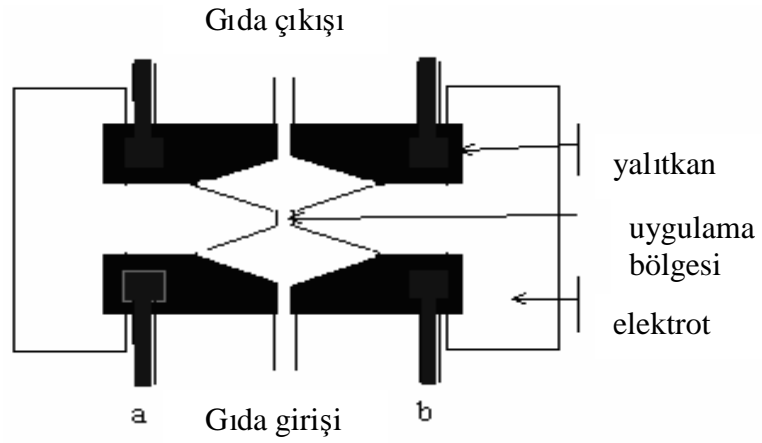


Şekil 1.9. Hazneli odacık modeli (BARBOSA-CANOVAS ve ark., 1999).

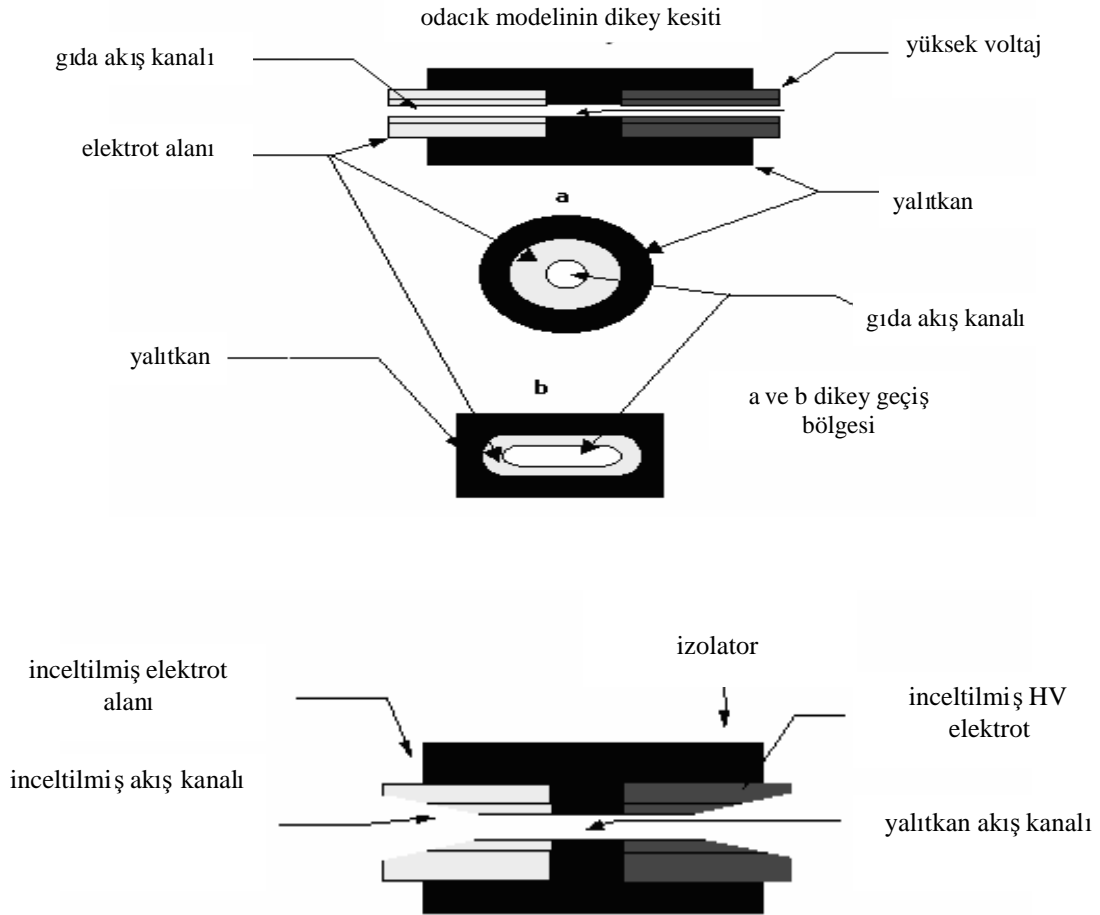
1.1.2.2.2.3. Arttırılmış Elektrik Akım Uygulama Odacıklar

YIN ve ark. (1997), PEF uygulama odalarında işlem sürekliliğinin geliştirilmesi amacıyla arttırılmış elektrik akımı kavramını uygulamaya koymuşlardır. Bu sistemde uygulama odası gaz birikimini engellemek amacıyla konik şeklinde tasarlanmıştır. Konik bölge, uygulama odasından geçen voltaj ile sisteme verilen voltajın hemen hemen eşit olacağı şekilde tasarlanmıştır.

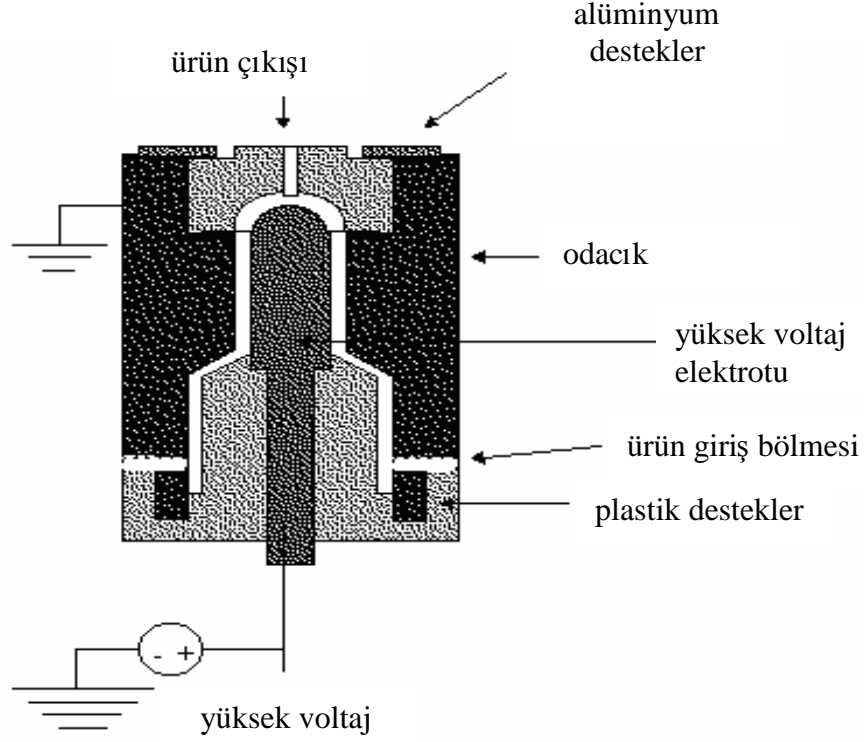
Arttırılmış elektrik akımı odacık konfigürasyonları Şekil 1.10 ve Şekil 1.11'de belirtilmiştir. Bu tip oda konfigürasyonunda birinci elektrot akış ünitesi, izolatör ünitesi, ikinci elektrot akış ünitesi, iletken ve yalıtkan giriş elemanları bulunur. Elektrot akış ünitesi ve yalıtkan ünitesi tek bir tüp içerisinde ve tek bir ekipman gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 1.10. Arttırılmış elektrik akım uygulama odacığı (ANONİM, 2000).



Şekil 1.11. Arttırılmış elektrik akım donanımının farklı konfigürasyonları (ANONİM, 2000).



Şekil 1.12. Koaksial odacık modeli (ANONİM, 2000).

1.1.2.2.4. Koaksial Odacık

İç içe geçirilmiş silindir şeklinde iki elektrottan oluşan bu model de gıda iki elektrot arasından geçirilerek elektrik akımına maruz bırakılır. Dıştaki elektrot hem uygulama odasındaki elektrik alanı hem de odacığın diğer bölümlerindeki elektrik alan yoğunluğunun artırılmasını sağlar. Elektrotların konfigürasyonu PEF uygulamalarında büyük önem taşıyan elektrik akım ölçümünün optimum koşullarda yapılmasını sağlayacak şekilde dizayn edilmelidir. Elektrotların en uygun şekilde dizayn edilmiş olması elektrik alan şiddetindeki artışların da kararlı olmasını sağlamaktadır. Koaksial odacık modeli ile yapılan çalışmalar, sıvı gıdalarda (süt, meyve suları ve sıvı yumurta) patojen ve patojen olmayan bakterilerin, küflerin, mayaların ve enzimlerin inaktivasyonunun başarıyla sonuçlandığını göstermiştir (Şekil 1.12) (BARBOSA-CANOVAS ve ark., 1999).

1.1.3. PEF Uygulamalarında Kritik Faktörler

PEF teknolojisinde kullanılan elektrik akımının şiddeti ve uygulama süresi aşağıdaki faktörlere bağlı olup yine aşağıdaki faktörlerden yola çıkılarak hesaplanabilmektedir.

D: İşlem odasında iki elektrot arasındaki uzaklık (cm)

ϕ : İşlem odacığı çapı (cm)

τ : Her bir atımın süresi- genişliği

f : Frekans(Akım/sn.): Uygulanan elektrik atımlarının sıklığı

n: Oda sayısı

V: Uygulanan voltaj

I: Akım (A)

T_c : Sirkülasyon zamanı (dak.)

V: Sirkülasyon hacmi (ml)

Q: Gıdanın akış hızı (ml/sn)

σ : Proses sıcaklığındaki gıdanın elektrik iletkenliği (Siemens/m)

P: Proses sıcaklığındaki gıdanın yoğunluğu (g/cm^3)

C_p : Gıdanın spesifik sıcaklığı ($J/g \cdot ^\circ C$)

E_p : Uygulanan elektrik akım şiddeti (kV/cm)

$$E_p = V/(1000D) \text{ (KV/cm)}$$

t_r : Uygulama süresi (μs)

$$t_r = D/ Q_v \text{ (s)}$$

Q_v : Gıdanın ortalama akış hızı

$$Q_v = Q/[3.14/4\phi \text{ (cm/s)}$$

n_p : Gıdaya verilen toplam atım sayısı

$$n_p = t_r f$$

n_t : Proses edilen örnek sayısı

$$n_t = (Q t_c 60)/v$$

N: Toplam işlem zamanı

$$N = n_p \tau n n_t (\mu sn)$$

W: Sn.deki enerji girişi

$$W = V I \tau f 10 (J)$$

T: Ardışık iki uygulama odacığında meydana gelen sıcaklık artışı

$$\Delta T = [(E p^2) n_p \tau \sigma] / (0.01 \rho C_p) (C)$$

PEF prosesi esnasında kontrol edilebilen önemli parametreler şunlardır;

- Verilen elektrik akımının voltajı-şiddeti
- Verilen elektrik akımının voltajı-direnci
- Elektrik akımı uygulama süresi
- Uygulanan elektrik akımının dalga şekli
- Uygulanan elektrik akımının tekrarlama oranı-frekans
- Her işlem odasındaki giriş ve çıkış yolu sıcaklıkları
- Akış hızı

1.1.3.1. Proses Faktörleri

1.1.3.1.1. Elektrik Alan Yoğunluğu

Elektrik alan yoğunluğu mikrobiyal inaktivasyonu etkileyen en önemli bir faktördür (HULSHEGER ve NIEMANN 1980; DUNN ve ark., 1996). Elektrik enerjisi ile mikrobiyal inaktivasyon, ortamdaki iyon konsantrasyon dengesinin bozulması esasına göre gerçekleşir. Mikroorganizmalar belirli bir hücre zarı geçirgenlik potansiyeline sahiptirler ve hücre içi ve hücre dışı iyon konsantrasyonunu dengede tutmak zorundadırlar. İyon dengesi bozulduğu zaman hücre zarı dengeyi sağlamak için iyon transferi yapmak zorunda kalır ve bu da hücre zarında deformasyona neden olur.

Uygulanan elektrik alan yoğunluğu ile mikrobiyal inaktivasyon doğru orantılıdır. Elektrik alan yoğunluğu hücre zarı geçirgenlik potansiyelinin ne kadar üzerine çıkarılırsa mikrobiyal inaktivasyon o kadar artar (QIN ve ark. 1998). Mikrobiyal inaktivasyonun gerçekleşebilmesi için uygulanması gereken en düşük elektrik alan yoğunluğuna kritik elektrik alan noktası, (E_C) denir. Hücre geçirgenlik potansiyeli ne kadar fazla ise uygulanması gereken E_C o kadar artar. Büyük hücre yapısına sahip mikroorganizmaların hücre geçirgenlik potansiyelleri yüksektir. Bu nedenle de hücre büyüdükçe uygulanması gereken elektrik alan yoğunluğu da artar (JEYAMKONDAN ve ark., 1999). Bunun yanında atım dalga genişliği de kritik elektrik alan noktasını (E_C) etkiler. Örneğin dalga genişliği 50 μs 'den daha büyük uygulamalarda $E_C = 4.9$ kV/cm, dalga genişliği 2 μs 'den daha küçük uygulamalarda $E_C=40$ kV/cm kullanılır (SCHOENBACH ve ark., 1997).

1.1.3.1.2. Uygulama Zamanı

PEF teknolojisinde uygulama zamanı denince belirli zamanda dilimindeki atım sayısı ve atım süresi anlaşılmalıdır. Bu iki faktörden herhangi bir tanesi arttırılırsa uygulama süresi ve dolayısı ile mikrobiyal inaktivasyon da artar (SALE VE HAMILTON, 1967). Uygulanan atımın dalga boyu da önemli bir parametre olup atım genişliği E_C değerini etkilemektedir. Atım genişliğinin E_C değeri üzerine etkisinden dolayı mikrobiyal inaktivasyon derecesi üzerine de etkisi vardır. Uygulanan atımın

dalga boyu artarsa E_c değeri düşer dolayısıyla mikrobiyal inaktivasyon artar. Fakat dalga boyunun artması atım süresini arttırır ve bu sebepten dolayı gıdada istemeyen sıcaklık derecelerine kadar ısınma meydana gelebilir.

Kritik uygulama zamanı aynı zamanda uygulanan dalga yoğunluğuna bağlı olarak ta belirlenebilmektedir. E_c değerinin üstündeki uygulamalarda elektrik alanın artmasıyla kritik uygulama zamanı azalır (BARBOSA-CÁNOVAS ve ark., 1999).

1.1.3.1.3. Dalga Modeli

Atımlı elektrik akım prosesinde daha önce de açıklandığı gibi logaritmik azalan, titreşimli, dikdörtgen şeklinde ve ani geri dönüşümlü dalga modelleri kullanılır. Mikrobiyal inaktivasyonun en az olduğu model titreşimli atım modelidir. Dikdörtgen atım modelinde ise logaritmik azalan atım modeline göre daha etkili inaktivasyon sağlanmaktadır. Ani geri dönüşümlü dalga modeli bilindiği üzere monopolar (tek kutuplu) ve bipolar (çift kutuplu) olarak uygulanmaktadır. Bipolar uygulama mikroorganizmalar üzerinde mono polar uygulamadan daha fazla inaktivasyon etkisine sahiptir. Çünkü; PEF uygulaması yüklü moleküllerin hücre zarında hareketine neden olur ve bipolar uygulamada elektrik alan kutuplaşmasında ve de oryantasyonunda meydana gelen değişimler hücre zarındaki yüklü moleküllerin yöneliminde değişikliklere yol açar (HO ve ark., 1995; QIN ve ark., 1994). Yüklü moleküllerin hareketlerindeki bu değişimler hücre zarının strese girmesine neden olur ve hücre zarında deformasyona yol açar.

Bipolar uygulama enerji kullanımı yönünden ekonomiktir ve bunun yanında gıdanın elektrolizi söz konusu değildir ve elektrotlar üzerinde tortu birikmesine engel olur (BARBOSA-CANOVAS ve ark., 1999). Daha önce de belirtildiği gibi ani geri dönüşümlü atımda ilk önce pozitif yönde hemen arkasından da negatif yönde uygulama gerçekleşir. Dolayısıyla da gıdanın elektrik iletkenliği atım modelinin karakteristiğini etkiler. Bu açıdan bakıldığında gıda iletkenliğinde ki bir yükseliş hem pozitif hem de negatif atım uygulama süresini azaltır.

Araştırmalarda, uygulanan elektrik atımlarının mikroorganizmaların yaşam fonksiyonu üzerinde tek ölçüt olmadığını ve aynı uygulama alanına sahip logaritmik

atımla ani geri dönüşümlü atımın karşılaştırılması durumunda, ani geri dönüşümlü atımın daha etkili bir inaktivasyon sağladığı görülmüştür (HO ve MITTAL, 1997).

ZHANG ve ark. (1997), tarafından portakal suyunun raf ömrü üzerinde yapılan bir çalışmada; logaritmik azalan atım modeli (62.5 kV/cm elektrik akım şiddeti, 0.57 μ s etkili atım genişliği, 40 μ s uygulama süresi), dikdörtgen biçimli atım modeli (35 kV/cm elektrik akım şiddeti, 0.32 μ s etkili atım genişliği, 60 μ s uygulama süresi), ani geri dönüşümlü atım modeli (37 kV/cm elektrik akım şiddeti, 0.96 μ s etkili atım genişliği, 400 μ s uygulama süresi) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda dikdörtgen biçimli atım modeli kullanılarak ile üretilmiş ürünlerin raf ömrünün diğer iki atım modeli kullanılarak üretilen ürünlere göre daha fazla olduğu gözlenmiştir.

LOVE, (1998) tarafından yapılan bir başka çalışmada da dikdörtgen biçimli atım modelinde daha etkili bir inaktivasyon sağlandığı örneklerle kanıtlanmıştır. QIN ve ark. (1994)'nin *Saccharomyces cerevisiae* kültürünün inaktivasyonu üzerine yaptıkları çalışmada dikdörtgen ve logaritmik atım modelleri kullanılmış; her iki modelin de inaktivasyon sağladığı fakat dikdörtgen atım modelinin daha etkili olduğu belirtilmiştir.

1.1.3.1.4. Uygulama Sıcaklığı

Deneysel çalışmalar, uygulama sıcaklığının mikrobiyal gelişmeyi etkilediğini göstermiştir. Elektrik akım şiddeti sabitken uygulanan sıcaklığın artmasıyla inaktivasyon da artmaktadır. Mikrobiyal inaktivasyonda sinerjistik etkinin oluşabilmesi için ortalama uygulama sıcaklığı ortalama 50-60°C olarak belirtilmiştir (JAYARAM ve ark., 1992; DUNN ve PEARLMAN, 1987). Bununla birlikte elektrik akımın kullanılması gıdanın sıcaklığında belli ölçüde artışa neden olur. Sıcaklığın termal pastörizasyon sıcaklık derecesinden daha aşağılarda tutulması gerekmekte bu nedenle de uygun soğutma ekipmanına ihtiyaç duyulmaktadır.

VEGA-MERCADO ve ark. (1996a) *E. coli* inaktivasyonunun sıcaklığın 32°C den 55 °C ye yükseltilmesiyle 1 log₁₀kob/ml inaktivasyondan 6.5 log₁₀kob/ml inaktivasyona yükseldiğini bildirmişlerdir. PEF uygulamasında sıcaklığın 5-10°C'den 25°C'ye çıkarılmasıyla daha yüksek derecede inaktivasyon sağlanmıştır (MARQUEZ ve ark., 1997). Bu artış aynı zamanda daha yüksek sıcaklıklarda, solüsyonun elektrik iletkenliğine bağlı olabilmektedir. Bazı çalışmalarda iyonların kinetik enerjisinin

artmasıyla sıcaklığın yükselebileceğini ve buna bağlı olarak hareketli iyon sızıntısında artış olabileceğini belirtmişlerdir. Yüksek sıcaklık aynı zamanda kabuk ve çekirdek çevresindeki çözgen moleküllerinin hareketlerinde artışa neden olur ve böylece moleküller bir elektrottan diğerine doğru göç edebilirler.

Yüksek sıcaklık uygulamasının diğer bir etkisi de hücre zarının akışkanlığında ve geçirgenliğinde değişikliğe yol açmasıdır (HULSHEGER ve ark., 1981). Bu durum hücre zarının mekanik bozulma direncini azaltır.

1.1.3.2. Ürün Faktörleri

1.1.3.2.1. İletkenlik, pH ve İyonik Direnç

Bir ortamın elektrik iletkenliği (kondaktivite, σ , Siems/m) elektrik akımı iletim kapasitesi olarak tanımlanabilir ve bu PEF teknolojisinde önemli bir faktördür. Elektrik iletkenliği öz direncin tersi olup ohm-metre ile ölçülür. Yapılan bir çalışmada *Lactobacillus brevis* inaktivasyonunda akışkan iletkenliği yükseltildiği zaman atım genişliğinin azaldığı ve inaktivasyon oranının düştüğü gözlenmiştir. (JAYARAM ve ark., 1992). Çünkü iletkenlikteki artış sıvı gıdanın iyonik direncinin artmasına neden olur, iyonik direncin artması da inaktivasyon oranının düşmesine yol açar. Ayrıca ortam ve mikrobiyal sitoplazma arasındaki iletkenlik değişikliği hücre zarında iyonik madde akışının artmasına bağlı olarak membran yapısının zayıflamasına neden olur. DUNNE ve ark. (1996) tarafından *Escherichia coli* ve *Listeria innocua* üzerinde yapılan çalışmalarda öz direncin inaktivasyon mekanizmasına etkisinin olmadığını ortaya koymuştur. Tartışmalara yol açan bu sonuç ortam koşullarına ve mikroorganizmaya bağlı olarak oluşmuş olabileceği de ek olarak belirtilmiştir.

VEGA-MERCADA ve ark. (1996b) PEF teknolojisi üzerinde pH ve iyonik direncin etkisini araştırmışlardır. Buna göre solüsyonun iyonik direnci 168 mM den 25 mM'ye ayarlandığında inaktivasyon oranının tanımlanamayacak kadar düşük bir düzeyden $2.5 \log_{10}$ kob/ml seviyesine yükseldiğini belirtmişlerdir. 55 kV/cm'lik elektrik akım şiddetinde ve pH'nin 6.8'den 5.7'ye indirilmesi durumunda inaktivasyon oranının $1.45 \log_{10}$ kob/ml'den $2.22 \log_{10}$ kob/ml düzeyine yükseldiği gözlenmiştir. Hücre elektroporasyonunda ortamın pH değerinin etkisi olmasına rağmen aslında PEF

uygulaması ve iyonik direnç elektroporasyonda daha önemli bir etken oluşturmaktadırlar.

DUNNE ve ark. (1996) mikroorganizma türüne bağlı olarak, asidik pH'nın mikrobiyal inaktivasyonu arttırdığını rapor etmişlerdir. Fakat bu çalışmada hangi mikroorganizma üzerinde çalışıldığı ve hangi pH aralığında çalışıldığı hakkında bir bilgi verilmemiştir.

1.1.3.2.2. Gıdanın Partikül Yapısı

Sıvı partikül sistemlerinde PEF uygulamaları DUNN (1996) tarafından çalışılmıştır. İçerisinde 2 mm çapında partiküller bulunan modelde partiküller üzerine *E. coli*, *L. innocua*, *Staphylococcus aureus* ve *Lactobacillus acidophilus* inoküle edilmiş ve PEF uygulamasının mikrobiyal inaktivasyon üzerine olan etkileri test edilmiştir.

Sonuçta prosesin partiküllere tutunmuş mikroorganizmalar üstünde ölümcül etkisinin olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte 5 log₁₀kob/ml inaktivasyon derecesinden daha fazla bir inaktivasyon dercesine ulaşabilmek için (bakteri türüne bağlı olarak 70-100 J/ml) yüksek enerji girdisine ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir.

1.1.3.2.3. Engel Oluşturma

Genelde PEF uygulamalarında önemli olan faktörlerin kombinasyonu –sıcaklık, pH, iyonik şiddet ve antimikrobiyal bileşenler- proses süresince mikrobiyal inaktivasyonu destekleyen etkili bir mekanizma oluşturmaktadır.

1.1.3.3. Mikrobiyal Faktörler

1.1.3.3.1. Mikroorganizma Türü

Bakteriler arasında Gram pozitif türler PEF prosesine Gram negatiflerden daha dayanıklıdır (HULSHEGER ve ark., 1983). Genelde mayalar hücre yapısı göz önünde bulundurulduğunda elektrik akım uygulamasına karşı bakterilerden daha hassastırlar. Fakat buna rağmen düşük yoğunluklu elektrik akımına karşı Gram negatif bakterilere

göre daha dirençli oldukları gözlenmiştir (SALE ve HAMILTON, 1967; QIN ve ark., 1995a). Farklı büyüklükteki iki maya hücresi üzerinde yapılan incelemede elektrik alan yoğunluğunun hücre boyutu ile ters orantılı olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlar mantıklı olsa bile HULSHEGER ve ark. (1983)'nın PEF prosesinin bakteri ve maya hücreleri üzerine etkileri ile ilgili yaptıkları çalışma ile çelişmektedir. Bu yüzden de PEF teknolojisinde mikrobiyal inaktivasyon ile mikroorganizma türü arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılması için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

1.1.3.3.2. Mikroorganizma Yoğunluğu

BARBOSA-CANOVAS ve ark. (1999) süt örnekleri içerisine inoküle edilen *E. coli* inaktivasyonu üzerinde yaptıkları çalışmada 70 kV/cm elektrik akım şiddeti, 16 atım ve 2 μ sn atım genişliği kullanmışlar ve *E. coli* konsantrasyonunun 10^3 \log_{10} kob/ml'den 10^8 \log_{10} kob/ml'e çıkarılmasının inaktivasyon oranını etkilemediğini belirtmişlerdir. Elma suyunda *S. cerevisiae* ile yapılan bir çalışma ise maya konsantrasyonundaki artışın inaktivasyon oranını çok az etkilediğini ortaya koymuştur (20 kV/cm², 1 atım, 25 μ sn uygulama süresi).

1.1.3.3.3. Mikroorganizma Gelişim Fazı

Genelde mikroorganizmalar logaritmik faz (evresinde) strese karşı lag fazına ve duraklama fazına göre çok daha fazla hassastırlar. Logaritmik gelişim fazında hücrelerin bölünme hızı çok yüksektir. Metabolik faaliyetler ve enerji harcanması en yüksek seviyededir. Bu yüzden de elektrik akım uygulamasına karşı dirençleri azalır ve hücre zarı elektrik akım uygulamasından çok çabuk etkilenir. HULSHEGER ve ark. (1983) logaritmik gelişme evresinde hücrelerin duraklama evresine göre elektrik akım uygulamasına karşı daha hassas oldukları sonucuna varmışlardır. Aynı şekilde *E. coli* hücreleri logaritmik gelişim dönemde lag dönemindeki hücrelere göre elektrik akım uygulamasına çok daha fazla hassasiyet göstermişlerdir (POTHAKAMURY ve ark., 1996).

S. cerevisiae maya hücreleri ile yapılan çalışmalarda hücrelerin elektrik akımına karşı en hassas oldukları evrenin aktif büyüme evresi olduğu gözlenmiştir (JAKOB ve

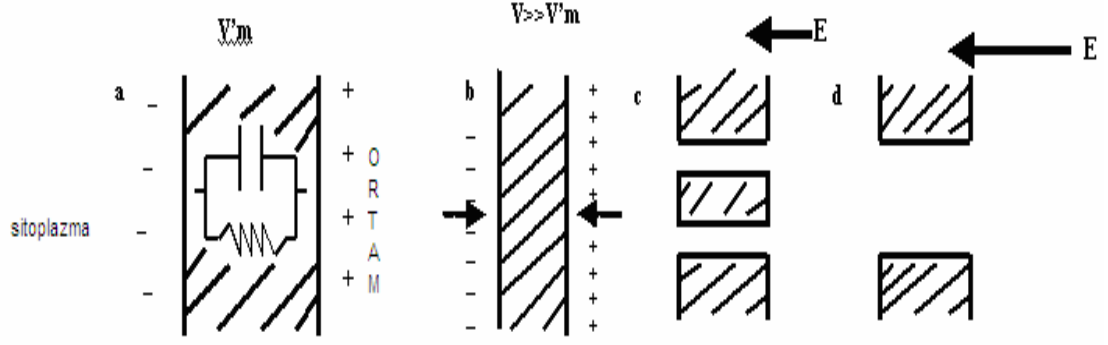
ark., 1981; GASKOVA ve ark., 1996). PEF uygulamasının logaritmik büyüme evresinde, duraklama evresine göre %30 daha fazla inaktivasyon etkisi vardır (GASKOVA ve ark., 1996).

1.1.4. PEF Uygulamasında Mikrobiyal İnaktivasyon Mekanizması

Yüksek voltajlı elektrik akımı uygulamasının mikroorganizmalar üzerindeki inaktivasyon mekanizması elektriksel yıkım ve elektroporasyon olmak üzere iki farklı şekilde açıklanmaktadır (ANONİM, 2000).

1.1.4.1. Elektriksel Yıkım

ZIMMERMANN (1986), tarafından yapılan çalışmada hücre zarının elektriksel alan içerisinde yıkımı açıklanmıştır. Meydana gelen mikrobiyal inaktivasyon elektriksel yıkım teorisi olarak açıklanmaktadır. Membran dielektrik enerjisi ile doldurulmuş kapasitörlere benzetilebilir. Bir bakteri hücresinin normal koşullarda hücre içi ve hücre dışı elektriksel yük farklılığına gösterebileceği maksimum direnç 10 kV/cm'dir. Hücrenin bulunduğu ortamın elektriksel yükünde meydana gelen herhangi bir değişiklik olması durumunda hücre bu değişikliğe adapte olmaya çalışır. Uygulanması gereken elektrik akım şiddeti, hücre boyutu ile orantılıdır. Hücre zarında yıkımın başlaması için dışarıdan uygulanan elektrik enerjisinin E_c (mikrobiyal inaktivasyonun başlaması için gereken elektrik enerjisinin minimum değeri) değerine ulaşması gerekir. Hücre zarının yıkımının gerçekleştiği voltaj değerine kritik voltaj değeri (V_c) denir. Elektriksel yıkım teorisine göre, elektrik enerjisinin hücre zarındaki porların formasyonuna neden olduğu ve porların iletken sıvı ile dolduğu farz edilmektedir. Eğer toplam hücre zarı yüzeyine göre mevcut porların boyutları çok küçükse yıkım geri dönüştürülebilir düzeyde gerçekleşir. Kritik voltaj şiddetinin (V_c) üzerindeki değerlerde ve uzun uygulama süresinde hücre zarının büyük bölümü yıkıma uğramaktadır.



Şekil 1.13. Geri dönüşümlü ve geri dönüşümsüz yıkım teorisinin şematik diyagramı (a: V'_m potansiyelli hücre zarı, b: hücre basıncı, c: geri dönüşümlü yıkım sonucunda por oluşumu, d: geri dönüşümsüz yıkım ile oluşan büyük çaplı porlar)

Eğer hücre zarı yüzeyine göre porların büyüklüğü ve sayısı artarsa geri dönüşümsüz yıkım meydana gelir. Geri dönüşümsüz yıkımlarda mekanik yıkım söz konusudur.

$$E_{\text{kritik}} = V_{\text{kritik}} / f_a$$

a: hücre boyutu

f: hücre şekline bağlı sabit değer (SCHOENBACH ve ark., 1997)

Küresel (kok) şekilli bir hücre için f değeri 1.5'tur. Silindirik hücreler için ise boy (L) ve elips şeklindeki hücreler için çap (d) göz önünde bulundurulursa f değeri:

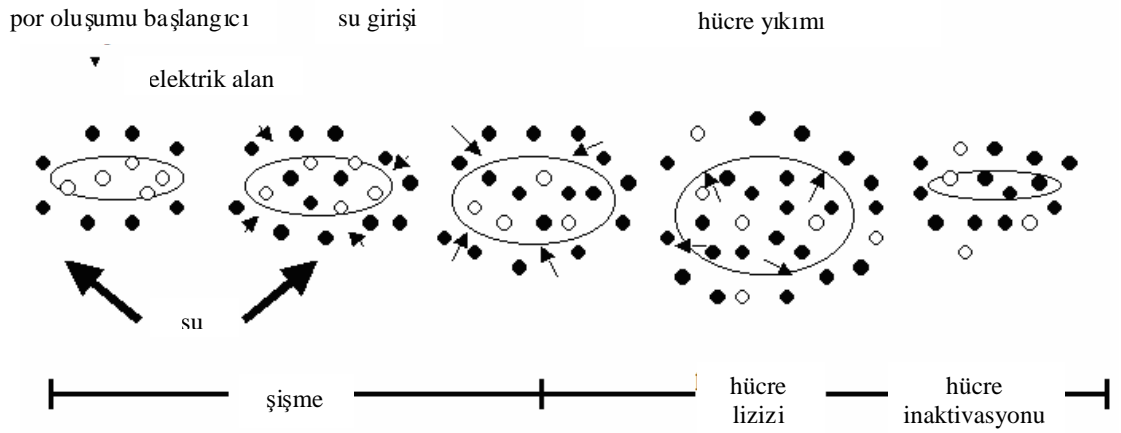
$$f = Lx(1-d)/3 \quad \text{olarak hesaplanmaktadır.}$$

1.1.4.2. Elektroporasyon

Elektroporasyon yüksek voltajlı elektrik akımına maruz bırakılan hücre zarının çift katmanlı lipit tabakası ve protein yapısında geçici olarak meydana gelen yapının bozulması şeklinde tanımlanabilir (CASTRO ve ark., 1993). Yarı geçirgen hücre zarı plazması elektrik akım etkisine maruz bırakıldığı zaman küçük moleküller için geçirgen hale gelir ve zar zinciri yapısında kırılmalar baslar. KINOSITA ve TSONG (1977 ve

1979)'un belirtilerine göre elektrik akım uygulaması altındaki 1 nm çapındaki insan eritrosit hücrelerinde por oluşumunun başlaması için en az 2.2 kV/cm'lik uygulama gereklidir.

Elektrik akım uygulaması ile hücre zarında elektroporasyon 2 aşamada gerçekleşmektedir; birinci aşamada uygulanan voltaj hücre zarının strese girer ve iyon konsantrasyonunu dengelemeye çalışır ve ikinci aşama olarak hücre zarı yüzeyinde zamana bağlı olarak porlar şekillenme başlar (KINOSITA ve TSONG, 1977).



Şekil 1.14. Hücre zarı elektroporasyonu (VEGA-MERCADO ve ark, 1996b)

Elektroporasyon yoluyla geniş çaplı porların oluşumu elektrik akım şiddetinin ve uygulama zamanının artması ve de ortamın iyonik direncinin azalmasıyla elde edilir. Lipit (lipozom) yapısında iyonların ve su dipollerinin hidrofobik porlar boyunca elektroporetik hareketi elektroporasyon mekanizmasının başlangıcı olarak düşünülmektedir. Buna ek olarak yine hücre zarı üzerindeki protein kanalları, porlar ve pompalar yüksek voltaj uygulamasına karşı oldukça hassastırlar ve yine elektroporasyonun başlangıç unsurlarını oluştururlar (TSONG, 1990).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Atımlı elektrik akım teknolojisi (PEF) son ürün kalitesi açısından klasik gıda işleme yöntemlerine göre üstünlük göstermesi, besin içeriği bakımından kaliteli ve dengeli gıda üretimi sağlaması ve nihai üründe kayıplara neden olmaması bakımından dikkatleri üzerine çekmektedir (AMIALI ve ark., 2002, ANONİM, 2000). Bu sebeplerden dolayı son yıllarda özellikle meyve suyu işleme teknolojisi alanında PEF uygulamaları çalışmaları hız kazanmıştır. Çalışmalar genel olarak portakal ve elma suyu alanında yoğunlaşmış olmakla birlikte kayısı, şeftali, soya sütü, bira, yaban mersini suyu, süt ve süt ürünleri alanlarında da yapılmakta ve bu ürünler üzerinde mikrobiyal ve enzimatik inaktivasyon mekanizması incelenmektedir. (ANONİM, 2000).

AGUILAR ve ark. (2006) laboratuvar koşullarında elde edilen elma suyunun, PEF teknolojisi ve ayrıca HTST yöntemi ile işlenmesi sonucunda oluşabilecek fizikokimyasal değişimlerin karşılaştırmalı olarak incelenmesi konusunda çalışmışlardır. Uygulamada laboratuvar ölçekli PEF cihazı kullanılarak çift kutuplu atım modeli uygulanmıştır ve proses parametreleri 4µs uygulama zamanı, 37 kV/cm elektrik akım şiddeti ve 1200 atım/s olarak belirtilmiştir. HTST işlemi ise 90°C'de 30 s süresince yürütülmüştür. Her iki uygulama sonunda da pH, toplam asitlik, fenolik bileşik içeriği ve uçucu bileşik değerleri ölçülmüştür. pH değeri açısından çok küçük bir değişiklik gözlemlenmiş olsa da toplam asitlik, fenolik bileşik ve uçucu bileşik içeriklerinde belirgin bir değişim kaydedilmemiştir. Bunun yanı sıra yüksek voltajlı atım teknolojisi uygulamasında termal pastörizasyona göre elma suyunun fiziksel özelliklerinde daha az değişim gözlemlendiği rapor edilmiştir.

Listeria monocytogenes'in PEF teknolojisi ile inaktivasyonu üzerine çevresel faktörlerin etkisi konusu ALVAREZ ve ark.(2002) tarafından çalışılmıştır. Çalışmanın amacının *L. monocytogenes*'in uygulanan atımlı elektrik akıma gösterdiği direnç üzerine büyüme evresinin, büyüme sıcaklığının, depolama süresinin, ortamın pH ve su aktivitesinin (a_w) etkilerinin araştırılması olduğunu belirtmişlerdir. Uygulamada 2 µs'lik zaman dilimlerinde 1 Hz frekans ve 25 ile 28 kV/cm'lik akım şiddeti kullanılmıştır ve uygulamadan sonra örnekler 4 ile 35°C'de inkübasyona bırakılmıştır. Sonuçta her iki sıcaklıkta da hücrelerin durağan fazda logaritmik faza göre atımlı elektrik akım uygulamasına daha dirençli oldukları gözlemlenmiş; bununla birlikte büyüme eğrisinden

bağımsız düşünüldüğünde 4°C'de gelişen hücrelerin 35°C'de gelişen hücelere göre PEF uygulamasına daha dirençli oldukları ifade edilmişlerdir. 800 µs'lik ve 25 kV/cm'lik elektrik akım şiddeti uygulamadan sonra yaklaşık olarak 1.48 log₁₀kob/ml, 3.86 log₁₀kob/ml ve 5.09 log₁₀kob/ml inaktivasyonun elde edildiği bildirilmiştir. Bunun yanında ortamın su aktivitesindeki düşüşün hücrelerin elektrik akım uygulamasına karşı dirençlerinin artmasına neden olduğunu sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmalar sonucunda *L. monocytogenes*'in PEF uygulamasına karşı direncinin çevresel faktörlere bağlı olduğunu bildirilmiştir. PEF teknolojisi ile yapılan mikrobiyal inaktivasyon çalışmalarında güvenilir veriler elde edilebilmesi ve bu verilerin sürekliliğinin sağlanması için ortam karakteristikleri ile büyüme koşullarının etkisinin iyi bilinmesi ve kontrol altında tutulması gerektiğini rapor etmişlerdir.

PEF teknolojisi kullanarak işlenen gıdalarda mikrobiyal inaktivasyon mekanizmasının incelendiği bir çalışmada ise, PEF teknolojisinin klasik ısı işlem yöntemlerinin yerini alabilecek en önemli ısısal olmayan gıda işleme yöntemi olduğu belirtmiş olup, gıdaya atımlı elektrik akım uygulanması süresince mikroorganizmaların hücre zarında geri dönüşümsüz deformasyonların meydana geldiğini bildirilmiştir. Meydana gelen en önemli iki değişimin hücre zarı yapısındaki porların büyüklüğünün artması ve yarı geçirgen hücre duvarında deformasyon gözlenmesi olarak rapor edilmiştir (CASTRO ve ark., 1993).

Taze sıkılmış narenciye sularının (portakal, greyfurt, mandalina ve limon) yüksek voltajlı elektrik atımı teknolojisi ile işlenmesi sonrasında fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelediği çalışmada taze sıkılmış narenciye sularında pH, °Briks, elektriksel iletkenlik, enzimatik olmayan esmerleşme indeksi (NEBI), hidroksimetilfurfurol (HMF), renk, viskozite, organik asit içeriği ve uçucu aroma bileşiklerinin analizleri yapılmıştır. Meyve suları 28 kV/cm'lik elektrik akım şiddeti altında 50 µs'lik proses süresine maruz bırakılmıştır. Uygulama sıcaklığı çalışma boyunca 34°C'nin altında tutulmuştur. Yapılan çalışma sonunda pH, °Briks, kondaktivite, viskozite, enzimatik olmayan esmerleşme indeksi ve HMF değerlerinde bir değişiklik gözlenmediği belirtilmiştir. Ayrıca örneklerin hemen hemen hepsinin renk özelliklerinde önemli bir değişme saptanmamıştır. Bunun yanında işlenmemiş ve işlenmiş örnekler arasındaki absorban değerlerinde herhangi bir değişim gözlenmemiş olup organik asit içeriğinin de PEF uygulaması sonucunda aynı kaldığı rapor edilmiştir.

İşlenmiş narenciye suyu örneklerindeki uçucu aroma bileşikleri değerleri ile işlenmemiş örneklerdeki uçucu aroma bileşikleri değerleri SPME GC-MS ile ölçülmüş ve bir değişim gözlenmemiştir (CSERHALMI ve ark., 2006).

Escherichia coli O157:H7 ve *E. coli* inoküle edilen elma suyu PEF ile proses edilmiş ve bu iki bakteri farklı elektrik akım şiddeti ve uygulama sürelerine maruz bırakılıp inaktivasyon miktarları gözlemlenmiştir. PEF prosesi 18, 22, 26 ve 30 kV/cm'lik elektrik akım şiddetinde ve 86, 115, 144 ve 172 μ s'lik farklı uygulama sürelerine gerçekleştirilmiştir. Yayma plak yöntemi ile genel besi yerine ekilen her iki kültürde de 5 log₁₀kob/ml inhibisyon gözlemlenmiştir. Uygulama sıcaklığı her parametre için 35°C'nin altında tutulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda *E. coli* O157:H7 ve *E. coli* 8739'nin PEF uygulamasına karşı aynı derecede duyarlı olduğu belirlenmiştir (EVRENDİLEK ve ark.,1999).

PEF teknolojisi ve klasik ısı işlem uygulaması arasındaki interaksyonun incelendiği diğer bir çalışmada yaban mersini suyu ve çikolatalı sütün ısı işlem ve PEF uygulaması ile prosesi hedeflenmiş ve bu interaksyonun söz konusu ürünlerin raf ömrü üzerine etkisi araştırılmıştır. Uygulama kapsamında yaban mersini suyu sırasıyla, PEF ve 60°C+PEF'lik ısı işlem çikolatalı süt ise 105°C+PEF ve 112°C+PEF uygulamalarına maruz bırakılmış ve daha sonra aseptik olarak paketlenen ürünler 4, 22 ve 37°C'lerde muhafaza edilmişlerdir. Elde edilen sonuçlar yaban mersini suyunun PEF ve ısı işlem+PEF kullanılarak işlendikten sonra 22 ve 37°C'lerde muhafaza edilmesi sonucunda raf ömrü süresinde 197 güne varan bir artış gözlediklerini rapor etmişlerdir. Bununla birlikte çikolatalı sütün 105°C+PEF ve 112°C+PEF lik uygulamalara maruz bırakıldıktan sonra uygulanan tüm sıcaklık değerlerinde raf ömrü süresinin arttığını bildirmişlerdir. Çalışma sonucunda her iki çeşit uygulamanın da ürünlerin renk özelliklerinde herhangi bir değişime neden olmadığını rapor etmişlerdir (EVRENDİLEK ve ark., 2001).

EVRENDİLEK ve ZHANG (2005), elma suyu ve yağsız süt içerisine inoküle edilen *E. coli* O157:H7 suşunun PEF teknolojisi ile işlenmesi sırasında atım polarizasyonu ve iki atım arasındaki uzaklığın mikroorganizma inaktivasyonu üzerine etkisini çalışmışlardır. Çalışmada *E. coli* O157:H7 ile inoküle edilmiş gıda örnekleri üzerine tek kutuplu ve çift kutuplu dikdörtgen atım modeli uygulanmış ve bu modellerin etkileri gözlemlenmiştir. Aynı zamanda çift kutuplu dikdörtgen atım modeli iki atım

arasındaki zaman aralıkları değiştirilerek uygulanmıştır. Çalışma sonucunda elma suyuna inoküle edilen *E. coli* O157:H7 suşunun inaktivasyonunda kullanılan tek kutuplu atım modeli sonuçları ile (2.56 log₁₀kob/ml), çift kutuplu atım modeli sonuçları (2.63 log₁₀kob/ml) arasında belirgin bir fark gözlemlenmediğini rapor etmişlerdir ($P>0.05$). Bununla birlikte yağsız süt için tek kutuplu atım modeli (1.27 log₁₀kob/ml) ile çift kutuplu atım modeli sonuçlarında (1.96 log₁₀kob/ml) ise önemli bir fark olduğu ve çift kutuplu atım modelinin daha fazla inaktivasyon sağladığını belirtmişlerdir ($P<0.05$). İki atım arasındaki sürenin farklı miktarlarda uygulandığı zaman 20 µs'lik uygulamanın elma suyu ve yağsız sütte diğer zaman aralıklarına göre daha fazla inaktivasyon sağladığı rapor edilmiştir.

Yağsız süte inoküle edilen *Listeria innocua* ve *Pseudomonas fluorescence*'nin PEF teknolojisi ile inaktivasyon mekanizmasının incelendiği çalışmada % 2 yağ içeren süte *L. innocua* ve *P. fluorescence* inoküle edilmiş ve kısa zaman aralıklarında atımlı elektrik akım uygulamasına maruz bırakılmıştır. *L. innocua* inaktivasyonunda 3 log'luk bir redüksiyon elde etmek için 120, 212 ve 270 kJ/L'lik enerjiye ve 30, 35, 40 kV'lik elektrik akım şiddetine gereksinim olduğunu; bu değerlerin aynı voltaj uygulaması altında *P. fluorescence* için 88, 105 ve 120 kJ/L olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada uygulanan zaman aralığının 145 ve 290 µs olduğunu ve logaritmik azalan atım modeli uygulandığında ise 3 µs zaman aralığı seçildiğini rapor etmişlerdir. *L. innocua* için sayılabilen hücre sayısında yapılan istatistiksel analizler sonucunda 120, 212 ve 270 kJ/L'lik enerji yoğunlukları arasında belirgin bir farklılık gözlemlediklerini bildirmişlerdir. *P. fluorescence* için ise 88 ve 128 kJ/L enerji yoğunlukları arasında hücre sayısı bakımından farklılık olduğunu, fakat 105 ve 128 kJ/L enerji yoğunlukları arasında bir fark olmadığını rapor etmişlerdir. Çalışma sonucunda elektrik akım yoğunluğunun ve uygulama zamanının artırılması ile mikrobiyal inaktivasyonun arttığı ve buna ek olarak PEF teknolojisinin endüstriyel anlamda uygulanmasının klasik ısı işlem yöntemleri ile kıyaslandığında kabul edilebilir bir teknoloji olduğunu da rapor etmişleridir (FERNANDEZ ve ark., 2006).

GARCIA ve ark. (2005), bakterilerin yüksek voltajlı elektrik akımı uygulaması sonrasında ortam pH'sına bağlı olarak gösterdikleri direnç üzerine çalışmışlardır. Çalışmanın amacının dört Gram pozitif bakteri (*Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogenes*, *Lactobacillus plantarum*, *Staphylococcus aureus*) ve dört Gram negatif

bakteri türünün (*Escherichia coli*, *E. coli* O157:H7, *Salmonella* Senftenberg, *Yersinia enterocolitica*) aynı koşullar altında PEF uygulamasına gösterdikleri direncin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması olduğunu belirtmişlerdir. Hücre zarı, hücre şekli ve hücre tipi gibi mikrobiyolojik karakteristiklerin PEF uygulamasına karşı herhangi bir direnç mekanizması oluşturmalarının beklenmediğini ifade etmişlerdir. Bununla birlikte kullanılan kültürlerin PEF uygulamasına gösterdikleri direnç üzerine, ortamın pH'sının etkisinin büyük olduğunu vurgulamışlardır ve *L. monocytogenes*'in pH 7.0'ye en dirençli bakteri olmasına rağmen pH 4.0'e en hassas bakteri olduğunu eklemişlerdir. Çalışma sonucunda pH 4.0'e ve PEF uygulamasına en dayanıklı bakterilerin Gram negatif bakteriler (*E. coli*, *E. coli* O157:H7 ve *S. Senftenberg*) olduğunu rapor etmişlerdir.

Yaban mersini suyuna inoküle edilen *E. coli*'nin yüksek voltajlı elektrik atımı teknolojisi ile inaktivasyonunun araştırıldığı çalışma kapsamında amacın toplam mikroorganizma sayısında en az 5 log₁₀kob/ml inaktivasyon elde etmek olduğunu belirtmiştir. Buna göre uygulamada yaban mersini suyuna *E. coli* inoküle edilmiş ve ürün 60 µs'lik uygulama süresine ve 5-40 kV/cm'lik elektrik akım şiddetine maruz bırakılmıştır. Araştırmacılar deney sırasında 80 s uygulama boyunca sıcaklığın en fazla 2°C'lik bir artış gösterdiği belirtilmiştir. PEF teknolojisi ile işlenen gıdaların doğal tatlarını kaybetmedikleri belirtilirken PEF uygulamasının gıdaların raf ömrünün iyileştirilmesi açısından umut vaat eden yeni bir teknoloji olduğu rapor edilmiştir (GUPTA ve ark, 2005).

Atımlı elektrik akım teknolojisinin *Salmonella* Enteritidis inoküle edilmiş sıvı yumurtada mikrobiyal inaktivasyon ve sıvı yumurtanın fiziksel özellikleri üzerine etkisi HERMAWAN ve ark. (2004) tarafından çalışılmıştır. Proses 1.2 mL/s akış hızında, 12.2 µs frekansta, 25 kV/cm elektrik akım şiddetinde ve 250 µs toplam işlem süresinde yürütülmüştür. PEF teknolojisi ile işlenmiş sıvı yumurtada 1 log₁₀kob/ml oranında mikrobiyal inaktivasyon sağlanmıştır. PEF teknolojisi ile işlenmiş örneklerin 55°C'de 3.5 dak ısıtılma tabii tutulması sonucunda ise sıvı yumurtanın *S. Enteritidis* içeriğinde 4.3 log₁₀kob/ml oranında inaktivasyon gözlemlendiği belirtilmiştir. Bununla birlikte sıvı yumurta örneklerinin pH, viskozite, iletkenlik, renk ve °Briks değerleri ölçülmüş ve atımlı elektrik akım uygulamasının söz konusu özellikler üzerine herhangi bir etkisinin gözlemlenmediği bildirilmiştir. Bununla birlikte PEF+55 °C ile işlenmiş sıvı yumurtanın +4

°C lik muhafaza koşullarında sadece ısı işlem uygulanmış ürünlere göre daha fazla raf ömrüne sahip olduğu rapor edilmiştir.

McDONALD ve ark. (2000) portakal suyu ile yaptıkları çalışmada, portakal suyunun atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmesi sonucunda meydana gelebilecek mikrobiyal inaktivasyon miktarını incelemişlerdir. Yapılan çalışmada portakal suyuna *E. coli*, *L. monocytogenes*, *Leuconostoc mesenteriodes* ve *S. cerevisiae* inoküle edilmiş ve portakal suyu PEF ile 30 ve 50 kV/cm'lik elektrik akım şiddetine maruz bırakılıp 100 L/h akış hızı ile geçirilmiştir. *E. coli*, *L. monocytogenes* ve *L. mesenteriodes* 30 kV/cm'lik elektrik akımına maruz bırakılmış, uygulama 50°C'de gerçekleştirilmiş ve sonuçta 5.1 log₁₀kob/ml inaktivasyon kaydedildiği rapor edilmiştir. *S. cerevisiae* inoküle edilmiş portakal suyu ise 50°C'de 50 kV/cm'lik akım şiddetine tabii tutulmuştur. Bu çalışma sonucunda 2.5 log₁₀kob/ml inaktivasyonun elde edilmiş ve sonuç olarak her iki atım şiddetinde de mikrobiyal inaktivasyonun sağlandığı ve uygulanan atım sayısının önemli olduğu rapor edilmiştir.

E. coli ile kontamine olmuş sıvı yumurtanın PEF teknolojisi ile inaktivasyonu MALICKI ve ark. (2004) tarafından incelenmiştir. Sıvı yumurta *E. coli* ile inoküle edilmiş ve 30 µs uygulama süresinde 20-180 arasında değişen atım sayısında ve 32.9 kV/cm'lik elektrik akım şiddetine maruz bırakılmıştır. Uygulamada PEF uygulamasının söz konusu bakterinin inaktivasyonunu belirgin ölçüde sağladığı ve buna ek olarak başlangıç değeri 4 log₁₀kob/ml olan *E. coli* inaktivasyonunun elde edilmesi için 30 µs uygulama süresine ve 150-160 atım sayısına ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar yaptıkları çalışma sonucunda PEF uygulamasının sıvı yumurtanın mikrobiyal kalitesinin artırılması açısından etkili bir teknik olarak görüldüğünü rapor etmişlerdir.

Durağan sistem odacıkları kullanarak *E. coli* O157:H7 suşunun inaktivasyonu üzerine yapılan bir çalışmada deneme koşulları 5-40 kV/cm elektrik akım şiddeti, 1-20 atım/s frekans, 5-65°C sıcaklık ve 3.5-6.8 pH olarak belirlenmiştir. Çalışmada durağan sistem odacıklı PEF jeneratörü ve süspansiyon jel olarak su bazlı gellan gum jel kullanılmıştır. Su bazlı jel kullanarak PEF uygulaması ile 3 log'luk inaktivasyon elde edilmiştir. Sıcaklığın 55°C'ye çıkarılması ile daha fazla inaktivasyon elde edilmiş olup; 60 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda ise inoküle edilen bakteri tamamen inaktive edilmiştir. Fakat, bu sonucun uygulanan sıcaklık derecelerinden kaynaklandığı rapor edilmiştir (RAVISHANKAR ve ark., 2002).

Yağsız, tam yağlı ve %2 yağlı süte inoküle edilen *L. monocytogenes* Scott A kültürünün yüksek voltajlı elektrik atımı teknolojisi ile inaktivasyonunun sağlanması amacıyla REINA ve ark. (1998)'nin yaptıkları çalışma süt örneklerinin yağ içeriği ve farklı proses koşulları (elektrik akım şiddeti, uygulama zamanı ve uygulama sıcaklığı) baz alınarak yürütülmüştür. 25°C'de gerçekleştirilen uygulamada 1-3 log₁₀kob/ml oranında inaktivasyon elde edilmiştir. İnaktivasyon derecesinin uygulama zamanına ve elektrik akım şiddetine bağlı olduğunu belirtmişler artan elektrik akım şiddeti ve uygulama zamanı ile birlikte mikrobiyal inaktivasyonun arttığını ifade etmişlerdir. Bununla birlikte 50°C'de yürütülen PEF prosesi ile her üç örnekte de 4 log₁₀kob/ml oranında redüksiyon elde etmişlerdir. Sonuç olarak PEF teknolojisinin gıda kaynaklı patojen mikroorganizmaların inaktivasyonu açısından kullanılabilir olduğunu rapor etmişlerdir.

RIVAS ve ark. (2006), portakal suyu ve sütlü içecekler ile yaptıkları çalışmada atımlı elektrik akım uygulamasının, *E. coli*'nin inaktivasyonu üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada çift kutuplu atım modeli kullanılmış ve 2.5 µs genişliğe sahip atımlar uygulanmıştır. Uygulama 15-40 kV/cm arasında değişen akım şiddeti 0-700 µs arasında değişen zamanlarda gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 15 kV/cm'lik akım şiddeti ve 700 µs uygulanması sonucunda 3.83 log₁₀kob/ml inaktivasyon elde edildiği rapor edilmiştir. Elde edilen sonuçları Bigelow Hulseger modeli ve Weibull dağılım fonksiyonları ile analiz edilmiş ve sonuç olarak kullanılan Weibull dağılım fonksiyonlarının daha az hata payı ile sonuç verdiğini bildirilmiştir.

Değişik dalga modelleri kullanarak mikrobiyal inaktivasyon derecesinin incelendiği çalışma kapsamında logaritmik azalan atım modeli, dikdörtgen biçimli atım modeli, çift kutuplu atım modeli ve titreşimli atım modeli kullanılmıştır. Uygulamanın paralel yüzeyli statik uygulama odacığında gerçekleştirildiği bildirilmiştir. Proses sırasında elektrik akım yoğunluğu 12-40 kV/cm olarak verilmiş ve uygulanan atım frekansı 30-80 µs olarak verilmiştir. Yapılan mikrobiyal analiz sonuçlarına göre gıda ürünlerinin PEF teknolojisi ile pastörizasyonunda en etkili atım modelinin dikdörtgen biçimli atım modeli olduğu rapor edilmiştir (QIN ve ark.,1994).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Mikroorganizmalar

Araştırmada kullanılan *Escherichia coli* O157:H7 (EDL 931 04054), *Staphylococcus aureus* (95047), *Listeria monocytogenes* (Tip I 04077) kültürleri Refik Saydam Hıfzısıhha Merkezi Başkanlığı Ulusal Tip Refik Saydam Kültür Koleksiyonu (RSKK) Laboratuvarı'ndan (Ankara, Türkiye) liyofilize formda satın alınmıştır. *Erwinia carotovora*, *Pseudomonas syringae* subs. *syringae* kültürleri ise Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümünden yatık Tryptic Soy Agarda (TSA) temin edilmiştir. *Penicillium expansum* ve *Botrytis cinerea* fungusları Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümünden Potato Dekstroz Agar (PDA)'da temin edilmiştir. *P. expansum* elmadan, *B. cinerea* ise çilekten izole edilmiştir.

3.1.2. Vişne Suyu, Şeftali ve Kayısı Nektarı

Vişne suyu konsantresi, kayısı ve şeftali nektarları Dimes Gıda San. ve Tic. Anon. Şti'nden (Tokat, Türkiye) konsantre olarak temin edilmiştir.

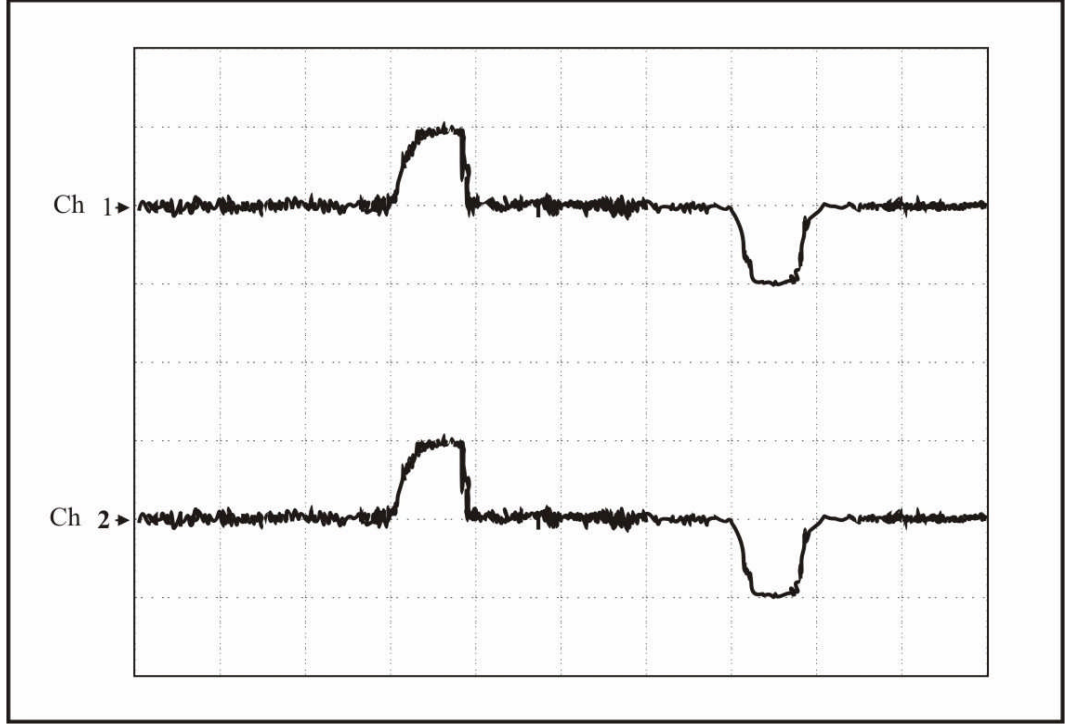
3.1.3. Atımlı Elektrik Akım (PEF) Jeneratörü

Deneylerde laboratuvar ölçekli sürekli OSU-4A atımlı elektrik akımı jeneratörü kullanılmıştır (Şekil 3.1) PEF atım jeneratörüne monte edilmiş ve birbirine paralel olarak bağlanmış 0.23 cm çap ve birbirlerinden 0.19 cm uzaklığa sahip elektrotları içeren elektrik akımı ve gıdanın birbirine paralel olarak akışını sağlayan 6 adet uygulama odacığı ürünün prosesinde yer almıştır. Her bir uygulama odacığından önce ve sonra sıvı örneğin uygulama odacıklarına taşınımını sağlayan ince paslanmaz çelik boruların dış kısmına yerleştirilmiş olan K-tipi sıcaklık ölçüm cihazları ile giriş ve çıkış sıcaklıkları (T2-T1, T4-T3 ve T6-T5) ölçülmüştür (Fisher Scientific, Pittsburgh, PA,

ABD). Uygulanan elektrik akımının frekansı, her bir atımın dalga genişliği ve ard arda gelen iki dalga arasındaki genişlik atım jeneratörü (Model 9310 Pulse Generator, Quantum Composer Inc., Bozeman, MT, ABD) vasıtasıyla ayarlanmıştır. Uygulanan dalga boyunun elektrik akım şiddeti, ve akıma karşı oluşturulan direnci osiloskop vasıtasıyla ölçülmüştür (Model TDS 210 Two Channel Digital Real Time Oscilloscope, Tektronix Inc., Beaverton, OR, ABD) (Şekil 3.2). Gıdanın uygulama odacıklarına taşınımı için dişli pompa (EW-07002-23 model, Cole Palmer, Inst., Company, Vernon Hills, IL, ABD) kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Laboratuvar ölçekli PEF sistemi



Şekil 3.2. İki kutuplu kare şeklinde uygulanan elektrik atım dalgası

*(Ch1 uygulanan elektrik akım şiddetini (voltaj) Ch2 ise direnci göstermektedir)

3.2. Yöntem

3.2.1. Mikroorganizmaların Hazırlanması

Çalışmada kullanılan *Escherichia coli* O157:H7 (EDL 931 04054), *Staphylococcus aureus* (95047), *Listeria monocytogenes* (Tip I 04077) kültürleri sıvı triptik soy broth (TSB) besiyerine aktarılıp 3 pasaj yapılarak aktive edilmiştir. Aktifleştirilen kültürler bir gece $35\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de inkübe edildikten sonra vişne suyu ve kayısı ve şeftali nektarlarına ayrı ayrı inoküle edilmiştir. *Erwinia carotovora*, *Pseudomonas syringae* subs. *syringae* kültürleri için de yukarıdaki işlemler tekrar edilmiştir. Sadece inkübasyon sıcaklığı $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ olarak değiştirilmiştir. *Penicillium expansum* ve *Botrytis cinerea* kültürleri ise aynı şekilde $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de inkübasyona tabii tutulmuştur.

Küfler $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de sporulasyon için inkübasyona tabii tutulmuş olup, 2 haftalık kültürlerden sporlar toplanıp 1 L vişne suyu, kayısı veya şeftali nektarına inoküle edilmişler ve daha sonra hiflerin uzaklaştırılması için $50\mu\text{m}$ lik filtrelerden

süzülmüşlerdir. Proses öncesi spor konsantrasyonu 10^5 - 10^6 /ml olacak şekilde ayarlanmıştır. Aktifleştirilen kültürler vişne suyu, kayısı ve şeftali nektarlarına 10^6 - 10^7 kob/ml olacak şekilde inoküle edilmiştir.

3.2.2. Meyve Suyu/Nektarlarının Hazırlanması

Elde edilen konsantreler kayısı nektarı için 11.0 şeftali nektarı için 10.0 ve vişne suyu için 13.5 °Briks derecesine kadar sulandırılmış ve bu şekilde hazırlanan nektarlar bekletilmeden PEF prosesine tabi tutulmuştur.

3.2.3. Meyve Suyu/Nektarlarda PEF Uygulaması

Vişne suyu, kayısı ve şeftali nektarlarının PEF ile prosesi için değişik parametreler denemiş olup ürünün pompa vasıtası ile akışı, viskozitesi ve kondaktivitesi göz önünde bulundurularak optimum parametreler belirlenmiştir. Bu bağlamda elektrik akım şiddeti (kV/cm) ve uygulama süresi (μ s) bağımsız değişken olarak ele alınmıştır. Bu amaçla 50ml/dak akış hızı, 3 μ s atım genişliği, 20 μ s iki atım arasındaki zaman aralığı, 500 atım/s frekans ve uygulama süresi 119 μ s olarak belirlenmiş olup bu parametreler sabit iken elektrik akımı şiddeti değişken olarak ele alınmış olup 0 (kontrol), 17, 20, 23, 27 ve 30 kV/cm uygulanmaları gerçekleştirilmiştir. Elektrik akım şiddeti değişken olarak ele alındığında uygulama süresi kalmıştır. Benzer şekilde akış hızı, atım genişliği iki atım arasındaki zaman aralığı ve elektrik akım şiddeti (17kV/cm) sabitken uygulama süresi değişik frekanslar uygulayarak değiştirilmiş olup uygulama süreleri 0 (kontrol), 74, 89, 119, 148 ve 238 μ s seviyelerinde uygulanmıştır.

3.2.4. Fiziksel ve Kimyasal Analizler

3.2.4.1. Asitlik

Homojen olarak alınan 10 ml örneklerin asitliği Orion 420 A model pH metre (İnolab WTW, ALMANYA) ile ölçülmüştür.

3.2.4.2. Titrasyon Asitliği

Homojen olarak alınan 10 ml örneklere 0.5 ml fenolfitalein ayıracı eklendikten sonra 0.1N NaOH ile titre edilmiştir. Titrasyonda harcanan NaOH kaydedilip sonuçlar AOAC (1990)'ye göre hesaplanmıştır.

3.2.4.3. °Briks

Elde edilen konsantreler kayısı nektarı için 11.0 şeftali nektarı için 10.0 ve vişne suyu için 13.5 °Briks derecesine kadar sulandırılmış ve bu şekilde hazırlanan nektarlar bekletilmeden PEF prosesine tabi tutulmuştur. Suda çözünen toplam kuru madde (°Briks) tayini 507-1 model refraktometre (Nippon Optical Works Co. Ltd, JAPAN) kullanarak yapılmıştır. Sonuçlar °Briks derecesi olarak belirtilmiştir.

3.2.4.4. Kondaktivite Ölçümü

Meyve suyu ve nektarların kondaktiviteleri el kondaktivitesi (Sension 5 model, HACH, CO, ABD) yardımı ile ölçülmüş ve sonuçlar mS/cm olarak belirtilmiştir.

3.2.4.5. Renk Ölçümü

Renk ölçümü Hunter Lab Color Flex Spektrofotometresi (Hunter Associates Laboratory Inc., Reston VA, ABD) kullanılarak yapılmış olup; sonuçlar CSI sisteminde L (0: açıklık, 100: koyuluk), a (-: yeşillik, +: kırmızılık) ve b (-: mavilik, +: sarılık) değerleri olarak verilmiştir.

3.2.4.6. Esmerleşme İndeksi

PEF proses öncesi ve sonrasında alınan örnekler 9000 rpm de 5 dak süresince santrifüj edilmiş (Hettich Universal 32R D78532 model, ALMANYA) ve üstte kalan berrak kısım (supernatant) toplanarak 0.45mm şırınga filtresinden süzöldükten sonra oda sıcaklığında 420 nm dalga boyunda UV/VIS spektrofotometre (Perkin Emler

Lambda 25 model, Massachusetts, ABD) yardımı ile absorbanans ölçümü yapılmıştır (YEOM ve ark., 2000).

3.2.4.7. Metal İyon Ölçümü

PEF prosesi öncesi ve sonrası elektrotlardan oluşabilecek metal iyon miktarının tespiti amacıyla, PEF prosesi öncesi ve sonrası havuç içeceğinden alınan örnekler Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezinde bulunan ICP-AES cihazında (Varian Liberty Series II, Victoria, AUSTRALIA) Al (396.152 nm), Ca (317.933 nm), Cd (228.802 nm), Co (228.616 nm), Cr (267.716 nm), Cu (324.754nm) , Fe (259.940 nm), K (766.490 nm), Mg (279.553 nm), Mn (257.610 nm), Na (588.995 nm), Ni (221.647 nm), Pb (220.353 nm), Sb (217.581 nm), Se (196.026 nm), Sr (407.771 nm), ve Zn (213.856 nm) elementleri için analize tabii tutulmuştur. Bu amaçla 1 ml örnekler asitle yıkanmış teflon tüplere aktarılmış ve 10 ml %10'luk HNO₃ eklenerek asitlendirilmiştir. Daha sonra elde edilen karışım, distile su ile 20 ml ye tamamlanmış ve mikrodalga fırında (CEM Mars 5, NC, ABD) %50 güç ayarında 12 dak. süresince ısıtılmıştır. Mikrodalgada ısıtma işlemi elde edilen distilat saydam renkte olana kadar devam edilmiştir. Bu distilattan 1 ml alınarak distile su ile 10 ml ye tamamlanmıştır. Cihazda aşağıda belirtilen koşullarda analizler yapılmıştır (NIKDEL ve TEMELLİ 1987; SIMPKINS ve ark., 2000). Standart olarak ICP-AES multi standart kullanılmıştır.

Torch	: Demountable Quartz
Nebulizer	: Concentric Glass
Plasma gaz hızı	:15 L/dak
Auxiliary	: 1.5 L/dak
PMT voltaj	: 650 V
Güç	: 1.0 W
İntegrasyon zamanı	:1.5 sn
Pompa hızı	:15 rpm
Numune seyreltme süresi	: 15 sn
Replikasyon	: 3 sn

3.2.5. Mikrobiyolojik Analizler

3.2.5.1. İnoküle Edilen Bakterilerin Sayımı

Meyve suları/nektarlarından alınan 10 ml örnekler % 0.1 lik pepton su ile seyreltilerek uygun dilüsyonlardan 100 µl alınıp daha önceden hazırlanmış olan petri kutularına yayma yöntemi ile ekim yapılmıştır. Bu amaçla *E. coli* O157:H7 için Mc Conkey Sorbitol Agar (MSA), *S. aureus* için Baird Parker Agar (BP), *L. monocytogenes* için Oxford Agar (OA), *P. syringae* subs. *syringae* için F Base Agar (FB), *E. carotovora* için Plate Count Agar'a ekim yapılmıştır. Ekimi yapılan *E. coli* O157:H7, *S. aureus* ve *L. monocytogenes* petrileri 35±2°C'de 24-48 saat süresince, *P. syringae* subs. *syringae* ve *E. carotovora* ise 22± 2°C de 24-48 saat süre ile inkübasyona bırakılmış ve oluşan koloniler sayılıp, sonuçlar log₁₀ kob/ml olarak verilmiştir. MSA, BP, OA, FP ve PCA besi yerleri Fluka (ALMANYA)'dan temin edilmiştir.

3.2.5.2. İnoküle Edilen Fungusların Sayımı

Meyve suları/nektarlarından alınan 10 ml örnekler % 0,1 lik pepton su ile seyreltilerek uygun dilüsyonlardan 100 µl alınıp daha önceden hazırlanmış ve 10% tartarik asit ile asitlendirilmiş Potato Dextrose Agar'a (PDA, Fluka, ALMANYA) yayma yöntemi ile ekim yapılmıştır. Ekim yapılan petri kutuları 22±2°C de 5 gün süre ile inkübasyona bırakılıp ve oluşan koloniler sayılıp sonuçlar log₁₀ kob/ml olarak verilmiştir.

3.2.6. İstatistiksel Analiz

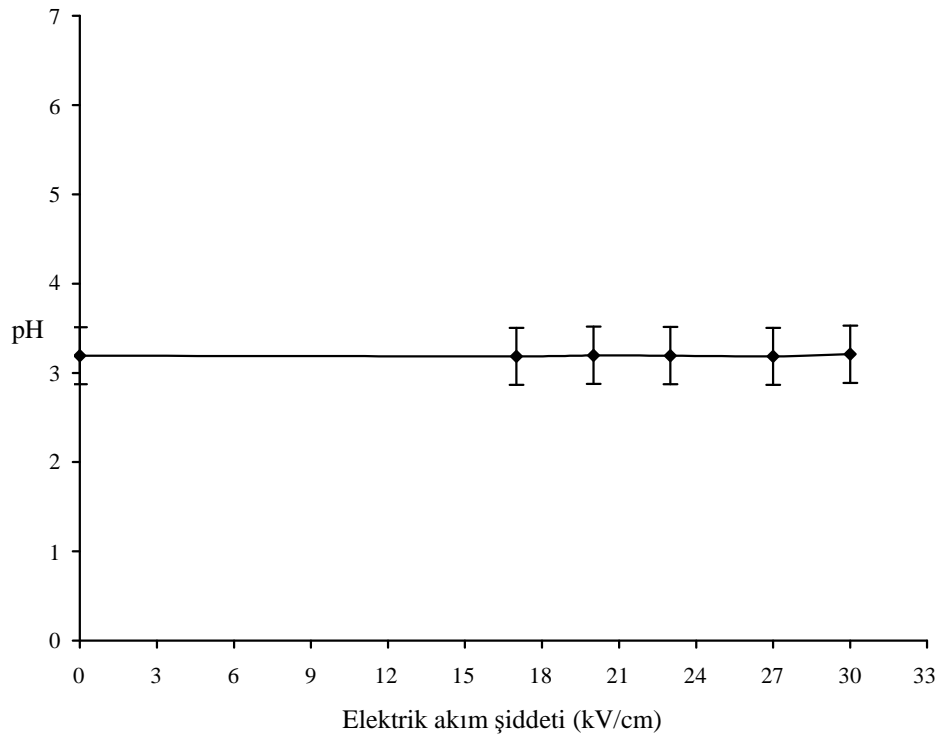
Veriler Minitab (13.20 versiyon, Minitab Inc., State College, PA, ABD) paket programı kullanılarak % 95 güvenlik aralığında analiz edilmiş olup verilerin analizinde tek yönlü ANOVA kullanılmıştır. Uygulamalar arasındaki farklılıkların tespiti için Tukey's çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Her bir deney en az üç kez tekrarlanmıştır

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Vişne Suyunda Fiziksel, Kimyasal ve Mikrobiyolojik Analizler

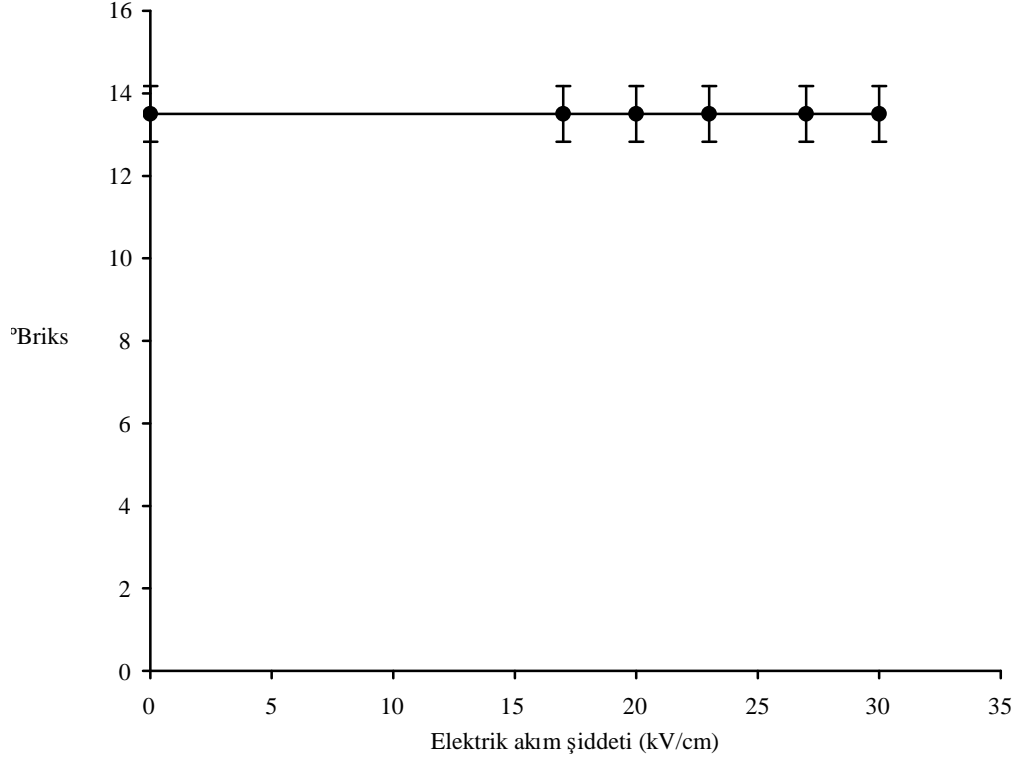
4.1.1. Atımlı elektrik akımı (PEF) uygulamasında elektrik akım şiddetinin vişne suyunun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkisi

Atımlı elektrik akımı ile proses edilen vişne sularında PEF prosesi öncesi ve sonrası vişne suyu örneklerinin pH değerleri ölçülmüştür. Buna göre kontrol örneklerinde 3.19 ± 0.01 olarak tespit edilen pH değeri 148 μ s uygulama süresinde ve 17, 20, 23, 27 ve 30 kV/cm'lik elektrik akım şiddetlerinde sırasıyla 3.19 ± 0.002 , 3.18 ± 0.005 , 3.19 ± 0.008 , 3.18 ± 0.01 ve 3.21 ± 0.03 olarak ölçülmüş olup, uygulanan elektrik akım şiddeti kontrol örnekleri ile kıyaslandığında istatistiksel açıdan önemli sayılabilecek bir fark bulunmamıştır ($P > 0.05$) (Şekil 4.1).



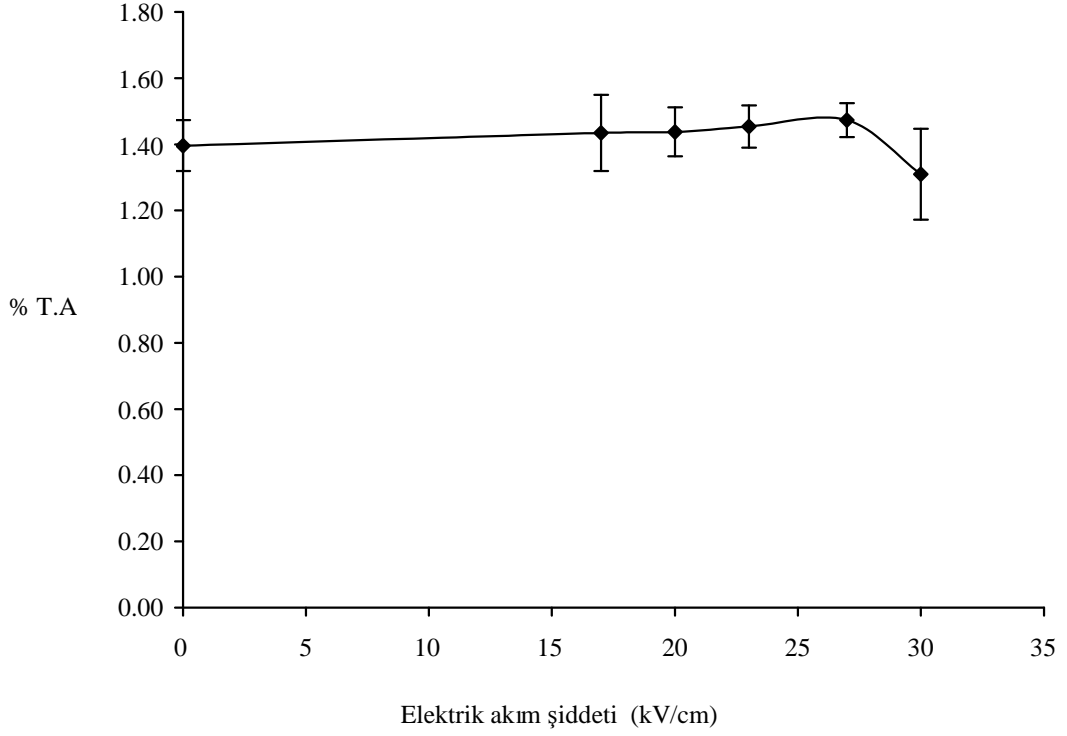
Şekil 4.1. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda pH ölçümü.

Benzer şekilde PEF uygulaması öncesi ve sonrasında vişne suyunun °Briks değeri ölçülmüş ve kontrol örneğinde °Briks 13.5 ± 0.02 olarak tespit edilmiştir. 17, 20, 23, 27 ve 30 kV/cm'lik elektrik akım şiddetlerinde °Briks değerleri sırasıyla 13.5 ± 0.02 , 13.5 ± 0.03 , 13.5 ± 0.04 , 13.5 ± 0.00 ve 13.5 ± 0.02 olarak bulunmuş olup artan elektrik akımı kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında istatistiksel açıdan fark bulunamamıştır ($P > 0.05$) (Şekil 4.2).

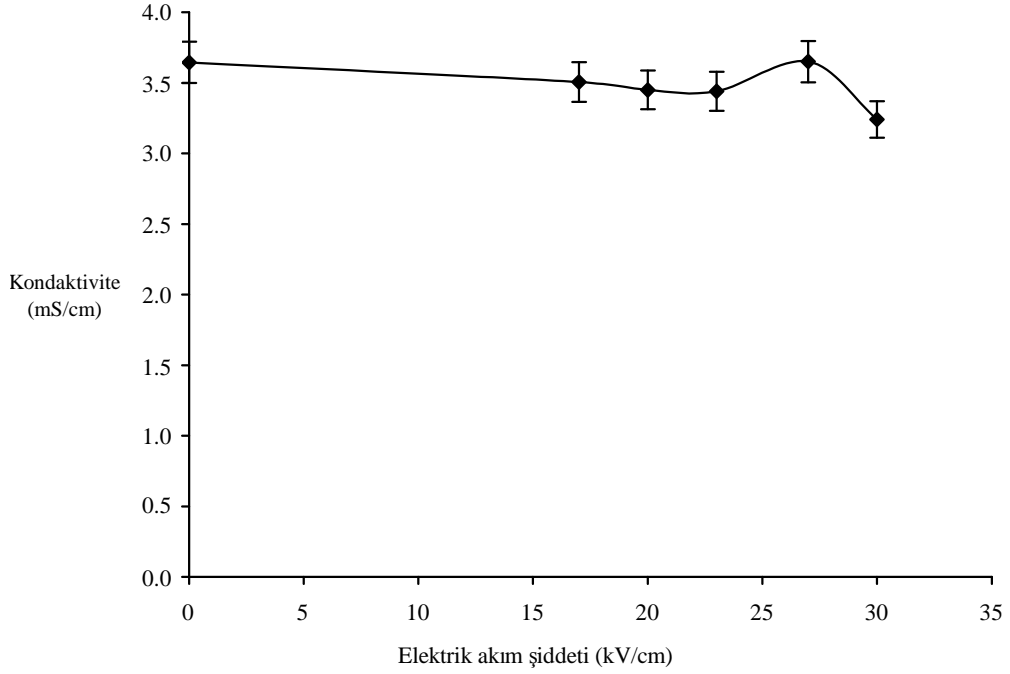


Şekil 4.2. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda °Briks ölçümü

Kontrol örneğinde titrasyon asitliği (TA) 1.4 ± 0.08 olarak bulunmuş olup, sırasıyla 17, 20, 23, 27 ve 30 kV/cm'lik elektrik akım şiddetlerinde titrasyon asitliği değerleri 1.43 ± 0.12 , 1.44 ± 0.07 , 1.45 ± 0.06 , 1.47 ± 0.05 ve 1.31 ± 0.14 olarak ölçülmüştür. Benzer şekilde elektrik akım uygulaması sonucunda örneklerin titrasyon asitliği değerlerinde istatistiksel açıdan bir fark bulunamamıştır ($P > 0.05$) (Şekil 4.3).



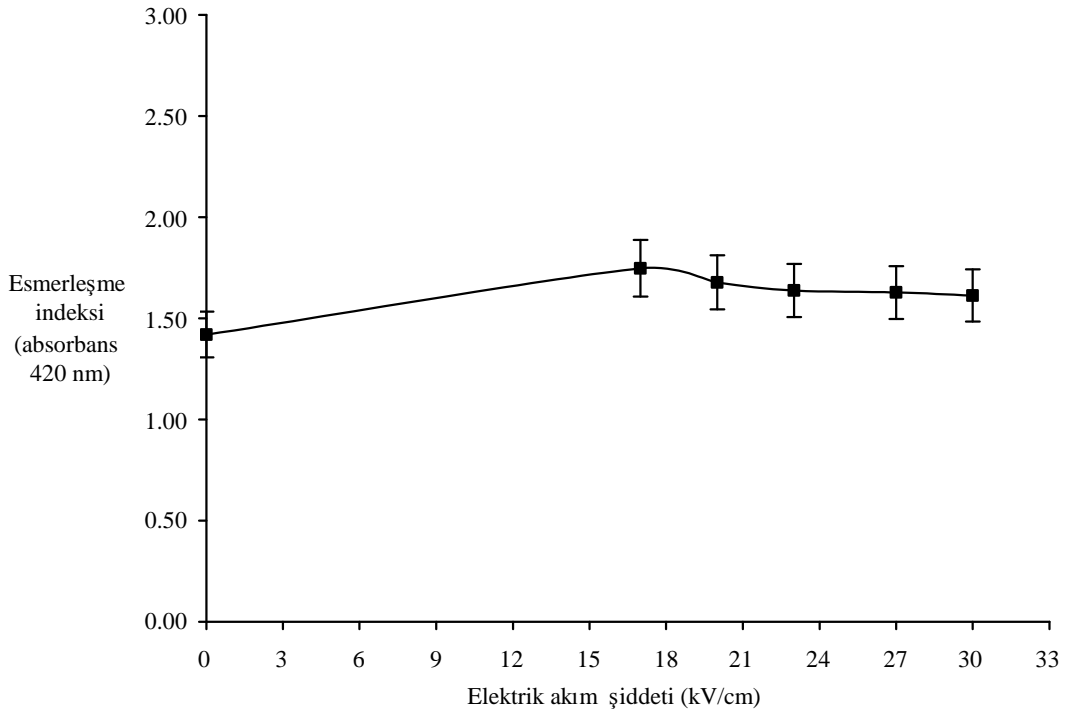
Şekil 4.3. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda titrasyon asitliği ölçümü.



Şekil 4.4. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda kondaktivite ölçümü.

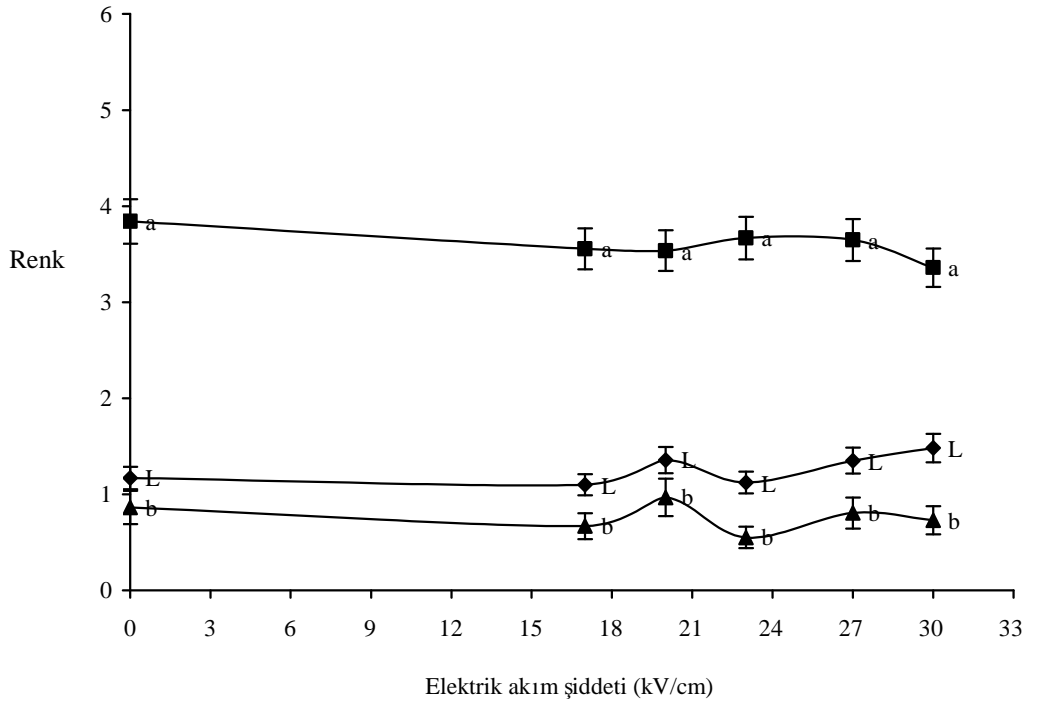
Vişne suyu kontrol örneklerinde kondaktivite değeri 3.64 ± 0.17 mS/cm olarak ölçülmüş olup 17, 20, 23, 27 ve 30 kV/cm'lik elektrik akım şiddetlerinde sırasıyla 3.50 ± 0.29 , 3.45 ± 0.38 , 3.44 ± 0.3 , 3.65 ± 0.16 ve 3.24 ± 0.19 mS/cm olarak bulunmuştur. Kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında istatistiksel bir fark bulunmamıştır ($P > 0.05$) (Şekil 4.4).

PEF teknolojisi ile işlenmiş vişne suyu konsantresi içeriğinde esmerleşme reaksiyonlarının gerçekleşip gerçekleşmediğinin tespiti için esmerleşme indeksi ölçümleri yapılmıştır. Kontrol örneklerinde 1.42 ± 0.22 olarak ölçülen esmerleşme indeksi artan elektrik akım şiddetlerinde sırasıyla 1.74 ± 0.08 , 1.67 ± 0.02 , 1.63 ± 0.02 , 1.62 ± 0.04 ve 1.61 ± 0.26 olarak tespit edilmiştir. Uygulanan elektrik akım şiddetindeki artış örneklerde istatistiksel açıdan bir değişime neden olmamıştır ($P > 0.05$) (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda esmerleşme indeksi ölçümü.

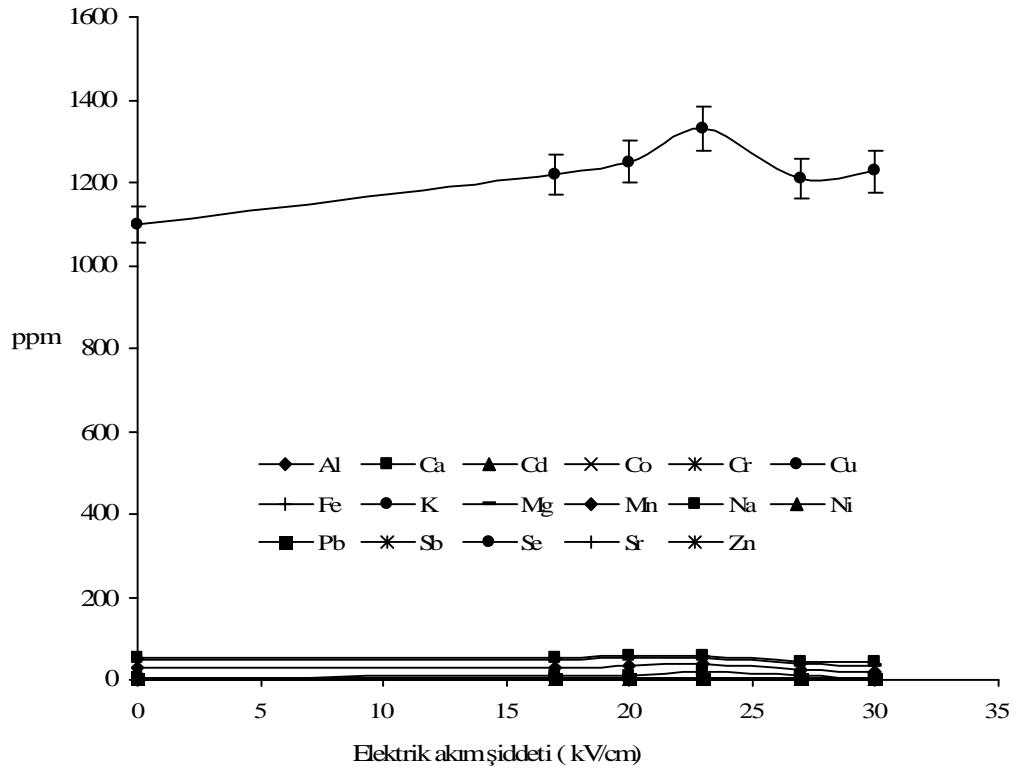
PEF prosesinin vişne suyunun rengi üzerindeki etkisine bakmak için L, a ve b ölçümleri yapılmış olup kontrol örneklerinde L, a ve b değerleri sırasıyla 1.17 ± 0.19 , 3.84 ± 0.29 ve 0.86 ± 0.23 olarak ölçülmüştür. Uygulanan elektrik akım şiddetindeki artış renk değerlerinde önemli bir değişime yol açmamış olup söz konusu değerler elektrik akımının en yüksek derece uygulandığı 30 kV/cm'de L, a ve b değerleri sırasıyla 1.48 ± 0.22 , 4.50 ± 0.3 ve 0.73 ± 0.19 olarak tespit edilmiştir ($P>0.05$) (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda renk (L, a ve b) ölçümü.

Vişne suyunun metal iyon içeriğinin tespit edilmesi için Al (396.152 nm), Ca (317.933 nm), Cd (228.802 nm), Co (228.616 nm), Cr (267.716 nm), Cu (324.754nm) , Fe (259.940 nm), K (766.490 nm), Mg (279.553 nm), Mn (257.610 nm), Na (588.995 nm), Ni (221.647 nm), Pb (220.353 nm), Sb (217.581 nm), Se (196.026 nm), Sr (407.771 nm), ve Zn (213.856 nm) ölçümleri yapılmıştır. Bu amaçla yapılan ölçümlerde vişne suyu kontrol örneğinde en fazla miktarda potasyum bulunmuş olup, 1097.92 ± 96.64 ppm olarak ölçülmüştür. Uygulamada en yüksek potasyum değeri (1330.43 ± 230.21 ppm) 23 kV/cm şiddetinde uygulanan pastörizasyonda elde edilmiştir.

Bununla birlikte uygulamada en fazla 30 kV/cm elektrik akım şiddeti kullanılmış ve potasyum değeri 1226.84 ± 326.46 ppm olarak ölçülmüştür. Uygulanan elektrik akım şiddetindeki artış üründe tespit edilen potasyum miktarında önemli bir değişime neden olmamıştır ($P > 0.05$). Potasyumdan sonra kontrol örneklerinde miktar olarak en fazla kalsiyum bulunmuştur. En yüksek kalsiyum değeri 23 kV/cm'lik elektrik akım şiddetinde elde edilmiş ve 58.99 ± 13.85 ppm olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte potasyum ve kalsiyum değerlerinden sonraki en yüksek ölçümler magnezyum 53.84 ± 10.62 ppm (23 kV/cm'lik elektrik akım şiddetinde), alüminyum 36.97 ± 0.26 ppm (23 kV/cm'lik elektrik akım şiddetinde) tespit edilmiştir. Ölçümü yapılan diğer metal iyonları ise iz miktarda tespit edilmiş olup uygulanan elektrik akımındaki artış ölçümü yapılan hiçbir iyon miktarında değişikliğe neden olmamıştır ($P > 0.05$) (Şekil 4.7). Örneklerde tespit edilen potasyum miktarının ise yetiştirme sırasında potasyum ağırlıklı gübre kullanılmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Aynı zamanda elde edilen verilere göre elektrotlardan örneklere herhangi bir metal iyon geçişinin tespit edilmediği ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.7. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda metal iyonları ölçümü.

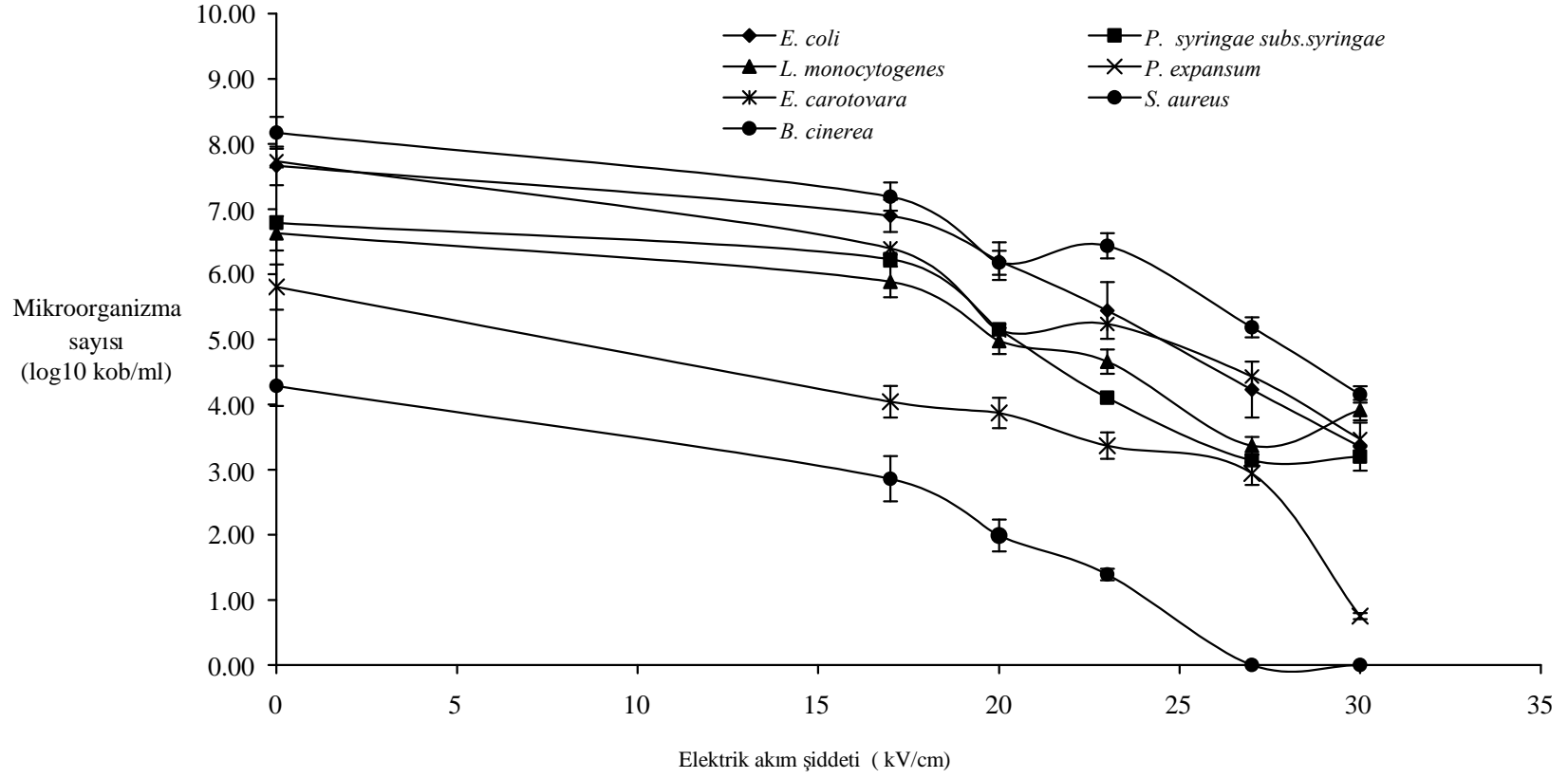
PEF teknolojisinin mikroorganizmalar üzerine inhibisyon derecesinin incelenmesi amacıyla vişne suyu *E. coli* O157:H7, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *P. syringae* subs. *syringae*, *P. expansum*, *E. carotovora* ve *B. cinerea* kültürleri ile 10^6 - 10^7 log₁₀ kob/ml oranında inoküle edilmiş ve farklı elektrik akım şiddetlerinde proses edilmiştir. Kontrol örneklerindeki başlangıç mikroorganizma sayıları ile 17, 20, 23, 27 ve 30 kV/cm'lik elektrik akım şiddetlerine maruz bırakılmışlardır. Buna göre artan elektrik akım şiddeti inoküle edilen bütün kültürlerde önemli miktarda bir azalmaya neden olmuştur. Çizelge 4.1'den anlaşılacağı üzere başlangıçta 7.66 ± 0.29 log₁₀kob/ml olan *E. coli* O157:H7 sayısında artan elektrik akım şiddeti ile doğru orantılı olarak 4.11 log₁₀kob/ml değerinde belirgin bir inaktivasyon sağlandığı gözlenmiştir. Aynı şekilde *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *P. syringae* subs. *syringae*, *E. carotovora*, *P. expansum* ve *B. cinerea* kültürlerinde sırasıyla 4.02, 4.07, 3.59, 4.27, 4.73 ve 4.28 log₁₀kob/ml oranlarında inaktivasyon gözlenmiştir. Artan elektrik akımı ile doğru orantılı olarak PEF teknolojisi uygulamasının vişne suyunda çalışıla mikroorganizmalar üzerinde belirgin şekilde inaktivasyon sağladığı kaydedilmiştir. Elde edilen veriler ışında en fazla inaktivasyon *P. expansum*'da elde edilmiş olup inaktivasyon sıralaması en fazladan en aza doğru *B. cinerea*, *E. carotovora*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, *S. aureus* ve *P. syringae* subs. *syringae* olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre küfler PEF teknolojisine bakterilerden daha fazla hassasiyet göstermektedirler. (Şekil 4.8 ve Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyuna inoküle edilen mikroorganizmaların inaktivasyonu.

Elektrik Akım Şiddeti (kV/cm)	Mikroorganizma						
	<i>E. coli</i> O157:H7	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Listeria monocytogenes</i>	<i>P. syringae</i> subs. <i>syringae</i>	<i>Erwinia carotovara</i>	<i>Penicillium expansum</i>	<i>Botrytis cinerea</i>
0	7.66±0.29 ^a	8.17±0.50 ^a	6.63±0.81 ^a	6.79±0.59 ^a	7.73±0.54 ^a	6.86±0.48 ^a	4.28±0.31 ^a
17	6.89±0.25 ^b	7.19±0.39 ^b	5.88±0.49 ^a	6.23±0.40 ^a	6.39±0.32 ^b	5.41±0.86 ^{ab}	2.86±0.35 ^b
20	6.20±0.29 ^c	6.18±0.57 ^c	4.97±0.60 ^b	5.15±0.43 ^b	5.14±0.35 ^c	5.07±0.22 ^b	1.99±0.25 ^b
23	5.44±0.44 ^d	6.44±0.84 ^c	4.66±0.71 ^{bc}	4.10±0.81 ^c	5.24±0.54 ^d	4.23±0.28 ^c	1.39±0.09 ^c
27	4.23±0.43 ^e	5.18±1.26 ^{cd}	3.37±0.78 ^c	3.14±1.48 ^d	4.43±0.65 ^d	3.69±0.22 ^d	0.00±0.00 ^d
30	3.55±0.37 ^f	4.15±1.12 ^d	2.55±0.89 ^c	3.20±1.03 ^d	3.47±0.75 ^d	2.13±0.63 ^e	0.00±0.00 ^d
İnaktivasyon	4.11	4.02	4.07	3.59	4.27	4.73	4.28

* Mikroorganizma sayıları log₁₀kob/ml olarak verilmiştir

** Aynı sütun içerisinde farklı üstsel harflerle gösterilen veriler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (P≤0.05)

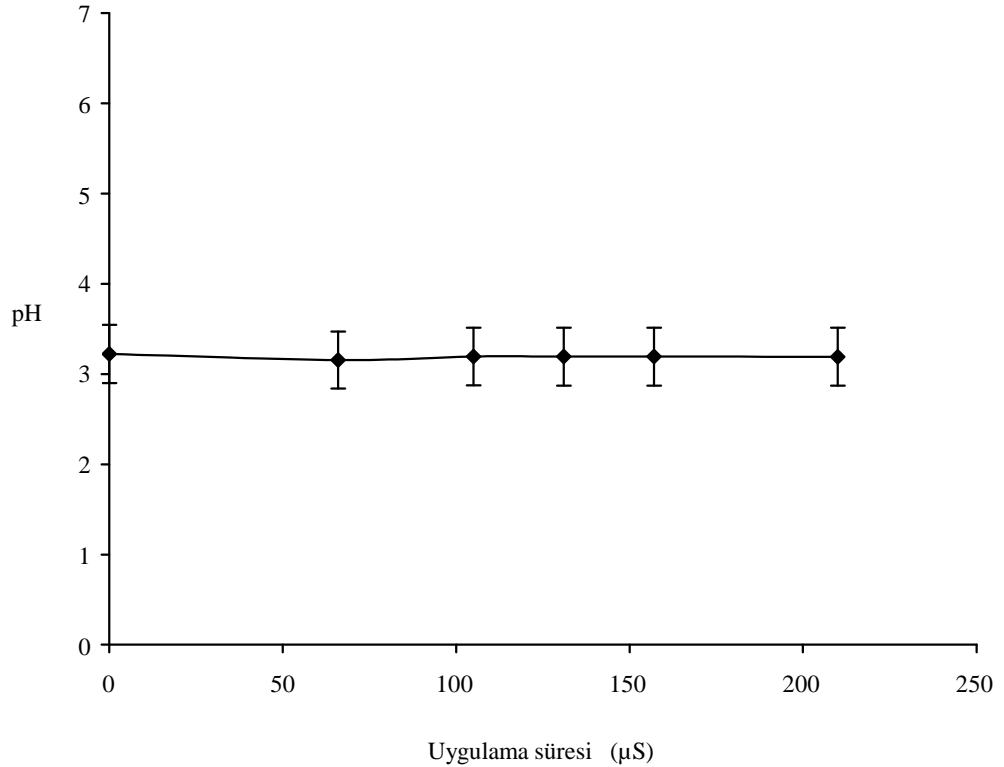


Şekil 4.8. Elektrik akım şiddetinin bir fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım uygulaması ile işlenmiş vişne suyunda *E. coli* O157:H7, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *P. syringae subs. syringae*, *E. carotovora*, *P. expansum* ve *B. cinerea* inaktivasyonu.

4.1.2. Atımlı elektrik akımı (PEF) uygulamasında uygulama süresinin vişne suyunun fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkisi

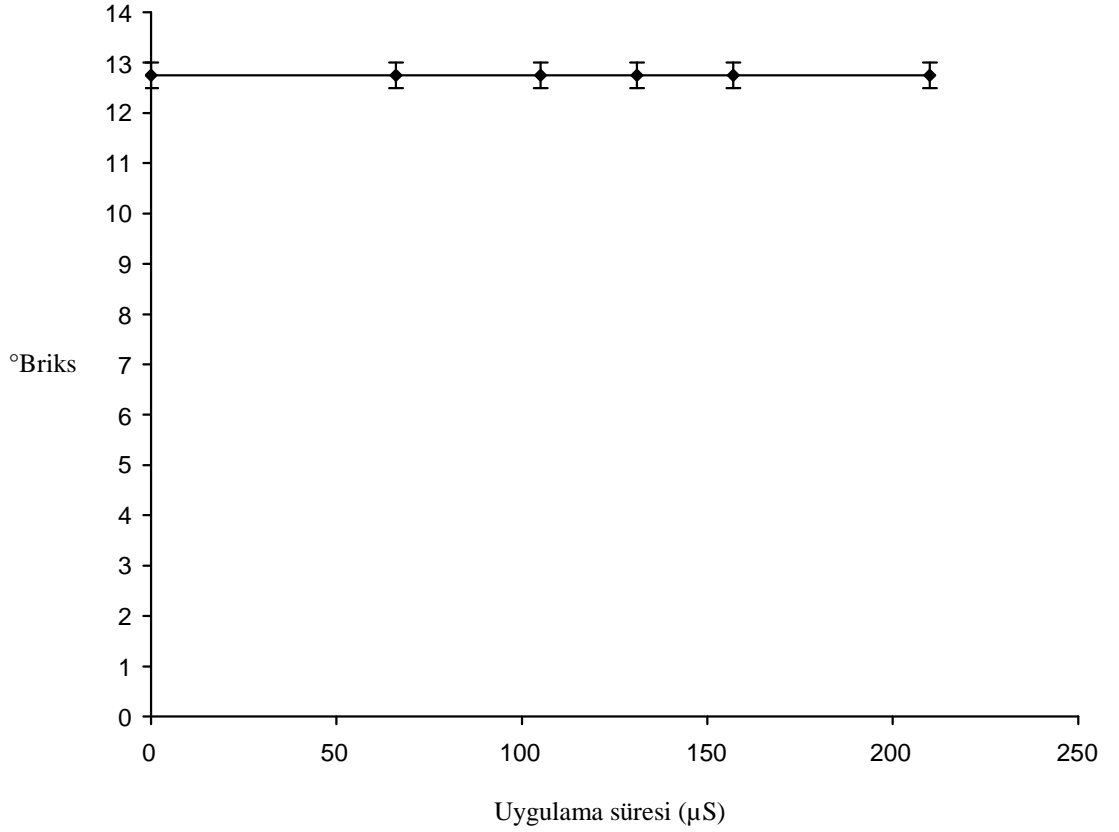
Bu çalışma kapsamında elektrik akım şiddetinin yanı sıra elektrik akım uygulama süresi de bağımsız değişken olarak ele alınmıştır. İşlem gören örneklerde kimyasal, fiziksel ve mikrobiyolojik analizler yapılmış ve meydana gelebilecek değişimler incelenmiştir. Vişne suyu elektrik akım uygulama süresinin fonksiyonu olarak 0 (kontrol), 66, 105, 131, 157 ve 210 μ s sürelerinde ve 17 kV/cm'lik sabit elektrik akım şiddetinde işlenmiştir.

Vişne suyu kontrol örneğinin pH değeri 3.22 ± 0.008 olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte 66, 105, 131, 157 ve 210 μ s sürelerinde proses edilmiş vişne suyu örneklerinde pH değerleri sırasıyla 3.15 ± 0.03 , 3.19 ± 0.012 , 3.19 ± 0.00 , 3.19 ± 0.004 ve 3.19 ± 0.005 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar ışığında işlenmiş vişne suyu ile kontrol örnekleri arasında istatistiksel açıdan bir fark gözlenmemiştir ($P > 0.05$) (Şekil 4. 9).



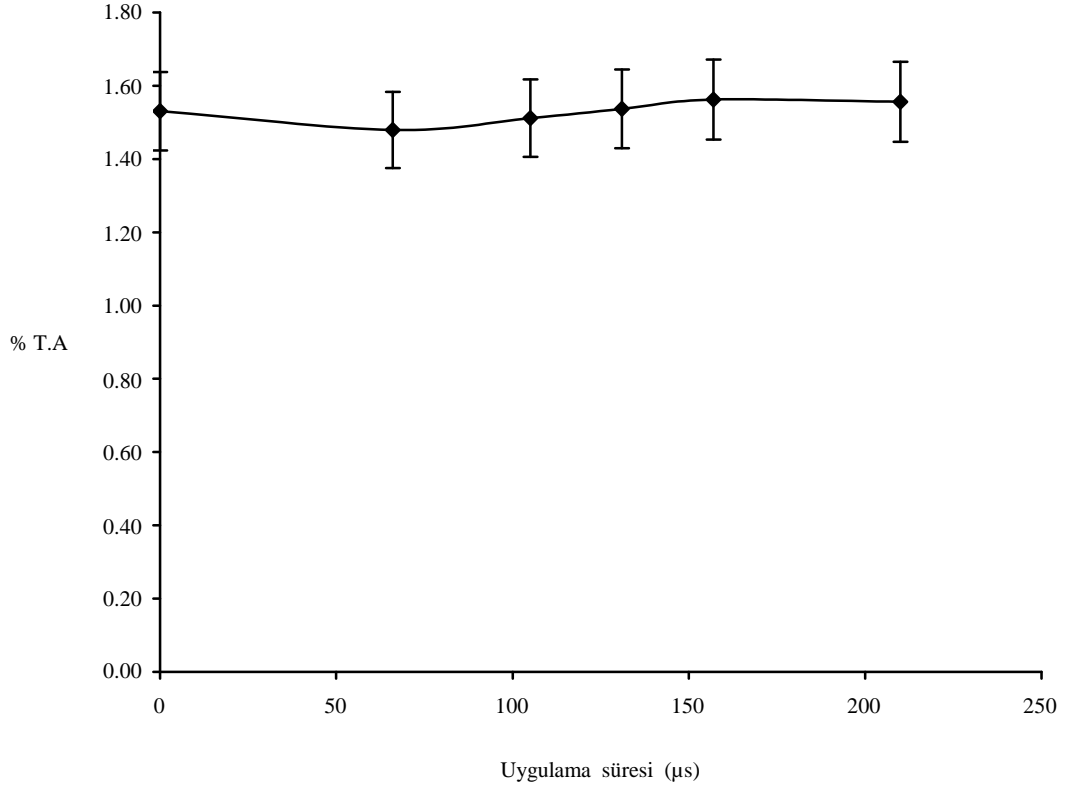
Şekil 4.9. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda pH ölçümü.

Uygulama süresinin fonksiyonu olarak proses edilen vişne suyu kontrol örneğinde °Briks değeri 12.75 ± 0.25 olarak ölçülmüştür. Sırasıyla 66, 105, 131, 157 ve 210 μs sürelerinde °Briks değeri 12.75 ± 0.25 olarak ölçülmüş ve dolayısıyla istatistiksel açıdan bir farklılık kaydedilmemiştir ($P > 0.05$) (Şekil 4.10).



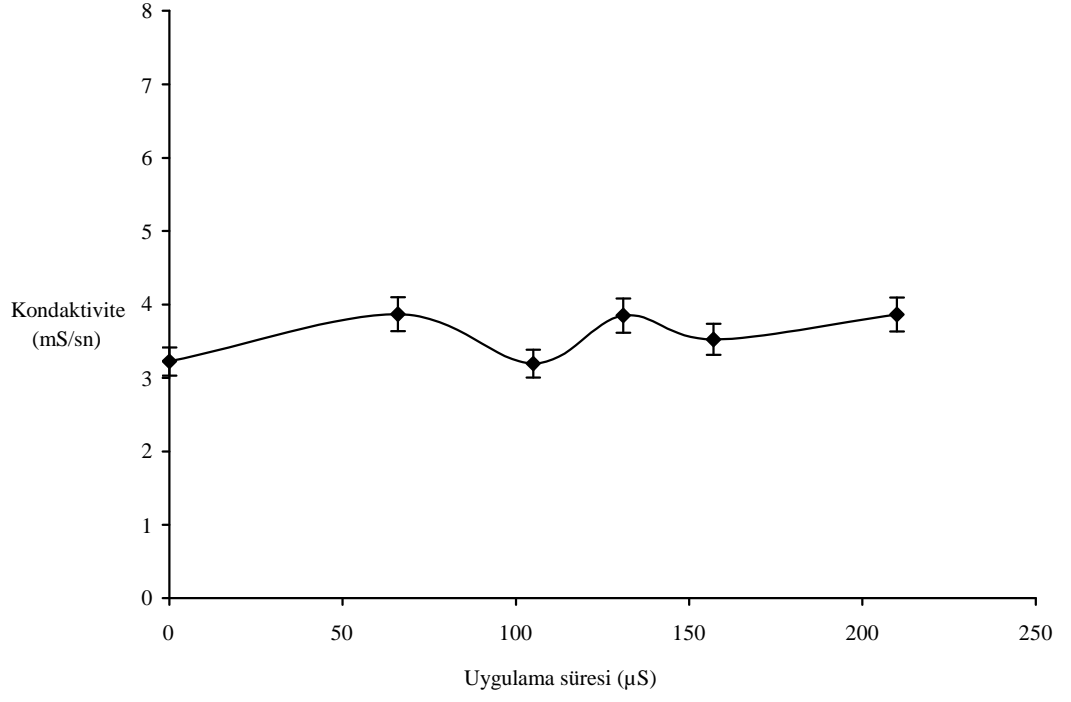
Şekil 4.10. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda °Briks ölçümü.

Vişne suyu kontrol örneğinde titrasyon asitliği değeri kontrol ve 66, 105, 131, 157 ve 210 μs sürelerinde sırasıyla 1.53 ± 0.01 , 1.48 ± 0.001 , 1.51 ± 0.00 , 1.54 ± 0.03 , 1.56 ± 0.04 ve 1.56 ± 0.02 olarak ölçülmüştür. Kontrol örnekleri ile farklı uygulama sürelerinde proses edilmiş vişne suyunun titrasyon asitliği değerleri arasında belirgin bir fark gözlemlenmemiştir ($P > 0.05$) (Şekil 4.11).

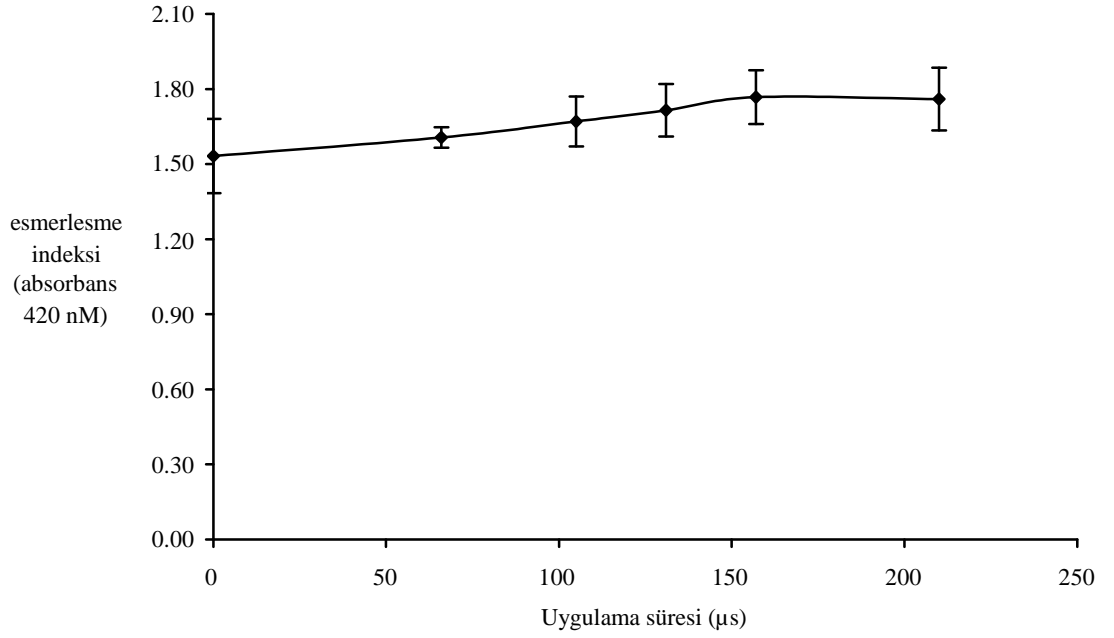


Şekil 4.11. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda titrasyon asitliği ölçümü.

Vişne suyunda yapılan ölçümlerde kontrol örneğinde kondaktivite değeri 3.22 ± 0.008 mS/cm olarak ölçülmüştür. 66 µs'lik elektrik akımı uygulaması sonunda vişne suyu iletkenlik değeri 3.87 ± 0.01 mS/cm bulunmuştur. Uygulamanın en uzun olduğu 210 µs süresinde kondaktivite değeri 3.86 ± 0.015 mS/cm olarak kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlar uygulama süresinin bir fonksiyonu olarak PEF teknolojisinin vişne suyu iletkenlik değerlerinde herhangi bir değişime yol açmadığını göstermiştir ($P > 0.05$) (Şekil 4.12).



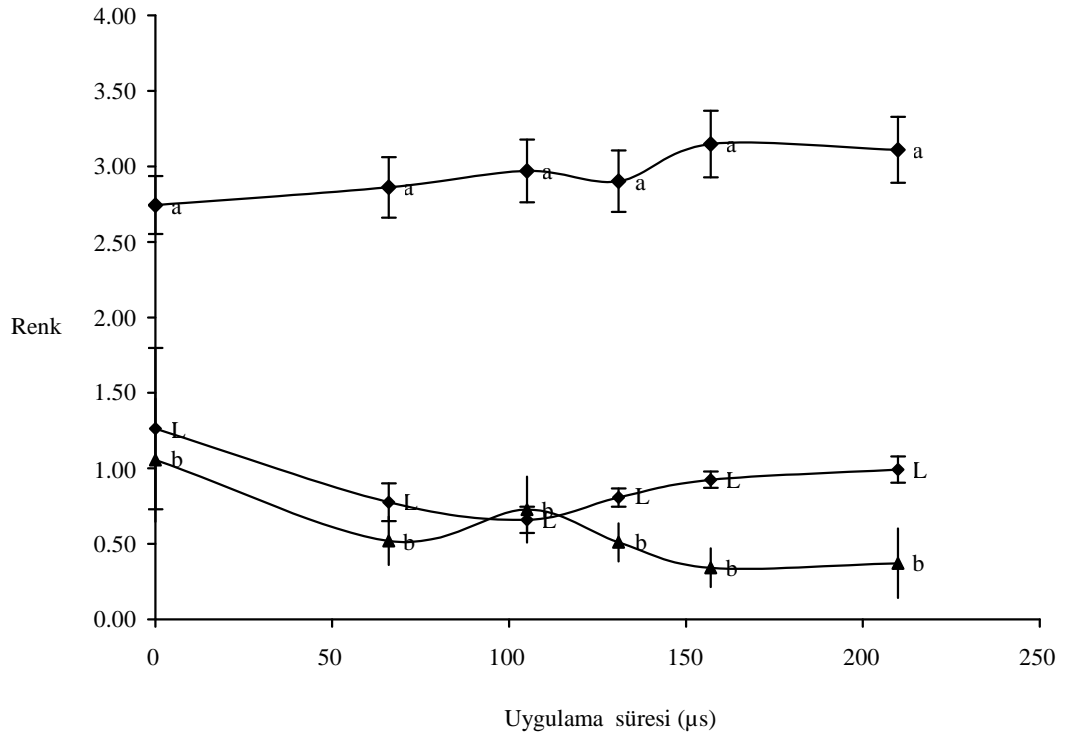
Şekil 4.12. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda kondaktivite ölçümü.



Şekil 4.13. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda esmerleşme indeksi ölçümü.

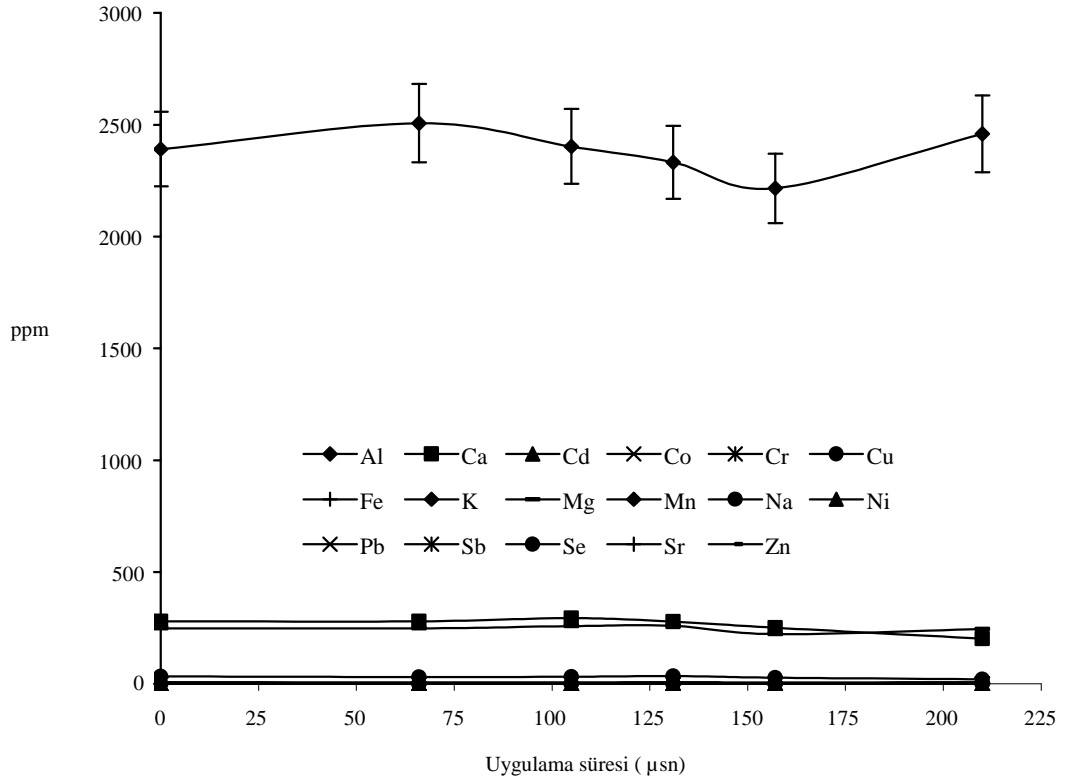
Vişne suyunda esmerleşme indeksi ölçümleri yapılmış ve kontrol örneklerinde elde edilen değerlerin ortalaması 1.53 ± 0.14 bulunmuştur. 66, 105, 131, 157 ve 210 μs sürelerinde işlenmiş vişne suyu örneklerinde esmerleşme indeksi değerleri ise sırasıyla 1.6 ± 0.04 , 1.67 ± 0.1 , 1.71 ± 0.10 , 1.76 ± 0.10 ve 1.76 ± 0.12 olarak ölçülmüştür. Yapılan analizlerde uygulama süresinin bir fonksiyonu olarak PEF teknolojisi uygulamasının esmerleşme indeksi değerleri üzerinde bir değişime neden olmadığı gözlenmiştir ($P > 0.05$) (Şekil 4.13).

Vişne suyu kontrol örnekleri ile PEF teknolojisi ile pastörize edilmiş vişne suyu örneklerinin renk analizlerinde (L, a ve b) artan proses süresinin örneklerin renk özelliklerinde istatistiksel açıdan bir değişime neden olmadığı gözlenmemiştir ($P > 0.05$). Vişne suyu kontrol örneği renk değerleri L, a ve b değerleri sırasıyla 1.26 ± 0.53 , 2.74 ± 0.01 ve 1.05 ± 0.4 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda renk değerleri (L, a ve b) ölçümleri.

Yüksek voltajlı elektrik atımı teknolojisi ile işlenmiş vişne suyu örneklerinde uygulama süresinin etkisini belirlemek için metal iyonları ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sonucunda vişne suyunda potasyum değerlerinin en yüksek olduğu gözlenmiştir. Uygulanan en uzun proses süresinde (210 μ s) potasyum değeri 2459.92 ± 0.02 olarak kaydedilmiştir. Bununla birlikte en yüksek potasyum değeri 131 μ s'lik uygulama süresinde elde edilmiş ve 2332.09 ± 126.67 olarak ölçülmüştür. Vişne suyunda metal iyon içeriği ölçümlerinde potasyumdan sonra en fazla kalsiyum ve magnezyum iyonlarına rastlanmıştır. Kalsiyum iyonları kontrol örneklerinde 280.32 ± 14.00 ve 210 μ s'lik uygulama süresi sonucunda 245.98 ± 26.70 olarak ölçülmüştür ($P > 0.05$). Analiz edilen tüm işlenmiş örnekler ve kontrol örnekleri arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir ($P > 0.05$) (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda metal iyonları ölçümleri.

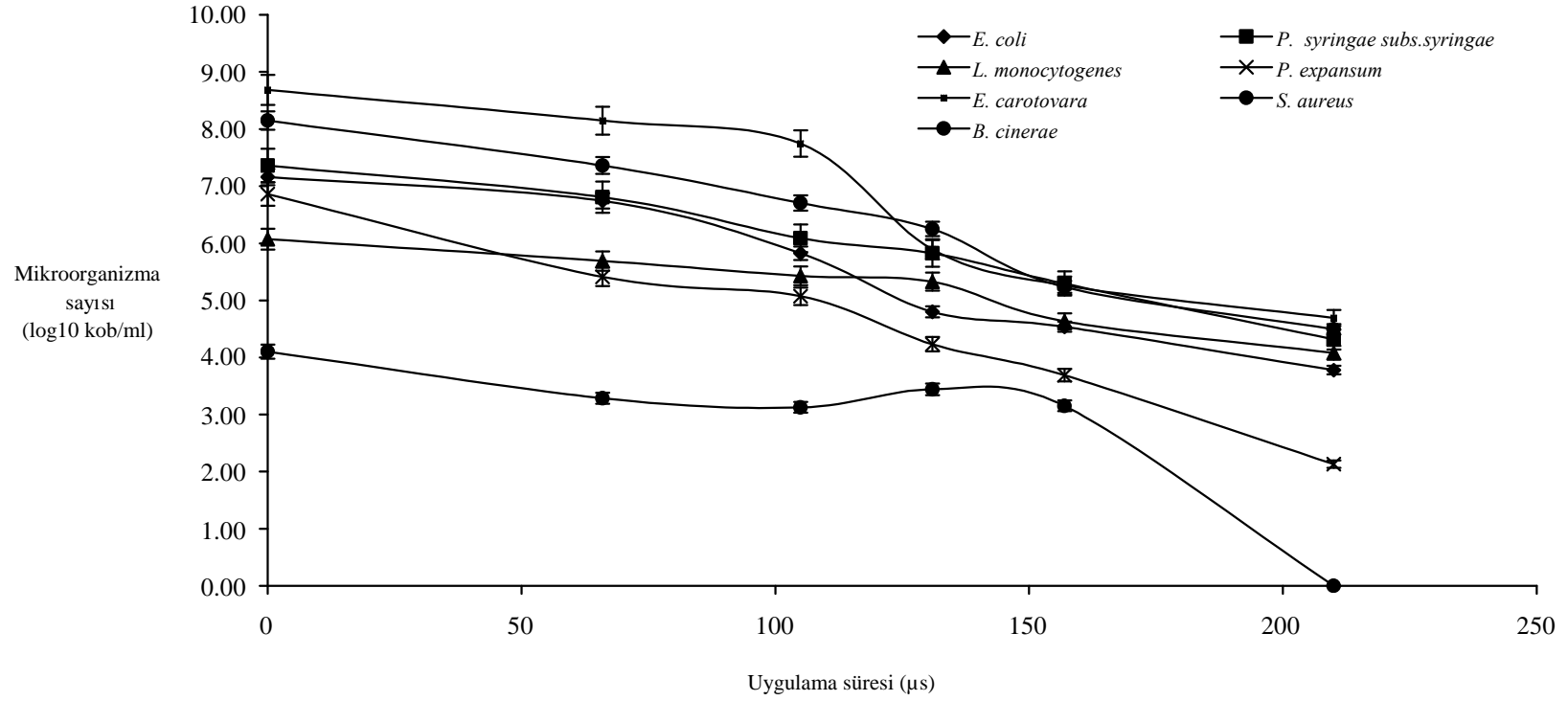
Vişne suyu örnekleri laboratuvar koşullarında söz konusu mikroorganizmalar ile 10^6 - 10^7 log₁₀kob/ml oranında inoküle edilmiş ve uygulama süresinin fonksiyonu olarak PEF teknolojisi ile işlenmesi sonucunda *E. coli* O157:H7, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *P. syringae* subs. *syringae*, *E. carotovora*, *P. expansum*, ve *B. cinerea* mikroorganizmalarında belirgin şekilde inaktivasyon gözlenmiştir. En yüksek inaktivasyon derecesi *P. expansum* ve *B. cinerea* kültüründe gözlenmiş olup toplam 4.86 ve 4.1 log₁₀kob/ml inaktivasyon gerçekleşmiştir. Bu iki mikroorganizmayı sırasıyla *E. carotovora*, *S. aureus*, *E. coli* O157:H7, *P. syringae* subs. *syringae* ve *L. monocytogenes* takip etmiştir (Şekil 4.16 ve Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyuna inoküle edilen mikroorganizmaların inaktivasyonu.

Uygulama Süresi (µs)	Mikroorganizma						
	<i>E. coli</i> O157:H7	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Listeria monocytogenes</i>	<i>P. syringae</i> subs. <i>syringae</i>	<i>Erwinia carotovora</i>	<i>Penicillium expansum</i>	<i>Botrytis cinerea</i>
0	7.16±0.23 ^a	8.15±1.35 ^a	6.07±0.23 ^a	7.36±0.32 ^a	8.69±0.63 ^a	6.86±0.48 ^a	4.10±0.39 ^a
66	6.74±0.61 ^{ab}	7.36±1.15 ^b	5.69±0.21 ^{ab}	6.81±0.47 ^{ab}	8.15±0.49 ^a	5.41±0.86 ^a	3.28±0.46 ^{ab}
105	5.83±0.48 ^b	6.71±1.19 ^c	5.43±0.1 ^{4b}	6.09±0.34 ^b	7.75±0.60 ^a	5.07±0.22 ^b	3.12±0.60 ^b
131	4.80±0.36 ^c	6.25±0.54 ^c	5.33±0.12 ^{bc}	5.83±0.37 ^b	5.89±0.51 ^b	4.23±0.28 ^c	3.44±0.49 ^b
157	4.54±0.62 ^c	5.24±0.35 ^d	4.63±0.41 ^c	5.30±0.34 ^b	5.26±0.37 ^b	3.69±0.22 ^d	3.15±0.15 ^b
210	3.78±0.45 ^c	4.50±0.44 ^e	4.09±0.37 ^c	4.32±0.71 ^c	4.69±0.43 ^b	2.00±0.67 ^d	0.00±0.00 ^c
İnaktivasyon	3.39	3.65	1.99	3.05	3.99	4.86	4.1

* Mikroorganizma sayıları log₁₀ kob/ml olarak verilmiştir

** Aynı sütun içerisinde farklı üstsel harflerle gösterilen veriler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($P \leq 0.05$).



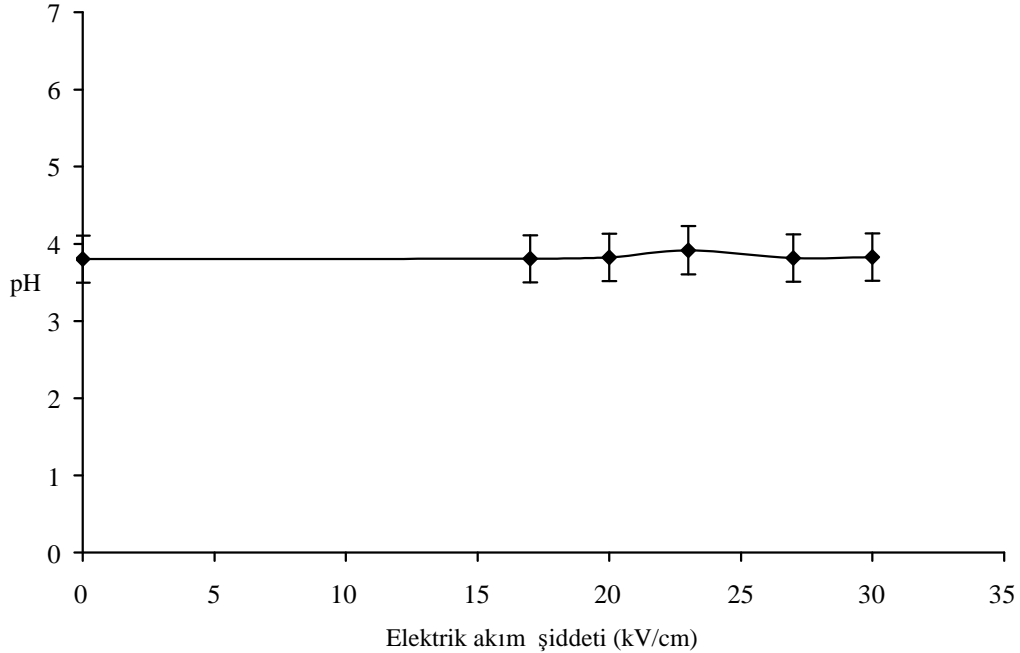
Şekil 4.16. Uygulama süresinin bir fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş vişne suyunda *E. coli* O157:H7, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *P. syringae subs. syringae*, *E. carotovora*, *P. expansum* ve *B. cinerea* inaktivasyonu.

4.2. Kayısı Nektarında Fiziksel, Kimyasal ve Mikrobiyolojik Analizler

4.2.1. Atımlı elektrik akımı (PEF) uygulamasında elektrik akım şiddetinin kayısı nektarının fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkisi

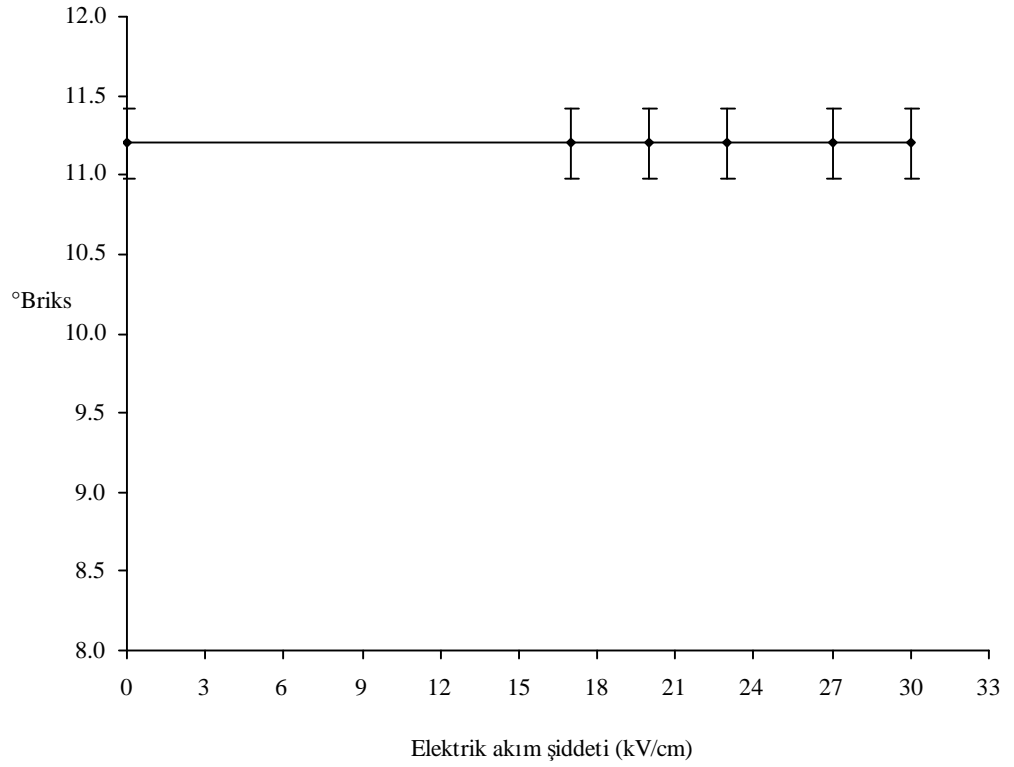
Kayısı nektarının PEF teknolojisi ile pastörizasyonu ile işlenmesi sonrasında pH, °Briks, titrasyon asitliği, kondaktivite, esmerleşme indeksi, renk ve metal iyon varlığı ölçümleri ile kayısı nektarına inoküle edilen bakteri ve küflerin inaktivasyonu hedeflenmiştir.

Kayısı nektarının kontrol örneklerinde pH değeri 3.8 ± 0.02 olarak kaydedilmiştir; elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak 17, 20, 23, 27 ve 30 kV/cm değerlerinde 148 μ s uygulama süresince işlenen kayısı nektarında pH değerleri sırasıyla 3.8 ± 0.03 , 3.82 ± 0.006 , 3.91 ± 0.08 , 3.81 ± 0.01 ve 3.82 ± 0.003 olarak tespit edilmiş olup örneklerin pH değerlerinde artan elektrik akımına bağlı olarak istatistiksel açıdan bir fark görülmemiştir ($P > 0.05$) (Şekil 4.17).

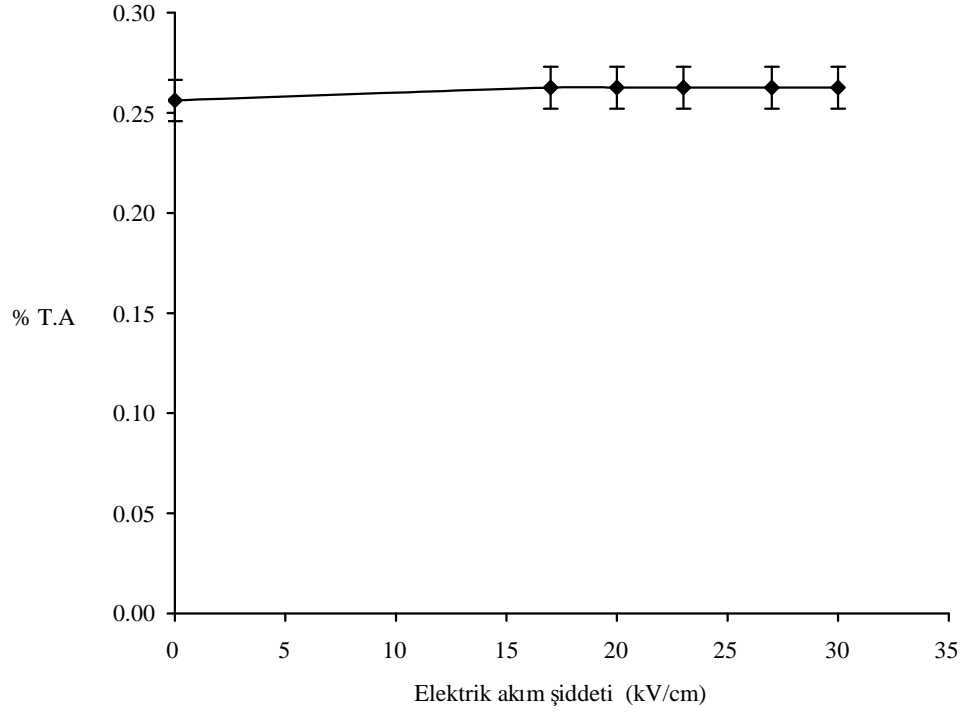


Şekil 4.17. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında pH ölçümü.

Kayıslı nektarı kontrol örneklerinde ölçülen °Briks değeri 11.2 ± 0.00 bulunmuş olup elektrik akımı şiddetinin 17, 20, 23, 27 ve 30 kV/cm değerlerinde uygulanması sonucunda elde edilen değerler sırasıyla 11.2 ± 0.01 , 11.2 ± 0.02 , 11.2 ± 0.04 , 11.2 ± 0.02 ve 11.2 ± 0.02 olarak bulunmuştur. Kontrol örnekleri ile değişik oranlarda elektrik akım şiddetine maruz kalmış örneklerde °Briks değerleri arasında herhangi bir farklılık gözlenmemiştir ($P > 0.05$) (Şekil 4.18).



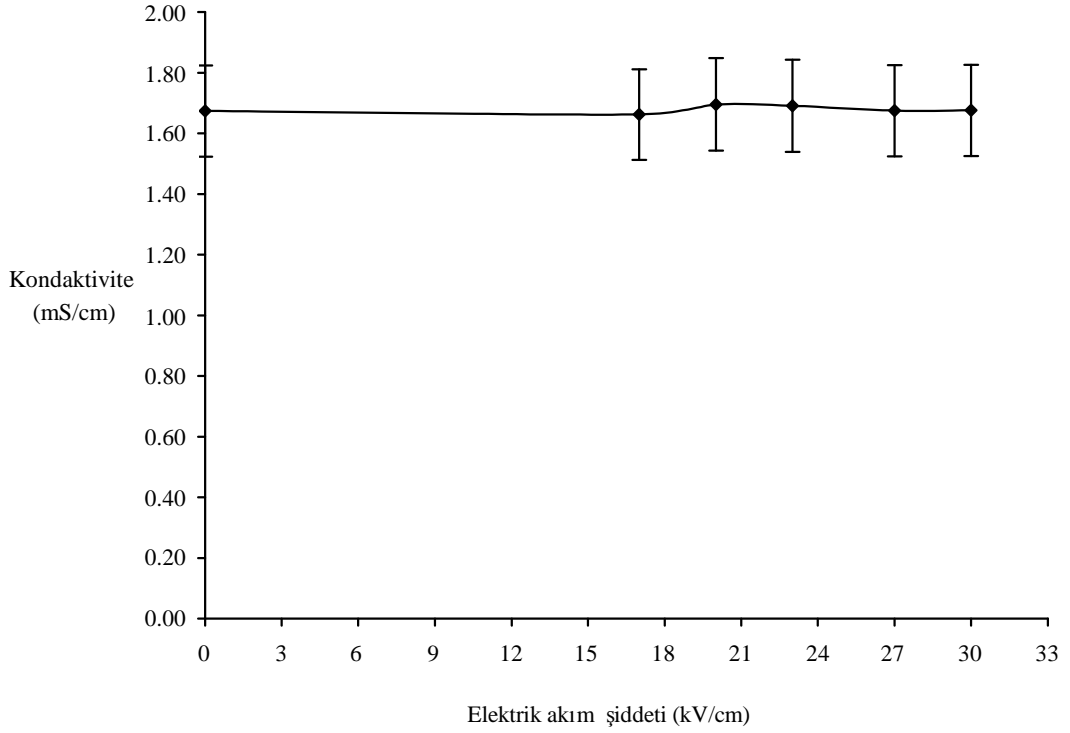
Şekil 4.18. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayıslı nektarıda °Briks ölçümü.



Şekil 4.19. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında titrasyon asitliği ölçümü.

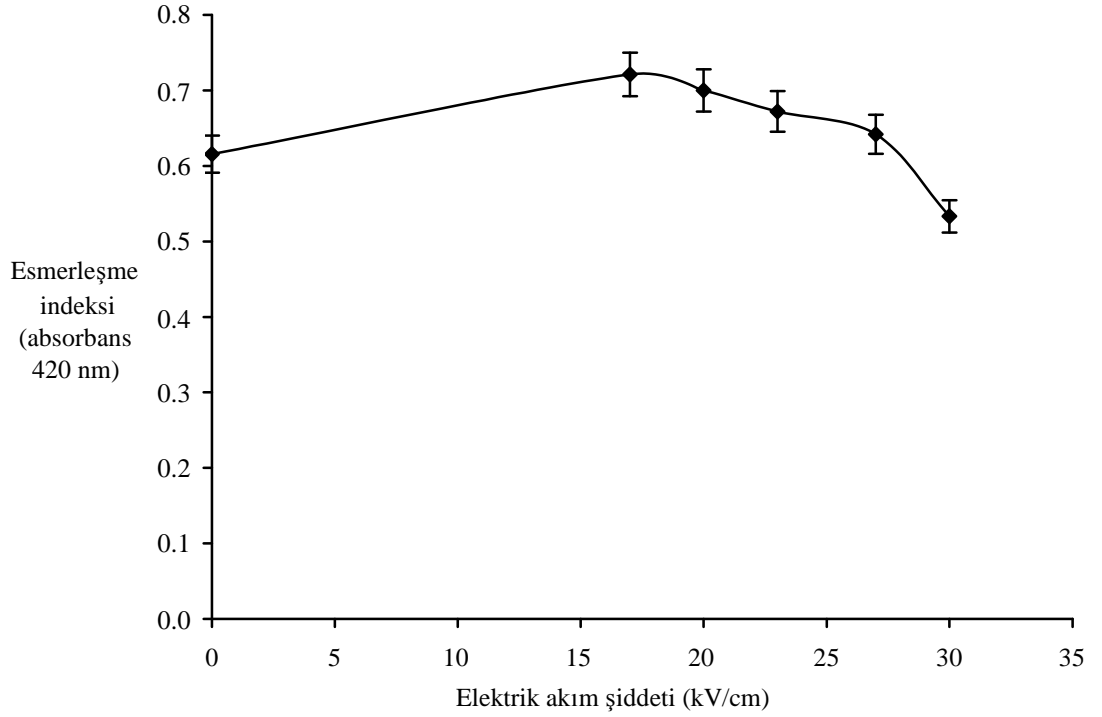
Kontrol örneklerinde elde edilen titrasyon asitliği değeri 0.26 ± 0.01 olarak ölçülmüş ve 17, 20, 23, 27 ve 30 kV/cm değerlerinde işlenen kayısı nektarlarında ölçülen değerler sırasıyla 0.26 ± 0.01 , 0.26 ± 0.01 , 0.26 ± 0.01 , 0.26 ± 0.01 ve 0.26 ± 0.01 olarak ölçülmüştür. Kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında elektrik akım şiddetine maruz kalmış örneklerde bir fark olmadığı gözlenmiştir ($P > 0.05$) (Şekil 4.19).

Yüksek voltajlı elektrik atım teknolojisi ile işlenen edilen kayısı nektarı kontrol örneğinde kondaktivite değeri 1.67 ± 0.02 mS/cm olarak okunmuştur. Uygulanan en yüksek elektrik akım şiddetindeki (30 kV/cm) kondaktivite değeri 1.67 ± 0.03 mS/cm olarak kaydedilmiştir. Elde edilen değerler sonucunda PEF teknolojisi uygulamasının kayısı nektarı kondaktivite özelliğinde herhangi bir değişime yol açmadığı anlaşılmıştır ($P > 0.05$) (Şekil 4.20).



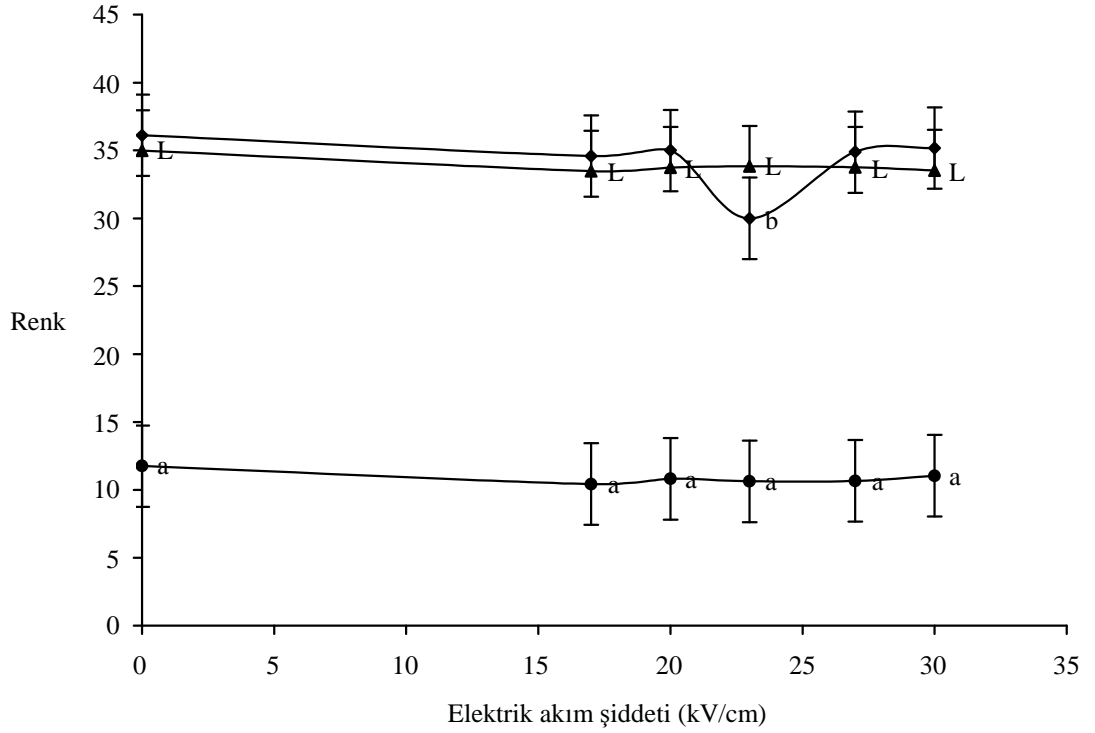
Şekil 4.20. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında kondaktivite ölçümü.

PEF teknolojisinde uygulamasının kayısı nektarının esmerleşme indeksi üzerine etkisi incelenmiş ve kontrol örneklerinde esmerleşme indeksi değeri 0.61 ± 0.02 olarak ölçülmüştür. Uygulanan en düşük elektrik akım şiddetinde (17 kV/cm) ölçülen değer 0.72 ± 0.08 olarak ölçülmüş olup, en yüksek elektrik akım şiddetindeki (30 kV/cm) esmerleşme indeksi değeri 0.53 ± 0.02 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre PEF teknolojisinin kayısı nektarı esmerleşme indeksi üzerine herhangi bir değişime neden olmadığı sonucuna varılmıştır ($P > 0.05$) (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında esmerleşme indeksi ölçümü.

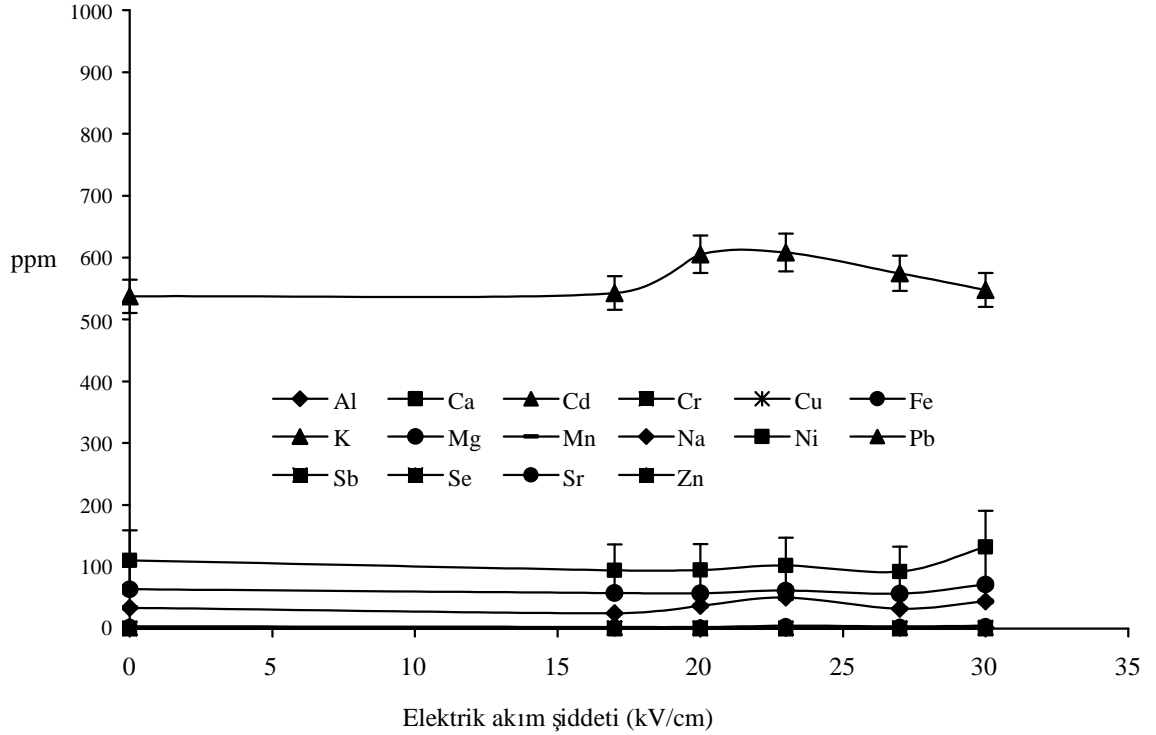
Kayısı nektarının yüksek voltajlı elektrik atım teknolojisi sonrasındaki renk özellikleri incelendiğinde kontrol örneklerinde L, a ve b değerleri sırasıyla 34.97 ± 0.09 , 11.75 ± 0.15 ve 36.11 ± 0.14 olarak tespit edilmiştir. 20 kV/cm şiddetinde uygulanan elektrik akım şiddetinde L, a ve b değerleri sırasıyla 33.73 ± 0.004 , 10.81 ± 0.12 ve 35 ± 0.40 olarak saptanmıştır. Uygulanan en yüksek elektrik akım şiddeti olan 30 kV/cm şiddetindeki renk değerleri ise sırasıyla 33.52 ± 0.03 , 11.04 ± 0.5 ve 35.17 ± 0.5 olarak gözlemlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda kontrol örnekleri ile işlenmiş kayısı nektarları renk değerleri arasında istatistiksel açıdan herhangi bir farka rastlanmamıştır ($P > 0.05$) (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş edilen kayısı nektarında renk değerleri (L, a ve b) ölçümü.

Kayısı nektarının değişik oranlarda elektrik akım şiddeti ile proses edilmesi sonucunda kayısı nektarının metal iyon içeriğinde oluşabilecek değişimlerin gözlenmesi amacıyla metal iyon migrasyonu ölçümleri yapılmıştır. Analiz boyunca 17 çeşit metal iyon varlığı incelenmiş ve kayısı nektarı içerisinde en fazla potasyum iyonunun bulunduğu tespit edilmiştir. Potasyum iyonlarının kontrol örneklerindeki miktarı 537.41 ± 58.57 ppm olarak ölçülmüştür. Farklı elektrik akım şiddeti değerlerindeki uygulamalar süresince kayısı nektarı içerisindeki iyonlarının miktarında PEF teknolojisi ile işlemeyen kaynaklanan bir değişim olmadığı sonucuna varılmıştır. Çalışma sonucunda potasyum iyonundan sonra en fazla kalsiyum, magnezyum ve sodyum iyonları tespit edilmiştir. Kontrol örneklerinde ölçülen kalsiyum iyonlarının miktarı 110.63 ± 7.74 ppm, magnezyum iyonlarının miktarı 63.32 ± 1.62 ppm ve sodyum iyonlarının miktarı 33.74 ± 7.05 ppm düzeyinde olduğu gözlenmiştir. Potasyum, kalsiyum, magnezyum ve sodyum iyonlarının 30 kV/cm elektrik akım şiddetinde ölçülen değerleri ise sırasıyla 547.71 ± 63.83 , 132.26 ± 35.47 , 71.02 ± 7.72 ve 44.1 ± 8.19 ppm olarak saptanmıştır. Ölçülen değerler sonucunda atımlı elektrik akım

uygulanmasının kayısı nektarına farklı elektrik akım şiddetlerinde uygulanmasının herhangi bir farklılığa neden olmadığı kaydedilmiştir ($P>0.05$) (Şekil 4.23).



Şekil 4.23. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında metal iyon ölçümü.

PEF teknolojisi uygulamasının kayısı nektarında mikrobiyal gelişim üzerine etkisi incelemek üzere *E. coli* O157:H7, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *P. syringae* subs. *syringae*, *P. expansum*, *E. carotovora* ve *B. cinerea* kültürleri ile 10^6 - 10^7 \log_{10} kob/ml olacak şekilde inoküle edilen kayısı nektarı 17, 20, 23, 27 ve 30 kV/cm'lik elektrik akım şiddetlerinde atımlı elektrik akım uygulamasına tabi tutulmuştur. İşlem sonucunda en az inaktivasyon 3.76 \log_{10} kob/ml olarak *S. aureus*' ta elde edilmiştir. Bununla birlikte kayısı nektarının farklı elektrik akım şiddetlerinde prosesi sonucunda en fazla inaktivasyon *P. expansum*'da gözlenmiş olup inaktivasyon miktarı 4.94 \log_{10} kob/ml olarak tespit edilmiştir. İnaktivasyon oranları en fazladan en aza doğru sıralanacak olursa *P. expansum*, *B. cinerea*, *P. syringae* subs. *syringae*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes* ve *S. aureus* şeklinde bir sıralama elde edilmektedir. İnoküle edilen bütün mikroorganizmalar içim artan elektrik akım şiddeti ile paralel olarak inaktivasyon

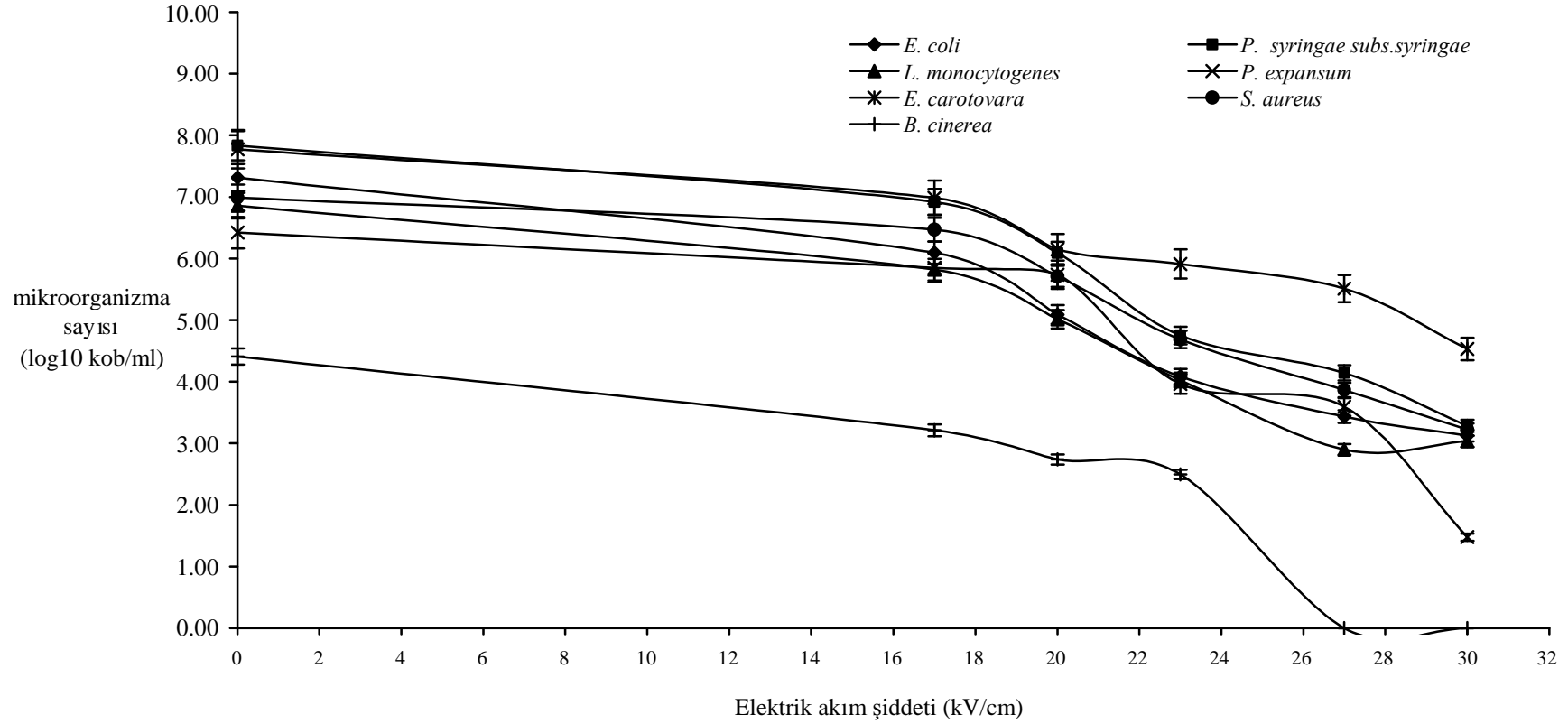
derecesinin arttığı görülmektedir ($P \leq 0.05$). Genel olarak inoküle edilen mikroorganizmalar arasında küflerin inaktivasyonu bakterilere göre daha fazla olmaktadır (Şekil 4.42 ve Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Elektrik akım şiddetinin bir fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarına inoküle edilen mikroorganizmaların inaktivasyonu.

Elektrik akım Şiddeti (kV/cm)	Mikroorganizma						
	<i>E. coli</i> O157:H7	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Pseudomonas syringae</i> subs. <i>syringae</i>	<i>Erwinia carotovora</i>	<i>Penicillium expansum</i>	<i>Botrytis cinerea</i>
0	7.31±0.20 ^a	6.99±0.19 ^a	6.86±0.33 ^a	7.83±0.28 ^a	7.77±0.43 ^a	6.42±0.25 ^a	4.41±0.26 ^a
17	6.10±0.22 ^b	6.47±0.46 ^a	5.82±0.55 ^a	6.92±0.36 ^a	6.98±0.26 ^a	5.85±0.33 ^a	3.21±0.41 ^b
20	5.09±0.79 ^c	5.71±0.19 ^b	5.01±0.73 ^a	6.09±0.56 ^b	6.15±0.29 ^b	5.74±0.24 ^a	2.74±0.39 ^c
23	4.09±0.74 ^d	4.68±0.21 ^c	4.03±0.65 ^b	4.75±0.46 ^c	5.91±0.59 ^b	3.96±0.29 ^b	2.49±0.32 ^c
27	3.43±0.55 ^{de}	3.86±0.21 ^d	2.90±0.21 ^b	4.14±0.28 ^c	4.51±0.33 ^d	3.59±0.46 ^b	0.00±0.00 ^d
30	3.12±0.45 ^e	3.22±0.49 ^d	3.03±0.28 ^b	3.28±0.42 ^d	3.53±0.59 ^e	1.48±0.76 ^c	0.00±0.00 ^d
İnaktivasyon	4.19	3.76	3.82	4.55	4.24	4.94	4.41

* Mikroorganizma sayıları log₁₀ kob/ml olarak verilmiştir

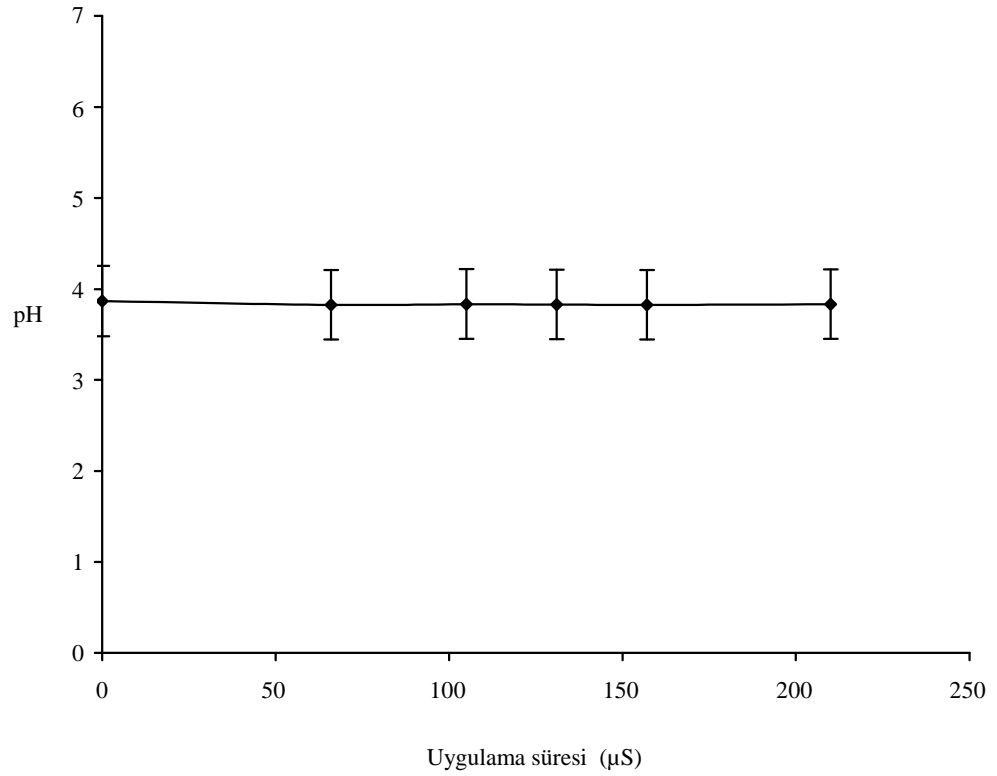
** Aynı sütun içerisinde farklı üstsel harflerle gösterilen veriler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (P≤0.05)



Şekil 4.24. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında *E. coli* O157:H7, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *P. syringae subs. syringae*, *P. expansum*, *E. carotovora* ve *B. cinerea* inaktivasyonu.

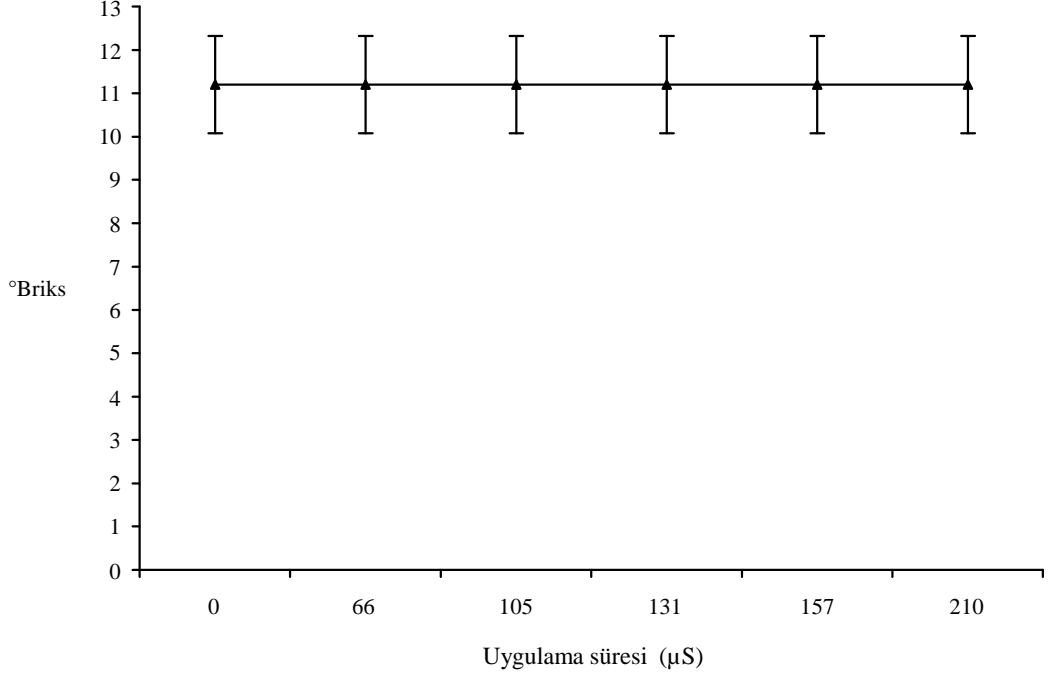
4.2.2. Atımlı elektrik akımı (PEF) uygulamasında uygulama süresinin kayısı nektarının fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkisi

PEF teknolojisi uygulamalarında uygulama süresinin fonksiyonu olarak yapılan pH ölçümlerinde kontrol örneklerindeki pH değeri 3.86 ± 0.035 olarak ölçülmüştür. Farklı uygulama sürelerinde yapılan ölçümlerde PEF teknolojisinin kayısı nektarının pH değeri üzerine herhangi bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır ($P > 0.05$) (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında pH ölçümü.

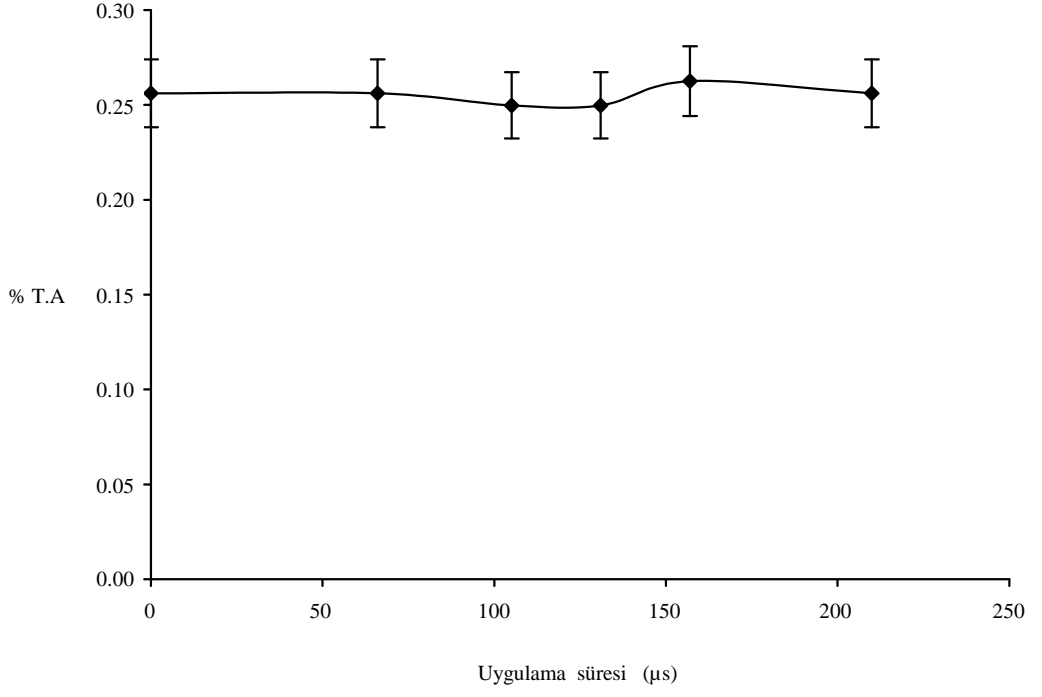
Kayısı nektarı °Briks ölçümlerinde kontrol örneğinin °Briks değeri 11.2 ± 0.02 olarak tespit edilmiş olup en uzun uygulama süresi olan 210 µs'de ise bu değer yine 11.2 ± 0.01 olarak ölçülmüş ve farklı uygulama süreleri sonucundaki °Briks değerleri ile kontrol örnekleri arasında önemli bir fark olmadığı tespit edilmiştir ($P > 0.05$) (Şekil 4).



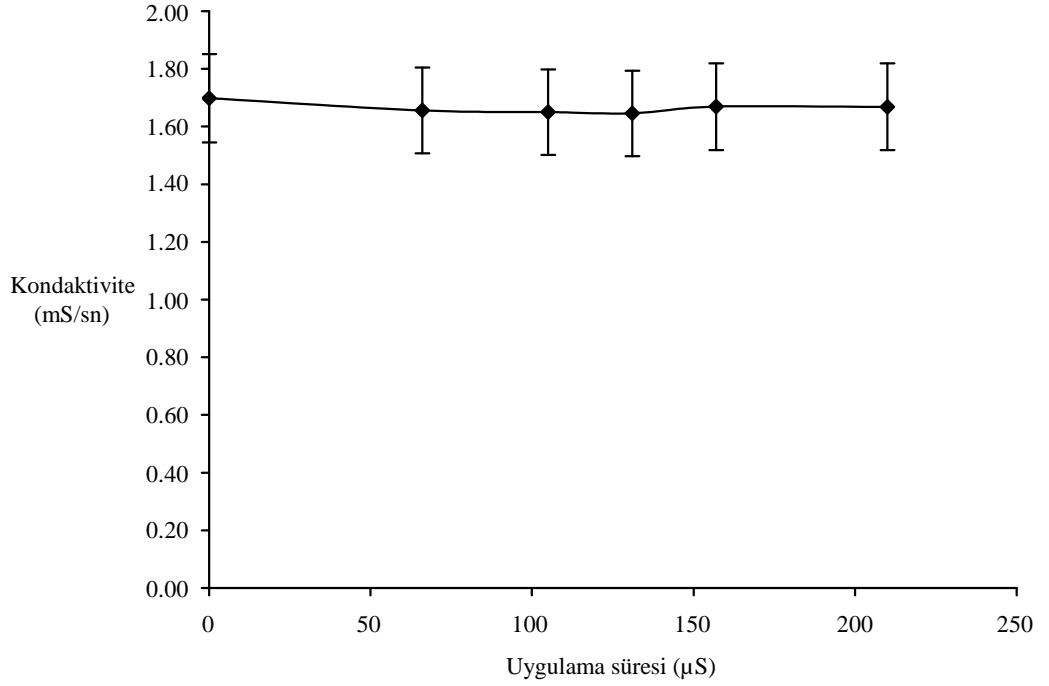
Şekil 4.26. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında °Briks ölçümü.

Kayısı nektarı kontrol örneğinde ölçülen TA değeri 0.26 ± 0.01 olup farklı uygulama sürelerinde işlenmiş kayısı nektarı titrasyon asitliği değerleri ile aralarında istatistiksel açıdan bir fark kaydedilmemiştir ($P > 0.05$) (Şekil 4.27).

Uygulama süresinin fonksiyonu olarak PEF teknolojisinin kayısı nektarı kondaktivite özellikleri üzerine etkisi araştırıldığında kontrol örneklerinde 1.698 ± 0.018 mS/cm olarak ölçülen kondaktivite değeri 66, 105, 131, 157 ve 210 µs sürelerinde işlenmiş kayısı nektarında sırasıyla 1.65 ± 0.004 , 1.65 ± 0.00 , 1.64 ± 0.004 , 1.66 ± 0.012 ve 1.66 ± 0.01 mS/cm olarak ölçülmüş olup işlenmiş kayısı nektarı ve işlenmemiş kayısı nektarları kondaktivite değerleri arasında önemli bir fark saptanmamıştır ($P > 0.05$) (Şekil 4.28).

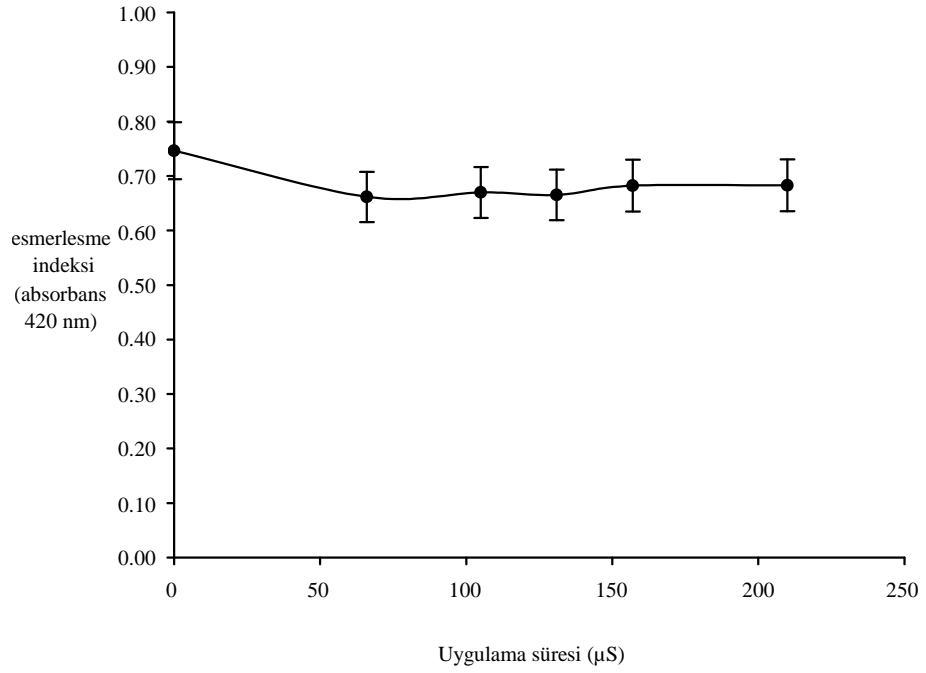


Şekil 4.27. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında titrasyon asitliği ölçümü.



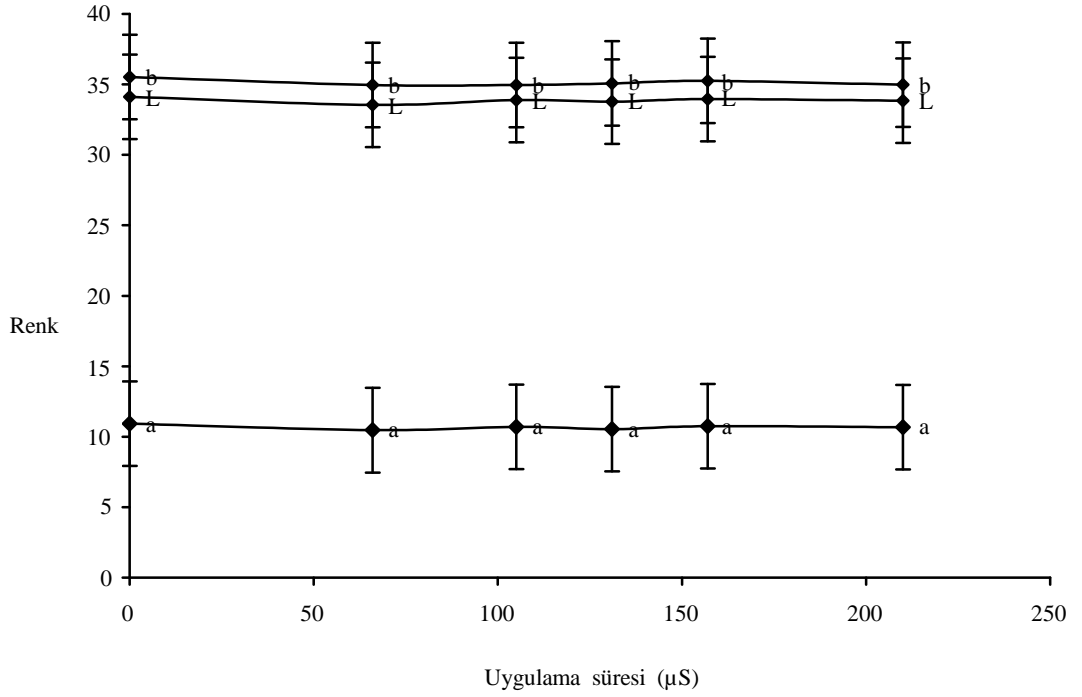
Şekil 4.28. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında kondaktivite ölçümü.

Kayısı nektarında esmerleşme indeksi değerlerinde uygulanan elektrik atımlarından kaynaklanabilecek değişimlerin ölçülmesi amacıyla yapılan analizlerinde 66, 105, 131, 157 ve 210 μs 'lik uygulama süreleri kullanılmıştır. Kontrol örneklerinde 0.74 ± 0.01 olarak ölçülen esmerleşme indeksi 210 μs 'lik uygulama sonucunda 0.68 ± 0.003 olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar ışığında PEF uygulamasının uygulama süresinin fonksiyonu olarak kayısı nektarı üzerine bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır ($P>0.05$) (Şekil 4.27).



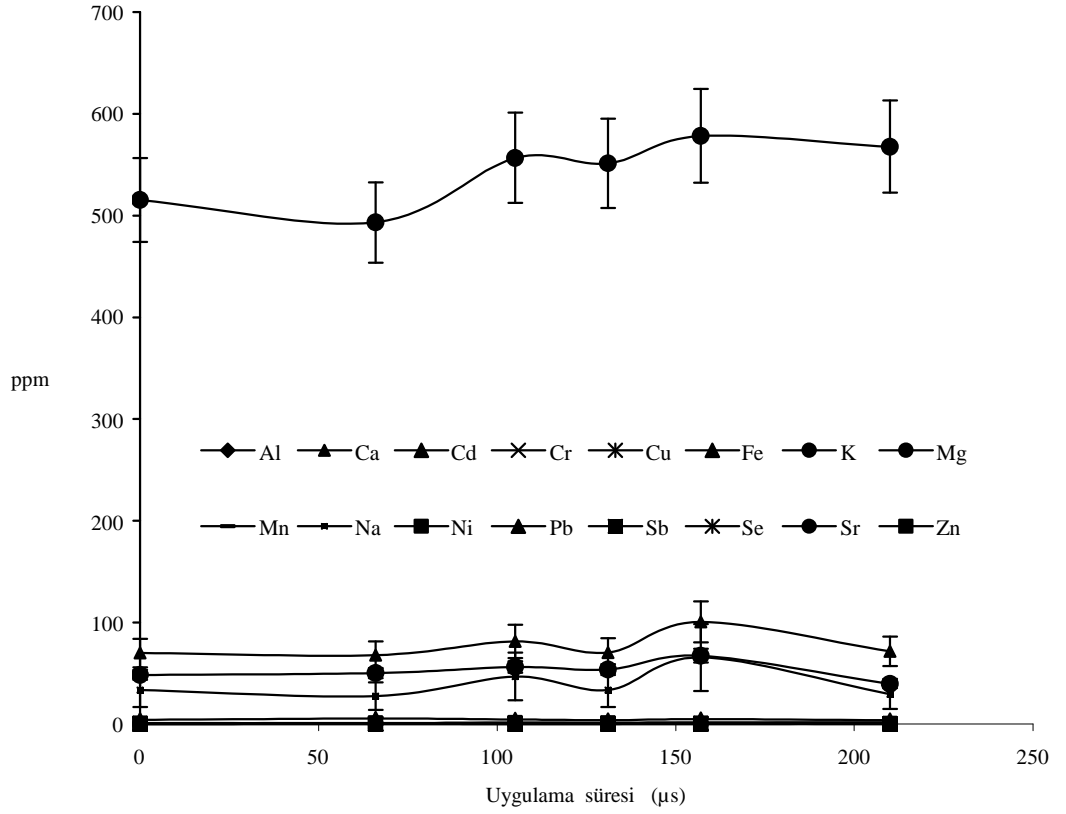
Şekil 4.29. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında esmerleşme indeksi ölçümü.

Kayısı nektarının yüksek voltajlı elektrik atım teknoloji ile işlenmesi sonrasında renk özellikleri incelendiğinde kontrol örneklerinde ölçülen renk değerleri (L: 34.1 ± 0.03 , a; 10.93 ± 0.02 ve b; 35.52 ± 0.053) ile 66, 105, 131, 157 ve 210 μs 'lik uygulamalar sonrasında ölçülen renk değerleri arasında bir fark bulunamamıştır ($P>0.05$) (Şekil 4.30).



Şekil 4.30. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında renk değerleri (L, a ve b) ölçümleri.

PEF teknolojisi ile pastörizasyon teknolojisinde uygulama süresinin kayısı nektarında metal iyon içeriğinde herhangi bir değişime neden olup olmadığı incelendiğinde artan uygulama süresinin kayısı nektarı metal iyon değerlerinde istatistiksel açıdan bir farklılık gözlenmemiştir ($P>0.05$)(Şekil 4.31). Kontrol örneklerinde en fazla potasyum iyonu bulunmuş ve 515.41 ± 6.60 ppm olarak kaydedilmiştir. Uygulanan en süre uzun proses süresi olan 210 μ s sununda potasyum miktarı 567.87 ± 10.86 ppm ölçülmüştür. Potasyum iyonundan sonra kayısı nektarında en fazla kalsiyum, magnezyum ve sodyum iyonlarına rastlanmıştır. Analiz sonucunda yüksek voltajlı elektrik atım teknolojisinin farklı uygulama sürelerinde işlenmiş kayısı nektarının metal iyon içeriğinde bir değişime neden olmadığı kaydedilmiştir ($P>0.05$) (Şekil 4.31).



Şekil 4.31. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında metal iyon içeriği ölçümleri.

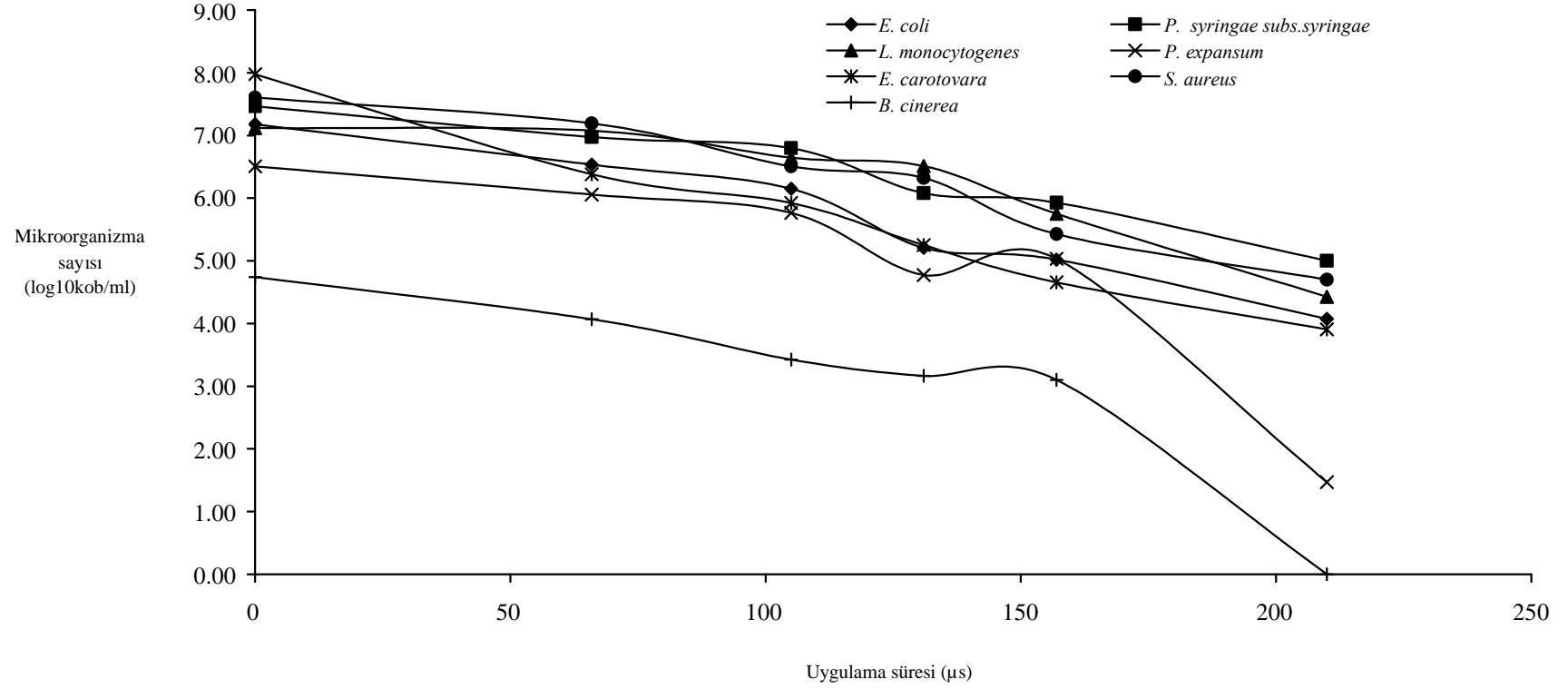
Yüksek voltajlı elektrik akım uygulamasında değişik uygulama süreleri baz alınmış ve 10^6 - 10^7 kob/ml olacak şekilde farklı mikroorganizmalarla inoküle edilmiş kayısı nektarı 66, 105, 131, 157 ve 210 μ s uygulama sürelerinde proses edilmiştir. Elde edilen bulgular uygulama süresindeki artışa paralel olarak inoküle edilen kültürlerin inaktivasyonunda artış kaydedildiğini göstermektedir. Uygulama süresine bağlı olarak en fazla inaktivasyon *P. expansum* ve *B. cinerea* funguslarında gerçekleşmiştir. Bu iki mikroorganizmayı sırasıyla *E. carotovora*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, *Pseudomonas syringae* subs. *syringae* ve *S. aureus* takip etmiştir (Şekil 4.32 ve Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarına inoküle edilen mikroorganizmaların inaktivasyonu.

Elektrik akım Şiddeti (kV/cm)	Mikroorganizma						
	<i>E. coli</i> O157:H7	<i>Staphylococcus</i> <i>aureus</i>	<i>Listeria</i> <i>monocytogenes</i>	<i>Pseudomonas</i> <i>syringae</i> subs. <i>syringae</i>	<i>Erwinia</i> <i>carotovara</i>	<i>Penicillium</i> <i>expansum</i>	<i>Botrytis</i> <i>cinerea</i>
0	7.18±0.41 ^a	7.61±0.34 ^a	7.12±0.33 ^a	7.47±0.24 ^a	7.97±0.31 ^a	6.51±0.19 ^a	4.74±0.12 ^a
66	6.53±0.31 ^{ab}	7.19±0.29 ^a	7.08±0.41 ^a	6.98±0.31 ^b	6.38±0.48 ^b	6.06±0.14 ^a	4.07±0.22 ^a
105	6.15±0.25 ^b	6.51±0.23 ^b	6.64±0.33 ^{ab}	6.80±0.38 ^b	5.92±0.56 ^c	5.77±0.26 ^a	3.43±0.22 ^b
131	5.21±0.54 ^b	6.32±0.33 ^b	6.51±0.26 ^b	6.08±0.51 ^{cd}	5.25±0.69 ^c	4.77±0.37 ^b	2.17±0.39 ^c
157	5.02±0.60 ^b	5.43±0.49 ^c	5.75±0.33 ^c	5.93±0.57 ^d	4.66±0.80 ^c	3.03±0.38 ^c	1.10±0.00 ^d
210	4.07±0.40 ^c	4.70±0.35 ^c	4.43±0.26 ^d	5.00±0.54 ^d	3.91±0.07 ^d	1.47±0.31 ^d	0.00±0.00 ^e
İnaktivasyon	3.1	2.37	2.66	2.46	4.07	5.04	4.74

* Mikroorganizma sayıları log₁₀ kob/ml olarak verilmiştir

** Aynı sütun içerisinde farklı üstsel harflerle gösterilen veriler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($P \leq 0.05$)

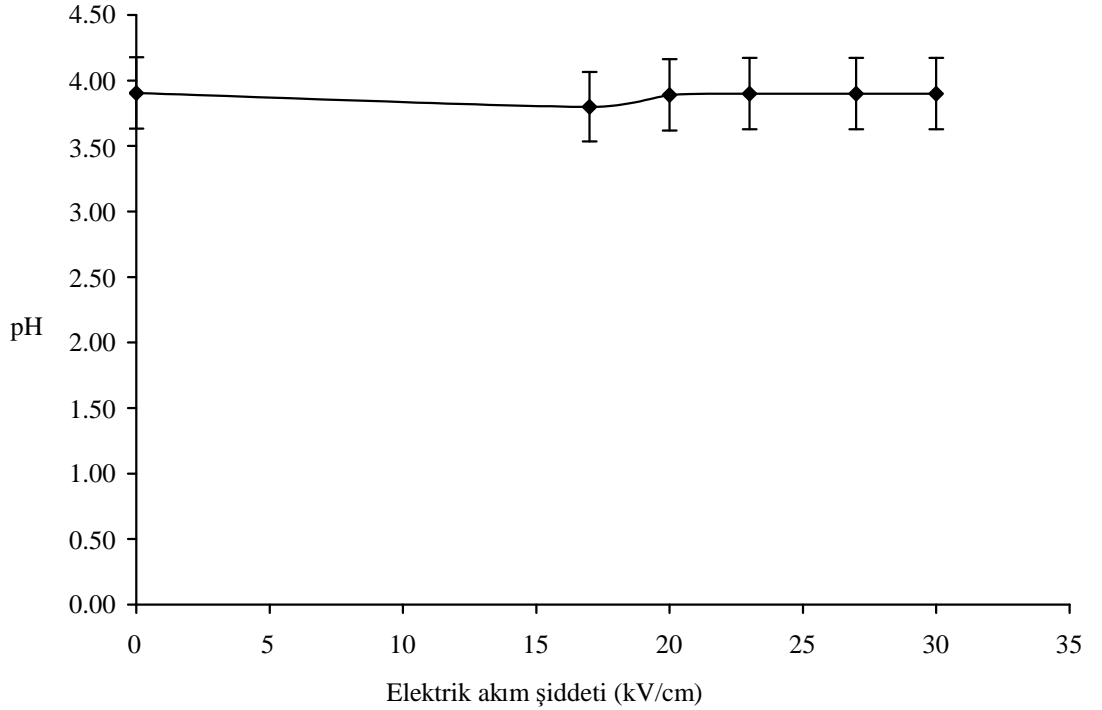


Şekil 4.32. Uygulama süresinin bir fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş kayısı nektarında *E. coli* O157:H7, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *P. syringae subs. syringae*, *P. expansum*, *E. carotovora* ve *B. cinerea* inaktivasyonu.

4.3. Şeftali Nektarında Fiziksel, Kimyasal ve Mikrobiyolojik Analizler

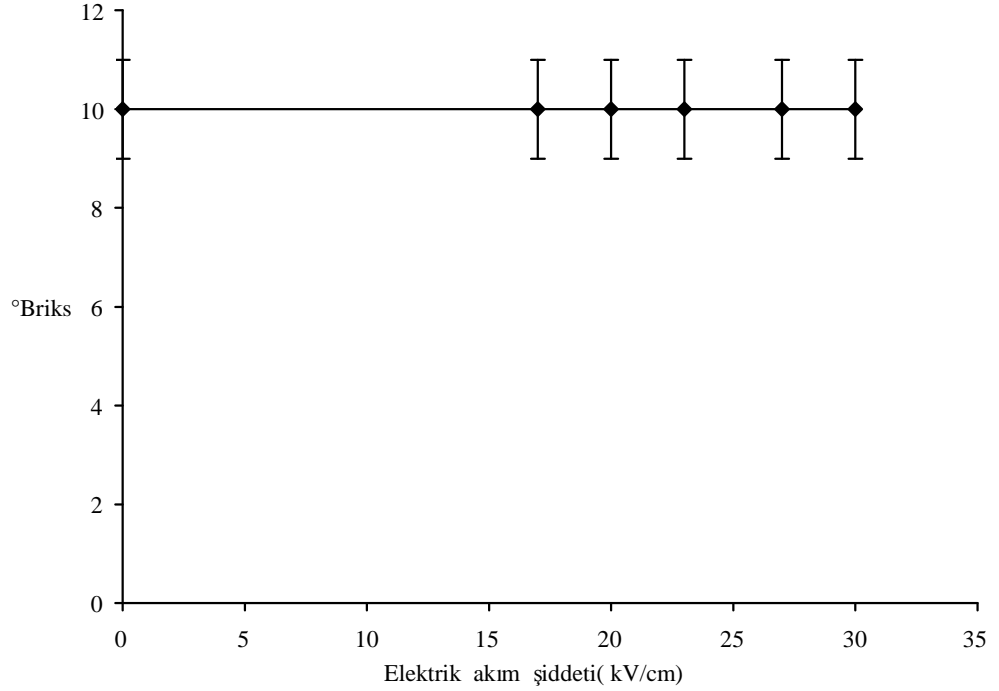
4.3.1. Atımlı elektrik akımı (PEF) uygulamasında elektrik akım şiddetinin şeftali nektarının fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkisi

Vişne suyu ve kayısı nektarına paralel olarak atımlı elektrik akımı ile işlenmiş şeftali nektarında asitlik, titrasyon asitliği, °Briks, kondaktivite, renk, esmerleşme indeksi ve metal iyon içeriği gibi fiziksel özelliklerde meydana gelmesi muhtemel değişiklikler incelenmiştir. Bununla birlikte inoküle edilen bakteri ve fungusların inaktivasyonu araştırılmıştır.

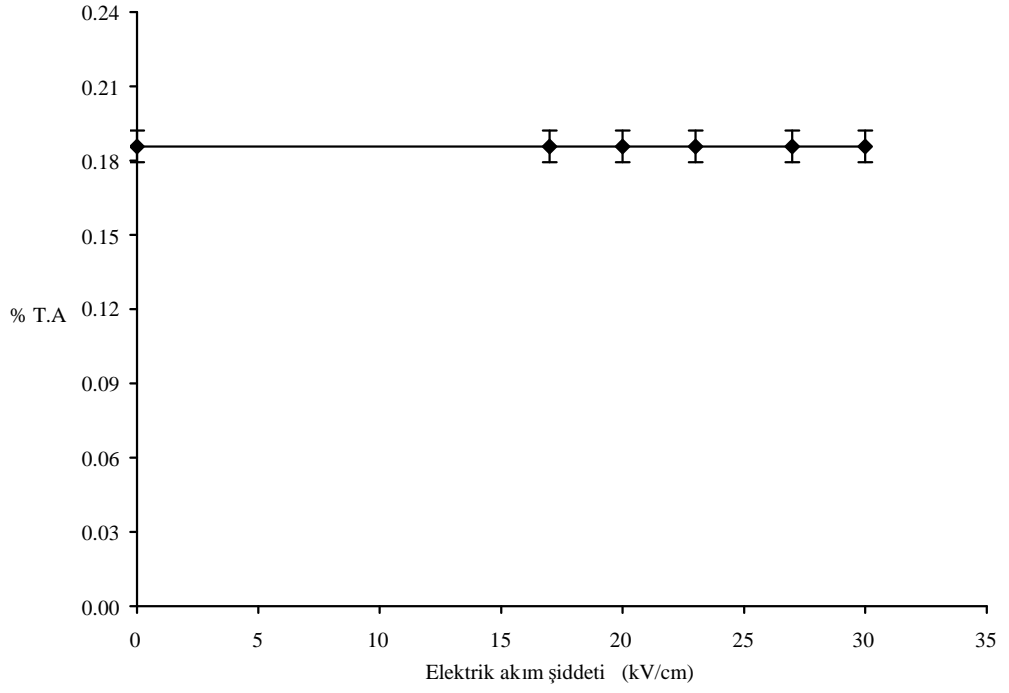


Şekil 4.33. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında pH ölçümü.

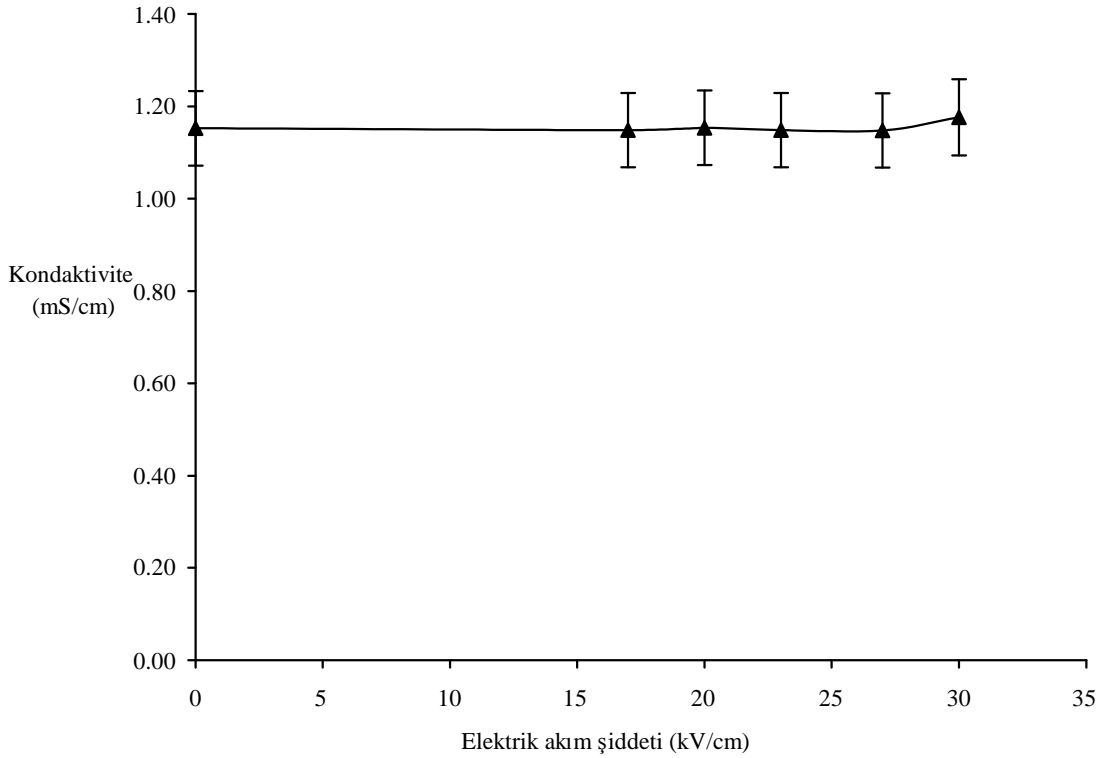
Şeftali nektarı kontrol örneklerindeki pH, °Briks, titrasyon asitliği ve kondaktivite değerleri sırasıyla 3.9 ± 0.005 , 10 ± 0.00 , 0.19 ± 0.01 ve 1.15 ± 0.03 mS/cm olarak ölçülmüştür. 17 kV/cm elektrik akım şiddetinde ölçülen değerler ise sırasıyla 3.8 ± 0.1 , 10 ± 0.02 , 0.19 ± 0.01 ve 1.14 ± 0.004 mS/cm'dir. Uygulanan en yüksek elektrik akım şiddetinde ise (30 kV/cm) yukarıdaki değerler sırasıyla 3.9 ± 0.00 , 10 ± 0.01 , 0.19 ± 0.01 ve 1.17 ± 0.037 mS/cm olarak kaydedilmiştir. Bu değerler doğrultusunda PEF teknolojisinin şeftali nektarının pH, °Briks, titrasyon asitliği ve kondaktivitesi üzerinde önemli sayılabilecek bir değişikliğe neden olmadığı belirlenmiştir (Şekil 4.33, 4.34, 4.35, 4.36).



Şekil 4.34. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında °Briks ölçümü.

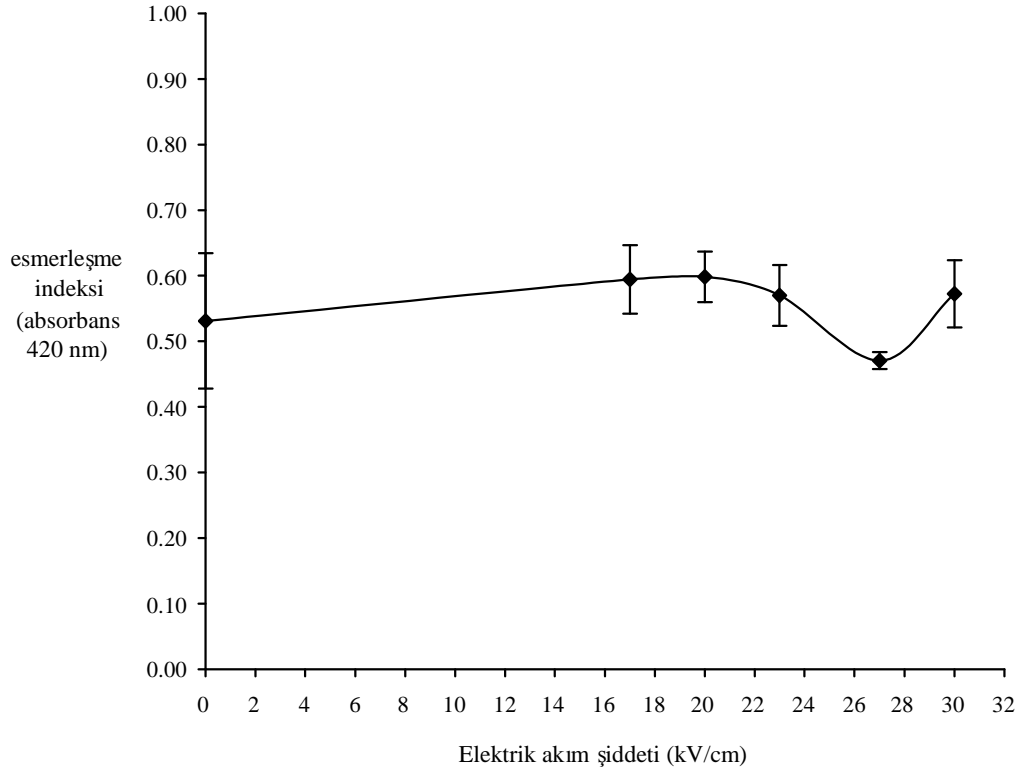


Şekil 4.35. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında titrasyon asitliği ölçümü



Şekil 4.36. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında kondaktivite ölçümü.

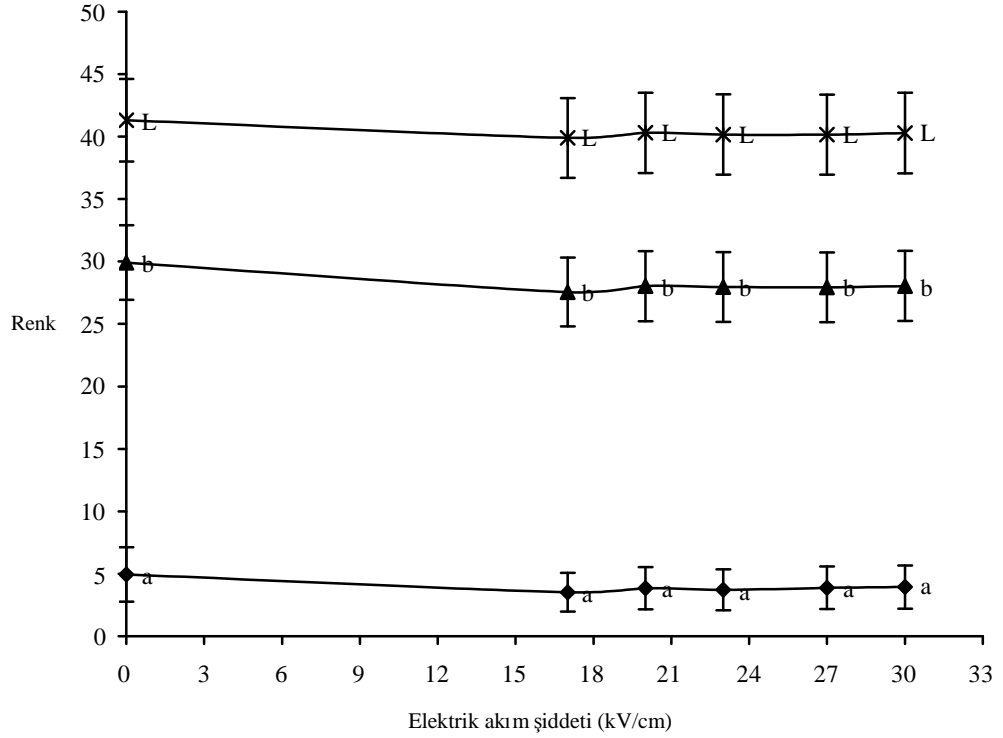
PEF teknolojisi uygulamasının elektrik akım şiddetinin bir fonksiyonu olarak işlenmiş şeftali nektarının esmerleşme indeksi üzerine etkileri araştırıldığında uygulanan en yüksek voltaj değerinde (30 kV/cm) okunan değer 0.57 ± 0.05 'tir. Uygulanan en düşük elektrik akım şiddetinde (17 kV/cm) ise esmerleşme indeksi değeri ise 0.59 ± 0.05 olarak ölçülmüştür. Bu değerler kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında, (kontrol örneklerinde okunan esmerleşme indeksi değeri 0.53 ± 0.1 'dir) farklı seviyelerde uygulanan elektrik akım şiddetinin şeftali nektarının esmerleşme indeksi üzerine istatistiksel olarak önemli sayılabilecek bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır ($P > 0.05$) (Şekil 4.37).



Şekil 4.37. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında esmerleşme indeksi değerleri.

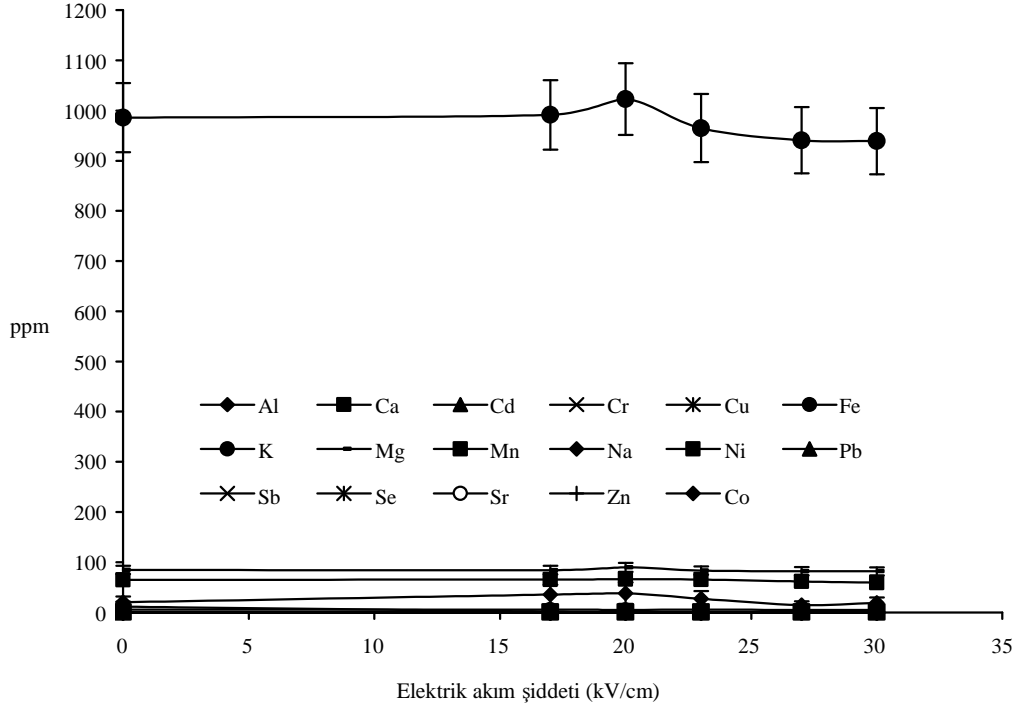
Şeftali nektarının renk özelliklerine bakıldığında ise kontrol örneklerinde ölçülen L değeri 41.3 ± 0.22 , a değeri 4.94 ± 0.19 , b değeri ise 29.91 ± 0.41 olarak kaydedilmiştir. Elektrik akım şiddetinin bir fonksiyonu olarak şeftali nektarında renk özellikleri ise uygulanan en yüksek elektrik akım şiddeti olan 30 kV/cm'de L, a ve b değerleri sırasıyla 40.29 ± 0.16 , 3.93 ± 0.17 ve 28.04 ± 0.3 olarak okunmuştur. Elde edilen verilere göre kontrol

ve değişik oranlarda elektrik akım şiddetine maruz kalmış Şeftali nektarı örneklerinin renk değerleri arasında önemli bir fark yoktur ($P>0.05$) (Şekil 4.38).



Şekil 4.38. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş Şeftali nektarında renk değerleri (L, a ve b) ölçümü.

Şeftali nektarının metal iyon içeriği ölçümlerinde en fazla miktarda bulunan potasyum iyonunun kontrol örneklerindeki miktarı 985.83 ± 42.96 ppm olarak okunmuştur. Örneklerde potasyum iyonundan sonra yine en fazla miktarda sırasıyla magnezyum, kalsiyum ve sodyum iyonlarına rastlanılmıştır. Bu değerler kontrol örneklerinde sırasıyla 84.67 ± 4.41 , 64.56 ± 3.65 ve 20.47 ± 5.38 ppm'dir. Şeftali nektarının değişik elektrik akım şiddetleri (17, 20, 23, 27 ve 30 kV/cm) kullanılarak yüksek voltajlı elektrik akımı ile işlenmesi sonucunda içeriğindeki metal iyonu miktarlarında önemli bir değişim gözlenmemiştir ($P>0.05$) (Şekil 4.39).



Şekil 4.39. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında metal iyon değerleri ölçümü.

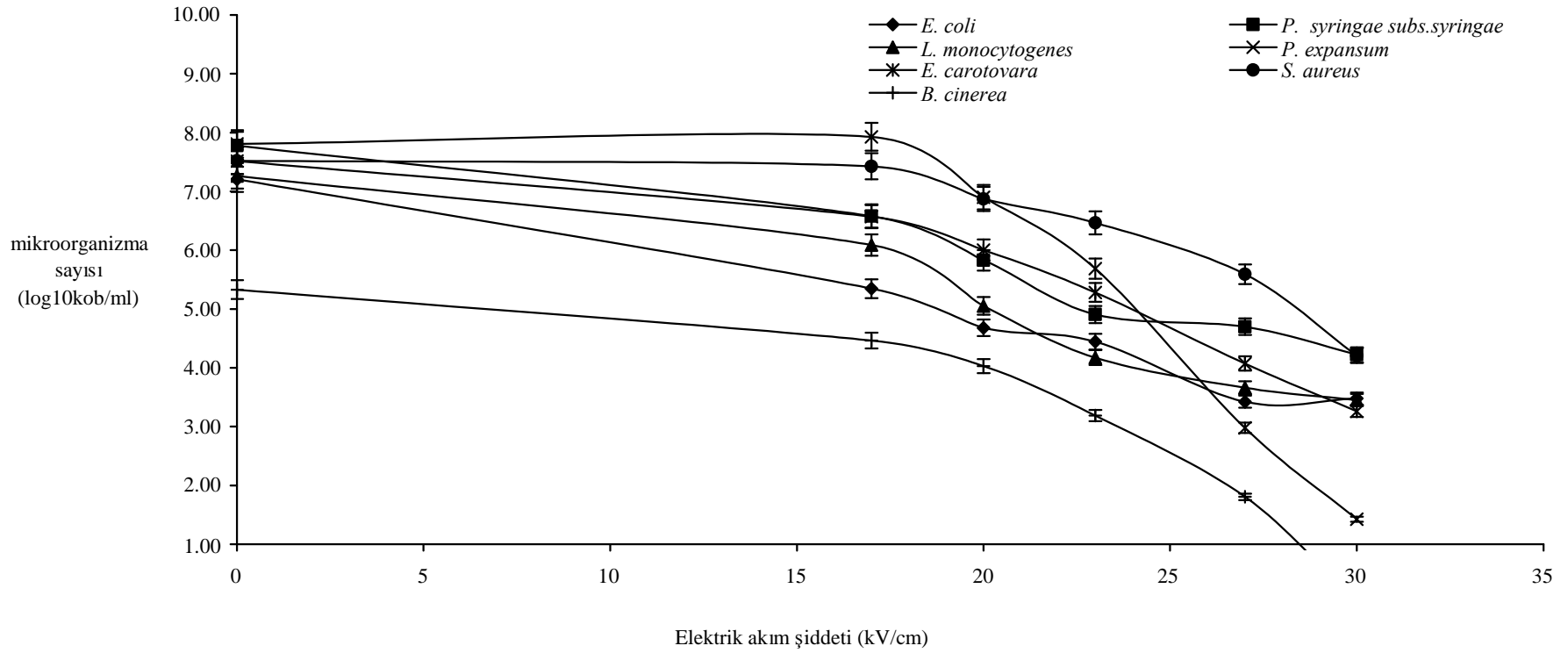
Şeftali nektarına 10^6 - 10^7 \log_{10} kob/ml seviyesinde inoküle edilen *E. coli* O157:H7, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *P. syringae* subs. *syringae*, *P. expansum*, *E. carotovora* ve *B. cinerea* benzer şekilde 0, 17, 20, 23, 27 ve 30 kV/cm elektrik akım şiddetlerine maruz bırakılmıştır. Elde edilen inaktivasyon değerleri *P. expansum*, *B. cinerea*, *P. syringae* subs. *syringae*, *E. carotovora*, *L. monocytogenes*, *E. coli* O157:H7 ve *S. aureus* için sırasıyla 6.39, 5.33, 4.30, 4.26, 3.75, 3.73 ve 3.32 \log_{10} kob/ml olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.40 ve Şekil 4.5).

Çizelge 4.5. Elektrik akım şiddetinin bir fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarına inoküle edilen mikroorganizmaların inaktivasyonu.

Elektrik Akım Şiddeti (kV/cm)	Mikroorganizma						
	<i>E. coli</i> O157:H7	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Pseudomonas syringae</i> subs. <i>syringae</i>	<i>Erwinia carotovora</i>	<i>Penicillium expansum</i>	<i>Botrytis cinerea</i>
0	7.21±0.45 ^a	7.52±0.25 ^a	7.26±0.23 ^a	7.78±0.23 ^a	7.52±0.28 ^a	7.81±0.66 ^a	5.33±0.85 ^a
17	5.35±0.30 ^b	7.43±0.27 ^a	6.09±0.27 ^b	6.58±0.36 ^b	6.57±0.39 ^a	7.93±0.66 ^a	4.47±0.43 ^a
20	4.68±0.17 ^c	6.87±0.17 ^a	5.05±0.37 ^c	5.83±0.48 ^c	6.00±0.54 ^b	6.90±0.57 ^b	4.03±0.53 ^a
23	4.44±0.50 ^c	6.46±0.18 ^b	4.17±0.34 ^d	4.91±0.41 ^c	5.28±0.66 ^b	5.69±0.59 ^c	3.19±0.37 ^b
27	3.42±0.25 ^d	5.59±0.45 ^c	3.66±0.34 ^e	4.70±0.52 ^c	4.07±0.63 ^c	2.98±1.03 ^d	1.81±0.53 ^c
30	3.48±0.74 ^d	4.21±0.35 ^d	3.45±0.47 ^e	4.22±0.19 ^c	3.26±0.47 ^d	1.42±0.42 ^e	0.00±0.00 ^d
İnaktivasyon	3.73	3.32	3.75	4.30	4.26	6.39	5.33

* Mikroorganizma sayıları log₁₀ kob/ml olarak verilmiştir

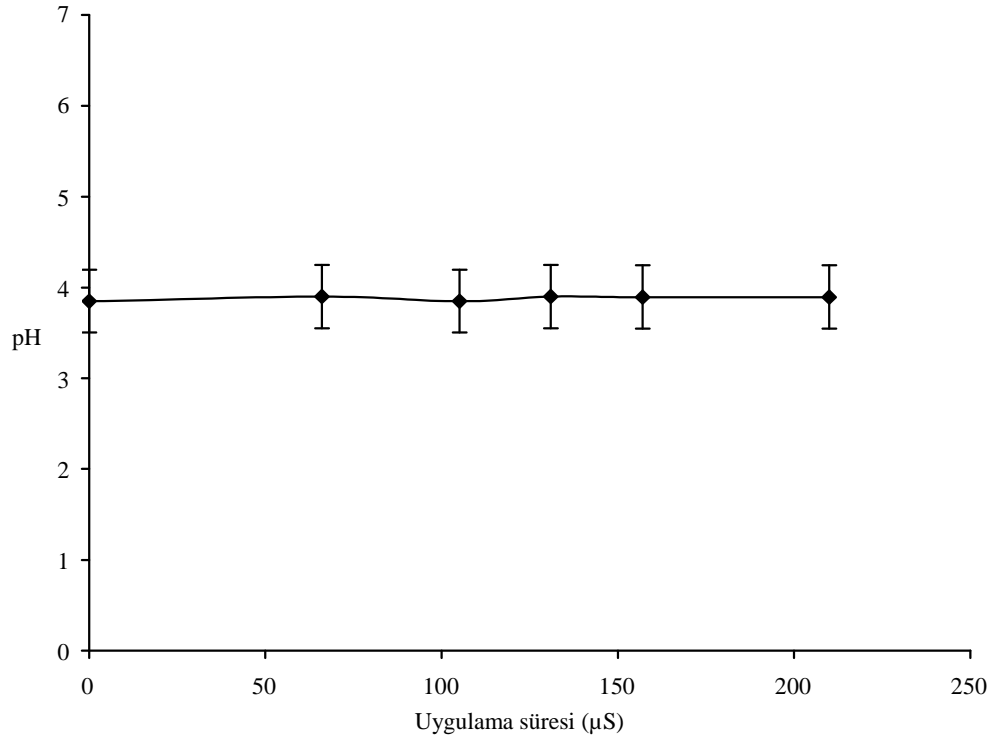
** Aynı sütun içerisinde farklı üstsel harflerle gösterilen veriler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (P≤0.05)



Sekil 4.40. Elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında *E. coli* O157:H7, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *P. syringae subs. syringae*, *P. expansum*, *E. carotovora* ve *B. cinerea* inaktivasyonu.

4.3.2. Atımlı elektrik akımı (PEF) uygulamasında uygulama süresinin şeftali nektarının fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkisi

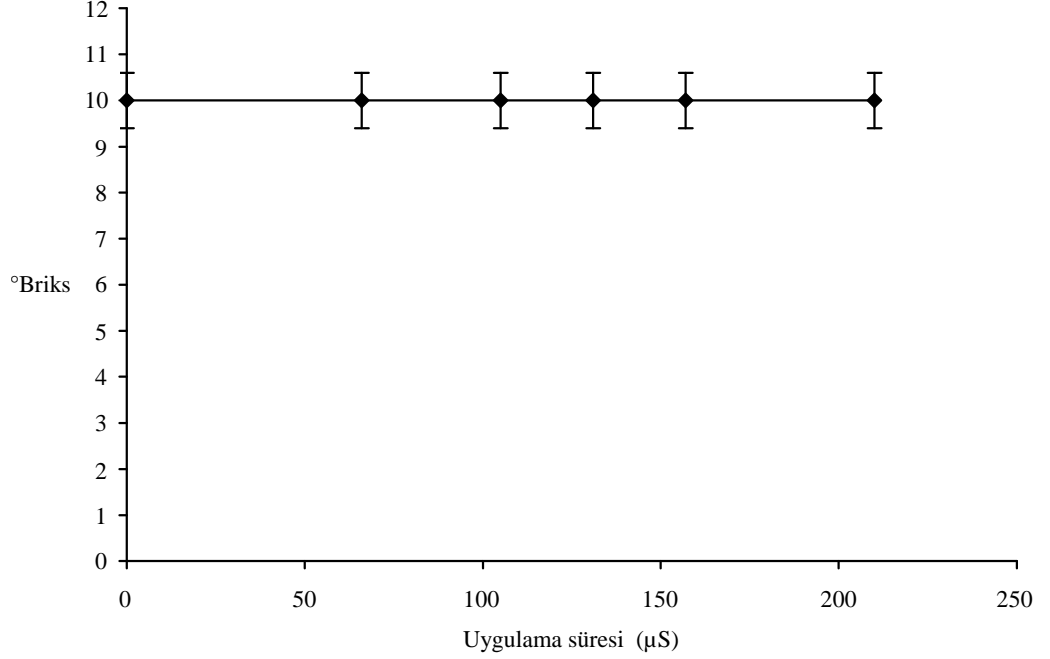
Yüksek voltajlı elektrik akım uygulamasının şeftali nektarının pH'sı üzerine uygulama süresinin etkisi incelendiğinde kontrol örneklerinin pH'sı 3.85 ± 0.05 olarak ölçülmüştür. Buna karşılık 66, 105, 131, 157 ve 210 μ s'lik uygulama sürelerinde ölçülen pH değerleri sırasıyla 3.9 ± 0.02 , 3.85 ± 0.05 , 3.9 ± 0.04 , 3.8 ± 0.005 ve 3.8 ± 0.005 'tir. Ölçülen bu değerler doğrultusunda yüksek voltajlı elektrik atımı teknolojisinin şeftali nektarı pH özelliği üzerinde uygulama süresi bazında bir değişikliğe yol açmadığı sonucuna varılmıştır ($P > 0.05$) (Şekil 4.41).



Şekil 4.41. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında pH ölçümü.

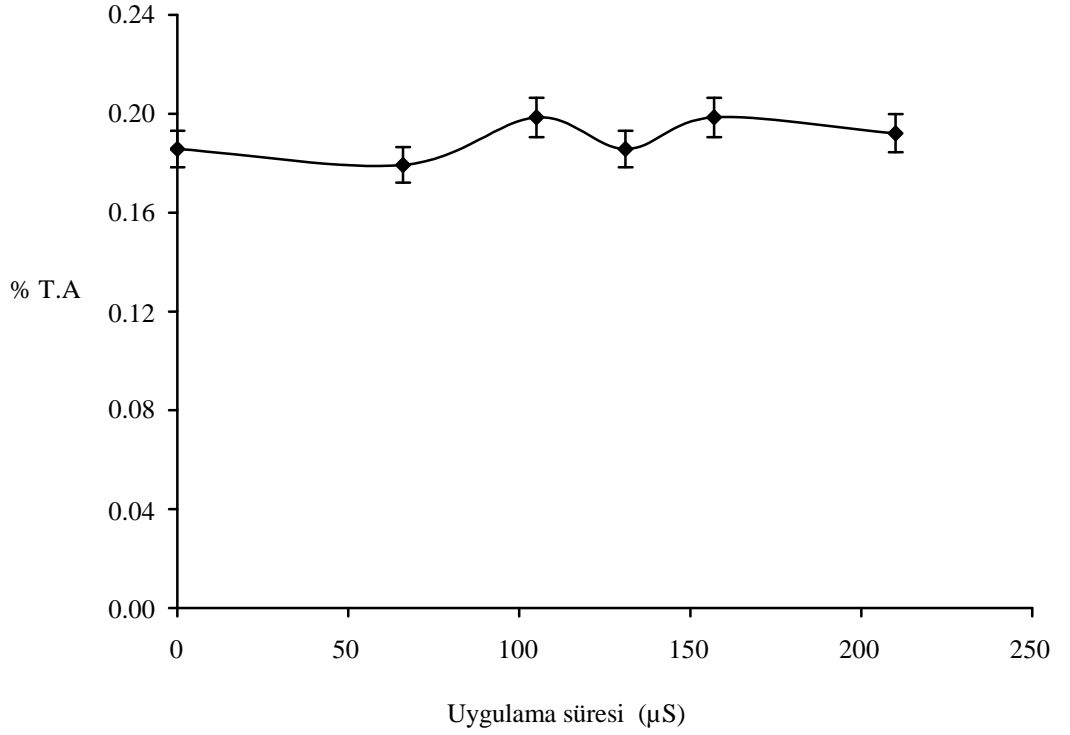
PEF teknolojisi uygulamasında elektrik akım uygulama süresinin şeftali nektarının °Briks değerleri üzerine etkisi incelendiğinde kontrol örneklerinin °Briks

değeri 10 ± 0.4 olarak ölçülmüştür. Uygulanan farklı sürelerde ise şeftali nektarının °Briks değerlerinde herhangi istatistiksel olarak bir farklılık gözlenmemiştir ($P>0.05$) (Şekil 4.42).



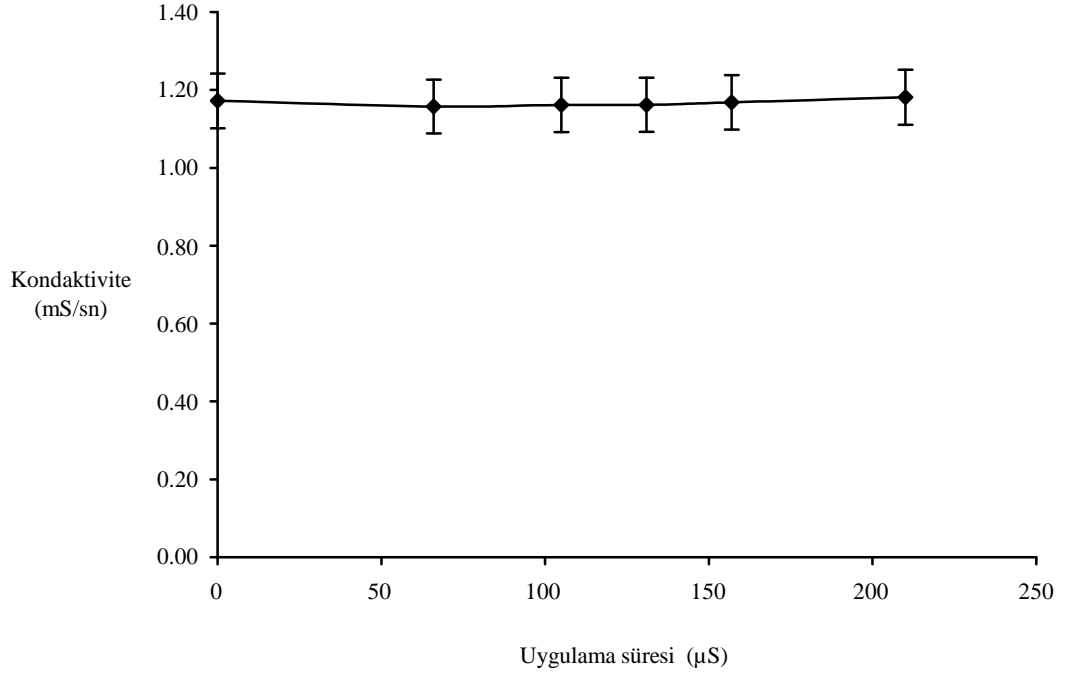
Şekil 4.42. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında °Briks ölçümü.

PEF prosesinde şeftali nektarında uygulama süresinin en uzun olduğu 210 µs'lik uygulamada elde edilen titrasyon asitliği değeri 0.19 ± 0.00 'dir. Bununla birlikte şeftali nektarı kontrol örneklerinde elde edilen değerlerin ortalaması 0.19 ± 0.01 olarak gözlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında PEF teknolojisi uygulamasının şeftali nektarı titrasyon asitliği özelliği üzerine etkisinin olmadığı anlaşılmış ve kontrol örnekleri ile işlenmiş örnekler arasında bir fark saptanmamıştır ($P>0.05$) (Şekil 4.43).



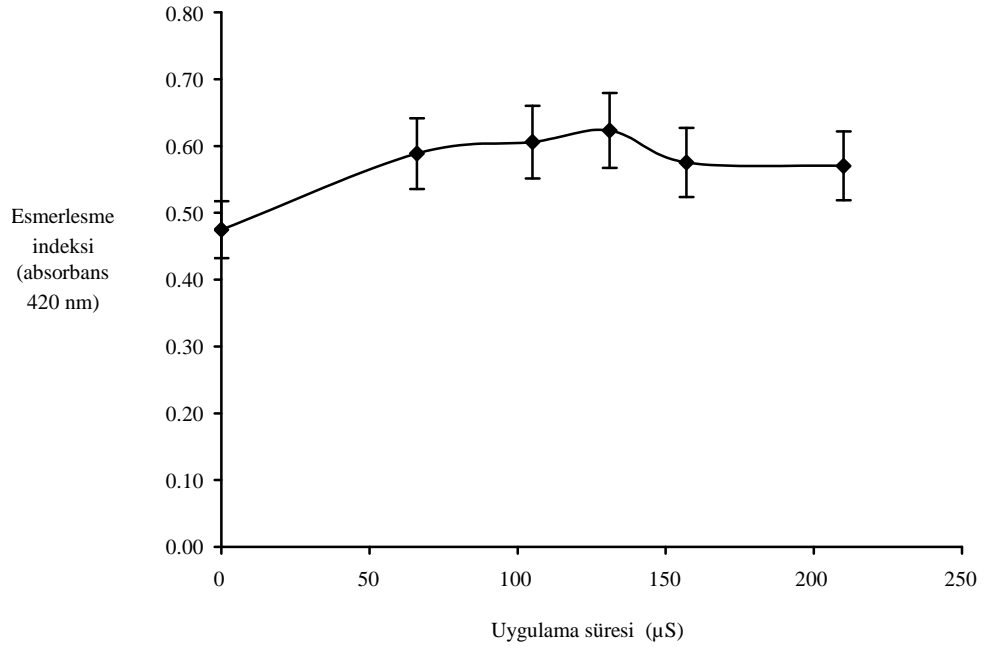
Şekil 4.43. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında titrasyon asitliği ölçümü.

PEF teknolojisi ile işlenen şeftali nektarında uygulama süresinin bir fonksiyonu olarak 66, 105, 131, 157 ve 210 µs'lik uygulama sürelerinde ölçülen kondaktivite değerleri sırasıyla 1.15 ± 0.02 , 1.16 ± 0.02 , 1.16 ± 0.01 , 1.16 ± 0.007 ve 1.18 ± 0.008 mS/cm'dir. Kontrol örneği kondaktivite değeri ise 1.17 ± 0.004 mS/cm olarak ölçülmüştür. Bu değerler ışığında PEF teknolojisi uygulamasında uygulama süresinin bir fonksiyonu olarak işlenen şeftali nektarı iletkenlik değeri ile kontrol örnekleri kondaktivite değerleri arasında bir fark yoktur ($P > 0.05$) (Şekil 4.44).

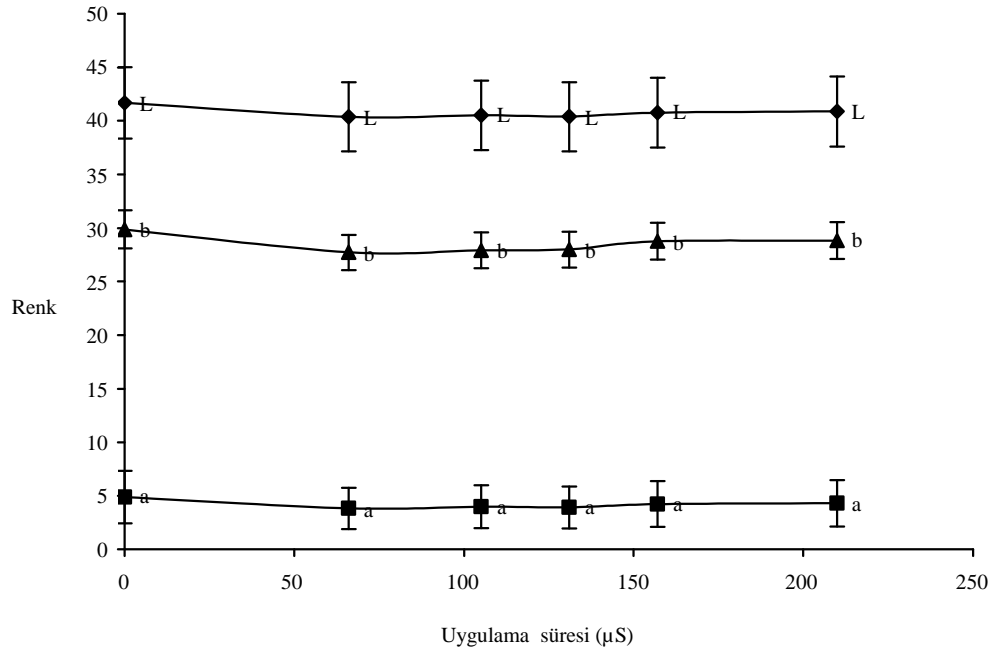


Şekil 4.44. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında kondaktivite ölçümü.

PEF teknolojisinin şeftali nektarının esmerleşme indeksi ve renk özellikleri üzerine etkisi incelendiğinde kontrol örneklerindeki esmerleşme indeksi değeri 0.47 ± 0.002 olarak, renk değerleri ise L: 41.67 ± 0.3 , a: 4.88 ± 0.5 ve b: 29.87 ± 0.5 olarak kaydedilmiştir. Yapılan analizler sonucunda PEF teknolojisi uygulamasının farklı uygulama sürelerinde işlenmiş şeftali nektarının renk ve esmerleşme indeksi değerleri üzerine bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir ($P > 0.05$) (Şekil 4.45 ve 4.46).

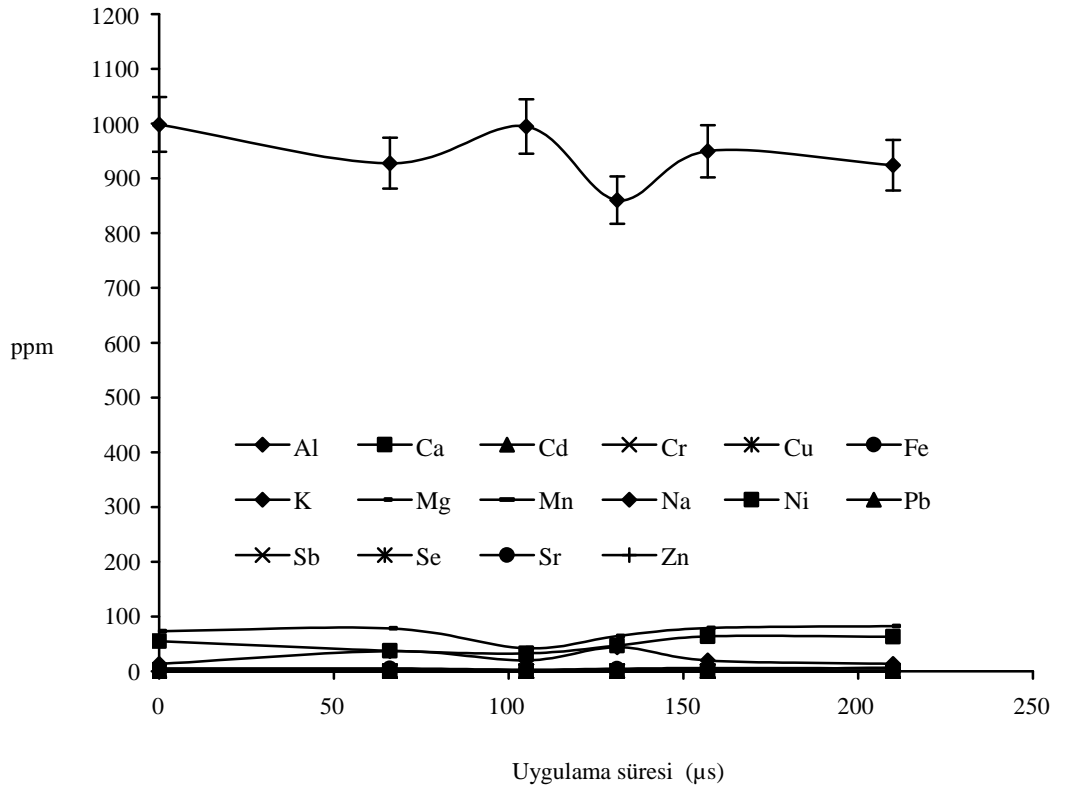


Şekil 4.45. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında esmerleşme indeksi ölçümü.



Şekil 4.46. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında renk değerleri (L, a ve b) ölçümü.

Yüksek voltajlı atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında metal iyon içeriğinin anlaşılması amacıyla farklı uygulama sürelerinde işlenmiş şeftali nektarında metal iyon ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde sonucunda şeftali nektarında en fazla potasyum bulunmuş ve daha sonra sırasıyla magnezyum, kalsiyum ve sodyum miktarların en fazla bulunan iyonlar olmuştur. Potasyum, magnezyum, kalsiyum ve sodyum iyonların kontrol örneklerindeki değerleri sırasıyla 998.45 ± 148.58 , 73.13 ± 15.07 , 54.8 ± 17.75 ve 13.59 ± 2.76 ppm'dir. Yapılan analizde en uzun uygulama süresi olan 210 μ s de ise okunan değerler sırasıyla 923.89 ± 22.17 , 82.24 ± 6.13 , 63.15 ± 6.54 ve 13.53 ± 1.55 ppm olarak ölçülmüştür. Elde edilen değerler uygulama süresinin fonksiyonu olarak PEF teknolojisi uygulamasının şeftali nektarının metal iyon içeriği üzerine önemli bir etkisi olmadığını göstermektedir ($P > 0.05$) (Şekil 4.47).



Şekil 4.47. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında metal iyonların ölçümü.

Yüksek voltajlı elektrik atımlı elektrik akım uygulamasının şeftali nektarı içerisindeki mikrobiyal inaktivasyon etkisi araştırılmış ve farklı uygulama süreleri (0,

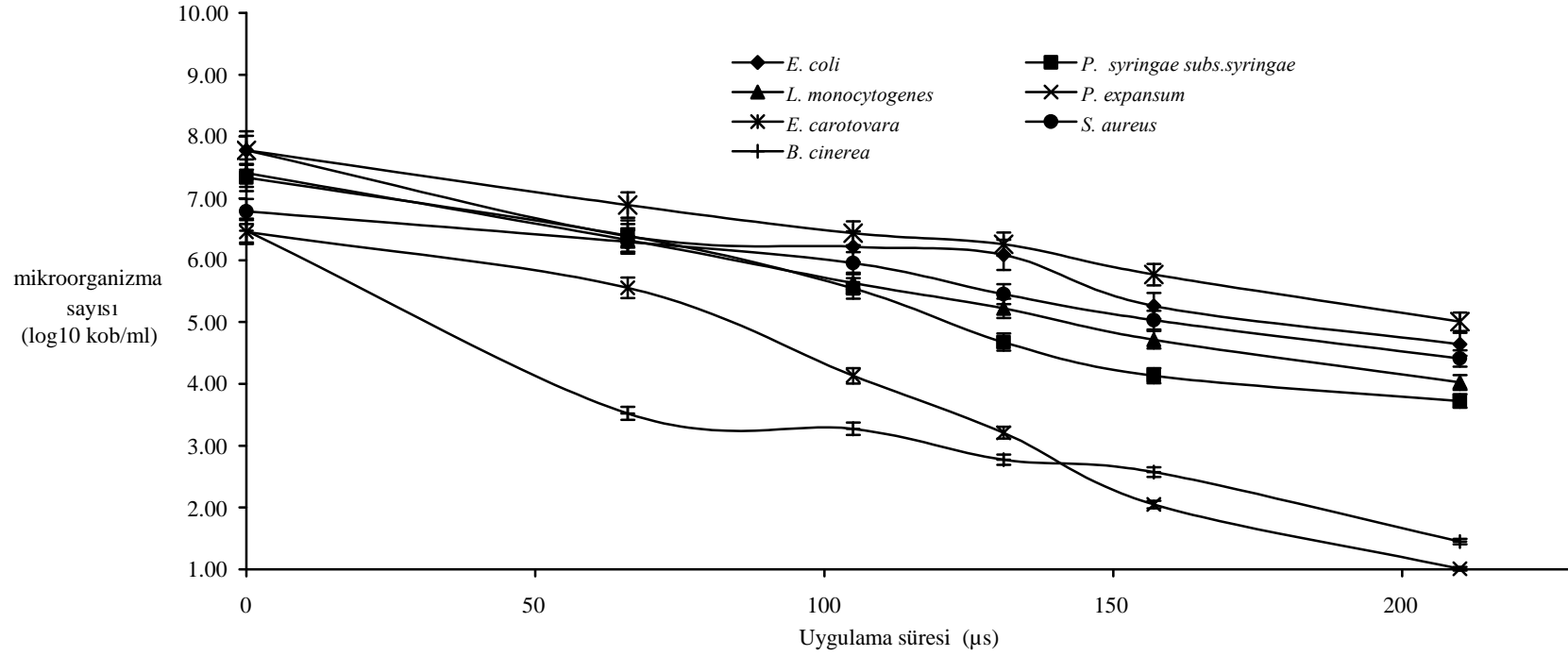
66, 105, 131, 157 ve 210 μ s) ve farklı mikroorganizma türleri baz alınarak yapılmış mikrobiyal denemeler sonucunda atımlı elektrik akım teknolojisinin vişne suyu ve kayısı nektarında olduğu gibi şeftali nektarı içerisine inoküle edilmiş mikroorganizmalar üzerine inaktivasyon etkisinin olduğu ve inaktivasyonun artan uygulama süresine paralel olarak arttığı kaydedilmiştir ($P>0.05$). İnaktivasyon sıralamasına bakıldığında en fazla inaktivasyon 5.45 \log_{10} kob/ml ile *P. expansum* 'da gerçekleşmiştir. Bunu sırasıyla *B. cinerea*, *E. carotovara*, *P. syringae* subs. *syringae*, *L. monocytogenes*, *E. coli* O157:H7 ve *S. aureus* takip etmiştir (Çizelge 4.6 ve Şekil 4.48).

Çizelge 4.6. Uygulama süresinin bir fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarına inoküle edilen mikroorganizmaların inaktivasyonu.

Elektrik Akım Şiddeti (kV/cm)	Mikroorganizma						
	<i>E. coli</i> O157:H7	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Pseudomonas syringae</i> subs. <i>syringae</i>	<i>Erwinia carotovora</i>	<i>Penicillium expansum</i>	<i>Botrytis cinerea</i>
0	7.78±0.36 ^a	6.79±0.17 ^a	7.41±0.29 ^a	7.34±0.47 ^a	7.78±0.30 ^a	6.46±0.71 ^a	6.48±0.33 ^a
66	6.39±0.97 ^b	6.30±0.18 ^b	6.32±0.41 ^b	6.39±0.33 ^b	6.89±0.19 ^a	5.56±0.64 ^b	3.52±0.28 ^b
105	6.22±0.51 ^b	5.95±0.41 ^c	5.63±0.32 ^c	5.54±0.33 ^c	6.44±0.35 ^{ab}	4.13±0.80 ^{bc}	3.27±0.18 ^b
131	6.09±0.52 ^b	5.45±0.26 ^c	5.22±0.28 ^c	4.68±0.37 ^d	6.26±0.23 ^b	3.21±0.74 ^c	2.77±0.51 ^{bc}
157	5.26±0.46 ^c	5.03±0.47 ^c	4.71±0.45 ^d	4.13±0.40 ^d	5.77±0.34 ^c	2.05±0.49 ^d	2.57±0.46 ^c
210	4.64±0.46 ^d	4.41±0.35 ^d	4.02±1.00 ^d	3.72±0.21 ^e	4.01±0.36 ^d	1.01±0.59 ^e	1.45±0.24 ^d
İnaktivasyon	3.13	2.38	3.39	3.61	3.77	5.45	5.03

* Mikroorganizma sayıları log₁₀ kob/ml olarak verilmiştir

** Aynı sütun içerisinde farklı üstsel harflerle gösterilen veriler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($P \leq 0.05$).



Şekil 4.48. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak atımlı elektrik akım teknolojisi ile işlenmiş şeftali nektarında *E. coli* O157:H7, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *P. syringae subs. syringae*, *P. expansum*, *E. carotovora* ve *B. cinerea* inaktivasyonu.

Çalışma kapsamında vişne suyu, kayısı ve şeftali nektarları elektrik akım şiddeti ve uygulama süresinin fonksiyonu olarak proses edilmiş ve proses öncesi ve sonrasında pH, TA, °Briks, kondaktivite, renk (L, a ve b), esmerleşme indeksi ve metal iyon konsantrasyonları ölçülmüş olup, aynı proses şartlarında vişne suyu, kayısı ve şeftali nektarlarına inoküle edilen *E. coli* O157:H7, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *P. syringae* subs. *syringae*, *P. expansum*, *E. carotovora* ve *B. cinerea*'nın inaktivasyonu incelenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda artan elektrik akımı ve uygulama süresinin vişne suyu, kayısı ve şeftali nektarlarının pH, TA, °Briks, kondaktivite, renk (L, a ve b), esmerleşme indeksi ve metal iyon konsantrasyonlarında önemli bir değişime neden olmadığı tespit edilmiştir ($P>0.05$). Buna karşın artan elektrik akım şiddeti ve uygulama süresi inoküle edilen mikroorganizmalarda önemli sayılabilecek bir azalmaya neden olmuştur.

Vişne suyu, kayısı ve şeftali nektarlarının pH değerleri sırasıyla 3.19 ± 0.01 , 3.8 ± 0.02 ve 3.9 ± 0.005 olarak tespit edilmiştir. 30 kV/cm elektrik akım şiddeti uygulaması sonucunda bu değerler sırasıyla 3.21 ± 0.03 , 3.82 ± 0.003 ve 3.9 ± 0.00 olarak tespit edilmiştir. Uygulama süresinin en fazla olduğu 210 μ s'de ise pH değerleri sırasıyla 3.22 ± 0.00 , 3.86 ± 0.03 ve 3.80 ± 0.005 olarak belirlenmiştir. Elektrik akım şiddeti ve uygulama süresi örneklerin pH değerlerinde bir değişime yol açmamıştır. Bununla birlikte kayısı ve şeftali nektarlarının pH değeri arasında bir fark bulunmazken vişne suyunun pH değerinin her iki nektarınkinden önemli oranda düşük olduğu tespit edilmiştir ($P\leq 0.05$).

Titrasyon asitliği değerlerine bakıldığında ise vişne suyunun TA değeri 1.4 ± 0.08 , kayısı ve şeftali nektarlarında 0.26 ± 0.01 ve 0.19 ± 0.01 olarak ölçülmüştür. Elektrik akım şiddetinin 30kV/cm olduğu durumda TA değerleri sırasıyla 1.31 ± 0.14 , 0.26 ± 0.01 ve 0.19 ± 0.01 olarak tespit edilmiştir. Uygulama süresinin en uzun olduğu 210 μ s'de vişne suyu, kayısı ve şeftali nektarları için TA değerleri sırasıyla 1.56 ± 0.02 , 0.26 ± 0.04 ve 0.19 ± 0.01 olarak ölçülmüştür. Elektrik akım şiddeti ve uygulama süresi her üç ürünün TA değerlerinde önemli bir değişime yol açmamıştır ($P>0.05$). Fakat kayısı ve şeftali nektarları ile karşılaştırıldığında vişne suyunun TA değeri önemli oranda yüksek bulunmuştur ($P\leq 0.05$).

Vişne suyu, kayısı ve şeftali nektarlarının °Briks değerleri sırasıyla 13.5 ± 0.00 , 11.2 ± 0.00 ve 10.0 ± 0.00 olarak ölçülmüş olup 30 kV/cm'lik elektrik akım şiddeti uygulanmasından sonra bu değerlerde bir değişim kaydedilmemiştir ($P>0.05$). Benzer şekilde uygulama süresinin en uzun olduğu 210 µs'de °Briks değerleri vişne suyu, kayısı ve şeftali nektarlarında sırasıyla 12.75 ± 0.25 , 11.2 ± 0.00 ve 10.0 ± 0.4 olarak ölçülmüştür ($P>0.05$). Vişne suyunun °Briks değeri kayısı ve şeftali nektarlarına göre istatistiksel olarak yüksek bulunmuştur ($P<0.05$).

Kondaktivite değerleri açısından incelendiğinde ise vişne suyunun kondaktivite değeri 3.64 ± 0.17 mS/cm iken, kayısı ve şeftali nektarlarında sırasıyla 1.67 ± 0.02 ve 1.15 ± 0.01 mS/cm olarak ölçülmüştür. Elektrik akım şiddetinin en yüksek oranda uygulandığı 30 kV/cm şiddetinde bu değerler sıra ile 3.24 ± 0.19 , 1.67 ± 0.03 ve 1.17 ± 0.037 mS/cm olarak ölçülmüştür. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak incelendiğinde ise en uzun proses süresinde kondaktivite değerleri vişne suyu, kayısı ve şeftali nektarları için 3.87 ± 0.015 , 1.66 ± 0.00 ve 1.18 ± 0.008 mS/cm olarak tespit edilmiştir. Artan elektrik akım şiddeti ve uygulama süresi örneklerin kondaktivite değerlerinde önemli bir değişime neden olmazken ($P>0.05$) örneklerin kondaktivitesi en yüksekten en düşüğe doğru sıralandığında vişne suyu >kayısı nektarı> şeftali nektarı olarak sıralamak mümkündür ($P\leq 0.05$).

Esmerleşme indeksleri açısından karşılaştırıldığında vişne suyunda bu değer 1.42 ± 0.22 iken kayısı ve şeftali nektarlarında sırasıyla 0.61 ± 0.02 ve 0.57 ± 0.05 tir. 30kV/cm elektrik akım şiddeti uygulamasından sonra esmerleşme indeksi sırasıyla 1.61 ± 0.26 , 0.72 ± 0.08 ve 0.533 ± 0.1 olarak ölçülmüştür. 210 µs uygulama süresinden sonra esmerleşme indeks değerleri vişne suyu, kayısı ve şeftali nektarlarında 1.76 ± 0.12 , 0.68 ± 0.003 ve 0.47 ± 0.002 olarak belirtilmiştir. Uygulanan elektrik akım şiddeti ve uygulama süresi kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında önemli bir değişime yol açmazken ($P>0.05$); vişne suyunun esmerleşme indeks değeri, kayısı nektarından, kayısı nektarının esmerleşme indeksi değeri de şeftali nektarından yüksek bulunmuştur ($P\leq 0.05$).

Renk ölçümlerine bakıldığında L, a ve b değerleri vişne suyu kontrol örneklerinde 1.17 ± 0.19 , 3.84 ± 0.29 ve 0.86 ± 0.23 , kayısı nektarı kontrol örneklerinde 34.97 ± 0.09 , 11.75 ± 0.15 ve 36.11 ± 0.14 ve şeftali nektarı kontrol örneklerinde ise 41.3 ± 0.22 , 4.94 ± 0.19 ve 29.9 ± 0.41 olarak ölçülmüştür. Elektrik akım şiddeti 30 kV/cm

iken bu değerler sırasıyla vişne suyu için 1.48 ± 0.22 , 4.50 ± 0.3 ve 0.73 ± 0.19 , kayısı nektarı için 33.52 ± 0.03 , 11.04 ± 0.5 ve 35.17 ± 0.5 ve şeftali nektarı için ise 40.29 ± 0.16 , 3.93 ± 0.17 ve 28.04 ± 0.3 olarak ölçülmüştür ($P>0.05$). Benzer şekilde uygulama süresi 210 μ s iken renk ölçüm değerlerinde önemli ölçüde bir değişim saptanamamıştır ($P>0.05$).

Metal iyon konsantrasyonlarına bakıldığında artan elektrik akımını ve uygulama süresinin metal iyon konsantrasyonunda bir değişime yol açmadığı her üç üründe de en fazla potasyumun bulunduğu tespit edilmiştir. Potasyumdan sonra her üç üründe de sırasıyla kalsiyum, magnezyum ve alüminyum takip etmiştir.

İnoküle edilen mikroorganizmaların inaktivasyonuna bakıldığında ise elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak vişne suyunda inaktivasyon oranı *P. expansum* > *B. cinerea* > *E. carotovara* > *E. coli* O157:H7 > *L. monocytogenes* > *S. aureus* > *P. syringae* subs. *syringae* olarak sıralanmıştır. Vişne suyunda uygulama süresinin inhibitif etkisine bakıldığında ise inaktivasyon oranları *P. expansum* > *B. cinerea* > *E. carotovara* > *S. aureus* > *E. coli* O157:H7 > *P. syringae* subs. *syringae* > *L. monocytogenes* olarak belirlenmiştir.

Kayısı nektarına elektrik akım şiddetinin fonksiyonu olarak bakıldığında söz konusu mikroorganizmaların inaktivasyon miktarları oranı *P. expansum* > *B. cinerea* > *E. carotovara* > *P. syringae* subs. *syringae* > *E. coli* O157:H7 > *L. monocytogenes* > *S. aureus* olarak belirlenirken; uygulanan proses süresinde bu sıralama *P. expansum* > *B. cinerea* > *E. carotovara* > *E. coli* O157:H7 > *L. monocytogenes* > *P. syringae* subs. *syringae* > *S. aureus* olarak tespit edilmiştir.

Şeftali nektarlarında elektrik akım şiddetinin bu mikroorganizmalar üzerindeki inhibitif etkisi *P. expansum* > *B. cinerea* > *P. syringae* subs. *syringae* > *E. carotovara* > *L. monocytogenes* > *E. coli* O157:H7 > *S. aureus* olarak sıralanmıştır. Uygulama süresi açısından değerlendirildiğinde ise *P. expansum* > *B. cinerea* > *P. syringae* subs. *syringae* > *E. carotovara* > *L. monocytogenes* > *E. coli* O157:H7 > *S. aureus* şeklindedir.

Genel olarak bakıldığında her üç üründe de elektrik akım şiddeti ve uygulama süresinin fonksiyonu olarak bakıldığında fungusların inaktivasyonu bakterilere göre daha fazladır. Bitki patojeni bakterilerden *P. syringae* subs. *syringae* ve *E. carotovara* vişne suyu hariç diğer ürünlerde gıda kaynaklı patojen mikroorganizmalara göre daha

fazla inaktive olmuşlardır. Gıda kaynaklı patojen mikroorganizmalara bakıldığında ise genel olarak inaktivasyonu en az olan mikroorganizmalar *S. aureus* ve *L. monocytogenes* olarak belirlenmiştir. Genel olarak inaktivasyonu sağlanan mikroorganizmaların vişne suyu, kayısı ve şeftali nektarlarındaki inaktivasyon miktarları birbirinden farklılık göstermemektedir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen veriler başka gıda örnekleri ile çalışılmış olmasına rağmen literatürdeki çalışmalara benzerlik göstermektedir. Şöyle ki, CASTRO ve ark. (1993) gıda sektöründe patojen ya da bozulma etmeni olan mikroorganizmaların PEF teknolojisi ile inaktive edilmesi konusunda çalışmışlar ve proses sonucunda mikroorganizma hücre yapısında, uygulanan elektriksel atımlardan kaynaklanan geri dönüşümsüz denatürasyon meydana geldiğini belirtmişlerdir.

PEF ile yapılan diğer çalışmalarda ise elma suyuna inoküle edilen *E. coli* O157:H7 ve yabancısı suyunu inoküle edilen *E. coli*'nin inaktivasyonunda 5 log'luk bir azalma elde edilmiştir (EVRENDİLEK ve ark., 1999; GUPTA ve ark., 2005). Benzer şekilde yağ oranı farklı (yağsız, tam yağlı ve %2 yağlı) süt örneklerine inoküle edilen *L. monocytogenes* Scott A kültüründe akım şiddeti ve uygulama süresinin artmasıyla birlikte 4 log₁₀ kob/ml oranında redüksiyon elde edilmiştir (REINA ve ark., 1998). Zengin besin içeriği ve yüksek su aktivitesi nedeniyle mikrobiyal gelişime çok elverişli olan süt (yağsız) ile çalışan FERNANDEZ MOLINA ve ark. (2006) *L. innocua* ile *P. fluorescens* kültürlerinin PEF teknolojisi ile inaktivasyon mekanizmasını incelemişler ve her iki mikroorganizma kültüründe de 3 log₁₀ kob/ml oranında inaktivasyon sağlamışlardır

PEF ile proses edilen gıda ürünlerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerine ilişkin yapılan çalışmalarda bu çalışmada elde edilen bulgulara benzer sonuçlar elde edilmiş olup PEF prosesinin proses edilen ürünlerin özelliklerinde bir değişime yol açmadığı bildirilmiştir (AGUILAR ve ark., 2006; HERMAWAN ve ark., 2004; EVRENDİLEK ve ark., 2001; QIN ve ark., 1995b; YEOM ve ark., 2000).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

PEF teknolojisi ile değişik ürünlerin prosesi çalışılmış olmasına rağmen vişne suyu, kayısı ve şeftali nektarlarına ilişkin çalışmalar yok denecek kadar azdır. O nedenle bu çalışma kapsamında vişne suyu, kayısı ve şeftali nektarlarının PEF teknolojisi ile prosesi ve proses sonucunda her üç üründe fiziksel ve kimyasal özelliklerin ölçümü ve bu ürünlere inoküle edilen *E. coli* O157:H7, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *P. syringae* subs. *syringae*, *E. carotovora*, *P. expansum* ve *B. cinerea* kültürlerinin inaktivasyonu hedeflenmiştir. Elektrik akım şiddeti ve uygulama süreleri bağımsız değişken olarak ele alınmış olup, aynı parametrelerde her üç üründe proses öncesi ve sonrası pH, TA, kondaktivite, °Briks, renk (L, a ve b), esmerleşme indeksi, metal iyon içeriği incelenmiştir.

Elde edilen veriler PEF prosesinin artan elektrik akımı ve uygulama süresinin vişne suyu, kayısı ve şeftali nektarında pH, TA, kondaktivite, °Briks, renk (L, a ve b), esmerleşme indeksi ve metal iyon içeriğine önemli bir değişime yol açmadığını göstermektedir ($P>0.05$). Buna karşın artan elektrik akımı ve uygulama süresi inoküle edilen mikroorganizmaların sayısında önemli derece bir azalmaya neden olmuştur ($P\leq 0.05$). Aynı proses parametrelerinde fungusların inaktivasyonu bakterilerden fazla ve bitki patojeni bakterilerin inaktivasyonu ise genel olarak gıda kaynaklı patojen bakterilerden fazla olmuştur.

Bu çalışma kapsamında ele alınan vişne suyu, kayısı ve şeftali nektarlarının aynı proses parametrelerinde yukarıda sayılan özellikleri dışında C vitamini, beta karoten ve antosiyanin içeriklerinin ölçülmesi, koku, aroma, renk, ağızda bıraktığı his ve tercih edilebilirlik gibi duyuşal özelliklerinin, antioksidant kapasitesi, fenolik madde içeriklerinin tespiti ve aroma komponentlerinin incelenmesi PEF teknolojisinin avantajları veya dezavantajları konusunda daha detaylı bilgi sağlayarak bu teknolojinin değerlendirilmesine yönelik bilgi ihtiyacını karşılayacaktır. Bununla beraber Türkiye’de çok tüketilen üzüm, havuç, greyluft, nar, karadut gibi meyvelerin meyve suları, ayran, şalgam suyu ve meyankökü içeceği gibi içeceklerin PEF prosesi ile bu tip gıdalarda gelişmesi muhtemel patojen ve bozulma yapan mikroorganizmaların imhası ve gıdaların duyuşal, kimyasal ve fiziksel özelliklerinde oluşabilecek değişimlerin

incelenmesi PEF teknolojisinin yaygınlaştırılması açısından önemlidir. Bu nedenle gelecekte yapılacak olan çalışmaların bu yönde tasarlanması PEF teknolojisinin gelişmesine ve gıda endüstrisinde kullanılmasına hizmet edecektir.

KAYNAKLAR

- ACAR. 2003. **Meyve-Sebze ve Ürünlerinde Mikrobiyolojik Bozulmalar ve Muhafaza Yöntemleri** (ÜNLÜTÜRK, A., TURANTAŞ, F., Editör). **Gıda Mikrobiyolojisi**. META Basım ve Matbaacılık Hizmetleri, İzmir. 13: 317-341.
- ANONİM, 2007a. Meyve Suyu Sektör İstatistikleri. www.meyed.org.tr.
- ANONİM, 2007b. <http://www.food-info.net/tr/bact/colio157.html>.
- ANONİM, 2007c. <http://www.food-info.net/tr/bact/staur.html>.
- ANONİM, 2007d. <http://www.food-info.net/tr/bact/staur.html>.
- ANONİM, 2007e. <http://www.mikrobiyoloji.org/genelpdf/210010201.pdf>.
- ANONİM, 2007f. <http://www.mikrobiyoloji.org/genelpdf/210010201.pdf>.
- ANONİM, 2000. **Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies Pulsed Electric Fields**. U. S. Food and Drug Administration Center for Food Safety and Applied Nutrition June 2.
- ANONİM, 2006. **Gıda Mühendisliği Uygulamaları**; Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Yayın no: 891112005.
- AGUILAR-ROSAS, S. F., BALLINAS-CASARRUBIAS, M. L., NEVAREZ MOORILLON, G. V., MARTIN-BELLOSO, O., and ORTEGA-RIVAS, E. 2006. Thermal and pulsed electric fields pasteurization of apple juice: Effects on physicochemical properties and flavour compounds. **Journal of Food Engineering**, 83(1),41-46.
- AKBULUT, M. 2005. Türkiye’de üretilen bazı meyve sularında ve konsantresinde patulin miktarının HPLC ile belirlenmesi. **Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**. 19 (35), 84-86
- ÁLVAREZ, I., PAGÁN, R., RASO, and J., CONDÓN, S. 2002. Environmental factors influencing the inactivation of *Listeria monocytogenes* by pulsed electric fields **Letters in Applied Microbiology**, 35(6),489–493.
- AMIALI, M., NGADI, M. O. and RAGHAVAN, V. G. S. 2002. Determination of electrical properties of liquid foods exposed to pulsed electric fields. **Nonthermal Processing: Nonthermal Processing of Foods**. Session 91E.
- ANGERSBACH, A., HEINZ, V., and KNORR, D. (2002). Evaluation of process-induced dimensional changes in the membrane structure of biological cells using impedance measurement. **Biotechnology Progressing**. 18(3),597-603.
- AOAC. 1990. **Official Methods of Analysis**. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., GONGORA-NIETO, M. M., POTHAKAMURY, U. R., SWANSON, and B. G. 1999. **Preservation of Foods with Pulsed Electric Fields**. Academic Press Ltd. London. 1–9,76–107,108–155
- BARBOSA-CANOVAS, G. V., PIERSON, M. D., ZHANG, Q.H., and SCHAFNER, D.W. (2000). Pulsed electric fields. **Journal of Food Science**, 65,65–79.
- BEATTIE, J. M LEWIS, and F. C. 1924. The electric current (apart from the heat generated). A bacteriological agent in sterilization of milk and other fluids. **Journal of Hygiene**, 24,123–137.

- BEUCHAT, L. R. 1998. **Surface Decontamination of Fruits and Vegetables Eaten Raw: a review.** Food Safety Unit World Health Organization. WHO/FSF/FOS/98, 2-42.
- CASTRO, A. J., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. and SWANSON, B. G. 1993. Microbial inactivation of foods by pulsed electric fields. **Journal of Food Processing and Preservation**, 17,47-73.
- CSERHALMI, Z. S., SASS-KISS, Á., TÓTH-MARKUS, M., and LECHNER, N. 2006. Study of pulsed electric field treated citrus juices. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 7(1-2), 49-54.
- DUNN, J. E. and PEARLMAN, J. S. 1987. **Methods and apparatus for extending the shelf-life of fluid food products**, Maxwell Laboratories, Inc. U. S. Patent 4,695-472.
- DUNN, J. 1996. Pulsed light and pulsed electric field for foods and eggs. **Poultry Science**, 75(9),1133-136.
- DUNNE, C. P., DUNN, J., CLARK, W., OTT, T. AND BUSHNELL, and A. H. 1992. **Application of High Energy Electric Field Pulses for Preservation of Foods for Combat Rations.** Science and Technology for Force XXI. Department of the Army. Norfolk, Virginia. June 7, 24-27.
- ENGEL, G. and TEUBER, M., 1984. **Patulin and Other Small Lactones. Mycotoxins-Production, Isolation, Separation and Purification**, Elsevier Science Publishers B.V. 291-314.
- EVRENDILEK, G. A., ZHANG, Q. H., and RICHTER E. R.1999. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Escherichia coli* 8739 in apple juice by pulsed electric fields. **Journal of Food Protection**, 62(7),793-6.
- EVRENDILEK, G. A., DANTZER, W. R., STREAKER, C. B., RATANATRIWONG, P., ZHANG, Q. H. 2001. Self -Life evaluations of liquid foods trated by pilot plant ulsed electric field system. **Journal of Food Processing and Preservation**, 25, 283-297.
- EVRENDILEK, G.A. and ZHANG, Q.H. 2005. Effects of pulse polarity and pulse delaying time on pulsed electric fields-induced pasteurization of *E. coli* O157:H7. **Journal of Food Engineering**, 68(2),271-276.
- FERNÁNDEZ-MOLINA, J. J., BERMÚDEZ-AGUIRRE, D., ALTUNAKAR, B., SWANSON, B. G., and BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. 2006. Inactivation of *Listeria innocua* and *Pseudomonas fluorences* by pulsed electric fields in skim milk: Energy requirements. **Journal of Food Process Engineering**, 29,561-573.
- GARCIA, D., GÓMEZ, N., RASO J., and PAGÁN, R. 2005. Bacterial resistance after pulsed electric fields depending on the treatment medium pH. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 6(4),388-395.
- GRAHL T. and MARKL, H. 1996. Killing of microorganisms by pulsed electric fields. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 45,148-157.

- GASKOVA, D., SIGLER, K., JANDEROVA, B. and PLASEK, J. 1996. Effect of high voltage electric pulses on yeast cells: Factors influencing the killing efficiency. **Bioelectrochemistry and Bioenergetics**, 39,195–202.
- GULYI, I. S., LEBOVKA, N. I., MANK, V. V., KUPCHIK, M. P., BAZHAL, M. I., MATVIENKO, A. B., and PAPCHENKO, A. Y. 1994. **Scientific and Practical Principles of Electrical Treatment of Food Products and Materials**. UkrINTEI: Kiev (Rusya).
- GUPTA, S. B., MASTERSON, F., and MAGEET, R. A. 2005. Inactivation of *E. coli* in cranberry juice by a high voltage pulsed electric field. **Engineering in Life Sciences**, 5(2),148–151.
- HERMAWAN, N., EVRENDILK, G. A., DANTZER, W. R., ZHANG, Q. H., and RICHTER, E.R. 2004. Pulsed electric field treatment of liquid whole egg inoculated with *Salmonella* Enteridis. **Journal of Food Safety**, 24, 71-85.
- HO, S. Y., G. S., M., CROSS, J. D. and GRIFFITHS, M. W. 1995. Inactivation of *Pseudomonas fluorescens* by high voltage electric pulses. **Journal of Food Science**, 60 (6),1337–1343.
- HO, S. Y. and MITTAL, G. S. 1997. **Analysis of Two High Voltage Electric Pulse Systems for Batch and Continuous Pasteurization of Selected Food Products**. Universty of Guelph.
- HULSHEGER, H. and NIEMAN, E. G. 1980. Lethal effect of high-voltage pulses on *E. coli* K12. **Radiation and Environmental Biophysics**, 18(4),281–8.
- HULSHEGER, H., POTTEL, J. and NIEMANN, E. G. 1981. Killing of bacteria with electric pulses of high field strength. **Radiation and Environmental Biophysics**, 20,53–65.
- HULSHEGER, H., POTTEL, J. and NIEMANN, E. G. 1983. Electric field effects on bacteria and yeast cells. **Radiation and Environmental Biophysics**, 22,149-162.
- JACOB, H. E., FORSTER, W. AND BERG, H. 1981. Microbial implications of electric field effects. II. Inactivation of yeast cells and repair of their cell envelope. **Zeitschrift für Allgemeine Mikrobiologie**, 21(3),225–232.
- JAYARAM, S., CASTLE, G. S. P. and MARGARITIS, A. 1992. Kinetics of sterilization of *Lactobacillus brevis* cells by the application of high voltage pulses. **Biotechnology and Bioengineering**, 40(11),1412-1420.
- JEYAMKONDAN, S., JAYAS, D. S. and HOLLEY, R. A. 1999. Pulsed electric field processing of foods: a review. **Journal of Food Protection**, 62(9),1088–1096.
- KINOSITA, K. J. and TSONG, T. Y. 1977. Voltage induced pore formation and haemolysis erythrocytes. **Biochimica et Biophysica Acta**, 471,227–242.
- KINOSITA, K. J. and TSONG, T. Y. 1979. Voltage-induced conductance in human erythrocyte membranes. **Biochimica et Biophysica Acta**, 554,479-497.
- KNORR, D., GEULEN, M., GRAHL T., and SITZMAN W. 1994. Food application of high electric field pulses. **Trends in Food Science and Technology**, 5,71–75.

- KUPCHIK, M. P. 1991. **Development of Sugar From Beet Technology Using Electric Fields of Low Frequency**. Moscow Technological Institute of Food Industry. UA (Ukraine) Patent 2992.
- LOVE, P. 1998. Correlation of fourier transforms of pulsed electric field waveform and microorganism inactivation. **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, 5(1),142–147
- LUBICKI, P. and JAYARAM, S. 1997. High voltage pulse application for the destruction of the Gram-negative bacterium *Yersinia enterocolitica*. **Bioelectrochemistry and Bioenergetics**, 43,135–141.
- MALICKI, A., OZIEMBLÓWSKI, M., MOLENDĄ, J., TRZISZKA, T., and BRUŻEWICZ, S. 2004. Effect of Pulsed Electric Fields (PEF) on *Escherichia coli* within the liquid whole egg. **Bulletin of the Veterinary Institute in Pullawy**, 48,371–373.
- MARQUEZ, V. O., MITTAL, G. S. and GRIFFITHS, M. W. 1997. Destruction and inhibition of bacterial spores by high voltage pulsed electric field. **Journal of Food Science**, 62(2),399–401,409.
- MARTIN-BELLOSO, O., VEGA-MERCADO, H., QIN, B. L., CHANG, F. J., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. and SWANSON, B. G. 1997a. Inactivation of *Escherichia coli* suspended in liquid egg using pulsed electric fields. **Journal of Food Processing and Preservation**, 21(3),193–208.
- MARTIN-BELLOSO, O., QIN, B. L., CHANG, F. J., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., and SWANSON, B.G. 1997b. Inactivation of *Escherichia coli* in skim milk by high intensity pulsed electric fields. **Journal of Food Process Engineering**, 20(4), 317–336.
- MCDONALD, C. J., LLOYD, S. W., VITALE, M. A., PETERSSON, K., and INNINGS, F. 2000. Effects of pulsed electric fields on microorganisms in orange juice using electric field strengths of 30 and 50 kV/cm. **Journal of Food Science**,65(6), 984—989.
- NGADI, M. O., BAZHAL, M. I., and RAGHAVAN, G. S. V. 2003. Engineering aspects of Pulsed Electroporation of vegetable tissues. **Journal of Scientific Research and Development**, 5,1-9.
- NIKDEL, S. and TEMELLI, C. M. 1987. Comparison of microwave and muffle furnace for citrus juice sample preparation and analysis using inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. **Microchemistry Journal**, 36(2),240-244.
- POTHAKAMURY, U. R., VEGA, H., ZHANG, Q. H., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. and SWANSON, B. G. 1996. Effect of growth stage and processing temperature on the inactivation of *E. coli* by pulsed electric fields. **Journal of Food Protection**, 59(11),1167–1171.
- RAVISHANKAR, S., FLEISCHMAN, G. J., and BALASUBRAMANIAM, V. M. 2002. The inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 during pulsed electric field (PEF) treatment in a static chamber. **Food Microbiology**,19(4),351–361.

- REINA, D. L., JIN, T. Z., ZHANG, Q. H., and YOUSEF, E. A. 1998. Inactivation of *Listeria monocytogenes* in milk by pulsed electric fields. **Journal of Food Protection**, 61(9), 1203-1206.
- RIVAS, A., SAMPEDRO F., RODRIGO, D., MARTINEZ, A. and RODRIGO, M. 2006. Nature of the inactivation of *Escherichia coli* suspended in an orange juice and milk beverage. **European Food Research and Technology**, 223(4),541–545.
- RODRIGUEZ, A. M., ALCALA, E.B., GIMENO, R.M.G. and COSANO, G. Z. 2000. Growth modelling of *Listeria monocytogenes* in packaged fresh green asparagus. **Food Microbiology**, 17, 421- 427.
- SALE, A. J. H. and HAMILTON, W. A. 1967. Effects of high electric fields on microorganisms I. Killing of bacteria and yeast. **Biochimica et Biophysica Acta**,148,781–788.
- SCHILLING, S., ALBER T., TOEPFL, S., NEIDHART, S., KNORR, D., SCHIEBER, A. and CARLE, R. 2006. Effects of pulsed electric field treatment of apple mash on juice yield and quality attributes of apple juices. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 8(1),127–134.
- SCHOENBACH, K. H., PETERKIN, F. E., ALDEN, R. W. and BEEBE, S. J. 1997. The effect of pulsed electric fields on biological cells: Experiments and applications. **IEEE Transaction of Plasma Science**, 25(2),284–292.
- STOTT, W. T. and BULLERMAN L. B.. 1975. Patulin: A mycotoxin of potential concern in foods. **Journal of Milk Food Technology**, 38,695–705.
- SIMPKINS, W. A., LOUIE, H., WU, M., HARRISON, M. and GOLDBERG, D. 2000. Trace elements in Australian orange juice and other products. **Journal of Food Chemistry**, 71,423-433
- TSONG, T. Y. 1990. Electrical modulation of membrane proteins: Enforced conformational oscillations and biological energy signals. **Annual Review of Biophysics and Biomolecular Structure**, 19, 83–106.
- QIN, B. L., ZHANG, Q., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., SWANSON, B. G. and PEDROW, P. D. 1994. Inactivation of microorganisms by pulsed electric fields with different voltage waveforms. **IEEE Transction on Dielectrics and Electrical Insulation**, 1(6),1047–1057.
- QIN, B., POTHAKAMURY, U. R., VEGA, H., MARTIN, O., BARBOSA-CANOVAS, G. V. and SWANSON, B. G. 1995a. Food pasteurization using high intensity pulsed electric fields. **Journal of Food Technology**, 49(12),55-60
- QIN, B.-L., CHANG, F.-J., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. and SWANSON, B. G. 1995b. Nonthermal inactivation of *S. cerevisiae* in apple juice using pulsed electric fields. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, 28(6),564–568.
- QIN, B.-L., ZHANG, Q. H., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., SWANSON, B. G. and PEDROW, P. D. 1995c. Pulsed electric field treatment chamber design for liquid food pasteurization using a finite element method. **Transactions of the ASAE**. 38(2),557–565.

- QIN, B. L., POTHAKAMURY, U. R., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., and SWANSON, B. G. 1996. Nonthermal pasteurization of liquid foods using high-intensity pulsed electric fields. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 36,603–627.
- QIN, B. L., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., SWANSON, B. G. and PEDROW, P. D. 1998. Inactivating microorganism using a pulsed electric field continuous treatment system. **IEEE Transactions of Industrial Application**, 34(1),43–49.
- VEGA-MERCADO, H., MARTIN-BELLOSO, O., CHANG, F. J., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., and SWANSON, B. G. 1996a. Inactivation of *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis* suspended in pea soup using pulsed electric fields. **Journal of Food Processing and Preservation**, 20(6),501–510.
- VEGA-MERCADO, H., POTHAKAMURY, U. R., CHANG, F. J., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. and SWANSON, B. G. 1996b. Inactivation of *Escherichia coli* by combining pH, ionic strength and pulsed electric fields hurdles. **Food Research International**, 29(2),117–121.
- YEOM, H. W., STREAKER, C. B., ZHANG, Q. H., and MIN, D. B. 2000. Effects of pulsed electric fields in the activity of microorganisms and pectin methyl esterase in orange juice. **Journal of Food Science**, 65(8),1359–1363.
- YIN, Y., ZHANG, Q. H. and SASTRY, S. K. 1997. **High voltage pulsed electric field treatment chambers for the preservation of liquid food products**. Ohio State University. US Patent 5,690-978.
- ZHANG, Q., CHANG, F., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V., and SWANSON, B. G. 1994. Inactivation of microorganisms in a semisolid model food using high voltage pulsed electric fields. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**. 27(6),538–543.
- ZHANG, Q. H., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. and SWANSON, B. G. 1995a. Engineering aspects of pulsed electric field pasteurization. **Journal of Food Engineering**, 25(2): 261-281
- ZHANG, Q. H., QIN, B. L., BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. and SWANSON, B. G. 1995b. Inactivation of *E. coli* for food pasteurization by high-strength pulsed electric fields. **Journal of Food Process Preservation**, 19(2),103–118.
- ZHANG, Q. H., QIU, X. AND SHARMA, S. K. 1997. **Recent Development in Pulsed Electric Field Processing**. Washington, DC. National Food Processors Association. New Technologies Yearbook. 31–42.
- ZHANG, Q.H. 1998. PEF treatment chamber desings and their effect on system configuration. Books of Abstract (39-2). Conference of Institue of Food Technologist, June 20-24. Atlanta, GA.
- ZIMMERMANN, U. 1986. Electrical breakdown, electropermeabilization and electrofusion. **Physiology and Biochemical Pharmacology**,105, 175-256.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Adana'da doğdum. İlköğretimimi Yeşil Yuva İlkokul'unda, orta öğretimimi İstiklal Ortaokulu'nda tamamladım. Danişment Gazi Süper Lisesi'ni bitirerek 1999 yılında Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümüne yerleştirildim ve 2003 yılında mezun oldum. 2004 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladım.