

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AMBALAJLI TAVUK ETİNİN SOĞUKTA MUHAFAZASINDA  
YÜKSEK VOLTAJLI DARBELİ ELEKTRİK ALANIN ETKİSİ**

**Emine AŞIK CANBAZ**

**Danışman  
Prof. Dr. Atif Can SEYDİM**

**II. Danışman  
Prof. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ**

**DOKTORA TEZİ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA-2018**



© 2018 [Emine AŞIK CANBAZ]

## TEZ ONAYI

**Emine AŞIK CANBAZ** tarafından hazırlanan "**Ambalajlı Tavuk Etinin Soğukta Muhafazasında Yüksek Voltajlı Darbeli Elektrik Alanın Etkisi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

**Danışman**

**Prof. Dr. Atif Can SEYDİM**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Kezban CANDOĞAN**  
Ankara Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Yasin TUNCER**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Zeliha YILDIRIM**  
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Metin YILDIRIM**  
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi



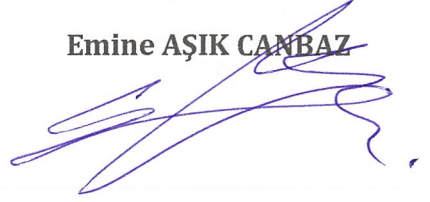
**Enstitü Müdürü**

**Prof. Dr. Yasin TUNCER**

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Emine AŞIK CANBAZ**



## İÇİNDEKİLER

|   | Sayfa |
|---|-------|
| İÇİNDEKİLER.....  | i     |
| ÖZET .....  | iii   |
| ABSTRACT .....  | v     |
| TEŞEKKÜR.....   | vii   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....   | ix    |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....   | x     |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....  | xi    |
| 1.GİRİŞ.....  | 1     |
| 2.KAYNAK ÖZETİ .....  | 3     |
| 2.1. Gıdalarda Bozulma Reaksiyonları .....  | 3     |
| 2.2. Yeni Gıda Muhafaza Yöntemleri .....  | 6     |
| 2.3. Yenilikçi Bir Yöntem Olarak Darbeli Elektrik Alan (PEF) .....  | 13    |
| 2.3.1. PEF yönteminin etki mekanizması.....   | 14    |
| 2.3.2. PEF uygulamasını etkileyen faktörler.....  | 19    |
| 2.3.3. PEF yönteminin gıdalarda kullanım alanları.....  | 26    |
| 3.MATERYAL VE YÖNTEM .....  | 33    |
| 3.1. Materyal.....  | 33    |
| 3.2. Yüksek Voltajlı Darbeli Elektrik Alanın (HVPEF) Uygulanması.....                                       | 35    |
| 3.3. Test Mikroorganizmalarının Gelişimi Üzerine HVPEF Etkisinin Belirlenmesi.....                          | 36    |
| 3.4. Taze Tavuk Etlerinin pH Değeri Üzerine HVPEF Etkisinin Belirlenmesi .....                              | 37    |
| 3.5. Taze Tavuk Etlerinin Mikrobiyal Yüğü Üzerine HVPEF Etkisinin Belirlenmesi.....                         | 37    |
| 3.5.1. Toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) ve toplam koliform bakteri (TKB) sayısının belirlenmesi..... | 37    |
| 3.6. Taze Tavuk Etlerinin Renk Değeri Üzerine HVPEF Etkisinin Belirlenmesi.....                             | 38    |
| 3.7. Taze Tavuk Etlerine İnoküle Edilmiş Bakterilerin Gelişimi Üzerine HVPEF Etkisinin Belirlenmesi .....   | 39    |
| 3.7.1. <i>P. aeruginosa</i> (ATCC 27853) Sayısının Belirlenmesi.....  | 39    |
| 3.7.2. <i>L. monocytogenes</i> (ATCC 19115) Sayısının Belirlenmesi .....                                    | 40    |
| 3.8. İstatistik analiz.....   | 40    |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....   | 42    |
| 4.1. Test Mikroorganizmalarının Gelişimi Üzerine HVPEF Etkisi .....   | 42    |
| 4.1.1. <i>P. aeruginosa</i> (ATCC 27853) sayısı üzerine HVPEF etkisi.....                                   | 42    |
| 4.1.2. <i>C. jejuni</i> (ATCC 17028) sayısı üzerine HVPEF etkisi.....                                       | 44    |
| 4.1.3. <i>L. monocytogenes</i> (ATCC 19115) sayısı üzerine HVPEF etkisi .....                               | 46    |
| 4.1.4. <i>S. auerus</i> (ATCC 25923) sayısı üzerine HVPEF etkisi .....                                      | 47    |
| 4.1.5. <i>E. coli</i> (ATCC 26922) sayısı üzerine HVPEF etkisi.....   | 49    |
| 4.1.6. <i>S. enteritidis</i> (ATCC 13076) sayısı üzerine HVPEF etkisi.....                                  | 52    |
| 4.2. Taze Tavuk Etlerinin pH Değeri Üzerine HVPEF Etkisi .....  | 54    |
| 4.3. Tavuk Etlerinin Mikrobiyal Yüğü Üzerine HVPEF Etkisi.....  | 56    |
| 4.3.1. Toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayısı üzerine HVPEF etkisi .....                            | 56    |
| 4.3.2. Toplam koliform bakteri (TKB) sayısı üzerine HVPEF etkisi .....                                      | 59    |

|  |    |
|--|----|
| 4.4. Taze Tavuk Etlerinin Renk Değerleri Üzerine HVPEF Etkisi.....                       | 61 |
| 4.5. Taze Tavuk Etlerine İnoküle Edilmiş Bakterilerin Gelişimi Üzerine HVPEF Etkisi..... | 64 |
| 4.5.1. <i>P. aeruginosa</i> (ATCC 27853) sayısı üzerine HVPEF etkisi.....                | 64 |
| 4.5.2. <i>L. monocytogenes</i> (ATCC 19115) sayısı üzerine HVPEF etkisi.....             | 66 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....  | 69 |
| 6. KAYNAKLAR .....   | 72 |
| 7. ÖZGEÇMİŞ.....   | 88 |



## ÖZET

### DOKTORA TEZİ

#### AMBALAJLI TAVUK ETİNİN SOĞUKTA MUHAFAZASINDA YÜKSEK VOLTAJLI DARBELİ ELEKTRİK ALANIN ETKİSİ

Emine AŞIK CANBAZ

Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof Dr. Atıf Can SEYDİM

#### II. Danışman: Prof Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ

Bu tez çalışmasında üstel azalan dalgaların kullanıldığı darbeli elektrik alan yönteminin (HVPEF) soğuk depolama ile kombinasyonunun bazı patojen ve bozulma etmeni mikroorganizmaların gelişimi ve tavuk göğüs eti örneklerinin kalitesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada *Pseudomonas aeruginosa*, *Campylobacter jejuni*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella* Enteritidis bakterilerinin sıvı besi yerinde buzdolabı sıcaklığında (4°C) HVPEF (467 kV/m, 700 kV/m) uygulamasından etkilenme düzeyleri tespit edilmiştir. İkinci aşamada bu mikroorganizmaların gelişmesine açık olan tavuk göğüs eti örneklerinin buzdolabı sıcaklığında (4°C) HVPEF (250 kV/m, 467 kV/m, 700 kV/m) yöntemi ile pH değeri, renk parametreleri ve mikrobiyolojik kriterlerindeki değişim belirlenmiştir. Son aşamada ise *P. aeruginosa* ve *L. monocytogenes* bakterileri tavuk göğüs eti örneklerine inoküle edilerek HVPEF (467 kV/m, 700 kV/m) altında buzdolabı sıcaklığında (4°C) sayılarındaki değişim belirlenmiştir.

Mikroorganizmaların saf kültürlerine HVPEF'in uygulandığı ilk aşamada *P. aeruginosa* sayısı soğuk depolama boyunca tüm gruplarda azalmış, başlangıç sayısına göre en büyük azalma (0,69 log kob/ml) 700 kV/m HVPEF uygulanmış örneklerde gerçekleşmiştir (p<0,05). Depolama süresince *C. jejuni* sayısında meydana gelen azalma depolamanın ilk günlerinde 700 kV/m PEF uygulanmış gruplarda diğerlerinden farklı bulunmuşsa (p<0,05) da *C. jejuni* sayısındaki bu fark ilerleyen günlerde ortadan kalkmıştır. 700 kV/m HVPEF uygulamasının neden olduğu *L. monocytogenes* (ATCC 19115) sayısındaki artış diğer gruplardan daha fazla olmasına rağmen örnek grupları arasındaki fark önemli bulunmamıştır (p>0,05). Depolama boyunca 700 kV/m elektrik alan uygulanan gruplarda *S. aureus* sayısı diğer gruplara nazaran daha yavaş azalmış olsa da gruplar arasında depolama boyunca istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı (p>0,05) gözlenmiştir. *E. coli* sayısında depolama boyunca meydana gelen azalma, 6. günden itibaren 467 kV/m elektrik alan uygulanan örneklerde diğer gruplara nazaran önemli oranda düşük bulunmuştur (p<0,05). *E. coli*

bakterilerinin 467 kV/m değerindeki HVPEF uygulamasına karşı soğuk depolama boyunca direnç gösterdiği tespit edilmiştir. HVPEF uygulamasının *S. Enteritidis* bakterisinin soğuk depolamadaki gelişimi üzerine ise etkili olmadığı sonucuna varılmıştır.

HVPEF yonteminin tavuk gogus eti örneklerini kalitesi üzerine etkisinin arastırıldığı ikinci aşamada, depolama boyunca toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayısında meydana gelen değişim incelendiğinde, ICMSF tarafından önerilmiş olan sınır değer K grubuna göre 250 kV/m PEF uygulanmış örneklerde 2 gün, 467 ve 700 kV/m elektrik alan uygulanmış gruplarda ise 4 gün sonra aşıldığı gözlenmiştir. Tavuk gogus eti örneklerinin buzdolabı sıcaklığında depolama süresince artan toplam koliform bakteri (TKB) sayıları K grubunda 6. günde, 250 ve 467 kV/m elektrik alan uygulanan örneklerde 8. günde, 700 kV/m elektrik alan uygulanmış örneklerde ise 10. günde bildirilen sınır değerin üstüne çıkmıştır. Başlangıç pH değerleri 5,85-6,25 aralığında tespit edilmiştir. pH değerleri soğuk depolama boyunca artmış, ancak PEF uygulamasının pH değeri üzerine önemli bir etkisi bulunmamıştır. Soğuk depolama boyunca CIE L\*, b\*, C\* değerleri üzerine PEF uygulamasının önemli bir etkisi olmadığı gözlenmiştir. CIE a\* değeri 700 kV/m PEF uygulanmış örneklerde gözlenen azalma depolamanın son günlerinde diğer gruplardan önemli seviyede farklı bulunmuştur (p<0,05). 250 kV/m HVPEF altında depolanan tavuk gogus eti örneklerinin CIE h değeri depolama boyunca önemli seviyede artış göstermiştir (p<0,05). Depolamanın sonunda ΔE değerleri başlangıç değerlerine göre en büyük farkı K grubunda göstermiştir.

Tavuk gogus etlerine *L. monocytogenes* ve *P. aeruginosa* bakterilerinin inoküle edildiği üçüncü aşamada *P. aeruginosa* sayısı üzerine PEF uygulaması depolama süresince önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. *L. monocytogenes* bakterisinin ise 467 kV/m PEF altında sayıları depolama boyunca diğer gruplara göre önemli derecede yüksek bulunmuştur (p<0,05).

Yapılmış olan bu çalışma ile soğutma teknolojilerine adapte edilebilecek, minimal enerji tüketimine sahip bir yöntem geliştirilmeye çalışılmış ve tavuk gogus eti örneklerinde darbeli elektrik alan teknolojisi bozulma nedeni ve patojen mikroorganizmalara karşı uygulanmıştır. Sonraki çalışmalarda farklı elektrik alan kriterlerinin değerlendirildiği, yeni görüntüleme tekniklerinin kullanıldığı, kimyasal, fiziksel ve duyuşsal özellikler üzerine etkinin de ortaya konduğu çalışmalar ile desteklenmesi gerekmektedir.

**Anahtar kelimeler:** yenilikçi muhafaza yontemi, soğuk depolama, yüksek voltajlı darbeli elektrik alan (HVPEF), tavuk gogus eti

**2018, 89 sayfa**

## ABSTRACT

Ph.D. Thesis

### EFFECT OF HIGH VOLTAGE PULSED ELECTRIC FIELD ON PACKAGED CHICKEN MEAT DURING COLD STORAGE

Emine AŞIK CANBAZ

Süleyman Demirel University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Atıf Can SEYDİM

Co-Supervisor: Prof. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ

In this thesis, effect of combination of high voltage pulsed electric field (HVPEF) with exponential decaying pulses with cold storage on the growth of spoilage and pathogen microorganisms and quality of chicken breast fillets was investigated. Study has three parts. First part including the detection of the influencing level of *Pseudomonas aeruginosa*, *Campylobacter jejuni*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella* Enteritidis form HVPEF (467 kV/m, 700 kV/m) application in broth during cold storage (4°C). In second part pH value, color parameters and microbial quality of chicken breast fillets were determined under HVPEF (250 kV/m, 467 kV/m, 700 kV/m) during cold storage (4°C). In last part counts of *P. aeruginosa* and *L. monocytogenes* were determined under HVPEF (467 kV/m, 700 kV/m) during cold storage (4°C) which were inoculated on chicken breast fillets

First part of the study, effect of PEF (467 kV/m, 700 kV/m) on growth of *Pseudomonas aeruginosa*, *Campylobacter jejuni*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella* Enteritidis in broth at 4°C was investigated. *Pseudomonas aeruginosa* count was decreased in all groups and 700 kV/m HVPEF applied group showed the highest reduction (0,69 log kob/ml) ( $p<0,05$ ). Difference of *C. jejuni* counts between groups were significant only in the first periods of storage ( $p<0,05$ ). *L. monocytogenes* load increase significantly in 467 kV/m applied group after day 2, and in the other groups after day 6. During cold storage *S. aureus* load increased more slowly in 700 kV/m applied group than other groups but the difference between groups were not found significant. *E. coli* count decrease was found significant ( $p<0,05$ ) after day 6 in 467 kV/m compare to other groups and at the end of the storage almost 0,8 log difference was observed. HVPEF was found inefficient on growth of *S. Enteritidis*.

In second part, HVPEF (250 kV/m, 467 kV/m, 700 kV/m) was applied on chicken breast samples during refrigerated storage (4°C). pH values were found between 5,85-6,25 and increased during cold storage but this increase was not

affected by HVPEF application. Total mesophilic aerobic bacteria (TMAB) count were found for control (C), 250 kV/m, 467 kV/m, 700 kV/m groups as 3,24, 3,37, 3,39 and 2,82 log kob/g, respectively. During storage initial counts increased and exceeded limit value at day 6 at C group. 250 kV/m HVPEF applied groups exceeded same limit 2 days later and 467 kV/m and 700 kV/m HVPEF applied groups exceeded 4 days later than C group. Initial total coliform bacteria (TCB) count was detected between 1,95-2,27 log kob/g. C group exceeded limit value after day 6, while 250 and 467 kV/m HVPEF retarded this time range by 2 days. 700 kV/m PEF exceeded same limit at the end of the storage. CIE L\*, b\*, C\* color values of chicken breast fillets were not affected by HVPEF application during refrigerated storage. But a\* value was found significantly lower ( $p < 0,05$ ) in 700 kV/m PEF applied samples at the end of the storage. CIE h value increased significantly ( $p < 0,05$ ) during cold storage. At the end of the storage the maximum difference of  $\Delta E$  values with respect to the initial values was detected for C group.

In third part of the study *L. monocytogenes* and *P. aeruginosa* were inoculated on chicken breast fillets and HVPEF (467 kV/m, 700 kV/m) effect on growth of these pathogens were investigated during cold storage. PEF was found inefficient for *P. aeruginosa* inhibition. On the other hand cold storage under 467 kV/m HVPEF application supported significantly *L. monocytogenes* growth ( $p < 0,05$ ).

In this study, pulsed electric field which has the advantage of minimum energy consumption was applied against spoilage and pathogen microorganisms on chicken breast meat in combination with cold storage. In further studies evaluation of both physical, chemical, sensorial parameters and electrical field factors is recommended. Also new imaging techniques should be employed.

**Keywords:** innovative preservation method, cold storage, high voltage pulsed electric field (HVPEF), chicken breast fillet

**2018, 89 pages**

## TEŞEKKÜR

Akademik hedeflerimin bir durağı olan doktora tez çalışmalarımda bilgileri ve tecrübeleriyle beni aydınlatan danışman hocalarım Prof. Dr. Atıf Can Seydim ve Prof. Dr. Selçuk Çömlekçi'ye bu süreçte gösterdikleri sabır, anlayış ve emekleri için teşekkür ederim.

Ankara Üniversitesi'nde tamamladığım lisans eğitimi sürecinde tanıştığım ve yüksek lisans danışmanlığında tamamladığım Prof. Dr. Kezban Candoğan'a ve yine üniversite hayatının daha ilk yılında mikrobiyolojinin temellerini kazandırmış olan Prof. Dr. Yasin Tuncer'e tez izleme toplantılarında yapmış oldukları eleştiriler ve çözüm önerilerinden dolayı teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarım boyunca benden yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Zeynep Seydim'e, Doç. Dr. Tuğba Kök Taş'a, Doç. Dr. Özgür Koşkan'a, Arş Gör. Dr. Bilge Ertekin Filiz'e, Arş. Gör. Dr. Ece Söğüt'e, Dr. Seda Özarlan'a ve laboratuvarı paylaştığım arkadaşlarıma teşekkür ederim.

S.D.Ü. Elektronik ve Haberleşme Bölümü teknisyenlerine teknik yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Tezimin gerçekleşmesinde 3576-D2-13 numaralı proje ile maddi destek sağlayan S.D.Ü. BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ'ne teşekkür ederim.

Isparta'daki ailem Selma Turak, Tahir Turak, Berna Turak Kaplan, Mehmet Kaplan ve Buket Turak'a bana evlerini açtıkları ve kızları-kardeşleri yerine koydukları için teşekkürü borç bilirim. Doç. Dr. Ezgi Rağbet Duran'a, Şule Ürün'e ve Oğuzhan Nacak'a bilimsel tecrübe ve dostluklarıyla yanımda oldukları için teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında kayıtsız şartsız yanımda olan, yükümü hafifleten, her daim bana güvenerek moral veren annem Mevhibe Aşık'a, babam Eyüp Aşık'a, abim Mustafa Cem Aşık'a, ablam Zeynep Aşık Güteryüz'e, kardeşlerim Ayşe Aşık'a ve Aslıhan Aşık Akdere'ye doktora süresince gösterdikleri tarifi imkansız destek için minnettarım.

Hayat arkadaşım Ahmet Emin Canbaz'a stresli çalışmalarımı beni anlayışı ve fedakarlığı ile desteklediği, hep şefkat ve huzurla beslediği, bana her zaman umut aşılayıp yolumu aydınlattığı için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

En değerli varlığım kızım Nil Canbaz'dan hasta olduğunda kreşe bırakmak zorunda kaldığım ve beni özlediğinde yanımda olamadığım günler için özür diler, beraber geçirebileceğimiz zamanlardan fedakarlık ettiği için kendisine en büyük teşekkürü sunarım.

Dikenli ağaçlardan meyve toplamaya benzettiğim doktora sistemi içerisinde maruz kaldığım stres, yorgunluk ve yıpranmanın sonucunda ortaya koyduğum emeğin, bana başarılı bir akademik kariyer, Türkiye Cumhuriyeti devletine

uluslararası alanda bilimsel katkı ve Gıda Mühendisliği alanında yapılan çalışmalara yol gösterici olarak geri dönmesini temenni ederim.

Emine AŞIK CANBAZ  
ISPARTA, 2018



## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   | Sayfa |
|---|-------|
| Şekil 2.1. Elektroporasyon oluşumu.....   | 15    |
| Şekil 2.2. PEF ile hücre zarının lipit tabakasında hidrofobik por oluşumu.....  | 17    |
| Şekil 2.3. PEF uygulanmış olan <i>E. coli</i> hücrelerinin TEM ile elde edilmiş görüntüleri.....  | 18    |
| Şekil 2.4. PEF uygulanmış <i>S. cerevisiae</i> 'nın direnç mekanizması .....  | 19    |
| Şekil 2.5. Üstel azalan (a) ve kare (b) darbe şekillerinin enerji etkinliği.....  | 21    |
| Şekil 2.6. Kare ve üstel azalan darbe şekillerinde darbe genişliği.....   | 22    |
| Şekil 3.1. Darbe şekli, darbe genişliği ve darbe süresini gösteren diyagram ....  | 34    |
| Şekil 3.2. Bağlantı blok şeması.....  | 35    |
| Şekil 4.1. Şekil 4.1. HVPEF ile soğuk depolama boyunca <i>P. aeruginosa</i> mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL).....  | 43    |
| Şekil 4.2. HVPEF ile soğuk depolama boyunca <i>C. jejuni</i> mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL) .....  | 45    |
| Şekil 4.3. HVPEF ile soğuk depolama boyunca <i>L. monocytogenes</i> mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL).....  | 47    |
| Şekil 4.4. Soğuk depolama boyunca <i>S. aureus</i> mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL) .....  | 49    |
| Şekil 4.5. PEF ile soğuk depolama boyunca <i>E. coli</i> mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL) .....  | 51    |
| Şekil 4.6. HVPEF ile soğuk depolama boyunca <i>S. Enteritidis</i> (ATCC 13076) mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL).....   | 53    |
| Şekil 4.7. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuk göğüs eti örneklerinin pH değerlerindeki değişim.....   | 55    |
| Şekil 4.8. 4 °C'ta muhafaza edilmiş K ve 250 kV/m, 467 kV/m, 700 kV/m HVPEF altında muhafaza edilmiş tavuk örneklerinin TMAB sayılarının zamana karşı gelişim grafiği ..... | 57    |
| Şekil 4.9. 4 °C'ta muhafaza edilmiş K ve 250 kV/m, 467 kV/m, 700 kV/m HVPEF altında muhafaza edilmiş tavuk örneklerinin TKB sayılarının zamana karşı gelişim grafiği .....  | 60    |
| Şekil 4.10. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuk göğüs eti örneklerinin $\Delta E$ değerleri.....   | 63    |
| Şekil 4.11. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuk göğüs eti örneklerine inoküle edilmiş olan <i>P. aeruginosa</i> sayısındaki değişim (log kob/g)                          | 65    |
| Şekil. 4.12. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuklara inoküle edilmiş olan <i>L. monocytogenes</i> sayısındaki değişim (log kob/g).....                                   | 67    |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|   | Sayfa |
|---|-------|
| Çizelge 2.1. Gıda muhafazasında kullanılan ısıl olmayan yöntemlerle ilgili güncel bazı çalışmalar .....                                     | 9     |
| Çizelge 2.2. 2008-2018 yılları arasında ScienceDirect veri tabanında PEF ile ilgili yayınlanmış çalışmaların sayısı .....                   | 29    |
| Çizelge 3.1. Test mikroorganizmalarının başlangıç sayıları (kob/ml) ve inkübasyon sıcaklıkları (°C) .....                                   | 37    |
| Çizelge 4.1. HVPEF ile soğuk depolama boyunca <i>P. aeruginosa</i> mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/ml) .....                          | 42    |
| Çizelge 4.2. HVPEF ile soğuk depolama boyunca <i>C. jejuni</i> mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/ml) .....                              | 44    |
| Çizelge 4.3. HVPEF ile soğuk depolama boyunca <i>L. monocytogenes</i> mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/ml) .....                       | 46    |
| Çizelge 4.4. HVPEF ile soğuk depolama boyunca <i>S. aureus</i> mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/ml) .....                              | 48    |
| Çizelge 4.5. HVPEF ile soğuk depolama boyunca <i>E. coli</i> mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/ml) .....                                | 50    |
| Çizelge 4.6. HVPEF ile soğuk depolama boyunca <i>S. Enteritidis</i> mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/ml) .....                         | 53    |
| Çizelge 4.7. HVPEF ile soğuk depolama boyunca pH değerlerindeki değişim .   | 55    |
| Çizelge 4.8. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuk örneklerinin TMAB yükündeki değişim (log kob/ml) .....                                  | 57    |
| Çizelge 4.9. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuk örneklerinin TKB yükündeki değişim (log kob/ml) .....                                   | 59    |
| Çizelge 4.10. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuk göğüs eti örneklerinin renk parametrelerindeki (CIE L*, a*, b*, C*, h) değişim .....   | 62    |
| Çizelge 4.11. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuk göğüs eti örneklerinin ΔE değerleri .....  | 63    |
| Çizelge 4.12. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuklara inoküle edilmiş olan <i>P. aeruginosa</i> sayısındaki değişim (log kob/g) .....    | 65    |
| Çizelge 4.13. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuklara inoküle edilmiş olan <i>L. monocytogenes</i> sayısındaki değişim (log kob/g) ..... | 66    |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|          |   |
|----------|---|
| ATCC     | American Type Culture Collection            |
| $C_m$    | Membranın birim alanının kapasitansı        |
| D        | Hücre çapı                                  |
| d        | Mesafe                                      |
| E        | Elektrik alan yoğunluğu                     |
| Hz       | Herz  |
| V        | Voltaj                                      |
| $V_m$    | Hücre zarındaki potansiyel fark             |
| $\rho$   | sitoplazma ortamının direnci                |
| $\tau_m$ | Dış membranın yüklenmesi için gerekli zaman |
| $\theta$ | Elektrik alan doğrultusuyla hücrenin açısı  |
| $\Delta$ | Fark  |



## 1. GİRİŞ

Son yıllarda eğitim seviyesinin yükselmesi ve iletişim ağının güçlenmesi ile ortaya çıkan bilinçli tüketici sadece güvenilir değil aynı zamanda duyuşal ve besleyici özelliği korunan hatta olumlu sağlık etkileri olan gıdaları talep etmektedir (Mead, 2004). Algısı ve beklentisi değişen tüketici grubunun sosyal hayatı ve kültüründen de beslenen taleplerinin karşılanması, yeni muhafaza yöntemlerine yönelik arayışı tetiklemiştir (Cardello, 1998).

Yetişkin bireyler fizyolojik faaliyetlerini sürdürebilmek, çocuklar ise gelişimlerini sağlıklı ve yeterli bir şekilde tamamlayabilmek için gıda tüketimine ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyacını karşılayabilmek amacıyla insanlar varolduğundan beri hasat veya kesim sonrası yiyeceklerini temel yöntemler ile muhafaza etmiştir. Gıdaların kolay bozulabilen doğasından dolayı bu yöntemler zamanla geliştirilmiş ve ortaya yeni formülasyona sahip uzun ömürlü ürünler çıkmıştır. Ancak yeni ürünlerle beraber katkı maddelerinin kullanılması da sağlıkla ilgili endişeleri doğurmuştur fakat mikrobiyolojik endişelerin önüne geçememiştir (Varnam ve Sutherland, 1995).

Gıdaların mikrobiyolojik yollarla bozulması mikroorganizmaların gelişmesi ve metabolik aktivitelerini gıdalar üzerinde sürdürmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Mikroorganizmalar gıda zincirine hayvanlar aracılığıyla dahil olmakta ve farklı yollarla perakende et veya et ürünlerine kadar ulaşabilmektedir (Varnam ve Sutherland, 1995). Özellikle soğuk depolama koşullarında bozulmaya neden olan mikroorganizmalar taze etlerin raf ömrünü kısaltması ve gıda güvenliğini tehdit etmesi nedeniyle önem taşımaktadır (Mead, 2004).

Gıdaların tüketilebilir kalitesinin devamını sağlamak için soğuk muhafazanın diğer yöntemler ile birlikte kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (İçier ve Baysal, 2012).

Bu amaçla son yıllarda ışınlama, yüksek hidrostatik basınç, darbeli ışık, ozonlama, soğuk plazma, ultrases, elektriksel yöntemler gibi alternatif ısıl olmayan yöntemlere hem endüstride hem de akademide yoğun ilgi gösterilmektedir. Bu bağlamda kaliteli, sağlıklı ve güvenli gıda üretimi ile uzun raf ömrü sağlamak üzere araştırılan yöntemlerden biri darbeli elektrik alan (PEF) uygulamasıdır.

Mikroorganizmaların hücre zarı üzerinde geri dönüşümsüz yıkıcı etkileri olduğu bilinen PEF uygulaması ile mikrobiyal inaktivasyon sağlanabilmekte, ısı artışının olmaması nedeniyle gıdaların besin ve kalite değerleri korunabilmektedir (Sitzmann vd., 2016). Çoğunlukla akışkan gıdaların raf ömrünü uzatmak için değerlendirilen bu yöntem bitkisel veya hayvansal kaynaklı katı gıdalarda ise ekstraksiyon, marinasyon, kürlenme, tuzlama, tekstürel özelliklerin veya besleyici yapının geliştirilmesi amacı ile kullanılmaktadır (Gudmundsson ve Hafsteinsson, 2005, Toepfl vd., 2006b). Et ve et ürünlerinde ise mikrobiyolojik kalitenin iyileştirilmesi ile sonuçlanmış olan çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Bu tez kapsamında tavuk göğüs eti örneklerinin raf ömrünü uzatabilmek için soğuk muhafazanın yüksek voltajlı darbeli elektrik alan (HVPEF) yöntemi ile kombinasyonu gerçekleştirilmiştir. HVPEF yönteminin depolama boyunca tavuk göğüs etine mikrobiyal, kimyasal ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Ambalajlı ve katı bir gıdaya uygulanmasının yanı sıra kullanılan ekipmanın gıda ile temasının olmaması bu çalışmanın farklı yönünü ortaya koymaktadır. Aynı zamanda buzdolabı veya soğuk hava deposu gibi gıda muhafaza alanlarına adapte edilebilecek minimal enerji tüketimine sahip bir sistem önererek gıda sektörüne bireysel veya kurumsal boyutta yeni ve etkili bir gıda muhafaza yöntemi kazandırılması da tasarlanmıştır. Böylelikle soğukta muhafazada çığır açacak yenilikçi bir yöntem uygulanarak hem ekonomik zararların hem de insan sağlığını tehdit eden potansiyel tehlikelerin önüne geçilecektir.

## 2. KAYNAK ÖZETİ

### 2.1. Gıdalarda Bozulma Reaksiyonları

Yetişkin bireyler fizyolojik faaliyetlerini sürdürebilmek, çocuklar ise gelişimlerini sağlıklı ve yeterli bir şekilde tamamlayabilmek için gıda tüketimine ihtiyaç duymaktadır. Ancak gıdalar çiftlikten sofraya yaptıkları yolculukta çeşitli bulaşılara maruz kalmakta ve ısı, ışık, metal iyonları, oksijen, mikroorganizma, makroorganizma gibi faktörlerden etkilenmektedir (Singhal vd., 1997).

Mikroorganizmalar canlılıklarını sürdürebilmek için gıdalarda bulunan besin maddelerini kullanırken bir dizi kimyasal, biyokimyasal, fiziksel, mekanik, organoleptik değişimlere neden olmaktadır (Jay vd., 2005; Fung, 2009). Bu değişimler sonucu ortaya çıkan besin değeri, renk, aroma, tekstür ve genel görünüş kayıpları gıdanın tüketilebilir niteliğini ortadan kaldırmaktadır (Robertson, 2010). Diğer taraftan hem bozulma hem de hastalık ajanı olan mikroorganizmaları insanlara taşıyan gıdalar sağlık açısından riskli hale gelmektedir (Varnam ve Evans, 1996). Her yıl tahminen 600 milyon kişi kontamine gıdaları tükettiği için hastalanmakta ve bunların 420.000'i ölmektedir. Gıda kaynaklı hastalıklar hem sağlık sisteminin maddi yükünü artırarak hem de turizmi ve ticareti etkileyerek sosyoekonomik kalkınmayı engellemektedir (WHO, 2013).

*Campylobacter*, *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Listeria* ve *Vibrio* gibi bakteriler, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından gıda kaynaklı hastalıklara neden olan mikroorganizmalar içinde ilk sıralarda gösterilmekte iken kırmızı et, kanatlı eti, yumurta, pastörize edilmemiş süt ve kabuklular gibi hayvansal kaynaklı çiğ ürünlerin kontaminasyona en açık gıdalar olduğu öne sürülmektedir (WHO, 2013).

Et, avlanma becerilerinin gelişmesiyle beraber insanların beslenmesinde eski çağlardan beri yerini almıştır. Sağlıklı bir hayvandan elde edilen taze etin iç dokusu steril kabul edilse de işleme, taşıma, depolama ve satış aşamalarında bulaşılara

maruz kalmaktadır (Varnam ve Sutherland, 1995). İnsan patojeni olan mikroorganizmalar gıda zincirine hayvanlar aracılığıyla dahil olmakta ve çapraz kontaminasyon ile perakende et veya et ürünlerine kadar ulaşabilmektedir. Kırmızı et, kanatlı eti, su ürünleri ve işlenmiş et ürünlerinin bozulmasına neden olan mikroorganizmaların gelişmesi bu gıdaların pH değerleri, besin ve nem içerikleri ile desteklenmektedir (Jay vd., 2005).

Kırmızı ette ve kanatlı etinde Gram (-) bakteriler baskın olsa da Gram (+) bakteriler içinde laktobasillerle beraber enterokoklar en çok bulunan mikroorganizmalardır. *E. coli* Tip 1, *Salmonella*, *Campylobacter*, *Arcobacter*, *Listeria*, *Yersinia*, patojenik *E. coli* türleri taze kırmızı ette, *Enterococcus*, *Campylobacter*, *Salmonella*, *Pseudomonas*, *Yersinia* türleri ise taze kanatlı etlerinde bozulmaya neden olmaktadır (Jay vd., 2005). Yapılan çalışmalarda kanatlı etlerinin mikrobiyal kalitesi çoğunlukla *Salmonella* spp. (Shi vd., 2012; Silva ve Gibbs, 2012), *E. coli* ve *Campylobacter jejuni* (Liu vd., 2012) türleri ile ilişkilendirilmiştir.

Taze etler buzdolabı sıcaklığında depolandıklarında bozulma nedeni mikroorganizmalar gelişme fırsatı bulacaktır. Taze etteki heterojen mikrobiyal flora içerisinde buzdolabı sıcaklığında en hızlı gelişen mikroorganizmalar *Pseudomonaslar*'dır (Jay vd., 2005). *Pseudomonadaceae* familyası içerisinde yer alan *Pseudomonaslar*, Gram (-), aerobik, çubuk şeklinde bakterilerdir. Gıdalar açısından önemli özellikleri proteolitik ve lipolitik aktiviteye sahip olmaları, gıdaların yüzeyinde okside ürünler ve mukoz madde oluşturmalarıdır (Şen ve Halkman, 2006). Et ve et ürünlerinde de amonyak, H<sub>2</sub>S, indol ve aminler gibi kötü kokulu bileşikler üretmektedirler (Jay vd., 2005; Gu vd., 2016).

Taze kırmızı et ve kanatlı etine sıklıkla bulaşan *Salmonella*, *Enterobacteriaceae* familyasından, Gram (-), çubuk şeklinde bakterilerdir (Jay vd., 2005). Özellikle bağırsak kökenli hastalıkların kaynağı olan bu bakterinin neden olduğu salgınlar tüm dünyada görülmektedir (WHO, 2015).

Hayvansal kaynaklı gıdalar ile taşınabilen önemli bakteriyel patojenik ajanlardan biri olan *Campylobacter* spp. 25°C ve 43 °C arasında gelişebilen, Gram (-), hareketli, spiral bir bakteridir (Stern, 2001). Mikroaerofilik özelliği ile gelişebilmek için 3-15 oranında oksijen ve % 3-5 oranında karbondioksite ihtiyaç duymaktadır. Kanatlılar, özellikle tavuklar *Campylobacter* enfeksiyonları için önemli bir hedefdir (Varnam ve Evans, 1996). Kanatlılar aracılığıyla bulaşan termofilik *C. jejuni* ve *Campylobacter coli* türlerinin insanlarda neden olduğu hastalıklar dünyada oldukça yaygındır (Jay vd., 2005; WHO, 2018).

Taze veya ısı işlem görmüş etlerde sıklıkla rastlanan *Staphylococcus aureus* *Micrococcaceae* familyasının üyesi olup enterotoksin üreterek gıda zehirlenmesine neden olmaktadır. Gram (+) ve fakültatif anaerob özellik gösteren *S. aureus* mezofil olsa da bazı suşları düşük sıcaklıklarda da gelişebilmektedir (Angelotti vd., 1961; Varnam ve Evans, 1996).

*Enterobacteriaceae* familyasının bir üyesi olan *E. coli* türü bakteriler Gram (-), çubuk, fakültatif anaerob ve sporsuzdur. Fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı oldukça dirençli olan bu bakteriler insanların ve birçok hayvanın sindirim sisteminde en sık rastlanan mikroorganizmalardandır. Bu nedenle gıdalarda fekal bulaşının bir göstergesi olarak kabul edilirler (Feng, 2001). *E. coli* suşlarının konakçısı olan gıdalar arasında taze etler de yerini almaktadır (Varnam ve Sutherland, 1995).

*Listeria* Gram (+), hareketli, sporsuz, çubuk şeklinde mikroorganizmalardır ve sadece *Listeria monocytogenes* türü insanlarda hastalık yapmaktadır (Varnam ve Evans, 1996). İster hayvansal ister bitkisel kaynaklı olsun taze gıdalar *L. monocytogenes*'i barındırmaktadır. Genel olarak süt, peynir, taze veya dondurulmuş kırmızı et, kanatlı eti, deniz ürünlerinde bulunmaktadır (Jay vd., 2005). Gıdaların aracı olduğu *L. monocytogenes* soğuğa karşı dirençli olup buzdolabı sıcaklığında gelişip çoğalabilmektedir. Kürtleme ajanlarına da dirençli olduğu bilinen *Listeria*'ya salam, sosis gibi et ürünlerinde de rastlanabilmektedir (Mead, 2004).

## 2.2. Yeni Gıda Muhafaza Yöntemleri

Her geçen gün dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi gıda sektörüne de hareketlilik kazandırmış, yeni teknolojilerin gelişmesi üretim teknolojilerinin yönünü değiştirmiştir. Tüketiciler, daha iyi niteliklerde, kolay hazırlanabilir veya tamamen tüketime hazır, güvenli, besleyici, daha çok çeşitlilik gösteren, ucuz ve yaşam şeklinin gereklerine uygun gıdaları tercih etmeye başlamıştır (Martin-Belloso ve Elez-Martinez, 2005).

Gıda çeşitliliğinin tüketicilerin tercihlerine cevap verebilmek üzere artması, gıda kalitesinin korunması ve ambalajlanması üzerine çalışmaları da yoğunlaştırmıştır. Günümüze kadar gıdaların raf ömrünü artırmak üzerine birçok yöntem kullanılmıştır. Gelenekselden teknolojik işlemlere kadar değişen bu uygulamalarda öncelikle gıdanın daha uzun süre dayanımını sağlamak hedef olarak görülmektedir (Martin-Belloso ve Elez-Martinez, 2005).

Gıdaların uzun süre muhafaza edilebilmesi amacıyla gıda kaynaklı patojenlerin kontrolü, ham maddenin kontaminasyonunun en aza indirilmesi ve güvenli işleme koşulları ile sağlanmaktadır (Varnam ve Evans, 1996). Gıdaların tüketilebilir niteliğinin daha uzun süre korunması ile güvenli gıda üretimi, kalite kayıplarının azaltılması, dünya üzerinde eşit ve kolay gıda dağılımının sağlanabilmesi için gıda muhafaza yöntemleri geliştirilmiştir (Karel ve Lund, 2003).

Gıda muhafaza yöntemleri temel olarak üç gruba ayrılmaktadır (Rahman, 2007),

- a. İnhibisyon yöntemleri: sıcaklık kontrolü, oksijenin azaltılması, karbondioksitin artırılması, fermantasyon, koruyucu kullanımı, antioksidan ilavesi, su aktivitesinin düşürülmesi, tuz/şeker ilavesi

b. İnaktivasyon yöntemleri: sterilizasyon, pastörizasyon, radyasyon, elektriksel yöntemler, basınç uygulamaları, haşlama, pişirme, kızartma, ışık, ses gibi

c. Bulaşların engellenmesi: ambalajlama, hijyenik depolama, aseptik işleme, tehlike analizi ve kritik kontrol noktalarında tehlike analizi (HACCP), iyi üretim uygulamaları (GMP), uluslararası standartlar (ISO 9000), toplam kalite yönetimi, çeşitli risk analizi ve yönetimi sistemlerinin uygulanması.

Gıdaları fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik etkilere karşı korumak için uygulanan, en iyi bilinen ve en etkili yöntem ısıl işlemdir. Ancak ısıl işlemin etkisi özellikle ambalajlı ve büyük hacimli gıdalarda yetersiz kalmakta, katı gıdalarda ısı kaynağına yakın noktalarda yanık oluşumuna neden olmakta, taze et ile su ürünlerinde sertliğin oluşması ile sonuçlanmaktadır. Aynı zamanda ısıl işlem sonucunda vitamin ve mineral kaybı, görünüş, lezzet ve doku gibi duyuşal parametrelerde arzu edilmeyen değişimler ortaya çıkmaktadır (İçier ve Baysal, 2012). Diğer taraftan ısıl işlemlerin sonucunda heterosiklik aromatik aminler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, nitrözaminler gibi kanserojenik ve mutajenik bileşikler oluşabilmektedir (Singhal vd., 1997). Wretling vd. (2010), çalışmalarında dumanlama işleminin kırmızı et ve et ürünleri ile balık etinde polisiklik aromatik hidrokrbonlar oluşumuna etkisini araştırmışlar, 38 adet tütsülenmiş kırmızı et ve et ürününün altında, 39 adet tütsülenmiş balık etinin dokuzu direk sıcak dumana maruz kalması ile örneklerdeki limit değerinin üzerinde olduğunu tespit etmişlerdir.

Mikroorganizmaların gelişmesini engellemek için başvurulan bir diğer yöntem soğuk muhafazadır. Bu koşullarda uygulanan dondurma işlemini mikroorganizmaların faaliyetlerini durdururken, gıdaların donma sıcaklığı üzerinde ve 15 °C'nin altında gerçekleştirilen soğuk depolama mikroorganizmaların metabolik faaliyetlerini yavaşlatmaktadır (Karel ve Lund, 2003; Mead, 2004). Ancak düşük sıcaklıklara dayanıklı mikroorganizmalar

gıdaların bozulması ile sonuçlanan aktivitelerine devam etmektedir (Mead, 2004). Dolayısıyla satış ve depolama sürecinde de gıdaların tüketilebilir kalitesinin devamını sağlamak için soğuk muhafazanın diğer yöntemler ile kombinasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır. Soğuk muhafazaya yardımcı olabilmek için geleneksel olarak gıdaların su aktivitesi ve pH değeri ile oynanarak, koruyucu kimyasallar veya kültürler kullanılarak, hatta ambalajlama uygulanarak bozulmalar karşısında engeller oluşturulmaktadır (İcier ve Baysal, 2012).

Ham maddenin yetiştirilmesinden itibaren kullanılan kimyasalların gıdalarda kalıntı bırakması ve bu kalıntıların insan vücudunda birikmesi sağlıkla ilgili endişeleri artırmıştır (Karel ve Lund 2003). Diğer taraftan antibiyotik ile mikroorganizmaların bertaraf edilmeye çalışılması zamanla dirençli türlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Gıda güvenliği açısından global bir problem olan antibiyotik direnci yüksek mikroorganizmaları inaktive edebilmek alternatif yöntemlere olan ihtiyacı tetiklemiştir (Clelia, 2017).

Söz konusu dezavantajları ortadan kaldıracı için yeni gıda muhafaza yöntemleriyle tüketicilerin sadece güvenilir değil aynı zamanda duyuşal ve besleyici özelliğı korunan hatta iyileştirici gıda arayışına cevap verilebilmektedir (Karel ve Lund, 2003). Son yıllarda ışınlama, yüksek hidrostatik basınç, darbeli ışık, ozonlama, soğuk plazma, ultrases, elektriksel yöntemler gibi alternatif ısıl olmayan, gıdaların besinsel değeri ve duyuşal karakteristiklerini daha iyi koruyabilen yöntemlere hem endüstride hem de akademide yoğun ilgi gösterilmektedir. Çizelge 2.1'de gıda muhafazasında kullanılan ısıl olmayan yöntemlerle ilgili güncel bazı çalışmalar gösterilmiştir .

Çizelge 2.1. Gıda muhafazasında kullanılan ısı olmayan yöntemlerle ilgili güncel bazı çalışmalar

| Yöntem       | Hedef Mikroorganizma  | Uygulama Ortamı                    | Referans             |
|--------------|---|------------------------------------|----------------------|
| Işınlama     | <i>S. Enteritidis, S. Typhimurium, S. Bareilly</i>  | Tuna balığı                        | Mahmoud vd., (2016)  |
|              | <i>Pseudomonas fluorescens</i>  | Ispanak, marul                     | Olanya vd., (2015)   |
|              | <i>E. coli</i>  | Tavuk kıyması                      | Sommers vd., (2016)  |
|              | Hepatit A virüsü (HAV), Murine norovirus-1 (MNV-1)  | Tavuk göğsü                        | Park ve Ha (2015)    |
| Darbeli Işık | <i>Salmonella Enteritidis, L. monocytogenes, S. aureus, enterohemorrhagic E. coli, Pseudomonas spp., Brochothrix thermospacta, Carnobacterium divergens</i> | Tavuk                              | McLeod vd., (2018)   |
|              | <i>E. coli, Listeria innocua</i>  | Gelrite                            | Kramer vd., (2017)   |
|              | <i>L. monocytogenes</i>   | Tryptone Soya Agar + Yeast extract | Heinrich vd., (2016) |
|              | <i>Listeria spp.</i>  | Dilimlenmiş peynir                 | Fernández vd., 2016  |

Çizelge 2.1. Gıda muhafazasında kullanılan ısı olmayan yöntemlerle ilgili bazı çalışmalar (Devam)

| Yöntem                                 | Hedef Mikroorganizma  | Uygulama Ortamı   | Referans                    |
|--|---|-------------------|-----------------------------|
| <b>Yüksek Hidrostatik Basınç (HPP)</b> | <i>E. coli</i>  | Sığır kıyması     | Hsu vd., (2015)             |
|  | Toplam aerobik bakteri, toplam maya-küf   | Mango püresi      | Pulido vd., (2017)          |
|  | Toplam aerobik bakteri, toplam maya-küf   | Kavun püresi      | Mukhopadhyay vd., (2017)    |
|  | <i>Listeria</i>   | Taze peynir       | Evert-Arriagada vd., (2018) |
|  | <i>P. fluorescens, P. putida, toplam aerobik bakteri, koliform, E. coli</i>                               | Mozarella peyniri | Segat vd., (2014)           |
| <b>Ozonlama</b>                        | <i>E. coli, Listeria spp.</i>   | Ispanak           | Wani vd., (2015)            |
|  | Toplam aerobik bakteri  | Sığır eti         | Lyu vd., (2016)             |
|  | Toplam mezofilik aerobik bakteri, Toplam psikrofilik bakteri, <i>Enterobacteriaceae, Pseudomonas spp.</i> | Balık             | Pedrós-Garrido vd., (2017)  |

Çizelge 2.1. Gıda muhafazasında kullanılan ısı olmayan yöntemlerle ilgili güncel bazı çalışmalar (Devam)

| Yöntem              | Hedef Mikroorganizma  | Uygulama Ortamı                      | Referans             |
|---------------------|---|--------------------------------------|----------------------|
|                     | <i>S. Typhimurium, L. monocytogenes, E. coli</i>  |                                      | Ziuzina vd., (2015)  |
|                     | <i>E. coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> , <i>L. monocytogenes</i> , Tulane virüsü   | Marul                                | Min vd., (2016)      |
| <b>Soğuk plazma</b> | Toplam mezofilik bakteri, toplam psikrofilik bakteri, <i>Pseudomonas</i> spp.   | Tavuk göğüs eti                      | Wang vd., (2016)     |
|                     | <i>Salmonella</i> spp., Shiga toksin üreten <i>E. coli</i> suşları, <i>L. monocytogenes</i>                                   | Domates, ceviz                       | Timmons vd., (2018)  |
|                     | <i>Alicyclobacillus acidoterrestris</i> sporları  | Elma suyu                            | Tremarin vd., (2017) |
|                     | <i>L. monocytogenes, E. coli, S. Typhimurium, B. cereus, Fitovirüsler</i>   | NaCl, erik, kayısı, domates püreleri | Sarkinas vd., (2018) |
| <b>Ultra ses</b>    | Toplam bakteri, Toplam Enterobacteriaceae, <i>C. jejuni</i>   | Tavuk                                | Kassem vd., (2018)   |
|                     | <i>S. aureus, Salmonella</i> spp., <i>E. coli</i> , toplam mezofil bakteri, toplam psikrofil bakteri, laktik asit bakterileri | Kanatlı göğüs eti                    | Piñon vd., (2018)    |

Çizelge 2.1. Gıda muhafazasında kullanılan ısı olmayan yöntemlerle ilgili güncel bazı çalışmalar (Devam)

| Yöntem                             | Hedef Mikroorganizma  | Uygulama Ortamı | Referans             |
|------------------------------------|---|-----------------|----------------------|
|                                    | Toplam mezofilik bakteri,   | Balık           | Ko vd., (2016)       |
| <b>Statik Elektrik Alan</b>        | Toplam mezofilik bakteri, <i>Pseudomonas</i> , laktik asit bakterisi, <i>Aeromonas</i> , <i>Pseudomonas</i> , halofilik bakteri | Sazan balığı    | Li vd., (2017)       |
|                                    | <i>Campylobacter</i> spp., <i>E. coli</i> , <i>S. Enteritidis</i>   | Tavuk           | Haughton vd., (2012) |
| <b>Darbeli elektrik alan (PEF)</b> | <i>E. coli</i> , <i>S aureus</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i>  | Üzüm suyu       | Huang vd., (2014)    |
|                                    | Toplam mezofilik bakteri  | Nar suyu        | Guo vd., (2014)      |
|                                    | <i>S. cerevisiae</i>  | Bira            | Milani vd., (2015)   |

Isıl olmayan gıda muhafaza yöntemleri tek başına veya kombine halde kullanılarak gıdaların hem kalitesi geliştirilmekte hem de raf ömrü uzatılmaktadır. Bunlar içerisinde elektriksel yöntemler yüksek voltajlı ark deşarjı (Anpilov vd., 2002), ohmik ısıtma (Engchuan vd., 2014), mikrodalga (Musto vd., 2014), darbeli elektrik alan (PEF) (Suwandy vd., 2015) ve statik elektrik alan (Ko vd., 2016) olarak uygulanabilmektedir. Elektrik alan oluşturulan yöntemlerde sıcaklıkta artışın olmaması veya gıdanın kalitesini etkilemeyecek seviyelerde kalması diğer yöntemlerin karşısında avantaj olarak kabul edilmektedir (Vega-Mercado vd., 2007). Darbeli elektrik alanda etkinliği artıran darbelerin kullanılması da statik elektrik alan karşısında yönetime üstünlük kazandırmaktadır (Ko vd., 2016).

### 2.3. Yenilikçi Bir Yöntem Olarak Darbeli Elektrik Alan (PEF)

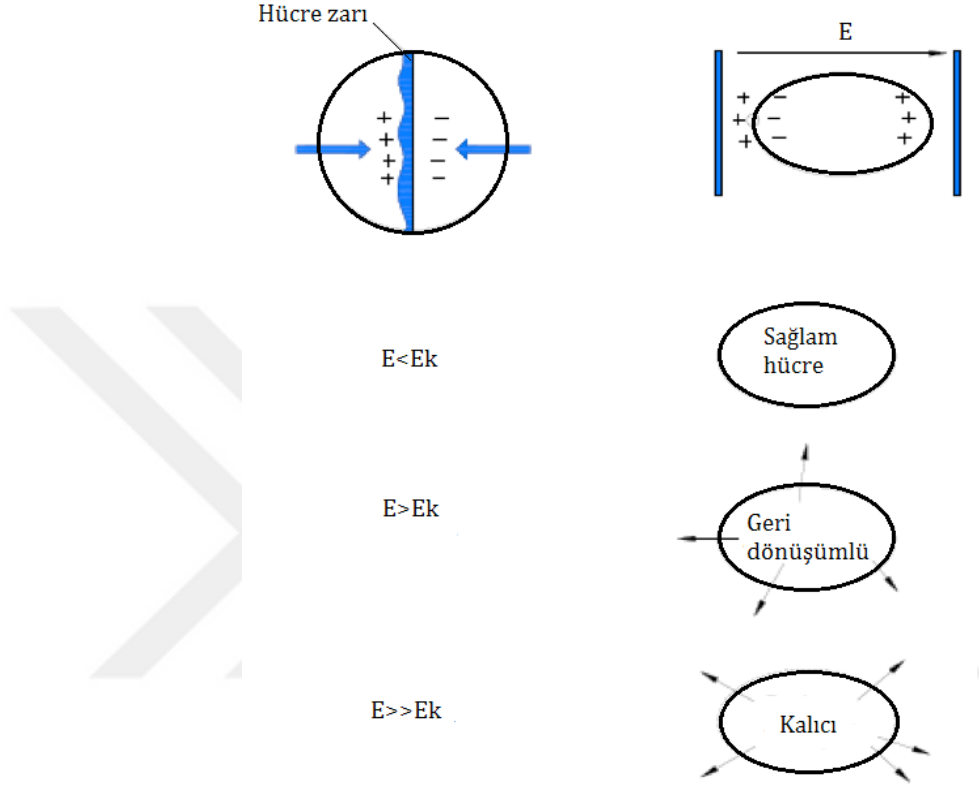
İlk olarak 18. yüzyılda İngiltere’de bitkilerin gelişimini desteklemek amacıyla kullanılan elektrik akımı zamanla gıda, eczacılık, kozmetik ve kimya alanlarında da dikkat çekmiş ve 19. yüzyılın sonunda gıdalara uygulanmaya başlanmıştır (Sitzmann vd., 2016). Elektrik kullanarak gıdaların ısıtılması ve ekstraksiyon konularına değinen bilim insanlarını takiben Stone (1909), düşük yoğunluklu elektrik alanın suyun ve sütün içerisindeki bakteri ve mayaların gelişimini desteklediğini bildirmiştir. Bu sonuçların aksine Anderson ve Filkenstein (1919) sütteki bakterilerin “electro-pure” adını verdikleri sistem ile inaktive edilebildiğini tespit etmişlerdir. Önceki uygulamalardan farklı olan darbeli elektrik alan (PEF) yöntemini ise ilk olarak ortaya koyan, uygulayan ve hücre zarı üzerine etkisi ile ilgili çalışmalar yapan Alman mühendis Heinz Doevenspeck’tir. Doevenspeck, PEF teknolojisinin mevcut teknolojilere nazaran üstünlüklerini elektrolizi baskılaması, sıcaklık artışını engellemesi, düşük enerji tüketimi ile yüksek karlılığı sağlaması, ham maddelerin ılımlı muamelesi ve patojenik hücrelerin öldürülmesi şeklinde sıralamıştır (Sitzmann vd., 2016). PEF tekniğinin mikroorganizmalar üzerinde öldürücü etkisi olduğuna dair 1960’lı yıllarda gerçekleştirilmiş çalışmalarla yöntemin etkinliğini belirleyen faktörler de ortaya çıkarılmıştır (Hamilton ve Sale, 1967; Sale ve Hamilton, 1967). 1970’lerde geri dönüşümlü elektroporasyonla ilgili çalışmalar Zimmerman vd. (1974) tarafından ortaya konmuştur. Mikrobiyal inaktivasyonu sağlayan ve gıdaların bozulmasını engelleyen kalıcı elektroporasyon ise farklı çalışma grupları tarafından araştırılmaya devam etmiştir (Hülshager ve Niemann, 1980; Dunn vd., 1987; Sitzmann ve Münch, 1987; Gupta ve Murray, 1988; Zhang vd., 1995). PEF tekniğinin gıdalardaki vitamin, enzim ve aroma gibi bileşenleri üzerine etkisi ise ilk olarak Grahl ve Märkl (1996) tarafından aktarılmıştır.

### 2.3.1. PEF yönteminin etki mekanizması

PEF yöntemi iki elektrot arasında bulunan ortama çok küçük zaman ( $\mu\text{s}$  veya  $\text{ms}$ ) dilimlerinde yüksek voltajlı elektrik akımının periyodik olarak uygulanması şeklinde tanımlanmaktadır. Bu yöntem geliştirilirken geri dönüşümlü ve kalıcı elektroporasyon olarak iki farklı alana ayrılmıştır. Geri dönüşümlü PEF tekniği, elektroporasyondan sonra hücrenin yaşamaya devam etmesine dayanmaktadır. Genellikle izotonik bir ortam sağlanmakta ve göreceli olarak düşük elektrik alan gücüne sahip darbeler ( $\sim 5\text{-}15\text{ kV/cm}$ ) daha uzun sürelerde uygulanmaktadır. Kalıcı PEF uygulaması ile mikroorganizmaların inaktivasyonu ve gıdaların muhafazası sağlanmaktadır. Kalıcı elektroporasyon kullanılan yüksek yoğunluklu ( $\sim 18\text{ kV/cm}$ 'den büyük) ve kısa süreli ( $\mu\text{s}$  altı ile  $5\text{ }\mu\text{s}$  arası) elektrik alan darbelerine bağlıdır. Uygulama ortamı bir gıda veya tuz çözeltisidir (Dunn, 2001). Hücre boyutlarının farklılığı PEF uygulanırken tercih edilen elektrik alan yoğunluğunu değiştirmektedir. Geri dönüşümlü elektroporasyon için  $0,5\text{-}1,5\text{ kV/cm}$ , bitki veya hayvan hücrelerinde kalıcı elektroporasyon için  $1,0\text{-}3,0\text{ kV/cm}$ , ve mikrobiyal inaktivasyon için  $15\text{-}40\text{ kV/cm}$  düzeyinde elektrik alan uygulandığı belirtilmiştir (Raso vd., 2016).

PEF'in mikroorganizmaların hücre zarı üzerine etkisi üç aşamalı olarak gerçekleşmektedir. İlk olarak hücre zarında bir mekanik stres oluşturularak transmembran potansiyelinde artış sağlanmaktadır. Ardından hücre membranı yarı geçirgen özelliğini yitirmekte ve son aşamada hücre içi ve dışı arasında ozmotik denge bozulmaktadır. Hücre zarı bir dielektrik materyaldir ve mikrobiyal hücreler elektrik alana maruz kaldığında zıt yükler hücre içinde ve dışında kümelenmektedir. Birbirini çeken kuvvetler hücre zarında bir basınca ve sonrasında da iletken bir kanal görevi gören por (gözenek) oluşumuna neden olmaktadır. Gözeneklerle beraber hücre içi ve dışı arasında karşılıklı geçişlerle ozmotik denge bozulmakta, bu da mikroorganizmanın inaktivasyonuna neden olmaktadır (Hamilton ve Sale, 1967). Membran alanına oranla por boyutu küçük ise

geri dönüşlü elektroporasyon gerçekleşmekte, uygulama kriterlerine bağlı olarak por oluşum hızı ve por boyutu artırılarak kalıcı etki ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Elektroporasyon oluşumu (Toepfl vd., 2005).

Elektroporasyonun gerçekleşebilmesi için elektrik alan uygulanması sonucunda transmembran potansiyelin kritik değeri (1V) aşması gerekmektedir (Sale ve Hamilton 1968). Hücre zarında oluşan potansiyel fark eşitlik (2.1.) ile hesaplanabilmektedir (Chatourangogul ve Kirawanich, 2013).

$$\Delta V_m(t) = fE \frac{D}{2} \cos\theta \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau m}}\right) \quad (2.1.)$$

D: Hücre çapı ( $\mu\text{m}$ )

$\theta$  : Elektrik alan doğrultusuyla hücrenin açısı

f: Şekil faktörü (Küresel ise  $f = 1,5$ ; Çubuk şeklinde ise  $f = l_c/l_c - 0,33D$ )

$V_m$ : Hücre zarındaki potansiyel fark (V)

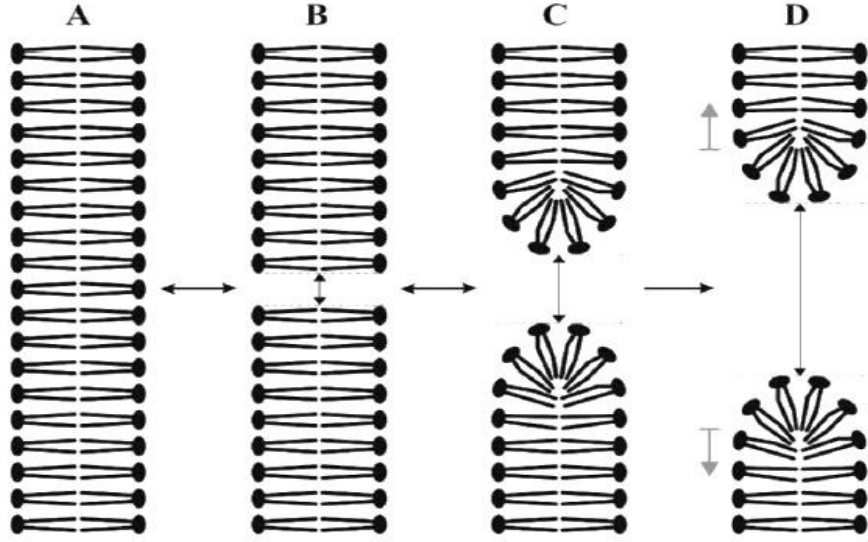
E: Elektrik alan yoğunluğu (V/cm)

$\tau_m$ : Dış membranın yüklenmesi için gerekli zaman ( $\tau_m \approx \frac{3}{4} \rho C_m D$ )

$\rho$ = sitoplazma ortamının direnci (Ohm)

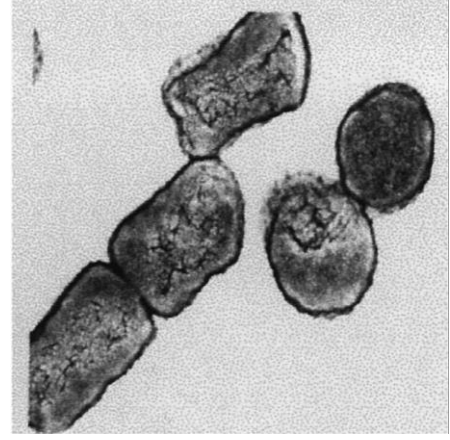
$C_m$ = Membranın birim alanının kapasitansı (Farad)

İstenmeyen mikrobiyal hücrelerin öldürülmesi veya gelişme hızının yavaşlatılması amacıyla kullanılan elektriksel darbeler ile membran yapısındaki lipit tabaka yeniden düzenlenmekte ve hem hidrofilik hem de hidrofobik porlar oluşmaktadır (Şekil 2.2). Hidrofilik porlar elektriği geçirerek lokal ısınmaya neden olmakta, böylece sıcaklık artışı ile lipit tabakada termal dönüşümler gerçekleşmektedir. Bu da hücre zarının yarı geçirgen doğasının bozulması ile sonuçlanmaktadır (Tsong, 1991). Hücre membranındaki protein kanallarında da iletkenliğin artması ile fonksiyonel gruplar modifiye olmakta veya lokal ısınma sonucu denatürasyon gerçekleşmektedir. Böylece elektroporasyon bir hücre zarında hem protein kanallarda hem de lipit tabakada ortaya çıkmaktadır (Weaver, 1993). Ortaya çıkan porlar üzerinden iki yönlü madde akışı gerçekleşmekte, iyonik ve moleküler transfer artmaktadır. Böylece, önemli biyokimyasalların kaybı, zararlı biyokimyasalların ise içeri girmesi gerçekleşebilmektedir (Weaver, 2003). Membrandaki yapısal değişiklikler sitoplazmada H<sup>+</sup> iyonu artışına neden olmakta, bunun sonucunda da kimyasal modifikasyonlar ve oksidasyon-redüksiyon reaksiyonları gerçekleşmektedir (Vega-Mercado vd., 2007).



Şekil 2.2. PEF ile hücre zarının lipit tabakasında hidrofobik por oluşumu (Kotnik vd. 2012)

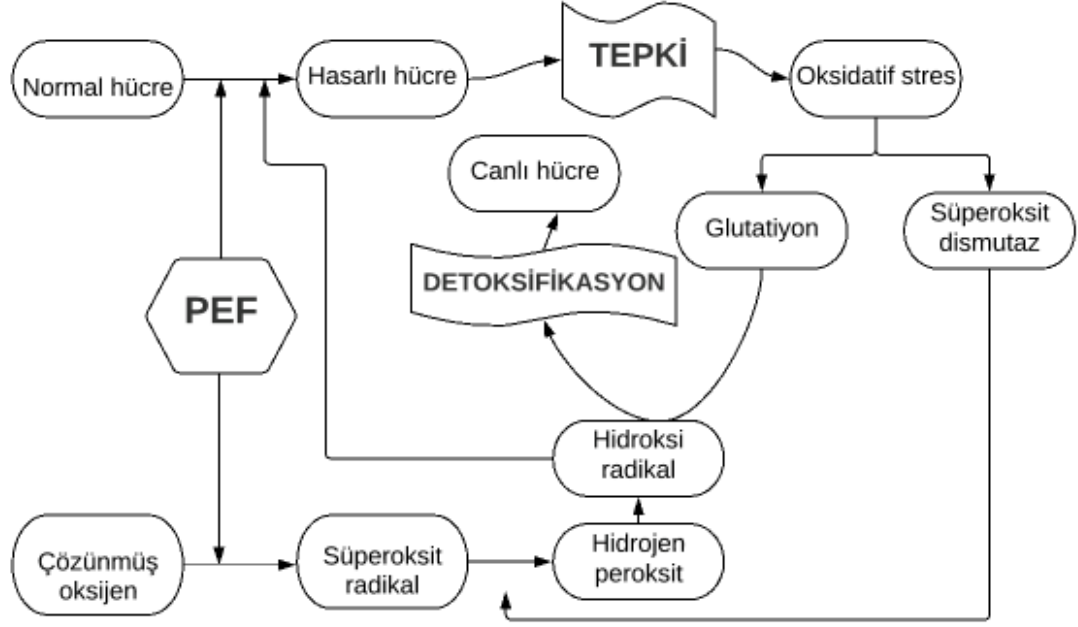
Harrison vd. (1997), PEF uygulamasının etkisini Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM) kullanarak aktarmış, maya hücresindeki organellerin hasar gördüğünü ve ribozomların görünmediğini belirtmişlerdir. Bu sonuçtan yola çıkarak elektroporasyon teorisine alternatif olarak sitolojik parçalanma mekanizmasını önermişlerdir. Şekil 2.3'te PEF uygulanmış *E. coli* hücresinin elde edilmiş olan TEM görüntüleri verilmiştir; soldaki görüntü hücre zarının parçalanmasıyla sitoplazmanın sızdığını, sağdaki görüntü ise hücre içi hasarı göstermektedir (Dutreux vd., 2000). Lelieveld vd. (2001) de PEF uygulanmış hücre zarının parçalanmadan mikroorganizmaların inaktive edilebildiğini bildirmişler, Arronson vd. (2001) de hücre zarının mikroskobik görüntülerine dayanarak PEF yönteminin doğrudan veya dolaylı olarak mikroorganizmaların hücre içi yapısını etkilediği sonucuna varmışlardır. Zhao vd. (2011) ise, *E. coli*'nin PEF ile inaktivasyonunda hücre içi enzimlerin aktivitesinde meydana gelen değişikliğin de yer aldığını tespit etmişlerdir.



Şekil 2.3. PEF uygulanmış olan *E. coli* hücrelerinin TEM ile elde edilmiş görüntüleri (Dutreux vd., 2000).

Öne sürülmüş olan inaktivasyon mekanizmalarıyla araştırmacılar PEF yönteminin “ya hep ya hiç” etkisini vurgulayarak hücrelerin ya membran bütünlüğünü ve metabolik aktivitesini kaybederek öldüğünü, ya da hem membran bütünlüğünü hem metabolik aktivitesini koruyarak canlı kaldığını belirtmişlerdir (Simpson vd. 1999; Dutreux vd. 2000). Ancak sonraki çalışmalarda, uygulama koşullarına bağlı olarak PEF ile membran bütünlüğünü kaybetmiş olmasına rağmen metabolik aktivitesini devam ettiren “hasarlı” hücrelerin elde edilmesi bu tezi çürütmüştür (Garcia vd., 2003; Jaeger vd., 2009; Sagarzazu vd., 2010).

Öldürücü dozun altında hasar gören mikroorganizma hücrelerinin koruyucu veya iyileştirici mekanizmaları araştırılmış, PEF’e maruz kalan hücrelerin hücre zarını tamir ederek (Garcia vd., 2003) veya oksidatif strese tepki vererek direnç gösterdikleri bildirilmiştir (Pakhomova vd., 2012). Tanino vd. (2012), *S. cerevisiae* mayasına 200-400 kV/m PEF uyguladıkları çalışmalarında mayaların oksidatif stresi azaltmak için glutatyon ve süperoksit dismutaz ürettiklerini, bu tepkinin hücreyi hasara karşı koruduğunu ve hücrenin yenilenmesine olanak tanıdığını tespit etmişlerdir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. PEF uygulanmış *S. cerevisiae*'nin direnç mekanizması (Tanino vd., 2012).

### 2.3.2. PEF uygulamasını etkileyen faktörler

PEF'in mikroorganizmaların gelişimini engellemek üzere uygulanması elektrik alan yoğunluğu, darbe özellikleri, uygulama süresi ve uygulanan enerji gibi teknolojik faktörlerin yanı sıra mikroorganizma özellikleri gibi biyolojik faktörler ve uygulama ortamına ilişkin faktörlerden etkilenmektedir (Sale ve Hamilton, 1967; Garcia vd., 2005a; Mosqueda-Melgar vd., 2007; Zhao vd., 2008).

#### a) Teknolojik faktörler

Elektrik alan yoğunluğu: Paralel plaka elektrot düzeninin kullanıldığı sistemlerde homojen olduğu kabul edilen elektrik alan elektrotlar arasında uygulanan voltaja, uygulama bölmesinin şekline, elektrotlar arasındaki materyalin dielektrik özelliklerine bağlıdır (Donsi vd., 2007, Raso vd., 2016).

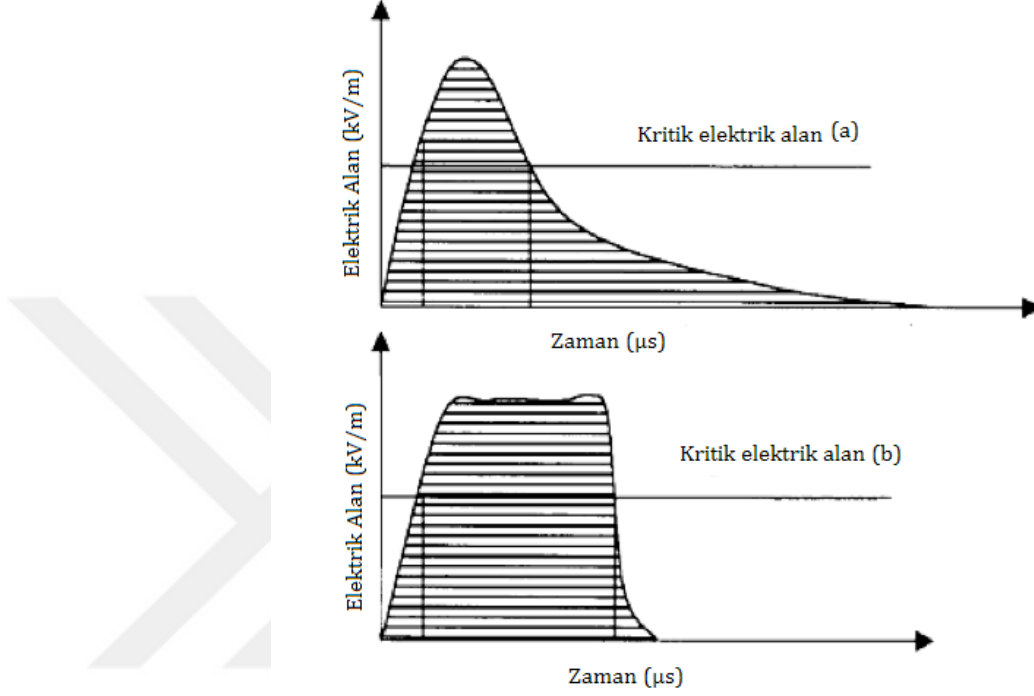
Doevenspeck (1962), elektriksel darbelerin biyolojik materyaller üzerine etkisinin uygulanan elektrik alan yoğunluğu ile orantılı olduğunu vurgulamıştır. *E. coli* ile yaptıkları çalışmada 3 kV/cm'den düşük elektrik alan yoğunluğu uygulanan kültürlerin gelişim hızının arttığını, bu değer üstündeki elektrik alan yoğunluklarında ise gelişim hızının azaldığını tespit etmişlerdir (Sitzman vd., 2016).

Darbeli elektrik alan uygulamasında en önemli kriter olan elektrik alan yoğunluğunun etkili olabilmesi için kritik potansiyel değerin (1V) aşılması gerekmektedir. Gözenekli yapıya ulaştıktan sonra 1-5 mikrosaniye aralığında elektrik alan uygulanması hücre zarında geri dönüşsüz etkileri sağlayabilmektedir (Zimmerman vd., 1974). Hülshager ve Niemann (1980), eşik değer olan 300 kV/m'nin altındaki elektrik alan değerlerinin *E. coli* üzerine öldürücü etkisi olmadığını, bu değer 600 kV/m'ye çıkarıldığında ise bakterilerin % 50'sinin inaktive edilebildiğini göstermişlerdir.

Pyatkovskyy vd. (2018), HPP, PEF ve ultrases yöntemlerini tek başına ve kombine halde uyguladıkları çalışmalarında PEF'in tek başına 10 kV/cm elektrik alan altında *L. innocua* sayısında 1 log azalma sağlaması için 0,5 s gerektiğini, 20 kV/cm uygulandığında bu sürenin 1 ms'ye indiğini, 30 kV/cm uygulandığında ise sadece 100 µs'nin yeterli olduğunu vurgulamışlardır.

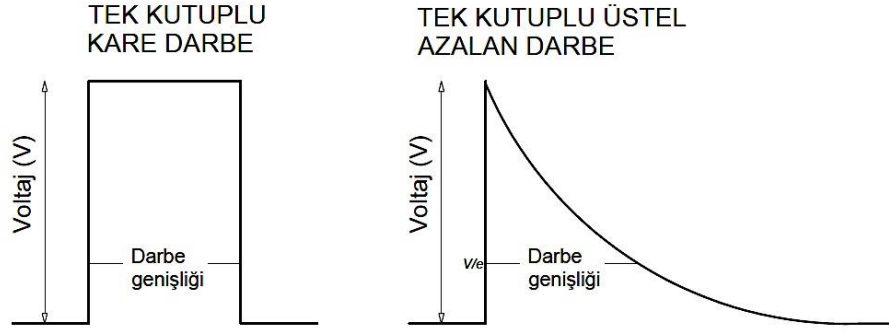
Darbe şekli: Darbeli elektrik alanın üretildiği sistemlerde farklı devrelerin kullanılması ile elde edilen kare, üstel azalan veya sinüsoidal darbe şekilleri tek veya çift kutuplu olarak uygulanabilmektedir (Loeffler, 2006; Martin-Belloso ve Soliva-Fortuny, 2011). Qin vd. (1994), tarafından kare dalga şeklindeki darbelerin enerji verimliliği % 91, üstel azalan darbelerin enerji verimliliği ise % 64 olarak tespit edilmiştir. Kare dalganın bu üstünlüğü uygulama boyunca darbe yoğunluğunun sabit kalması ile açıklanmaktadır (Şekil 2.5) (Gongora-Nieto vd., 2002). Çift kutuplu darbelerin de tek kutuplu olanlara nazaran daha etkili olduğu

bildirilmiştir. Yükler farklı kutuplara yönlendirildiğinden hücre zarı üzerindeki stres artmaktadır (Min vd., 2007).



Şekil 2.5. Üstel azalan (a) ve kare (b) darbe şekillerinin enerji etkinliği (Gongora-Nieto vd., 2002).

Uygulama süresi: Darbe genişliği ve darbe sayısının çarpılması ile elde edilen uygulama süresi arttıkça genel olarak mikrobiyal veya enzimatik inaktivasyon artmaktadır (Peleg, 1995; Alvarez vd., 2002). Darbe genişliği kare darbelerde voltajın maksimum seviyede tutulduğu süre iken üstel azalan darbe formunda voltajın pik değerinin % 37'sine indiği süre olarak ifade edilmektedir (Zhang vd., 1995) (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Kare ve üstel azalan darbe şekillerinde darbe genişliği (Raso vd., 2016)

Uygulanan enerji: Darbe başına uygulama bölgesinde ürünün kazandığı enerji, darbe şekline ve ürünün elektriksel özelliklerine göre değişmektedir (Raso vd., 2016). Heinz vd. (2002), *Listeria*, *Yersinia*, *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Salmonella*, *Escherichia* ve *Saccharomyces* mikroorganizmalarının PEF ile inaktivasyonunda elektrik alan yoğunluğu arttıkça gerekli toplam enerji girdisinin azaldığını bildirmişlerdir.

Frekans: Belirli bir zaman diliminde uygulanan darbelerin sayısıdır ve birimi Herz (Hz)'dir. Uygulama bölgesine yerleştirilmiş olan ürünün birim zamanda kazandığı enerjinin miktarını belirlediği için önemlidir. Bu enerji aynı zamanda Joule etkisinden dolayı sıcaklık artışını da etkilemektedir (Raso vd., 2016). Yapılmış olan bir çalışmada kavun ve karpuz sularına inoküle edilmiş *S. Enteritidis*, *E. coli*, *L. monocytogenes* üzerine uygulama süresinin frekanstan daha etkili olduğu bulunmuştur (Mosqueda-Melgar vd., 2007).

## b) Biyolojik faktörler

Mikroorganizma türü: PEF yönteminin etkinliği hedef mikroorganizma türüne bağlı olarak değişmektedir. Sporların vejetatif hücrelere göre daha dirençli olduğu, maya ve küf sporlarının da bakteri sporlarına göre daha hassas olduğu belirtilmiştir.

Germinasyon esnasında spor ceketin korumasını kaybeden hücre PEF'e karşı daha hassas hale gelmektedir (Hamilton ve Sale, 1967). Farklı türlerin elektrik alan duyarlılığı da değişmektedir. Mayaların vejetatif bakterilere kıyasla elektrik alana karşı daha hassas olduğu bildirilmiştir (Sale ve Hamilton 1967). Zhang vd. (1994), Gram (+) vejetatif hücrelerin hücre duvarı yapısındaki farklılıklardan dolayı Gram (-) vejetatif hücrelerden daha dirençli olduğunu vurgulamıştır. Diğer taraftan Lelieveld vd. (2001), aynı koşullarda Gram (-) mikroorganizmaların Gram (+)'ler kadar dirençli olabileceğini göstermiştir. Arronson vd. (2001), *E. coli*, *L. innocua*, *Leuconostoc mesenteroides* ve *S. cerevisiae* mikroorganizmaları üzerine PEF uygulamasının etkisini inceledikleri çalışmalarında elektrik alan yoğunluğu, darbe sayısı ve darbe süresini sırasıyla 30 kV/cm, 20 darbe, 4 µs olarak seçtiklerinde 3 log kob/mL azalma sağlanan *L. innocua* ve *L. mesenteroides* bakterilerinin en dirençli mikroorganizmalar olduğunu ancak parametrelerin değiştirilmesiyle (35 kV/cm, 40 darbe, 4 µs) bu bakterilerin de sırasıyla 8 ve 7 log kob/mL düzeyinde inaktivasyonlarının sağlandığını bildirmişlerdir. Geveke ve Kozempel (2003), maya ve bakterileri 30 °C'ta 125 kV/m PEF'e tabi tuttuklarında *E. coli* ve *L. innocua* için 1 log kob/mL'den az, *S. cerevisiae* ve *Candida stellate* mayalarında ise 3 log kob/mL'den fazla azalma tespit etmişlerdir.

Hücre şekli ve boyutu: Kritik elektrik alan değeri hücre şekli ve boyutuna göre değiştiği için bu kriter önem kazanmaktadır. Hücre boyutu küçüldükçe uygulanan elektrik alanın neden olduğu hücre membran potansiyeli azalmakta, dolayısıyla elektrik alana direnç artmaktadır. Genel olarak mayalar hücre boyutları daha büyük olduğu için bakterilere nazaran daha hassastır (Zimmermann vd., 1974; Hülshager vd., 1983).

Gelişme evresi: Yapılan çalışmalarda logaritmik fazda mikroorganizmaların PEF uygulamasına karşı durgun faza göre daha hassas olduğu belirlenmiştir (Hülshager vd., 1983; Wouters vd., 1999). Alvarez vd. (2002), *L. monocytogenes* bakterisine kare dalga kullanarak 25 kV/cm ve 28 kV/cm yoğunluklarında PEF uygulamışlar ve hücrelerin durgun fazda logaritmik faza göre hem 4 °C hem de 35 °C inkübasyon

sıcaklığında daha dirençli olduğunu belirtmişlerdir. Bu hassasiyet logaritmik fazda hücre boyutlarının daha büyük olması ile açıklanmaktadır (Alvarez vd., 2006).

### c) Uygulama ortamına ilişkin faktörler

Elektrik iletkenliği: Gıdanın direnç, iletkenlik ve yalıtkanlık özellikleri gıda ve elektrik alan arasındaki interaksiyonu etkilemektedir. Uygulama ortamının iyonik kuvveti arttıkça elektriksel iletkenlik artmakta, elektrik alan gücü azalmaktadır. Düşük iyonik kuvvete sahip gıdalarda mikrobiyal membran zayıflamakta, böylece PEF uygulamasına karşı daha hassas hale gelmektedir (Jayaram vd., 1992). Yapılmış olan bir çalışmada iyonik kuvvetin 168 mM'dan 28 mM'a düşmesiyle *E. coli*'nin inaktivasyon seviyesinin tespit edilemeyen seviyelerden 2,5 log kob/ml'ye çıktığı bildirilmiştir (Vega-Mercado, 1996). Heterojen iletkenliğin rastlandığı katı gıdalarda ise uygulama bölgesel farklılıklar göstermekte ve inaktivasyon yeteneği zayıflamaktadır (Barsotti ve Cheftel, 1999; Gudmundsson ve Hafsteinsson, 2005).

Uygulama ortamının bileşimi: Gıdalar fiziksel ve kimyasal yapısı ile mikroorganizmaların PEF duyarlılığını etkileyecek kompleks ortamlardır. Düşük su aktivitesine sahip ortamlarda mikroorganizma hücresi su kaybetmekte ve hacmi küçülmektedir. Bu da düşük su aktivitesine sahip gıdalarda hücrenin HVPEF uygulamasına karşı direncinin artmasına neden olmaktadır (Alvarez vd., 2006). Diğer taraftan gıdalarda bulunan yağ ve proteinler mikroorganizmaları PEF'e karşı korumaktadır (Barbosa-Canovas ve Altunakar, 2006). Gowrisree vd. (2007), bir yalıtkan gibi davranan yağ moleküllerinin sütteki oranının artmasıyla *E. coli*'nin PEF'e karşı daha dirençli hale geldiğini bildirmiştir. Bermúdez-Aguirre vd. (2012) ise sütteki *Bacillus cereus* sporlarının PEF ile inaktivasyonu için yağsız sütün yağlı süte göre daha uygun bir ortam olduğunu vurgulamışlardır.

Sıcaklık: Ortam sıcaklığı hücre membranının akışkanlık özelliğinin belirlenmesi açısından önem kazanmaktadır. Düşük sıcaklıkta jel bir yapı içerisine hapsolan membran fosfolipitlerinin sıcaklık yükseldikçe akışkanlığı artmaktadır. Bu

dönüşüm kritik transmembran potansiyelinin düşmesine ve PEF uygulamasına karşı hücre stabilitesinin azalmasına neden olmaktadır (Coster ve Zimmermann, 1975). *L. monocytogenes* bakterisinin statik muamele bölmesinde, jel içeren su ve süt içinde PEF (15–30 kV/cm, 0–60°C, 5–50 darbe) ile inaktivasyonunun araştırıldığı bir çalışmada sıcaklık artışıyla inaktivasyonun arttığı, PEF yönteminin *L. monocytogenes* bakterisinin inaktivasyonunda tek başına yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır (Fleischman vd., 2004). Cebrián vd. (2016), uygulama sıcaklığının 10 °C'dan 42 °C'a doğru yükselmesiyle hücre membranı akışkanlığının ve *S. aureus* bakterisi üzerine HVPEF (26 kV/cm) yönteminin öldürücü etkisinin arttığını bildirmişlerdir. Liu vd. (2017), durgun fazda *E. coli*'nin gelişme sıcaklığının 37 °C'tan 15 °C'a indirilmesiyle PEF (23,3 kV/cm, 1,2 ms) uygulamasının inaktive ettiği bakteri sayısının 1,5 log kob/ml'den 3,2 log kob/ml'ye çıktığını tespit etmişlerdir. Gelişme fazında ise PEF uygulamasının farklı gelişme sıcaklıklarında hemen hemen aynı (3,2 log kob/ml) olduğunu vurgulamışlardır.

pH: PEF'in mikroorganizma inaktivasyonu üzerine pH'nın etkisi mikroorganizma türüne ve uygulama ortamının özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (Vega-Mercado, 1996). PEF'e karşı mikroorganizma direncinde pH etkisi Gram-pozitif (*Bacillus subtilis*, *L. monocytogenes*, *Lactobacillus plantarum*, *S. aureus*) ve Gram-negatif (*E. coli*, *E. coli* O157:H7, *Salmonella* Senftenberg, *Yersinia enterocolitica*) bakteriler arasında incelenmiş ve pH 7'de *L. monocytogenes*'in PEF'e karşı en yüksek direnci gösteren bakteri iken pH 4'te en hassas bakteri olduğu gözlenmiştir. pH 4'te en dirençli türlerin Gram (-) *E. coli* O157:H7 ve *S. Senftenberg* olduğu belirtilmiştir (Garcia vd., 2005a). Mikroorganizmaların asidik pH'larda daha duyarlı iken ortamda protein, yağ, Ca ve Mg gibi iyonlar bulunduğu takdirde direnç gösterdiği bilinmektedir (Manas ve Pagan, 2005). Por oluşumuyla artan membran geçirgenliği iyonların transferini de hızlandırmaktadır. Ozmotik dengesizlik sonucu hidrojen iyonundaki artıştan dolayı sitoplazma pH'sında azalma gözlenmektedir. pH değerindeki değişim hücre içindeki DNA veya ATP gibi temel bileşiklerde kimyasal modifikasyonlara neden olabilmektedir (Vega-Mercado vd., 2007). Somolinos vd. (2010), *E. coli*'nin hem McIlvaine tampon çözelti içerisinde hem de

meyve suyunda üstel azalan darbelerin kullanıldığı PEF (20 kV/cm) uygulamasına pH 4 değerinde pH 7 değerine nazaran daha dirençli olduğunu tespit etmişler, artan direnci ortamda bulunan organik asitler ile ilişkilendirmişlerdir.

### **2.3.3. PEF yönteminin gıdalarda kullanım alanları**

PEF yönteminin gıda teknolojisinde marinasyon, kütleme (Toepfl vd., 2006a), tuzlama (McDonnell vd., 2014), dondurma ve çözündürme işlemlerini hızlandırmak (Ben Ammar vd., 2010; Mok vd., 2015), kurutma hızını (Cao vd., 2004; Wiktor vd., 2013; Parniakov vd., 2016), proses verimini (Saldaña vd., 2017; Kantar vd., 2018) ve ham maddelerden değerli bileşiklerin ekstraksiyon etkinliğini (Fincan vd., 2004; Xue ve Farid, 2015) artırmak, mikrobiyal inaktivasyonu (Puértolas vd., 2009; Haughton vd., 2012; Monfort vd., 2012; Akdemir-Evrendilek vd., 2013; Huang vd., 2014; Jin vd., 2017) ve enzim inaktivasyonunu (Quintao-Teixeira vd., 2013; Leong vd., 2014) sağlamak, tekstürel, duyuşal, kimyasal veya besleyici kaliteyi iyileştirmek (Aguiló-Aguayo vd., 2009; Guo vd., 2014; Soliva-Fortuny vd., 2017; Fauster vd., 2018, González-Casado vd., 2018, Rizvi Alam vd., 2018) gibi fonksiyonları değerlendirilmektedir.

Cao vd. (2004), elektrik alan ile pirinçlerde kurutma etkinliğinin geliştirilmesine dair yaptıkları çalışmada kuruma hızının sabit sıcaklıkta voltaj değeri arttıkça (10, 20, 30 kV) arttığını vurgulamışlardır.

Fincan vd. (2004), kırmızı pancardan pigment ekstraksiyonunda darbeleri elektrik alanın (10  $\mu$ s, 1 kV/cm) etkisini araştırmışlar ve % 90 ile PEF'in dondurma ve presleme yöntemleri karşısında en yüksek ekstraksiyon seviyesine ulaştığını bildirmişlerdir.

Çilek, domates ve karpuz sularında enzimatik olmayan esmerleşme Aguiló-Aguayo vd. (2009) tarafından yüksek yoğunluklu PEF uygulaması ile engellenmeye çalışılmış, sonuçta örneklerin renklerini korudukları ve 90 °C'ta 60 s ısıl işlem

görmürlere nazaran daha düşük HMF konsantrasyonuna sahip oldukları saptanmıştır.

Monfort vd. (2012), sıvı tüm yumurtada *Salmonella* spp.'nin inaktivasyonunu PEF, ısıl işlem ve katkı maddeleri ile sağlamaya çalışmışlar, tek başına PEF (25 kV/cm) uygulandığında *S. Enteritidis*'te 100 kJ/kg ve 200 kJ/kg enerji seviyelerinde sırasıyla 1,2 ve 1,7 log kob/mL azalma olduğunu gözlemlemişlerdir.

Akdemir-Evrendilek vd. (2013), PEF ile işlenen kayısı nektarının kalite değişimini inceledikleri çalışmalarında PEF'in inceledikleri fiziksel ve kimyasal parametreler üzerinde önemli bir etki göstermediğini belirlemişlerdir. Diğer taraftan elektrik alan yoğunluğu ve muamele süresi arttıkça incelenen bütün mikroorganizmaların (*E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *Pseudomonas syringae* subs. *syringae*, *Erwinia carotowora*, *Penicillium expansum*, *Botrytis cinerea*) inaktivasyonunun arttığını gözlemlemişlerdir.

Huang vd. (2014), üzüm suyundaki mikroorganizmaların PEF direncini kıyasladıkları çalışmalarında *E. coli*, *S. aureus* ve *S. cerevisiae* mikroorganizmalarını 9 kV/cm–27 kV/cm aralığında değişen darbeli elektrik alan yoğunluğuna 34-275 µs sürelerinde maruz bırakmışlar ve *S. cerevisiae*'nin en düşük direnci gösteren mikroorganizma olduğunu ve onu sırasıyla *S. aureus*'un ve *E. coli*'nin izlediğini tespit etmişlerdir.

Guo vd. (2014), 55 °C'ta 281 µs süre ile 35 ve 38 kV/cm yoğunlukta PEF uyguladıkları nar sularının 4 °C'ta 12 hafta boyunca depolanması süresince mikrobiyal stabilite, renk, °Brix, pH, antioksidan aktivite, toplam fenolik içeriği, antosiyaninler ve duyuşal özellikler açısından incelemişlerdir. PEF uygulamasının toplam aerobik bakteri sayısını önemli düzeyde azalttığını ve depolama sonunda bakteri yükünün <2,5 log kob/mL düzeyinde kaldığını vurgulamışlardır. PEF uygulamasının nar sularının mikrobiyal raf ömrünü geliştirmesinin yanı sıra besleyici değeri ve diğer kalite özelliklerini de koruduğu sonucuna varmışlardır.

Leong vd. (2014), PEF tekniğinin askorbik asit oksidaz ve peroksidaz başta olmak üzere havuçtaki enzimleri inaktive etme ve havuçların kesme kuvvetini azaltma kabiliyeti üzerine etkisini araştırmışlar ve 80 kV/m elektrik alan değerinde 166 kJ/kg'a kadar olan enerji girdisinin enzim inaktivasyonunu geliştirdiği sonucuna varmışlardır. Kesme kuvvetinin PEF (60 kV/m, 162 kJ/kg, 80 Hz, 300 darbe sayısı) uygulanması ile % 60'a kadar azaltılabildiğini tespit etmişlerdir.

Wiktor vd. (2015), dondurma öncesinde PEF uygulamanın geleneksel yöntemle nazaran elmaların donma süresini % 3,5-17,2, çözündürme süresini de % 71,5 oranında azalttığını bildirmişlerdir.

Bütün meyveye 3 kV/m ve kabuklara 10 kV/m PEF uygulamasının portakal, greyfurt ve limon sularının verimini sırasıyla % 25, % 37 ve % 59 oranında artırdığı Kantar vd. (2018) tarafından bildirilmiştir.

Fauster vd. (2018), PEF (1 kV/cm) uyguladıkları patateslerin dokusunun yumuşadığını, böylece daha düşük kesme kuvvetine ihtiyaç duyulduğunu ve daha pürüzsüz bir yüzeyin ortaya çıktığını vurgulamışlardır. Aynı zamanda nişasta kaybının ve yağ kazanımının da azaldığını göstermişlerdir.

González-Casado vd. (2018), 200 kV/m yoğunluğunda PEF uygulandıktan sonra 4°C'ta 24 saat süre ile depolanan domateslerin toplam karotenoid ve likopen konsantrasyonunun sırasıyla % 50 ve % 53 oranında arttığını belirlemişlerdir.

Rizvi Alam vd. (2018), kurutmadan önce havuçların PEF (900 kV/m, 50-60 °C) uygulamasına tabi tutulmasının kurutma süresini kısalttığı, mekanik özellikleri değiştirmedeği sonucuna varmışlardır. Renk parametrelerinden L\* değerlerinin kontrole göre daha düşük olduğu, a\* değerinde ise artış olduğunu bildirmişlerdir.

PEF yönteminin et ve et ürünlerine uygulandığı araştırmalar oldukça sınırlıdır. Son 10 yılda ScienceDirect veri tabanında PEF ile ilgili yayınlanmış olan 64,549 çalışma içerisinde et ve et ürünleriyle ilgili olanların sayısı sadece 2,082'dir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. 2008-2018 yılları arasında ScienceDirect veri tabanında PEF ile ilgili yayınlanmış çalışmaların sayısı

| <b>YIL</b>    | <b>PEF<br/>YAYINLARI</b> | <b>PEF+ET VE ET ÜRÜNLERİ<br/>YAYINLARI</b> |
|---------------|--------------------------|--|
| <b>2008</b>   | 4,333                    | 142  |
| <b>2009</b>   | 4,315                    | 137  |
| <b>2010</b>   | 4,411                    | 119  |
| <b>2011</b>   | 4,862                    | 145  |
| <b>2012</b>   | 5,221                    | 178  |
| <b>2013</b>   | 6,215                    | 190  |
| <b>2014</b>   | 6,143                    | 229  |
| <b>2015</b>   | 6,889                    | 188  |
| <b>2016</b>   | 6,855                    | 208  |
| <b>2017</b>   | 7,876                    | 312  |
| <b>2018</b>   | 7,475                    | 237  |
| <b>TOPLAM</b> | 64,549                   | 2,082                                      |

Balık ve etlerde PEF'in ekstraksiyon için kullanım potansiyeli Sitzmann ve Münch (1987) tarafından gösterilmiştir. "ELCRACK" adını verdikleri proses ile balık ve kesimhane artıklarına PEF uygulayarak hücrelerin parçalanmasını ve karışımdaki yağın geri kazanılmasını sağlamışlardır. Gudmundsson ve Haffsteinsson (2005) da bu yöntemle bazı enzim ve balık yağı gibi değerli yan ürünlerin elde edilebileceğini vurgulamışlardır. He vd. (2014), yüksek yoğunluklu darbeleri elektrik alan kullanarak balık kemiklerinden kondroitin sülfat ekstrakte etmişler, PEF uygulamasının ekstraksiyon hızını ve verimini artırdığını tespit etmişlerdir.

Et ve et ürünlerinin tekstürel özellikleri üzerine darbeli elektrik alanın etkisi Gudmundsson ve Haffsteinsson (2001) tarafından araştırılmıştır. 136 kV/m HVPEF uygulandığında somon balığı, tavuk eti ve balık yumurtalarının hücre boyutlarında küçülmenin meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Bu küçülmenin tavuk hücrelerinde boşluğa neden olmadığını ancak somonlarda hücreler arası boşluk tespit edildiğini belirlemişlerdir. Bu da somonların daha düşük bağ dokuya sahip olması ile açıklanmıştır. Balık yumurtalarının ise 186 kV/m elektrik alanı tolere edebildiğini bildirmişlerdir.

Toepfl vd. (2006b), domuz etine 200 kV/m ve 100 darbe uyguladıklarında salamuranın dokuda homojen yayıldığını, su tutma kapasitesinin arttığını, pişme esnasında ağırlık kaybının azaldığını ve son ürünün daha yumuşak olduğunu tespit etmişlerdir. Darbeli elektrik alan ile et ve et ürünlerinin tekstürel özelliklerinin iyileştirilmesi membran geçirgenliğinin artması ile gerekli iyon ve enzimlerin salınması sonucunda gerçekleşmektedir (Bekhit vd., 2014).

O'Dowd vd. (2013) sığır etine 110-280 kV/m elektrik alan, 5-200 Hz frekans ve 152-300 darbe sayısı uygulamışlar, enstrümantal analiz sonucunda PEF'in tekstürel özellikleri etkilemediği sonucuna varmışlardır.

Arroyo vd. (2015), taze veya donmuş hindi etlerinin ağırlık kaybı, pişirme kaybı, lipid oksidasyonu, tekstür ve çiğ veya pişmiş etlerin rengi üzerine PEF (1,4 kV/cm, 10 Hz, 20 µs, 300 and 600 darbe) uygulamalarının etkili olmadığını vurgulamışlardır.

Çeşitli gıdalarda ve çözeltilerde mikrobiyal yükte azalma sağladığı bilinen PEF yönteminin et ve et ürünlerinde heterojen yapıdan, değişken elektriksel iletkenlikten ve koruyucu unsurlardan dolayı inaktivasyon yeteneği zayıflamaktadır (Gudmundsson ve Hafsteinsson, 2005).

Haughton vd. (2012), taze tavuklarda ve MRD (Maximum Recovery Diluent)

çözeltisinde *Campylobacter* izolatları, *E. coli* ve *S. Enteritidis* (ATCC 13076) üzerine PEF'in etkisini araştırmışlardır. 50 °C'ta 10, 15, 20, 25 ve 30 saniye sürelerle sıvı ortama 65 kV/cm elektrik alan, 500 Hz frekans ve 5 ms darbe genişliğini, aynı koşullarda tavuk örneklerine 5 Hz frekans, 10 ms darbe genişliği ve 15 kV/cm veya 3,75 kV/cm elektrik alan yoğunluğu uygulamışlardır. *Campylobacter* izolatlarının sıvı ortamda PEF'e karşı *E. coli* ve *S. Enteritidis* (ATCC 13076) bakterilerine nazaran daha hassas olduğunu bulmuşlardır. Taze tavuk göğüs etlerine inoküle edilmiş *C. jejuni*, *E. coli* ve *S. Enteritidis* bakterilerinin sayıları üzerine PEF yönteminin etkisi olmadığı sonucuna varmışlardır.

PEF yönteminin et ve et ürünlerinin fermentasyon etkinliğine katkısı hücre içi sıvının kullanılabilirliğini artırması ve starter kültür difüzyonuna yardım etmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Toepfl vd. (2006a)'nin aktardıkları bir çalışmada sosis fermentasyonunda PEF (200 kV/m ve 10 kJ/kg enerji girdisi) uygulanmasının ardından laktik asit oluşumu ile pH değerinin düşmesi için gerekli sürenin azaldığı tespit edilmiştir.

Darbeli elektrik alan ile hücre geçirgenliğinin artması marinasyon, kurutma veya kütleme için kullanılan baharat, tuz, antimikrobiyal ajanlar gibi maddelerin taze etlere nüfuz etmesini sağlamaktadır (Toepfl vd., 2006b). McDonnell vd. (2014), PEF uygulamasını domuz etinin tuzlanmasını hızlandıran bir ön işlem olarak değerlendirmiştir. Farklı enerji (22,6-281,1 kJ/kg), elektrik alan (120 veya 230 kV/cm), frekans (100 veya 200 Hz) ve darbe sayısı (150 veya 300) değerlerini kıyasladıkları çalışmalarında, elektrik alan uygulamasının tuzlamayı hızlandırdığını ancak kütleme sonrası ağırlık değişiminde, su tutma kapasitesinde ve tekstür profilinde dikkate değer bir fark olmadığını gözlemlemişlerdir.

Gelecek nesillere sağlıklı bireyler aktarabilmenin endişesini duyan tüketiciler güvenliği sağlanmış doğala yakın gıdalar talep etmektedirler. Bu talepleri karşılayabilmek için geliştirilen ısı olmayan yöntemler çeşitli gıdalarda uygulama alanı bulmuş, elektriksel yöntemlerin hedefi ise çoğunlukla akışkan gıdalar

olmuştur. Bu çalışma kapsamında gıdalarda bozulma nedeni mikroorganizmaların tavuk göğüs etinde ve besiyerinde gelişimi üzerine darbeli elektrik alanının etkisi incelenirken, uygulamayı etkileyen faktörlerden elektrik alan yoğunluğu, uygulama ortamı ve hedef mikroorganizma türü değerlendirilecektir. Böylece, katı ve ambalajlı gıdaların soğuk depolanması esnasında raf ömürlerini uzatmaya yönelik yenilikçi bir yöntem geliştirilmeye çalışılacaktır.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

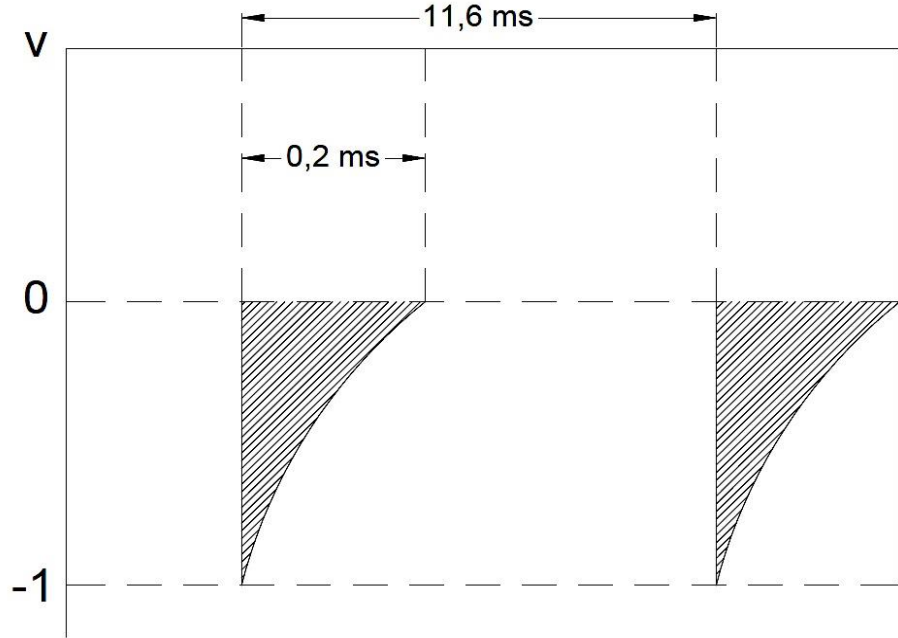
Araştırmada kullanılan tavuk göğüs etleri ambalajlı halde bölge bayiine ulaştığı gün soğuk zincir altında temin edilerek laboratuvara getirilmiştir. Analiz başlangıcına kadar buzdolabı sıcaklığında (+4°C) muhafaza edilen tavuk örneklerinin hazırlık aşaması aseptik koşullar korunarak gerçekleştirilmiştir. Depolama boyunca kontrol grubu (K) ve uygulama grubu (U) örnekleri sırasıyla elektrik alan düzeneği içermeyen ve içeren buzdolabında (Arçelik 1060 TY, Türkiye) muhafaza edilmiştir. Çalışmada depolamanın gerçekleştirildiği buzdolaplarının sıcaklıkları +4°C±1'a ayarlanmış ve depolama boyunca veri kaydedici (Elitech RC-4, İngiltere) ile kaydedilmiştir.

Çalışmada kullanılan *L. monocytogenes* (ATCC 19115), *P. aeruginosa* (ATCC 27853), *S. aureus* (ATCC 25923), *E. coli* (ATCC 26922), *S. Enteritidis* (ATCC 13076) ve *C. jejuni* (ATCC 17028) saf kültürleri Kalite Sistem Laboatuvarları'ndan (İstanbul, Türkiye) temin edilmiştir. Mikroorganizmaların saf kültürleri 37°C'ta Brain Heart Infusion (BHI) sıvı besiyerinde 24 saatlik inkübasyonun ardından aynı besiyerine % 1 oranında aşılansak 18 saatlik ikinci bir inkübasyona bırakılmıştır. Aktif kültürlerle 1/3 oranında % 50'lik gliserol ilave edilerek stok kültür hazırlanmış ve -18°C'ta muhafaza edilmiştir.

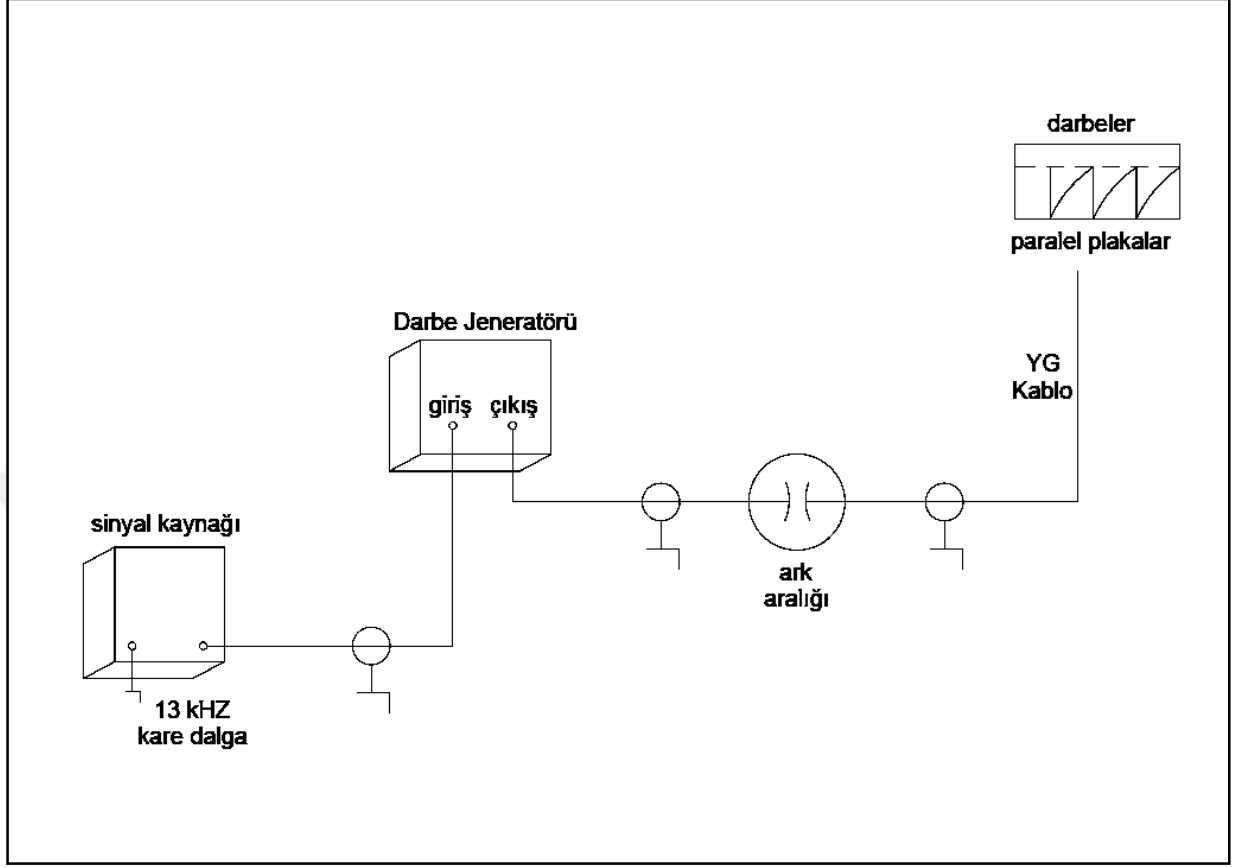
Yüksek voltajlı darbeli elektrik alan (HVPEF) sistemi elektrik enerjisini sağlayan güç kaynağı (Türkoğlu Neon Trafoları, İstanbul, Türkiye) ve uygulama bölmesinden meydana gelmektedir. Buzdolabına entegre edilerek kullanılmış olan güç kaynağı sabit bir sinyal girişi altında istenilen çıkışı sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. 13 kHz ile tetiklenen darbe jeneratöründen 85 Hz'lik yani 11,6 ms'lik periyotlarla darbeler cihaza verilmiş ve plakaların besleneceği yüksek gerilim darbeleri elde edilmiştir. Güç kaynağına eklenmiş olan doğrultma devresi ile genliği 70 kV olan darbelerin tek yönlü olması sağlanmıştır. Yüksek gerilim (YG) kabloları ile

emniyetli şekilde plakalara iletilen darbeler böylece tek kutuplu (DC) ve üstel azalan şekilde uygulanmıştır. Uygulama bölgesi buzdolabı içerisinde  $21,5 \times 29 \times 0,2$  cm boyutlarında portatif paralel plakalar (CrNi) ile oluşturulmuştur. Plakaların oturacağı Teflon® malzemedeki bir altlık yapılmıştır. Bu altlık kullanılarak plakaların ara mesafesi değiştirilerek istenen elektrik alan değerine ulaşılmıştır.

Osiloskop görüntüsünden elde edilen diyagramda (Şekil 3.1) görüleceği üzere yüksek gerilim darbeleri 70 kV (1 V prob çıkışı), 0,2 ms darbe genişliğine sahip, 11,6 ms'lik (~85 Hz) periyotlarla elde edilmektedir. Şekil 3.2'de ise bağlantı blok şeması verilmektedir. Darbe jeneratörünün çalışması için dışarıdan bir sinyal jeneratörünün 13 kHz'lik kare dalga işareti gerekmektedir. Darbe jeneratörü cihazın metal gövdesi ile canlı uç çıkışı arasında 70 kV potansiyel farkı vermekte ve bu yüksek gerilim kablolar ile emniyetli biçimde buzdolabı içindeki paralel plakalara aktarılmaktadır.



Şekil 3.1. Darbe şekli, darbe genişliği ve darbe süresini gösteren diyagram



Şekil 3.2. Bağlantı blok şeması

### 3.2. Yüksek Voltajlı Darbeli Elektrik Alanın (HVPEF) Uygulanması

Örneklerin maruz kaldığı elektrik alan değeri (kV/m) Eşitlik 3.1 ile hesaplanmıştır.

$$E = V/d \quad (3.1.)$$

E: elektrik alan değeri (kV/m)

V: voltaj (kV)

d: mesafe (m)

Buzdolabının içine yerleştirilmiş olan plakalar arasındaki mesafeler 10, 15 ve 28 cm'ye ayarlanarak sırasıyla 700, 467 ve 250 kV/m elektrik alan değerleri elde edilmiştir.

CST Microwave Studio (Computer Simulation Technology GmbH, Almanya) programı kullanılarak yapılmış olan simülasyon denemeleriyle plastik malzemelerin elektrik alan vektörünün penetrasyonunu engellemediği ve paralel plakalar arasında elektrik alan vektörlerinin homojen dağıldığı belirlenmiştir.

### **3.3. Test Mikroorganizmalarının Gelişimi Üzerine HVPEF Etkisinin Belirlenmesi**

Stok kültürler çözündürülerek uygun sıcaklıkta Brain Heart Infusion (BHI) (LAB M, İngiltere) sıvı besiyerinde 24 saatlik inkübasyonun ardından aynı besiyerine % 1 oranında aşılantıdır. 18 saatlik ikinci bir inkübasyonun ardından yaklaşık  $10^9$  kob/mL mikroorganizma içeren bakteri süspansiyonu elde edilmiştir. İki kez 4000 devirde 15 dakika süre ile santrifüjleme (Nüve NF 800R, Türkiye) işleminin ardından elde edilen pellet steril peptonlu su (% 0,5) (Biolife, İtalya) ile yıkanmıştır. McFarland (Biosan DEN-1B, Riga, Letonya) cihazına yerleştirilmiş steril peptonlu su içerisine bu süspansiyondan gerekli miktarda aktararak optik yoğunluk 0,5-0,6 aralığına ayarlanmış (Gutierrez vd., 2008) ve yine steril peptonlu su (Biolife, İtalya) kullanılarak seri seyreltiler elde edilmiştir. Hedeflenen başlangıç mikroorganizma sayısına ulaşmak üzere nihai aşılama üç ayrı çözelti şişesinde bulunan BHI sıvı besiyeri içerisine gerçekleştirilmiştir. K ve U grubu için BHI ikiye bölünmüştür. Örnek grupları uygun buzdolabına yerleştirilerek 18 gün boyunca HVPEF altında  $+4^{\circ}\text{C}$ 'ta depolanmıştır. Bakteri sayılarını tespit etmek için 2 günlük periyotlarda Nutrient Agar (NA) (LAB M, İngiltere) besiyeri kullanılarak dökme ekim yöntemi uygulanmıştır. Uygun sıcaklığa ayarlanmış inkübatörde (Çizelge 3.1) 48 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyonun ardından 30-300 arasındaki koloniler sayılarak sonuç log kob/mL olarak hesaplanmıştır. Aynı işlem basamakları 467 kV/m ve 700 kV/m elektrik alan yoğunlukları için tekrarlanmıştır.

Depolama boyunca örnek gruplarının mikrobiyal yükündeki logaritmik değişim başlangıç sayısına göre ortaya çıkan fark kullanılarak belirlenmiştir (log kob/mL).

Çizelge 3.1. Test mikroorganizmalarının başlangıç sayıları (kob/mL) ve inkübasyon sıcaklıkları

| <b>Mikroorganizma</b>                | <b>Başlangıç Mikroorganizma Sayısı (kob/ml)</b> | <b>Gelişme Sıcaklığı (°C)</b> | <b>Referans</b>       |
|--------------------------------------|---|-------------------------------|-----------------------|
| <i>P. aeruginosa</i> (ATCC 27853)    | 10 <sup>5-6</sup>                               | 35                            | Careaga vd. (2003)    |
| <i>C. jejuni</i> (ATCC 17028)        | 10 <sup>4-5</sup>                               | 42                            | Haughton vd. (2012)   |
| <i>L. monocytogenes</i> (ATCC 19115) | 10 <sup>3-4</sup>                               | 37                            | Fleischman vd. (2004) |
| <i>S. auerus</i> (ATCC 25923)        | 10 <sup>3-4</sup>                               | 37                            | Cebrian vd.(2016)     |
| <i>E. coli</i> (ATCC 26922)          | 10 <sup>5-6</sup>                               | 37                            | Somolinos vd. (2008)  |
| <i>S. Enteritidis</i> (ATCC 13076)   | 10 <sup>5-6</sup>                               | 37                            | Monfort vd. (2012)    |

#### **3.4. Taze Tavuk Etlerinin pH Değeri Üzerine HVPEF Etkisinin Belirlenmesi**

10 g tavuk göğüs eti örneği 90 ml destile su ile homojenizatör yardımıyla (Waring Commercial, A.B.D.) homojenize edildikten sonra pH-metre (Schott Lab 860, Almanya) kullanılarak belirlenmiştir.

#### **3.5. Taze Tavuk Etlerinin Mikrobiyal Yükü Üzerine HVPEF Etkisinin Belirlenmesi**

##### **3.5.1. Toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) ve toplam koliform bakteri (TKB) sayısının belirlenmesi**

Her biri 20 g olacak şekilde aseptik koşullarda porsiyonlanan tavuk etleri polipropilen tabaklara yerleştirilip üzerleri 35 µm lineer düşük yoğunluklu

polietilen (LLDPE) streç film ile kapatılmıştır. Kontrol grubu (K) ve uygulama grubu (U) örnekleri uygun buzdolabına yerleştirilmiş, örnekler raf ömrünü tamamlayana kadar HVPEF altında depolanmıştır. Belirlenmiş olan günlerde TMAB ve TKB sayıları Post (1998) tarafından önerilen metot kullanılarak tespit edilmiştir. 10±0,1 g örnek tartılarak 90 ml steril peptonlu su ile 2 dakika boyunca Bag Mixer (Interscience, Fransa) ile homojenize edilmiştir. Homojenizatlardan seri dilüsyonlar gerçekleştirilmiştir. TMAB sayısı, Plate Count Agar (PCA) (Merck, Almanya) besiyeri ve TKB sayısı da Violet Red Bile Lactose (VRB) Agar (Merck, Germany) besiyeri kullanılarak, 35 °C'ta 48 saat inkübasyonun ardından log kob/g olarak belirlenmiştir. Aynı analiz basamakları 250 kV/m, 467 kV/m ve 700 kV/m elektrik alan değerleri için tekrarlanmıştır.

### **3.6. Taze Tavuk Etlerinin Renk Değerleri Üzerine HVPEF Etkisinin Belirlenmesi**

Depolama boyunca belirlenmiş olan periyotlarda tavuk örneklerinin renk değerleri renk ölçüm cihazı (Minolta CR-400 Osaka, Japonya) ile belirlenmiştir. Cihazın kalibrasyonu beyaz seramik plakaya (L=97,47 a=5,44 b=7,26) karşı yapılmıştır. Renk ölçümü tavukların her iki yüzeyinden rastgele seçilen üçer bölgede gerçekleştirilmiştir. Örneklerin CIE L\* (parlaklık), a\* (kırmızılık-yeşillik) ve b\* (sarılık-mavilik) değerleri kaydedilmiştir. Bu değerler kullanılarak CIE C\* (Chroma) ve CIE h (hue) parametreleri sırasıyla Eşitlik 3.2 ve Eşitlik 3.3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{CIE } C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3.2.)$$

$$\text{CIE } h = \text{ATAN}(b^*/a^*) \cdot 180/\text{PI} \quad (3.3.)$$

Renk değerleri işleme ve depolama sırasındaki renk değişim eğilimini belirten toplam renk değişimi ( $\Delta E$ ) ile ifade edilmektedir. Toplam renk değişimi  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  değerlerinin Eşitlik 3.4'te yerine konulması ile hesaplanmıştır (Jha, 2010).

$$\Delta E = \sqrt{(L1 - L0)^2 + (a1 - a0)^2 + (b1 - b0)^2} \quad (3.4.)$$

### **3.7. Taze Tavuk Etlerine İnoküle Edilmiş Bakterilerin Gelişimi Üzerine HVPEF Etkisinin Belirlenmesi**

Stok kültürler çözündürülerek uygun sıcaklıkta Brain Heart Infusion (BHI) (LAB M, İngiltere) sıvı besiyerinde 24 saatlik inkübasyonun ardından aynı besiyerine % 1 oranında aşılanmıştır. 18 saatlik ikinci bir inkübasyonun ardından yaklaşık  $10^9$  kob/mL mikroorganizma içeren bakteri süspansiyonu elde edilmiştir. İki kez 4000 devirde 15 dakika süre ile santrifüjleme (Nüve NF 800R, Türkiye) işleminin ardından elde edilen pellet steril peptonlu su (% 0,5) ile yıkanmıştır. Bu süspansiyondan aşılama yapılarak yaklaşık  $10^7$  kob/mL mikroorganizma içeren PW elde edilmiştir.

Tavuk göğüs eti örneklerinin yüzeyinden aseptik koşullar korunarak steril bistüri ile ince bir tabaka uzaklaştırıldıktan sonra UV ışık altında her yüzeyi 10 dakika bekletilmiştir. Ardından 25 g ağırlığında porsiyonlanarak yaklaşık  $10^7$  kob/mL mikroorganizma içeren PW içerisine daldırılmıştır. 2 dakika beklettikten sonra polipropilen tabaklara alınarak üzerleri 35  $\mu$ m LLDPE streç film ile kapatılmıştır. Kontrol ve uygulama grupları test buzdolaplarında (+4°C) HVPEF altında 10 gün süre ile muhafaza edilmiştir. İnoküle edilmiş mikroorganizmanın tavuk göğüs etindeki sayısını tespit etmek için 2 günlük periyotlarda örnek alınmıştır.

#### **3.7.1. *P. aeruginosa* (ATCC 27853) sayısının belirlenmesi**

Elektrik alanın taze tavuk etlerine inoküle edilmiş Gram (-) bir bakteri olan *P. aeruginosa* üzerine etkisini tespit etmek için Careaga vd. (2003) tarafından

önerilen yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. İlk aşamada tavuk göğüs eti örneklerinin *P. aeruginosa* içeriği açısından kontrol edilmesi için 25 g tavuk göğüs eti 225 ml steril peptonlu su ile homojenize edilmiştir. Homojenizattan seri dilüsyonlar elde edilerek Pseudomonas Isolation Agar (PIA) besiyerine yayma ekim yöntemine göre örnek aktarılmıştır. 35°C'ta 48 saat inkübasyonun ardından *P. aeruginosa* sayısı log kob/g olarak tespit edilmiştir. Aynı analiz basamakları tavuk göğüs eti örneklerine inoküle edilmiş *P. aeruginosa* (ATCC 27853) sayılarının tespit edilmesi için kullanılmış ve tüm örnek gruplarında tekrarlanmıştır.

### **3.7.2. *L. monocytogenes* (ATCC 19115) sayısının belirlenmesi**

Elektrik alanın taze tavuk etlerine inoküle edilmiş, Gram (+) bir patojen olan *L. monocytogenes* üzerine etkisini tespit etmek için Murphy vd. (2005), tarafından önerilen yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. İlk aşamada tavuk göğüs etinin *L. monocytogenes* içeriği açısından kontrol edilmesi için 25 g tavuk göğüs eti 225 ml Tryptic Soy Broth Yeast Extract (TSBYE) ile Bag Mixer (Interscience, Fransa) kullanılarak homojenize edildikten sonra 37°C'ta 24 h ön zenginleştirmeye tabi tutulmuştur. Homojenizattan yayma ekim yöntemine göre PALCAM Listeria Selective-Supplement acc. to van Netten vd. (Merck, Almanya) içeren PALCAM Listeria-Selective agar (Merck, Almanya) besiyerine örnek aktarıldıktan sonra 37°C'ta inkübasyona bırakılmıştır. 48 saatin sonunda *L. monocytogenes* sayısı log kob/g olarak tespit edilmiştir. Aynı analiz basamakları, inoküle edilmiş *L. monocytogenes* (ATCC 19115) sayısının tespit edilmesi için ön zenginleştirme yerine 25 g tavuk göğüs etini 225 ml peptonlu su ile homojenize ederek uygulanmış ve tüm örnek gruplarında tekrarlanmıştır.

### **3.8. İstatistik Analizi**

Üç tekerrürlü ve 2 paralelli olarak gerçekleştirilen deneylerin sonucunda uygulamalar arasındaki fark varyans analizi (ANOVA) ve Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak % 95 güven aralığında belirlenmiştir. İstatistiksel

analiz, Statistical Package for Social Science software (SPSS Inc. version 24.0, A.B.D.) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Test Mikroorganizmalarının Gelişimi Üzerine HVPEF Etkisi

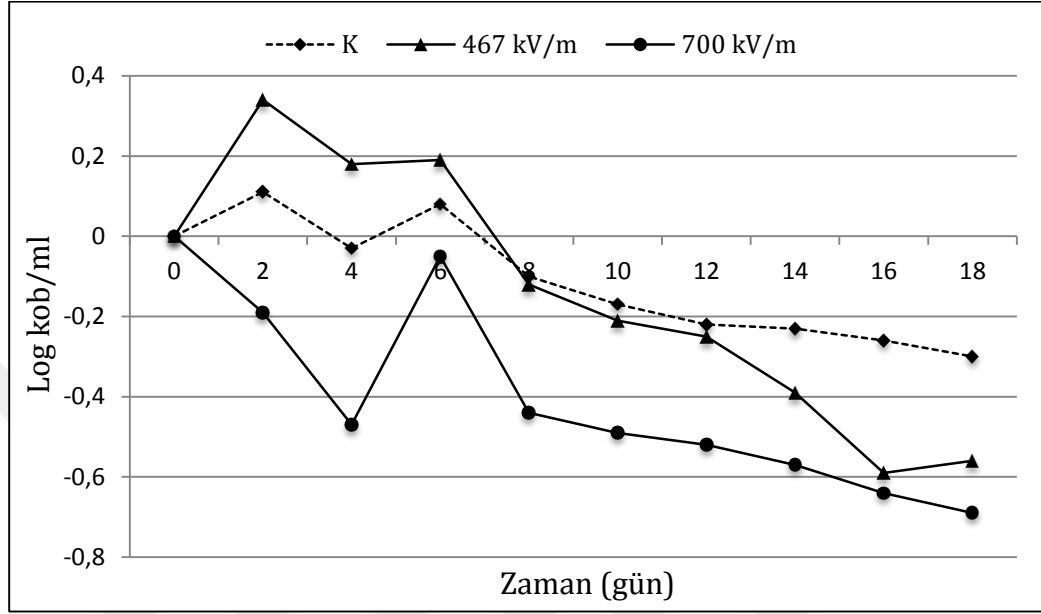
#### 4.1.1. *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853) sayısı üzerine HVPEF etkisi

Gıdalarda bozulma nedeni olarak bilinen *P. aeruginosa*'nın özellikle buzdolabı sıcaklığında depolanan et ve et ürünlerinde gelişmesi, neden olduğu amonyak, H<sub>2</sub>S, indol ve aminler gibi kötü kokulu bileşiklerden dolayı arzu edilmemektedir (Jay vd., 2005). Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1'de BHI besiyerinde muhafaza edilen *P. aeruginosa* (ATCC 27853) bakterisinin 0 kV/m (K), 467 kV/m ve 700 kV/m yoğunluğunda HVPEF uygulanmış örnek gruplarının mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL) gösterilmiştir. *P. aeruginosa* (ATCC 27853)'nin başlangıç sayıları K, 467 kV/m, 700 kV/m gruplarında sırasıyla 5,48 log kob/ml, 5,05 log kob/ml, 5,92 log kob/mL olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1. HVPEF ile soğuk depolama boyunca *P. aeruginosa* mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL)

| Depolama Süresi (gün) | K                        | 467 kV/m   | 700 kV/m                  |
|-----------------------|--------------------------|------------|---------------------------|
| 0                     | 0,00±0,00 <sup>AB</sup>  | 0,00±0,00  | 0,00±0,00 <sup>A</sup>    |
| 2                     | 0,11±0,69 <sup>A</sup>   | 0,34±0,69  | -0,19±0,13 <sup>ABC</sup> |
| 4                     | -0,03±0,28 <sup>AB</sup> | 0,18±0,85  | -0,47±0,05 <sup>BCD</sup> |
| 6                     | 0,08±0,21 <sup>AB</sup>  | 0,19±0,83  | -0,05±0,59 <sup>AB</sup>  |
| 8                     | -0,10±0,23 <sup>AB</sup> | -0,12±1,07 | -0,44±0,07 <sup>BCD</sup> |
| 10                    | -0,17±0,24 <sup>AB</sup> | -0,21±1,04 | -0,49±0,17 <sup>CD</sup>  |
| 12                    | -0,22±0,27 <sup>AB</sup> | -0,25±1,04 | -0,52±0,13 <sup>CD</sup>  |
| 14                    | -0,23±0,23 <sup>AB</sup> | -0,39±1,05 | -0,57±0,17 <sup>CD</sup>  |
| 16                    | -0,26±0,19 <sup>B</sup>  | -0,59±1,13 | -0,64±0,16 <sup>D</sup>   |
| 18                    | -0,30±0,15 <sup>B</sup>  | -0,56±1,08 | -0,69±0,17 <sup>D</sup>   |

A-D Satırlar arasında gözlenen farklı harfler depolama günleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir ( $p < 0,05$ ).



Şekil 4.1. HVPEF ile soğuk depolama boyunca *P. aeruginosa* mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL)

700 kV/m HVPEF uygulanmış örnekler *P. aeruginosa* sayısında 8. günden itibaren belirgin bir düşüş sergilemiş ve bu azalma depolamanın sonunda başlangıca göre istatistiksel olarak önemli derecede farklı bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Ancak, örnek grupları arasındaki fark depolama boyunca önem kazanmamıştır.

Chen vd. (2017), domuz örneklerinden izole ettikleri *Pseudomonas fragi* MC16 bakterisine NA besiyerinde 7 °C'ta maksimum 3 kV/m elektrik alan uygulamış, bakterinin gelişiminin zayıfladığı ve bu elektrik alana adapte olduğu sonucuna varmışlardır. Bu çalışmada elde edilmiş mikroskopik veriler ile uygulamanın ilk evrelerinde geri dönüşümlü hasarların ortaya çıktığı, ancak, sitoloji ve morfolojide ilerleyen günlerde önemli bir değişiklik gözlenmediği sonucuna varılmıştır. Tez kapsamında bulunmuş sonuçlar bu referans çalışmadan farklı olarak düşük sıcaklıkta uygulanan PEF yönteminden bakterinin etkilendiği sonucuna ulaştırmaktadır.

#### 4.1.2. *Campylobacter jejuni* (ATCC 17028) sayısı üzerine HVPEF etkisi

*C. jejuni* kanatlılar aracılığıyla insanlara taşınabildiğinden gıda güvenliği açısından önem kazanmaktadır (Jay vd., 2005). Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2’de BHI besiyerinde muhafaza edilen *C. jejuni* (ATCC 17028) bakterisinin 0 kV/m (K), 467 kV/m ve 700 kV/m yoğunluğunda HVPEF uygulanmış örnek gruplarının mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL) gösterilmiştir.

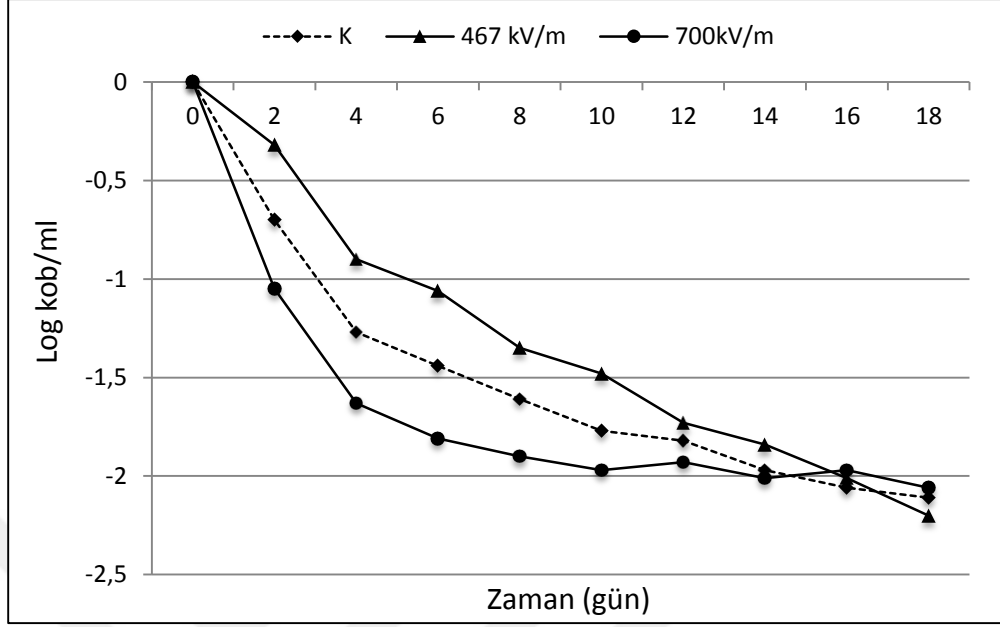
*C. jejuni*’nin başlangıç sayıları K, 467 kV/m, 700 kV/m gruplarında sırasıyla 4,74 log kob/ml, 4,86 log kob/ml, 4,63 log kob/mL olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2. HVPEF ile soğuk depolama boyunca *C. jejuni* mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL)

| Depolama Süresi (gün) | K                        | 467 kV/m                  | 700 kV/m                 |
|-----------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 0                     | 0,00±0,00 <sup>A</sup>   | 0,00±0,00 <sup>A</sup>    | 0,00±0,00 <sup>A</sup>   |
| 2                     | -0,70±0,08 <sup>Ba</sup> | -0,32±0,08 <sup>ABa</sup> | -1,05±0,02 <sup>Bb</sup> |
| 4                     | -1,27±0,03 <sup>Cb</sup> | -0,9±0,26 <sup>BCa</sup>  | -1,63±0,06 <sup>Cc</sup> |
| 6                     | -1,44±0,1 <sup>Dab</sup> | -1,06±0,44 <sup>CDa</sup> | -1,81±0,12 <sup>Db</sup> |
| 8                     | -1,61±0,05 <sup>E</sup>  | -1,35±0,45 <sup>CDE</sup> | -1,90±0,14 <sup>DE</sup> |
| 10                    | -1,77±0,13 <sup>F</sup>  | -1,48±0,43 <sup>CDE</sup> | -1,97±0,07 <sup>DE</sup> |
| 12                    | -1,82±0,12 <sup>FG</sup> | -1,73±0,46 <sup>DEF</sup> | -1,93±0,07 <sup>DE</sup> |
| 14                    | -1,97±0,07 <sup>GH</sup> | -1,84±0,45 <sup>EF</sup>  | -2,01±0,13 <sup>E</sup>  |
| 16                    | -2,06±0,08 <sup>H</sup>  | -2,01±0,44 <sup>EF</sup>  | -1,97±0,10 <sup>DE</sup> |
| 18                    | -2,11±0,12 <sup>H</sup>  | -2,20±0,32 <sup>F</sup>   | -2,06±0,09 <sup>E</sup>  |

<sup>A-H</sup> Satırlar arasında gözlenen farklı harfler depolama günleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

a-c Sütunlar arasında gözlenen farklı harfler gruplar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).



Şekil 4.2. HVPEF ile soğuk depolama boyunca *C. jejuni* mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL)

Depolama süresince *C. jejuni* sayısı tüm örnek gruplarında önemli oranda azalmıştır ( $p < 0,05$ ). 700 kV/m HVPEF uygulanmış gruplarda depolamanın 2. ve 4. günlerinde sırasıyla 1,05 log kob/mL ve 1,63 log kob/mL düzeyinde meydana gelen azalmanın diğer gruplara nazaran daha belirgin ( $p < 0,05$ ) olduğu gözlenmişse de *C. jejuni* sayısındaki bu fark ilerleyen günlerde ortadan kalkmıştır.

Haughton vd. (2012) ise 30 saniye süre ile PEF uygulamasına (65 kV/cm, 5  $\mu$ s, 500 Hz, 10–30 s) maruz kalan MRD çözeltisi içindeki *C. jejuni*, *C. coli* bakterilerinde en fazla 7,22 log kob/mL, *E. coli*'de en fazla 0,71 log kob/mL ve *S. Enteritidis*'te en fazla 0,95 log kob/mL azalma sağlamışlardır. Bildirilen inaktivasyon seviyesinin tez kapsamında tespit edilenden yüksek olmasının kullanılan yüksek elektrik alan yoğunluğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

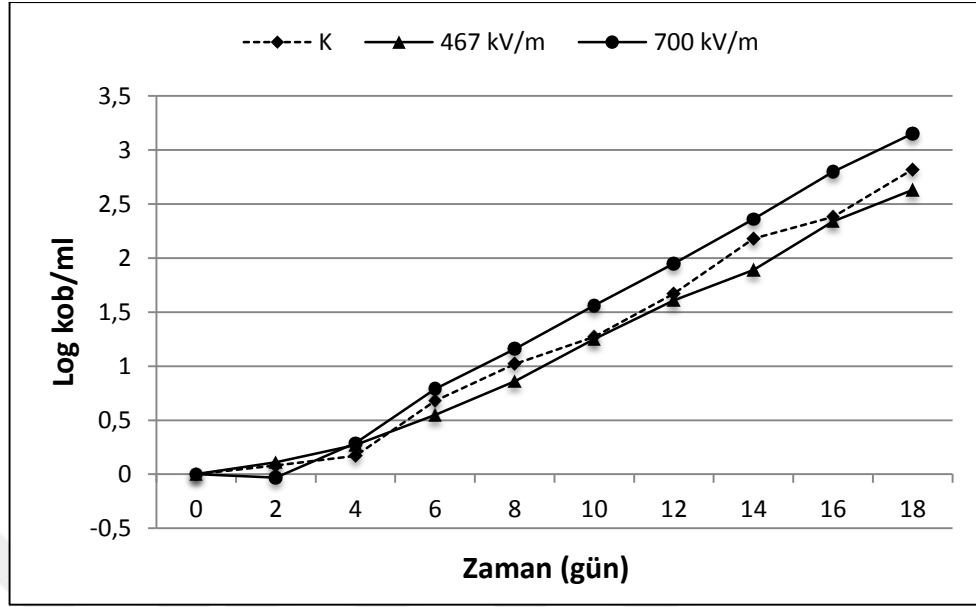
#### 4.1.3. *L. monocytogenes* (ATCC 19115) sayısı üzerine HVPEF etkisi

Gıdaların aracı olduğu *L. monocytogenes* soğuğa karşı dirençli olup buzdolabı sıcaklığında gelişip, et ve et ürünlerini bozulmasına neden olmaktadır (Jay vd., 2005). Çizelge 4.3 ve Şekil 4.3'te BHI besiyerinde *L. monocytogenes* (ATCC 19115) bakterisinin 0 kV/m (K), 467 kV/m ve 700 kV/m yoğunluğunda HVPEF uygulanmış örnek gruplarının mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL) gösterilmiştir. *L. monocytogenes* (ATCC 19115)'in başlangıç sayıları K, 467 kV/m, 700 kV/m gruplarında sırasıyla 3,47 log kob/mL, 3,70 log kob/mL, 3,24 log kob/mL olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.3. HVPEF ile soğuk depolama boyunca *L. monocytogenes* mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL)

| Depolama Süresi (gün) | K                       | 467 kV/m                 | 700 kV/m                |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 0                     | 0,00±0,00 <sup>F</sup>  | 0,00±0,00 <sup>H</sup>   | 0,00±0,00 <sup>H</sup>  |
| 2                     | 0,08±0,15 <sup>F</sup>  | 0,11±0,15 <sup>FG</sup>  | -0,03±0,14 <sup>H</sup> |
| 4                     | 0,17±0,20 <sup>F</sup>  | 0,27±0,23 <sup>FG</sup>  | 0,29±0,19 <sup>GH</sup> |
| 6                     | 0,68±0,15 <sup>E</sup>  | 0,55±0,41 <sup>EFG</sup> | 0,79±0,33 <sup>FG</sup> |
| 8                     | 1,02±0,25 <sup>DE</sup> | 0,86±0,31 <sup>DEF</sup> | 1,16±0,41 <sup>EF</sup> |
| 10                    | 1,27±0,35 <sup>CD</sup> | 1,25±0,62 <sup>CDE</sup> | 1,56±0,57 <sup>DE</sup> |
| 12                    | 1,67±0,21 <sup>C</sup>  | 1,61±0,23 <sup>BCD</sup> | 1,95±0,4 <sup>CD</sup>  |
| 14                    | 2,18±0,23 <sup>B</sup>  | 1,89±0,14 <sup>ABC</sup> | 2,36±0,33 <sup>BC</sup> |
| 16                    | 2,38±0,28 <sup>AB</sup> | 2,34±0,47 <sup>AB</sup>  | 2,80±0,28 <sup>AB</sup> |
| 18                    | 2,82±0,48 <sup>A</sup>  | 2,63±1,01 <sup>A</sup>   | 3,15±0,37 <sup>A</sup>  |

<sup>A-H</sup> Satırlar arasında gözlenen farklı harfler depolama günleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).



Şekil 4.3. HVPEF ile soğuk depolama boyunca *L. monocytogenes* mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL)

Depolama boyunca tüm örnek gruplarında meydana gelen *L. monocytogenes* (ATCC 19115) sayısındaki artış 467 kV/m PEF uygulanmış örneklerde 2. günden, diğer gruplarda ise 6. günden itibaren önem kazanmıştır ( $p < 0,05$ ). 700 kV/m HVPEF uygulamasının neden olduğu artış diğer gruplardan daha fazla olmasına rağmen örnek grupları arasındaki fark önemli bulunmamıştır ( $p > 0,05$ ).

Alvarez vd. (2003), tez çalışmasında bulunan sonucun aksine PEF (15-28 kV/cm) uygulamasında, elektrik alan yoğunluğu ve süre arttıkça *L. monocytogenes* inaktivasyonunun arttığını belirtmişlerdir.

#### 4.1.4. *S. aureus* (ATCC 25923) sayısı üzerine HVPEF etkisi

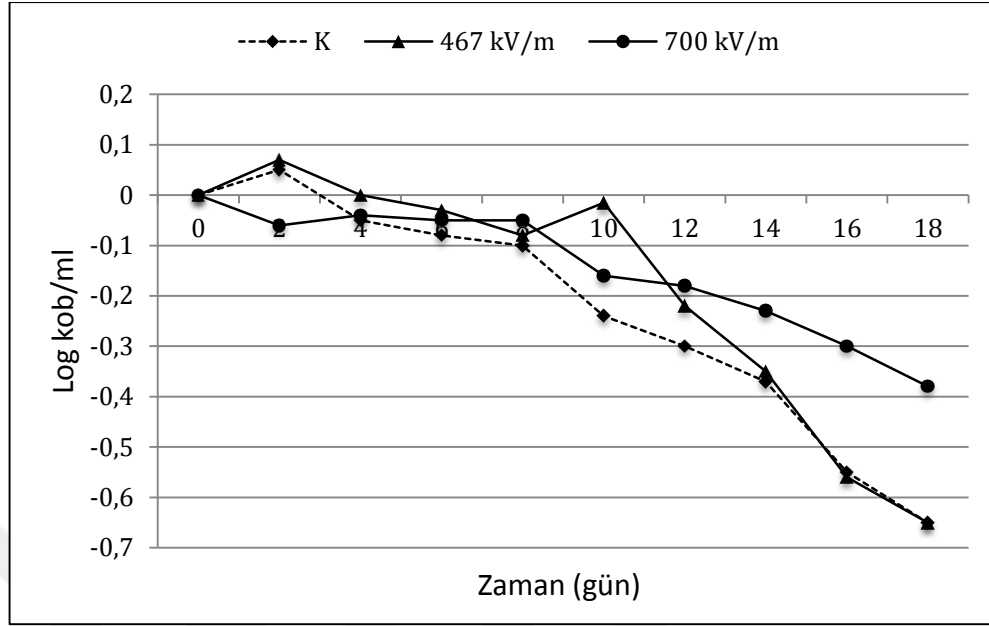
Taze veya ısı işlem görmüş etlerde sıklıkla rastlanabilen *S. aureus* ürettiği enterotoksinlerle zehirlenme nedeni olduğundan gıdalarda bulunması arzu edilmeyen bir mikroorganizmadır (Angelotti vd., 1961; Varnam ve Evans, 1996). Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4'te BHI besiyerinde muhafaza edilen *S. aureus* bakterisinin 0

kV/m (K), 467 kV/m ve 700 kV/m yoğunluğunda PEF uygulanmış örnek gruplarının mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL) gösterilmiştir. *S. aureus*'un başlangıç sayıları K, 467 kV/m, 700 kV/m gruplarında sırasıyla 3,68 log kob/ml, 3,71 log kob/ml, 3,65 log kob/mL olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.4. Soğuk depolama boyunca *S. aureus* mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL)

| Depolama Süresi (gün) | K                       | 467 kV/m                  | 700 kV/m                  |
|-----------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 0                     | 0,00±0,00 <sup>AB</sup> | 0,00±0,00 <sup>AB</sup>   | 0,00±0,00 <sup>A</sup>    |
| 2                     | 0,05±0,1 <sup>A</sup>   | 0,07±0,1 <sup>A</sup>     | -0,06±0,06 <sup>AB</sup>  |
| 4                     | -0,05±0,2 <sup>B</sup>  | 0,00±0,04 <sup>AB</sup>   | -0,04±0,08 <sup>AB</sup>  |
| 6                     | -0,08±0,05 <sup>B</sup> | -0,03±0,17 <sup>AB</sup>  | -0,05±0,08 <sup>AB</sup>  |
| 8                     | -0,1±0,07 <sup>B</sup>  | -0,08±0,06 <sup>ABC</sup> | -0,05±0,13 <sup>AB</sup>  |
| 10                    | -0,24±0,08 <sup>C</sup> | -0,015±0,07 <sup>BC</sup> | -0,16±0,13 <sup>ABC</sup> |
| 12                    | -0,3±0,03 <sup>CD</sup> | -0,22±0,07 <sup>CD</sup>  | -0,18±0,14 <sup>ABC</sup> |
| 14                    | -0,37±0,06 <sup>D</sup> | -0,35±0,03 <sup>D</sup>   | -0,23±0,14 <sup>ABC</sup> |
| 16                    | -0,55±0,08 <sup>E</sup> | -0,56±0,08 <sup>E</sup>   | -0,30±0,22 <sup>BC</sup>  |
| 18                    | -0,65±0,47 <sup>E</sup> | -0,65±0,05 <sup>E</sup>   | -0,38±0,27 <sup>C</sup>   |

<sup>A-E</sup> Satırlar arasında gözlenen farklı harfler depolama günleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).



Şekil 4.4. Soğuk depolama boyunca *S. aureus* mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL)

Depolama boyunca örnek gruplarının tamamında *S. aureus* sayısının azaldığı tespit edilmiş, bu azalma K grubunda 10., 467 kV/m elektrik alan uygulanan gruplarda 12. günden itibaren önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). 700 kV/m elektrik alan uygulanan gruplarda *S. aureus* sayısı diğer gruplara nazaran daha yavaş azalmış olsa da gruplar arasında depolama boyunca istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı gözlenmiştir.

Cebrián vd. (2016), farklı sıcaklıklarda (10, 20, 37 ve 42 °C) uyguladıkları elektrik alanda (26 kV/cm) bu çalışmadaki gibi üstel azalan dabeler kullanmışlar ve daha düşük sıcaklıkta hücre zarı akışkanlığının düşmesine bağlı olarak *S. aureus*'un direncinin arttığını belirtmişlerdir.

#### 4.1.5. *E. coli* (ATCC 26922) sayısı üzerine HVPEF etkisi

Gıdalarda *E. coli*'nin bulunması fekal bulaşının bir göstergesi olarak kabul edilmesi açısından önemlidir (Feng, 2001). Çizelge 4.5 ve Şekil 4.5'te 4 °C'ta, BHI besiyerinde

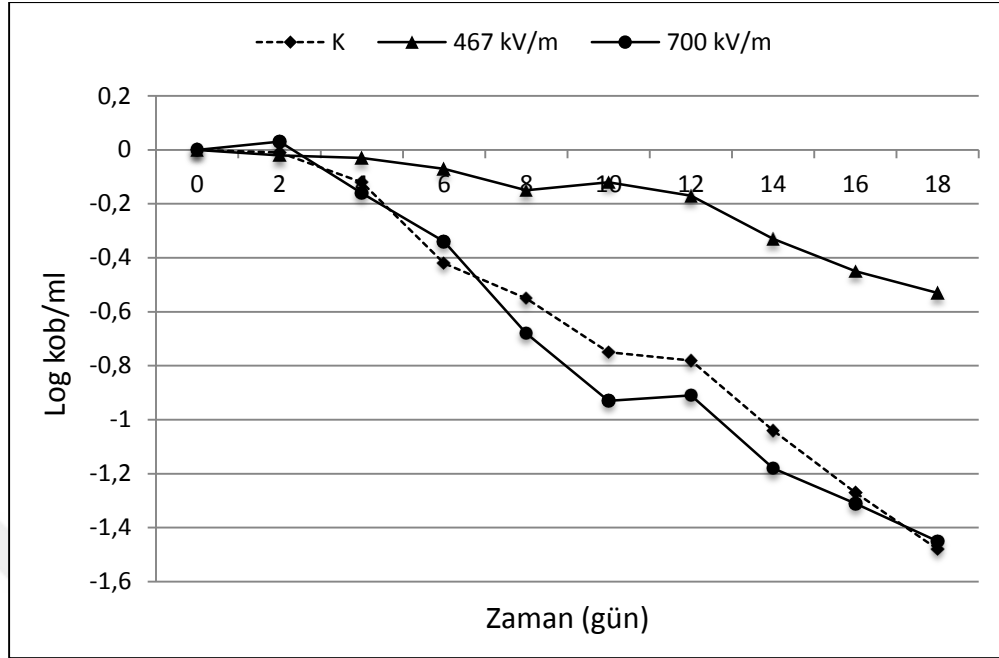
muhafaza edilen *E. coli* bakterisinin 0 kV/m (K), 467 kV/m ve 700 kV/m yoğunluğunda PEF uygulanmış örnek gruplarının mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL) gösterilmiştir. *E. coli*'nin başlangıç sayıları K, 467 kV/m, 700 kV/m gruplarında sırasıyla 5,76 log kob/mL, 5,75 log kob/mL, 5,77 log kob/mL olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.5. PEF ile soğuk depolama boyunca *E. coli* mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL)

| Depolama Süresi (gün) | K                         | 467 kV/m                  | 700 kV/m                 |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 0                     | 0,00±0,00 <sup>A</sup>    | 0,00±0,00 <sup>A</sup>    | 0,00±0,00 <sup>A</sup>   |
| 2                     | -0,01±0,01 <sup>A</sup>   | -0,02±0,11 <sup>A</sup>   | 0,03±0,11 <sup>A</sup>   |
| 4                     | -0,12±0,07 <sup>Aab</sup> | -0,03±0,04 <sup>Aa</sup>  | -0,16±0,07 <sup>Bb</sup> |
| 6                     | -0,42±0,06 <sup>Bb</sup>  | -0,07±0,04 <sup>ABa</sup> | -0,34±0,10 <sup>Cb</sup> |
| 8                     | -0,55±0,05 <sup>Bb</sup>  | -0,15±0,10 <sup>Ba</sup>  | -0,68±0,06 <sup>Db</sup> |
| 10                    | -0,75±0,12 <sup>Cb</sup>  | -0,12±0,07 <sup>ABa</sup> | -0,93±0,10 <sup>Eb</sup> |
| 12                    | -0,78±0,08 <sup>Cb</sup>  | -0,17±0,08 <sup>Ba</sup>  | -0,91±0,02 <sup>Eb</sup> |
| 14                    | -1,04±0,12 <sup>Db</sup>  | -0,33±0,05 <sup>Ca</sup>  | -1,18±0,09 <sup>Fb</sup> |
| 16                    | -1,27±0,12 <sup>Eb</sup>  | -0,45±0,06 <sup>Da</sup>  | -1,31±0,04 <sup>Gb</sup> |
| 18                    | -1,48±0,19 <sup>Fb</sup>  | -0,53±1,11 <sup>Da</sup>  | -1,45±0,04 <sup>Hb</sup> |

<sup>A-F</sup> Satırlar arasında gözlenen farklı harfler depolama günleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

a-b Sütunlar arasında gözlenen farklı harfler gruplar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).



Şekil 4.5. PEF ile soğuk depolama boyunca *E. coli* mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL)

Depolama boyunca *E. coli* sayısındaki logaritmik azalma başlangıç sayısına göre 700 kV/m HVPEF uygulanmış örneklerde 4. günden, K grubunda 6. günden ve 467 kV/m uygulanmış olan örneklerde 12. günden itibaren istatistiksel olarak önem kazanmıştır ( $p < 0,05$ ). Aynı zamanda *E. coli* sayısındaki düşüş, 467 kV/m grubunda 700 kV/m HVPEF uygulanmış örneklere nazaran 4. günden, kontrol grubuna nazaran 6. günden itibaren önemli derecede düşük bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). *E. coli* bakterilerinin 467 kV/m değerindeki HVPEF uygulamasına karşı soğuk depolama boyunca direnç gösterdiği tespit edilmiştir.

Benzer elektrik alan yoğunluklarının etkisini değerlendiren Hülshager ve Niemann (1980), farklı içeriğe sahip ortamlarda *E. coli* K12 bakteri süspansiyonlarına PEF uygulamışlar ve 300 kV/m yoğunluktaki elektrik alanın herhangi bir öldürücü etkisi olmadığı, ancak 600 kV/m elektrik alanda bakterilerin sadece % 50'sinin sayılabildiği sonucuna varmışlardır.

Garcia vd. (2005b), Gram (+) (*B. subtilis* ssp. *niger*, *L. monocytogenes*) bakterilerin 7 pH değerinde ve Gram (-) bakterilerin (*E. coli*, *E. coli* O157:H7, *P. aeruginosa*, *S. Senftenberg* 775W, *S. Typhimurium*, *Y. enterocolitica*) 4 pH değerinde PEF (12-25 kV/cm) uygulamasına karşı daha fazla direnç gösterdiğini belirtmişlerdir. Bu koşullarda en fazla direnç gösteren bakterilerin büyük bir kısmını öldürücü dozun altında hasar görmüş hücrelerin oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Zhao vd. (2011), *E. coli* hücrelerine <25 kV/cm PEF uygulamasının “hasarlı” hücrelerin oluşumunu teşvik ettiğini, 25 kV/m PEF altında bu hücrelerin oranının maksimum seviyeye ulaştığını, 25 kV/m değerinin üstünde ise kalıcı membran hasarlarının ortaya çıktığını bildirmişlerdir. Tez kapsamında yapılmış olan analiz sonucunda *E. coli*'nin direnç göstermesinin öldürücü dozun altında “hasar” gören hücreler ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

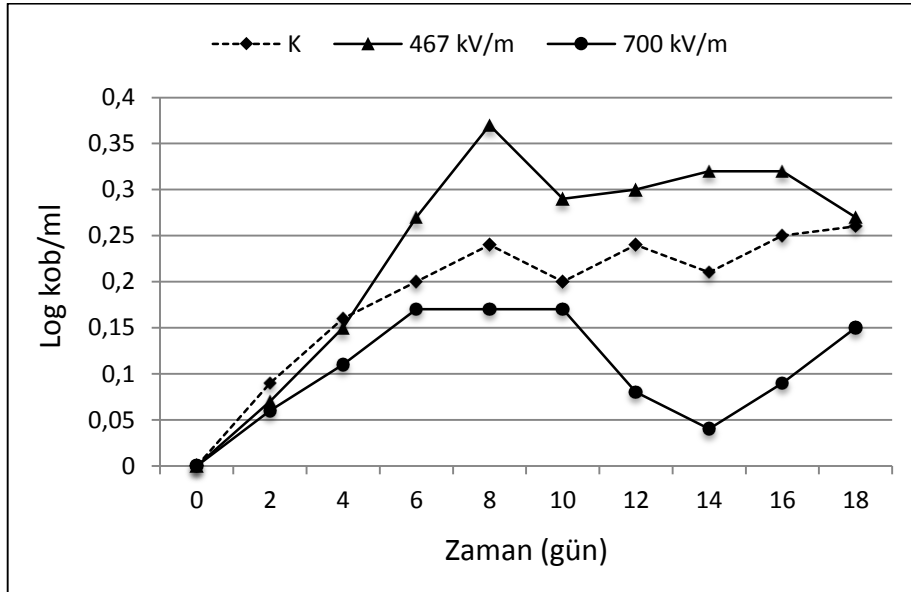
#### **4.1.6. *Salmonella* Enteritidis (ATCC 13076) sayısı üzerine HVPEF etkisi**

*Salmonella* taze kırmızı et ve kanatlı etine sıklıkla bulaşan bağırsak kökenli patojen bir bakteridir (Jay vd., 2005). Çizelge 4.6 ve Şekil 4.6'da BHI besiyerinde muhafaza edilen *S. Enteritidis* (ATCC 13076) bakterisinin 0 kV/m (K), 467 kV/m ve 700 kV/m yoğunluğunda HVPEF uygulanmış örnek gruplarının mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL) gösterilmiştir. *S. Enteritidis* (ATCC 13076)'in başlangıç sayıları K, 467 kV/m, 700 kV/m gruplarında sırasıyla 5,57 log kob/mL, 5,65 log kob/mL, 5,61 log kob/mL olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6. HVPEF ile soğuk depolama boyunca *S. Enteritidis* (ATCC 13076) mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL)

| Depolama Süresi (gün) | K         | 467 kV/m  | 700 kV/m                |
|-----------------------|-----------|-----------|-------------------------|
| 0                     | 0,00±0,00 | 0,00±0,00 | 0,00±0,00 <sup>B</sup>  |
| 2                     | 0,09±0,08 | 0,07±0,08 | 0,06±0,55 <sup>AB</sup> |
| 4                     | 0,16±0,12 | 0,15±0,11 | 0,11±0,04 <sup>AB</sup> |
| 6                     | 0,20±0,09 | 0,27±0,21 | 0,17±0,06 <sup>A</sup>  |
| 8                     | 0,24±0,08 | 0,37±0,16 | 0,17±0,02 <sup>A</sup>  |
| 10                    | 0,20±0,11 | 0,29±0,27 | 0,17±0,07 <sup>A</sup>  |
| 12                    | 0,24±0,16 | 0,30±0,25 | 0,08±0,07 <sup>AB</sup> |
| 14                    | 0,21±0,15 | 0,32±0,24 | 0,04±0,09 <sup>AB</sup> |
| 16                    | 0,25±0,24 | 0,32±0,25 | 0,09±0,1 <sup>AB</sup>  |
| 18                    | 0,26±0,25 | 0,27±0,33 | 0,15±0,16 <sup>AB</sup> |

<sup>A-B</sup> Satırlar arasında gözlenen farklı harfler depolama günleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).



Şekil 4.6. HVPEF ile soğuk depolama boyunca *S. Enteritidis* (ATCC 13076) mikrobiyal yükündeki değişim (log kob/mL)

*S. Enteritidis* (ATCC 13076) sayısındaki artış 700 kV/m PEF uygulanmış örneklerde daha yavaş olmasına rağmen depolama boyunca gruplar arasında ve her bir grup içinde başlangıca göre istatistiksel olarak önemli bir fark tespit edilmemiştir ( $p>0,05$ ). HVPEF uygulamasının *S. Enteritidis* (ATCC 13076) bakterisinin soğuk depolamadaki gelişimi üzerine etkili olmadığı sonucuna varılmıştır.

Yapılmış olan bir çalışmada pH 7'ye sahip McIlvaine tampon çözeltisi içinde yüksek yoğunluklu PEF (22 kV/cm) altında *S. Typhimurium* ve *S. Enteritidis* bakterilerinde 4 log kob/ml'den fazla inaktivasyon sağlanmıştır (Wouters vd., 2001). Tez kapsamında inaktivasyonun gerçekleşmemiş olması daha düşük elektrik alan yoğunluğunun uygulanmış olmasına bağlanmaktadır.

#### 4.2. Taze Tavuk Etlerinin pH Değeri Üzerine HVPEF Etkisi

Et ve et ürünleri üzerinde gelişme imkanı bulan mikroorganizmaların metabolik ürünleri ile bu gıdaların pH değeri değişebilmektedir (Ray ve Bhunia, 2008). Çizelge 4.7 ve Şekil 4.7'da 0 kV/m, 250 kV/m, 467 kV/m ve 700 kV/m elektrik alan yoğunluğu altında muhafaza edilmiş tavuk göğüs eti örneklerinin pH değerlerindeki değişim gösterilmiştir.

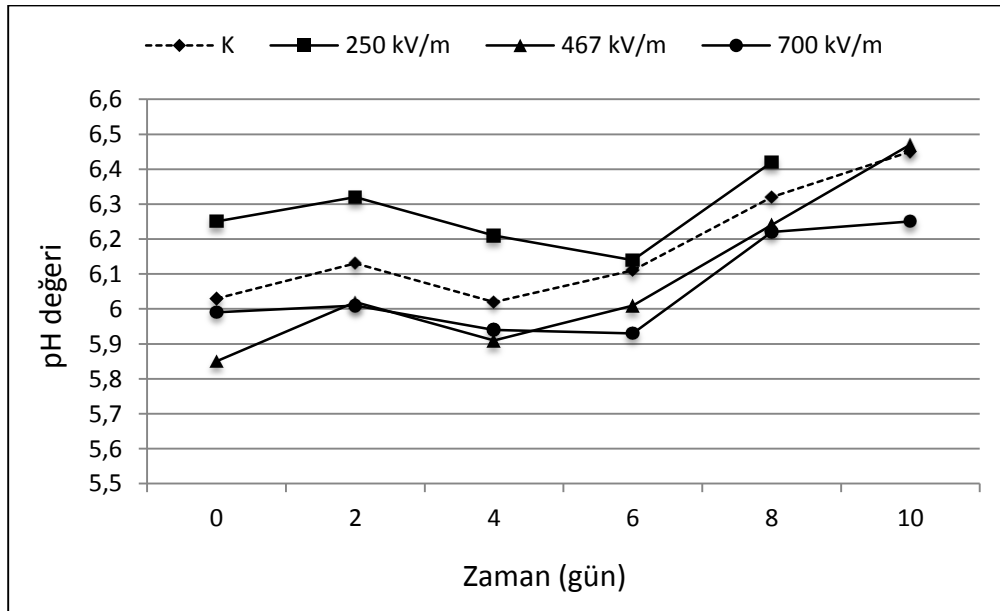
Çizelge 4.7. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuk göğüs eti örneklerini pH değerlerindeki değişim

| Depolama süresi (gün) | K                        | 250 kV/m                 | 467 kV/m                 | 700 kV/m                 |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 0                     | 6,03±0,06 <sup>Cb</sup>  | 6,25±0,05 <sup>ABa</sup> | 5,85±0,14 <sup>Cb</sup>  | 5,99±0,14 <sup>BCb</sup> |
| 2                     | 6,13±0,07 <sup>Cb</sup>  | 6,32±0,17 <sup>ABa</sup> | 6,02±0,05 <sup>Cb</sup>  | 6,01±0,05 <sup>BCb</sup> |
| 4                     | 6,02±0,05 <sup>Cb</sup>  | 6,21±0,02 <sup>ABa</sup> | 5,91±0,09 <sup>Cb</sup>  | 5,94±0,09 <sup>Cb</sup>  |
| 6                     | 6,11±0,05 <sup>C</sup>   | 6,14±0,13 <sup>B</sup>   | 6,01±0,11 <sup>C</sup>   | 5,93±0,17 <sup>C</sup>   |
| 8                     | 6,32±0,06 <sup>Bab</sup> | 6,42±0,09 <sup>Aa</sup>  | 6,24±0,09 <sup>Bab</sup> | 6,22±0,12 <sup>ABb</sup> |
| 10                    | 6,45±0,07 <sup>Aab</sup> | *                        | 6,47±0,12 <sup>Aa</sup>  | 6,25±0,11 <sup>Ab</sup>  |

<sup>A-C</sup> Satırlar arasında gözlenen farklı harfler depolama günleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

a-b Sütunlar arasında gözlenen farklı harfler gruplar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

\* Örneğin raf ömrünü tamamladığını göstermektedir.



Şekil 4.7. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuk göğüs eti örneklerini pH değerlerindeki değişim

Tavuk göğüs eti örneklerinin başlangıç pH değerleri 5,85-6,25 aralığında tespit edilmiş ve Qiao vd. (2001)'in bildirdiği değerler ile uyumlu bulunmuştur. pH değerleri depolama sonunda uygulama grupları ile kontrol grubu arasında önemli bir fark göstermemiştir. Benzer şekilde He vd. (2013), 80, 120, 160 ve 200 kV/m statik elektrik alan altında çözüdüdüğüleri domuz eti örneklerinin pH değeri üzerine statik elektrik alan uygulamasının önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna varmışlardır. Ko vd. (2016) ise çalışmada kullanılan ile benzer yoğunluğa sahip statik elektrik alan altında soğukta depoladıkları "tilapia" balıklarının pH değerindeki değişim üzerine 300 kV/m elektrik alanın önemli bir etkisinin olmadığını, 600 kV/m elektrik alan yoğunluğunun pH değerindeki artışı engellediğini bildirmişlerdir.

#### **4.3. Taze Tavuk Etlerinin Mikrobiyal Yükü Üzerine HVPEF Etkisi**

##### **4.3.1. Taze tavuk etlerinin toplam mezofilik aerobik bakteri (TMAB) sayısı üzerine HVPEF etkisi**

Gıdaların heterojen doğasında gelişen mikroflorayı nicel olarak yansıtan ve gıdalara kontaminasyonu gösteren TMAB sayısı mikrobiyal kalitenin önemli bir kriteridir (Ray ve Bhunia, 2008). 0 kV/m, 250 kV/m, 467 kV/m ve 700 kV/m elektrik alan yoğunluğu altında muhafaza edilmiş tavuk örneklerinin TMAB değerleri Çizelge 4.8'de, bu değerlerin zamana karşı gelişim grafiği Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

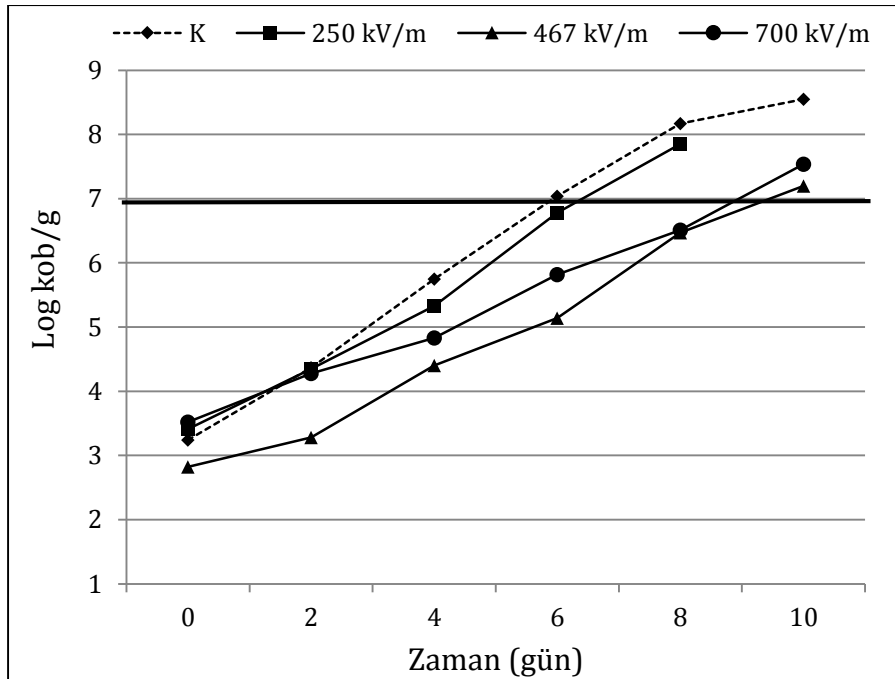
Çizelge 4.8. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuk örneklerinin TMAB yükündeki değişim (log kob/ml)

| Depolama süresi (gün) | K                       | 250 kV/m                 | 467 kV/m                | 700 kV/m                  |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 0                     | 3,24±0,23 <sup>E</sup>  | 3,41±0,19 <sup>D</sup>   | 2,82±0,26 <sup>C</sup>  | 3,52±0,74 <sup>D</sup>    |
| 2                     | 4,37±0,25 <sup>D</sup>  | 4,35±0,83 <sup>D</sup>   | 3,28±0,38 <sup>C</sup>  | 4,28±0,94 <sup>CD</sup>   |
| 4                     | 5,75±0,28 <sup>C</sup>  | 5,33±0,34 <sup>C</sup>   | 4,40±0,60 <sup>B</sup>  | 4,83±1,17 <sup>CD</sup>   |
| 6                     | 7,04±0,42 <sup>Ba</sup> | 6,78±0,52 <sup>Bab</sup> | 5,14±0,73 <sup>Bb</sup> | 5,82±0,98 <sup>BCab</sup> |
| 8                     | 8,17±0,18 <sup>Aa</sup> | 7,85±0,53 <sup>Aa</sup>  | 6,47±0,96 <sup>Ab</sup> | 6,51±0,48 <sup>ABb</sup>  |
| 10                    | 8,55±0,31 <sup>Aa</sup> | *                        | 7,2±0,25 <sup>Ab</sup>  | 7,54±0,75 <sup>Aab</sup>  |

<sup>A-E</sup> Satırlar arasında gözlenen farklı harfler depolama günleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

a-b Sütunlar arasında gözlenen farklı harfler gruplar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

\* Örneğin raf ömrünü tamamladığını göstermektedir.



Şekil 4.8. 4 °C'ta muhafaza edilmiş K ve 250 kV/m, 467 kV/m, 700 kV/m HVPEF altında muhafaza edilmiş tavuk örneklerinin TMAB sayılarının zamana karşı gelişim grafiği.

K, 250 kV/m, 467 kV/m, 700 kV/m grupları için tespit edilen başlangıç TMAB sayıları Haughton vd. (2012) ve Wang vd., (2016)'nin taze tavuk göğüs eti için bildirdiği değerlerle uyumlu bulunmuştur. TMAB sayısındaki değişim incelendiğinde depolama boyunca kontrol grubu değerlerinin uygulama grubu değerlerine nazaran daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. İlerleyen depolama günlerinde gözlenen artış K grubunda 2. günden, 250 ve 467 kV/m uygulanmış örneklerde 4. günden, 700 kV/m HVPEF uygulanmış örneklerde ise 6. günden itibaren önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Ancak, ICMSF (1986) tarafından önerilmiş olan sınır değer (7 log kob/g) K grubunda 6. günde (7,04 log kob/g) aşılırken, 250 kV/m HVPEF uygulanmış örnekler tüketilebilir niteliğini korumuş, 8. günde 7,85 log kob/g değerine ulaşmıştır. 467 ve 700 kV/m HVPEF uygulanmış gruplarda ise sınır değer depolamanın sonunda sırasıyla 7,2 log kob/g ve 7,54 log kob/g olarak belirlenmiş TMAB sayıları ile aşılmıştır. Bu sonuçlara göre yüksek voltajlı darbeli elektrik alan uygulamasının taze tavuk göğüs etinde soğuk depolama boyunca TMAB gelişimi üzerine inhibisyon etkili olduğu ve örneklerin raf ömrünü 4 güne kadar geliştirdiği sonucuna varılmıştır. Saf kültürlerde karşılaşılmayan bu etkinin gıda sistemlerindeki heterojen mikrobiyal floradan ve kompleks yapıdan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Hsieh vd. (2011), "tilapia" balıklarını buzdolabı sıcaklığında statik elektrik alan (100 kV/m) altında depoladıkları çalışmalarında depolamanın sonunda kontrol grubunun raf ömrünü tamamladığını ancak statik elektrik alan uygulanan örnekler için tespit edilen TMAB sayılarının kontrole göre daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Ko vd. (2016), "tilapia" balıklarının filetoalarını statik elektrik alan (300 kV/m, 600 kV/m, 900 kV/m) altında buzdolabı sıcaklığında (4°C) 8 gün boyunca depolamışlar ve statik elektrik alan uygulanmış örneklerin mikrobiyolojik sınırlar dahilinde kaldığı sonucuna varmışlardır. Söz konusu çalışmalar tez kapsamında uygulanan elektrik alan değerleri ve depolama koşullarıyla benzerlik göstermekle beraber, bu çalışmaların sonuçları tez kapsamında varılmış olan sonuçları desteklemektedir.

#### 4.3.2. Taze tavuk etlerinin toplam koliform bakteri (TKB) sayısı üzerine HVPEF etkisi

Gıdaların genel hijyen ve proses koşullarının indikatörü olarak bilinen TKB sayısı özellikle fekal bulaşılara dair fikir verdiğinden önemlidir (Ray ve Bhunia, 2008). 0 kV/m, 250 kV/m, 467 kV/m ve 700 kV/m elektrik alan yoğunluğu altında muhafaza edilmiş tavuk örneklerinin TKB değerleri Çizelge 4.9'da, bu değerlerin zamana karşı gelişim grafiği Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

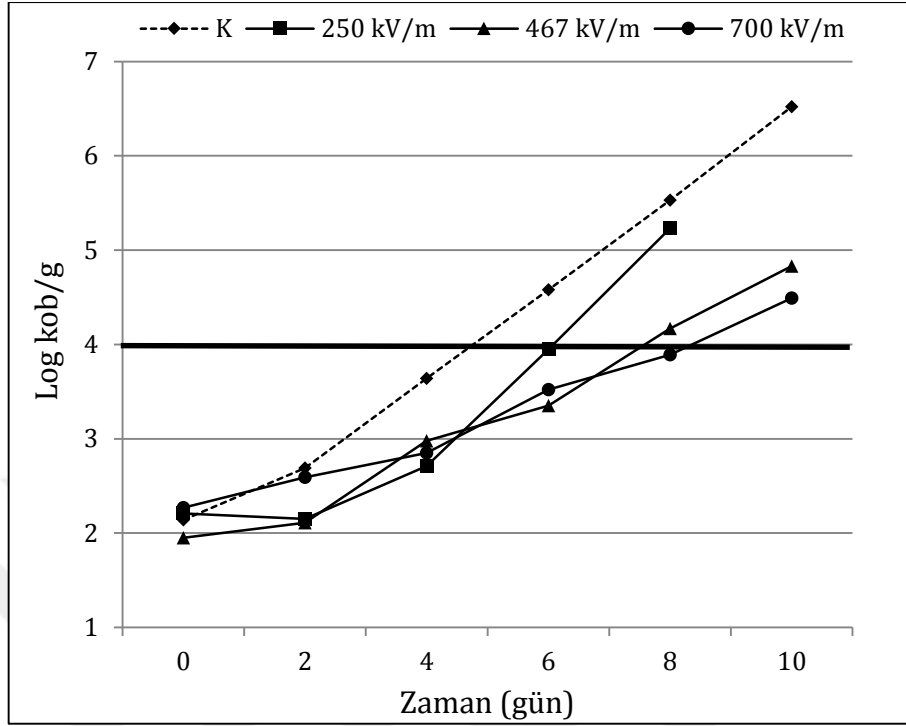
Çizelge 4.9. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuk örneklerinin TKB yükündeki değişim (log kob/ml)

| Depolama süresi (gün) | K                       | 250 kV/m                 | 467 kV/m                  | 700 kV/m                  |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 0                     | 2,14±0,25 <sup>F</sup>  | 2,21±0,19 <sup>D</sup>   | 1,95±0,24 <sup>C</sup>    | 2,27±0,79 <sup>D</sup>    |
| 2                     | 2,69±0,25 <sup>E</sup>  | 2,15±0,32 <sup>CD</sup>  | 2,11±0,23 <sup>C</sup>    | 2,59±0,63 <sup>CD</sup>   |
| 4                     | 3,64±0,12 <sup>D</sup>  | 2,71±0,31 <sup>C</sup>   | 2,98±0,38 <sup>BC</sup>   | 2,85±0,80 <sup>BCD</sup>  |
| 6                     | 4,58±0,08 <sup>Ca</sup> | 3,95±0,30 <sup>Bab</sup> | 3,35±0,78 <sup>BCb</sup>  | 3,52±0,16 <sup>ABCb</sup> |
| 8                     | 5,53±0,38 <sup>Ba</sup> | 5,23±0,25 <sup>Aab</sup> | 4,17±1,21 <sup>ABab</sup> | 3,89±0,66 <sup>ABb</sup>  |
| 10                    | 6,52±0,38 <sup>Aa</sup> | *                        | 4,83±1,05 <sup>Ab</sup>   | 4,49±0,60 <sup>Ab</sup>   |

<sup>A-F</sup> Satırlar arasında gözlenen farklı harfler depolama günleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

a-b Sütunlar arasında gözlenen farklı harfler gruplar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

\* Örneğin raf ömrünü tamamladığını göstermektedir.



Şekil 4.9. 4 °C'ta muhafaza edilmiş K ve 250 kV/m, 467 kV/m, 700 kV/m HVPEF altında muhafaza edilmiş tavuk örneklerinin TKB sayılarının zamana karşı gelişim grafiği

Buzdolabı sıcaklığında depolanan tavuk göğüs eti örneklerinin TKB sayılarının başlangıç değerlerinin 1,95-2,27 log kob/g arasında olduğu tespit edilmiş ve Abu-Tarboush vd. (1997) tarafından bildirilen değer ile uyumlu bulunmuştur. Başlangıç sayıları soğuk depolama boyunca artarak sınır değeri (4 log kob/g) (Post, 1998) K grubunda 4. günden sonra aşmış ve 467 ile 700 kV/m elektrik alan uygulanmış gruplardan istatistiksel olarak farklı bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). 250 ve 467 kV/m elektrik alan uygulanan örnekler 6. günden sonra, 700 kV/m elektrik alan uygulanmış örnekler ise 8. günden sonra bildirilen sınır değer üstünde TKB sayısına ulaşmıştır. 467 ve 700 kV/m HVPEF uygulanmış örneklerin TKB sayıları depolama sonunda K grubuna nazaran önemli seviyede düşük olduğu tespit edilmiştir. Soğukta depolanan tavuk göğüs etinde TKB gelişimi üzerine HVPEF uygulamasının inhibe edici etkisi elektrik alan yoğunluğu arttıkça artış göstermiş ( $p < 0,05$ ), depolamanın 6. gününden itibaren istatistiksel olarak desteklenmiştir.

HVPEF yönteminin et kalitesine etkisinin incelendiği ve bu çalışmada elde edilen TKB değerlerinin karşılaştırılabileceği bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır.

#### **4.4. Taze Tavuk Etlerinin Renk Değerleri Üzerine HVPEF Etkisi**

Gıdaların sahip olduğu renk tüketici tercihlerini, dolayısıyla gıdaların pazarlanabilirliğini etkilediğinden oldukça önemli bir kalite kriteridir. Tavuk göğüs eti düşük miyoglobın içeriği ile açık bir renk sergilemekte ancak mikrobiyolojik gelişmeler sonucunda sahip olduğu doğal renk değişebilmektedir (Alvarado, 2006). 0 kV/m, 250 kV/m, 467 kV/m ve 700 kV/m elektrik alan yoğunluğu altında muhafaza edilmiş tavuk örneklerinin renk parametrelerindeki (CIE L\*, a\*, b\*, C\*, h) değişim Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. PEF ile soğuk depolama boyunca tavuk göğüs eti örneklerinin  $\Delta E$  değerleri Çizelge 4.11 ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuk göğüs eti örneklerinin renk parametrelerindeki (CIE L\*, a\*, b\*, C\*, h) değişim

|           | Depolama süresi (gün) | K                         | 250 kV/m                  | 467 kV/m                 | 700 kV/m                   |
|-----------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|
| <b>L*</b> | 0                     | 51,14±1,32 <sup>AB</sup>  | 50,36±1,60 <sup>BC</sup>  | 53,17±0,69               | 49,91±3,82                 |
|           | 2                     | 49,91±1,53 <sup>ABb</sup> | 53,62±2,09 <sup>Aa</sup>  | 53,31±1,33 <sup>ab</sup> | 51,57±1,98 <sup>ab</sup>   |
|           | 4                     | 51,24±0,36 <sup>Aab</sup> | 50,47±1,77 <sup>BCb</sup> | 53,77±2,06 <sup>a</sup>  | 47,64±1,12 <sup>c</sup>    |
|           | 6                     | 49,81±0,98 <sup>AB</sup>  | 52,17±0,24 <sup>AB</sup>  | 51,78±2,86               | 51,56±2,99                 |
|           | 8                     | 49,98±0,21 <sup>AB</sup>  | 49,01±1,35 <sup>C</sup>   | 50,21±2,71               | 50,65±0,36                 |
|           | 10                    | 49,28±0,79 <sup>B</sup>   | *                         | 52,22±2,19               | 51,37±2,65                 |
| <b>a*</b> | 0                     | 1,69±0,05 <sup>Ab</sup>   | 2,24±0,36 <sup>Aa</sup>   | 1,37±0,19 <sup>ABb</sup> | 1,51±0,21 <sup>Ab</sup>    |
|           | 2                     | 1,59±0,41 <sup>A</sup>    | 1,29±0,53 <sup>AB</sup>   | 2,14±1,14 <sup>A</sup>   | 1,06±0,28 <sup>AB</sup>    |
|           | 4                     | 1,46±0,29 <sup>A</sup>    | 1,31±0,69 <sup>AB</sup>   | 1,52±0,70 <sup>AB</sup>  | 1,40±0,55 <sup>A</sup>     |
|           | 6                     | 1,19±0,47 <sup>AB</sup>   | 0,72±0,61 <sup>B</sup>    | 1,59±0,66 <sup>AB</sup>  | 0,60±0,28 <sup>BC</sup>    |
|           | 8                     | 0,50±0,19 <sup>Ba</sup>   | 1,02±0,28 <sup>Ba</sup>   | 0,87±0,52 <sup>Ba</sup>  | -0,11±0,29 <sup>Db</sup>   |
|           | 10                    | 1,05±0,6 <sup>ABa</sup>   | *                         | 1,82±0,13 <sup>Aa</sup>  | 0,24±0,26 <sup>CDb</sup>   |
| <b>b*</b> | 0                     | 1,88±0,52 <sup>Bb</sup>   | 0,82±0,32 <sup>Bb</sup>   | 4,21±0,56 <sup>a</sup>   | 0,54±1,09 <sup>b</sup>     |
|           | 2                     | 3,25±0,55 <sup>AB</sup>   | 3,25±0,81 <sup>A</sup>    | 2,58±0,30                | 2,02±1,71                  |
|           | 4                     | 2,95±0,54 <sup>AB</sup>   | 2,11±0,76 <sup>A</sup>    | 4,45±0,84                | 2,37±3,08                  |
|           | 6                     | 3,12±1,06 <sup>AB</sup>   | 2,61±0,61 <sup>A</sup>    | 3,75±2,49                | 2,37±0,73                  |
|           | 8                     | 3,47±1,17 <sup>A</sup>    | 2,37±0,25 <sup>A</sup>    | 3,32±1,04                | 3,09±1,86                  |
|           | 10                    | 3,82±0,6 <sup>A</sup>     | *                         | 3,67±0,18                | 3,75±1,91                  |
| <b>C*</b> | 0                     | 2,97±0,28 <sup>b</sup>    | 2,42±0,44 <sup>bc</sup>   | 4,53±0,49 <sup>a</sup>   | 1,99±0,26 <sup>c</sup>     |
|           | 2                     | 3,78±0,46 <sup>ab</sup>   | 3,55±0,82 <sup>ab</sup>   | 4,98±1,41 <sup>a</sup>   | 2,41±0,66 <sup>b</sup>     |
|           | 4                     | 3,47±0,40                 | 2,63±0,86                 | 4,40±0,50                | 3,23±2,38                  |
|           | 6                     | 3,58±1,17                 | 2,87±0,43                 | 5,21±2,35                | 2,51±0,64                  |
|           | 8                     | 3,64±1,11                 | 2,67±0,30                 | 4,32±1,44                | 3,13±1,86                  |
|           | 10                    | 4,14±0,53                 | *                         | 5,24±0,45                | 3,78±1,92                  |
| <b>h</b>  | 0                     | 35,78±13,03 <sup>ab</sup> | 20,48±5,01 <sup>Cb</sup>  | 70,02±4,57 <sup>a</sup>  | 14,74±35,43 <sup>ABb</sup> |
|           | 2                     | 52,87±10,81               | 66,86±8,67 <sup>A</sup>   | 58,72±22,28              | 49,03±14,00 <sup>A</sup>   |
|           | 4                     | 54,67±12,21               | 46,90±5,77 <sup>B</sup>   | 69,10±8,94               | 39,50±38,14 <sup>A</sup>   |
|           | 6                     | 52,85±11,55               | 47,26±17,07 <sup>B</sup>  | 64,09±24,65              | 61,85±20,28 <sup>A</sup>   |
|           | 8                     | 43,02±15,75 <sup>a</sup>  | 64,97±8,15 <sup>ABa</sup> | 77,44±6,81 <sup>a</sup>  | -36,29±32,08 <sup>Bb</sup> |
|           | 10                    | 28,57±35,90               | *                         | 77,31±1,99               | 26,85±27,02 <sup>A</sup>   |

A-C Satırlar arasında gözlenen farklı harfler depolama günleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir ( $p < 0,05$ ).

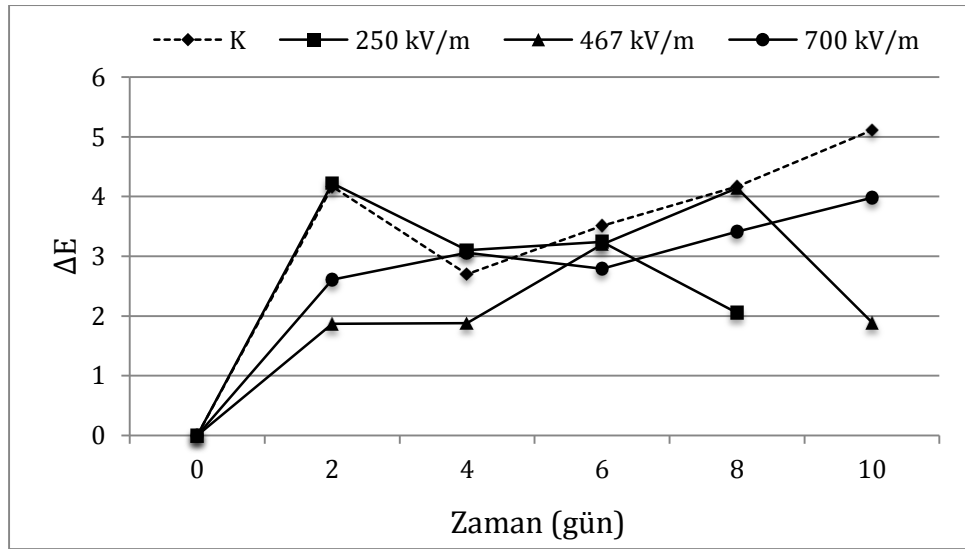
a-b Sütunlar arasında gözlenen farklı harfler grupları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir ( $p < 0,05$ ).

\* Örneğin raf ömrünü tamamladığını göstermektedir.

Çizelge 4.11. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuk göğüs eti örneklerinin  $\Delta E$  değerleri

| Depolama süresi (gün) | K    | 250 kV/m | 467 kV/m | 700 kV/m |
|-----------------------|------|----------|----------|----------|
| 0                     | 0    | 0        | 0        | 0        |
| 2                     | 4,17 | 4,22     | 1,87     | 2,61     |
| 4                     | 2,70 | 3,10     | 1,88     | 3,06     |
| 6                     | 3,51 | 3,24     | 3,20     | 2,79     |
| 8                     | 4,17 | 2,05     | 4,14     | 3,41     |
| 10                    | 5,11 | *        | 1,89     | 3,98     |

\*Örneğin raf ömrünü tamamladığını göstermektedir.



Şekil 4.10. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuk göğüs eti örneklerinin  $\Delta E$  değerleri

Depolama boyunca gruplar arasında ve depolama günleri arasında CIE L\* değerleri üzerine HVPEF uygulamasının etkili olmadığı gözlenmiştir. CIE a\* değeri 700 kV/m HVPEF uygulanmış örneklerde depolamanın sonunda başlangıca nazaran önemli oranda azalmış ve diğer gruplardan farklı bulunmuştur ( $p<0,05$ ). CIE b\* değerleri depolama boyunca K grubunda ve 250 kV/m HVPEF uygulanmış örneklerde 2. günden itibaren önemli seviyede artış göstermiştir ( $p<0,05$ ). Ancak HVPEF uygulaması ile gruplar arasında dikkate değer bir fark ortaya çıkmamıştır. Soğuk depolama boyunca depolama günleri veya gruplar arasında CIE C\* değerleri üzerine HVPEF uygulamasının önemli bir etkisi olmadığı gözlenmiştir. 250 kV/m HVPEF altında depolanan tavuk göğüs eti örneklerinin CIE h değeri depolama boyunca önemli seviyede artış göstermiştir ( $p<0,05$ ). Depolamanın sonunda  $\Delta E$  değerleri başlangıç değerlerine göre en büyük farkı K grubunda göstermiştir.

Benzer elektrik alan değerlerini kullanmış olan Arroyo vd. (2015), PEF (125 kV/m-416 kV/m) yönteminin hindi göğüs etlerinin kalite göstergeleri üzerine etkisini inceledikleri çalışmalarında taze veya dondurulmuş formda analiz edilen çiğ ve pişmiş etlerin rengi üzerine PEF uygulamalarının etkisinin olmadığını vurgulamışlardır.

#### **4.5. Taze Tavuk Etlerine İnoküle Edilmiş Bakterilerin Gelişimi Üzerine HVPEF Etkisi**

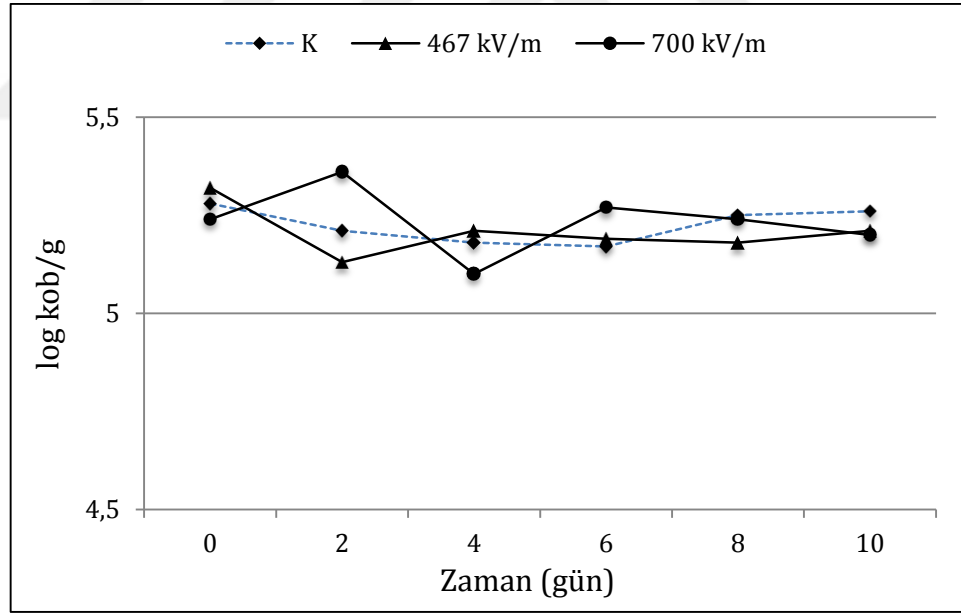
##### **4.5.1. *P. aeruginosa* (ATCC 27853) sayısı üzerine HVPEF etkisi**

0 kV/m, 467 kV/m ve 700 kV/m elektrik alan yoğunluğu altında muhafaza edilmiş tavuk göğüs eti örneklerine inoküle edilmiş olan *P. aeruginosa* (ATCC 27853) sayısındaki değişim (log kob/g) Çizelge 4.12 ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuk göğüs eti örneklerine inoküle edilmiş olan *P. aeruginosa* sayısındaki değişim (log kob/g)

| Depolama süresi (gün) | K          | 467 kV/m   | 700 kV/m               |
|-----------------------|------------|------------|------------------------|
| 0                     | 5,28±0,10  | 5,32±0,19  | 5,24±0,09              |
| 2                     | 5,21±0,06b | 5,13±0,03b | 5,36±0,06 <sup>a</sup> |
| 4                     | 5,18±0,02  | 5,21±0,08  | 5,10±0,24              |
| 6                     | 5,17±0,04  | 5,19±0,08  | 5,27±0,08              |
| 8                     | 5,25±0,01  | 5,18±0,08  | 5,24±0,16              |
| 10                    | 5,26±0,06  | 5,21±0,06  | 5,20±0,08              |

a-b Sütunlar arasında gözlenen farklı harfler gruplar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).



Şekil 4.11. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuk göğüs eti örneklerine inoküle edilmiş olan *P. aeruginosa* sayısındaki değişim (log kob/g)

Tavuk göğüs etlerine inoküle edilmiş olan *P. aeruginosa* sayısı üzerine HVPEF uygulaması, depolama günleri ve gruplar arasında önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Gıda örneklerine inoküle edilmiş mikroorganizmalar üzerine HVPEF

uygulamasının yeterli etkinlik göstermemiş olması gıda bileşenlerinin koruyucu etkisi ile açıklanabilmektedir (Barbosa-Canovas ve Altunakar, 2006).

Haughton vd. (2012) de benzer şekilde taze tavuk göğüs etlerine inokülasyon gerçekleştirdikleri çalışmalarında 10, 15, 20, 25 ve 30 s süre ile farklı elektrik alan yoğunluklarına sahip PEF (375 kV/m ve 1500 kV/m, 10ms, 5 Hz) yönteminin *Enterobacteriaceae*, *C. jejuni*, *E. coli* ve *S. Enteritidis* bakterilerinin sayıları üzerine etkili olmadığı sonucuna varmışlardır.

#### 4.5.2. *L. monocytogenes* (ATCC 19115) sayısı üzerine HVPEF etkisi

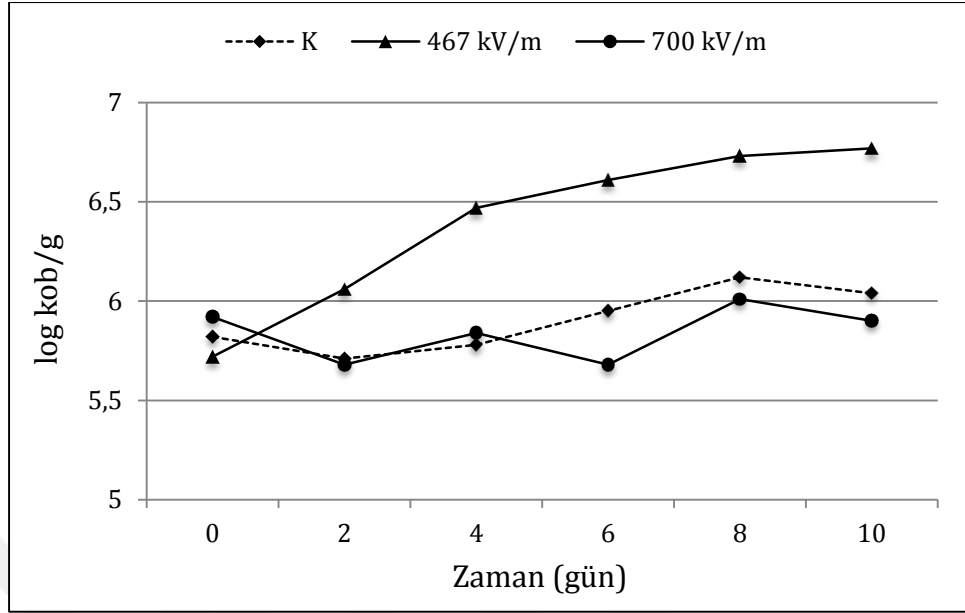
0 kV/m, 467 kV/m ve 700 kV/m elektrik alan yoğunluğu altında muhafaza edilmiş tavuk örneklerine inoküle edilmiş olan *L. monocytogenes* (ATCC 19115) sayısındaki değişim (log kob/g) Çizelge 4.13'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuklara inoküle edilmiş olan *L. monocytogenes* sayısındaki değişim (log kob/g)

| Depolama süresi (gün) | K                         | 467 kV/m                 | 700 kV/m               |
|-----------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|
| 0                     | 5,82±0,12 <sup>BC</sup>   | 5,72±0,14 <sup>D</sup>   | 5,92±0,18              |
| 2                     | 5,71±0,13 <sup>Cb</sup>   | 6,06±0,04 <sup>Ca</sup>  | 5,68±0,11 <sup>b</sup> |
| 4                     | 5,78±0,13 <sup>BCb</sup>  | 6,47±0,23 <sup>Ba</sup>  | 5,84±0,06 <sup>b</sup> |
| 6                     | 5,95±0,11 <sup>ABCb</sup> | 6,61±0,11 <sup>ABa</sup> | 5,68±0,13 <sup>c</sup> |
| 8                     | 6,12±0,14 <sup>Ab</sup>   | 6,73±0,20 <sup>ABa</sup> | 6,01±0,31 <sup>b</sup> |
| 10                    | 6,04±0,16 <sup>ABb</sup>  | 6,77±0,11 <sup>Aa</sup>  | 5,90±0,33 <sup>b</sup> |

<sup>A-D</sup> Satırlar arasında gözlenen farklı harfler depolama günleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).

a-b Sütunlar arasında gözlenen farklı harfler gruplar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunu göstermektedir (p<0,05).



Şekil. 4.12. HVPEF ile soğuk depolama boyunca tavuklara inoküle edilmiş olan *L. monocytogenes* sayısındaki değişim (log kob/g)

Tavuk göğüs etlerine inoküle edilmiş olan *L. monocytogenes* bakterisinin 467 kV/m HVPEF altında sayıları depolama boyunca diğer gruplara göre önemli derecede yüksek bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). 467 kV/m elektrik alan değeri tavuk göğüs eti örneklerinde *L. monocytogenes* bakterisinin gelişimini teşvik etmiştir.

Stachelska vd. (2012), bu çalışmada kullanılmış olandan daha düşük elektrik alan yoğunluğuna sahip HVPEF uygulamasının sığır etine inoküle edilmiş *Yersinia enterocolitica* ATCC 35669 bakterisi üzerine etkisini inceledikleri çalışmalarında aynı elektrik alanı (300 V/m) farklı frekans değerleri ile uygulamışlar (28, 280 ve 2800 MHz) ve 4°C'ta 3 gün ve -20°C'ta 30 gün depolamışlardır. -20°C'ta frekans arttıkça sayının azaldığını, 4°C'ta depolandığında ise frekans sadece 2800 MHz'e çıktığında bakteri sayılarının 6,7 log kob/g'den 6,4 log kob/g düzeyine düştüğünü bildirmişlerdir.

Çeşitli gıdalarda ve çözeltilerde mikrobiyal yükte azalma sağladığı bilinen PEF yönteminin et ve et ürünlerinde heterojen yapıdan, değişken elektriksel

iletkenlikten ve koruyucu unsurlardan dolayı inaktivasyon yeteneği zayıflamaktadır (Gudmundsson ve Hafsteinsson, 2005).



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İnsanların eğitim seviyesine paralel olarak tüketecekleri gıdaların özelliklerine olan merakı ve ilgisi her geçen gün daha da artmaktadır. Özellikle teknolojinin gelişmesiyle globalleşen dünyada sosyal medyanın da yardımı ile kişilerin gıda tercihlerini etkileyen faktörlerin çerçevesi genişlemekte ve tek başına gıdanın güvenilir olması artık yetersiz kalmaktadır. Tüketicilerin sağlığı kadar beğenilerinin de dikkate alınması gereken bu dönemde, gıdaların birincil bozulma nedeni olan mikroorganizmaların gelişimlerinin engellenmesi veya yavaşlatılması haricinde gıdaların raflarda sergilediği cazibesini artıracak, ambalaj açıldıktan sonra da tüketicilerin duyuşal tatminini sağlayacak ve zamanla besleyici niteliğini koruyacak gıdalar üreticilerin amacı haline almıştır.

Mevcut gıda muhafaza yöntemleri üreticilerin amaçları doğrultusunda yetersiz kalmakta, onlara yardımcı alternatif ısı olmayan yöntemler öne sürülmektedir. Bu yöntemler arasında darbeli elektrik alan (PEF) uygulaması öncelikli olarak sıvı ve pompalanabilir gıdaların raf ömrü çalışmalarında dikkat çekmiştir. Zamanla katı gıdalarda ekstraksiyon, kurutma, çözündürme gibi işlemlere yardımcı bir proses olarak düşünülmüş ve son yıllarda mikrobiyal inaktivasyon için uygunluğu tartışılmıştır. Bu araştırmada HVPEF yöntemi soğuk muhafaza ile kombine edilerek katı ve ambalajlı gıdalara da uygulanabilecek yenilikçi bir gıda muhafaza yöntemi geliştirilmeye çalışılmıştır.

HVPEF yöntemi teknolojik, biyolojik ve ortama ilişkin faktörlerden etkilenmektedir. Bu nedenle tez kapsamında gerçekleştirilen analizlerde farklı elektrik alan yoğunlukları, farklı özelliklere sahip bakteriler ve uygulama ortamları kullanılmıştır. İlk aşamada patojen ve/veya bozulma nedeni mikroorganizmalardan *P. aeruginosa*, *C. jejuni*, *L. monocytogenes*, *S. auerus*, *E. coli* *S. Enteritidis* kullanılarak sıvı besiyerinde HVPEF uygulamasından etkilenme düzeyleri tespit edilmiştir.

700 kV/m HVPEF uygulanmış örnekler *P. aeruginosa* sayısında 8. günden itibaren diğer gruplara nazaran daha hızlı bir düşüş sergilemiş ve bu azalma depolamanın

sonunda başlangıca göre istatistiksel olarak önemli derecede farklı bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Ancak, örnek grupları arasındaki fark depolama boyunca önem kazanmamıştır. Depolama süresince *C. jejuni* sayısı tüm uygulama gruplarında önemli oranda azalmıştır ( $p<0,05$ ). 700 kV/m HVPEF uygulanmış gruplarda depolamanın 2. ve 4. günlerinde meydana gelen azalmanın diğer gruplara nazaran daha belirgin ( $p<0,05$ ) olduğu gözlenmişse de *C. jejuni* sayısındaki bu fark ilerleyen günlerde ortadan kalkmıştır. Depolama boyunca tüm örnek gruplarında meydana gelen *L. monocytogenes* sayısındaki artış 700 kV/m HVPEF uygulanmış diğer gruplardan daha fazla olmasına rağmen örnek grupları arasındaki fark önemli bulunmamıştır. Depolama boyunca örnek gruplarının tamamında *S. aureus* sayısının azaldığı tespit edilmiş, 700 kV/m elektrik alan uygulanan gruplarda *S. aureus* sayısı diğer gruplara nazaran daha yavaş azalmış olsa da gruplar arasında depolama boyunca istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı gözlenmiştir. Depolama boyunca *E. coli* sayısındaki logaritmik azalma 467 kV/m HVPEF uygulanmış grupta 700 kV/m HVPEF uygulanmış örneklerle nazaran 4. günden, kontrol grubuna nazaran 6. günden itibaren önemli derecede düşük bulunmuştur ( $p<0,05$ ). *E. coli* bakterilerinin 467 kV/m değerindeki HVPEF uygulamasına karşı soğuk depolama boyunca direnç gösterdiği tespit edilmiştir. *S. Enteritidis* (ATCC 13076) sayısındaki artış 700 kV/m HVPEF uygulanmış örneklerde daha yavaş olmasına rağmen depolama boyunca gruplar arasında ve her bir grup içinde başlangıca göre istatistiksel olarak önemli bir fark tespit edilmemiştir. HVPEF uygulamasının *S. Enteritidis* (ATCC 13076) bakterisinin soğuk depolamadaki gelişimi üzerine etkili olmadığı sonucuna varılmıştır.

İkinci aşamada bu mikroorganizmaların gelişmesine açık olan tavuk göğüs eti örneklerinin soğuk depolama boyunca HVPEF yöntemi ile pH, renk ve mikrobiyolojik kriterlerindeki değişim takip edilmiştir. TMAB sayısındaki değişim incelendiğinde ICMSF (1986) tarafından önerilmiş olan sınır değer K grubuna göre 250 kV/m HVPEF uygulanmış örneklerde 2 gün, 467 ve 700 kV/m HVPEF uygulanmış gruplarda ise 4 gün sonra aşılmıştır. TKB sayıları da benzer şekilde artmış, K grubu 6. günde, 250 ve 467 kV/m elektrik alan uygulanan örnekler 8.

günde, 700 kV/m elektrik alan uygulanmış örnekler ise 10. günde bildirilen sınır değerlerin üstüne çıkmıştır. pH değerleri mikrobiyel gelişime paralel olarak depolama süresince artmış, ancak HVPEF uygulamasının pH değeri üzerine önemli bir etkisi bulunmamıştır. Soğuk depolama boyunca CIE L\*, b\*, C\* değerleri üzerine HVPEF uygulamasının önemli bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. CIE a\* değeri 700 kV/m HVPEF uygulanmış örneklerde depolamanın sonunda başlangıca nazaran önemli oranda azalmış ve diğer gruplardan farklı bulunmuştur (p<0,05). 250 kV/m HVPEF altında depolanan tavuk göğüs eti örneklerinin CIE h değeri depolama boyunca önemli seviyede artış göstermiştir (p<0,05). Depolamanın sonunda ΔE değerleri başlangıç değerlerine göre en büyük farkı K grubunda göstermiştir.

Son aşamada ise *P. aeruginosa* ve *L. monocytogenes* bakterileri tavuk göğüs eti örneklerine inoküle edilerek bu ortamda HVPEF altında soğuk depolama boyunca sayılarındaki değişim belirlenmiştir. Tavuk göğüs etlerine inoküle edilmiş olan *P. aeruginosa* sayısı üzerine HVPEF uygulaması depolama süresince önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Gruplar arasında da dikkate değer bir fark gözlenmemiştir. Tavuk göğüs etlerine inoküle edilmiş olan *L. monocytogenes* bakterisinin 467 kV/m HVPEF altında sayıları depolama boyunca diğer gruplara göre önemli derecede yüksek bulunmuştur (p<0,05). 467 kV/m elektrik alan değeri tavuk göğüs eti örneklerinde *L. monocytogenes* gelişimini teşvik etmiştir.

Yapılmış olan bu çalışma darbeli elektrik alan teknolojisinin mikroorganizmalara karşı katı gıdalarda uygulanmasına yönelik var olan sınırlamaları ortadan kalkmasını ve literatürde bu alandaki boşlukların doldurulmasını sağlayacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda soğutma teknolojilerine adapte edilebilecek, minimal enerji tüketimine sahip bir yöntemin geliştirilmesine yardımcı olacaktır. Ancak, sonraki çalışmalarda farklı elektrik alan kriterlerinin değerlendirildiği, yeni görüntüleme tekniklerinin kullanıldığı, kimyasal, fiziksel ve duyuşal özellikler üzerine etkinin de ortaya konduğu çalışmalar ile desteklenmesi gerekmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abu-Tarboush, H.M., Al-Kahtani, H.A., Atia, M., Abou-Arab, A.A., Bajaber, A.S., EL-Mojaddid, M.A. 1997. Sensory and Microbial Quality of Chicken as Affected by Irradiation and Postirradiation Storage at 4.0°C. *Journal of Food Protection*, 60(7), 761-770.
- Aguilo-Aguayo, I., Soliva-Fortuny, R., Martin-Belloso, O. 2009. Avoiding Non-Enzymatic Browning by High-Intensity Pulsed Electric Fields in Strawberry, Tomato and Watermelon Juices. *Journal of Food Engineering*, 92, 37-43.
- Akdemir-Evrendilek, G., Altuntas, J., Sangun, M.K. ve Zhang, H.Q. 2013. Apricot Nectar Processing by Pulsed Electric Fields. *International Journal of Food Properties*, 16, 216-227.
- Alvarez, R, Pagan, R., Raso, J., Condon, S. 2002. Environmental Factors Influencing the Inactivation of *Listeria monocytogenes* by Pulsed Electric Fields. *Letters in Applied Microbiology*, 35, 489-493.
- Alvarez, I., Pagan R., Raso, J. The Influence of Process Parameters for the Inactivation of *Listeria monocytogenes* by Pulsed Electric Fields. *International Journal of Food Microbiology*, 87(1-2), 87-95.
- Alvarez, I., Condon, S., Raso, J. 2006. Microbial Inactivation by Pulsed Electric Fields. In Raso, J., Heinz, V. (Ed.), *Pulsed Electric Fields Technology for the Food Industry Fundamentals and Applications* (97-124), Springer, 245p, USA.
- Alvarado, C.Z. 2006. Poultry Processing Quality. In Hui, Y.H. (Ed.), *Handbook of Food Science, Technology and Engineering* (612-626), Taylor and Francis, 3618p, USA.
- Anderson, A. K., Finkelstein, R. 1919. A Study of Electro-Pure Process of Treating Milk. *Journal of Dairy Science*, 2, 374-406.
- Angelotti, R., Foter, M. J., Lewis, K. H. (1961). Time-Temperature Effects on *Salmonellae* and *Staphylococci* in Foods: II. Thermal Death Time Studies. *Applied Microbiology*, 9(4), 308-315.
- Anpilov, A.M., Barkhudarov, E.M., Christofi, N., Kop'ev, V.A., Kossyi, I.A., Taktakishvili, M.I., Zadiraka, Y. 2002. Pulsed High Voltage Electric Discharge Disinfection of Microbially Contaminated Liquids. *Letters In Applied Microbiology*, 35, 90-94.
- Arronson, K., Lindgren, M., Johansson, B.R., Rönner, U. 2001. Inactivation of Microorganisms Using Pulsed Electric Fields: The Influence of Process Parameters on *Escherichia coli*, *Listeria innocua*, *Leuconostoc mesenteroides*

and *Saccharomyces cerevisiae*. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2, 41-54.

- Arroyo, C., Eslami, S., Brunton, N.P., Arimi, J.M., Noci, F., Lyng, J.G. 2015. An Assessment of The Impact of Pulsed Electric Fields Processing Factors on Oxidation, Color, Texture, and Sensory Attributes of Turkey Breast Meat. *Poultry Science*, 94(5), 1088–1095.
- Barbosa-Canovas, G.V., Altunakar, B. 2006. Pulsed Electric Fields Processing Of Foods: An Overview. In Raso, J., Heinz, V. (Ed.), Pulsed Electric Fields Technology for The Food Industry Fundamentals And Applications (3-21), Springer, 245p, USA.
- Barsotti, L., Cheftel, J.C. 1999. Food Processing By Pulsed Electric Fields. II. Biological Aspects. *Food Reviews International*, 15(2), 181-213.
- Bekhit, A.E.A., Ven, R., Suwandy, V., Fahri, F., Hopkins, D.L. 2014. Effect Of Pulsed Electric Field Treatment on Cold-Boned Muscles of Different Potential Tenderness. *Food Bioprocess Technology*, 7, 3136–3146.
- Ben Ammar, J., Lanoisell, J.-L., Lebovka, N., Vorobiev, E., 2010. Effect of A Pulsed Electric Field and Osmotic Treatment on Freezing of Potato Tissue. *Food Biophysics*, 5, 247–254.
- Bermúdez-Aguirre, D., Dunne, C.P., Barbosa-Cánovas, G.V. 2012. Effect of Processing Parameters on Inactivation of *Bacillus Cereus* Spores in Milk Using Pulsed Electric Fields. *International Dairy Journal*, 24, 13-21.
- Cao, W., Nishiyama, Y., Koide, S., Lu, Z. H., 2004. Drying Enhancement of Rough Rice by An Electric Field. *Biosystems Engineering*, 87 (4), 445-451.
- Cardello, A.V. 1998. Perception of Food Quality. In Taub, I.A., Singh, R.P. (Ed.), *Food Storage Stability* (2-31), CRC Press, 360p., USA.
- Careaga, M., Fernandez, E., Dorantes, L., Mota, L., Jaramillo, M.E., Hernandez-Sanchez, H. 2003. Antibacterial Activity of *Capsicum* Extract Against *Salmonella* Typhimurium and *Pseudomonas Aeruginosa* Inoculated in Raw Beef Meat. *International Journal Of Food Microbiology*, 83, 331– 335.
- Cebrián, G., Condón, S., Mañas, P. 2016. Influence of Growth and Treatment Temperature on *Staphylococcus aureus* Resistance to Pulsed Electric Fields: Relationship With Membrane Fluidity. *Innovative Food Science And Emerging Technologies*, 37, 161–169.

- Chaturongakul, S., Kirawanich, P. 2013. Electroporabilization Responses in Gram-Positive and Gram-Negative Bacteria. *Journal Of Electrostatics*, 71(4), 773-777.
- Chen, W., Hu, H., Zhang, C., Huang, F., Zhang, D., Zhang, H. 2017. Adaptation Response of *Pseudomonas fragi* on Refrigerated Solid Matrix to a Moderate Electric Field. *BMC Microbiology*, 17(32), 1-9.
- Clelia, A., 2017. Food Spoilage and Food Safety. In Bevilacqua, A., Corbo, M.R., Singigaglia, M. (Ed), *The Microbial Quality Of Food* (283-301), Woodhead Publishing, 301p, UK.
- Coster H.G.L., Zimmerman, U. 1975. The Mechanism of Electric Breakdown in Membranes of *Valonia utricularis*. *Journal of Membrane Biology*, 22, 73-90.
- Donsi, G., Ferrari, G., Pataro, G. 2007. Inactivation Kinetics of *Saccharomyces cerevisiae* by Pulsed Electric Fields in a Batch Treatment Chamber: The Effect of Electric Field Unevenness and Initial Cell Concentration. *Journal of Food Engineering*, 78, 784-792.
- Dunn, J.E., Lacosta, R., Pearlman, J.S. 1987. Methods and Apparatus For Extending The Shelf Life of Fluid Products. United States Patent, Patent Number 4,695,472.
- Dunn, J. 2001. Pulsed Electric Field Processing: An Overview. In Barbosa-Canovas, G.V., Zhang, Q.H. (Ed.), *Pulsed Electric Field In Food Processing Fundamental Aspects and Applications* (1-29), Technomic Publishing, 268p, U.S.A.
- Dutreux, N., Notermans, S., Wijtzes, T., Gongora-Nieto, M.M., Barbosa-Canovas, G.V., Swanson, B.G. 2000. Pulsed Electric Fields Inactivation of Attached and Free-Living *Escherichia coli* and *Listeria innocua* Under Several Conditions. *International Journal Of Food Microbiology* 54, 91-98.
- Engchuan, W., Jittanit, W., Garnjanagoonchorn, W. 2014. The Ohmic Heating of Meat Ball: Modeling And Quality Determination. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 23, 121-130.
- Evert-Arriagada, K., Trujilloa, A.J., Amador-Espejo, G.G., Hernández-Herreroa, M.M. 2018. High Pressure Processing Effect On Different *Listeria* Spp. In A Commercial Starter-Free Fresh Cheese. *Food Microbiology*, 76, 481-486.
- Fauster, T., Schlossnikl, D., Rath, F., Ostermeier, R., Teufel, F., Topefl, S., Jaeger, H. 2018. Impact Of Pulsed Electric Field (PEF) Pretreatment on Process Performance of Industrial French Fries Production. *Journal Of Food Engineering*, 235, 16-22.

- Feng, P., 2001. *Escherichia Coli*. In Labbé, R.G., Garcia, S. (Ed.), Guide To Foodborne Pathogens (143-163). Wiley Inter Science, 361p, Canada.
- Fernández, M., Hospital, X.F., Arias, K., Hierro, E. 2016. Application of Pulsed Light to Sliced Cheese: Effect on *Listeria* Inactivation, Sensory Quality and Volatile Profile. *Food Bioprocess Technology*, 9, 1335–1344.
- Fincan, M., Devito, F., Dejmek, P., 2004. Pulsed Electric Field Treatment for Solid–Liquid Extraction of Red Beetroot Pigment. *Journal Of Food Engineering*, 64, 381–388.
- Fleischman, G.J., Ravishankar, S., Balasubramaniam, V.M. 2004. The Inactivation of *Listeria monocytogenes* by Pulsed Electric Field (PEF) Treatment in a Static Chamber. *Food Microbiology*, 21, 91–95.
- Fung, D.Y.C. 2009. Food Spoilage, Preservation and Quality Control, Third Edition. In Schaechter, M. (Ed.), *Encyclopedia of Microbiology* (54-79), Academic Press, USA.
- Garcia, D., Gomez, N., Condon, S., Pagan, R. 2003. Pulsed Electric Fields Cause Sublethal Injury in *Escherichia coli*. *Letters in Applied Microbiology*, 36, 140–144.
- Garcia, D., Gomez, D. Raso, J., Pagan, R. 2005a. Bacterial Resistance After Pulsed Electric Fields Depending on The Treatment Medium pH. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*; 6, 388–395.
- Garcia, D., Gomez, N., Manas, P., Condon, S., Raso, J., Pagan, R. 2005b. Occurrence of Sublethal Injury After Pulsed Electric Fields Depending On The Microorganism, The Treatment Medium pH and The Intensity of the Treatment Investigated. *Journal of Applied Microbiology*, 99, 94–104.
- Geveke, D.J., Kozempel, M.F. 2003. Pulsed Electric Field Effects on Bacteria and Yeast Cells. *Journal Of Food Processing Preservation*, 27, 65-72.
- Gongora-Nieto, M.M., Sepulveda, D.R., Pedrow, P., Barbosa-Canovas, G.V., Swanson, B.G. 2002. Food Processing by Pulsed Electric Fields: Treatment Delivery, Inactivation Level, and Regulatory Aspects. *LWT*, 35, 375–388.
- González-Casado, S., Martín-Belloso, O., Elez-Martínez, P., Soliva-Fortuny, P. 2018. Enhancing The Carotenoid Content of Tomato Fruit With Pulsed Electric Field Treatments: Effects on Respiratory Activity and Quality Attributes. *Postharvest Biology And Technology*, 137, 113–118.
- Gowrisree, V., Udayakumar, K., Gautam, P. 2007. Electrical Field Modelling of *E. coli* Bacteria. *Asian Journal of Biochemistry*, 2(3), 198-207.

- Grahl, T., Markl, H. 1996. Killing of Microorganisms By Pulsed Electric Fields. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 45, 148-157.
- Gu, X., Sun, Y., Tu, K., Dong, Q., Pan, L. 2016. Predicting The Growth Situation of *Pseudomonas aeruginosa* on Agar Plates and Meat Stuffs Using Gas Sensors. *Scientific Reports* 6: 1-12.
- Gudmundsson, M., Hafsteinsson, H. 2001. Effect of Electric Field Pulses on Microstructure of Muscle Foods and Roes. *Trends In Food Science & Technology*, 12, 122-128.
- Gudmundsson, M., Hafsteinsson, H. 2005. Effect of High Intensity Electric Field Pulses on Solid Foods. In Sun, D.W. (Ed.), *Emerging Technologies For Food Processing* (141-153), Elsevier, 757p, USA.
- Guo, M., Jin, T.Z., Geveke, D.J., Fan, X., Sites, J.E., Wang, L. 2014. Evaluation of Microbial Stability, Bioactive Compounds, Physicochemical Properties, and Consumer Acceptance of Pomegranate Juice Processed in a Commercial Scale Pulsed Electric Field System. *Food Bioprocess Technology*, 7, 2112-2120.
- Gupta, R.P., Murray, W. 1988. Pulsed High Electric Field Sterilization. *IEEE Pulsed Power Conference Record*, 58-64.
- Gutierrez, J., Barry-Ryan, C., Bourke, P. 2008. The Antimicrobial Efficacy of Plant Essential Oil Combinations and Interactions With Food Ingredients. *International Journal of Food Microbiology*, 124, 91-97.
- Hamilton, W.A., Sale, A.J.H. 1967. Effects of High Electric Fields on Microorganisms: II. Mechanism of Action of The Lethal Effect. *Biochimica Et Biophysica Acta - General Subjects*, 148(3), 789-800.
- Harrison, S.L., Barbosa-Canovas, G.V., Swanson, B.G. 1997. *Saccharomyces cerevisiae* Structural Changes Induced By Pulsed Electric Field Treatment. *LWT-Food Science and Technology*, 30, 236-240.
- Haughton, P. N., Lyng, J. G., Morgan, D. J., Cronin, D. A., Noci, F., Fanning, S., Whyte, P., 2012. An Evaluation of The Potential Of High-Intensity Ultrasound For Improving The Microbial Safety of Poultry. *Food Bioprocess Technology*, 5, 992-998.
- He, X., Liu, R., Nirasawa, S., Zheng, D., Liu, H. 2013. Effect Of High Voltage Electrostatic Field Treatment on Thawing Characteristics and Post-Thawing Quality of Frozen Pork Tenderloin Meat. *Journal of Food Engineering*, 115, 245-250.

- He, G., Yin, Y., Yan, X., Yu, Q. 2014. Optimisation Extraction of Chondroitin Sulfate From Fish Bone By High Intensity Pulsed Electric Fields. *Food Chemistry*, 164, 205–210.
- Heinrich, V., Zunabovic, M., Petschnig, A., Lassenberger, A., Reimhult, E., Kneifel, W. 2016. Previous Homologous and Heterologous Stress Exposure Induces Tolerance Development to Pulsed Light in *Listeria monocytogenes*. *Frontier In Microbiology*, 7, 1-14.
- Heinz, V., Alvarez, I., Angersbach, A., Knorr, D. 2002. Preservation Of Liquid Foods By High Intensity Pulsed Electric Fields-Basic Concepts For Process Design. *Trends in Food Science & Technology*, 12, 103–111.
- Hsieh, C.W., Lai, C.H., Lee, C.H., Ko, W.C. 2011. Effects of High-Voltage Electrostatic Fields on The Quality of Tilapia Meat During Refrigeration. *Journal of Food Science*, 76(6), 312-317.
- Hsu, H.Y., Sheen, S., Sites, J., Cassidy, J., Scullen, B., Sommers, C. 2015. Effect of High Pressure Processing on The Survival of Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli* (Big Six vs. O157:H7) in Ground Beef. *Food Microbiology*, 48, 1-7.
- WHO. 2018. Campylobacter. Erişim Tarihi: 25.04.2018. <http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/campylobacter>.
- Huang, K., Yu, L., Wang, W. Gai, L., Wang, J. 2014. Comparing The Pulsed Electric Field Resistance of The Microorganisms in Grape Juice: Application of The Weibull Model. *Food Control*, 35, 241-251.
- Hülshager, H., Niemann, E.G. 1980. Lethal Effects of High-Voltage Pulses on *E. coli* K12. *Radiation and Environmental Biophysics*, 18, 281-288.
- Hülshager, H., Potel, J., Niemann, E.G. 1983. Electric Field Effects on Bacteria and Yeast Cells. *Radiation and Environmental Biophysics*, 22(2), 149-162.
- ICMSF. 1986. Sampling Plans for Raw Meats. In *International Commission on Microbiological Specifications for Foods*, Christian, J. H. B., Roberts, T. A (Ed.), *Micro-organisms in foods 2, sampling for microbiological analysis: principles and specific applications* (148-157), Blackwell Scientific Publications, England.
- İçier, F., Baysal, T. 2012. Gıda Teknolojisinde Minimal İşleme. Baysal, T., İçier, F. (Ed), *Gıda Mühendisliğinde Isıl Olmayan Teknolojiler İçinde* (1-11), Nobel Akademik Yayıncılık, 424 s, Ankara.
- Jaeger, H., Schulz, A., Karapetkov, N., Knorr, D. 2009. Protective Effect of Milk Constituents and Sublethal Injuries Limiting Process Effectiveness During

- PEF Inactivation of *Lb. Rhamnosus*. *International Journal Of Food Microbiology*, 134, 154–161.
- Jay, J.M., Loessner, M.J., Golden, D.A. 2005. Microorganisms in Foods. In Heldman, D.R. (Ed.), *Modern Food Microbiology Seventh Edition*. (13-86.), Springer, 751p, USA.
- Jayaram, S., Castle, G., Margaritis, A. 1992. Kinetics of Sterilization of *Lactobacillus brevis* By The Application of High Voltage Pulses. *Biotechnology and Bioengineering* 40, 1412–1420.
- Jha, S.N. 2010. Colour Measurements and Modeling. Jha, S.N. (Ed.), In *Nondestructive Evaluation Of Food Quality: Theory And Practice*. Springer, 288p, USA.
- Jin, T.Z., Yu, Y., Gurtler, J.B. 2017. Effects of Pulsed Electric Field Processing on Microbial Survival, Quality Change and Nutritional Characteristics of Blueberries. *LWT-Food Science and Technology*, 77, 517-524.
- Kantar, S.E., Boussetta, N., Lebovka, N., Foucart, F., Rajha, H.N., Maroun, R.G., Louka, N., Vorobiev, E. 2018. Pulsed Electric Field Treatment Of Citrus Fruits: Improvement of Juice and Polyphenols Extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 46, 153–161.
- Karel, M., Lund, D.B. 2003. *Physical Principles of Food Preservation*. Taylor and Francis Group, 593p, USA.
- Kassem, A., Meade, J., McGill, K., Walsh, C., Gibbons, J., Lyng, J., Whyte, P. 2018. An Investigation of High Intensity Ultrasonication and Chemical Immersion Treatments on *Campylobacter jejuni* and Spoilage Bacteria in Chicken. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 45, 298–305.
- Ko, W.C., Yang, S.Y., Chang, C.K., Hsieh, C.W. 2016. Effects of Adjustable Parallel High Voltage Electrostatic Field on The Freshness of Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) During Refrigeration. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 151-157.
- Kotnik, T., Kramar, P., Pucihar, G., Miklavčič, D. 2012. Cell Membrane Electroporation— Part 1: The Phenomenon. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 28(5), 14-23.
- Kramer, B., Wunderlich, J., Muranyi, P. 2017. Impact of Treatment Parameters on Pulsed Light Inactivation of Microorganisms on a Food Simulant Surface. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 42, 83–90.
- Lelieveld, H.L.M., Wouters, P.C., Leon, A.E. 2001. Pulsed Electric Field Processing: An Overview. In Barbosa-Canovas, G.V., Zhang, Q.H. (Ed.), *Pulsed Electric Field*

In Food Processing Fundamental Aspects and Applications (259-264), Technomic Publishing, 268p, USA.

- Leong, S.Y., Richter, L.K., Knorr, D., Oey, I. 2014. Feasibility of Using Pulsed Electric Field Processing To Inactivate Enzymes and Reduce The Cutting Force of Carrot (*Daucus Carota Var. Nantes*). Innovative Food Science and Emerging Technologies, 26, 159–167.
- Li, D., Jia, S., Zhang, L., Wang, Z., Pan, J. Zhu, B., Luo, Y. 2017. Effect of Using a High Voltage Electrostatic Field on Microbial Communities, Degradation of Adenosine Triphosphate, and Water Loss When Thawing Lightly-Salted, Frozen Common Carp (*Cyprinus carpio*). Journal of Food Engineering, 212, 226-233.
- Liu, Y., Betti, M., Ganzle, M.G., 2012. High Pressure Inactivation of *Escherichia coli*, *Campylobacter jejuni*, and Spoilage Microbiota on Poultry Meat. Journal of Food Protection, 75(3), 497-503.
- Liu, Z.W., Eng, X.A., Ngadi, M., Han, Z. 2017. Effect of Cell Membrane Fatty Acid Composition of *Escherichia coli* on The Resistance to Pulsed Electric Field (PEF) Treatment. LWT - Food Science and Technology, 76, 18-25.
- Loeffler, M.J., 2006. Generation And Application of High Intensity Pulsed Electric Fields. Raso, J., Heinz, V. (Eds.), Pulsed Electric Fields Technology For The Food Industry Fundamentals and Applications. Springer, 258 S. Usa.
- Lyu, F., Shen, K., Ding, Y. Ma, X. 2016. Effect of Pretreatment with Carbonmonoxide and Ozone on The Quality Of Vacuum Packaged Beef Meats. Meat Science, 117, 137–146.
- Mahmoud, B.S.M., Nannapaneni, N., Chang, S., Wu, Y., Coker, R. 2016. Improving The Safety And Quality Of Raw Tuna Fillets By X-Ray Irradiation. Food Control, 60, 569-574.
- Manas, P., Pagan, R. 2005. Microbial Inactivation By New Technologies of Food Preservation. Journal of Applied Microbiology, 98, 1387–1399.
- Martín-Belloso, O., Elez-Martínez, P. 2005. Food Safety Aspects of Pulsed Electric Fields. In Sun, D.W. (Ed.), Emerging Technologies For Food Processing (183-217), Elsevier, 757p, USA.
- Martín-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R. 2011. Pulsed Electric Fields Processing Basics. In Zhang, H.Q., Barbosa-Canovas, G.V., Balasubramaniam, V.M., Dunne, C.P., Farkas, D.F., Yuan, J.T.C. (Eds.), Nonthermal Processing Technologies for Food (157-176), IFT Press, 641p, USA.

- Mcdonnell, C.K., Allen, P., Chardonnerau, F.S., Arimi, J.M., Lyng, J.G. 2014. The Use of Pulsed Electric Fields for Accelerating The Salting of Pork. *LWT - Food Science And Technology*, 59, 1054-1060.
- Mcleod, A., Liland, K.H., Haugen, J.E., Sørheim, O., Myhrer, K.S., Holck, A.L. 2018. Chicken Fillets Subjected To UV-C and Pulsed UV Light: Reduction of Pathogenic and Spoilage Bacteria, and Changes In Sensory Quality. *Journal Of Food Safety*, 38, 1-15.
- Mead, G.C. 2004. Meat Quality and Consumer Requirements. In Mead, G.C. (Ed.), *Poultry Meat Processing and Quality* (1-21), CRC Press, 377p, USA.
- Milani, E.A., Alkhafaji, S., Silva, F.V.M. 2015. Pulsed Electric Field Continuous Pasteurization of Different Types of Beers. *Food Control*, 50, 223-229.
- Min, S., Akdemir Evrendilek, G., Zhang, H.Q. 2007. Pulsed Electric Fields: Processing System, Microbial and Enzyme Inhibition, and Shelf Life Extension Of Foods. *IEEE Transactions On Plasma Science*, 35(1), 59-73.
- Min, S.C., Roh, S.H., Niemira, B.A., Sites, J.E., Boyd, G. Lacombe, A. 2016. Dielectric Barrier Discharge Atmospheric Cold Plasma Inhibits *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, and Tulane Viruse In Romaine Lettuce. *International Journal of Food Microbiology*, 237, 114-120.
- Mok, J.H., Choi, W., Park, S.H., Lee, Sh., Jun, S. 2015. Emerging Pulsed Electric Field (PEF) and Static Magnetic Field (SMF) Combination Technology For Food Freezing. *International Journal of Food Refrigeration*, 50, 137-145.
- Monfort, S., Saldaña, G., Condón, S., Raso, J., Álvarez, I. 2012. Inactivation Of *Salmonella* spp. in Liquid Whole Egg Using Pulsed Electric Fields, Heat, and Additives. *Food Microbiology*, 30, 393-399.
- Mosqueda-Melgar, J., Raybaudi-Massilia, R.M., Martin-Belloso, O. 2007. Influence of Treatment Time and Pulse Frequency on *Salmonella* Enteritidis, *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* Populations Inoculated in Melon and Watermelon Juices Treated By Pulsed Electric Fields. *International Journal of Food Microbiology*, 117(2), 192-200.
- Mukhopadhyay, S., Sokorai, K., Ukuku, D., Fan, X., Juneja, V. 2017. Effect Of High Hydrostatic Pressure Processing on The Background Microbial Loads and Quality of Cantaloupe Puree. *Food Research International*, 91, 55-62.
- Murphy, R.Y., Osaili, T., Beard, B.L., Marcy, J.A., Duncan, L.K. 2005. Application of Statistical Process Control, Sampling, and Validation for Producing *Listeria monocytogenes*-Free Chicken Leg Quarters Processed In Steam Followed By Impingement Cooking. *Food Microbiology*, 22: 47-52.

- Musto, M., Faraone, D., Cellini, F., Musto, E. 2014. Changes of DNA Quality and Meat Physicochemical Properties in Bovine Supraspinatus Muscle During Microwave Heating. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 94, 785–791.
- O'Dowd, L.P., Arimi, J.M., Noci, F., Cronin, D.A., Lyng, J.G. 2013. An Assessment of The Effect of Pulsed Electrical Fields on Tenderness and Selected Quality Attributes of Post Rigour Beef Muscle. *Meat Science*, 93, 303-309.
- Olanya, O.M., Niemira, B.A., Phillips, J.G. 2015. Effects Of Gamma Irradiation on The Survival of *Pseudomonas fluorescens* Inoculated on Romaine Lettuce and Baby Spinach. *LWT - Food Science and Technology*, 62, 55-61.
- Pakhomova, O.N., Khorokhorina, V.A., Bowman, A.M., Rodaite –Riševiciene, R., Saulis, G., Xiao, S., Pakhomov, A.G. 2012. Oxidative Effects of Nanosecond Pulsed Electric Field Exposure in Cells and Cell-Free Media. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 527, 55–64.
- Park, S.Y., Ha, S.D. 2015. Ultraviolet-C Radiation on The Fresh Chicken Breast: Inactivation of Major Foodborne Viruses and Changes in Physicochemical and Sensory Qualities of Product. *Food Bioprocess Technology*, 8, 895–906.
- Parniakov, O., Bals, O., Lebovka, N., Vorobiev, E. 2016. Pulsed Electric Field Assisted Vacuum Freeze-Drying of Apple Tissue. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 35, 52–57.
- Pedrós-Garrido, S., Condón-Abanto, S., Beltrán, J.A., Lyng, J.G., Brunton, N.P., Bolton, D., Whyte, P. 2017. Assessment of High Intensity Ultrasound for Surface Decontamination of Salmon (*S. salar*), Mackerel (*S. scombrus*), Cod (*G. morhua*) and Hake (*M. merluccius*) Fillets, and Its Impact on Fish Quality. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 41, 64–70.
- Peleg, M. 1995. A Model of Microbial Survival After Exposure to Pulsed Electric Fields. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 67(1), 93–99.
- Piñon, M.I., Alarcon-Rojo, A.D., Renteria, A.L., Carrillo-Lopez, L.M. 2018. Microbiological Properties of Poultry Breast Meat Treated With High-Intensity Ultrasound. *Ultrasonics*, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2018.01.001>
- Post, F.J. 1998. *A Laboratory Manual For Food Microbiology and Biotechnology*, Star Publishing, 248p, USA.
- Puertolas, E., Lopez, N., Condon, S., Alvarez, I., Raso, J. 2009. Potential Applications of PEF to Improve Red Wine Quality. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 247-255.

- Pulido, R.P., Burgos, J.G., Galvez, A., Lucas, R. 2017. Changes in Bacterial Diversity of Refrigerated Mango Pulp Before and After Treatment by High Hydrostatic Pressure. *LWT - Food Science and Technology*, 78, 289-295.
- Pyatkovskyy, T.I., Shynkaryk, M.V., Mohamed, H.M., Yousef, A.E., Sastry, S.K. 2018. Effects of Combined High Pressure (HPP), Pulsed Electric Field (PEF) and Sonication Treatments on Inactivation of *Listeria innocua*. *Journal of Food Engineering*, 233, 49-56.
- Qiao, M., Fletcher, D.L., Smith, D.P., Northcut, J.K. 2001. The Effect of Broiler Breast Meat Color on pH, Moisture, Water-Holding Capacity, and Emulsification Capacity. *Poultry Science*, 80, 676-680.
- Qin, B.L., Zhang, Q., Barbosa-Canovas, G.V., Swanson, B.G., Pedrow, P.D. 1994. Inactivation of Microorganisms by Pulsed Electric Fields of Different Voltage Waveforms. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 1(8), 1047-1057.
- Quintao-Teixeira, L.J., Soliva-Fortuny, R., Ramos, A.M., Martín-Belloso, O. 2013. Kinetics of Peroxidase Inactivation in Carrot Juice Treated With Pulsed Electric Fields. *Journal of Food Science*, 78(2), 222-228.
- Rahman, M.S. 2007. Food Preservation: Overview. In Rahman, M.S. (Ed), *Handbook of Food Preservation* (3-19). CRC Press, 1068p, USA.
- Raso, J., Frey, W., Ferrari, G., Pataro, G., Teissie, J. Ve Miklavčič, D. 2016. Recommendations Guidelines on The Key Information to Be Reported In Studies of Application of PEF Technology in Food And Biotechnological Processes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 37, 312-321.
- Ray, B., Bhunia, A. 2008. *Fundamental Food Microbiology*, CRC Press, 475p, USA.
- Robertson, G.L. 2010. *Food Packaging and Shelf Life*, CRC Press, 404p, USA.
- Rizvi Alam, M.D., Lyng, J.G., Frontuto, D., Marra, F., Cinquanta, L. 2018. Effect of Pulsed Electric Field Pretreatment on Drying Kinetics, Color, and Texture of Parsnip and Carrot. *Journal of Food Science*, In Press.
- Sagarzazu, N., Cebrián, G., Pagan, R., Condon, S., Manas, P. 2010. Resistance of *Campylobacter jejuni* to Heat and to Pulsed Electric Fields. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11, 283-289.

- Saldaña, G., Cebrián, G., Abenoza, M., Sánchez-Gimeno, C., Álvarez, I., Raso, J. 2017. Assessing The Efficacy of PEF Treatments For Improving Polyphenol Extraction During Red Wine Vinifications. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39, 179–187.
- Sale, A.J.H., Hamilton, W.A. 1967. Effects of High Electric Fields on Microorganisms: I. Killing of Bacteria and Yeasts. *Biochimica Et Biophysica Acta (BBA) – General Subjects*, 148(3), 781-788.
- Sale, A.J.H., Hamilton, W.A. 1968. Effects Of High Electric Fields On Micro-Organisms: III. Lysis of Erythrocytes and Protoplasts. *Biochimica Et Biophysica Acta (BBA)- Biomembranes*, 163(1), 37-43.
- Sarkinas, A., Sakalauskiene, K., Raisutis, K., Zeime, J., Salaseviciene, A., Puidaite, E., Mockus, E., Cernauskas, D. 2018. Inactivation of Some Pathogenic Bacteria and Phytoviruses By Ultrasonic Treatment. *Microbial Pathogenesis*, 123, 144–148.
- Segat, A., Biasutti, M., Iacumin, L., Comi, G., Baruzzi, F., Carboni, C., Innocente, N. 2014. Use of Ozone in Production Chain of High Moisture Mozzarella Cheese. *LWT - Food Science and Technology*, 55, 513-520.
- Shi, Q., Zhang, Y., Wang, Q.Y., Gao, G., Fang, H., Miao, F., Yuan, Z., He, H. 2012. Phylogenetic Analysis of Virulence Factor Gene of *Salmonella* isolated From Clinically Symptomatic Chickens. *African Journal of Microbiology Research*, 6(8), 1718-1722.
- Silva, F.V.M., Gibbs, P.A., 2012. Thermal Pasteurization Requirements for The Inactivation of *Salmonella* in Foods. *Food Research International*, 45, 695-699.
- Simpson, R.K., Whittington, R., Earnshaw, R.G., Russell, N.J. 1999. Pulsed High Electric Field Causes 'All Or Nothing' Membrane Damage in *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* Typhimurium, But Membrane H<sup>+</sup>-Atpase is Not A Primary Target. *International Journal of Food Microbiology*, 48, 1–10.
- Singhal, R.S., Kulkarni, P.R., Rege, D.V., 1997. Handbook of Indices of Food Quality and Authenticity. Woodhead Publishing, 560p, England.
- Sitzmann, W., Münch, E.W. 1987. Verarbeitung Tierischer Rohstoffe. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 89(9), 368-374.
- Sitzmann, W., Vorobiev, E., Lebovka, N. 2016. Applications of Electricity and Specifically Pulsed Electric Fields In Food Processing: Historical Backgrounds. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 37, 302–311.

- Soliva-Fortuny, R., Vendrell-Pacheco, M., Martín-Belloso, O., Elez-Martínez, P. 2017. Effect Of Pulsed Electric Fields On The Antioxidant Potential of Apples Stored At Different Temperatures. *Lwt - Food Science And Technology*, 77, 517-524.
- Sommers, C.H., Scullen, O.J., Sheen, S. 2016. Inactivation of Uropathogenic *Escherichia coli* In Ground Chicken Meat Using High Pressure Processing and Gamma Radiation, and In Purge and Chicken Meat Surfaces By Ultraviolet Light. *Frontiers In Microbiology*, 7, 1-6.
- Somolinos, M., García, D., Mañas, P., Condón, S., Pagán, R. 2010. Organic Acids Make *Escherichia coli* More Resistant to Pulsed Electric Fields At Acid pH. *International Journal Of Food Microbiology*, 136, 381-384.
- Stachelska, M.A., Stankiewicz-Szymczak, W., Jakubczak, A., Swislocka, R. & Lewandowski, W. 2012. Influence of Pulsed Electric Field on The Survival of *Yersinia Enterocolitica* in Minced Beef Meat: Assessment of Microbiological Activity of Selected Cell Lines of Bacteria Under Influence of Physical-Chemical Factors. *Aparatura Badawczai Dydaktyczna*, 2, 13-17.
- Stern, N.J., 2001. *Campylobacter*. In Labbé, R.G., Garcia, S. (Ed.), *Guide to Foodborne Pathogens* (61-69), Wiley Inter Science, 361p, Canada.
- Stone, G. E. 1909. Influence of Electricity on Micro-Organisms. *Botanical Gazette*, 48(5), 359–379.
- Suwandy, V., Carne, A., Van De Ven, R., Bekhit, A.E.D.A., Hopkins, D.L. 2015. Effect of Pulsed Electric Field on The Proteolysis of Cold Boned Beef *M. Longissimus Lumborum* and *M. Semimembranosus*. *Meat Science*, 100, 222–226.
- Şen, A., Halkman, A.K., 2006. Çiğ Sütte *Pseudomonas aeruginosa* Sayılması İçin Yöntem Modifikasyonları Üzerine Çalışmalar. *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi*, 4, 2-13.
- Tanino, T., Sato, S., Oshige, M., Ohshima, T. 2012. Analysis of the Stress Response of Yeast *Saccharomyces cerevisiae* toward Pulsed Electric Field. *Journal of Electrostatics*, 70, 212-216.
- Timmons, C., Pai, K., Jacob, J., Zhang, G., Ma, L.M. 2018. Inactivation of *Salmonella* Enterica, Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli*, and *Listeria monocytogenes* by a Novel Surface Discharge Cold Plasma Design. *Food Control*, 84, 455-462.
- Toepfl, S., Heinz, V., Knorr, D. 2005. Overview of Pulsed Electric Field Processing for Food. In Sun, D.W. (Ed.), *Food Processing* (69-91), Elsevier, 757p, USA.

- Toepfl, S., Heinz, V., Knorr, D. 2006a. Applications Of Pulsed Electric Fields Technology for The Food Industry. In Raso, J., Heinz, V. (Ed.), Pulsed Electric Fields Technology For The Food Industry Fundamentals and Applications (197-217), Springer, 245p, USA.
- Toepfl, S., Heinz, V., Knorr, D. 2006b. Pulsed Electric Fields (PEF) Processing of Meat. IUFOST 2006. Doi: 10.1051/IUFOST:20060591.
- Tremarin, A., Brand, T.R.S., Silva, C.L.M. 2017. Application of Ultraviolet Radiation and Ultrasound Treatments for *Alicyclobacillus acidoterrestris* Spores Inactivation in Apple Juice. LWT - Food Science and Technology, 78, 138-142.
- Tsong, T.Y. 1991. Electroporation of Cell Membranes. Biophysical Society, 60, 297-306.
- Varnam, A.H., Sutherland, J.P. 1995. Meat and Meat Products Technology, Chemistry and Microbiology. Chapman And Hall, 450p, UK.
- Varnam, A.H., Evans, M.G. 1996. Foodborne Pathogens an Illustrated Text. Wolfe Publishing, 557p,UK.
- Vega-Mercado, H. 1996. Inactivation of *Escherichia coli* By Combining pH, Ionic Strength and Pulsed Electric Fields. Food Research International, 29, 117-121.
- Vega-Mercado, H., Gongora-Nieto, M.M., Barbosa-Canovas, G.V., Swanson, B.G. 2007. Pulsed Electric Fields in Food Preservation. In Rahman, M.S. (Ed), Handbook Of Food Preservation (783-815). CRC Press, 1068p, USA.
- Wang, J., Zhuang, H., Hinton, H., Zhang, J. 2016. Influence of In-Package Cold Plasma Treatment On Microbiological Shelf Life And Appearance Of Fresh Chicken Breast Fillets. Food Microbiology, 60, 142-146.
- Wani, S., Maker, J.K., Thompson, J.R., Barnes, J., Singleton, I. 2015. Effect of Ozone Treatment on Inactivation of *Escherichia coli* and *Listeria* spp. on Spinach. Agriculture, 5, 155-169.
- Weaver, J.C. 1993. Electroporation: A General Phenomenon For Manipulating Cells and Tissue. Journal of Cellular Biochemistry, 51, 426-435.
- Weaver, J.C. 2003. Electroporation of Biological Membranes From Multicellular to Nano Scales. IEEE Transactions On Dielectrics And Electrical Insulation, 1(5), 754-768.

- WHO, 2013. Strategic Plan For Food Safety, Including Foodborne Zoonoses 2013-2022. WHO press, 32p, Switzerland.
- WHO, 2015. Who Estimates of The Global Burden of Foodborne Diseases, Foodborne Disease Burden Epidemiology Reference Group 2007-2015. WHO Press, 252p, Switzerland.
- Wiktor, A., Iwaniuk, M., Sledz, M., Nowacka, M., Chudoba, T., Witrowa-Rajchert, D. 2013. Drying Kinetics of Apple Tissue Treated By Pulsed Electric Field. *Drying Technology*, 31, 112–119.
- Wretling, S., Eriksson, A., Eskhult, G. A., Larsson, B. 2010. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Swedish Smoked Meat And Fish. *Journal of Food Composition and Analysis*; 23, 264-272.
- Wouters, P.C., Dutreux, N., Smelt, J.P.P.M., Lelieveld, H.L.M. 1999. Effects of Pulsed Electric Fields on Inactivation Kinetics Of *Listeria innocua*. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(12), 5364–5371.
- Wouters, P.C., Alvarez, I., Raso, J. 2001. Critical Factors Determining Inactivation Kinetics By Pulsed Electric Field Food Processing. *Trends in Food Science & Technology*, 12, 112–121.
- Xue, D., Farid, M.M. 2015. Pulsed Electric Field Extraction of Valuable Compounds From White Button Mushroom (*Agaricus Bisporus*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 29, 178–186.
- Zhang, Q., Chang, F.-J., Barbosa-Cánovas, G. V., Swanson, B. G. (1994). Inactivation of Microorganisms In A Semisolid Model Food Using High Voltage Pulsed Electric Fields, *LWT- Food Science And Technology*, 27, 538-543.
- Zhang, Q., Barbosa-Canovas, G.V., Swanson, B.G. 1995. Engineering Aspects of Pulsed Electric Field Pasteurization. *Journal of Food Engineering*, 25, 261-281.
- Zhao, W., Yang, R., Lu, R., Wang, M., Qian, P., Yang, W. 2008. Effect of PEF on Microbial inactivation and Physical-Chemical Properties of Gren Tea Extracts. *Lwt*; 41, 425-431.
- Zhao, W., Yang, R., Zhang, H.Q., Zhang, W., Hua, X., Tang, Y. 2011. Quantitative and Real Time Detection of Pulsed Electric Field Induced Damage On *Escherichia coli* Cells and Sublethally Injured Microbial Cells Using Flow Cytometry In Combination With Fluorescent Techniques. *Food Control*, 22, 566-573.
- Zimmerman, U., Pilwat, G., Riemann, F. 1974. Dielectric Breakdown of Cell Membranes. *Biophysical Journal*, 14, 881-899.

Ziuzina, D., Han, L., Cullen, P.J., Bourke, P. 2015. Cold Plasma Inactivation of Internalised Bacteria and Biofilms For *Salmonella enterica* serovar Typhimurium, *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli*. International Journal of Food Microbiology, 21, 53-61.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emine AŞIK CANBAZ

Doğum Yeri ve Yılı : Çaykara, 1985

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : emineacanbaz@gmail.com



### Eğitim Durumu

Lise : Çankaya Milli Piyango Anadolu Lisesi

Lisans : Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği

Yüksek lisans : Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği

### Mesleki Deneyim

ERASMUS öğrenim hareketliliği :Kasım-Şubat 2014, Universidade Catolica Portuguesa, Porto, Portekiz

SDÜ Şarkikaraağaç MYO :2010-

ERASMUS staj hareketliliği : Şubat-Ağustos 2009, IRTA, Girona, İSPANYA

### Yayımlar

Hakemli dergilerde yayımlanan teknik not, editöre mektup, tartışma, vaka takdışmş ve özet türünden yayımlar dışındaki makale.

1. Asik, E. and Candoğan, K. (2014). Effects of Chitosan Coatings Incorporated with Garlic Oil on Quality Characteristics of Shrimp. Journal of Food Quality, 37: 237-246.
2. Aşık, E., Günal, Y. Ve Candoğan, K. 2009. Et ve Et Ürünlerinde Karsinojenik Heterosiklik Aromatik Aminler. Akademik Gıda Dergisi, 38(2), 25-30.

Uluslararası toplantıda sunulurak özet metin olarak yayımlanan bildiri

1. Aşık, E., Seydim, A.C. 2014. Application of Static Electric Field in Food Systems. International Food Congress Novel Approaches in Food Industry, May 26-29, Kuşadası, TURKEY.

2. Aşık, E., Seydim, A.C. 2011. Effect fo High Pressure Processing (HPP) on Properties of Food Packaging Materials. 4th International Congress on Food and Nutrition, 12-14th October, İstanbul, Turkey.
3. Asik, E. and Candogan, K. 2010. Effects of Chitosan Coatings Incorporated with Garlic Oil on Quality Characteristics of Shrimp. 2nd International Congress on Seafood Technology, May, 10-13, Anchorage, AK.
4. Demirhan, B., Asik, E., Kızılkaya, E., Caner, C. and Candogan, K. 2010. The Effect of Modified Atmosphere Packaging with Oxygen Scavenger on Quality Changes in Chicken Breast Meat Patties During Refrigerated Storage. 1st International Congress on Food Technology, November, 03-06, Antalya-Turkey.
5. Asik, E., Demirhan, B., Kızılkaya, E. and Candogan, K. 2010, Effect of Chitosan Incorporation on Quality Characteristics of Meatballs. 1st International Congress on Food Technology, November, 03-06, Antalya, Turkey.
6. Gou, P., Santos-Garces, E., Collell, C., Asik, E. and Garcia-Gil, N. 2009. Salt Uptake of Meat at Different Temperatures and Surface Water Contents. EFFOST Conference, November, 11-13, Budapest, Hungary.

Ulusal toplantıda sunularak özet metin olarak yayımlanan bildiri

1. Aşık, E., Seydim, A.C. 2013. Deniz Ürünleri Virüslerine Karşı Yüksek Hidrostatik Basınç (HPP) Etkisi. 4. Gıda Güvenliği Kongresi, 14-15 Mayıs, İstanbul.
2. Aşık, E., Seydim, A.C. 2013. Gıda Muhafazasında Elektriksel Yöntemler. 8. Gıda Mühendisliği Kongresi, 7-9 Kasım, Ankara.
3. Aşık, E., Seydim, A.C. 2012. Otoklavlanabilir Torbalarda İşlenmiş Deniz Ürünlerindeki Kalite Değişimi. Türkiye 11. Gıda Kongresi, Hatay.
4. Aşık, E., Seydim, A.C. 2011. Gıda Ambalajlarının Sterilizasyonunda Soğuk Plazma Yöntemi. 7. Gıda Mühendisliği Kongresi, 24-26 Kasım, Ankara

Yüksek Lisan Tezi

Aşık, E. 2009. Sarımsak Yağı İçeren Kitozan Kaplamalarının Karideslerin Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisan Tezi.