

Darbeli Elektrik Alan Uygulamasının Sıvı Gıdaların Pastörizasyonunda Kullanımı

Use of Impulse Electric Fields for Liquid Food Pasteurization

Halil İbrahim Kaki¹, Batıkan Balkan², Merve Akar²,
Aytuğ Font¹, Funda Karbancıoğlu Güler², Özcan Kalenderli¹

¹Elektrik Mühendisliği Bölümü ²Gıda Mühendisliği Bölümü
İstanbul Teknik Üniversitesi

kakih@itu.edu.tr, balkanb@itu.edu.tr, akarme@itu.edu.tr, font@itu.edu.tr, karbanci@itu.edu.tr, kalenderli@itu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada sıvı gıdaların darbeli elektrik alanı uygulamasıyla pastörizasyonu üzerine yapılan deneysel çalışma sunulmuştur. Önce gıda numunelerine elektrik alan uygulayabilecek iki deney kabı tasarlanmış ve imal edilmiştir. Daha sonra Escherichia coli bakterisi içeren iletkenlikleri farklı üç elma suyu numunesine elektrik alan uygulanmıştır. Yapılan deneyler farklı darbe süreleri için tekrarlanmış ve elma suyu içindeki bakteri sayısındaki değişimler ölçülmüştür. Uygulanan darbeli alandan sonra numunelerdeki bakteri sayısında azalma gözlenmiştir.

Abstract

In this study, experimental study on pasteurization of liquid foods applying impulse electric field is presented. First of all, two experiment container were designed and manufactured for applying electrical field. After that impulse electric field was applied on three different apple juices with different electrical conductivities containing Escherichia coli. The experiments were repeated for different impulse durations in order to deduce the decrease on number of bacteria. It is observed that the number of bacteria was decreased after the impulse electric field process.

1. Giriş

Mevcut gıda koruma yöntemleri ek olarak, son yıllarda geliştirilmekte olan yeni yöntemler bulunmaktadır. Darbeli elektrik alan, ısı olmayan yeni koruma yöntemlerinden biridir. Gıdanın besin değerini koruyarak pastörizasyonu bakımından ilgi çekici olan bu yöntem, ısı işlemlere kıyasla düşük maliyetli olması nedeniyle de avantajlıdır. Konuyla ilgili, gün geçtikçe daha fazla çalışma yapılmaktadır [1, 2].

Elektriksel olarak uyarılan hücre zarlarının yıkıma uğradığı 1958 yılından bu yana bilinmekle birlikte yaklaşık 1960'ların sonunda yüksek gerilimle oluşturulmuş darbeli elektrik alan etkisinde kalan mikroorganizmaların etkisiz hale geldiği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, 1972 yılında darbeli elektrik alan uygulamalarının biyolojik malzemelerde hücre zarı geçirgenliğini artırmasından yararlanılarak, hücre zarında kısa süreli porların açıldığı saptanmıştır. Bu kapsamda ilk kez bazı moleküllerin kırmızı kan hücreleri içerisine geçişi ile ilgili çalışmalar başlatılmıştır [3-5].

2. Darbeli Elektrik Alan

Darbeli elektrik alan uygulamasının, katı gıdalarda ekstraksiyon, kurutma gibi gıda işleme aşamaları öncesinde bir basamak olarak kullanımı gıdaya uygulanan işlemlerin verimini, hızını ve ürün kalitesini artırdığı belirlenmiştir. Günümüze kadar sıvı gıdaların pastörizasyonu üzerinde çok sayıda çalışma yapılmış olup endüstriyel olarak da meyve suyu gibi ticari ürünler piyasada satışa sunulmuştur. İlk ticari tesis, Genesis tarafından meyve sularının pastörizasyonu amacıyla ABD'de 2005 yılında kurulmuştur. Bu işlemin kapasitesi 200 L/saat'tir. Darbeli elektrik alan uygulaması ile pastörize edilen meyve sularının raf ömrünün dört hafta olduğunun belirlenmesiyle bu tekniğe güven artmıştır [6].

2.1. Darbeli Elektrik Alanın Özellikleri

Gıdalara yönelik darbeli elektrik alan uygulamalarında elektrik alan şiddeti, darbenin şekli, darbe sayısı ve uygulama süresi işlemin başarısına etki eden başlıca faktörlerdir. Bu tür çalışmalarda farklı özelliklerde darbe gerilimi üreticilerine ve elektrot yapılarına rastlanmaktadır.

2.1.1. Darbe Şekilleri

Üretilecek olan darbe gerilimi çift üstel standart darbe şeklinde olabileceği gibi kare dalga şeklinde de olabilir. Darbenin şekli antimikrobiyal özelliğini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca üreticinin tasarımı bakımından belirleyicidir. Kare dalgalı darbelerin etkinliğinin çift üstel darbelerle göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Ayrıca üstel darbelerin enerji verimliliği düşüktür. Bununla birlikte, iki kutuplu (bipolar) darbeler bir kutuplu darbelerle göre daha iyi sonuç vermektedir. Bu sebeple endüstriyel uygulamalarda iki kutuplu kare dalga gerilim üreticilerinin kullanılması fiyat dezavantajına ve tasarımlarının karmaşıklığına rağmen en iyi seçenek olarak görülmektedir [7].

2.1.2. Elektrot Sistemleri

Üretilen darbe gerilimlerinin uygulanacağı elektrot sisteminin ve dolayısıyla kabın tasarımı, istenen darbeli alanın oluşturulması açısından önemlidir. Gıdanın her bölgesine eşit şiddette, düzgün elektrik alan uygulanması çalışmanın verimini artıracaktır. Pratik olarak düzgün elektrik alan elde etmek mümkün olmadığından, her noktaya eşit elektrik alan şiddeti uygulayabilmek için, uygun elektrot sistemleri kullanılarak alan mümkün olduğunca düzleştirilmelidir.

2.1.3. Elektrik Alan Şiddeti

Elektrik alan şiddeti en genel ifadeyle iki nokta arasındaki potansiyel farkın noktalar arasındaki mesafeye oranıdır. Antimikrobiyal etki elde etmek için kritik elektrik alan şiddetini aşmak gereklidir. Genelleme yapmak gerekirse şiddeti 4-8 kV/cm'in altında olan elektrik alanlar mikroorganizmalara etki etmemektedir. 16 kV/cm'in üzerindeki elektrik alanların *Escherichia coli* gibi gram negatif bakterilerde 4-5 log azalmaya, *Staphylococcus aureus* gibi gram pozitif bakterilerde ise yaklaşık 3-4 log azalmaya neden olduğu kabul edilir. Genel olarak 12-45 kV/cm aralığındaki elektrik alanlar etkili sayılır [7].

2.1.4. İşlem Süresi

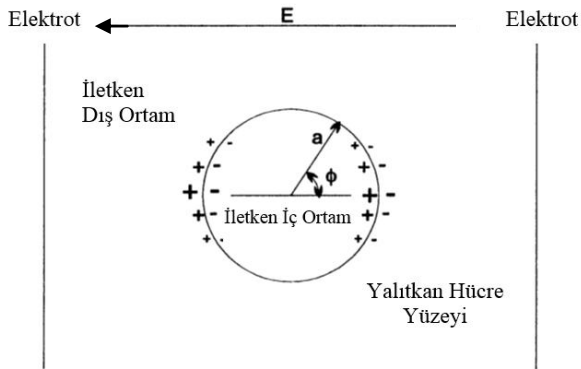
Uygulanan darbe sayısının artması işlemin başarısını bir yere kadar artırmaktadır. En büyük yıkıcı etki ilk 10-20 darbeye görülmektedir. Bu noktadan sonra uygulanan darbe sayısı arttıkça etkisi azalmaktadır. Bunun yanında yüksek frekansta uygulanan darbeler daha kısa işlem süresinde etkili sonuç vermektedir [8].

2.1.5. Sıcaklık

Sıcaklığın artması hücre yüzeyinin gevşemesine sebep olarak mekanik dayanımını azaltmaktadır. Bu nedenle düşük sıcaklıklarda hücre yüzeyinde kırılmaların ortaya çıkması için elektrik alan şiddetinin daha büyük olması gerekmektedir.

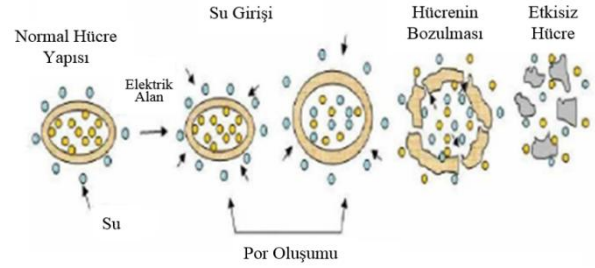
2.2. Darbeli Elektrik alanının Hücreye Etkisi

Darbeleri elektrik alanın antimikrobiyal etkisi elektrik alan şiddeti, darbe özellikleri, darbe enerji girişi, sıcaklık gibi parametrelere bağlı olarak; hücre zarında kırılmalar ve elektroporasyon şeklinde kendini gösterir. Şekil 1'den görüldüğü gibi, hücreye elektrik alan uygulanması hücre yüzeyinde zıt yüklerin oluşmasına neden olmaktadır. Hücre zarındaki zıt yüklerin birbirlerini çekmesi, elastik yapının dayanma kuvvetinden daha büyük olduğunda hücre zarında kırılmalar oluşur ve hücre zarı parçalanır.



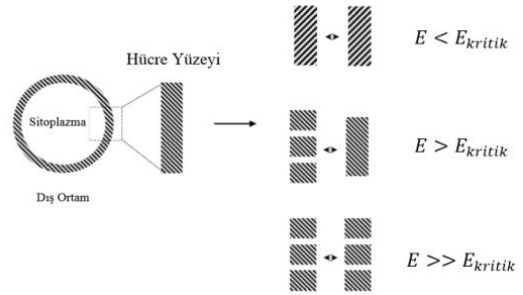
Şekil 1: Bir hücrenin düzgün alanda elektriksel yüklenmesi

Elektrik alan darbeleriyle zarın yağ ve protein yapısı zarar görebilir hücre zarında sıkışmalar ve gözenekler meydana gelir. Bu olaya elektroporasyon denir. Şekil 2'de görüldüğü üzere elektroporasyon sonucu hücrenin ozmotik dengesi bozulduğundan su ve küçük moleküllerin geçişi hızlanır. Suyun hücreye sürekli girmesiyle hücre şişer ve parçalanır.



Şekil 2: Hücre zarının elektroporasyonu

Darbeleri elektrik alana maruz kalan bir mikroorganizmada serbest yüklerin hücre yüzeyinin her iki tarafında birikmesiyle, elektromekanik zorlanma ve yüzeyler arasındaki potansiyel farkı artırır. Hücre zarının içinde ve dışındaki zıt yüklerdeki çekimden dolayı sıkıştırma basıncı artar zar kalınlığı azalır. Şekil 3'de görüldüğü gibi elektrik alan şiddeti belli bir kritik değeri geçtiği zaman zar da gözenekler oluşur. Oluşan bu gözenekler hücrenin kendi kendini yenilemesiyle giderilebilir. Ancak elektrik alan şiddeti kritik değerin çok üzerinde olursa hücre yüzeyinde onarılamaz hasarlar meydana gelir.



Şekil 3: Kritik elektrik alan şiddetine göre hücre yüzeyindeki kırılmalar

2.3. Elektroporasyonun Elektriksel Modeli

Sıvı içerisinde elektrik alana maruz kalan bir mikroorganizmanın modellenmesi için içi sıvı dolu yalıtkan yüzeyli bir küre olarak düşünülebilir. Buna göre hücre zarına uygulanan gerilim

$$U_m = -\frac{3}{2}E \cdot a \cdot \cos\phi \quad (1)$$

denklemleri ile hesaplanabilir. Bu denklemde E elektrik alan şiddeti (V/cm), a hücre yarıçapı (cm), ϕ hücre merkezinden geçen, uygulanan elektrik alana paralel olan eksenin hücre zarını kestiği bir nokta ile yaptığı radyan cinsinden açıdır.

U_m değeri kritik gerilim değerini (1 V olarak kabul edilir) aşarsa hücre yüzeyinin maruz kaldığı elektrik alan, kırılmalara sebep olacak kadar yüksek demektir. Denklem (1)'de görüldüğü gibi yüzeyler arası gerilim değeri hücrenin yarıçapıyla orantılıdır. Bu durumda büyük hücrelerin etkisiz hale getirilmesi küçük hücrelere kıyasla daha kolaydır.

3. Uygulama Kabı Tasarımı

Uygulama kapları en genel anlamda; laboratuvar deneylerinde kullanılmak üzere gıdanın sabit duracağı tipte ya da endüstriyel uygulamalarda, üretimle birlikte, gıdanın hareketli olacağı durumlar için tasarlanır. Uygulama kabının gıdalla teması söz konusu olduğundan seçilen malzemelerin gıda tebliğlerine uygunluğu araştırılmalıdır. Darbeli elektrik alan

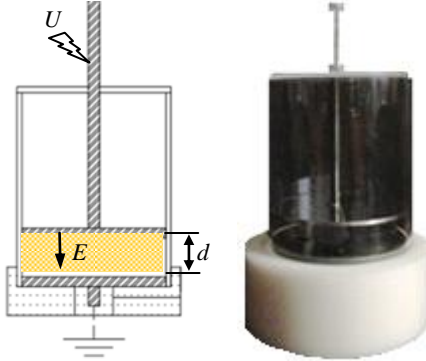
uygulamalarında elektrot malzemesi olarak gıdyla temas herhangi bir sorun teşkil etmeyen C304 ya da C316 paslanmaz çelik tercih edilmektedir. Yalıtkan kısımlarda ise yine gıdyla temas edebilen özellikle pleksiglas, poliamid ve delrin gibi plastik özlü malzemeler kullanılır.

Gıda korumasının etkin yapılabilmesi bakımından işlem sırasında gıdanın tamamının elektrik alana maruz kalması amaçlanmıştır. Böylece gıda içerisindeki mikroorganizmaların tamamının elektrik alan içerisinde olması sağlanmıştır.

Yukarıda belirtilen bilgiler ışığında, uygulama kabı tasarımında belirleyici unsur, elektrot sistemidir. Darbeli elektrik alan uygulamalarında en çok kullanılan elektrot sistemleri paralel düzlemsel elektrot ve eş eksenli silindirselsel elektrot sistemleridir. Bu çalışmada her iki elektrot sistemi de kullanılarak yapılan işlem üzerindeki etkisinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

3.1. Düzlemsel Elektrotlu Uygulama Kabı

Şekil 4'te çalışmada gerçekleştirip kullanılan paralel düzlemsel elektrot sistemi gösterilmiştir. Bu kabın yalıtkan gövdesi pleksiglas malzemeden ve düzlemsel elektrotlar C304 çeliğinden yapılmıştır.



Şekil 4: Düzlemsel elektrot sistemi.

Düzlem elektrot sisteminde elektrik alan şiddeti

$$E = U/d \quad (2)$$

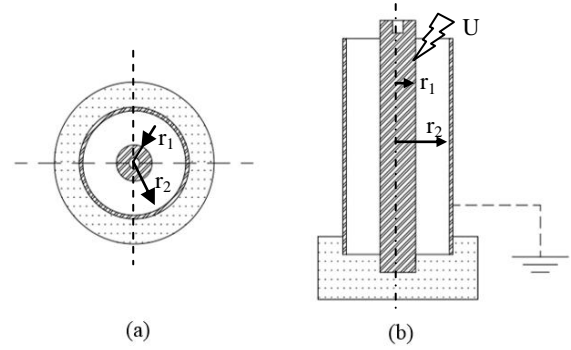
denklemlle bulunur. Elektrot açıklığı d ve gerilim değeri U sabit olduğu sürece elektrotlar arasındaki elektrik alan şiddeti her noktada eşit yani düzgün dağılımlı olmaktadır.

3.2. Eş Eksenli Silindir Elektrotlu Uygulama Kabı

Eş eksenli silindir elektrotlu uygulama kabının üstten ve yandan görünüşü Şekil 5'deki gibidir. Elektrik alan oluşturmak için içteki r_1 yarıçaplı içi dolu silindir elektroda yüksek gerilim uygulanmakta, dıştaki içi boş r_2 yarıçaplı boru şeklindeki elektrot ise topraklanmaktadır. Silindirselsel uygulama kabına ait geometrik büyüklükler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1: Silindirselsel uygulama kabı ölçüleri

Özellik	Boyut
İç elektrot yarıçapı, r_1	10 mm
Dış elektrot yarıçapı, r_2	29 mm
r_2 / r_1 oranı	2,9
İç elektrot uzunluğu	140 mm
Dış elektrot uzunluğu	120 mm
Kap hacmi, V	280 ml

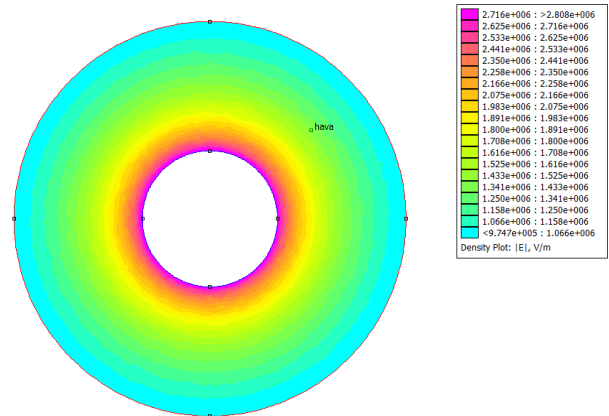


Şekil 5: Eş eksenli silindir elektrotlu deney kabı. (a) üstten, (b) yandan kesit görünüşü.

Çizelge 1'deki değerlerle, silindirselsel uygulama kabında elde edilebilecek maksimum elektrik alan şiddetinin hesabı,

$$E_{maks} = \frac{U}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (3)$$

eşitliği ile; kap içindeki elektrik alan dağılımı sonlu elemanlar yöntemine dayanan FEMM programı kullanılarak elde edilmiştir. Kullanılan silindirselsel elektrot sisteminde, 30 kV gerilim altında elde edilebilecek maksimum elektrik alan şiddeti 28 kV/cm olarak bulunmuştur. Şekil 6'da FEMM'le elde edilen elektrik alan dağılımı verilmiştir.



Şekil 6: Silindirselsel elektrot sisteminde elektrik alan dağılımı.

Deney kabının elektrotları, C304 çeliğinden imal edilmiştir. Yalıtkan parçalar plastik malzemelerden yapılmıştır. İmal edilen deney kabı Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7: Gerçeklenen eş eksenli silindir elektrotlu deney kabı.

4. Deneysel Çalışma

Gıdalara yönelik darbeli elektrik alan uygulamalarında, işleme ilişkin değişkenlere bağlı olarak farklılık gösteren deneysel çalışmalar yapılmaktadır. En başta işlemin uygulanacağı gıdanın ve hedef mikroorganizmanın belirlenmesi gerekmektedir. Uygulamanın başarısında belirleyici rol oynayan değişkenler; elektrik alanın şiddeti, darbenin şekli, darbenin genişliği (süresi), işlem süresi (darbe sayısı), darbe sıklığı şeklinde sıralanabilir. Bunların yanında gıdanın sıcaklığının ve pH değerinin de işlemin başarısı üzerinde etkisinin olduğu bilinmektedir.

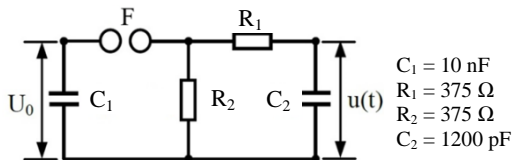
Meyve sularının içeriğinde su, şeker, organik asit ve vitaminler ve birtakım iz elementler bulunur. Bu içerik özellikle bozulmaya sebep olan mikroorganizmalar, mayalar ve küfler için oldukça uygun bir yaşam ve gelişme ortamı oluşturur. Bu nedenle deneylerde elma suyu kullanılması uygun görülmüştür. Mikroorganizma olarak ise gıdalarda yaygın olarak bulunabilen ve gıda zehirlenmelerine yol açan *Escherichia coli* bakterisi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında darbeli elektrik alan uygulaması denemeleri ve mikroorganizma ekimleri 25°C’de gerçekleştirilmiştir

4.1. Örneklerin Hazırlanması

Çalışmada steril %100 elma suyu, deiyonize elma konsantresi, taze sıkılmış elma suyu ve saf su kullanılmıştır. Ambalajlı elma suyunun elektriksel iletkenliği 2,41 mS olarak ölçülmüştür. Taze sıkılmış elma suyu için, Golden cinsi elmalar katı meyve sıkacağına sıkılarak ve 24 saat 4°C’de bekletildikten sonra filtre edilerek posası ayrılmıştır. Elektriksel iletkenliği 2,18 mS olarak ölçülmüştür. Deiyonize elma suyu konsantresi (70 °Brix) 12 °Brix değerine seyreltilmiştir. Brix değeri refraktometre ile ölçülerek doğrulanmıştır. İletkenliği 20 µS olarak ölçülmüştür. Çalışmada *Escherichia coli* ATCC 25922 kullanılarak 0,5 MacFarland konsantrasyonunda bakteri süspansiyonu hazırlanmıştır. Hazırlanan bakteri süspansiyonundan 100 mL’lik porsiyonlara ayrılmış örnekler 0,1’er mL aşılanmıştır.

4.2. Darbeli Elektrik Alanının Uygulanması

Deneylerde uygulanacak elektrik alanın 20 kV/cm, 30 kV/cm ve 40 kV/cm olmak üzere üç farklı şiddette olması kararlaştırılmıştır. Başta kararlaştırılan bu elektrik alan şiddeti değerleri, deney sırasında deney kaplarının dayanımına göre gözden geçirilmiş ve deney düzeneğinin imkanları dahilinde en büyük elektrik alan şiddeti; eş eksenli silindirik elektrotlu kap için 30 kV/cm, paralel düzlem elektrotlu kap için 20 kV/cm olarak sınırlanmıştır. Darbeli elektrik alanı oluşturmak amacıyla çift üstel darbe gerilimi kullanılmıştır. Bu tür darbe gerilimlerini elde etmek için deneyde Şekil 8’deki darbe gerilimi üretici devresi kurulmuştur.



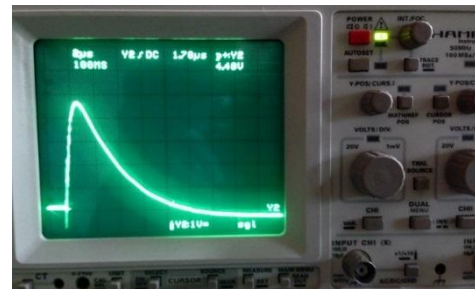
Şekil 8: Tek katlı darbe gerilimi devresi.

Kurulan deney devresinin fotoğrafı Şekil 9’da görülmektedir. Darbe gerilimi üreticiden, diğer devre elemanları aynı kalmak üzere $R_2 = 375 \Omega$ kullanılarak 1,2 / 5 µs (T_1/T_2 : T_1 :

Cephe süresi, T_2 : Sırt yarı değer süresi) ve $R_2 = 6100 \Omega$ kullanılarak 1,2 / 50 µs olmak üzere iki tür darbe gerilimi üretilmiştir. Şekil 10’da, üretilen 1,2 / 5 µs’lik darbe gerilimi dalga şeklinin osiloskoptaki görüntüsü verilmiştir.



Şekil 9: Kurulan tek katlı darbe gerilimi deney devresi.



Şekil 10: 1,2 / 5 µs darbe gerilimine ait osiloskop görüntüsü.

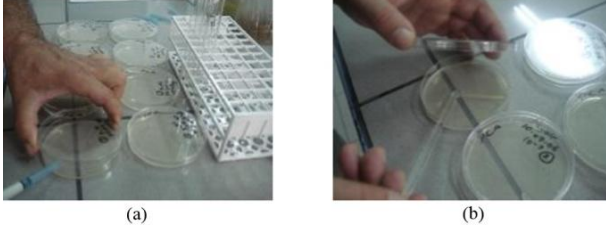
Deney numunesi olarak; ambalajlı elma suyu (AES), taze sıkılmış elma suyu (TSES), deiyonize elma suyu konsantresi (DES) kullanılmıştır. Bu numuneler tasarlanan her iki deney kabında 225 µs ile 1500 µs boyunca darbeli elektrik alana maruz bırakılmıştır.

4.3. Mikrobiyolojik Analiz

İşlem öncesinde ve sonrasında örneklerde bulunan mikroorganizma sayısının belirlenebilmesi amacıyla yayma plak tekniğiyle koloni sayım yöntemi kullanılmıştır. Koloni sayım yönteminin ilkesi; mikroorganizmanın katı besiyerinde koloni oluşturması ve bu kolonilerin sayılarak “her canlı hücre bir koloni oluşturur” prensibi ile örnekteki canlı hücre sayısının hesaplanmasıdır. Besiyeri olarak *Escherichia coli* için seçici besiyeri olan Rapid *E. Coli* 2 Agar (Biorad- RECA) kullanılmıştır. Besiyeri, mikroorganizmaların gelişimini desteklemek amacıyla laboratuvar ortamında hazırlanmış sıvı veya jel ortamlar kullanılır. Seyreltme işlemi için peptonlu su kullanılmıştır. Yayma plak yöntemi kolay uygulanabilen ve hızlı bir yöntemdir. Darbeli elektrik alan uygulanmış ve kontrol örneklerinden seyreltme yöntemiyle dilüsyonlar hazırlanmıştır. Seyreltme işlemi için peptonlu su kullanılmıştır. Yayma plak yöntemiyle Rapid *E. coli* 2 Agar (Bio-Rad) besiyerine paralelli ekim yapılmıştır. Şekil 11’de örneklerin petri kutularına ekimi ve drigalski çubuğu ile yayılması gösterilmiştir. Ekim sonunda petri 35°C’de 24 saat inkübasyona bırakılmış ve inkübasyon sonunda gelişen koloniler sayılarak örnekteki bakteri sayısı belirlenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda; saf suya ve deiyonize elma suyuna darbeli elektrik alan uygulanmasıyla işlem sürelerinde

mikroorganizma sayısında 2 log, taze sıkılmış elma suyunda ise sadece en uzun işlem süresi olan 1500 µs işlem süresinde 1 log azalma gözlenmiştir. Saf su ve deiyonize elma suyunda işlem süresi arttırıldığında mikroorganizma sayısında azalma tespit edilmiştir. Deiyonize elma suyunda işlem sonrası mikroorganizma miktarının kontrol grubuyla karşılaştırılması Şekil 12’de görülmektedir.



Şekil 11: (a) Örneğin petriye ekilmesi. (b) Drigalski çubuğu ile yayma işlemi

Deiyonize elma suyunda yapılan bir çalışmada *Escherichia coli* azalması 24 kV/cm büyüklüğünde elektrik alan ile 1,5 log iken; 34 kV/cm büyüklüğünde elektrik alan uygulandığında 3,5 log azalma olduğu tespit edilmiştir [9]. Çalışmada deiyonize elma suyu için elde edilen 2 logluk azalma literatür bulguları ile uyum göstermektedir. Gerçekleştirilen çalışmada ambalajlı elma suyunda ise kontrol örneklerine göre herhangi bir azalma tespit edilememiştir.



Şekil 12: Deiyonize elma suyunda işlem sonrası mikrobiyal azalma

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, gıdaların korunmasına yönelik son yıllarda yaygın bir biçimde araştırılan ve endüstriyel uygulamalarla hayata geçirilmeye çalışılan darbeli elektrik alan uygulaması incelenmiştir. Bu kapsamda içerisinde *Escherichia coli* bakterisi bulunan farklı iletkenliklere sahip elma sularına, farklı süreler boyunca darbeli elektrik alanı uygulanmış ve alan altında mikroorganizma sayısındaki azalma olup olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, deneylerin yapılacağı iki farklı elektrot sistemli iki deney kabı tasarlanıp imal edilmiş ve deneyler bu kaplar kullanılarak yapılmıştır.

Eş eksenli silindirik elektrotlu kap kullanılarak yapılan, 1,2/50 µs’lik üstel darbelerle oluşturulmuş elektrik alan şiddetinin maksimum değerinin 33 kV/cm olduğu deneyler sonucunda, saf su ve deiyonize meyve suyunda *Escherichia coli* sayısı 2 log, taze sıkılmış elma suyunda ise 1 log azalmıştır. Sonuç olarak ambalajlı elma suyu ile yapılan deneylerde yöntemin etkinliği belirlenememiştir ancak saf su ve deiyonize elma suyu ile yapılan deneylerde işlem etkili olmuştur. Paketlenmiş

steril elma suyu kullanılarak yapılan denemelerde mikroorganizma sayısında azalma tespit edilememiştir. Deiyonize olmuş ürünlerde istenilen sonucun elde edilmesi sıvı gıdalara yönelik darbeli elektrik alan uygulamalarında sıvının elektriksel iletkenliğinin kilit rol oynadığını göstermiştir. Elektrik alan sayesinde mikroorganizma hücresi üzerinde potansiyel farkı oluşturmak olduğundan, sıvı üzerine yüksek gerilim uygulayabilmek için iletkenliğinin düşük olması gerekmektedir. Darbeli elektrik alan uygulanacak olan gıda örneğinin yüksek iletkenliğe sahip olması durumunda uygulanan gerilim sıvı üzerinde oluşmamaktadır. Bu durumun önüne geçebilmek için kap tasarımında değişiklikler yapılarak sıvıyla elektrotların arasına doğrudan temas etmelerini önleyen yalıtkan bir bölüm konulabilir. Taze sıkılmış elma suyunda istenilen verimin alınmaması yüksek iletkenlik değerinin yanı sıra uygulama sıcaklığının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Proje kapsamında denemeler 25°C’de gerçekleştirilmiştir. Darbeli elektrik alan uygulamasının etkisinin arttırılması için uygulamanın yüksek sıcaklık ile birlikte gerçekleştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Sonuç olarak yapılan çalışmalar ile *Escherichia coli* gibi gıda güvenliği ciddi bir biçimde tehdit eden patojen mikroorganizmalara karşı darbeli elektrik alan uygulamasının etkili bir biçimde gerçekleştirilebilmesi için kap ve cihaz tasarımı yanında sıcaklık ve diğer parametrelerin etkisi incelenmelidir.

6. Kaynaklar

- [1] Evrendilek, A. G., Mehmetoğlu, Ç. A., Coşansu, S., Erkmen, O., “Gıda Mikrobiyolojisi”, Osman Erkmen (Ed.), *Yeni Yöntemlerle Gıdaların Korunması*, Efil Yayınları, Ankara, 2011.
- [2] Özcan, T., Kurtuldu, O., “Sütün raf ömrünün uzatılmasında alternatif yöntemler”, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt 25, Sayı 1, s. 119-129, 2011.
- [3] Barbosa-Cánovas, G. V., Góngora-Nieto, M. M., Pothakamury, U. R., Swanson, B. G., “Preservation of Foods with Pulsed Electric Fields”, *PEF-Induced Biological Changes*, Academic Press, Pullman, 1999.
- [4] Kanduser, M., Miklavcic, D., “Electrotechnologies for Extraction from Food Plants and Biomaterials”, *Electroporation in biological cell and tissue: an overview*, Springer Science, New York, 2008.
- [5] Clark, J. P., “Pulsed electric field processing”, *Food Technology*, 60(1), 66-67, 2006.
- [6] Mohamed, M., Eissa, A.A., “Structure and Function of Food Engineering”, Ayman Amer Eissa (Ed.), *Pulsed Electric Fields for Food Processing Technology* (s. 284, 287), Intech, Rijeka, 2012.
- [7] Loeffler, J. M., “Pulsed Electric Fields Technology for the Food Industry”, Javier Raso, Valter Heinz (Ed.), *Generation and Application of High Intensity Pulsed Electric Fields* (s. 32-33), Springer, New York, 2006.
- [8] Özkaya, M., “Yüksek Gerilim Tekniği, Cilt 2”, Birsan Yayınevi, İstanbul, 2005.
- [9] Camini, I.M., Palgan, I., Noci, F., Munoz, A., Whyte, P., Cronin, D.A., Morgan, D.J., and Lyng, J.G., “The effect of pulsed electric fields in combination with high intensity light pulses on *Escherichia coli* inactivation and quality attributes in apple juice”. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12(2): 121, 2011.