

FARKLI YETİŞTİRME ORTAMLARINDA YETİŞTİRİLEN MİSİR BİTKİSİNİN (*Zea mays L.*) SU KAYBI İLE KÖK PARAMETRELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Ebru SOMAY*

Abdullah BARAN**

Özet

Araştırma, su kaybının farklı yetiştirme ortamlarında ve sera koşullarında mısır bitkisinin (*Zea mays L.*) bazı kök parametreleri ile ilişkisini ortaya koymak için yapılmıştır. Araştırmada toprak, perlit ve peat içeren dört farklı karışım kullanılmıştır. Bitkilerin gelişimleri süresince su kayıpları ölçülmüştür. Deneme sonunda, bitki kökleri ayrılarak yıkandıktan sonra kök ağırlığı, kök uzunluğu, kök çapı ve kök alanı gibi kök parametreleri belirlenmiştir. Perlit ve peat ilavesi bitkinin su kaybını, kök uzunluğu ve kök ağırlığını azaltmıştır. Bitkinin su kaybı ile kök ağırlığı arasında ($r=0.846$) % 1 düzeyinde önemli pozitif bir ilişki bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Su kaybı, kök ağırlığı, kök uzunluğu, peat, perlit, mısır bitkisi

RELATIONSHIPS BETWEEN WATER LOSS AND ROOT PARAMETERS OF CORN (*Zea mays L.*) GROWN IN DIFFERENT GROWING MEDIA

ABSTRACT

Experiment was carried out to investigate relationships between water loss and some root parameters of corn (*Zea mays L.*) grown in different growing media under greenhouse conditions. Four different mixtures including at different ratios soil, perlite and peat were used. Water losses from the pots were measured during growing period. After harvesting the plants, root weight, root length, root diameter and root area were determined. Water loss was decreased with adding of the perlite and peat to the soil, furthermore, root weight and root length were decreased. A positive correlation between water loss and root weight was found at significant level ($P<0.01$).

Key Words: Water loss, root weight, root length, peat, perlite, corn plant

GİRİŞ

Toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri bitkinin kök morfolojisini etkilemekte, bu etki de dolaylı olarak bitkinin toprak üstü kısımlarının gelişmesine ve ürüne yansımaktadır (Bathke ve ark., 1992).

Bitki kökleri vasıtasıyla alınan su ve besin maddeleri yapraklara iletilmekte, yapraklardaki suyun büyük bir kısmı yaklaşık % 90'ı ise çevresel şartlara bağlı olarak gözeneklerin açılıp kapanması ile bitkiden uzaklaşmaktadır. Terleme olarak adlandırılan bu olay bitki gelişimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Kacar 1989). Su kaybının azaltılması için bitkinin iyi bir kök sistemine ihtiyacı bulunmaktadır. Toprak su ve bitki arasındaki ilişkilerin ortaya çıkarılmasında da kök gelişiminin ayrı bir önemi vardır (Kramer, 1988; Smucker ve Aiken, 1992). Bitkinin kök morfolojisinin izlenmesi açısından önemli olan kök ağırlığı, kök uzunluğu ve kök alanı gibi kök parametreleri yanında (Tennant, 1975; Böhm,

* Ziraat Yüksek Mühendisi

** Doç.Dr. , A.Ü. Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Dışkapı-ANKARA

Farklı Yetiştirme Ortamlarında Yetiştirilen Mısır Bitkisinin (*Zea Mays L.*) Su Kaybı ile Kök

1979; Fitter, 1985) toprak sıcaklığı ve bitki kök gelişimi arasındaki ilişki üzerine de çalışılmaktadır (Kaspar ve Bland, 1992). Günümüz koşullarında kök gelişiminin yerinde izlenmesinde video kamera kullanılmakta olup, bu konudaki çalışmalarda oldukça gelişme kaydedilmiştir (Bauhus ve Messier, 1999).

Bu araştırmanın amacı, su kaybının farklı yetiştirme ortamlarında mısır bitkisinin kök parametrelerinde meydana getirdiği değişimleri ve bunlar arasındaki ilişkileri ortaya koymaktır. Böylece, mevcut suyun daha verimli şekilde kullanılması amaçlanmaktadır.

MATERYAL VE METOD

Araştırmada kullanılan materyallerin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Araştırmada Kullanılan Yetiştirme Ortamlarının Bazı Özellikleri (Somay, 1998).

Materyal	pH	EC dS/m	Özgül ağır.	Hacim ağır. g/cm ³	Toplam por. %	Tarla Köp. %	Hav. por. %	Makro por. %	Mikro por. %
Toprak	8.3	0.47	2.64	1.03	57.9	26.1	27.9	48.2	51.7
Perlit	7.7	0.18	2.51	0.13	50.2	21.7	32.8	65.4	34.5
Peat	6.7	0.96	2.04	0.23	87.9	29.7	56.1	63.8	36.1

Araştırmada, killi tın bünyeli toprak (% 27 Kum, % 42 Silt, % 31 Kil) ile Yeniçağa peati ve iri perlit (0-4 mm) kullanılmıştır. Toprak ve peat örnekleri denemeden önce 4 mm'lik elekten elenmişlerdir. Hacimsel olarak % 100 toprak, % 40 toprak+% 60 perlit, % 40 toprak+% 60 peat, % 40 toprak+% 30 perlit+% 30 peat oranlarında hazırlanan karışımlar Mitcherlich saksılarına doldurulmuştur. Deneme bitkisi olarak mısır bitkisi (*Zea mays L.*) kullanılmıştır. Denemenin başlangıcında saksılara 150 ppm N, 80 ppm P ve 100 ppm K çözelti halinde verilmiştir. Sera koşullarında tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak kurulan denemede deneme süresince saksıların su düzeyleri tarla kapasitesinin % 60'ı oranında tutulmuştur. Saksıların üzeri buharlaşmayı önlemek için bitki gövdesi açıkta kalacak şekilde naylon örtü ile kaplanmıştır. Deneme ilk koçan oluşana kadar devam etmiş daha sonra toprak üstü kısımlar hasat edilmiştir. Kökler dikkatli bir şekilde yıkanarak ayrılmıştır.

Denemede kullanılan toprağın bünye analizi hidrometre yöntemiyle (Bouyoucos, 1951), tarla kapasitesi basınçlı levha aletiyle (U.S.Salinity Lab. Staff, 1954), toplam porozite doygunlukta tutulan su miktarından, havalanma porozitesi doygun durumda tutulan su yüzdesinden 1.7 pF'de tutulan su yüzdesi (50 cm ss tansiyon uygulanarak elde edilen su) çıkarılarak, makro ve mikro por yüzdeleri havalanma porozitesinden hesaplanarak De Boodt ve ark. (1973)'na göre, hacim ağırlığı 100 cm³ hacimli kaba doldurulan materyallerin ağırlıklarının hacime bölünmesiyle hesaplanarak, pH ve EC 1:2.5 oranında toprak su karışımlarında (U.S. Salinity Lab. Staff, 1954) bulunmuştur. Bitkilerin yaprak alanları kağıda çizilen alanın planimetre ile ölçülmesi ile belirlenmiştir. Su kayıpları saksılara eklenen su miktarları toplanarak belirlenmiştir. Kök ağırlığı, kök uzunluğu grid yöntemi kullanılarak, kök çapı okulef mikroskop ile ve kök alanı silindirin

alanından hesaplanarak Böhm (1979)'a göre belirlenmişlerdir. İstatistik analizleri Minitab bilgisayar programıyla yapılarak Düzgüneş ve ark. (1983) 'na göre değerlendirilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırmada kullanılan karışımlarda yetiştirilen mısır bitkisinin su kaybı ve bazı kök parametrelerinde meydana gelen istatistiksel farklılıklar Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2. Farklı Ortamlarda Yetiştirilen Mısır Bitkisi (*Zea mays L.*) nin Su Kaybı Ve Bazı Kök Parametrelerindeki Değişimler

Karışımlar	Su kaybı mm/cm ² /gün	Yaprak alanı cm ²	Kök ağırlığı g	Kök uzunluğu cm	Kök alanı cm ²	Kök çapı, mm	
						İnce	Kalın
% 100 T	0.071 A	4350 A	14.83 A	13724 A	3427	0.65	1.75
% 60 T+% 40 Per.	0.025 C	2991 C	7.33 B	12176 A	3913	0.87	1.33
% 60 T+% 40 Peat	0.040 B	3543 B	7.72 B	8208 B	3375	0.71	1.53
% 40 T+%30 Per. + %30 Peat	0.027 C	3469 B	8.20 B	10255 AB	3940	0.71	1.55

T:Toprak Per.:Perlit

Tablo 2 incelendiğinde % 100 toprak ortamında bütün parametreler dikkate alındığında genelde diğer karışımlara göre istatistiksel olarak önemli farklılıklar tespit edilmiştir ($P<0.05$). Toprağa ilave edilen peat ve perlit toprağın bazı fiziksel özelliklerini etkileyerek bitkinin bazı morfolojik özelliklerinde değişimlere neden oluşturmaktadır. Mısır bitkisinin su kaybı, en fazla % 100 toprak ortamında bulunurken, peat ve özellikle perlit ilavesiyle azalma göstermiştir. % 60 T+%40 Perlit ve % 40 T+%30 Per+%30 Peat karışımlarında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunamamıştır. Toprağa ilave edilen peat de su kaybını önemli ölçüde azaltmıştır. Bu durum, yaprak alanı, kök ağırlığı ve kök uzunluğuna da yansımıştır. Diğer karışımlar % 100 toprak ortamına göre kök ağırlığı ve kök uzunluğunda değişim göstermekle beraber, perlit ve peat li karışımlarda istatistiksel olarak önemli bir fark tespit edilmemiştir. Yaprak alanı salt toprağa oranla azalmış, % 60 Toprak+% 40 Peat ve % 40 Toprak+% 30 Perlit+%30 Peat içeren karışımlarda istatistiksel olarak önemli bir fark görülmemiştir. Ancak bu durumun su kayıpları incelendiğinde daha farklı olduğu görülmüştür. Peat ve perlitin birlikte yer aldığı karışımda su kaybı daha düşük olmuştur. Aynı şekilde bitkinin ürettiği kök ağırlığı perlit ve peat ilavesiyle azalarak, istatistiksel olarak önemli bir fark yaratmıştır ($P<0.05$).

Karışımlarda peat ve perlitin bulunması toprağın su-hava dengesini düzelttiğinden bitkinin mevcut sudan daha kolay faydalanmasını sağlamıştır. Ayrıca bu materyallerin su tutma kapasiteleri oldukça yüksek olduğundan bitkinin su ihtiyacı kolaylıkla karşılanmıştır (Baran ve Çaycı, 1996). Baran ve ark. (1996) tarafından toprağa peat ilavesiyle kök uzunluğu ve kök ağırlığının azaldığı belirtilirken Wilson ve Tunny (1965), Jackson (1974) ve Chen ve ark. (1980)'nın perlit kullanarak yaptıkları çalışmalarda elde edilen bulgular ile uyum göstermektedir.

Su kaybının peat ve perlit içeren karışımlarda azalması mevcut suyun daha etkin kullanıldığının bir işareti sayılmalıdır. Özellikle kurak bölge topraklarında suyun etkin

Farklı Yetiştirme Ortamlarında Yetiştirilen Mısır Bitkisinin (*Zea Mays L.*) Su Kaybı ile Kök

kullanımı son derece önemli bir faktördür (Stewart ve Steiner, 1990). Suyun etkin kullanımı ile bitkiler daha az suya gereksinim duyacaklar ve su tüketimi daha tasarruflu hale gelecektir. Bu koşulun sağlanabilmesi için, bitki kök sisteminin uygun olmasıyla su kullanım etkinliğinin artırılacağı görüşü çeşitli araştırmacılar tarafından vurgulanmaktadır (Taylor ve ark., 1983, Murphy ve Smucker, 1995 ve Kaspar ve ark., 1995). Su kaybı ile kök parametreleri arasındaki ilişkiler Tablo 3 de verilmiştir.

Tablo 3. Su Kaybı ile Kök Parametreleri Arasındaki İlişkiler

	Su kaybı	İnce çap	Kalın çap	Yap. alanı	Kök alanı	Kök ağırl.
İnce çap	0.439					
Kalın çap	0.492	-0.446				
Yap. Alanı	0.893*	-0.411	0.596**			
Kök alanı	-0.171	-0.261	-0.507**	-0.226		
Kök ağırlığı	0.846*	-0.392	0.617**	0.785*	-0.140	
Kök uzun.	0.274	-0.005	-0.150	0.089	0.326	0.445

* % 1 düzeyinde önemli ** % 5 düzeyinde önemli

Karışımların tamamı dikkate alındığında su kaybı ile yaprak alanı ve kök ağırlığı arasında % 1 ($r=0.893$) düzeyinde önemli pozitif ilişkiler bulunmuştur. Yaprak alanının artmasıyla su kaybını arttırdığı tespit edilirken, bu artışın karışımlara bağlı olarak değişiklik gösterdiği de göz ardı edilmemelidir.

Kalın kök çapı ile yaprak alanı ve kök ağırlığı arasında % 5 düzeyinde ($r=0.596$ ve $r=0.617$) pozitif ve kök alanı arasında da negatif ($r=-0.507$) ilişki tespit edilmiştir. Peat ve perlit gibi makro boşluk miktarı fazla olan materyallerin bitkinin kök ağırlığı, kök uzunluğu ve kök alanını artırıcı yönde etki yaptıkları belirtilmektedir (Ataman 1981, Baran ve ark. 1996).

Sonuç olarak, peat ve perlit gibi materyallerin toprağa karıştırılması ile kök morfolojisinin olumlu yönde etkilenerek bitkinin su kaybını azaltıcı yönde bir etki yarattıkları söylenebilir. Bir başka ifade ile su kaybını azaltmak için yaprak alanını azaltıcı işlemlere öncelik verilmesi suyun daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır. Şartlar uygun olduğu takdirde perlit ve peat gibi su tutma kapasitesi yüksek materyaller kullanılarak daha az su harcanması sağlanabilir. Elde edilen sonuçların teknolojik gelişmeler ışığında oluşturulan imago video tekniği gibi yeni yöntemlere ışık tutacak nitelikte oldukları da ayrıca üzerinde durulması gereken konudur. Zira, modern teknikler eski yöntemlerin bir devamı niteliğindedir ve gelişmeye açıktır.

KAYNAKLAR

- Ataman, Y. 1981. Perlitin bitkilerin su alımına etkisi üzerinde bir araştırma. Ank. Ü.Z.F. Doçentlik Tezi (Yayınlanmamış), Ankara.
- Baran, A., Çaycı, G., Öztürk, H.S., Ataman Y. ve Özkan, İ. 1996. Farklı ortamlarda yetiştirilen biber bitkisi (*Capsicum annum L.*) nin kök parametrelerindeki değişimler. Tarım Bilimleri Dergisi 2: 1-4.
- Baran, A. ve Çaycı, G. 1996. Bazı tarımsal atıkların havalanma kapasiteleri üzerine perlitin etkisi. Tarım Bilimleri Dergisi 2:69-71.

- Bathke, G.R., Cassel, D. K., Hargrove, W.L. ve Porter, P.M. 1992.** Modification of soil physical properties and plant growth response. *Soil Sci.* 154 : 316-330.
- Bauhus, J. ve Messler, C., 1999.** Evaluation of fine root length and diameter measurements obtained using RHIZO image analysis. *Agronomy Journal.* 91: 142-147.
- Bouyoucos, G.D. 1951.** A Recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of the soil. *Agronomy Journal,* 43: 434-438.
- Böhm, W., 1979.** Methods of studying root systems. Ecological studies. Vol. 33. Springer-Verlag, Berlin.
- Chen, Y., Banin, A. ve Ataman, Y. 1980.** Characterization of particles and pores, hydraulic properties and water-air ratio of artificial growth media. Proc. Fifth Int. Congr. On Soilless Culture. Wageningen.
- De Boodt, M. Verdonck, O. ve Cappaert, I. 1973.** Method for measuring the water release curve of organic substrates. Proc. Symp. Artific. Media in horticulture. 2054-2062.
- Düzgüneş, O., Kesici, T. ve Gürbüz, F., 1983.** İstatistik metodları 1. Ank.Ü.Z.F. ders kitabı, yay. No. 862. Ankara.
- Fitter, A.H. 1985.** Functional significance of root morphology and root system architecture. In A: H. Fitter et al. (ed) Ecological interactions in soil, Blackwell, London.
- Jackson, D.K. 1974.** Some characteristics of perlite as an experimental growth medium. *Plant and Soil,* 40:161-167.
- Kacar, B. 1989.** Bitki fizyolojisi. A.Ü.Z.F. yay. 1153, ders kitabı, yay. no.323. Ankara.
- Kaspar, L.C. ve Bland, W.L., 1992.** Soil temperature and root growth. *Soil Sci.* 154 : 290-300.
- Kaspar, T.C., Brown, H.J. ve Kassmeyer, E.M., 1991.** Corn root distribution as effect on by tillage, wheel traffic, and fertilizer placement. *Soil. Sci. Soc. Am.J.* 55: 1890-1394.
- Kaspar, T.C., Logston, S.D. ve Prieksat, M.A. 1995.** Traffic pattern and tillage system affection corn root and shoot growth. *Agron.J.* 87: 1046-1051.
- Kramer, P.J., 1988.** Changing concepts regarding plant water relations. *Plant Cell Environ.* 11: 565-568.
- Murphy, S.L. ve Smucker, A.J.M. 1993.** Evaluation of video image analysis and line-intercept methods for measuring root systems of alfa alfa and ryegrass. *Agron. J.* 87: 865 - 868.
- Robinson, D. ve Horison, I. H., 1993.** A comparison of the response of *Lolium perenne L.*, *Holcus lanatus L.*, and *Deschampsia flexuosa L.* Trin, to a localised supply of nitrogen. *New Phytol.* 94: 263-273.

Farklı Yetiştirme Ortamlarında Yetiştirilen Mısır Bitkisinin (*Zea Mays L.*) Su Kaybı ile Kök

- Smucker, A.J.M., McBurney, S.L. ve Srivastava, A. K. 1982. Quantitative separation of roots from compacted soil profiles by the hydropneumatic elutriation system. *Agron. J.* 74: 500-503.
- Smucker, M.A. ve Aiken, R.J. 1992. Dynamic root responses to water deficits. *Soil Sci.* 154:281-290.
- Somay, E. 1998. Farklı gelişim dönemlerinde farklı bitki yetiştirme ortamlarının mısır bitkisi (*Zea Mays L.*) nin yaprak yüzey alanına etkisi. *Ank.Ü.Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi (Yayınlanmamış).*
- Stewart, B.A. ve Steiner, J.L., 1990. Water-use efficiency. *Advances in soil science.* Springer-Verlag, New York.
- Taylor, H.M., Jordan, W.R. ve Sinclair, T.R., 1983. Limitations to efficient water use in crop production. *Madison, Wisc. Am. Soc. Agron.*
- Tennant, B. 1975. A test of a modified line-intersect method of estimating root length. *J. Ecol.* 63: 995-1101.
- U.S.Salinity Lab.Staff, 1984. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agric. Handbook, No.64, USDA.*
- Wilson, W.D. ve Tunny, J. 1968. Defects of perlite as a medium for plant growth. *Aust. J. Exp. Agric.and Animal Husbandary*, 5:137-140.

YÜKSEK GERİLİM DARBELİ ELEKTRİK ALANI TEKNİĞİNİN GIDALARIN KORUNMASINDA KULLANIMI

Osman ERKMEN*

ÖZET

Yüksek gerilim darbeli elektrik alanı (DEA) tekniği iki elektrot arasına yerleştirilmiş gıdaya yüksek voltajlı (20-80 kV/cm) elektrik darbelerinin uygulanmasıdır. DAE teknolojisi geleneksel ısı işlem yöntemine göre süper bir metot olarak belirtilmektedir. Çünkü DEA gıdaların fiziksel ve duyuşsal özelliklerinde istenmeyen değişikliklere neden olmamakta veya büyük ölçüde azaltılmaktadır. DEA ekmeğ, süt, portakal ve elma suyu, sıvı yumurta, gibi gıdaların kalitesini korumak amacıyla kullanılmaktadır. Gıda kaynaklı mikroorganizmalar üzerinde DEA'nın öldürücü etkisi tespit edilmiştir. DEA uygulaması gıdaların saklama süresini artırmıştır.

Anahtar kelimeler: Darbeli elektrik alanı, gıda koruması.

USES OF HIGH INTENSITY PULSED ELECTRIC FIELD IN THE PRESERVATION OF FOODS

ABSTRACT

High intensity pulsed electric field (PEF) processing is the application of high voltage (20-80 kV/cm) electrical pulse food placed between 2 electrodes. PEF technology is considered superior to traditional heat treatment of foods because it avoids of greatly reduces the detrimental changes of the sensory and physical properties of foods. PEF are applied to preserve the quality of foods, such as bread, milk, orange and apple juice, liquid eggs, etc. The lethal effect of PEF was observed on foodborne microorganisms. PEF applications were increased the shelf life of foods.

Key words: Pulsed electric field, food preservation.

GİRİŞ

Tüketicilerin az işlem görmüş gıdalara yönelmesi ile gıda sanayinde de ısısal olmayan işleme yöntemlerine karşı ilgi artmıştır. Yüksek gerilim darbeli elektrik alanı (DEA) gıda koruma yöntemi olarak son zamanlarda önem kazanmaya başlamıştır (Martin-Beloso ve ark. 1997). DEA yöntemi gıdaları çok az miktarda ısıtarak mikroorganizmaları inaktive ettiği bildirilmiştir (Knorr ve ark. 1994). Mikroorganizmaların DEA yöntemi ile inaktivasyonu elektrik alan voltajı, uygulama zamanı, gıdanın fiziksel ve kimyasal yapısı, mikroorganizmanın özelliği gibi faktörlere bağlıdır (Martin-Beloso ve ark. 1997, Zhang ve ark. 1995, Vega-Mercado ve ark. 1996a, Pothakamury ve ark. 1995). Tüketicilerin duyuşsal, vitamin ve besin kaybına uğramış gıdalara ilgisi azalmaktadır. Bu nedenle gıda prosesinde ısısal olmayan yöntemler üzerindeki araştırmalara ilgi artmaktadır. Darbeli elektrik alanı (DEA) iki elektrot arasına yerleştirilen gıdalara yüksek voltajlı (20 ile 80 kV/cm) elektrik akımı uygulanmaktadır. DEA uygulaması oda sıcaklığında, oda sıcaklığının altında ve üstünde uygulanabilmektedir. Geleneksel ısı yöntemlerinde oluşan enerji kaybı DEA

* Doç. Dr. Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, GAZİANTEP

Yüksek Gerilim Darbeli Elektrik Alanı Tekniğinin Gıdaların Korunmasında Kullanımı

yönteminde en düşük seviyeye inmektedir. Gıda kalitesi açısından DEA teknolojisi ısı yöntemlerine göre süper bir teknolojik yöntemdir çünkü bu yöntemde gıdaların doğal özellikleri (fiziksel, kimyasal ve duyuşsal) korunabilmektedir (Quass 1997). Yinede DEA yöntemi gıda prosesinde kullanılmadan önce gıdaların besin değeri ve kimyasal özellikleri üzerine etkisi araştırıldıktan sonra kullanılması gerekir (Qin ve ark. 1995).

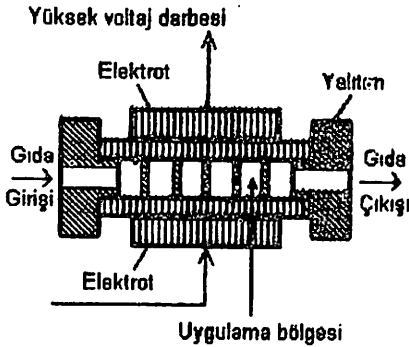
Kullanılan Malzemeler

Şu anda DEA için kullanılan çok sınırlı sayıda sistemler bulunmaktadır. Farklı laboratuvar ve pilot alanı çalışmalarında farklı uygulama kapları kullanılmakta ve belirli bir standart bulunmamaktadır (Şekil 1). DEA'da kullanılan test aracı 2 ana kısımdan oluşmaktadır: yüksek-voltaj güç kaynağı ve uygulama kabını.

Yüksek Gerilim Elektrik Alanının Oluşturulması

DEA teknolojisinde yüksek elektrik alanı darbesinin uygulandığı proses kabının sıcaklık yükselmesini en düşük seviyede tutacak özelliğe sahip olması gerekir. Yüksek gerilim DEA tekniğinde güç sağlayıcısı olarak elektrik depolanmış bir kapasitör (veya bir seri kapasitörden) güç kaynağı olarak kullanılır. Kapasitörde depolanan yüksek voltajlı enerji voltaj vuruşları şeklinde uygulanır (Zhang ve ark. 1995). DEA'nın enerji gereksinimi üzerinde yapılan araştırmalarda, geleneksel ısı proseslere göre bu teknikte enerji kaybının en az düzeyde olduğu ve verimli bir yöntem olarak belirtilmektedir (Qin ve ark. 1995).

Sıvı gıda maddelerinin fazla iyon konsantrasyonları nedeniyle elektrik akım özellikleri yüksektir. Gıdalarda yüksek elektrik alanı oluşturulması kapasitörde depolanan elektriğin belirli süreyle (μs) uygulama kabındaki gıda üzerine boşaltılmaktadır. Darbe için gerekliliği elektriğin kapasitöre dolun süresi vurgu süresinden daha uzundur.



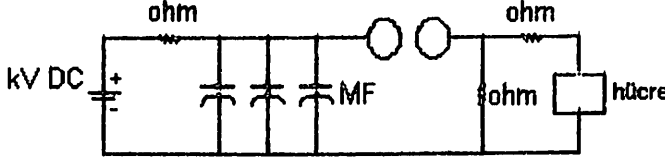
Şekil 1. Gıdaların prosesi için DEA'nın sürekli akış şeması.

Yüksek gerilim elektrik alanları oluşturabilmek için güç kaynağına, kondansatör-direnç grupları, küre elektrotlar ve bobinler değişik şekillerde bağlanarak devre kurulmakta ve deney malzemesine kondansatörlerden elektrik belirli aralıklarla boşaltılarak mikroorganizmalar üzerine uygulanmaktadır. Yüksek gerilim elektrik alanı çoğunlukla logaritmik azalan ve kare dalgalar şeklinde uygulanmaktadır (Hengirinen ve ark. 1999).

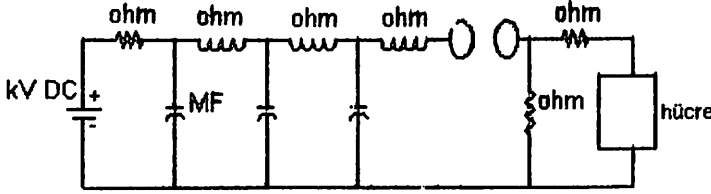
Şekil 2'de logaritmik azalan dalgaların oluşturulmasında kullanılan elektrik devresi verilmiştir. Logaritmik azalan dalga vuruşları düşük elektrik alanıyla uzun süreli uygulama gerektirir bu da mikroorganizmalar üzerinde öldürtücü etkiden önce gıdada

O. ERKMEN

fazladan ısınmasına neden olur. Şekil 3'de kare vuruşlu dalgaların üretilmesinde kullanılan elektrik devresi verilmiştir. Kare vuruşlu dalgalar devamlı azalan vuruşlardan daha çok enerji verimine sahiptir ve mikroorganizmalar üzerinde daha öldürücü etkiye sahiptir.



Şekil 2. Logaritmik azalan dalga üretici



Şekil 3. Kare dalga üretici

Kare vuruşlu dalgalar logaritmik azalan dalgalardan uygulanan alan üzerinde daha uzun süre voltaj oluşumunu sağlar. Kare vuruşların enerji verimi daha yüksektir. Diğer yandan logaritmik azalan dalga vuruşları tekniğinin oluşturulması ve de değiştirilmesi kolaydır. Kare dalga vuruşlarının dalgaların oluşturulması komplekstir ve fazla sayıda kapasitör gerekir. Kare vuruşlu dalga yönteminde kapasitörde depolanan voltajın yarısı kadar voltaj uygulama kabında oluşur. Yapılan araştırmada kare dalgaların enerji veriminin % 91 ve logaritmik azalan dalgaların ise % 64 olduğu belirtilmiştir. Her iki yöntemde mikroorganizmalar üzerinde öldürücü özelliğe sahiptir.

Logaritmik azalan elektrik dalgası maksimum değere hızla yükselen ve sıfır değerine yavaş yavaş azalan tek yönlü bir voltaj akımı ile elde edilmektedir. Bu yöntemde elektrik güç kaynağından akım bir kapasitörle direncin seri bağlanmasıyla sağlanır. Kapasitörde depolanan elektrik, uygulama kabında bulunan gıda maddesine belirli aralıklarla verilerek mikroorganizmaları inaktive edilir.

DEA Yönteminin Uygulandığı Alanlar

DEA sanayide gıdaların korunması amacıyla kullanılmaktadır. Ekmek, süt, portakal ve elma suyu, sıvı yumurta gibi gıdaların saklama sürelerinin uzatılması ve bira yapımında kullanılarak mayaların fermantasyon özelliğinin korunması bazı kullanım alanlarındandır.

a) Elma suyu prosesi

Simpson ve ark. (1995) konsantre elma suyunu 45°C'de 50 kV/m'lik elektrik alanı şiddetinde 2 µs'lik süreyle, 10 darbe uygulayarak elma suyunun 21 günlük saklama süresini 28 güne çıkartmışlardır. Bu araştırmada DEA uygulanmış elma suyunda askorbik asit veya şeker içeriğinde herhangi bir kimyasal veya fiziksel değişim tespit edilememiş ve deryu panelistleri DEA uygulanmış veya uygulanmamış elma suları arasında farklılık gözlememişlerdir. Vega-Mercado ve ark. (1997) DEA tekniği uygulanmış taze ve konsantre elma suyunun 25°C'de saklama süresini sırasıyla 96 ve 32 gün olarak tespit etmişlerdir. Her

Yüksek Gerilim Darbeli Elektrik Alanı Tekniğinin
Gıdaların Korunmasında Kullanımı

iki elma suyunun kimyasal ve duyuşsal özelliklerinde saklama süresi sonunda herhangi bir değişiklik belirlenmemiştir.

b) Portakal suyunun prosesi

Sitzmann (1995) portakal suyuna oda sıcaklığında DEA'nın 32 kV/cm'lik elektrik alanı şiddetinde uygulandıktan sonra doğal florasında 4 log'luk azalma olmuştur. Bu araştırmada kare dalga vuruşlarının logaritmik azalan dalga vuruşlarından daha etkili olduğu belirtilmiştir. Yine bu araştırmada ısıtma işlemi ve DEA uygulanmış portakal sularının 4°C'deki saklama sürelerinin 5 aydan daha fazla olduğu belirtilmiştir. DEA işlemine maruz kalmış ürünlerin 90 günlük saklama süresi sonunda (4°C veya 22°C) vitamin C kaybının ısıtma işlemine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

c) Sütün işlenmesi

Dunn ve Pearlman (1987) *Salmonella dublin* eklenmiş homojenize sütte 36.7 kV/cm'lik elektrik alanı şiddetini 25 dak süreyle 40 darbe olarak uygulamışlar ve sütün 8 günlük saklama süresi sonunda doğal florasında 3.6 log'luk azalma olduğu rapor edilmiştir. *Salmonella dublin*'in tamamen inaktive olduğunu belirtmişlerdir. Peynir yapımında DEA uygulanmış süt kullanmış ve peynirin kalitesinde fiziksel veya kimyasal değişiklik tespit edilememiştir (Dunn (1996), Fernandez-Molina ve ark. (1999) süt tozuna (0.2 % yağlı) 40 kV/cm'lik elektrik alanı şiddetini 2 µs süreyle 30 darbelik DEA uygulanması (22°C) sonucunda saklama süresinin uzatıldığını belirtmişlerdir. Qin ve ark. (1995) her biri 7 darbelik 2 adet ve 6 darbelik 1 adet 40 kV/cm'lik elektrik alanı şiddetinin uygulanması sonucunda sütün (2 % yağ) saklama süresini buzdolabı sıcaklığında 2 hafta olarak rapor etmişlerdir. Pastörize ve DEA uygulanmış sütün kimyasal, fiziksel ve duyuşsal özelliklerinde bir farklılık tespit edilmemiştir.

Calderon-Miranda (1998), *Listeria innocua* eklediği sütte 30 kV/cm'lik elektrik alanı uygulanması sonucunda bakteri sayısında 2.5 log'luk azalma belirlemiştir. Aynı koşullarda sütte 10 IU nislin katılması sonucunda 3.4 log'luk azalmalar tespit edilmiştir. Reina ve ark. (1998) pastörize süt ve süt tozuna ekledikleri *Listeria monocytogenes* üzerine 25°C'de DEA uygulaması sonucunda 3 log'luk ve 50°C'de 4 log'luk azalma belirlemiştir. Süt tozuna eklenmiş *Escherichia coli* sayısında 45 kV/cm'lik elektrik alanının 6 µs süreyle 64 vuruş uygulanması sonucunda (15°C'de) 3 log'luk azalma tespit edilmiştir (Martin-Belloso ve ark. 1997).

d) Yumurta prosesi

Dunn ve Pearlman (1987) sıvı yumurta, pastörize sıvı yumurta ve potasyum sorbat eklenmiş sıvı yumurta üzerine 36 kV/cm'lik elektrik alanı uygulayarak 4 ve 10°C'de saklamışlar ve yumurtaların saklama süresininin uzatılmasında sıcaklık, pH, antimikrobiyal madde gibi engeller parametrelerinin önemli olduğunu belirtmişlerdir. *E. coli* eklenen sıvı yumurtaya 37°C'de 26 kV/cm'lik elektrik alanı 2 ve 4 µs süreyle 1.25 ve 2.5 Hz vuruş gücüyle 100 darbe uygulandıında 6'luk azalma olmuştur (Martin-Belloso ve ark. 1997). Ayrıca yumurta proteinlerinde çökeltme olmadığı belirtilmiştir. Qin ve ark (1995) ve Ma ve ark. (1997) sıvı yumurta üzerine DEA uygulanması sonucunda normal yumurtaya göre viskozitede azalma ve renginde artış (b-karoten yönünden) belirtmişlerdir. Bu araştırmada DEA uygulanmış ve uygulanmamış yumurta ürünlerinin duyuşsal özelliklerinde farklılık gözlenmemiştir.

e) Çorba prosesi

Vega-Mercado ve ark. (1996a) yeşil bezelye çorbasına 55°C'de 35 kV/cm'lik elektrik alanını 16 darbe olarak uygulamışlar ve fasulye çorbasının saklama süresi 4°C'de 4 hafta olarak belirtilirken, 22 ve 33°C'lerin saklama için uygunsuz olduğunu belirtmişlerdir. DEA uygulanmasından sonra ve 4 haftalık saklama süresince bezelye çorbasının fiziksel, kimyasal ve duyuşal özelliklerinde farklılık gözlenmemiştir.

f) Genetik materyal aktarımı

Miller ve ark. (1988) hayvan ve bitki hücrelerine elektrik alanı uygulamışlar ve bu uygulama sonucunda hücre zarı geçirgenliğinin artmasıyla hücre içine DNA alınımının sağlandığını belirtmişlerdir. Yine bu araştırmada 9-13 kV/cm'lik elektrik alanının 2.4-2.6 µs süreyle uygulanması sonucunda *Campylobacter jejuni* hücrelerine plazmit DNA'sı aktarılmıştır.

DEA Teknolojisinin Sınırlamaları

DEA teknolojisi şimdilik bazı alanlarda uygulanabilmekte ve önem arz eden noktalar bulunmaktadır.

i) Şu anda DEA uygulamasında kullanılan araç gereçler iki kuruluş geliştirdiği teknoloji ile sınırlıdır (Purepulse Ltd. ve Thomson-CSF). Bunların dışında farklı koşullarda ve farklı araç gereçlerle DEA uygulanmakta fakat bu uygulamalar arasında belirli bir standart bulunmamaktadır. Bu nedenle DEA sisteminin ticari olarak uygulanabilmesi için geliştirilmesi gerekmektedir.

ii) DEA uygulaması esnasında oluşacak köpük, eşit dağılımlı elektrik alanı uygulanmasını ve güvenliği etkiler. Yüksek voltajlı elektrik akımı uygulanması sırasında gaz kabarcıkları içinde kısmi elektrik boşalması olacağından sıvının patlaması kabarcıkların sayısını artırır. Kabarcıklar iki elektrot arasında köprü oluşturacak kadar büyürse sistemde elektrik kıvılcımı oluştururlar. Bu nedenle elektrik alanı uygulanan gıdalarda gaz kabarcıkları bulunmamalı veya oluşması engellenmelidir. DEA uygulanacak sıvıda (besiyeri veya gıda) gaz kabarcığı oluşumu sıvıya vakum parçalama uygulanarak engellenebilir.

iii) Yüksek voltajlı elektrik alanı tekniğinin sınırlı uygulama alanı bulunmaktadır ve bazı gıda ürünlerine uygulanabilmektedir. DEA uygulamasının etkinliği gıdanın elektrik özelliği (dielektrik), fiziksel ve kimyasal yapısı ile yakından ilgilidir. Homojenize sıvıların düşük elektrik iletkenlikleri nedeniyle DEA metodunun uygulanması için idealdir. Tuzsuz gıdaların elektrik iletkenliği 0.1 ile 0.5 S/m arasındadır. Tuz, sıvının elektrik iletkenliğini artırır. Yüksek elektrik iletkenliğine sahip gıdalar uygulama kabının direncini azaltır ve elektrik alanı oluşturulması için yüksek enerjiye gereksinim duyar. Bu nedenle tuz, gıdalara eklenecekse DEA uygulandıktan sonra eklenmelidir.

iv) DEA uygulanacak gıdada bulunan partiküllerin büyüklüğü de önemlidir. Sıvı içindeki partikül büyüklüğü elektrotlar arasındaki boşluktan daha küçük olmalıdır.

v) DEA uygulamasında kullanılan araç gereçlerin çokluğu ve farklılıkları proses koşullarının belirlenmesinde bir sonuca gidilmesini sınırlamakta ve standart bir metot oluşturulmasını engellemektedir.

Mikrobiyal İnaktivasyon Mekanizması

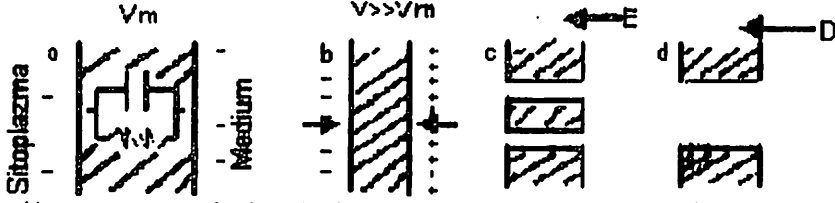
Biyolojik hücreler üzerine elektrik alanı uygulanması hücre zarında elektrik potansiyeli farkı yaratır (Choenbach ve ark. 1997). Genel olarak hücre zarı üzerinde 1 V'luk bir potansiyel farkı vardır. Eğer bu potansiyel farkı uygulanan elektrik alanı ile aşırsa zar da bozulmalar oluşur. DEA metoduyla mikroorganizmaların inaktivasyonu için birçok teori sunulmuştur. Fakat mikroorganizmaların inaktivasyonu ile ilgili iki temel mekanizma bulunmaktadır: elektrik kırılması ve elektroporasyon.

a) Elektrik kırılması

Üzerinde en çok çalışılan inaktivasyon mekanizması elektrik yüküne bağlı olarak hücre zarında kırılma ve hücre zarının bozulmasıdır. DEA uygulamalarında Hücre zarı elektrik yükü içeren bir kapasitör olarak düşünülmektedir. Uygulanan elektrik alanı 1 V'luk hücre zarı potansiyelini aşarsa hücre zarı bozulması olur. Bu volt miktarı *E. coli* hücresi için 10 kV/cm'lik bir dış elektrik alanına eşdeğerdir (Castro ve ark. 1993). Şekil 4'de geri dönüşümlü ve dönüşümsüz kırılmanın şematik görünümü verilmiştir. Hücre zarına yüksek elektrik darbelerinin uygulanması hücre zarında elektrik potansiyelinin artmasına neden olur. Elektrik uygulaması sonucunda hücre yüzeyinin her iki tarafında zıt yükler artar. Zar kalınlığının azalması sonucunda zıt yükler birbirini çektiğinden zar kalınlığı azalır. Hücre zarı üzerindeki zıt yüklerin uzaklığı azalır ve daha kuvvetli çekmeye başlarlar. Öte yandan hücrenin elastik veya viskoelastik özelliği zıt yüklerin çekiminin tersi yönünde hareket ederek daralmaya karşı koyar. Fakat zıt yüklerin çekimi elastik yapının koruma kuvvetinden daha fazla olduğundan zar kalınlığı azalır ve hücre zarında kırılmaların olduğu gözlenmiştir. Hücre zarında kırılma oluşturulabilmesi için en 2-20 kV/cm'lik DEA uygulanması gerekir (Zimmermann 1986). Kırılma hücre zarında boşluklar ortaya çıkarır ve bu boşluklar elektrik akımını sağlayan sıvı ile dolar. Eğer oluşan kırılma alanları toplam hücre zarı alanından fazla olursa kırılma geri dönüşümsüzdür ve hücre parçalanır. DEA uygulanmasında hücre zarı üzerinde oluşacak potansiyel farkı uygulanan voltaj miktarı ve hücrenin yarıçapıyla orantılıdır.

b) Elektroporasyon

Hücrenin yüksek voltajlı elektrik alanı vuruşlarına maruz bırakılması sonucunda hücre zarının yağ ve protein yapısı bozulur (Castro ve ark. 1993). Elektrik alanı uygulanmasıyla hücre zarında sıkışma ve gözenek oluşumu sonucunda zar geçirgenliğinin artması elektroporasyon olarak adlandırılmaktadır (Vega-Mercado ve ark. 1996b). Hücrenin yüksek voltajlı DEA vuruşlarına maruz bırakılması sonucunda hücre zarının yağ ve protein yapısında bozulmalar ortaya çıkar (Castro ve ark. 1993). Hücre küçük moleküllere geçirgen hale gelir ve bu moleküllerin hücre içine girmesiyle zar şişer ve kırılmalar oluşur (Şekil 5) (Vega-Mercado 1996b). Kinoshita ve Tsong (1977, 1979) 1 mm kalınlığındaki insan eritrositleri üzerine elektrik alanı uygulanması sonucunda 1 nm'lik gözeneklerin oluştuğunu belirtmişlerdir. Gözenek oluşumu iki aşamada gerçekleşmiştir (Kinoshita ve Tsong 1977); elektrik alanı ilk önce hücre zarı üzerinde potansiyel farkını oluşturur ve sonra zamana bağlı olarak gözenekler ortaya çıkmıştır. Gözeneklerin büyüklüğü elektrik alanının şiddetine, vuruş süresine ve besiyerinin iyon kuvvetine bağlıdır.



Şekil 4. Hücre zarının yüksek voltajlı DEA ile geri dönüşümlü ve dönüşümsüz elektrik kırılması. (a) Elektrik voltajı (V_m) uygulanan hücre zarı, (b) hücre zarının zıt yüklerle sıkışması, (c) geri dönüşümlü zar kırılması, (d) geniş aralıkların oluşmasıyla geri dönüşümsüz zar kırılması (Zimmermann, 1986).

Gözenek oluşumu

başlangıcı

Elektrik alanı



Su

Şişme ————— Hücre şişmesi ————— İnaktif hücre —

Şekil 5. Bir hücre zarının elektroporasyonu (Vega-Mercado 1996b).

DEA Uygulamasını Etkileyen Faktörler

DEA uygulamasının etkilendiği diğer bir parametrede gıdaların elektrik direncidir. Tablo 1'de de görüldüğü gibi sıvı yumurtanın elektrik direnci verilen gıdalar içinde en az olması nedeniyle daha uzun süreyle DEA uygulanmalıdır. Mikroorganizmaların DEA yöntemiyle gıda materyali içindeki inaktivasyonu buffırlı solüsyonlardan farklıdır (Zhang ve ark. 1994). Genel olarak, DEA'nın öldürücü etkisi iyonik kuvvetiyle ters orantılıdır ve elektrik iletkenliği ile artar (Tablo 1).

Tablo 1. DEA uygulaması süresince bazı gıdaların elektrik direnci ve iletkenliği (Martin-Bellosso ve ark. 1997).

Gıda	Direnç (Ω)	İletkenlik (Ω cm)	Sıcaklık ($^{\circ}$ C)
Elma suyu	4.5	341	45
Bezelye çorbası	2.5	95	53
Süt tozu	2.6	197	50
Yoğurt	2.88	112	55
Portakal suyu	6.1	234	42
Sıvı yumurta	1.9	72	37

Yüksek Gerilim Döbeli Elektrik Alanı Tekniğinin Gıdaların Korunmasında Kullanımı

Hücre zarındaki protein kanalları, elektrik alanına çok duyarlıdır ve elektroforez için en duyarlı kısım olarak belirtilmektedir (Tsong 1990). Hücre zarındaki proteinlerle birlikte, yağların, şekerlerin ve iyonların elektrik yükü ve bu moleküllerin polarizasyonu da elektroporasyon oluşmasında rol oynarlar. Böylece hücre zarının yapısında bulunan moleküller elektroporasyonda rol oynamaktadırlar. Fakat bu moleküllerin elektroporasyonun ortaya çıkmasında rolü aynı değildir (Tsong 1990).

Sonuçlar ve Gelecekte Yapılması Gerekenler

Sıvılarda mikroorganizmalar yüksek DEA yöntemiyle etkili şekilde inaktive edilmiştir. DEA kan, alg, küf, maya ve bakteri hücrelerinde bozulmaya neden olur. Yarı geçirgen hücre zarının bozulması, hücre şişmesi ve son olarak hücrenin parçalanmasını içermektedir. Süt, sıvı yumurta, yoğurt ve elma suyuna eklenen bakteri, maya ve küf sayısında 5 lok'luk azalma olmuştur, ayrıca sütün lipazı da DEA uygulaması ile inaktive edilmiştir bunun yanında DEA ile sporlar inaktive edilememiştir (Castro ve ark. 1993). Fakat yüksek voltajlı DEA yönteminin güvenli şekilde uygulanabilmesi mikrobiyal inaktivasyonun yanında gıdaların fiziksel, kimyasal, enzim aktivitesi ve besin özelliği üzerindeki etkileri de araştırılmalıdır. DEA yüksek enerji kaybına neden olmadan mikroorganizmaları inaktive etmektedir ve enerji kaybı açısından gıda prosesinde verimli bir yöntemdir. DEA ile yapılan laboratuvar araştırmalarının endüstride uygulanabilmesi için bazı problemler çözülmeli: (1) Gıda akış miktarının ve elektrik alanı vuruşları süresinin ve sayısının belirlenmesi gerekir, (2) prosesin yaygın kullanılabilmesi için uygun güç kaynağı ve kapasite açısından araştırma yapılmalıdır, ve (3) gıdalar DEA uygulaması öncesinde buzdolabında bırakılarak elektrik boğaltılması sırasında enerji ısı kullanımı azaltılabilir.

KAYNAKLAR

- Calderon-Miranda, M.L. 1998. "Inactivation of *Listeria innocua* by pulsed electric fields and nisin". Pullman, WA. Washington State University.
- Castro, A.J., Barbosa-Canovas, G.V. ve Swanson, B.G., 1993. "Microbial inactivation of foods by pulsed electric fields" J. Food Process. Pres. 17:47-73
- Choenbach, K.H., Peterkin, F.E., Alden, R.W. ve Beebe, S.J. 1997. "The effect of pulsed electric fields on biological cells: Experiments and applications" IEEE Trans Plasma Sci. 25(2):284-292
- Dunn, J. 1996. "Pulsed light and pulsed electric field for foods and eggs". Poul. Sci. 75(9):1133-1136.
- Dunn, J.E. ve Pearlman, J.S. 1987. "Methods and apparatus for extending the shelf-life of fluid food products". Maxwell Laboratories, Inc. U. S. Patent 4,693,472.
- Fernandez-Molina, J. J., Barkstrom, E., Torstenson, P., Barbosa-Canovas, G. V. and Swanson, B. G. 1999. Shelf-life extension of raw skim milk by combining heat and pulsed electric fields. Food Researc International, 32:23-25.
- Hengirmen, M.O., Karalı, V.M. ve Erkmen, O. 1999. "Yüksek gerilim elektrik darbelerinin *Escherichia coli* üzerine etkisi". Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 8. Ulusal Kongresi, 6-12 Eylül 1999, Gaziantep, s.752-754.

- Kinosita, K.J. ve Tsong, T.Y. 1977. "Voltage induced pore formation and haemolysis erythrocytes". *Biochim Biophys Acta*. 471:227-242
- Kinosita, K.J. ve Tsong, T.Y. 1979. "Voltage-induced conductance in human erythrocyte membranes". *Biochim. Biophys. Acta*. 554:479-497
- Knorr, D., Geulen, M., Grahl, T. ve Sitzmann, W. 1994. "Food application of high electric field pulses". *Trends Food Sci. Technol.* 3:70-75.
- Ma, L., Chang, F.J. ve Barbosa-Cánovas, G.V. 1997. "Inactivation of *Escherichia coli* in liquid whole eggs using pulsed electric fields technologies". *New frontiers in food engineering. Proceedings of the fifth Conference of Food Engineering. American Institute of Chemical Engineers*. 216-221.
- Martin-Beloso, O., Vega-Mercado, H., Qin, B.L., Chang, F.J., Barbosa-Canovas, G.V. Swanson, B.G. 1997 "Inactivation of *Escherichia coli* suspended in liquid egg using electric fields" *J. Food Process. Pres.* 21:193-208.
- Miller, J.F., Dower, W.J. ve Tompkins, L.S. 1988. "High-voltage electroporation of bacteria: Genetic transformation of *Campylobacter jejuni* with plasmid DNA". *Proc. Natl. Acad. Sci.* 85:856-860
- Pothakamury, U.R., Monsaive-Gonzales, A, Barbosa-Canovas, G.V. ve Swanson, B.G. 1995. "Inactivation of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* in model foods by pulsed electric field technology. *Food Res. Intern.* 28(2):167-171,
- Qin, B., Pothakamury, U.R., Vega, H., Martin, O., Barbosa-Cánovas, G. V. ve Swanson, B.G. 1995. "Food pasteurization using high intensity pulsed electric fields" *J Food Technol.* 49(12):55-60
- Quass, D.W. 1997. "Pulsed electric field processing in the food industry. A status of report on PEF" Palo Alto, CA. Electric Power Research Institute. CR-109742.
- Simpson, M.V., Barbosa-Cánovas, G.V. ve Swanson, B.G. 1995. "The Combined inhibitory effect of lysozyme and high voltage pulsed electric fields on the growth of *Bacillus subtilis* spores". IFT Annual Meeting: Book of Abstracts. 267.
- Sitzmann, V. 1995. "High voltage pulse techniques for food preservation". G. W. Gould. *New methods for food preservation*. London, UK. Blackie Academic and Professional. 236-252.
- Tsong, T.Y. 1990. "Electrical modulation of membrane proteins: Enforced conformational oscillations and biological energy signals" *Annu Rev Biophys Chem.* 19:83-106.
- Vega-Mercado, H., Martin-Beloso, O., Chang, F.-J., Barbosa-Canovas, G.V. ve Swanson, B.G. 1996a. "Inactivation of *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis* suspended in pea soup using pulsed electric fields" *J. Food Process. Pres.* 20(6):501-510.
- Vega-Mercado, H., Pothakamury, U.R., Chang, F.-J., Barbosa-Cánovas, G.V. ve Swanson, B.G. 1996b. "Inactivation of *Escherichia coli* by combining pH, ionic strength and pulsed electric fields hurdles". *Food Res Int.* 29(2):117-121.

Yüksek Gerilim Darbeli Elektrik Alanı Tekniğinin
Gıdaların Korunmasında Kullanımı

- Vega-Mercado, H., Martín-Belloso, O., Qin, B.-L., Chang, F.-J., Gongora-Nieto, M. M., Barbosa-Cánovas, G. V. and Swanson, B. G. 1997. "Non-thermal food preservation: pulsed electric fields". *Trends Food Sci. Technol.* 8(5):151-157
- Zhang, Q.H., Barbosa-Cánovas, G.V. ve Swanson, B.G. 1998. "Engineering aspects of pulsed electric field pasteurization" *J Food Eng.* 25(2):261-281.
- Zhang, Q. H., Chang, F.-J. and Barbosa-Cánovas, G. V. 1994. "Inactivation of microorganisms in a semisolid model food using high voltage pulsed electric fields". *Lebensm. Wiss.u.-Technol.* 27(6):538-543.
- Zimmermann, U. 1986. "Electrical breakdown, electroporabilization and electrofusion". *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol.* 105:175-256.