

**ELMA SUYUNUN ATIMLI ELEKTRİK ALANI İLE
PASTÖRİZASYONU VE KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

PERİHAN ÇELİK

**ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

EYLÜL 2014

Fen Bilimleri Enstitüsü'nün Onayı

Prof. Dr. Yaşar Dürüst

Enstitü Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinde bir tez olarak gerekli çalışmaları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Ömer Zorba

Anabilim Dalı Başkanı

Okuduğumuz bu tezin Yüksek Lisans dereesinde bir tez olarak onaylanması, düşüncemize göre, amaç ve kalite olarak tamamen uygundur.

Doç. Dr. Gülsün Akdemir Evrendilek

Tez Danışmanı

Jüri Üyeleri

İmza

1. Doç. Dr. Gülsün Akdemir Evrendilek.....
2. Doç. Dr. Arzu Çağrı Mehmetoğlu.....
3. Yrd. Doç. Dr. Oktay Yemiş.....

ÖZET

ELMA SUYUNUN ATIMLI ELEKTRİK ALANI İLE PASTÖRİZASYONU VE KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Çelik, Perihan

Yüksek Lisans, Gıda Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Gülsün Akdemir Evrendilek

Eylül 2014, 113 sayfa

Bu tez kapsamında, elma suyu örnekleri atımlı elektrik alanı ile proses edilmiş ve proses parametrelerinin belirlenmesinde merkezi kompozit dizaynı uygulanmıştır. Buna göre farklı elektrik alan şiddeti (kV/cm), frekans (Hz), uygulama süresi (µs) ve enerji (J) değerleri altında proses edilen elma suyunda pH, titrasyon asitliği, °Briks, kondaktivite, renk (L, a ve b), hue, kroma, toplam renk değişimi (TRD), antioksidan kapasite, toplam fenolik madde miktarı, organik asit (tartarik, kuinik, okzalik, malik, sitrik, fumarik ve askorbik), fenolik bileşenler (kafeik asit, (-) epikateşin, klorojenik asit, p-kumarik asit, ferrulik asit, sihapik asit, kuersetin, gallik asit ve kateşin), hidroksi metil furfural (HMF) ve furfural değerlerindeki değişim tespit edilmiştir. Yapılan analizlerde elma sularında farklı proses parametreleri altında kroma, hue ve TRD değerlerindeki değişim önemli bulunmuştur ($p \leq 0.05$). Organik asitler, HMF ve furfural değerleri ve fenolik bileşenlerin çoğunda önemli bir değişim görülmezken ($p > 0.05$), fenolik maddelerden (-) epikateşin, ferrulik asit ve gallik asit

miktarlarındaki değişim önemli bulunmuştır ($p\leq 0.05$). Yapılan çalışmalar AEA prosesinin elma suyunun kalite özelliklerinde önemli bir değişime neden olmadan proses edilebileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Atılımlı elektrik akımı (PEF), elma suyu, fenolik bileşenler, organik asitler, kalite özellikleri.

ABSTRACT

PASTEURIZATION OF APPLE JUICE BY PULSED ELECTRIC FIELDS AND EFFECTS ON QUALITY PROPERTIES

Çelik Perihan

MSc., Department of Food Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Gülsün Akdemir Evrendilek

September 2014, 113 pages

Apple juice samples were processed by pulsed electric fields (PEF), and processing parameters were determined by central composite design in this thesis. According to the experimental design apple juice samples were processed under different electric field strength (kV/cm), frequency (Hz), treatment time (μ s) and energy (J) values, and changes on pH, °Brix, titratable acidity, conductivity, color (L, a and b), hue, chroma, total color difference (TCD), antioxidant capacity, total phenolic substance content, organic acids (tartaric, quinic, oxalic, malic, citric, fumaric and ascorbic acids), phenolic compounds (chlorogenic acid, caffeic acid, (-)epicatechin, p-cumaric acid, ferulic acid, sinapic acid, quercetin, gallic acid and catechin), hydroxyl methyl furfural (HMF) and furfural were measured. It was measured that compare to control samples changes on chroma, hue and TRD were significant ($p \leq 0.05$). Even though no significant changes were reported on organic acids, HMF, furfural and most of the phenolic compounds ($p > 0.05$); significant difference was detected on phenolic

compounds of (-) epicatechin, ferrulic acid and gallic acid ($p \leq 0.05$). It is revealed that PEF can successfully be applied processing of apple juice without significantly changing important quality parameters.

Keywords: Pulsed electric fields (PEF), apple juice, phenolic compounds, organic acids, quality characteristics.

Aileme

TEŞEKKÜR

Araştırma konumun seçiminde yardımcı olan ve tezimin her aşamasında benden bilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım sayın Doç. Dr. Gülsün AKDEMİR EVRENDİLEK'e sonsuz teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım. Tüm öğrenim hayatım boyunca bana inanan ve beni hep destekleyen canım AİLEM'E ve tez dönemim boyunca bana destek olan çalıştığım şirket AKDAŞ ET ÜRÜNLERİ'ni ailesine sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Organik asit, fenolik madde, HMF ve furfural analizlerinde büyük emeği geçen doktora öğrencisi Arş. Gör. Erdal AĞÇAM'a, spektrofotometrik analizlerde yardımcı olan Gıda Mühendisi Burak Bilen'e ve tez jüri üyeleri sayın Doç. Dr. Arzu ÇAĞRI MEHMETOĞLU'na ve Yrd. Doç. Dr. Oktay YEMİŞ'e teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmaların gerçekleşmesinde gerekli olan alt yapının oluşturulmasında finansal desteklerinden dolayı TÜBİTAK (proje no 104 O 585) ve Kalkınma Bakanlığı Devlet Planlama Teşkilatı'na (YENİGIDAM proje no DPT 2009 K 120 410) teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
İTHAF.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	İx
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
1.GİRİŞ.....	1
2.KURUMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	7
3.MATERYAL VE METOT.....	12
3.1.Materyal.....	12
3.1.1.Elma suyu.....	12
3.1.2.Atımlı elektrik akım (PEF) jeneratörü.....	12
3.2.Metot.....	14
3.2.1.Elma suyu örneklerine atımlı elektrik akımı uygulanması.....	14
3.2.2.Fiziksel ve kimyasal analizler.....	20
3.2.2.1.Asitlik.....	20
3.2.2.2.Titrasyon asitliği.....	20
3.2.2.3.Briks.....	21

3.2.2.4.Kondaktivite (iletkenlik) ölçümü.....	21
3.2.2.5.Renk ölçümü.....	21
3.2.2.6.Toplam fenolik madde miktarı tayini.....	22
3.2.2.7.Toplam antioksidan kapasitesi tayini.....	23
3.2.2.8.HMF analizi.....	23
3.2.2.9.Fenolik bileşenlerin analizi.....	25
3.2.2.10.Organik asit tayini.....	27
3.2.2.11.Verilerin analizi.....	28
4.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	29
5.SONUÇLAR.....	75
KAYNAKLAR.....	77
EKLER	
EK A.....	83
EK B.....	84
EK C.....	85
EK D.....	86
EK E.....	87
EK F.....	93
EK G.....	99
EK H.....	104
EK I.....	110

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

3.1.	Merkezi kompozit dizayna göre deneme sayısı ve sırası.....	15
3.2.	Fenolik bileşikler için mobil faz gradiyent programı.....	27
4.1.	Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US) ve sıcaklığın enerji değişimi ile ilişkisi.....	30
4.2.	Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin pH değişimi ile ilişkisi.....	31
4.3.	Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin °Briks değişimi ile ilişkisi.....	33
4.4.	Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin TA değişimi ile ilişkisi.....	35
4.5.	Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin iletkenlik değişimi ile ilişkisi.....	36
4.6.	Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin antioksidant kapasite (% AK) değişimi ile ilişkisi.....	38

4.7.	Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin toplam fenolik madde (TFM mg/L) değişimi ile ilişkisi.....	39
4.8.	Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin renk (L, a ve b) değerlerindeki değişimi ile ilişkisi.....	41
4.9.	Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin kroma değerlerindeki değişim ile ilişkisi.....	43
4.10.	Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin hue değerlerindeki değişim ile ilişkisi.....	44
4.11.	Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin TRD değerlerindeki değişim ile ilişkisi.....	46
4.12.	Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin tartarik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.....	48
4.13.	Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin kuinik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.....	49
4.14.	Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin okzalik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.....	51
4.15.	Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin malik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.....	52
4.16.	Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin fumarik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.....	54
4.17.	Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve	

enerjinin askorbik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.....	55
4.18. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin sitrik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.....	57
4.19. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin (-) epikateşin (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.....	58
4.20. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin kaffeik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.....	60
4.21. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin klorojenik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.....	61
4.22. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin p-kumarik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.....	63
4.23. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin ferrulik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.....	65
4.24. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin shapik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.....	66
4.25. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin kuersetin (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.....	68
4.26. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin gallik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.....	69
4.27. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin (+) kateşin (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.....	71
4.28. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve	

enerjinin furfural (ppb) miktarındaki değişim ile ilişkisi.....	73
4.29. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin HMF (ppb) miktarındaki değişim ile ilişkisi.....	74

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

3.1.	Deneylerde kullanılan laboratuvar ölçekli PEF sistemi.....	13
3.2.	İki kutuplu kare şeklinde uygulanan elektrik akım dalgası (*Ch1 uygulanan elektrik akım şiddetini (voltaj), Ch2 ise direnci göstermektedir).....	13
3.3.	Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan gallik asit standart eğrisi.....	22
3.4.	Hidroksi metil furfural tayin yönteminin akış şeması.....	24
3.5.	Fenolik bileşenlerin ekstraksiyon yöntemi.....	26
4.1.	Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US) ve sıcaklığın fonksiyonu olarak enerji değişimi.....	29
4.2.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak pH değişimi.....	30
4.3.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak °Briks değişimi.....	32
4.4.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak TA değişimi.....	34
4.5.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak iletkenlik değişimi.....	35

4.6.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak antioksidant kapasite (% AK) değişimi.....	37
4.7.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak toplam fenolik madde (TFM mg/L) değişimi.....	39
4.8.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak renk (L, a ve b) değerlerindeki değişim.....	40
4.9.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak kroma değerlerindeki değişim.....	42
4.10.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak hue değerlerindeki değişim.....	43
4.11.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak TRD değerlerindeki değişim.....	45
4.12.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak tartarik asit (mg/L) miktarındaki değişim.....	47
4.13.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak kuinik asit (mg/L) miktarındaki değişim.....	48
4.14.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak okzalik asit (mg/L) miktarındaki değişim.....	50
4.15.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak malik asit (mg/L) miktarındaki değişim.....	52
4.16.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak fumarik asit (mg/L) miktarındaki değişim.....	53

4.17.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak askorbik asit (mg/L) miktarındaki değişim.....	54
4.18.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak sitrik asit (mg/L) miktarındaki değişim.....	56
4.19.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak (-) epikateşin (mg/L) miktarındaki değişim.....	58
4.20.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak kaffeik asit (mg/L) miktarındaki değişim.....	59
4.21.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak klorojenik asit (mg/L) miktarındaki değişim.....	60
4.22.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak p-kumarik asit (mg/L) miktarındaki değişim.....	62
4.23.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak ferrulik asit (mg/L) miktarındaki değişim.....	64
4.24.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak shapik asit (mg/L) miktarındaki değişim.....	65
4.25.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak kuersetin (mg/L) miktarındaki değişim.....	67
4.26.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak gallik asit (mg/L) miktarındaki değişim.....	69
4.27.	Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak (+) kateşin (mg/L) miktarındaki değişim.....	70

4.28. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak furfural (ppb) miktarındaki değişim.....	72
4.29. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak HMF (ppb) miktarındaki değişim.....	73

1.GİRİŞ

Elma (*Malus domestica*), gülgiller (Rosaceae) familyasından kültürü yapılan bir meyve türüdür. Tüketim miktarı en fazla artan meyve ve sebzelerin başında elma gelmektedir. Son 30 yıl içerisinde ülkemizde meyve ve sebze tüketimi genel olarak artış eğilimi göstermektedir. Meyve ve sebze ürünleri, gerek sanayi üretimi ve gerekse ihracatımızda önemli bir yer tutmakta olup toplam tarım ürünleri ihracatımızın yaklaşık %25'ini oluşturmaktadır. Tüketicilerin beslenme alışkanlıkları ve buna bağlı olarak tüketilecekleri besinlerden beklentilerinde zaman içinde değişimler olmuştur. Bu yüzden daha üstün duyuşal özelliklere ve besin değere sahip taze sıkılmış meyve suyu tüketimi de insan diyetindeki bu değişimlerden biri olarak ortaya çıkmıştır. Meyve sularında en yaygın şekilde kullanılan pastörizasyon yöntemi HTST (yüksek sıcaklık, kısa süre) pastörizasyondur. Bu yöntemde, elma suyuna 25-30 sn süre ile 76.6- 87.7 °C arasında ısı işlem uygulanır (Moyer ve Aitken, 1980). Isıl işlem saprofit mikroorganizmaları oldukça başarılı şekilde inaktive eder. Ancak, meyve suları ısıya duyarlı gıdalardır ve ısısal pastörizasyon meyve sularının organoleptik, besinsel ve fizikokimyasal özelliklerinde büyük ölçüde tahribata neden olmaktadır (Qin ve ark., 1995; Espachs- Barroso ve ark., 2003; Elez-Martinez ve Martin- Belloso, 2005). Bugünün tüketicileri yüksek kaliteli tazeye yakın ve mikrobiyolojik açıdan güvenli gıdaları talep etmektedir (Mittal ve Griffiths, 2005). Bu nedenle, gıda güvenliğinin sağlandığı, besinsel ve duyuşal özelliklerin korunduğı düşük işlem sıcaklığı ve enerji tüketimiyle ürünlerin proses edildiğı alternatif pastörizasyon metotlarını geliştirmeye yönelik arayışlar içine girilmiştir (Smith ve ark., 2002).

Isıya duyarlı gıdaların işlenmesi için kullanılan yenilikçi teknolojilerden biri de yüksek yoğunluklu elektrikli atım uygulamasıdır. Atımlı elektrik alanı (pulsed electric fields, PEF), iki elektrot arasında akışı sağlanan sıvı gıdaya kısa süreli (1-10 μ s) yüksek yoğunluklu elektrik akımı (20-80 kV/cm) verilmesi ile gerçekleştirilir. PEF uygulamaları mikrosaniye gibi kısa zaman dilimlerinde düşük ısılarda gerçekleşir; bu nedenle proses edilen gıdada sıcaklık artışı ve bu artışın neden olduğu enerji kaybı minimum düzeyde kalır (Sitzmann, 1994; Qin ve ark., 1994; Qin ve ark., 1995; Vega-Mercado ve ark., 1996).

Meyve suları birçok özelliğinden ötürü PEF pastörizasyonu için uygun gıdalardır. İçeriğindeki yüksek asit PEF ile tahrip olmuş ancak canlılığını yitirmemiş hücrelerin kendilerini onarmalarına engel olur. Ayrıca asitlik belirli oranda hidrojen iyonu konsantrasyonunun varlığını sağladığı için PEF ile proseste önemli ve gerekli olan kondaktiviteyi sağlamaktadır (Raso ve ark., 1998). Ayrıca, düşük protein içeriğine sahip olduklarından PEF uygulamaları esnasında elektrik atımları başarılı şekilde uygulanırken; koruma kalkanı oluşturan anot elektrot üzerinde oluşan birikim minimumdur. Bu tabaka, sistemde kontaminasyona sebep olabilir; ve hatta uygulama odalarında elektriksel kırılmalar oluşturabilir (Marquez ve ark., 1997). PEF, meyve suyunda aroma, renk ve besin içeriğinde önemli bir tahribata neden olmaksızın, patojen ve saprofit mikroorganizmaları inaktive eder (Yeom ve ark., 2000; Cserhalmi ve ark., 2006).

Elma üretimi bakımından ülkemiz dünya sıralamasında ilk 5'te yer almaktadır. 2007 yılı verilerine göre en sık işlenen 7 meyve (kayısı, şeftali, vişne, portakal, üzüm, nar ve elma) arasında meyve üretiminin % 28'ini elma oluşturmaktadır. Yine konsantre üretiminde en önemli kalemi elma suyu konsantresi oluşturmaktadır. Türkiye'de meyve suyu endüstrisinde işlenen meyveler arasında elma % 49'luk payla birinci sırada yer almaktadır (Anonim, 2008).

Atımlı Elektrik Akım Prosesi: Atımlı elektrik alan (pulsed electric fields-PEF), “atımlı”, “darbeli” elektrik alan, “yüksek voltaj elektrik alan” uygulamaları olarak da

belirtilmektedir. Isıl işlemlerin yerini alabilecek uygulamalardan biri olan atımlı elektrik alan yöntemi, gıdaların duysal özelliklerinde değışme ve besin değerinde azalma gibi herhangi bir olumsuzluk ortaya çıkarmadan mikroorganizmaların vejetatif formlarının inaktivasyonunda önemli etkiler gösteren, çok sayıda gıdanın pastörizasyonunda tercih edilen etkin bir yöntemdir (Bendicho ve ark., 2002; Evrendilek ve ark., 2000).

PEF, iki elektrot arasından akışı sağlanan gıdaya 20-80 kV/cm arasında değışebilen yüksek voltajlı elektrik akımı uygulanması ile gerçekleşir. PEF prosesleri oda sıcaklığında ya da oda sıcaklığının altındaki ve biraz üstündeki sıcaklıklarda 1 sn'den az bir zaman diliminde uygulanır (Quass, 1997). Bu proses düşük sıcaklıklarda gıda sterilizasyonuna imkan veren bir uygulama olduğundan geleneksel pastörizasyon yöntemlerine alternatif teşkil eder (Anonim, 2009).

PEF ile muamele edilmiş bir gıdada duysal ve fiziksel olarak meydana gelen kayıplar önemli ölçüde azaltılabilmekte ya da tamamen önlenebilmektedir. Bu nedenledir ki; gıdaların nitelikleri yönünden kıyaslandığında PEF'in diğer geleneksel pastörizasyon yöntemlerinden üstün bir teknik olduğu söylenebilir (Quass, 1997).

Yapılan bazı çalışmalarda PEF uygulamalarının gıdada bileşen kayıplarını önlediği sonucuna varılmasına rağmen yine de bu teknolojiden bir gıda prosesi olarak yararlanmadan önce gıdaların niteliklerinin ve kimyasal olarak PEF uygulamasının etkilerinin iyi anlaşılması gerektiği vurgulanmıştır (Qin ve ark., 1995). Gıdaların PEF ile muamelesi günümüzde hala araştırılmaya devam eden bir konudur (Anonim, 2009).

PEF uygulamalarında ulaşılan en büyük sıcaklık değeri, termal pastörizasyondaki maksimum sıcaklık değerinden düşüktür. Böylelikle üründeki aroma maddelerinin kaybına ve/veya ısıl uygulamaya bağlı yeni aroma oluşumuna engel olunur (Anonim, 2009). PEF ile muamele görmüş hücrelerin membranları küçük molekülleri geçirgen bir hal alır. Oluşan

geçirgen yapı zamanla hücrenin şişmesine ve hücre membranında giderek artan parçalanmalara sebebiyet verir (Anonim, 2010).

Atımlı Elektrik Akımı Sistem Ekipmanları: İlk dizayn edilen PEF sistemleri kesikli sistemler olmakla beraber son dizayn edilen sistemler sürekli akış sağlayan sistemlerdir. Deneysel çalışmalarda daha çok laboratuvar ölçekli sistemler kullanılmakla birlikte; günümüzde pilot veya endüstriyel ölçekli sistemlerde PEF uygulamalarında daha çok PurePulse Teknolojileri, Inc. ve Thomson-CSF olmak üzere iki ticari sistemin varlığından söz edilmektedir (Anonim, 2000).

Elektrik Akım Jeneratörü (Yüksek Voltaj Sağlayan Güç Kaynağı)- Kapasitör: Yüksek voltaj sağlayan jeneratör düşük seviyedeki enerjiyi yüksek enerjiye çevirir ve PEF sistemine yüksek voltaj sağlar. Düşük seviyedeki voltaj bir kapasitör vasıtasıyla sistemde biriktirilip depo edilir ve ardından hemen yüksek seviyedeki voltaja çevrilip elektrik akımı olarak üretilir. Üretilen yüksek voltajlı elektrik akımı mikro saniyelik sürelerde uygulama odasındaki gıdaya verilir (Zhang ve ark., 1995).

Yüksek Akım Uygulama Odacıkları: Atımlı elektrik akım sistemi gıdaya yüksek voltaj iletiminin gerçekleştiği ve içinde elektrotların olduğu uygulama odacıklarında meydana gelir. Kullanılan farklı tipte uygulama odacıkları vardır (Zhang ve ark., 1995).

Sıvı Gıdanın PEF Sisteminde Taşınımını Sağlayan Sıvı Taşıma Sistemi: Laboratuvar ölçekli PEF sistemlerinde sıvı taşıma sistemi başlangıç örneği, proses edilecek örnek, proses edilmiş analize alınacak ve atılacak örnekleri içeren örnek kapları, sıvı gıdanın uygulama odacıklarına taşınımını sağlayan esnek plastik tüpler ile gıdanın yapısına uygun nitelikteki, ürünün uygulama odacıklarına iletimini sağlayan bir pompadan oluşmaktadır (Altuntaş ve ark., 2008).

PEF Proses Parametreleri: PEF uygulamalarında sisteme verilecek elektrik akımı ve bu akımın sistemde kalış süresi aşağıda belirtilen faktörlere bağlı olarak değişim gösterir ve de bu faktörler kullanılarak hesaplanır.

D: İşlem odasında iki elektrot arasındaki uzaklık (cm)

Φ : İşlem odacığı çapı (cm)

τ : Her bir atımın süresi-genişliği (μ s)

f: Frekans (Atım/s): Uygulanan elektrik atımlarının sıklığı

n: Odacık sayısı

V: Uygulanan voltaj

I: Akım (A)

t_c : Sirkülasyon zamanı (dak)

V: Sirkülasyon hacmi (mL)

Q: Gıdanın akış hızı (mL/dak)

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

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

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

E_p : Uygulanan elektrik alan şiddeti (kV/cm)

$E_p = V / (1000D)$ (kV/cm)

$t_r = \text{Uygulama süresi } (\mu s) \quad t_r = D/Q_v \text{ (s)}$

Q_v : Gıdanın ortalama akış hızı

$$Q_v = Q / [(3.14/4) 60 \Phi^2] \text{ (cm/s)}$$

n_p = Gıdaya verilen toplam atım sayısı

$$n_p = t_r f$$

n_t : Proses edilen örnek sayısı

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

N: Toplam işlem zamanı

$$N = n_p \tau n n_t \text{ (}\mu\text{s)}$$

W: Saniyedeki enerji girişi

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

T: Ardışık iki uygulama odacığında meydana gelen sıcaklık artışı

$$\Delta T = [(E_p^2) n_p \tau \sigma] / (0.01 \rho C_p) \text{ (}^\circ\text{C)}$$

PEF prosesi esnasında monitör vasıtasıyla kontrol edilebilen önemli parametreler şunlardır:

- Verilen elektrik alanın şiddeti-volt
- Verilen elektrik alanın direnci-amper
- Elektrik akımı uygulama süresi- μs
- Uygulanan elektrik akımının dalga şekli
- Uygulanan elektrik akımının tekrarlama oranı-frekans
- Her işlem odasına giriş çıkış sıcaklıkları- $^\circ\text{C}$
- Akış hızı-mL/s

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

PEF ile farklı meyve suları ve düşük vizkoziteli ürünler başarılı bir şekilde proses edilmiştir. Örneğin Vega-Mercado ve ark. (1996) bezelye çorbasına 16 atım ve 35 kV/cm elektrik akımına maruz kalacak şekilde 2 basamaklı bir PEF işlemi uygulamışlardır. Uygulamanın iki basamaklı gerçekleşmesinde amaç proses esnasında sıcaklığın 55°C'nin üzerine çıkmasını önlemektir. PEF işlemi sonrası bezelye çorbası 4 haftayı aşkın bir süre buzdolabı sıcaklıklarında depolanmıştır. Hem PEF prosesi sonrası hem de 4 haftalık depolama sonrası ürünün duyusal, fiziksel ve kimyasal özelliklerinde herhangi bir farklılık görülmemiştir.

Süt ve süt ürünlerinin PEF ile prosesinde de farklı çalışmalar yapılmıştır. Fernandez-Molina ve ark. (2005), logaritmik azalan atım modeli kullanılarak 2µs'lik zaman aralıklarında 30 atım ve 40kV/cm elektrik akım şiddeti uygulanan yağsız çiğ sütte (% 0.2 yağ içeren) raf ömrünü araştırmışlardır. Artı dört derecede iki hafta depolama sonrasında PEF ve ısıl işlemle (80°C'de 6 s) proses edilen sütlerin raf ömürleri karşılaştırılmış ve ikinci uygulamadaki örneklerin bozulmadan kalma süresinin 22 gün kadar fazla olduğu gözlenmiştir. PEF uygulaması boyunca yağsız çiğ sütün sıcaklığı 28°C'nin üzerine çıkmamıştır. Qin ve ark. (1995), süt numunelerine her biri 7 atım olan iki basamaklı ve 6 atım olan bir basamaklı, 40 kV/cm elektrik akım şiddeti uygulamışlardır. Süt örneklerinin buzdolabı sıcaklığında 2 haftalık bir depolama süresi sonrasında fiziksel ve kimyasal özelliklerinde net bir değişiklik gözlememişlerdir.

Yaygın olarak tüketilmesinden dolayı çalışmalar daha çok portakal, elma ve domates suyunda yoğunlaşmıştır. Elma suyu oldukça fazla tuketlenen bir meyve suyu olduğu için atımlı elektrik akımı (PEF) ile elma suyunun prosesine ilişkin çalışmalara rastlamak mümkündür. Golden Delicious türü elmalardan ekstrakte edilen elma suyunun PEF ve HTST metotlarıyla pastörize edilmesinde 4 s atım genişliğine sahip bipolar atım modeli kullanılmış ve elma suyu 35 kV/cm elektrik akımında 1200 pps frekansta proses edilmiştir. Termal pastörizasyon ise laboratuvar koşullarında 90°C de 30 s'de uygulanmıştır. Her iki yöntemin de elma suyundaki pH, toplam asitlik, fenolik madde ve uçucu bileşenlerine etkisi araştırılmıştır. pH'da minimal değişiklikler saptanırken; asitlikte önemli bir değişim gözlenmemiştir. İki uygulama karşılaştırıldığında fenolik içerik ve uçucu bileşen bakımından önemli istatistiksel farklılıklar grlmştir. Yapılan araştırma sonucunda, PEF'in elma suyu üzerindeki bazı kalite özelliklerini korumasının yanı sıra mikrobiyal inaktivasyon başarısı da kanıtlanmıştır. Diğer yandan, konvansiyonel HTST pastörizasyon, elma suyundaki fenolik bileşenler ve aromadan sorumlu uçucu bileşenlerde önemli derecede kayba sebep olmuştur. PEF ile muamele görmüş elma suyunda renk ve aromadan sorumlu uçucu bileşenlerin çoğu korunabilmiştir. Konvansiyonel olmayan metotlarla işlenen elma sularında kalite farklılıklarını tanımlamak için daha pek çok duyusal değerlendirme önerilmektedir. Genel olarak, ölçülen değişkenler PEF uygulamalarından termal pastörizasyona göre çok daha az miktarda etkilenmiştir (Aguilar-Rosas ve ark., 2007).

Charles-Rodriguez ve ark. (2007) tarafından, HTST (yüksek sıcaklık, kısa süre) ve PEF yöntemiyle proses edilen elma suyunun nitelikleri ve mikrobiyal güvenliği ile ilgili karşılaştırmalı araştırmalar yapılmıştır. PEF için elektrik akım yoğunluğu ve frekansı HTST için ise sıcaklık ve süre gibi proses değişkenlerinin ürüne olan etkileri, *Escherichia coli* inaktivasyonu ve ürünün pH ve renk değişimleri karşılaştırılmıştır. Her iki teknik ile de

(pastörizasyon için kabul edilmiş standart inaktivasyon derecesi kadar) 5 log kob/mL üzerinde bir mikrobiyal azalma tespit edilmiştir. PEF ile yapılan pastörizasyonda elma suyu kalitesinin korunmasının yanı sıra ürünlerdeki mikrobiyal inaktivasyon başarısı da kanıtlanmıştır. PEF uygulamasının elma suyu rengini HTST yöntemine göre daha iyi koruduğu görülmüştür (Qin ve ark., 1994; Ortega-Rivas ve ark., 1998; Evrendilek ve ark., 2000).

Elma suyuna uygulanan ultrafiltrasyon (UF) ile PEF teknikleri karşılaştırıldığında toplam aerobik mikroorganizmaların canlılıklarında UF'ye göre PEF'de 6 log kob/mL azalma tespit edilmiştir. Ürünün pH ve asitliğinin her iki teknikle önemli ölçüde değiştiği tespit edilmiştir. Renk açısından UF'da esmerleşme PEF'de ise solukluk (parlaklığını yitirme) gözlenmiştir (Ortega-Rivas ve ark., 1998). Laboratuvar ölçekli PEF sistemi tarafından uygulanan 34kV/cm elektrik akım şiddeti ve 166 µs toplam uygulama süresi ile proses edilen elma suyuna inoküle edilen *E. coli* O157:H7 sayısında 4.5 log kob/mL azalma tespit edilmiştir (Evrendilek ve ark., 2000).

Elma suyu ve elma şırasının 35 kV/cm elektrik akım şiddeti ve 94 µs süre ile prosesinin her iki ürünün raf ömrünü önemli derecede arttırdığı tespit edilmiştir. PEF (35 kV/cm, 94 µs) ve termal pastörizasyonun (60°C, 30s) kombine şekilde kullanıldığı elma şırası örneklerinde 4 ve 22°C'lik depolama sıcaklığının her iki üründe de 67 günden daha uzun bir süre depolanabildiği görülmüştür. PEF prosesi sonrasında elma suyundaki C vitaminin konsantrasyonuna önemli ölçüde değişim tespit edilmemiştir. Duyusal analiz sonuçları taze elma suyunun PEF uygulamasından etkilenmediğini göstermiştir (Evrendilek ve ark., 2000).

Elma suyunda pastörizasyon, ultrafiltrasyon ve PEF kullanarak elma suyunun mikrobiyal kararlılığını, kalitesini incelendiği bir çalışmada ultrafiltrasyon için, membran gözenek (10.000 ve 50.000 dalton), trans-membran basıncı (103, 120.5, 138 ve 155 kPa) ve geri kazanım yüzdesi (0, 25, 50, 75 ve 10000 dalton membran) ve elektrik alan deneyleri (50, 58 ve 66

kV/cm) olarak incelenmiştir. Bu uygulamaların etkisi maya, küf, asidik bakteriler, pH, çözünebilir madde ve renk açısından değerlendirilmiştir. Renk hariç kalite özelliklerinin değişmediği görülmüş ve ultrafiltrasyonda biraz esmerleşme, PEF uygulamaları sonrasında ise renkte biraz solma görülmüştür (Rivas ve ark., 1998).

Elma suyunda enzim inaktivasyonunun ultrafiltrasyon ve elektrik atımlı alanla incelendiği başka bir çalışmada UHT (115, 125 ve 135° C'de 3 ve 5 sn) uygulanan elma suyu ile PEF (33 ve 42 kV/cm arasında 150, 200, 250 ve 300 pps) uygulanan elma suyunun enzim inaktivasyonu ve fizikokimyasal özellikleri karşılaştırılmıştır. UHT'nin 95% polifenoloksidaz kalıntı aktivitesini azaltarak mikrobiyal enzim inaktivasyonuna daha fazla etki ettiği görülmüştür. Ancak 50°C sıcaklıkta 38.5 kV/cm ve 300 pps'de PEF uygulandığında, polifenoloksidaz kalıntı aktivitesinin 70% azaldığı görülmüştür. Sonuç olarak PEF prosesi elma suyunda kalite özelliklerini daha az etkilemiştir (Vega-Sanchez ve ark., 2008).

Ultraviyole (UV) ve PEF uygulamalarının elma suyunda *E. coli* ATCC 23472 inaktivasyonuna etkisinin incelendiği bir çalışmada elma suyuna farklı PEF ve UV kombinasyonları kullanılarak *E. coli* inaktivasyonuna bakılmıştır. Değişik proses parametrelerinde *E. coli*'de azalma görülmüştür. Sonuç olarak UV ve PEF kombinasyonunun sinerjistik etkisinin *E. coli*'yi azalttığı görülmüştür (Gachovska ve ark., 2008).

E. coli inoküle edilmiş elma suyunda matematiksel model kullanılarak PEF'in enerji verimliliği üzerine etkisi incelenmiştir. Bu işlemin işletim maliyetlerinde ciddi azalmaya neden olduğu görülmüştür. Sonuç olarak PEF ile elma suyu özellikleri daha fazla korunmuştur (Rodriguez ve ark., 2007).

Yukarıdaki bilgiler doğrultusunda görüldüğü üzere elma suyunun PEF ile prosesine ilişkin çalışmalar bulunmakla birlikte elma suyunda temel kalite kriterlerinin, fenolik maddelerin ve organik asitlerin nasıl etkilendiğine ilişkin çalışmalar yer almamaktadır. Bu

nedenle bu çalışma kapsamında PEF teknolojisinin elma suyu üzerindeki fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkilerinin detaylı olarak incelenmesi hedeflenmektedir.

3. MATERİYAL ve METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Elma suyu

Araştırmada kullanılan elma suları taze konsantre halde (Dimes Gıda San. ve Tic. A.Ş.'den (Tokat) temin edilmiş olup 11°Briks derecesine kadar su ile rekonstitüe edilerek hazırlanmıştır.

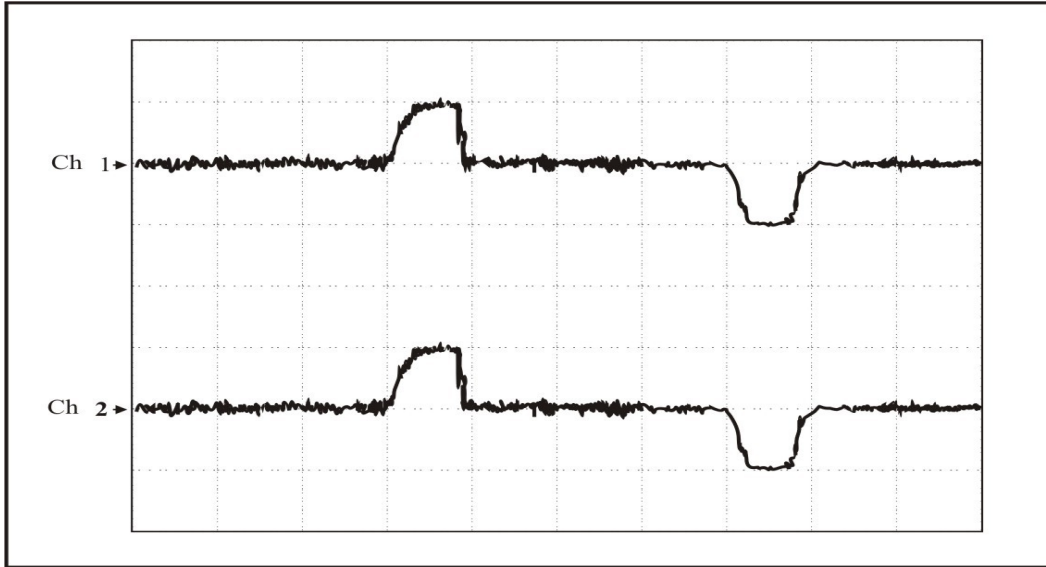
3.1.2. Atımlı elektrik akım (PEF) jeneratörü

Deneylerde laboratuvar ölçekli sürekli OSU-4A (Şekil 3.1) atımlı elektrik akımı jeneratörü kullanılmıştır. PEF atım jeneratörüne monte edilmiş ve birbirine paralel olarak bağlanmış 0.23 cm çap ve birbirlerinden 0.292 cm uzaklığa sahip elektrotları içeren; elektrik akımı ve gıdanın birbirine paralel olarak akışını sağlayan 6 adet uygulama odacığı ürünün prosesinde yer almıştır. Her bir uygulama odacığından önce ve sonra sıvı örneğin uygulama odacıklarına taşınımını sağlayan ince paslanmaz çelik boruların dış kısmına yerleştirilmiş olan K-tipi sıcaklık ölçüm cihazları ile giriş ve çıkış sıcaklıkları (T2-T1, T4-T3 ve T6-T5) ölçülmüştür (Fisher Scientific, Pittsburgh, PA, ABD). Uygulanan elektrik akımının frekansı, her bir atımın dalga genişliği ve art arda gelen iki dalga arasındaki genişlik atım jeneratörü

(Model 9310 Pulse Generator, Quantum Composer Inc., Bozeman, MT, ABD) vasıtasıyla ayarlanmıştır.



Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan laboratuvar ölçekli PEF sistemi.



Şekil 3.2. İki kutuplu kare şeklinde uygulanan elektrik akım dalgası (*Ch1 uygulanan elektrik akım şiddetini (voltaj), Ch2 ise direnci göstermektedir).

İki kutuplu kare dalga boyu uygulanmış olup; uygulanan dalga boyunun elektrik akım şiddeti ve akıma karşı oluşturulan direnci osiloskop vasıtasıyla ölçülmüştür (Model TDS 210 Two Channel Digital Real Time Oscilloscope, Teknotronix Inc., Beaverton, OR, ABD) (Şekil 3.2). Gıdanın sabit akış hızında uygulama odacıklarına taşınımı için dişli pompa (EW-07002-23 model, Cole Palmer, Inst., Company, Vernon Hills, IL ABD) kullanılmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. Elma suyu örneklerine atımlı elektrik akımı uygulanması

Elma suyunun PEF ile prosesi için değişik parametreler denenmiş olup ürünün pompa vasıtası ile akışı, viskozitesi ve kondaktivitesi göz önünde bulundurularak optimum parametreler belirlenmiştir. Proses parametrelerinin belirlenmesinde uygulanan elektrik akım şiddeti, frekans, uygulama süresi, sıcaklık parametreleri bağımsız değişken olarak ele alınmış ve merkezi kompozit dizayn (Central Composite Design) yapılarak toplam deneme sayısı ve deneme deseni belirlenmiştir. Deneme sayısının belirlenmesinde 3 seviyeli tam faktöriyel dizayn uygulanmıştır (Çizelge 3.1). Elma suyunda akış hızı 1 mL/dak olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. Merkezi kompozit dizayna göre deneme sayısı ve sırası.

Deney sırası	Pareto tipi	Blok	Elektrik alan şiddeti (kV/cm)	Uygulama süresi (µs)	Sıcaklık (°C)	Frekans (pps)
1	0	1	3.0	2.5	25.0	350.0
2	0	1	3.0	2.5	25.0	200.0
3	0	1	3.0	2.5	25.0	500.0
4	0	1	3.0	2.5	25.0	350.0
5	0	1	3.0	2.5	25.0	200.0
6	0	1	3.0	2.5	25.0	500.0
7	0	1	3.0	2.5	25.0	350.0
8	0	1	3.0	2.5	25.0	200.0
9	0	1	3.0	2.5	25.0	500.0
10	0	1	3.0	2.5	25.0	350.0
11	0	1	3.0	2.5	25.0	200.0
12	0	1	3.0	2.5	25.0	500.0
13	0	1	3.0	2.5	25.0	350.0
14	0	1	3.0	2.5	25.0	200.0
15	0	1	3.0	2.5	25.0	500.0
16	1	1	1.8	3.4	33.9	350.0
17	1	1	1.8	3.4	33.9	200.0
18	1	1	1.8	3.4	33.9	500.0
19	1	1	4.2	3.4	16.1	350.0

20	1	1	4.2	3.4	16.1	200.0
21	1	1	4.2	3.4	16.1	500.0
22	1	1	1.8	1.6	16.1	350.0
23	1	1	1.8	1.6	16.1	200.0
24	1	1	1.8	1.6	16.1	500.0
25	-1	1	3.0	2.5	10.0	350.0
26	-1	1	3.0	2.5	10.0	200.0
27	-1	1	3.0	2.5	10.0	500.0
28	0	1	3.0	2.5	25.0	350.0
29	0	1	3.0	2.5	25.0	200.0
30	0	1	3.0	2.5	25.0	500.0
31	0	1	3.0	2.5	25.0	350.0
32	0	1	3.0	2.5	25.0	200.0
33	0	1	3.0	2.5	25.0	500.0
34	1	1	4.2	3.4	16.1	350.0
35	1	1	4.2	3.4	16.1	200.0
36	1	1	4.2	3.4	16.1	500.0
37	1	1	4.2	1.6	33.9	350.0
38	1	1	4.2	1.6	33.9	200.0
39	1	1	4.2	1.6	33.9	500.0
40	-1	1	3.0	1.0	25.0	350.0
41	-1	1	3.0	1.0	25.0	200.0
42	-1	1	3.0	1.0	25.0	500.0

43	-1	1	3.0	4.0	25.0	350.0
44	-1	1	3.0	4.0	25.0	200.0
45	-1	1	3.0	4.0	25.0	500.0
46	1	1	4.2	1.6	16.1	350.0
47	1	1	4.2	1.6	16.1	200.0
48	1	1	4.2	1.6	16.1	500.0
49	1	1	1.8	3.4	16.1	350.0
50	1	1	1.8	3.4	16.1	200.0
51	1	1	1.8	3.4	16.1	500.0
52	0	1	3.0	2.5	25.0	350.0
53	0	1	3.0	2.5	25.0	200.0
54	0	1	3.0	2.5	25.0	500.0
55	1	1	1.8	1.6	33.9	350.0
56	1	1	1.8	1.6	33.9	200.0
57	1	1	1.8	1.6	33.9	500.0
58	1	1	4.2	3.4	33.9	350.0
59	1	1	4.2	3.4	33.9	200.0
60	1	1	4.2	3.4	33.9	500.0
61	1	1	1.8	3.4	16.1	350.0
62	1	1	1.8	3.4	16.1	200.0
63	1	1	1.8	3.4	16.1	500.0
64	-1	1	5.0	2.5	25.0	350.0
65	-1	1	5.0	2.5	25.0	200.0

66	-1	1	5.0	2.5	25.0	500.0
67	0	1	3.0	2.5	25.0	350.0
68	0	1	3.0	2.5	25.0	200.0
69	0	1	3.0	2.5	25.0	500.0
70	-1	1	3.0	2.5	40.0	350.0
71	-1	1	3.0	2.5	40.0	200.0
72	-1	1	3.0	2.5	40.0	500.0
73	1	1	1.8	1.6	16.1	350.0
74	1	1	1.8	1.6	16.1	200.0
75	1	1	1.8	1.6	16.1	500.0
76	-1	1	1.0	2.5	25.0	350.0
77	-1	1	1.0	2.5	25.0	200.0
78	-1	1	1.0	2.5	25.0	500.0
79	1	1	1.8	3.4	33.9	350.0
80	1	1	1.8	3.4	33.9	200.0
81	1	1	1.8	3.4	33.9	500.0
82	1	1	4.2	1.6	33.9	350.0
83	1	1	4.2	1.6	33.9	200.0
84	1	1	4.2	1.6	33.9	500.0
85	-1	1	5.0	2.5	25.0	350.0
86	-1	1	5.0	2.5	25.0	200.0
87	-1	1	5.0	2.5	25.0	500.0
88	0	1	3.0	2.5	25.0	350.0

89	0	1	3.0	2.5	25.0	200.0
90	0	1	3.0	2.5	25.0	500.0
91	0	1	3.0	2.5	25.0	350.0
92	0	1	3.0	2.5	25.0	200.0
93	0	1	3.0	2.5	25.0	500.0
94	1	1	4.2	3.4	33.9	350.0
95	1	1	4.2	3.4	33.9	200.0
96	1	1	4.2	3.4	33.9	500.0
97	-1	1	3.0	2.5	40.0	350.0
98	-1	1	3.0	2.5	40.0	200.0
99	-1	1	3.0	2.5	40.0	500.0
100	1	1	4.2	1.6	16.1	350.0
101	1	1	4.2	1.6	16.1	200.0
102	1	1	4.2	1.6	16.1	500.0
103	0	1	3.0	2.5	25.0	350.0
104	0	1	3.0	2.5	25.0	200.0
105	0	1	3.0	2.5	25.0	500.0
106	-1	1	3.0	1.0	25.0	350.0
107	-1	1	3.0	1.0	25.0	200.0
108	-1	1	3.0	1.0	25.0	500.0
109	1	1	1.8	1.6	33.9	350.0
110	1	1	1.8	1.6	33.9	200.0
111	1	1	1.8	1.6	33.9	500.0

112	-1	1	3.0	2.5	10.0	350.0
113	-1	1	3.0	2.5	10.0	200.0
114	-1	1	3.0	2.5	10.0	500.0
115	-1	1	3.0	4.0	25.0	350.0
116	-1	1	3.0	4.0	25.0	200.0
117	-1	1	3.0	4.0	25.0	500.0
118	-1	1	1.0	2.5	25.0	350.0
119	-1	1	1.0	2.5	25.0	200.0
120	-1	1	1.0	2.5	25.0	500.0

3.2.2. Fiziksel ve kimyasal analizler

3.2.2.1. Asitlik

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

3.2.2.2. Titrasyon asitliği

Beş mL elma suyu örneğine 5 mL su ilave edilip homojen bir karışım haline getirdikten sonra 0.5 mL fenol fitalein ayracı eklenip 0.1 N NaOH ile titre edilmiştir. Titrasyonda harcanan NaOH kaydedilip sonuçlar AOAC (1990)'ye göre hesaplanmıştır.

3.2.2.3. °Briks

Suda çözünen toplam kuru madde (°Briks) tayini 507-1 model refraktometre (Nippon Optical Works Co. Ltd, Japonya) kullanarak yapılmıştır. Sonuçlar °Briks derecesi olarak belirtilmiştir.

3.2.2.4. Kondaktivite (iletkenlik) ölçümü

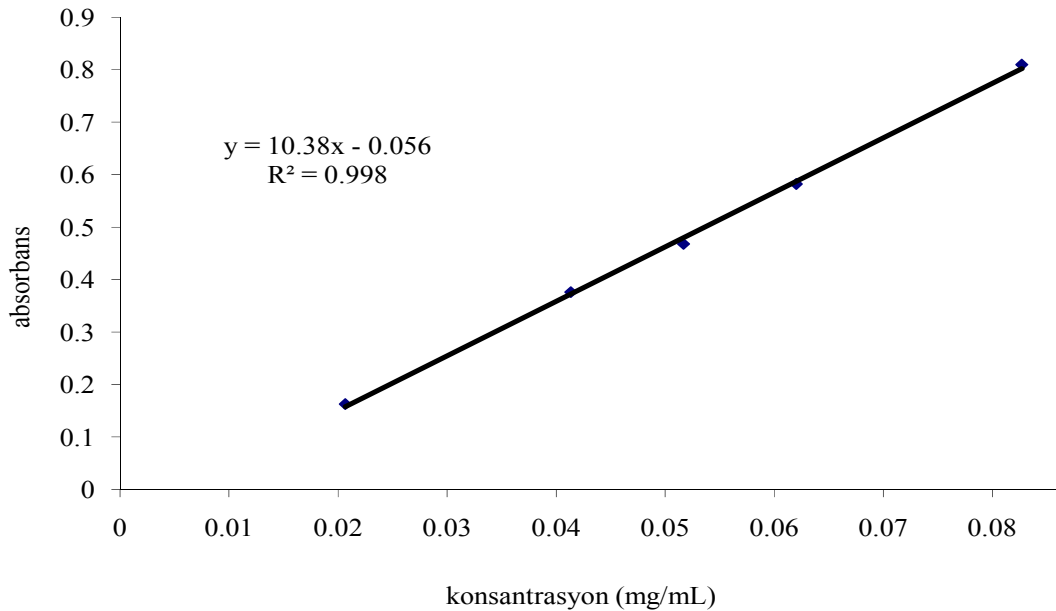
Örneklerin kondaktiviteleri Sension 5 model el kondaktivitesi (HACH, Co, ABD) yardımı ile ölçülmüş ve sonuçlar mS/cm olarak belirtilmiştir.

3.2.2.5. Renk ölçümü

Renk ölçümü Hunter Lab Color Flex Spektrofotometresi (Hunter Associates Laboratory Inc., Reston VA, ABD) kullanılarak yapılmış olup; sonuçlar CSI sisteminde L* (0: koyuluk, 100: açıklık), a* (-: yeşillik, +: kırmızılık) ve b* (-: mavilik, +: sarılık) değerleri olarak verilmiştir. Ayrıca L, a, b değerleri kullanılarak TCD (toplam renk farkı), hue (renk) ve kroma (doygunluk-grilik) değerleri de hesaplanmıştır.

3.2.2.6. Toplam fenolik madde miktarı tayini

Toplam fenolik madde miktarı (Spanos ve Wrolstad, 1990)'ın belirttikleri Folin Ciocalteu belirteci kullanılan spektrofotometrik yöntemle yapılmıştır. Analiz edilen elma suyu örnekleri 760 nm dalga boyunda 0.2-0.8 absorbans gösterecek şekilde seyreltilmiştir.



Şekil 3.3. Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan gallik asit standart eğrisi.

Seyreltilmiş örnekten 1 mL tüpe alınmış; üzerine 5 mL 0.2 N Folin-Ciocalteu çözeltisi ilave edilip karıştırılmıştır. Daha sonra 4 mL doymuş sodyum karbonat çözeltisi ilave edilip tüp içeriği karıştırıldıktan sonra $50\pm5^{\circ}\text{C}$ 'ye ayarlanmış su banyosu içine yerleştirilerek 5 dak bekletilmiştir. Daha sonra hemen soğutulup, 760 nm'de absorbans ölçülmüştür. Elde edilen absorbans değerlerinden fenolik madde miktarını saptayabilmek için 100, 200, 300, 400 ve 500

mg/L'lik gallik asit çözeltilerinden standart eğri hazırlanmıştır (Şekil 3.3). Hazırlanan gallik asit çözeltisinden yararlanarak elma suyu örneklerinin absorbens değerlerinden toplam fenolik madde miktarları mg/mL gallik asit eşdeğeri olarak verilmiştir.

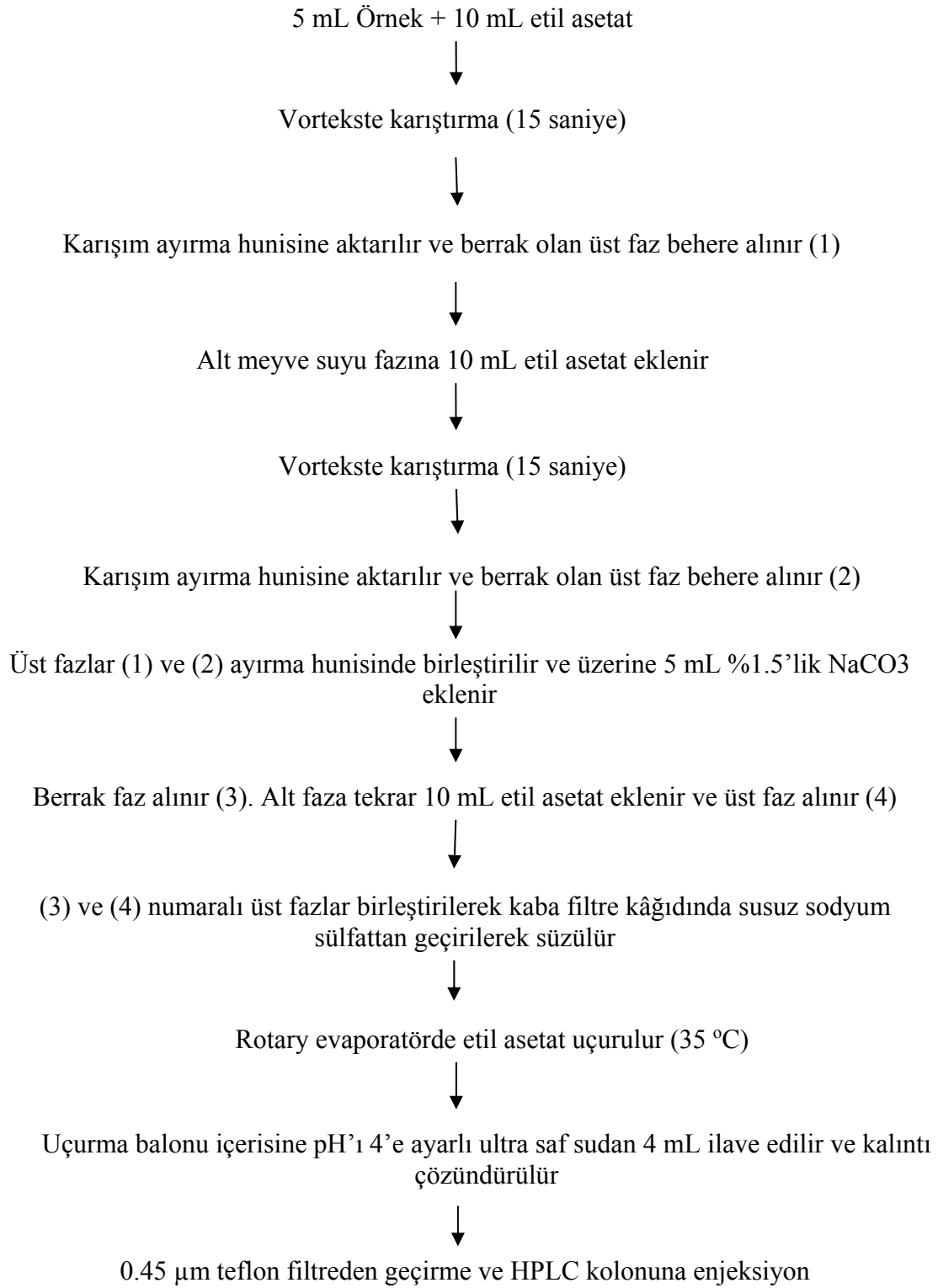
3.2.2.7. Toplam antioksidan kapasitesi tayini

Toplam antioksidan kapasitesi tayininde öncelikle 0.5 mL elma suyu örneği ve kontrol örneği alınarak; bu örneklerle 4.5 mL Tris-HCl tamponu ilave edilmiştir. Daha sonra 5 mL DPPH (etanolda çözünmüş) eklenerek hızla karıştırılmıştır. Elde edilen elma suyu örnekleri karanlıkta 30 dak bekletildikten sonra; kontrol örneğinde ise hiç bekletilmeden 517 nm dalga boyunda UV spektrofotometre ile absorbens ölçülmüştür. Ölçülen değerler formülde yerine konularak % antioksidan aktivite değeri bulunmuştur (Moon ve Terao, 1998).

3.2.2.8. HMF analizi

Elma suyu örneklerinde HMF tayini, yüksek basınç sıvı kromatografisi (HPLC) (Shimadzu, LC-20AT, Kyoto, Japonya, 2006) kullanılmıştır. Örneklerin ekstraksiyonunda ise Gökmen ve Acar (1998) tarafından önerilen yöntem laboratuvar koşullarına uyarlanarak kullanılmıştır. Analizin prensibi portakal suyu örneklerinin etil asetat ile ekstraksiyonu ve sonra sulu sodyum karbonat çözeltisi ile fenoliklerin uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. HMF tayininde kullanılan yöntem Şekil 3.4'de verilmiştir.

HPLC'de uygulanan akış ise Zappala ve ark. (2006)'nın yöntemine göre yapılmıştır.



Şekil 3.4. Hidroksi metil furfural tayin yönteminin akış şeması

HMF için kromatografi koşulları;

Mobil faz: Metanol/Su/Asetik asit (20/79/1) izokrotik akış

Enjeksiyon hacmi: 20µL

Akış hızı: 0.5mL/dak

Elüsyon süresi: 15 dak

Dalga boyu: 285nm

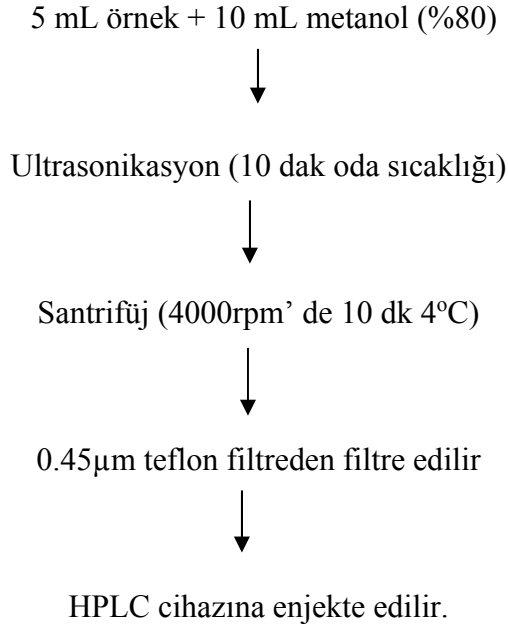
Kolon: ACE 5 C18 250*4.6mm

Kolon sıcaklığı: 30°C

Dedektör: Photo Diyote Array Dedector (PDA)

3.2.2.9. Fenolik bileşenlerin analizi

Araştırmada, HPLC ile fenolik madde tayini yapılmıştır. Bu amaçla Justesen ve ark. (1997) tarafından ortaya konulan ekstraksiyon yöntemi modifiye edilerek uygulanmış; uygulanacak akış profili ve yürütücü faz seçiminde ise birçok deneme yapılmış ve en iyi sonuç veren uygulama seçilerek örneklerdeki fenolik bileşiklerin miktarı belirlenmiştir. Fenolik bileşiklerin analizi sırasında uygulanan ekstraksiyon yöntemi Şekil 3.5’de akış profili ise Çizelge 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Fenolik bileşenlerin ekstraksiyon yöntemi

Fenolik bileşenler için kromatografi koşulları;

Kolon: XTERRA RP 18 5 µM 4.6X250

Kolon Sıcaklığı: 30°C

Detektör: FotoDiyod Düzen Detektör (PDA)

Dalga Boyu: 280 ve 320 nm

Mobil Faz Akış Hızı: 0.8 ml/dak

Enjeksiyon Hacmi: 20 µl

Mobil Faz Çözeltilisi: Formik asit (% 2) (A), asetonitril (% 100) (B) karışımı, gradiyent

akış

Çizelge 3.2. Fenolik bileşikler için mobil faz gradiyent programı

Süre (dak)	Formik asit % 2	Asetonitril % 100
0	100	0
20	98	2
35	97	3
65	94	6
70	93	7
80	91.5	8.5
90	90.5	9.5
100	88	12
120	82	18
125	75	25
130	0	100
140	100	0

3.2.2.10. Organik asit tayini

Elma suyu örneklerindeki organik asitlerin (sitrik asit, malik asit, oksalik asit, suksinik asit, tartarik asit ve askorbik asit) analizleri (Sturm ve ark., 2003)'a göre yapılmıştır. Analizler için elma suları 5 seyreltildikten sonra 4°C'de 10 dak 4000 rpm'de santrifüj edilmiş ve üstteki berrak kısım alınıp 0.45 µm'lik filtrelerden geçirilerek süzölmüştür. Daha sonra elde edilen ekstrakt doğrudan HPLC'ye (Shimadzu, LC-20AT, Kyoto, Japonya, 2006) enjekte edilerek

örneklerdeki organik asit miktarı mg/L’de belirlenmiştir. Belirlenen yöntemlere göre aşağıdaki kromatografi koşulları kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir.

Mobil faz: 5 mM’lık sülfürik asit(H_2SO_4), izokrotik akış

Enjeksiyon hacmi: 20 μL

Akış hızı: 0.6mL/dak

Elüsyon süresi: 15 dak

Dalga boyu: 210 nm-244nm

Kolon: XTERRA C 18 5 μM 4.6X250

Detektör: FotoDiyod Düzen Detektör (PDA)

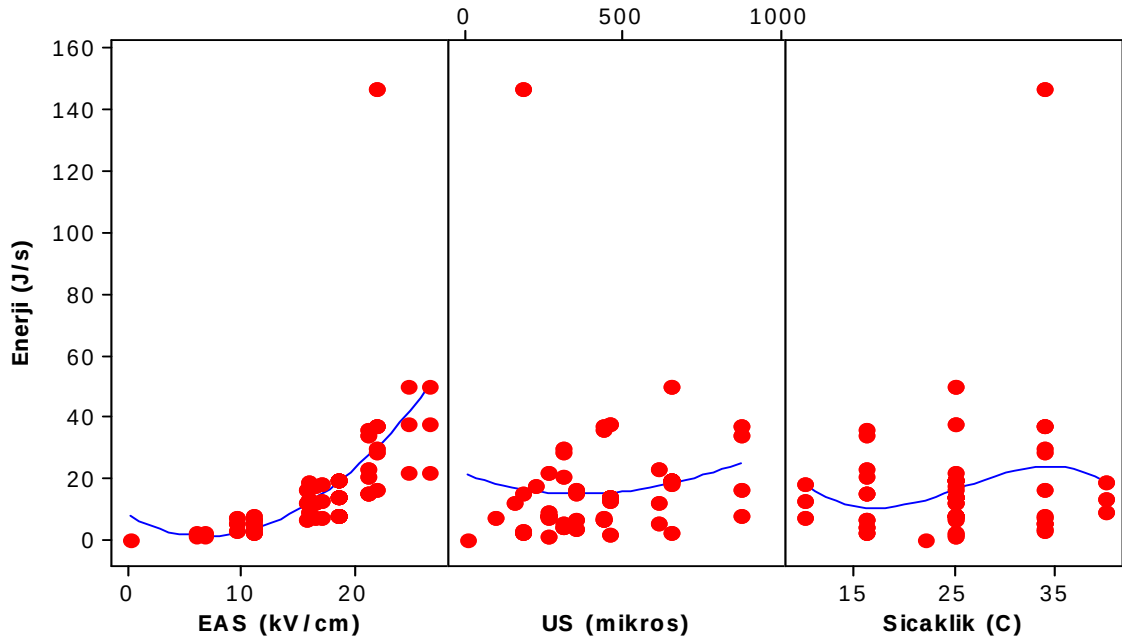
Kolon sıcaklığı: 50°C

3.2.2.11. Verilerin analizi

Veri analizinde uygulanan elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve frekans değerleri bağımsız değişken olarak alınmıştır. Bağımsız değişken olarak ele alınan her bir değişkenin ölçülen özellikler üzerindeki etkisinin test edilmesi için verilerin analizinde tek yönlü ANOVA kullanılmış olup uygulamalar arasındaki farklılıklar Tukey’s çoklu karşılaştırma testleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Minitab (16.1 versiyon) istatistik programı kullanılmıştır ($\alpha:0.05$).

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Elma suyunun atımlı elektrik alanı ile prosesinde merkezi kompozit deney tasarımına göre belirlenen elektrik alan şiddeti (kV/cm), uygulama süresi (µs) ve sıcaklık (°C) parametrelerine göre uygulanan enerji miktarı (J/s) incelendiğinde artan elektrik alan şiddetinin uygulanan enerjinin artmasına neden olduğu görülmektedir. Uygulama süresinin fonksiyonu olarak enerjideki değişim incelendiğinde genel olarak uygulama süresindeki artışa bağlı olarak enerjide artış olduğu; fakat bu artışın elektrik alan şiddetindeki kadar fazla olmadığı gözlenmiştir. Benzer şekilde sıcaklık artışı ile uygulanan enerjide artış olmuş; fakat genel olarak sıcaklığa bağlı olarak homojen bir artış gözlenmiştir (Şekil 4.1).

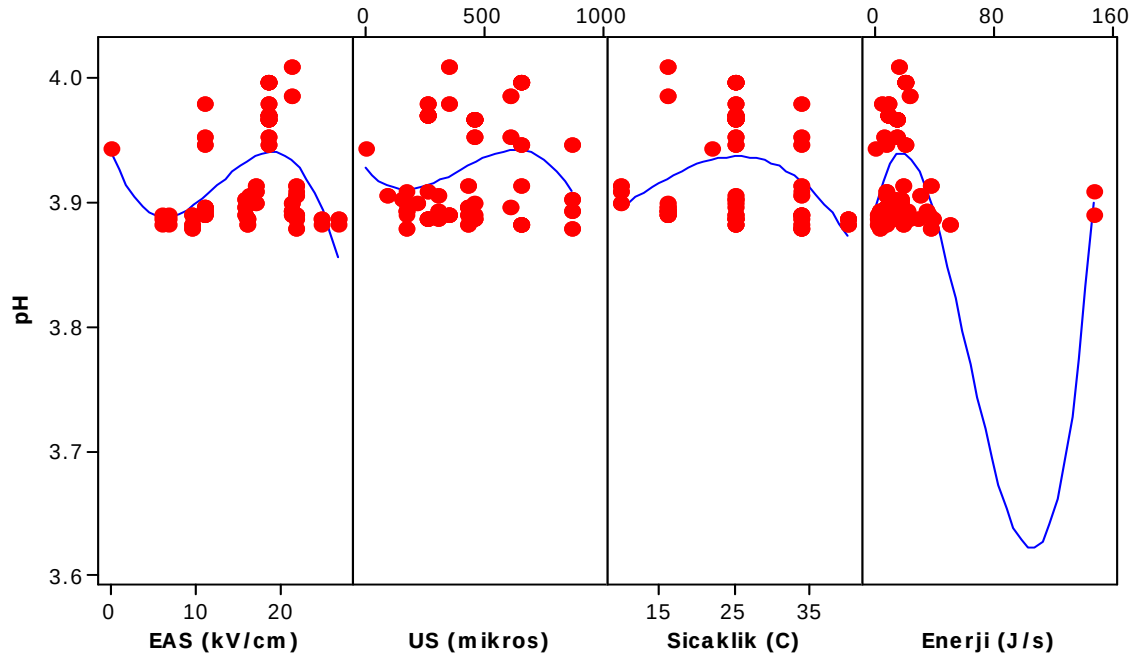


Şekil 4.1. Elektrik alan şiddeti (EAS), uygulama süresi (US) ve sıcaklığın fonksiyonu olarak enerji değişimi.

Çizelge 4.1. Elektrik alan şiddeti (EAS), uygulama süresi (US) ve sıcaklığın enerji değişimi ile ilişkisi.

	Regresyon eşitliği	R ²
Enerji	=0.359 elektrik alan şiddeti +0.0472 (elektrik alan şiddeti) ² +0.001411 elektrik alan şiddeti) ³	59.7
Enerji	=0.1137 uygulama süresi-0.0002534 (uygulama süresi) ² +0.00000(uygulama süresi) ³	41.0
Enerji	=0.928sıcaklık-0.01336 (sıcaklık) ² +0.000124(sıcaklık) ³	42.7

EAS, US ve sıcaklık parametrelerinin enerji miktarına olan etkileri incelendiğinde hesaplanan regresyon eşitlikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. EAS, US ve sıcaklığın enerji ile ilişkilerine dair r² değerleri sırasıyla 59.7, 41.0 ve 42.7 olarak hesaplanmıştır.



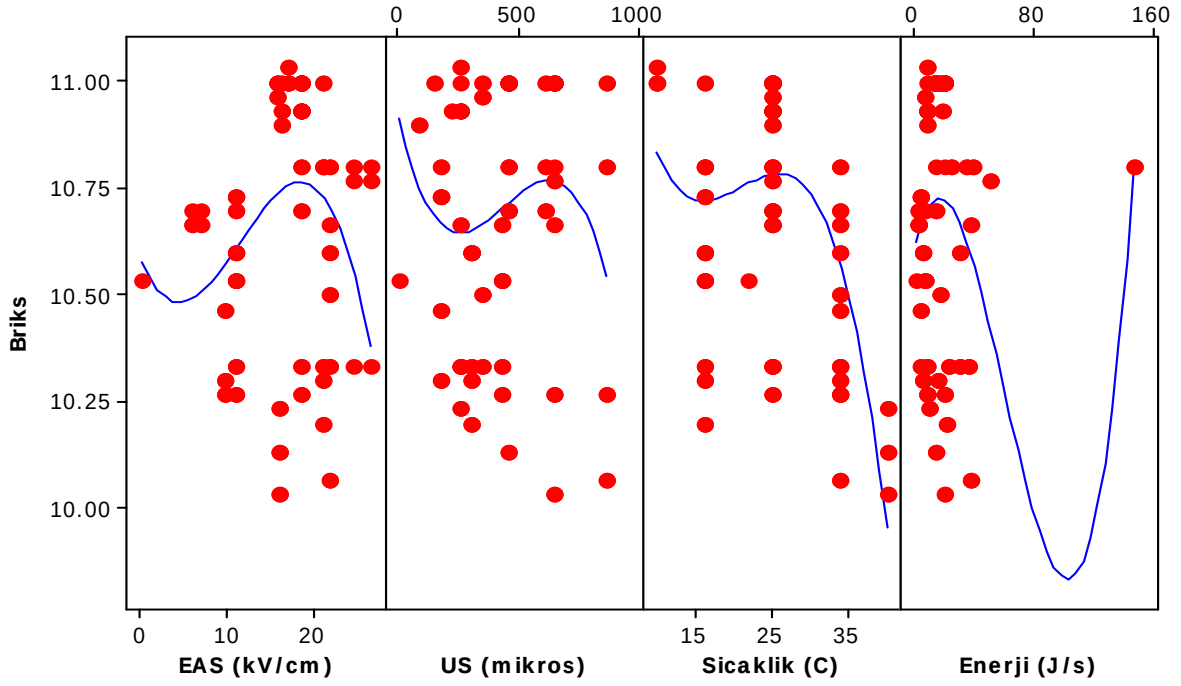
Şekil 4.2. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak pH değişimi.

EAS, US, sıcaklık ve enerjiye bağılı olarak pH değeriindeki değişim incelendiğinde kontrol örneklerinde 3.90 ± 0.20 olarak ölçülen pH değeriinin 3.88 ± 0.11 ile 4.00 ± 0.12 arasında değişim gösterdiği saptanmıştır ($p > 0.05$). Farklı seviyelerde uygulanan proses parametreleri pH değeriinde önemli bir değişime neden olmamıştır (Şekil 4.2).

Proses parametrelerine bağılı olarak EAS, US, sıcaklık ve enerjinin pH'daki değişim ile ilişkisi sırasıyla 24.8, 8.40, 15.6 ve 17.3 olarak bulunmuştur. Genel olarak bakıldığında pH değeriinde önemli bir değişim olmadığı için regresyon katsayıları düşük bulunmuştur (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Elektrik alan şiddeti (EAS), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin pH değişimi ile ilişkisi.

	Regresyon eşitliği	R ²
pH	$=0.394-0.01943 \text{ elektrik alan şiddeti}+0.002029 (\text{elektrik alan şiddeti})^2 - 0.000053 (\text{elektrik alan şiddeti})^3$	24.8
pH	$=3.928-0.000211 \text{ uygulama süresi}-0.00001(\text{uygulama süresi})^2-0.000000 (\text{uygulama süresi})^3$	8.40
pH	$=3.85300.00387 \text{ sıcaklık}+0.000086(\text{sıcaklık})^2+0.000005(\text{sıcaklık})^3$	15.6
pH	$=3.895+0.005361 \text{ enerji}-0.000175(\text{enerji})^2+0.0001(\text{enerji})^3$	17.3



Şekil 4.3. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak °Briks değişimi.

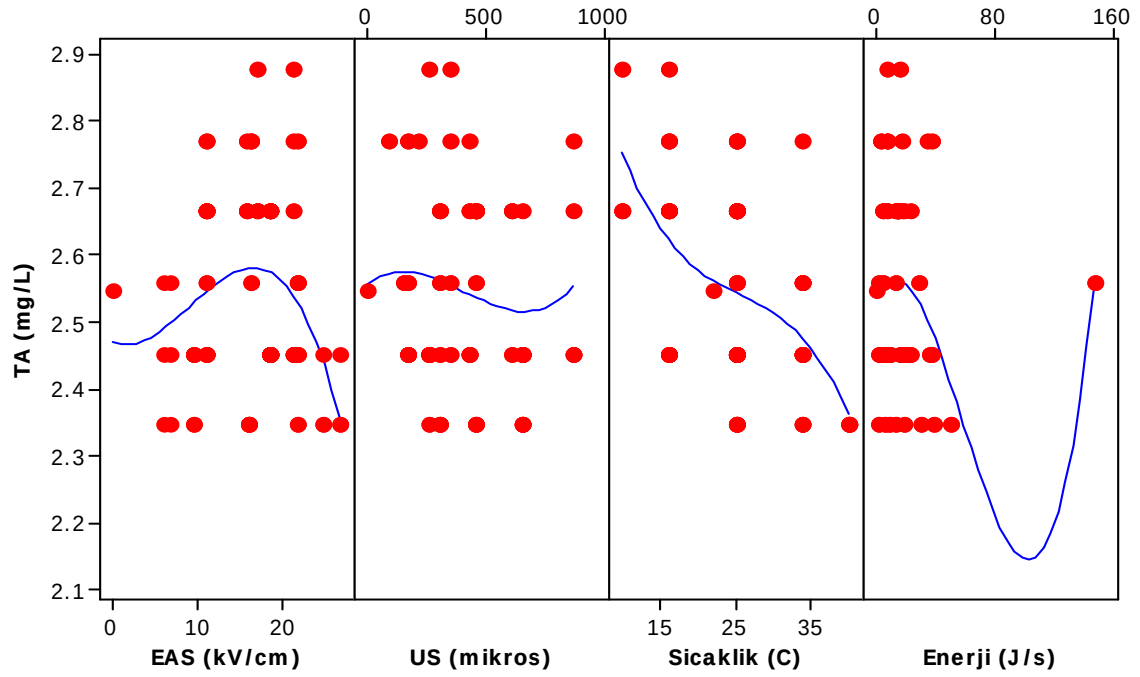
°Briks derecesindeki değişimin incelendiği denemelerde proses parametrelerine bağlı olarak 10.07 ± 0.12 ile 11.00 ± 0.08 arasında değişim gösterdiği saptanmıştır. Kontrol örneklerinde °Briks değeri 10.53 ± 0.23 olarak ölçülmüştür. Farklı proses parametreleri altında elma suyunun °Briks değerinde önemli bir değişim tespit edilmemiştir ($p > 0.05$) (Şekil 4.3).

Çizelge 4.3. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin °Briks değişimi ile ilişkisi.

	Regresyon eşitliği	R²
°Briks	=10.58-0.04872 elektrik alan şiddeti+0.006822 (elektrik alan şiddeti) ² - 0.000198 (elektrik alan şiddeti) ³	10.0
°Briks	=10.91-0.002378uygulama süresi-0.000006(uygulama süresi) ² -0.000000 (uygulama süresi) ³	4.30
°Briks	=11.88-0.18047sıcaklık+0.009064(sıcaklık) ² +0.00144(sıcaklık) ³	39.9
°Briks	=10.262+0.01387enerji-0.000496(enerji) ² +0.000035(enerji) ³	3.10

Proses parametrelerinin °Briks değişim ile olan ilişkileri irdelendiğinde proses parametrelerinin °Briks üzerindeki etkisi düşük bulunmuştur. Bu nedenle r² değerleri AEŞ, US, sıcaklık ve enerji için sırasıyla 10, 4.30, 39.9 ve 3.10 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.3).

Kontrol örneklerinin TA (mg/L) değeri 2.55±0.14 mg/L olarak ölçülmüştür. Proses edilen örneklerde TA değeri 2.35±0.30 ile 2.77±0.36 arasında değişim göstermiş olup TA değerindeki bu değişim kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında önemli bulunmamıştır ($p>0.05$) (Şekil 4.4).

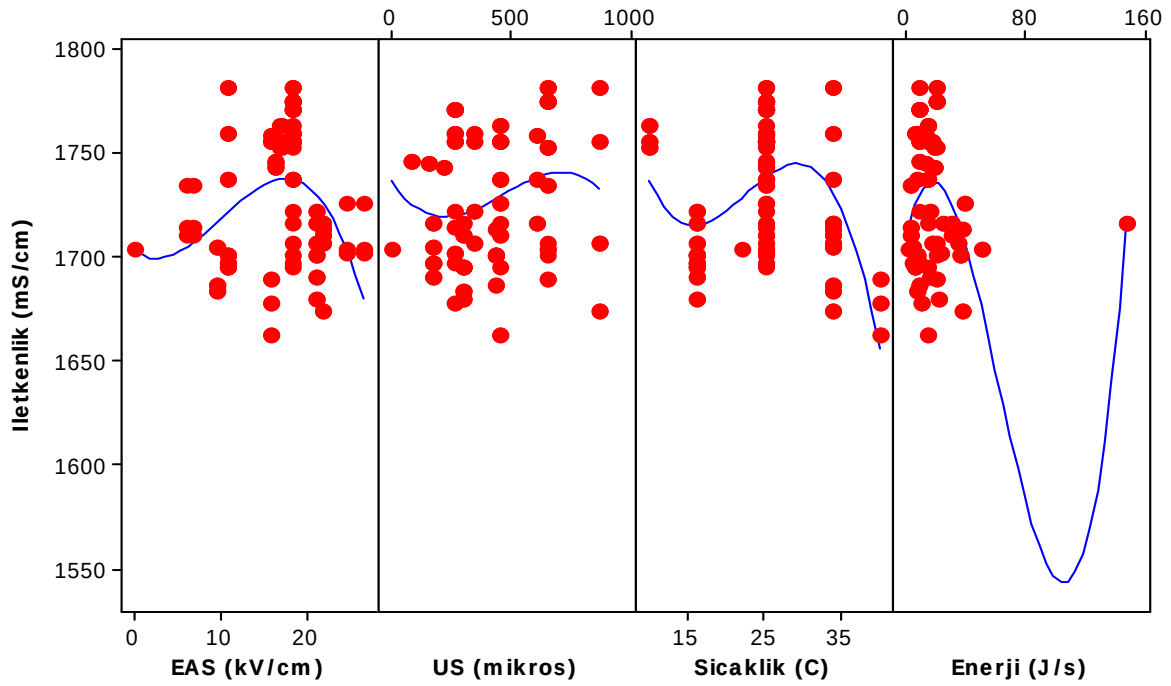


Şekil 4.4. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak TA değişimi.

Proses edilen örneklerde proses parametrelerinin TA ile ilişkisi incelendiğinde yine TA değerindeki değişim az olduğu için düşük r^2 değerleri tespit edilmiştir. Buna göre TA değerindeki değişim ile EAŞ, US, sıcaklık ve enerji arasındaki regresyon katsayıları 8.7, 2.0, 27.8 ve 3.3 olarak değişmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Elektrik alan şiddeti (EAS), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin TA değişimi ile ilişkisi.

	Regresyon eşitliği	R ²
TA	=10.58-0.04872 elektrik alan şiddeti+0.006822 (elektrik alan şiddeti) ² -0.000198 (elektrik alan şiddeti) ³	10.0
TA	=10.91-0.002378uygulama süresi-0.000006(uygulama süresi) ² -0.000000 (uygulama süresi) ³	4.30
TA	=11.88-0.18047sıcaklık+0.009064(sıcaklık) ² +0.00144(sıcaklık) ³	39.9
TA	=10.262+0.01387enerji-0.000496(enerji) ² +0.000035(enerji) ³	3.10



Şekil 4.5. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak iletkenlik değişimi.

Elma sularının iletkenlik değeriindeki değişime bakıldığında kontrol örneklerinin iletkenliği $1704.11 \pm 4.99 \mu\text{S/cm}$ olarak belirlenmiştir. Farklı proses parametreleri altında iletkenlik değeriindeki değişim 1695.67 ± 5.15 ile $1781.67 \pm 5.15 \mu\text{S/cm}$ aralığında değişim göstermiş ve bu değerler ile kontrol örneklerinin iletkenliği karşılaştırıldığından önemli bir fark bulunamamıştır ($p > 0.05$) (Şekil 4.5).

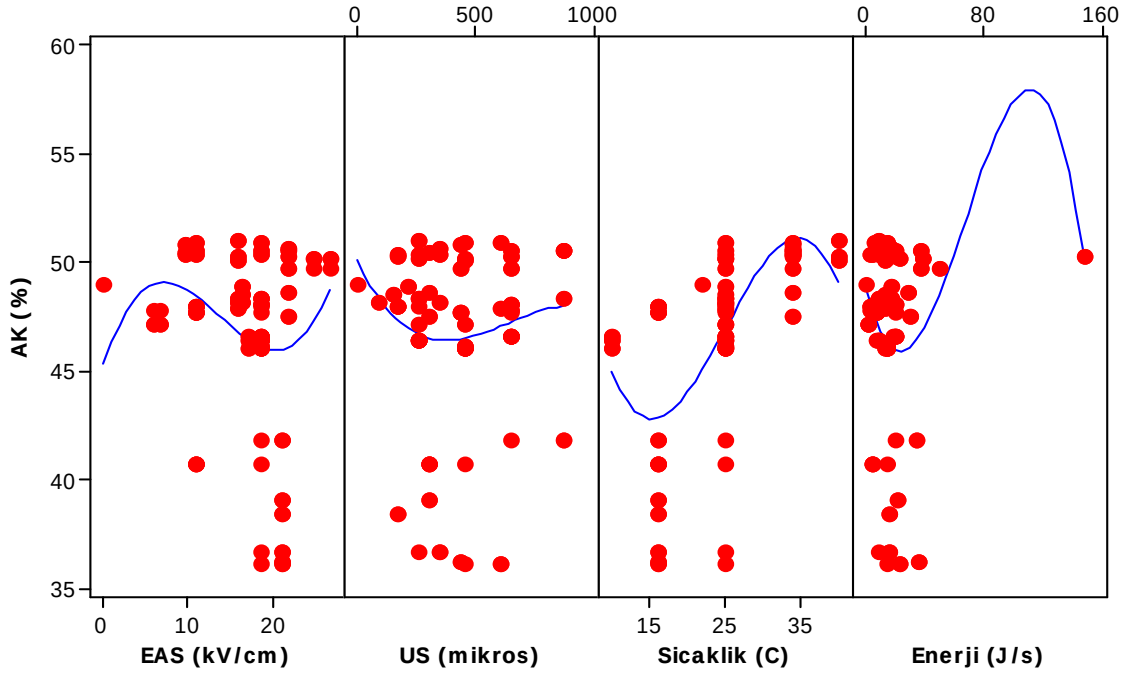
Farklı EAŞ, US ve enerji uygulamalarına rağmen elma sularının iletkenlik değerlerinde önemli bir değişim olmaması bu parametrelerdeki artış veya azalışa göre iletkenlik değeriinde değişimin az olmasına ve regresyon katsayısının düşük olmasına neden olmuştur. EAŞ, US, sıcaklık ve enerji uygulamaları ile iletkenlik arasındaki regresyon katsayıları sırasıyla 15.0, 5.30, 33.6 ve 10.5 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.5)

Çizelge 4.5. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin iletkenlik değişimi ile ilişkisi.

	Regresyon eşitliği	R ²
İletkenlik	$=1703-3.203(\text{elektrik alan şiddeti})+0.6886(\text{elektrik alan şiddeti})^2-0.02254(\text{elektrik alan şiddeti})^3$	15.0
İletkenlik	$=1736-0.1666(\text{uygulama süresi})+0.00491(\text{uygulama süresi})^2-0.00000(\text{uygulama süresi})^3$	5.30
İletkenlik	$=1938-34.41(\text{sıcaklık})+1.676(\text{sıcaklık})^2-0.02481(\text{sıcaklık})^3$	33.6
İletkenlik	$=1441+2.896(\text{enerji})-0.1017(\text{enerji})^2+0.000559(\text{enerji})^3$	10.5

Elma suyu örneklerinin antioksidant kapasitesi (% AK) ölçüldüğünde kontrol örneklerinde $\%49.03 \pm 0.03$ olarak belirlenmiştir. AK değişim farklı proses koşulları altında $\%36.15 \pm 0.19$ ile 50.95 ± 0.10 arasında değişim göstermiştir. Kontrol ve proses edilen elma

sularında antioksidant aktivite konsantrasyonu açısından önemli bir fark bulunmamıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak antioksidant kapasite (% AK) değişimi.

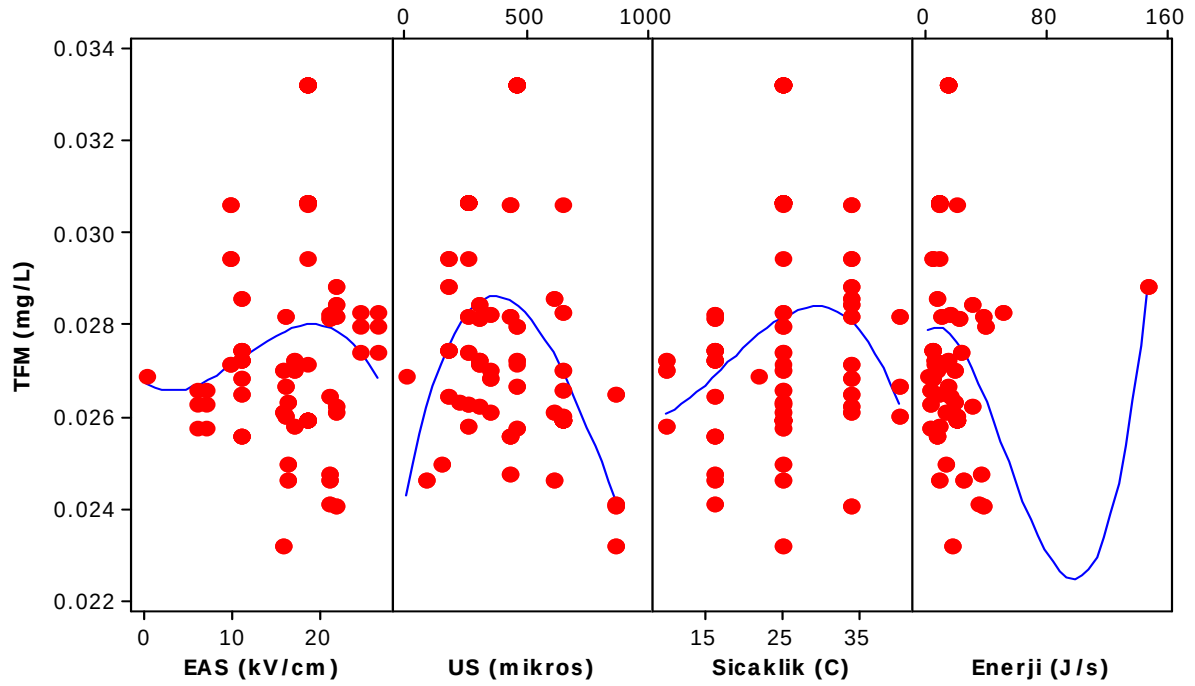
AK değişim ile proses parametreleri arasındaki regresyona bakıldığında EAŞ, US, Sıcaklık ve enerjiye bağlı olarak regresyon katsayıları 7.4, 2.0, 44.1 ve 5.0 olarak belirlenmiştir. Proses parametrelerine bağlı olarak % AK'de değişim %14.80 oranında olup önemli miktarda bir değişim olmadığından regresyon kat sayıları düşük orandadır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin antioksidant kapasite (% AK) değişimi ile ilişkisi.

	Regresyon eşitliği	R²
AK (%)	=45.23-1.208elektrik alan şiddeti-0.1129(elektrik alan şiddeti) ² -0.002720(elektrik alan şiddeti) ³	7.40
AK(%)	=50.14-0.02773uygulama süresi+0.000042(uygulama süresi) ² -0.000000(uygulama süresi) ³	2.00
AK(%)	=65.93-3.550sıcaklık+0.1673(sıcaklık) ² -0.002226(sıcaklık) ³	44.11
AK(%)	=48.87-0.2734enerji-0.007135(enerji) ² +0.000025(enerji) ³	5.00

Kontrol elma suyu örneklerinde toplam fenolik madde (TFM mg/L) 0.269±0.03 mg/L oranında bulunmuştur. TFM miktarındaki değişime bakıldığında 0.232±0.42 ile 0.332±0.33 mg/L arasında değişim göstermiştir. TFM miktarındaki değişim kontrol örneklerinin TFM miktarından istatistiksel olarak önemli derecede farklı değildir ($p>0.05$) (Şekil 4.7).

Proses parametrelerinde farklı seviyelerde uygulanan bağımsız değişkenlerin TFM miktarındaki değişim ile ilişkisi incelendiğinde regresyon katsayıları EAŞ için 2.6, US için 22.1, sıcaklık için 8.2 ve enerji için 4.3 olarak bulunmuştur. Farklı proses parametreleri altında gerek TFM miktarındaki değişimin çok az olması gerekse ortaya çıkan değişim miktarının belirli bir eğilim göstermemesi nedeniyle regresyon katsayıları düşük bulunmamıştır. TFM miktarındaki değişim en fazla uygulama süresindeki artışla ilişkili bulunmuştur (Çizelge 4.7)



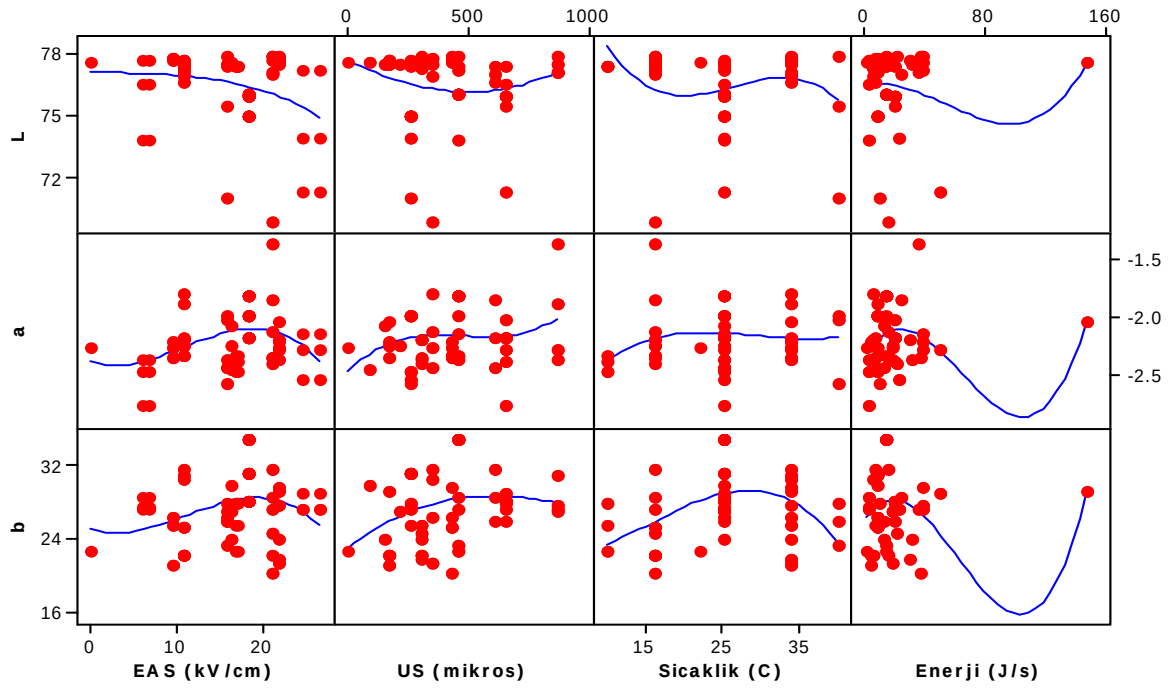
Şekil 4.7. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak toplam fenolik madde (TFM mg/L) değişimi.

Çizelge 4.7. Elektrik alan şiddeti (EAS), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin toplam fenolik madde (TFM mg/L) değişimi ile ilişkisi.

	Regresyon eşitliği	R²
TFM (mg/L)	$=0.02673-0.000114\text{elektrik alan şiddeti}-0.000022(\text{elektrik alan şiddeti})^2-0.000001(\text{elektrik alan şiddeti})^3$	2.60
TFM (mg/L)	$=0.02430+0.0000253\text{uygulama süresi}-0.000000(\text{uygulama süresi})^2-0.000000(\text{uygulama süresi})^3$	22.10
TFM (mg/L)	$=0.02651-0.00022\text{sıcaklık}+0.000022(\text{sıcaklık})^2-0.000000(\text{sıcaklık})^3$	8.20
TFM (mg/L)	$=0.027884+0.000025\text{enerji}-0.000003(\text{enerji})^2+0.000000(\text{enerji})^3$	4.30

Elma suyunun renk değerlerindeki değişime bakıldığında kontrol örneklerinde L, a ve b değerleri sırasıyla 77.64 ± 2.33 , -2.27 ± 0.24 ve 22.77 ± 1.01 olarak ölçülmüştür. Proses edilen

örneklerde L değeri 74.98 ± 3.19 ile 77.87 ± 3.54 arasında değişim göstermiştir ve kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında L değerinde önemli bir fark bulunmamıştır ($p > 0.05$). Proses edilen örneklerde a değeri -2.59 ± 0.02 ile -1.81 ± 0.01 arasında değişim göstermiştir. Renk ölçümünden b değerinde ise proses parametrelerine bağlı olarak 22.24 ± 0.02 ile 34.90 ± 0.65 arasında değişim göstermiştir. Kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında proses edilen elma suyu örneklerinde L, a ve b değerleri açısından önemli bir fark bulunmamıştır ($p > 0.05$) (Şekil 4.8).

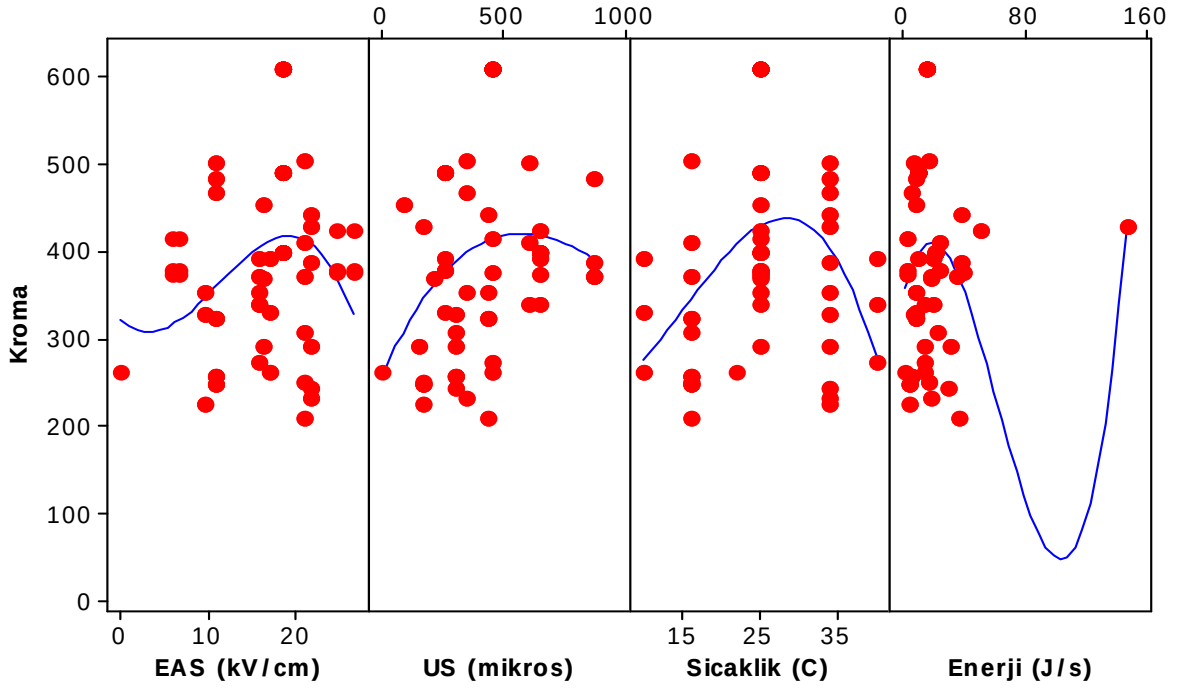


Şekil 4.8. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak renk (L, a ve b) değerlerindeki değişim.

Çizelge 4.8. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin renk (L, a ve b) değerlerindeki değişimi ile ilişkisi.

Renk	Regresyon eşitliği	R ²
L	=77.13-0.0241elektrik alan şiddeti-0.00227(elektrik alan şiddeti) ² -0.000167(elektrik alan şiddeti) ³	7.10
L	=77.18-0.005676uygulama süresi-0.000004(uygulama süresi) ² -0.000000(uygulama süresi) ³	3.50
L	=88.87-1.626sıcaklık+0.06559(sıcaklık) ² -0.000829(sıcaklık) ³	9.20
L	=76.43-0.01791enerji-0.000971(enerji) ² +0.000006(enerji) ³	1.50
A	=-2.388-0.02790elektrik alan şiddeti-0.005255(elektrik alan şiddeti) ² -0.000158(elektrik alan şiddeti) ³	14.30
A	=-2.481-0.002077uygulama süresi-0.000004(uygulama süresi) ² -0.000003(uygulama süresi) ³	5.50
A	=-3.138-0.1111sıcaklık-0.003971(sıcaklık) ² -0.000045(sıcaklık) ³	4.50
A	=-2.321-0.01999enerji-0.000537(enerji) ² +0.000003(enerji) ³	5.90
B	=25.11-0.3162elektrik alan şiddeti+0.05996(elektrik alan şiddeti) ² -0.001778(elektrik alan şiddeti) ³	8.10
B	=2.99+0.02059uygulama süresi-0.000021(uygulama süresi) ² +0.000000(uygulama süresi) ³	7.60
B	=91.95-0.141sıcaklık+0.03745(sıcaklık) ² -0.000821(sıcaklık) ³	21.70
B	=26.36+0.2287enerji-0.007398(enerji) ² +0.000041(enerji) ³	3.60

Renk değerlerindeki değişime bağlı olarak ölçülen regresyon katsayıları değişim göstermektedir. Regresyon kat sayıları L değeri için EAŞ, US, sıcaklık ve enerji için sırasıyla 7.10, 3.50, 9.20 ve 1.50 bulunmuştur. A değeri için sırasıyla 14.30, 5.50, 4.50 ve 5.90 iken b değeri için 8.10, 7.60, 21.70 ve 3.60 bulunmuştur (Çizelge 4.8).



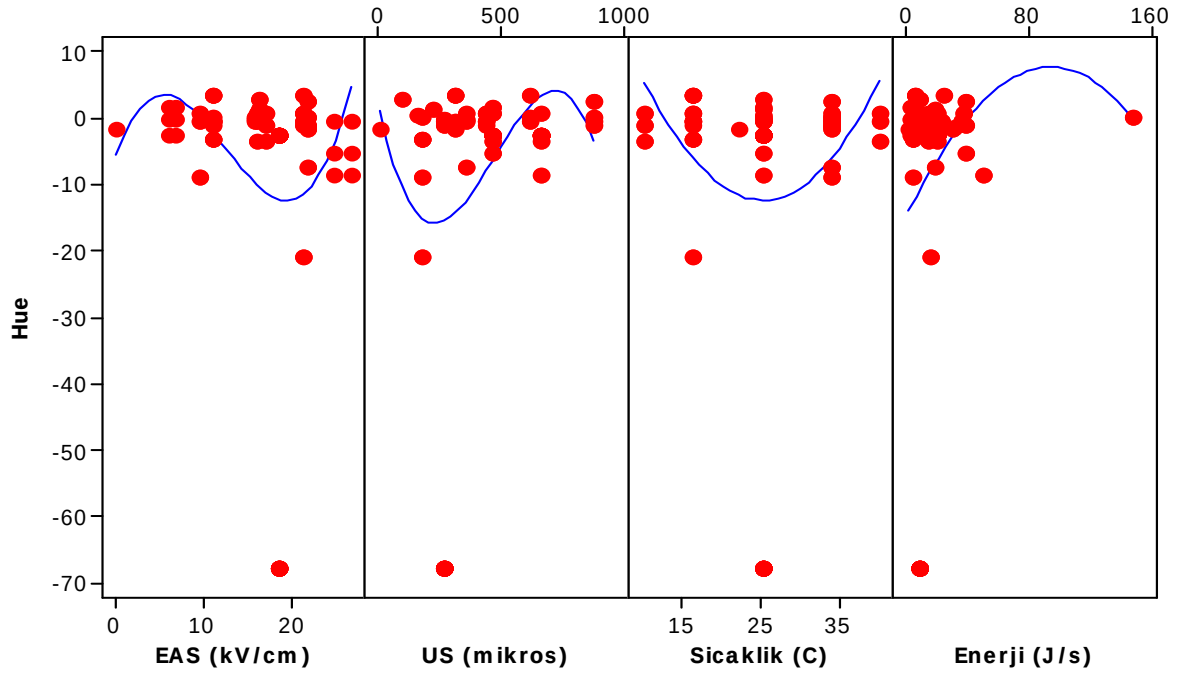
Şekil 4.9. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak kroma değerlerindeki değişim.

Renk değişiminin bir diğer göstergesi olan kroma değerine bakıldığında kontrol örneklerinde 261.97 ± 22.35 olarak ölçülmüştür. Proses parametrelerindeki değişime paralel olarak kroma değeri 211.05 ± 23.32 ile 610.53 ± 32.29 arasında değişim göstermiştir. Kontrol örneklerinin kroma değeri proses edilen örneklerin kroma değerlerinin alt ve üst limitlerinin arasında kalmasına rağmen kroma değerindeki değişim istatistiksel olarak farklı bulunmuştur ($p \leq 0.05$) (Şekil 4.9).

Kroma değerindeki değişim ve proses parametreleri arasındaki ilişkiye bakıldığında EAŞ, US, sıcaklık ve enerji ile kroma değeri arasında sırasıyla regresyon katsayıları 8.60, 7.30, 21.20 ve 3.70 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Elektrik alan şiddeti (EAS), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin kroma değerlerindeki değişim ile ilişkisi.

Renk	Regresyon eşitliği	R ²
Kroma	$=324.1-10.4\text{elektrik alan şiddeti}+1.796(\text{elektrik alan şiddeti})^2-0.05295(\text{elektrik alan şiddeti})^3$	8.60
Kroma	$=257.0+0.630\text{uygulama süresi}-0.000705(\text{uygulama süresi})^2-0.000000(\text{uygulama süresi})^3$	7.30
Kroma	$=222.0-1.94\text{sıcaklık}+0.951(\text{sıcaklık})^2-0.02164(\text{sıcaklık})^3$	21.20
Kroma	$=357.0+6.427\text{enerji}-0.2115(\text{enerji})^2-0.001165(\text{enerji})^3$	3.70



Şekil 4.10. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak hue değerlerindeki değişim.

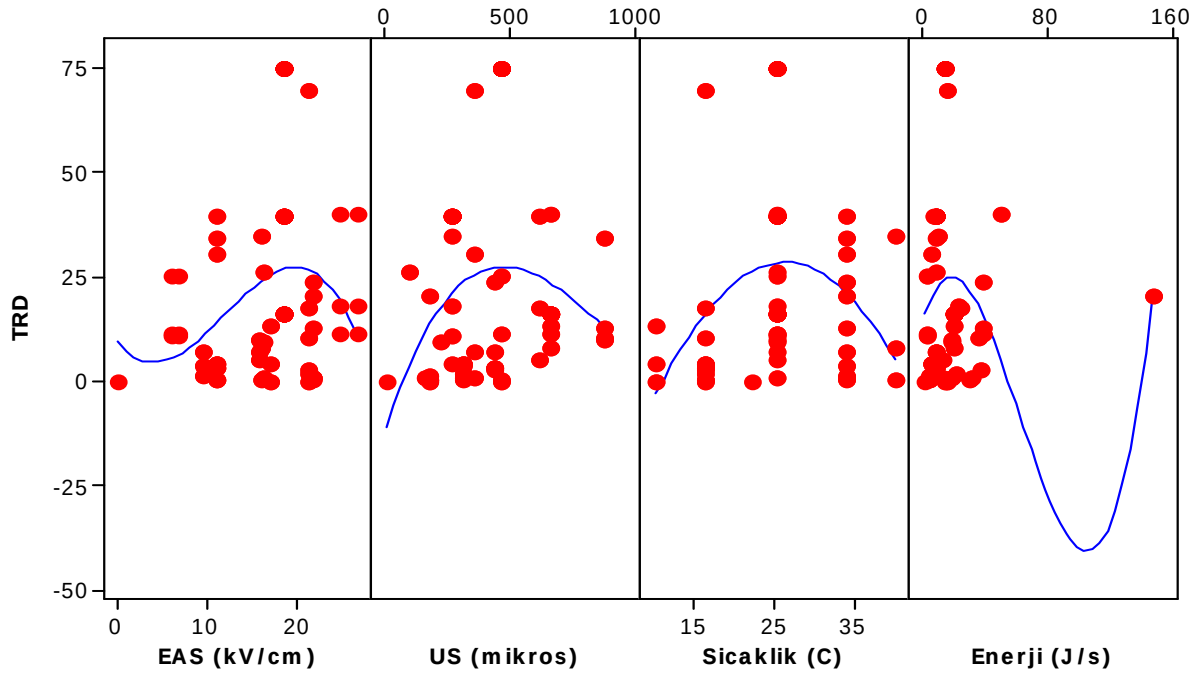
Hue değeriindeki değişim yine kontrol örnekleri ile karşılaştırmalı bir şekilde yapılmıştır. Kontrol örneklerinin ortalama hue değeri -1.48 ± 0.04 hesaplanmıştır. Proses edilen örneklerde hue değeri -67.77 ± 12.45 ile 3.72 ± 1.97 arasında değişim göstermiştir. Proses edilen örneklere ait minimum ve maksimum değerlerin bulunduğu güven aralığı dikkate alındığında kontrol örnekleri istatistiksel olarak farklı değildir ($p > 0.05$); fakat hue değeriindeki değişim oranı istatistiksel olarak farklı bulunmuştur ($p \leq 0.05$) (Şekil 4.10).

Hue değerlerindeki değişime proses parametrelerinin etkisi regresyon katsayı ile irdelenmiştir. Hue değeriindeki değişim diğer ölçülen özelliklere göre daha fazladır; fakat prosese ilişkin bağımsız değişkenlerle ilişkilendirilmeye çalışıldığında düşük regresyon katsayıları elde edilmiştir. Buna göre EAŞ, US, sıcaklık ve enerji ile hue değeri arasındaki regresyon katsayıları 7.00, 12.1, 7.2 ve 3.8 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin hue değerlerindeki değişim ile ilişkisi.

Renk	Regresyon eşitliği	R ²
Hue	$= -5.84 - 3.78 \text{elektrik alan şiddeti} - 44.02(\text{elektrik alan şiddeti})^2 - 0.0117(\text{elektrik alan şiddeti})^3$	7.00
Hue	$= 1.14 - 0.166 \text{uygulama süresi} + 0.000481(\text{uygulama süresi})^2 - 0.000000(\text{uygulama süresi})^3$	12.10
Hue	$= 35.09 - 3.639 \text{sıcaklık} + 0.0651(\text{sıcaklık})^2 - 0.000189(\text{sıcaklık})^3$	7.20
Hue	$= -13.91 + 0.4480 \text{enerji} - 0.00212(\text{enerji})^2 - 0.000002(\text{enerji})^3$	3.80

Toplam renk değişim (TRD) değeri açısından kontrol ve proses edilen örnekler incelendiğinde kontrol örnekleri referans olarak alındığından dolayı TRD 0.00 ± 0.00 olarak belirlenmiş ve proses edilen örnekler kontrol örneklerinin L, a ve b değerleri referans olarak hesaplanmıştır. Buna göre TRD değeri minimum 3241.85 ± 6.90 ile maksimum 3325.80 ± 9.13 arasında değişim göstermiştir. TRD değerindeki sayının büyüklüğü renk değişiminin ölçüsünü vermektedir, bu nedenle sayı büyüdükçe renkteki değişimin arttığı düşünölmektedir. Proses parametrelerine bağlı olarak TRD değerinin artması renk değişiminin arttığını göstermektedir (şekil 4.11)



şekil 4.11. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak TRD değerlerindeki değişim.

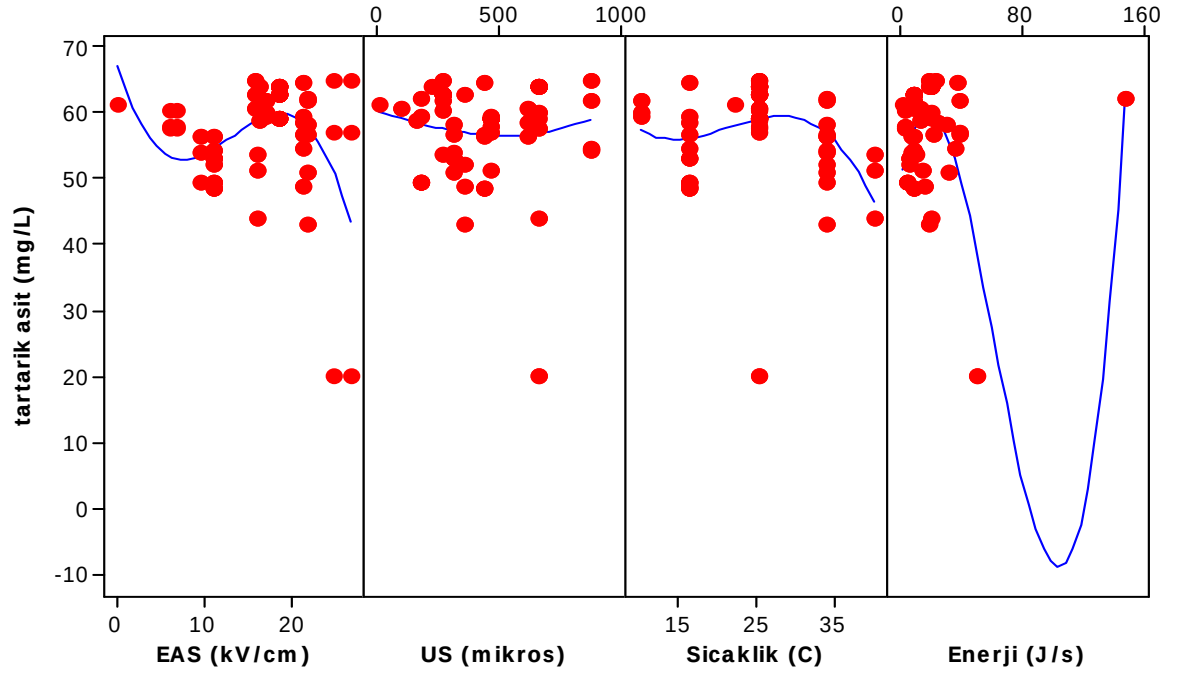
TRD değeriindeki değışimin proses parametreleri ile ilişkilendirilmesi sonucu hesaplanan regresyon katsayıları EAŞ, US, sıcaklık ve enerji değışkenleri için 8.6, 7.1, 13.8 ve 2.3 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin TRD değeriindeki değışim ile ilişkisi.

Renk	Regresyon eşitliğı	R ²
TRD	$=9.59-2.751 \text{ elektrik alan şiddeti} + 0.41152 (\text{elektrik alan şiddeti})^2-0.01198 (\text{elektrik alan şiddeti})^3$	8.60
TRD	$=-11.2+0.1862 \text{ uygulama süresi} - 0.000268 (\text{uygulama süresi})^2 + 0.000000 (\text{uygulama süresi})^3$	7.10
TRD	$=-52.45 + 6.018 \text{ sıcaklık} - 0.1062 (\text{sıcaklık})^2 - 0.000207 (\text{sıcaklık})^3$	13.80
TRD	$=15.85 + 1.094 \text{ enerji} - 0.03649 (\text{enerji})^2 - 0.000199 (\text{enerji})^3$	2.30

Elma suyunun farklı parametreler altında prosesi sonrası organik asit miktarındaki değışimlere bakılmıştır. Elma suyunda tartarik, kuinik, okzalik, malik, sitrik, fumarik ve askorbik asit tespiti yapılırken suksinik asit miktarı çok düşük olduğu için tespit edilememiştir. Kontrol örneklerinde tartarik asit miktarı 48.801 mg/L olarak tespit edilmiştir. Bu miktar farklı proses parametreleri altında 43.061±3.96 ile 64.661 mg/L arasında değışim göstermiştir. Proses parametrelerine bağılı olarak tartarik asit miktarında değışim gözlenmesine rağmen, kontrol örnekleri ile proses edilen örnekler arasında önemli bir fark bulunmamıştır (p>0.05) (Şekil 4.12). Bununla birlikte, tartarik asit miktarındaki değışim ile proses parametreleri arasındaki ilişki incelendiğinde farklı regresyon katsayıları tespit edilmiştir. Tartarik asit miktarındaki

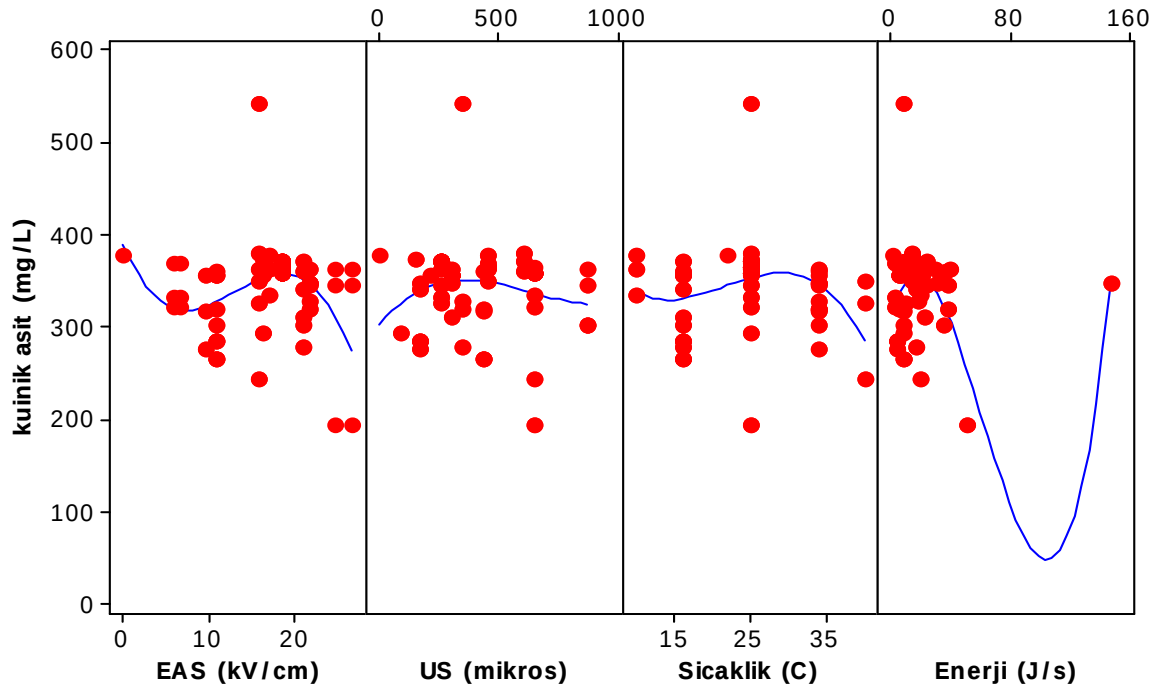
değişim ile EAŞ, US, sıcaklık ve enerji arasındaki regresyon katsayıları 22.61, 1.10, 14.60 ve 28.10 olarak değişim göstermiştir (Çizelge 4.12).



Şekil 4.12. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak tartarik asit (mg/L) miktarındaki değişim.

Çizelge 4.12. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin tartarik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.

Tartarik asit (TA) (mg/L)	Regresyon eşitliği	R ²
TA	=67.54 - 4.420elektrik alan şiddeti + 0.4076(elektrik alan şiddeti) ² - 0.01033(elektrik alan şiddeti) ³	22.61
TA	=60.24 + 0.01235uygulama süresi - 0.000007 (uygulama süresi) ² +0.000000 (uygulama süresi) ³	1.10
TA	=76.25-3.402 sıcaklık-0.1789 (sıcaklık) ² -0.002811 (sıcaklık) ³	14.60
TA	=51.26 +1.144 enerji-0.03899 (enerji) ² -0.000216 (enerji) ³	28.10

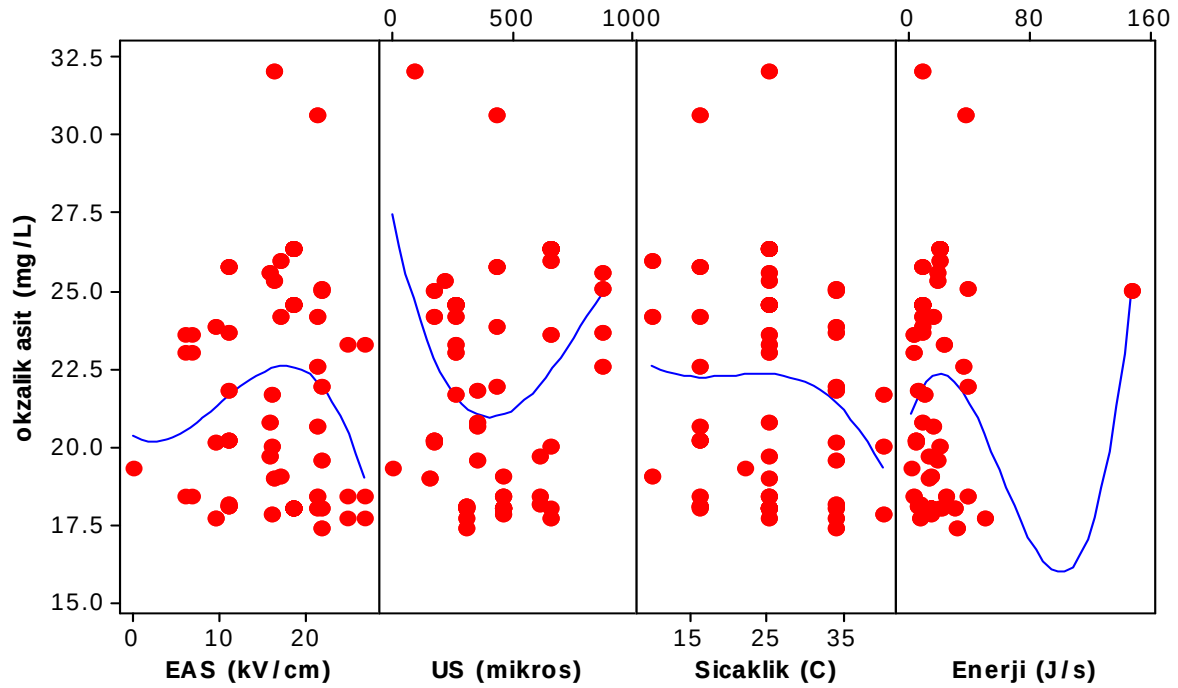


Şekil 4.13. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak tartarik asit (mg/L) miktarındaki değişim.

Kontrol örneklerinde kuinik asit miktarı 369.04 mg/L olarak ölçülmüştür. Kuinik asit miktarı proses sonrasında 267.18±22.34 ile 442.22±32.45 mg/L arasında değişmiştir ve istatistiksel olarak karşılaştırıldığında kontrol örnekleri ile proses edilen örnekler arasında kuinik asit miktarı açısından önemli bir fark görülmemiştir ($p>0.05$) (Şekil 4.13). Kuinik asit miktarının proses parametrelerine bağlı olarak değişimi incelendiğinde ise regresyon katsayıları EAŞ, US, sıcaklık ve enerji için sırasıyla 15.30, 3.50, 11.80 ve 13.70 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin kuinik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.

Kuinik asit (KA) (mg/L)	Regresyon eşitliği	R ²
KA	=392.0-4.22.46 elektrik alan şiddeti+2.093 (elektrik alan şiddeti) ² -0.05303 (elektrik alan şiddeti) ³	15.30
KA	=303.2 + 0.3066 uygulama süresi - 0.000588 (uygulama süresi) ² +0.000000 (uygulama süresi) ³	3.50
KA	=462.8-22.22 sıcaklık-1.164 (sıcaklık) ² -0.01796 (sıcaklık) ³	11.80
KA	=320.8 +4.677 enerji-0.1659 (enerji) ² -0.000921 (enerji) ³	13.70



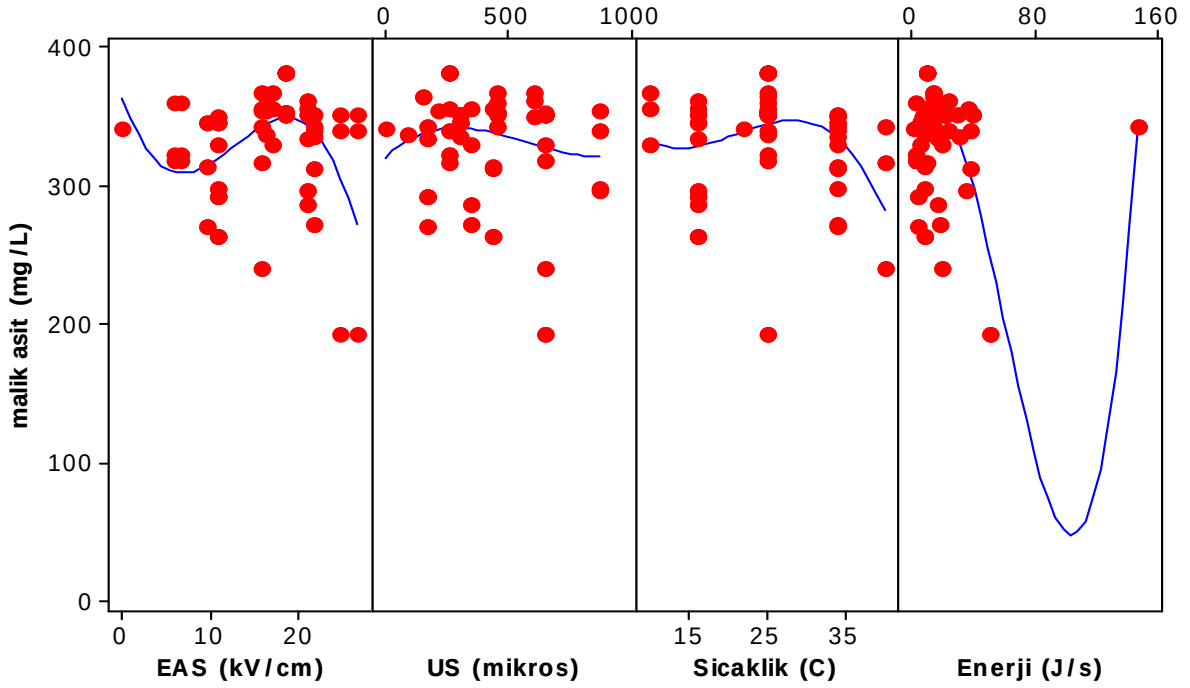
Şekil 4.14. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak okzalik asit (mg/L) miktarındaki değişim.

Okzalik asit miktarındaki değişime bakıldığı zaman yine farklı proses parametrelerinin okzalik asit miktarında önemli bir değişime neden olmadığı görülmüştür şöyleki; kontrol örneklerindeki okzalik asit miktarı 20.795 ± 3.76 mg/L iken proses sonrasında 17.442 ± 2.16 ile 26.391 ± 4.42 mg/L arasında değişmiştir (Şekil 4.14). Okzalik asit miktarındaki değişimin proses parametrelerine bağlı olarak değişimi incelendiğinde regresyon katsayıları 4.70, 11.20, 4.00 ve 2.50 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin okzalik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.

Okzalik asit (OA) (mg/L)	Regresyon eşitliği	R ²
OA	=20.42-0.1841 elektrik alan şiddeti+0.04190 (elektrik alan şiddeti) ² -0.001383 (elektrik alan şiddeti) ³	4.70
OA	=27.47- 0.03578 uygulama süresi+ 0.0000580 (uygulama süresi) ² +0.000000 (uygulama süresi) ³	11.20
OA	=25.60-0.524 sıcaklık+0.02674 (sıcaklık) ² -0.000439 (sıcaklık) ³	4.00
OA	=21.08 + 0.143 enerji-0.0438 (enerji) ² +0.000024 (enerji) ³	2.50

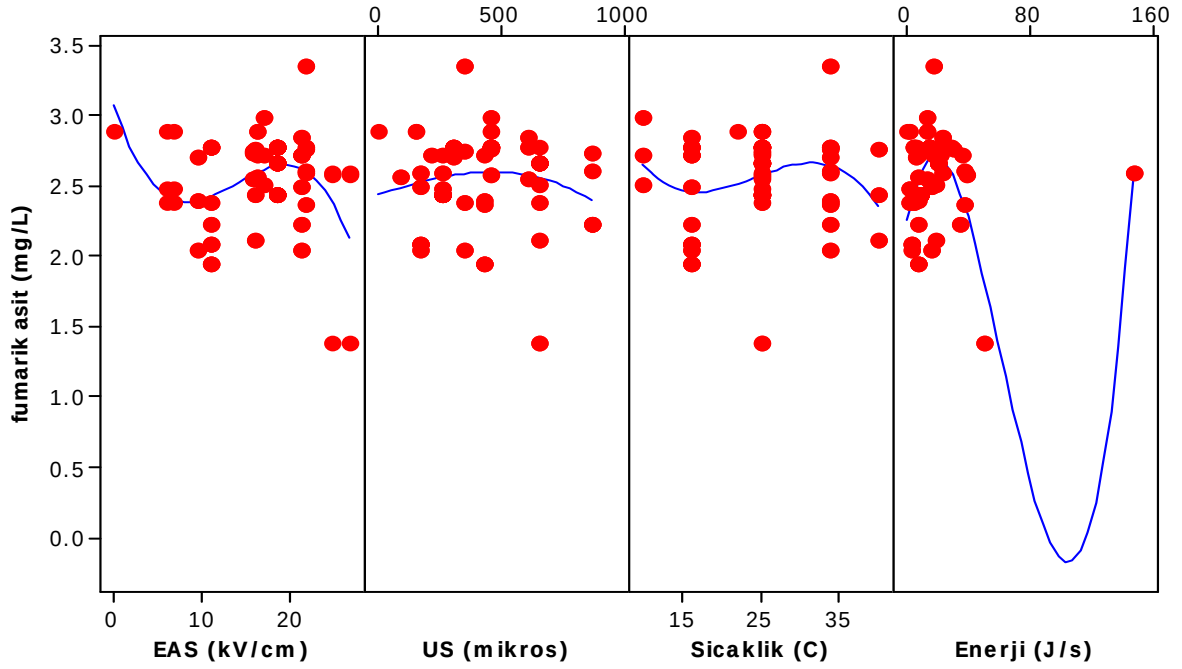
Malik asit miktarındaki değişim 351.68±46.23 mg/L iken proses parametrelerine bağlı olarak 287.34±32.34 ile 381.74±46.66 mg/L arasında değişim göstermiştir (p>0.05) (Şekil 4.15). Farklı EAŞ, US, sıcaklık ve enerji parametrelerine bağlı olarak malik asit miktarındaki değişime bakıldığında regresyon katsayıları 21.40, 3.10, 14.40 ve 19.80 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.15).



Şekil 4.15. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak malik asit (mg/L) miktarındaki değişim.

Çizelge 4.15. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin malik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.

Malik asit (OA) (mg/L)	Regresyon eşitliği	R ²
MA	=365.7 - 18.49 elektrik alan şiddeti + 1.831 (elektrik alan şiddeti) ² -0.0473 (elektrik alan şiddeti) ³	21.40
MA	=320.9 - 0.1638 uygulama süresi -0.00373 (uygulama süresi) ² +0.000000 (uygulama süresi) ³	3.10
MA	=425.30 - 16.71 sıcaklık + 0.8935 (sıcaklık) ² - 0.01413 (sıcaklık) ³	14.40
MA	=312.8 + 46.66 enerji - 0.1635 (enerji) ² + 0.00906 (enerji) ³	19.80



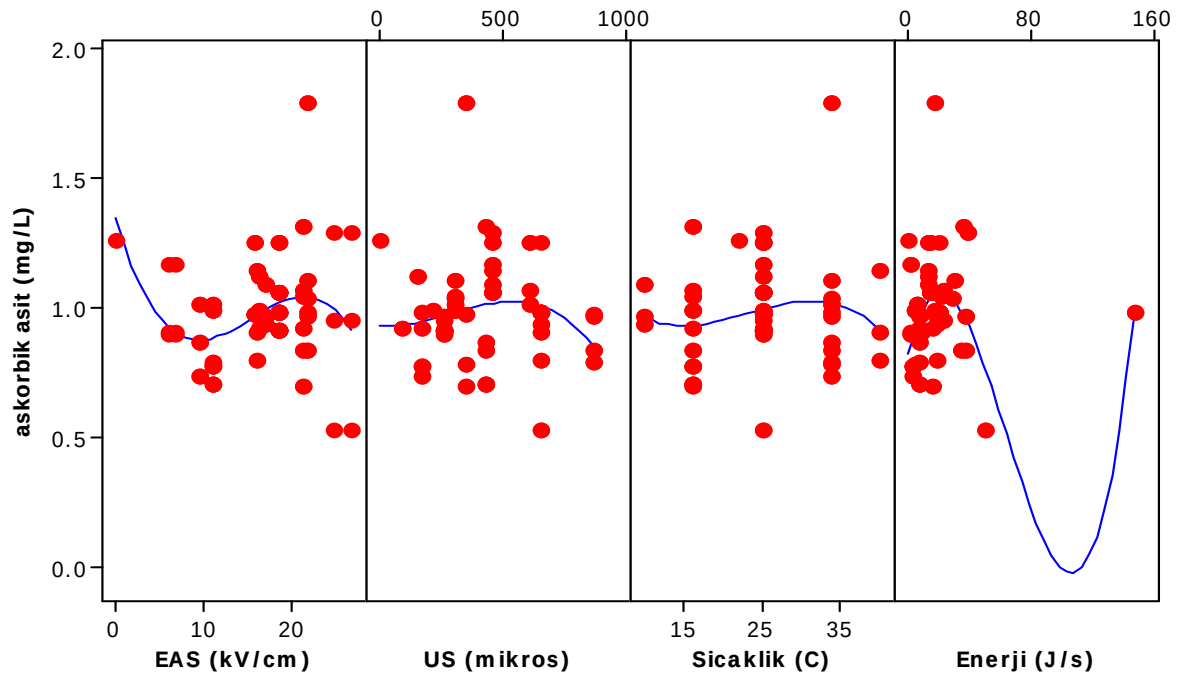
Şekil 4.16. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak fumarik asit (mg/L) miktarındaki değişim.

Fumarik asit miktarındaki değişime bakıldığında kontrol örneklerinde fumarik asit miktarı $1.393 \pm 0.32.14$ ile 3.3605 ± 0.82 mg/L arasında değişim göstermiştir. Kontrol örneklerine bu miktar 2.852 ± 0.54 mg/L olarak ölçülmüştür. Kontrol örnekleri proses edilen örneklerle karşılaştırıldığında fumarik asit miktarında önemli bir değişim tespit edilmemiştir ($p > 0.05$) (Şekil 4.16).

Proses parametrelerine bağlı olarak fumarik asit miktarındaki değişime bakıldığında regresyon katsayıları 16.80, 2.60, 6.30 ve 25.80 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler sırasıyla EAŞ, US, sıcaklık ve enerji değerleri için hesaplanmıştır (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin fumarik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.

Fumarik asit (FA) (mg/L)	Regresyon eşitliği	R ²
FA	=3.104 – 0.1995 elektrik alan şiddeti + 0.01700 (elektrik alan şiddeti) ² -0.000408 (elektrik alan şiddeti) ³	16.80
FA	=2.443 + 0.0002249 uygulama süresi -0.000000 (uygulama süresi) ² +0.000000 (uygulama süresi) ³	2.60
FA	=4.03 – 0.2249 sıcaklık + 0.01015 (sıcaklık) ² - 0.000139 (sıcaklık) ³	6.30
FA	=2.257 + 0.05219 enerji - 0.001665 (enerji) ² + 0.000009 (enerji) ³	25.80



Şekil 4.17. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak askorbik asit (mg/L) miktarındaki değişim.

Askorbik asit miktarındaki değişim incelendiğinde kontrol örneklerinin askorbik asit miktarı 1.031 ± 0.21 mg/L olarak ölçülmüştür. Farklı uygulamalardan sonra askorbik asit miktarı 0.701 ± 0.21 ile 1.799 ± 0.41 mg/L arasında ölçülmüştür. Kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında yapılan uygulamalar askorbik asit miktarında önemli bir değişime neden olmamıştır ($p > 0.05$) (Şekil 4.17).

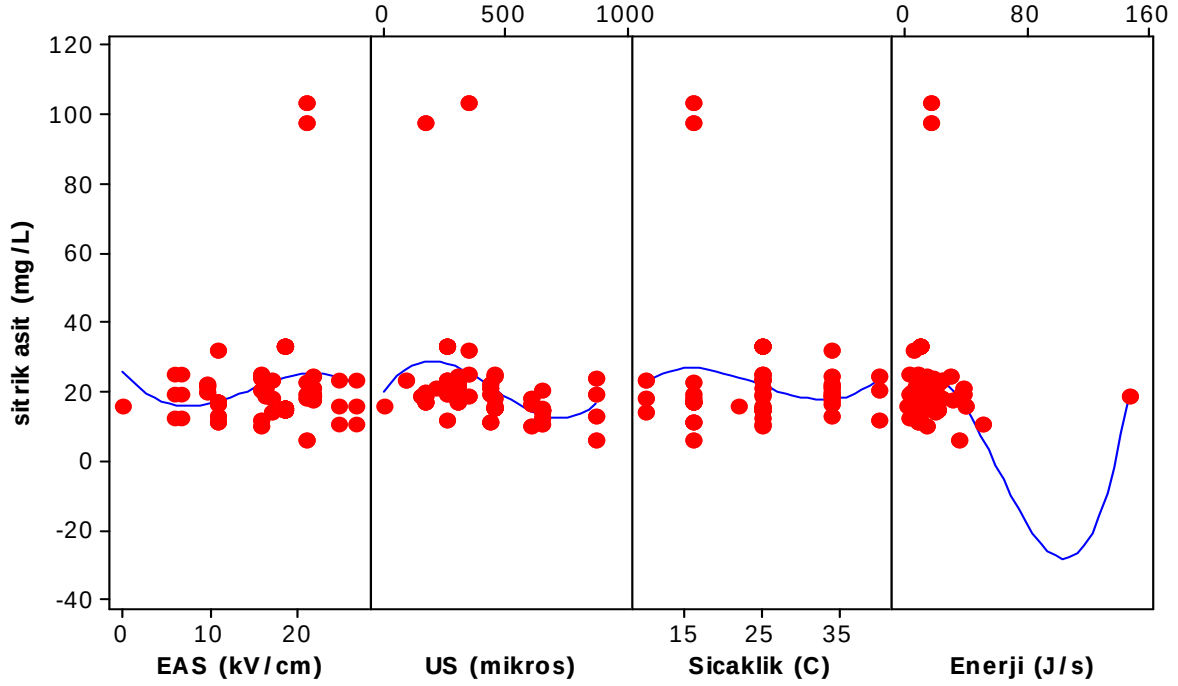
Çizelge 4.17. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin askorbik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.

Askorbik asit (AA) (mg/L)	Regresyon eşitliği	R ²
AA	$= 1.358 - 0.1189 \text{ elektrik alan şiddeti} + 0.009042 (\text{elektrik alan şiddeti})^2 - 0.000195 (\text{elektrik alan şiddeti})^3$	13.40
AA	$= 0.9340 + 0.000066 \text{ uygulama süresi} - 0.000001 (\text{uygulama süresi})^2 + 0.000000 (\text{uygulama süresi})^3$	5.10
AA	$= 1.326 - 0.06220 \text{ sıcaklık} + 0.003062 (\text{sıcaklık})^2 - 0.000000 (\text{sıcaklık})^3$	3.10
AA	$= 0.8203 + 0.02414 \text{ enerji} - 0.000680 (\text{enerji})^2 + 0.000004 (\text{enerji})^3$	13.30

Proses parametrelerine bağlı olarak askorbik asit miktarındaki değişime bağlı olarak regresyon eşitiği ve katsayıları çizelge 4.17’de verilmiştir. Hesaplanan regresyon katsayıları EAŞ, US, sıcaklık ve enerji parametreleri için 13.40, 5.10, 3.10 ve 13.30 olarak hesaplanmıştır.

Elma sularının sitrik asit miktarındaki değişime bakıldığında kontrol örneklerinin sitrik asit miktarı 15.983 ± 3.86 mg/L olarak ölçülmüştür. Proses edilen örneklerde sitrik asit miktarı 10.466 ± 2.04 ile 33.319 ± 5.89 mg/L arasında değişim göstermiştir. Kontrol örnekleri ile

karşılaştırıldığında elma sularının sitrik asit miktarında önemli bir değişim tespit edilmemiştir ($p>0.05$) (Şekil 4.18).



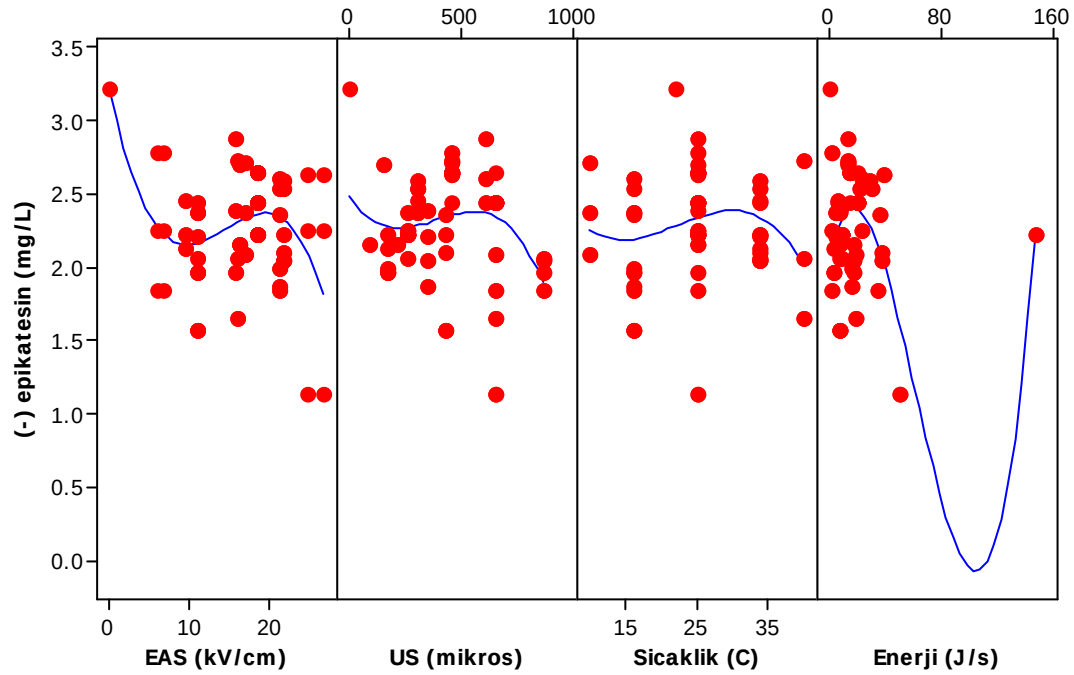
Şekil 4.18. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak sitrik asit (mg/L) miktarındaki değişim.

Proses parametrelerine bağlı olarak sitrik asit miktarındaki değişime ilişkin regresyon eşitliği ve katsayıları incelenmiştir. Regresyon katsayılarına bakıldığında EAŞ, US, sıcaklık ve enerji değişkenine karşın regresyon katsayıları 4.10, 13.10, 3.30 ve 3.40 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin sitrik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.

Sitrik asit (SA) mg/L)	Regresyon eşitliği	R ²
SA	=26.23 – 3.057 elektrik alan şiddeti + 0.2727 (elektrik alan şiddeti) ² - 0.006141 (elektrik alan şiddeti) ³	4.10
SA	=19.87 + 0.09877 uygulama süresi - 0.000314 (uygulama süresi) ² +0.000000 (uygulama süresi) ³	13.10
SA	=-11.14 + 5.700 sıcaklık - 0.2654 (sıcaklık) ² - 0.003613 (sıcaklık) ³	3.30
SA	=19.26 + 0.7036 enerji - 0.02649 (enerji) ² + 0.00148 (enerji) ³	3.40

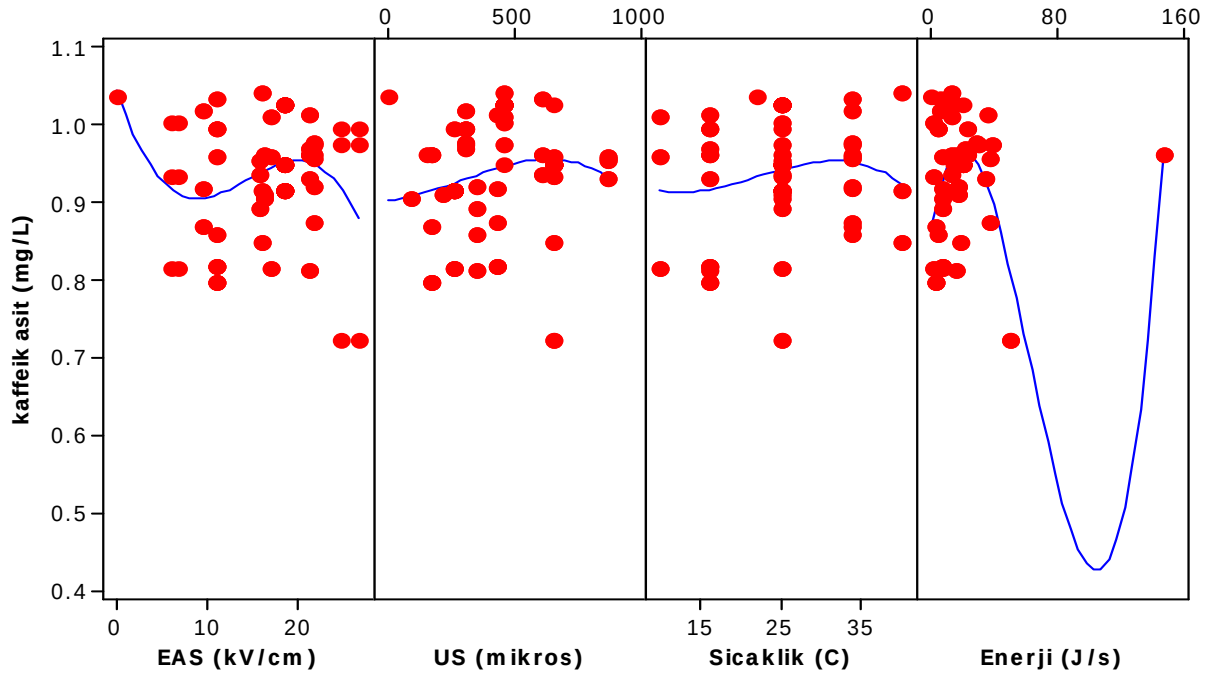
Elma sularındaki fenolik madde miktarlarındaki değişimin tespit edilmesi amacıyla yaygın fenolik maddeler farklı proses parametreleri altında takip ve tespit edilmiştir. Elma sularında fenolik maddelerden (-) epikateşin miktarındaki değişim 1.143±0.018 mg/L ile 2.888±0.028 mg/L arasında gözlenmiştir. Kontrol örneklerinin (-) epikateşin miktarı 3.521±0.423 mg/L olarak ölçülmüştür. Kontrol örnekleri ile karşılaştırmalı olarak elma sularının (-) epikateşin miktarındaki değişim önemli bulunmuştur (p≤0.05). Proses edilen örneklerde kontrol örneklerine göre (-) epikateşin miktarında önemli derecede azalma görülmüştür (Çizelge 4.19).



Şekil 4.19. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak (-) epikateşin (mg/L) miktarındaki değişim.

Çizelge 4.19. Elektrik alan şiddeti (EAS), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin (-) epikateşin (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.

(-) epikateşin (mg/L)	Regresyon eşitliği	R ²
(-) epikateşin	$= 3.249 - 0.2196 \text{ elektrik alan şiddeti} + 0.02080 (\text{elektrik alan şiddeti})^2 - 0.000476 (\text{elektrik alan şiddeti})^3$	16.00
(-) epikateşin	$= 2.490 + 0.002275 \text{ uygulama süresi} - 0.000007 (\text{uygulama süresi})^2 + 0.000000 (\text{uygulama süresi})^3$	10.5
(-) epikateşin	$= 3.103 - 0.1479 \text{ sıcaklık} + 0.007479 (\text{sıcaklık})^2 - 0.000111 (\text{sıcaklık})^3$	5.90
(-) epikateşin	$= 2.084 + 0.03976 \text{ enerji} - 0.00135 (\text{enerji})^2 + 0.000007 (\text{enerji})^3$	14.70

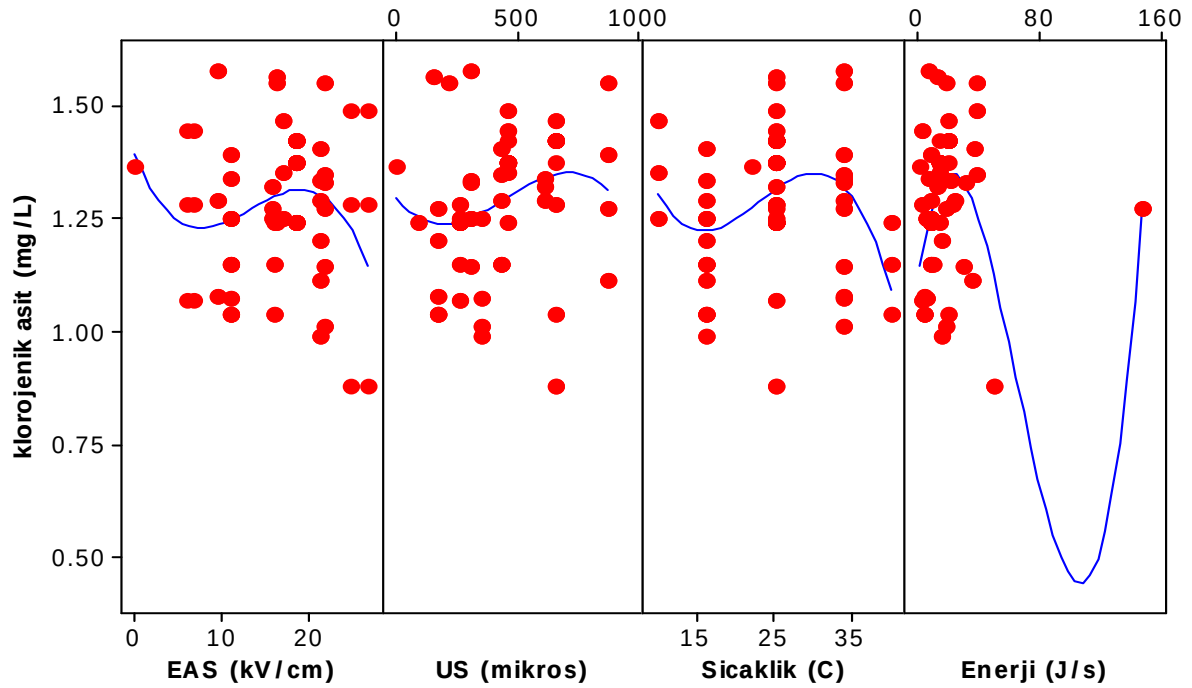


Şekil 4.20. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak kaffeik asit (mg/L) miktarındaki değişim.

Proses edilmemiş elma sularında kafeik asit miktarı 1.052 ± 0.057 mg/L olarak tespit edilmiştir. Farklı proses parametreleri altında kafeik asit miktarında değişim görülmekle birlikte kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında kafeik asit miktarında önemli bir değişim görülmemiş ve proses edilen örneklerde kafeik asit miktarı 0.798 ± 0.013 mg/L ile 1.043 ± 0.013 mg/L arasında değişim göstermiştir ($p > 0.05$). Proses parametrelerine bağlı olarak kafeik asit miktarındaki değişim Şekil 4.20’de verilmiştir. Proses parametrelerine bağlı olarak kafeik asit miktarındaki değişimin regresyon modeline bakıldığı zaman E, US, sıcaklık ve uygulanan enerji seviyelerine bağlı olarak regresyon katsayıları sırasıyla 9.20, 4.10, 3.50 ve 19.60 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin kaffeik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.

Kaffeik asit (mg/L)	Regresyon eşitliği	R ²
kaffeik asit	=1.050 – 0.03795 elektrik alan şiddeti + 0.003073 (elektrik alan şiddeti) ² -0.000071 (elektrik alan şiddeti) ³	9.20
kaffeik asit	=0.9030 + 0.000029 uygulama süresi -0.000000 (uygulama süresi) ² +0.000000 (uygulama süresi) ³	4.10
kaffeik asit	=0.9889 – 0.01391 sıcaklık + 0.000775 (sıcaklık) ² - 0.00012 (sıcaklık) ³	3.50
kaffeik asit	=0.8663 + 0.01115 enerji - 0.000333 (enerji) ² + 0.0000002 (enerji) ³	19.60



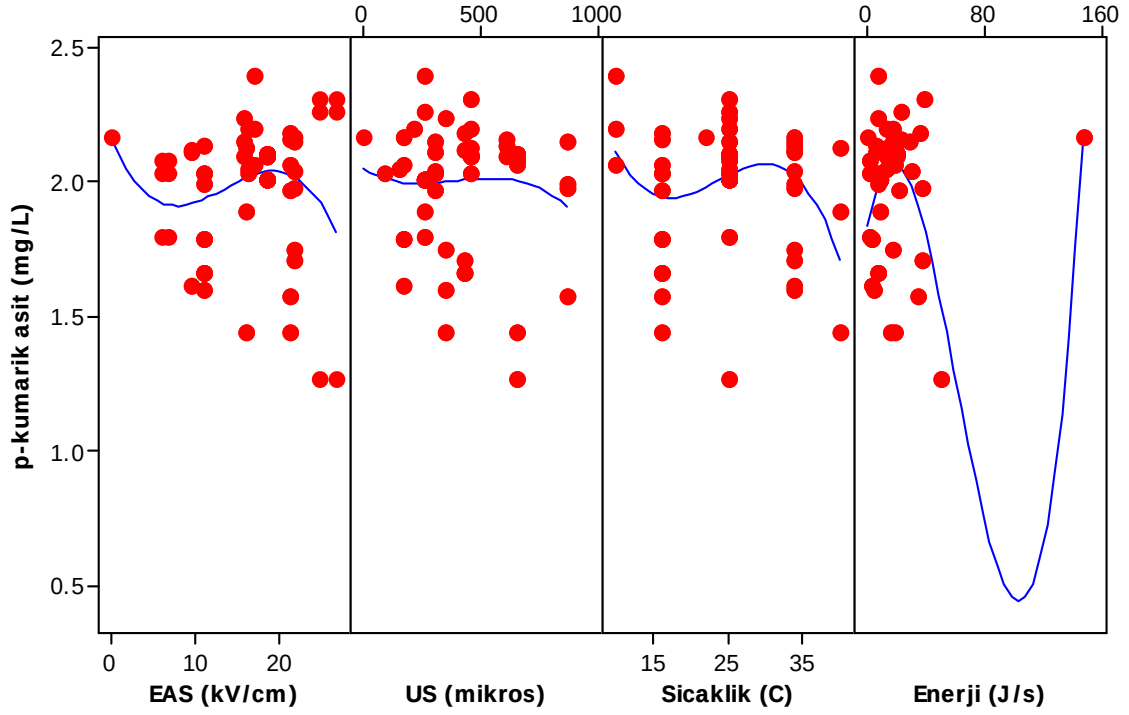
Şekil 4.21. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak klorojenik asit (mg/L) miktarındaki değişim.

Klorojenik asit miktarındaki değişim incelendiğinde kontrol örneklerindeki klorojenik asit miktarının 1.418 ± 0.120 mg/L olduğu görölmüştür. Farklı proses parametreleri altında klorojenik asit miktarı 0.880 ± 0.050 mg/L ile 1.553 ± 0.033 mg/L arasında değişim göstermiştir. İstatistiksel olarak klorojenik asit miktarındaki bu değişim kontrol örneklerinden farklı bulunmamıştır ($p > 0.05$). Proses parametrelerine bağlı olarak klorojenik asit miktarı değişim göstermiştir (Şekil 4.21).

Çizelge 4.21. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin klorojenik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.

klorojenik asit (mg/L)	Regresyon eşitliği	R ²
klorojenik asit	$= 1.399 - 0.05103 \text{ elektrik alan şiddeti} + 0.004659 (\text{elektrik alan şiddeti})^2 - 0.000116 (\text{elektrik alan şiddeti})^3$	6.40
klorojenik asit	$= 1.297 - 0.000659 \text{ uygulama süresi} - 0.00002 (\text{uygulama süresi})^2 + 0.000000 (\text{uygulama süresi})^3$	6.80
klorojenik asit	$= 2.027 - 0.1229 \text{ sıcaklık} + 0.005919 (\text{sıcaklık})^2 - 0.000086 (\text{sıcaklık})^3$	14.10
klorojenik asit	$= 1.146 + 0.02048 \text{ enerji} - 0.000572 (\text{enerji})^2 + 0.0000003 (\text{enerji})^3$	14.30

Farklı proses parametrelerine bağlı olarak klorojenik asit miktarındaki değişimin regresyon modeli incelendiğinde EAŞ, US, sıcaklık ve enerji faktörlerine bağlı olarak klorojenik asit miktarındaki değişimin regresyon katsayıları 6.40, 6.80, 14.10 ve 14.30 olarak değişim göstermiştir (Çizelge 4.21).



Şekil 4.22. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak p-kumarik asit (mg/L) miktarındaki değişim.

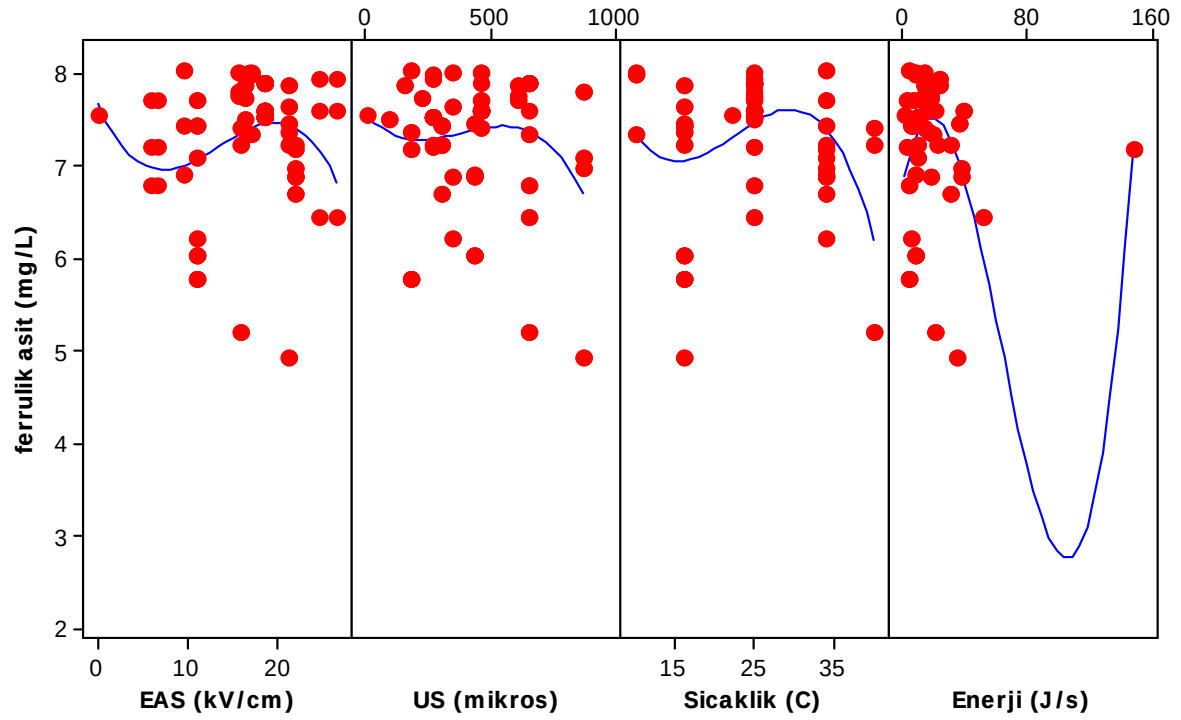
Proses edilmeyen elma sularında p-kumarik asit miktarı 2.184 ± 0.323 mg/L olarak ölçülmüştür. Farklı uygulamalar sonucunda p-kumarik asit miktarında 1.445 ± 0.015 mg/L ile 2.238 ± 0.023 mg/L arasında değişim gözlenmiştir. Proses parametrelerine bağlı olarak p-kumarik asit miktarı değişim göstermiştir (Şekil 4.22).

Benzer şekilde farklı proses parametrelerine bağlı olarak p-kumarik asit miktarındaki değişim regresyon modeli ile incelendiğinde EAŞ, US, sıcaklık ve enerji değişimine bağlı olarak p-kumarik asit miktarındaki değişimin regresyon katsayıları 6.10, 1.20, 11.50 ve 17.40 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin p-kumarik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.

p-kumarik asit (mg/L)	Regresyon eşitliği	R²
p-kumarik asit	$=2.165 - 0.07550 \text{ elektrik alan şiddeti} + 0.006096 (\text{elektrik alan şiddeti})^2 - 0.000167 (\text{elektrik alan şiddeti})^3$	6.10
p-kumarik asit	$=2.050 - 0.000537 \text{ uygulama süresi} - 0.000002 (\text{uygulama süresi})^2 + 0.000000 (\text{uygulama süresi})^3$	1.20
p-kumarik asit	$=3.266 - 0.1899 \text{ sıcaklık} + 0.008657 (\text{sıcaklık})^2 - 0.000122 (\text{sıcaklık})^3$	11.50
p-kumarik asit	$=1.835 + 0.02868 \text{ enerji} - 0.00095 (\text{enerji})^2 + 0.000005 (\text{enerji})^3$	17.40

Kontrol olarak kullanılan elma suyu örneklerinin ferrulik asit miktarı 0.713 ± 2.921 mg/L olarak ölçülmüştür. Uygulanan farklı proses parametreleri altında ferrulik asit miktarındaki değişim 0.023 ± 3.648 mg/L ile 0.455 ± 2.658 mg/L arasında tespit edilmiştir. Kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında proses edilen örneklerdeki ferrulik asit miktarı daha düşük çıkmıştır. Dolayısıyla, proses edilen örneklerle kontrol örnekleri karşılaştırıldığında ferrulik asit miktarındaki azalma istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p \leq 0.05$) (Şekil 4.23).

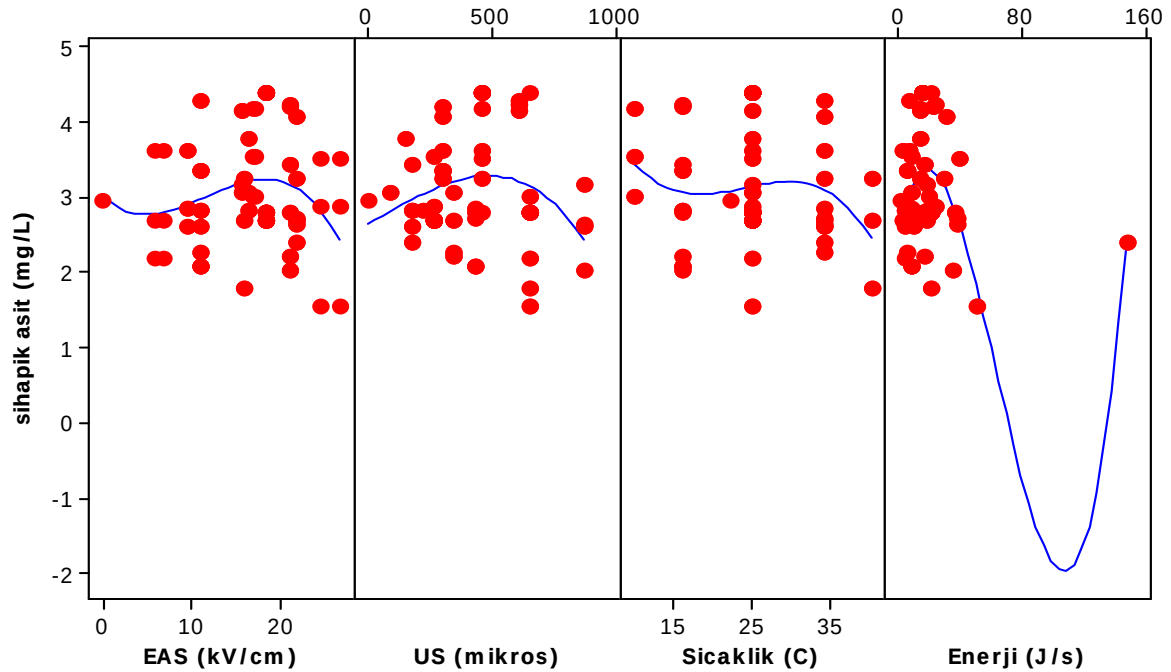


Şekil 4.23. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak ferrulik asit (mg/L) miktarındaki değişim.

Uygulanan proses parametrelerine bağlı olarak ferrulik asit miktarındaki değişim incelendiğinde EAŞ, US, sıcaklık ve enerji parametrelerine bağlı olarak regresyon katsayıları 7.70, 5.80, 18.80 ve 13.70 olarak hesaplanmıştır. Ferrulik asit miktarındaki değişime ilişkin regresyon eşitliği ve katsayıları Çizelge 4.23’de verilmektedir.

Çizelge 4.23. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin ferrulik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.

Ferrulik asit (mg/L)	Regresyon eşitliği	R ²
ferrulik asit	=7.710 - 0.2299 elektrik alan şiddeti + 0.2146 (elektrik alan şiddeti) ² -0.000527 (elektrik alan şiddeti) ³	7.70
ferrulik asit	=7.561 - 0.002873 uygulama süresi -0.000009 (uygulama süresi) ² +0.000000 (uygulama süresi) ³	5.80
ferrulik asit	=10.58 - 0.5532 sıcaklık + 0.02728 (sıcaklık) ² - 0.000405 (sıcaklık) ³	18.80
ferrulik asit	=6.892 + 0.07892 enerji - 0.002639 (enerji) ² + 0.0000014 (enerji) ³	13.70

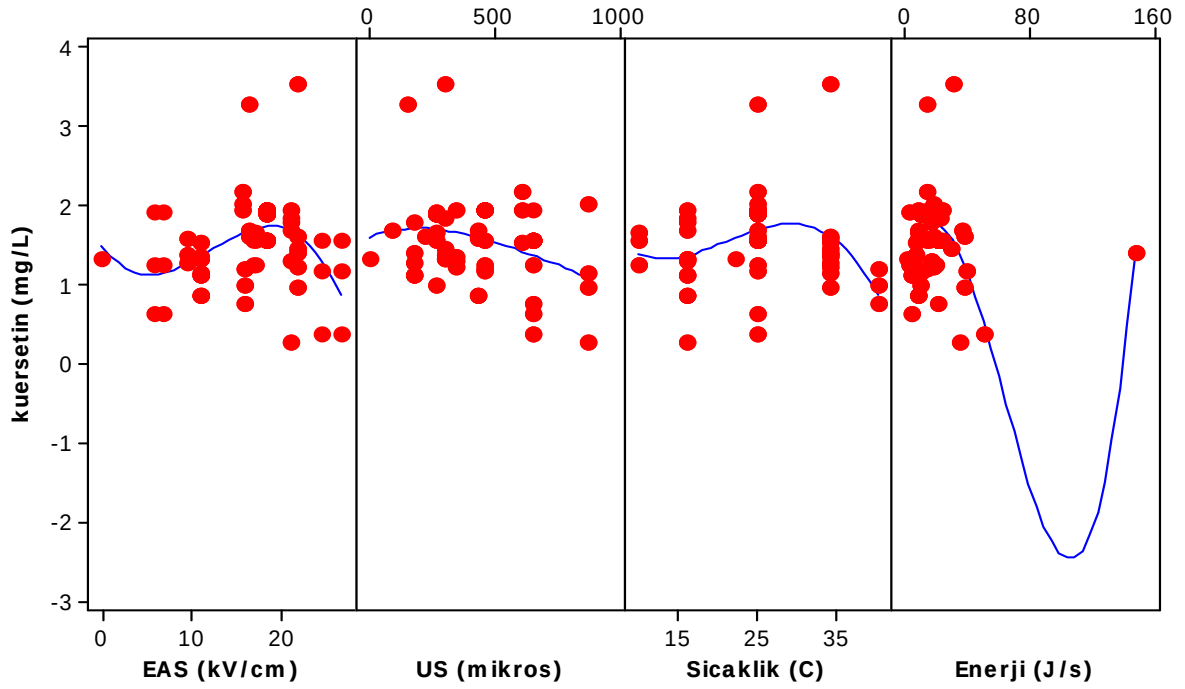


Şekil 4.24. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak sinapik asit (mg/L) miktarındaki değişim.

Sinapik asit miktarı yine proses parametrelerine bağlı olarak değişim göstermiştir. Kontrol örneklerinde 2.921 ± 0.489 mg/L olarak tespit edilen sinapik asit miktarı proses parametrelerindeki değişime bağlı olarak 2.053 ± 0.018 mg/L ile 4.410 ± 0.020 mg/L arasında değişim göstermiştir. Proses parametrelerine bağlı olarak sinapik asit miktarındaki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p > 0.05$). EAŞ, US, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak sinapik asit miktarındaki değişim Şekil 4.24'te verilmiştir. sinapik asit miktarındaki değişim regresyon eşitliği ve katsayısı ile açıklanmak istendiğinde EAŞ, US, sıcaklık ve enerjiye bağlı olarak regresyon katsayıları 6.00, 8.20, 5.30 ve 15.70 olarak değişim göstermektedir (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin sinapik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.

Sinapik asit (mg/L)	Regresyon eşitliği	R ²
Sinapik asit	$= 3.036 - 0.1143 \text{ elektrik alan şiddeti} + 0.01438 (\text{elektrik alan şiddeti})^2 - 0.000410 (\text{elektrik alan şiddeti})^3$	6.00
Sinapik asit	$= 2.645 - 0.001834 \text{ uygulama süresi} - 0.00001 (\text{uygulama süresi})^2 + 0.00000 (\text{uygulama süresi})^3$	8.20
Sinapik asit	$= 5.915 - 0.3969 \text{ sıcaklık} + 0.01764 (\text{sıcaklık})^2 - 0.000247 (\text{sıcaklık})^3$	5.30
Sinapik asit	$= 2.628 + 0.08806 \text{ enerji} - 0.002870 (\text{enerji})^2 + 0.000015 (\text{enerji})^3$	15.70



Şekil 4.25. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak kuersetin (mg/L) miktarındaki değişim.

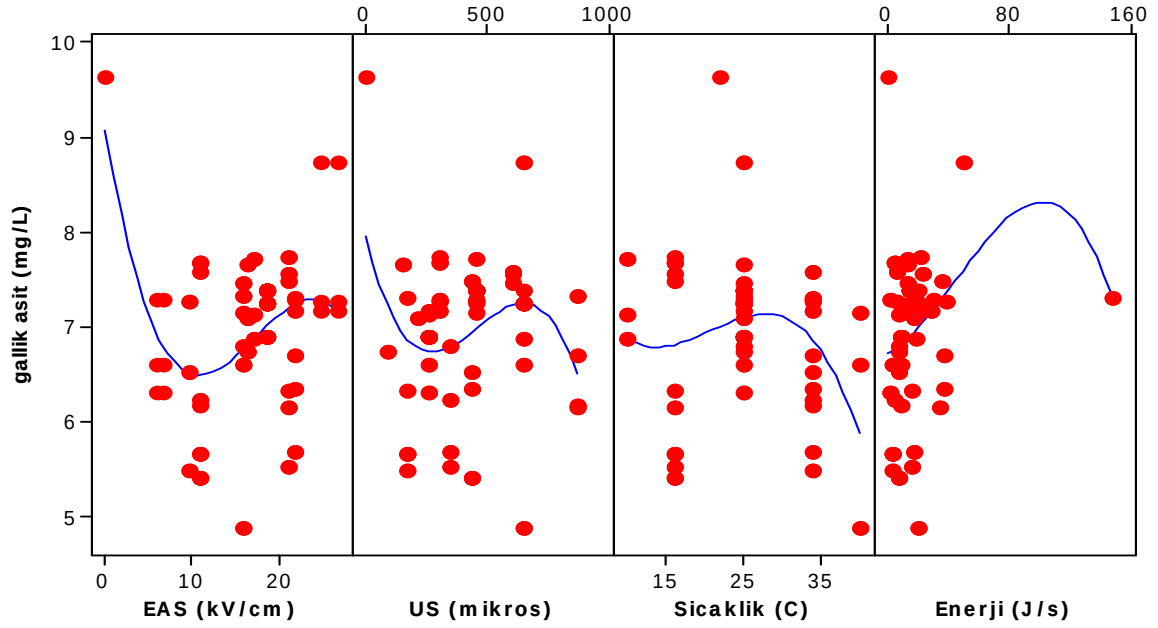
Kuersetin miktarındaki değişim incelendiğinde proses parametrelerine bağlı olarak kontrol örneklerinde tespit edilen başlangıç miktarının değiştiği görülmektedir (Şekil 4.25). Kontrol örneklerinde 1.412 ± 0.432 mg/L olarak belirlenen kuersetin miktarı proses parametrelerine bağlı olarak 0.273 ± 0.062 mg/L ile 3.308 ± 0.038 mg/L arasında değişim göstermiştir. Uygulanan farklı seviyelerdeki proses parametreleri kontrol örneklerinde tespit edilen kuersetin miktarında önemli bir değişime neden olmamıştır ($p > 0.05$)

Çizelge 4.25. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin kuersetin (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.

Kuersetin (mg/L)	Regresyon eşitliği	R²
kuersetin	=1.513 – 0.1592 elektrik alan şiddeti + 0.0187 (elektrik alan şiddeti) ² -0.00015 (elektrik alan şiddeti) ³	16.80
kuersetin	=1.608 + 0.001121 uygulama süresi - 0.00003 (uygulama süresi) ² +0.00000 (uygulama süresi) ³	10.10
kuersetin	=2.708 – 0.2472 sıcaklık + 0.01368 (sıcaklık) ² - 0.000216 (sıcaklık) ³	14.60
kuersetin	=1.156 + 0.0729 enerji - 0.0002371 (enerji) ² + 0.000013 (enerji) ³	17.70

Farklı uygulama parametreleri altında kuersetin miktarındaki değişim miktarı regresyon modeli ile incelendiğinde EAŞ, US, sıcaklık ve enerji parametrelerine bağlı olarak kuersetin miktarındaki değişimin regresyon katsayıları 16.80, 10.10, 14.60 ve 17.70 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.25).

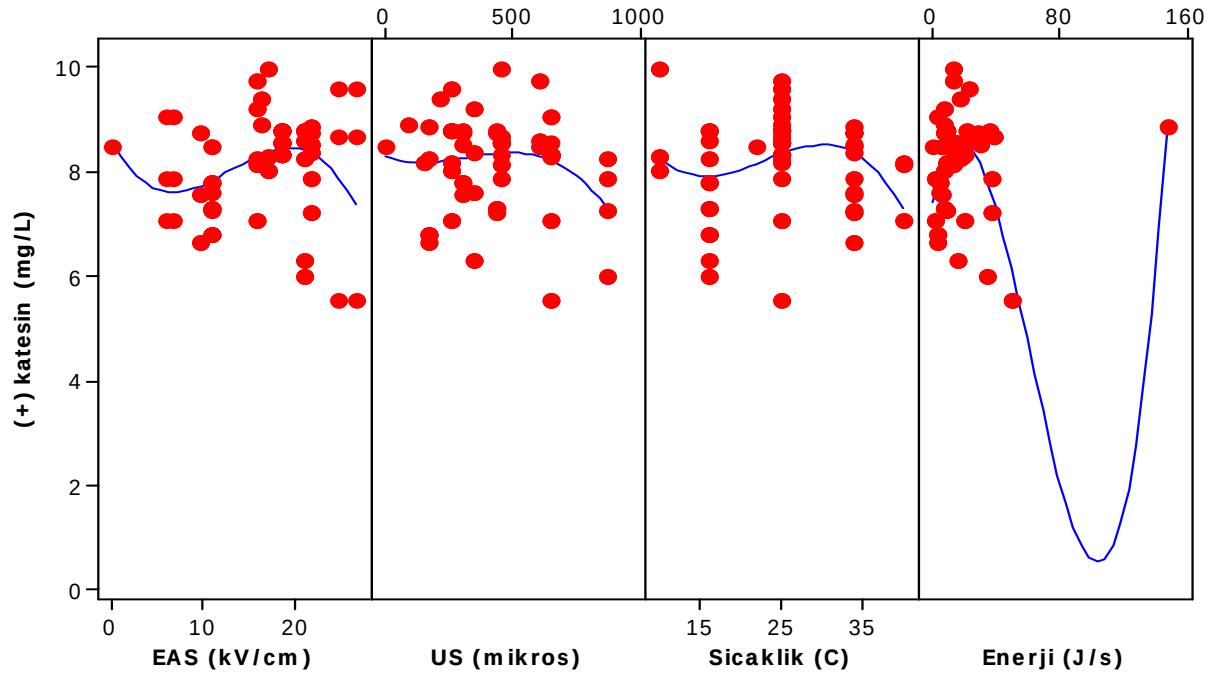
Uygulanan farklı proses parametrelerine bağlı olarak gallik asit miktarındaki değişim grafiği Şekil 4.26’da verilmektedir. Buna göre başlangıçta 10.151±1.934 mg/L seviyesinde tespit edilen gallik asit miktarı proses sonrasında 5.415±0.090 mg/L ile 8.735±0.255 mg/L seviyesinde değişim göstermiştir. Proses parametrelerine bağlı olarak gallik asit miktarındaki azalma önemli bulunmuştur (p≤0.05). Gallik asit miktarındaki değişimin regresyon katsayıları EAŞ, US, sıcaklık ve enerji değerlerine bağlı olarak 17.70,9.60, 12.60 ve 6.20 olarak tespit edilmiştir. Gallik asit miktarındaki değişime ait regresyon eşitliği ve katsayıları Çizelge 4.26’da verilmiştir.



Şekil 4.26. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak gallik asit (mg/L) miktarındaki değişim.

Çizelge 4.26. Elektrik alan şiddeti (EAŞ), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin gallik asit (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.

Gallik asit (mg/L)	Regresyon eşitliği	R ²
gallik asit	$=9.142 - 0.5724 \text{ elektrik alan şiddeti} + 0.03819 (\text{elektrik alan şiddeti})^2 - 0.00731 (\text{elektrik alan şiddeti})^3$	17.70
gallik asit	$=7.964 + 0.01040 \text{ uygulama süresi} - 0.00027 (\text{uygulama süresi})^2 + 0.00000 (\text{uygulama süresi})^3$	9.60
gallik asit	$=8.445 - 0.2893 \text{ sıcaklık} + 0.01574 (\text{sıcaklık})^2 - 0.000253 (\text{sıcaklık})^3$	12.60
gallik asit	$=6.717 + 0.0880 \text{ enerji} - 0.000294 (\text{enerji})^2 + 0.000002 (\text{enerji})^3$	6.20



Şekil 4.27. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak (+) katesin (mg/L) miktarındaki değişim.

Katesin miktarındaki değişime bakıldığında kontrol örneklerinin katesin miktarı 8.430 ± 0.194 mg/L olarak ölçülmüştür. Farklı uygulamalar sonrasında katesin miktarındaki değişim 7.245 ± 0.040 mg/L ile 10.000 ± 0.030 mg/L arasında değişim göstermektedir (Şekil 4.27). Farklı proses parametrelerine bağlı olarak katesin miktarındaki değişim istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($p > 0.05$) (Şekil 4.27).

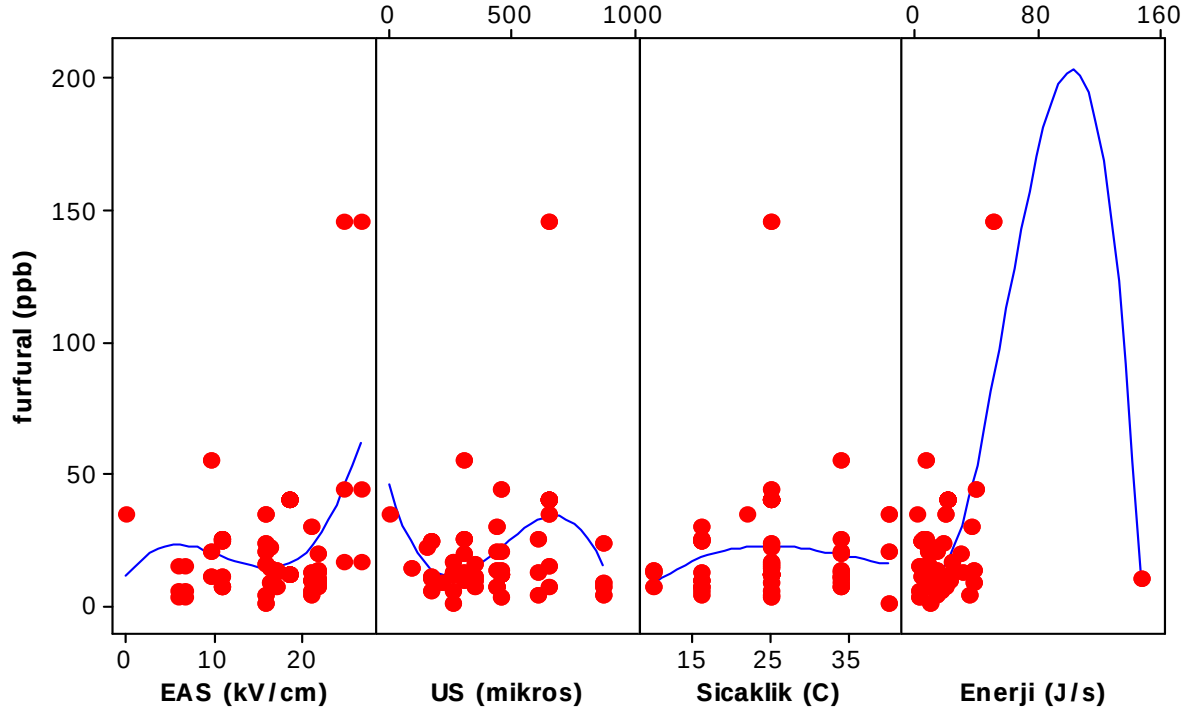
Çizelge 4.27. Elektrik alan şiddeti (EAS), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin (+) kateşin (mg/L) miktarındaki değişim ile ilişkisi.

(+) kateşin (mg/L)	Regresyon eşitliği	R ²
(+) kateşin	=8.596 - 0.3242 elektrik alan şiddeti + 0.03218 (elektrik alan şiddeti) ² - 0.000814 (elektrik alan şiddeti) ³	12.90
(+) kateşin	=8.297 + 0.001601 uygulama süresi - 0.000007 (uygulama süresi) ² +0.00000 (uygulama süresi) ³	7.80
(+) kateşin	=11.57 - 0.5635 sıcaklık + 0.02737 (sıcaklık) ² - 0.000399 (sıcaklık) ³	9.80
(+) kateşin	=7.412 + 0.1424 enerji - 0.004679 (enerji) ² + 0.000026 (enerji) ³	26.90

Kateşin miktarındaki değişimin farklı proses parametreleri altında incelenmesi sonucunda elde edilen regresyon katsayıları EAS, US, sıcaklık ve enerji değişimine bağlı olarak 12.90, 7.80, 9.80 ve 26.90 olarak değişmiştir. Farklı seviyelerde uygulanan proses parametreleri altında kateşin miktarındaki değişimin regresyon eşitliği Çizelge 4.27’de verilmektedir.

Daha çok ısıl işlem uygulamaları sonucunda oluşan ve genel olarak proses edilmiş gıda maddelerinde miktarının düşük olması istenen furfural ve HMF miktarı ve proses parametrelerine bağlı olarak oluşumu incelenmiştir. Kontrol örneklerinde furfural ve HMF miktarlarına bakıldığında sırasıyla 19.44±4.10 ve 137.6±22.93 ppb olarak tespit edilmiştir. Farklı proses parametreleri altında furfural miktarı 4.36±0.13 ile 40.52±22.05 ppb arasında değişim gösterirken HMF miktarı 27.64±0.18 ile 255.60±21.77 ppb arasında değişim göstermiştir. Proses parametrelerine bağlı olarak furfural ve HMF miktarlarında artış tespit edilmiştir fakat kontrol örnekleri ile karşılaştırıldığında her iki komponent miktarında önemli

bir değişim tespit edilmemiştir ($p>0.05$). Farklı proses parametrelerine bağlı olarak furfural ve HMF miktarındaki değişim şekil 4.28 ve 4.29’da verilmektedir.

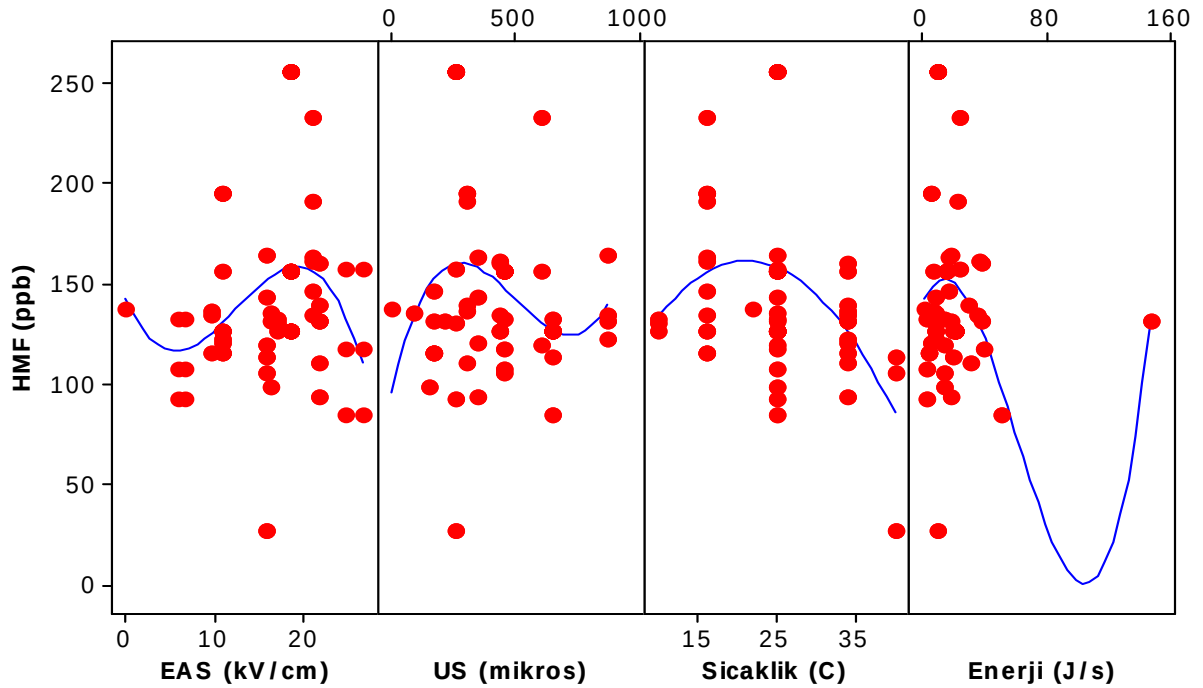


şekil 4.28. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak furfural (ppb) miktarındaki değişim.

Furfural ve HMF miktarındaki değişim proses parametrelerine bağlı olarak incelendiğinde regresyon eşitlikleri ve katsayıları belirlenmiştir (Çizelge 4.29 ve 4.29). Buna göre EAş, US, sıcaklık ve enerji değişimlerine göre furfural miktarına ait regresyon katsayıları 18.00, 17.50, 2.90 ve 35.80 iken HMF miktarına bağlı katsayılar 9.40, 7.80, 16.50 ve 4.00 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.28. Elektrik alan şiddeti (EAS), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin furfural (ppb) miktarındaki değişim ile ilişkisi.

Furfural (ppb)	Regresyon eşitliği	R ²
Furfural	=10.96 +4.767 elektrik alan şiddeti - 0.5490 (elektrik alan şiddeti) ² - 0.01657 (elektrik alan şiddeti) ³	18.00
Furfural	=46.09 -0.3087uygulama süresi - 0.000834 (uygulama süresi) ² +0.000001 (uygulama süresi) ³	17.50
Furfural	=-26.93 +4.890 sıcaklık - 0.1502 (sıcaklık) ² - 0.001371 (sıcaklık) ³	2.90
Furfural	=26.16 - 2.095 enerji +0.09202 (enerji) ² - 0.000534 (enerji) ³	35.80



Şekil 4.29. Elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerjinin fonksiyonu olarak HMF (ppb) miktarındaki değişim.

Çizelge 4.29. Elektrik alan şiddeti (EAS), uygulama süresi (US), sıcaklık ve enerjinin HMF (ppb) miktarındaki değişim ile ilişkisi.

HMF (ppb)	Regresyon eşitliği	R²
HMF	=144.0 -10.68 elektrik alan şiddeti + 1.216 (elektrik alan şiddeti) ² - 0.03229 (elektrik alan şiddeti) ³	9.40
HMF	=96.19 + 0.5188 uygulama süresi - 0.001271 (uygulama süresi) ² +0.000069 (uygulama süresi) ³	7.80
HMF	=63.41 -9.27 sıcaklık - 0.22.02 (sıcaklık) ² - 0.000069 (sıcaklık) ³	16.50
HMF	=142.4 + 1.646 enerji - 0.07056 (enerji) ² + 0.000401 (enerji) ³	4.00

5. SONUÇLAR

Elma suyu tüketim miktarının fazla olması ve tüketici alışkanlıklarının değişmesi, daha üstün duyusal özelliklere ve besin değerine sahip taze meyve suyu üretimini artırmıştır. Atımlı elektrik akımı (PEF) meyve sularının renk, aroma ve besin içeriğinde ısısal yöntemlere kıyasla önemli bir tahribata neden olmayan, bunun yanında meyve sularının muhteviyatındaki patojen ve saprofit mikroorganizmaları inaktive etme başarısını gösteren bir teknolojidir. Bu yönüyle PEF ısısal yöntemlere alternatif teşkil etmektedir.

PEF prosesine ilişkin farklı meyve suları ile ilgili olarak birçok çalışma bulunmaktadır. Portakal suyuna PEF ve ısısal pastörizasyon uygulandığında, karotenoid ve A vitamini içeriğinde değişimler araştırıldığında 90°C’de 20 sn pastörizasyon uygulamasının karotenoid içeriğinde taze portakal suyuna göre %12.6 düzeyinde azalmaya neden olduğu bunun yanında 25, 30 ve 40 kV/cm elektrik alan kuvvetinde PEF uygulaması yapılan örneklerde sırasıyla %9.6, %6.4 ve %7.8 azalmanın meydana geldiği tespit edilmiştir. A vitamini içeriğinde pastörizasyonun taze portakal suyuna göre %15.6 azalmaya neden olduğu 25, 35 ve 40 kV/cm elektrik alan kuvvetinde PEF uygulamasında ise sırasıyla %11.1, %13.9 ve % 9.9 azalmanın meydana geldiği belirlenmiştir. A vitamini açısından en iyi sonucun % 6’lık azalma ile 30 kV/cm elektrik alan kuvvetinde meydana geldiği tespit edilmiştir (Cortes ve ark., 2006).

PEF uygulanan portakal suyunda ise 200 Hz’de 35 kV/cm ve 1000 µs süreyle 4 µs’lik aralıklarla uygulanan PEF uygulamasında C vitaminin % 90.8 oranında muhafaza edildiği tespit edilmiştir. Ayrıca 35 kV/cm elektrik alan şiddetinde, 800 Hz frekans ve 4 µs atım aralıklarıyla PEF uygulandığında β-cryptoxanthin, α-cryptoxanthin, zeaxanthin, lutein, β-

carotene, α -carotene, toplam karotenoidler ve A vitamini değerlerinde önemli değişiklikler tespit edilmemiştir (Cortes ve ark., 2006).

Domates sularına uygulanan PEF koşullarında ise (40 kV/cm elektrik alan şiddeti 57µs uygulama süresi) çalışmanın sonuçlarına göre askorbik asit içeriği ısıt işlem uygulanmış domates sularında % 10 oranında azalırken PEF uygulanmış ürünlerde anlamlı bir azalma tespit edilmemiştir (Picart ve ark., 2003).

Elma suyunun pastörizasyonu ile ilgili yapılan ilk çalışmalarda PEF ile proses edilen elma sularında *E. coli* ve *E. coli* O157:H7 inaktivasyonu amaçlanmış ve her iki bakteride 5 log inaktivasyon sağlanmışır (Evrendilek ve ark., 1999). Yine elma suyu ve elma siderinin PEF ile prosesi ile ilgili çalışmada her iki üründe temel fiziksel özellikler ve C vitamini miktarında önemli bir değişim tespit edilmezken; PEF ile proses edilen örnekler duyuusal analizlerde daha yüksek skorlar almıştır (Evrendilek ve ark., 2000).

Laboratuvar ölçekli PEF sistemi ile proses edilen elma suları (35 kV/cm elektrik alan şiddeti, 4 µs atım genişliği, 1200 µs uygulama süresi) ısıt işlemle (90 °C'de 30 s) karşılaştırılmış ve pH, toplam asit, toplam fenolik madde ve aroma komponentleri açısından her iki grup elma suları karşılaştırılmışır. Isıyla pastörize edilen örneklerde aroma komponentlerinde önemli bir değişim saptanmış; fakat PEF ile proses edilen örneklerde bu değişimin çok daha az olduğu belirtilmiştir (Aguilar-Rosas ve ark., 2007).Yine elma suyu ile yapılan bir çalışmada ısıt işlemle karşılaştırıldığında PEF prosesinin yeterli miktarda *E. coli* inaktivasyonu sağladığı ve una karşın pH, renk değerleri gibi fiziksel özelliklerde değişime neden olmadığı bildirilmiştir (Charles-Rodríguez ve ark., 2007).

Elma suyunun laboratuvar ve pilot ölçekli PEF ile prosesi sırasında laboratuvar ölçekli sistemde 60 ve pilot ölçekli sistemde 40°C'ye ısıtılan elma suları PEF ile proses edilmiş ve her iki prosesin sinergistik etkisi (40°C ısıtma+PEF) ile elma sularında peroksidaz (POD) ve

polifenol oksidaz (PPO) enzimlerinde % 48 inaktivasyon sağlanmıştır. HMF oluşumu minimum düzeyde olduğundan tespit edilememiştir. Elma sularında demir iyonu seviyesinde bir değişim gözlenmediği için elektronların korozyonunun söz konusu olmadığı bildirilmiştir (Schilling ve ark., 2008).

Daha önce yapılan çalışmalar genel olarak özetlenecek olursa elma suyunun PEF ile başarılı bir şekilde proses edildiği görülmektedir. Genel olarak elde edilen sonuçlarda PEF prosesinin elma suyunun belirlenen kalite kriterlerinde önemli bir değişime neden olmadığı saptanmıştır. Bununla birlikte uygulanan proses parametreleri literatürde belirtilen proses parametrelerinden farklı olmasına rağmen, tez kapsamında elde edilen sonuçlar literatürle paralellik göstermektedir. PEF ile proses edilecek elma suyunun nitelikleri göz önünde bulundurularak elektrik alan şiddeti, uygulama süresi, sıcaklık ve enerji fonksiyonlarının bu niteliklere etkisi ve ilişkisi bulunmuştur. Proses öncesi ve sonrasında pH, °Briks, TA, iletkenlik, antioksidan kapasite (% AK), toplam fenolik madde (TFM), renk (L, a ve b), kroma, hue, toplam renk değişimi (TRD), organik asitler (tartarik asit, kuinik asit, okzalik asit, malik asit, fumarik asit, fumarik asit, askorbik asit, sitrik asit), fenolik bileşenler ((-) epikateşin, kafeik asit, klorojenik asit, p-kumarik asit, ferrulik asit, shapik asit, kuertesin, (+) kateşin, gallik asit), furfural ve HMF miktarları tespit edilmiştir. Elde edilen veriler, elma sularında pH, °Briks, TA, iletkenlik, % AK, toplam fenolik madde, toplam antioksidan kapasite üzerinde önemli bir değişime neden olmadığını göstermektedir ($p>0.05$). Yapılan analizlerde elma sularının farklı proses parametreleri altında kroma, hue ve TRD değerlerindeki değişim önemli bulunmuştur ($p\leq 0.05$). Ayrıca organik asit miktarlarında önemli değişim görülmemiştir ($p>0.05$). Fenolik bileşenlerden (-) epikateşin, ferrulik asit ve gallik asit miktarında değişim önemli görülürken ($p\leq 0.05$); diğer fenolik bileşenlerde önemli değişim görülmemiştir ($p>0.05$). Furfural ve HMF miktarlarında artış tespit edilmiştir; fakat kontrol örnekleri ile

karşılaştırıldığında her iki komponent miktarında önemli bir değişim tespit edilmemiştir ($p>0.05$).

PEF uygulamasının gıdaların kimyasal, fiziksel ve duyusal özelliklerinde daha az değişime neden olması ve çok az işlem zamanı gerektirmesi gibi olumlu tarafları mevcuttur. Ayrıca gıdalarda bulunan biyoaktif bileşenler ve vitaminlerin içeriğinde herhangi bir değişim oluşturmaması bu teknolojinin uygulanabilirliğine katkı sağlamaktadır. Duyusal ve fiziksel özelliklerin korunması açısından geleneksel ısıtma uygulamalarına göre çok üstündür. Sonuç olarak elma suyunun PEF kullanılarak proses edilmesi kalite özellikleri üzerinde herhangi bir olumsuz etkiye neden olmamıştır. Bu nedenle PEF teknolojisinin elma suyu prosesinde kullanılmasının olumlu olacağına varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Aguilar-Rosas, S. F., Ballinas-Casarrubias, M. L., Nevarez-Moorillon, G. V., Martin-Belloso, O. ve Ortega-Rivas, E. 2007. Thermal and pulsed electric fields pasteurization of apple juice: Effects on physicochemical properties and flavour compounds. *Journal of Food Engineering*. 83, 41–46.
- Altuntaş, J., Akın, E., Evrendilek, G. A. 2008. Atıllımlı elektrik akımı: Sistem tasarımı ve mikrobiyal inaktivasyon. *Dünya Gıda Dergisi*. Mart, 78-85.
- Anonim, 2008. Dünya Meyve Suyu Sektörüne Bakış. <http://www.meyed.org.tr>. (Erişim 20.03. 2013).
- Anonim, 2010. Pulsed Electric Field Processing Fact Sheet for Food Processors. The Ohio State University Extension. <http://ohioline.osu.edu/fse-fact/0002.html> (Erişim 10.02.2013).
- Anonim, 2000. Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies-Pulsed Electric Fields. A report of the Institute of Food Technologists for the Food and Drug Administration of the U.S. Department of Health and Human Services. <http://www.fda.gov/Food/ScienceResearch/ResearchAreas> (Erişim 20.07.2013)
- Anonim, 2009. Pulsed Electric Field Processing. Wikipedia, the free encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Pulsed_Electric_Field_Processing (Erişim 20.07. 2013).
- Anonim, 2009. Gıda Muhafazasında Yeni Teknolojilerin Kullanımı. Gıda Güvenliği Derneği. <http://ggd.org.tr>. (Erişim 31.08.20013).
- Bendicho, S., Espachs, A., Arantegui, J. ve Martin, O. 2002. Effect of high intensity pulsed electric fields and heat treatments on vitamins of milk. *Journal of Dairy Research*. 69, 113-123.
- Besser, R. E., Lett, S. M., Weber, J. T., Doyle, M. P., Barret, T. J. ve Wells, J. G. 1993. An outbreak of diarrhea and hemolytic uremic syndrome from *Escherichia coli* O157:H7 in fresh-pressed apple cider. *Journal of the American Medical Association*. 269, 2217–2220.
- Cortés C., Esteve MJ., Rodrigo D., Torregrosa F. ve Frígola A. 2006. Food and Chemical Toxicology. 44, 1932-1939.

Charles-Rodriguez, A.V., Nevarez-Moorillon, G. V., Zhang, Q. H. ve Ortega-Rivas, E. 2007. Comparison of thermal processing and pulsed electric fields treatment in pasteurization of apple juice. *Food and Bioproducts Processing*. 85, 93–97.

Cserhalmi, Z., Sass-Kiss, A., Toth-Markus, M. ve Lechner, N. 2006. Study of pulsed electric field treated citrus juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 7, 9–54.

Elez-Martinez, P., Martin- Belloso, O., Begona De Ancos, Sanchez-Moreno, C., Lucia, P., ve Cano P. 2005. Impact of high pressure and pulsed electric fields on bioactive compounds and antioxidant activity of orange juice in comparison with traditional thermal processing. *Food Chemistry*. 53, 4403–4409.

Espachs- Barroso, A., Barbosa-Canovas, G. V., ve Martin-Belloso, O. 2003. Microbial and enzymatic changes in fruit juice induced by high-intensity pulsed electric fields. *Food Reviews International*. 19, 253-273.

Evrendilek, G. A., Jin, Z. T., Ruhlman, K. T., Qin, X., Zhang, Q. H. ve Richter, E. R. 2000. Microbial safety and shelf life of apple juice and cider processed by bench and pilot scale PEF systems. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 1, 77–86.

Evrendilek, G A., Zhang Q. H., ve Richter, R. E. 1999. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Escherichia coli* 8739 in apple juice by pulsed electric fields. *Journal of Food Protection* 62 (7), 793-796.

Fernandez-Molina, J. J., Barbosa-Canovas, G. V. ve Swanson, B. G. 2005. Skim milk processing by combining pulsed electric fields and thermal treatments. *Journal of Food Processing and Preservation*. 29 (5-6), 291-306.

Gachovska, T. K., Kumar, S., Thippareddi, H. ve Williams F. 2008. Ultraviolet and pulsed electric field treatments have additive effect on inactivation of *E. coli* in apple juice. *Electrical and Computer Engineering Commons*. 47, 412-413.

Gökmen, V. ve Acar, J. 1998. Gıda Kimyası. Hacettepe Üniversitesi Yayını.

Justesen, U., Knuthsen, P. ve Leth T. 1997. Quantitative analysis of flavonols, flavones, and flavanones in fruits, vegetables and beverages by high-performance liquid chromatography with photo-diode array and mass spectrometric detection. *Journal of Chromatography A*. 799, 101-110.

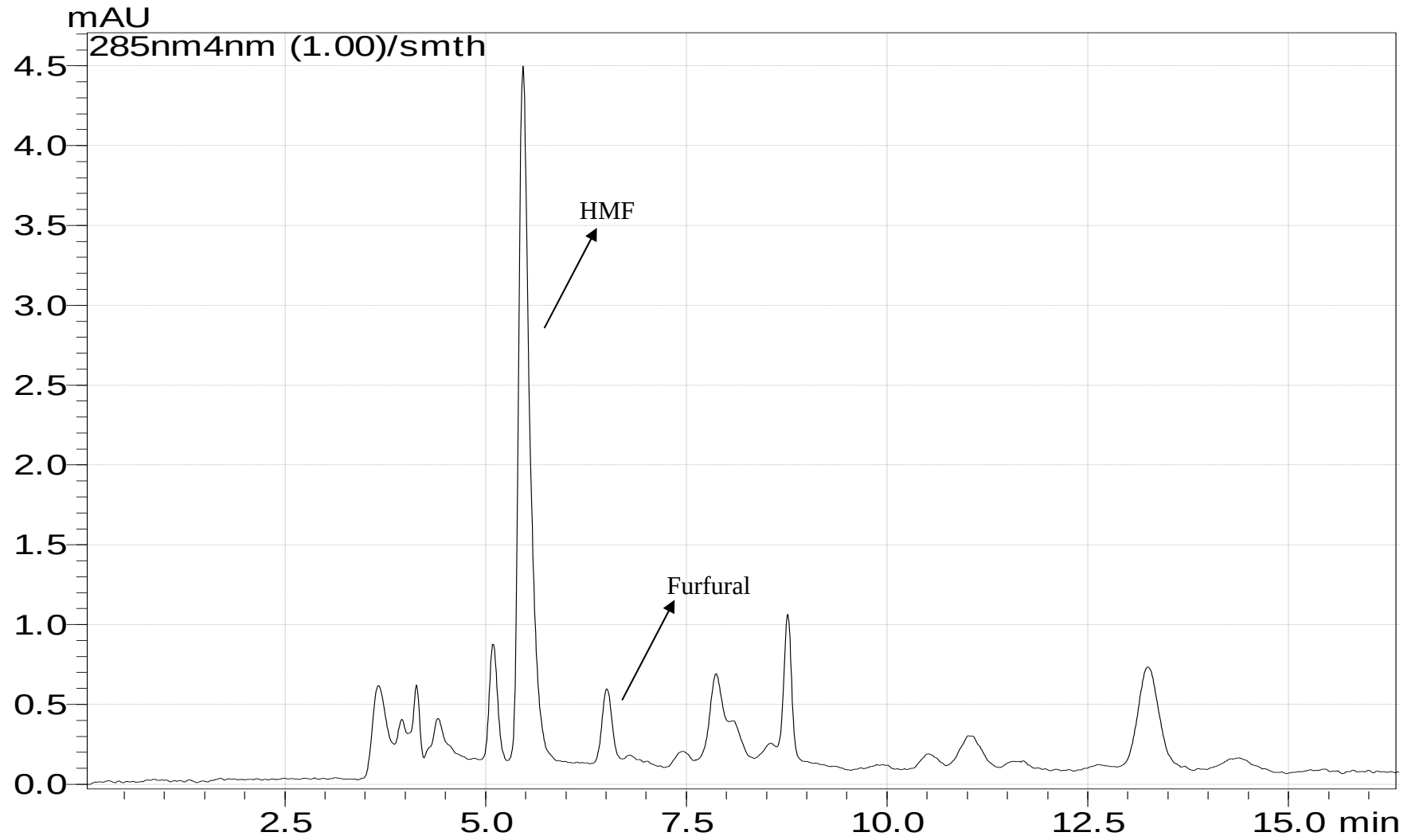
Marquez, V. O., Mittal, G. S. ve Griffiths, M. H. 1997. Destruction and inhibition of bacterial spores by high voltage pulsed electric fields. *Journal of Food Science*. 62, 399-409.

- Mittal, G. S. ve Griffiths, M. W. 2005. Pulsed electric field processing of liquid foods and beverages. In: Sun, D. W. (eds.) Emerging technologies for food processing. Boston, Academic Press, p. 99-139.
- Moon, J. H. ve Terao, J. 1998. Antioxidant activity of caffeic acid and dihydro caffeic acid in lard and human low-density lipoprotein. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 46, 5062-5065.
- Moyer, J. C. ve Aitken, H. C. 1980. Apple juice. In: Nelson, P.E. and Tressler, D.K. (eds.) *Fruit and Vegetable Juice Processing Technology*. p. 212–267.
- Ortega-Rivas, E., Zarate-Rodriguez, E. ve Barbosa-Canovas, G. V., 1998. Apple juice pasteurization using ultrafiltration and pulsed electric fields. *Food and Bioproducts Processing*. 76, 193–198.
- Qin, B. L., Pothakamury, U. H., Vega, H., Martin, O., Barbosa-Canovas, G. V. ve Swanson, B. G. 1995. Food pasteurization using high-intensity pulsed electric fields. *Journal of Food Technology*. 49(12), 55-60.
- Qin, B., Chang, F., Barbosa-Cánovas, G. V. ve Swanson, B. G. 1995. Nonthermal inactivation of *S. cerevisiae* in apple juice using pulsed electric fields. *Lebensm-Wiss Technology*. 28(6), 564-568.
- Qin, B., Zhang, Q., Barbosa-Canovas, G. V., Swanson, B. G. ve Pedrow, P. D. 1994. Inactivation of microorganisms by pulsed electric fields of different voltage waveforms. *IEEE Transactions on Dielectric Electric Insulation*. 1, 1047-1050.
- Quass, D. W. 1997. Pulsed electric field processing in the food industry. A status report on PEF. Palo Alto, CA. Electric Power Research Institute. CR-109742.
- Picart L. ve Cheftel J-C. 2003. Pulsed electric fields. In Zeuthen P, Bøgh-Sørensen L. (Eds.). *Food Preservation Techniques*. Woodhead Publishing Limited. Cambridge, USA. p. 119-186.
- Raso, J., Calderon, M. L., Gongora, M., Barbosa-Canovas, G. V. ve Swanson, B. G. 1998. Inactivation of mold ascospores and conidiospores suspended in fruit juices by pulsed electric fields. *Lebensm-Wiss Technology*. 31, 668–672.
- Rodriguez-Charles, A.V., Nevarez-Moorillon, G. V., Zhang, Q. H. ve Ortega-Rivas, E. 2007. Comparison of thermal processing and pulsed electric field treatment in pasteurization of apple juice. *Food Science and Technology*. 85, 93-97.

- Schilling, S., Schmid, S., Jäger, H., Ludwig, M., Dietrich, H., Toepfl, S., Knorr, D., Neindhart, S., Schieber, A. ve Carle, R. 2008. Comparative study of pulsed electric field and thermal processing of apple juice with particular consideration of juice quality and enzyme deactivation. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 56(12), 4545-54.
- Sitzmann, W. 1994. High-voltage pulse techniques for food preservation. In: Gould, G. W. (eds.) *New Methods of Food Preservation*. Glasgow. Blackie Academic and Professional. p. 236-250.
- Smith, K., Mittal, G. S. ve Griffith, M. W. 2002. Pasteurization of milk using pulsed electric field and antimicrobials. *Journal of Food Science*. 67, 2304–2308.
- Spanos, G. A. ve Wrolstad, R. E. 1990. Influence of processing and storage on the phenolic composition of Thompson seedless grape juice. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 38, 1565-1571.
- Sturm, K., Koron, D. ve Stampar, F. 2003. The composition of fruit of different strawberry varieties depending on maturity stage. *Food Chemistry*. 83, 417-422.
- Vega-Mercado, H., Martin-Belloso, O., Chang, F.-J., Barbosa-Cánovas, G. V. ve Swanson, B. G. 1996. Inactivation of *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis* suspended in pea soup using pulsed electric fields. *Journal of Food Processing and Preservation*. 20(6), 501-510.
- Vega-Sanchez, R., Mujika-Paz, H., Marquez-Melendez, R., Ngadi, M. O. ve Rivas-Ortega E. 2008. Enzyme inactivation on apple juice treated by ultrapasteurization and pulsed electric fields technology. *Journal of Food Processing and Preservation*. 33, 486-487.
- Yeom, H. W., Streaker, C. B., Zhang, Q. H. ve Min, D. B. 2000. Effects of pulsed electric fields on the quality of orange juice and comparison with heat pasteurization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48, 4597–4605.
- Zappala, M., Fallico, B., Arena, E., Verzera, A. 2006. Methods for the Determination of HMF in Honey: A Comparison. *Food Control*. 16:273-277.
- Zhang, Q. H., Qin, B., Barbosa-Cánovas, G. V. ve Swanson, B. G. 1995. Inactivation of *E. coli* for food pasteurization by high-strength pulsed electric fields. *Journal of Food Processing and Preservation*. 19(2), 103-118.

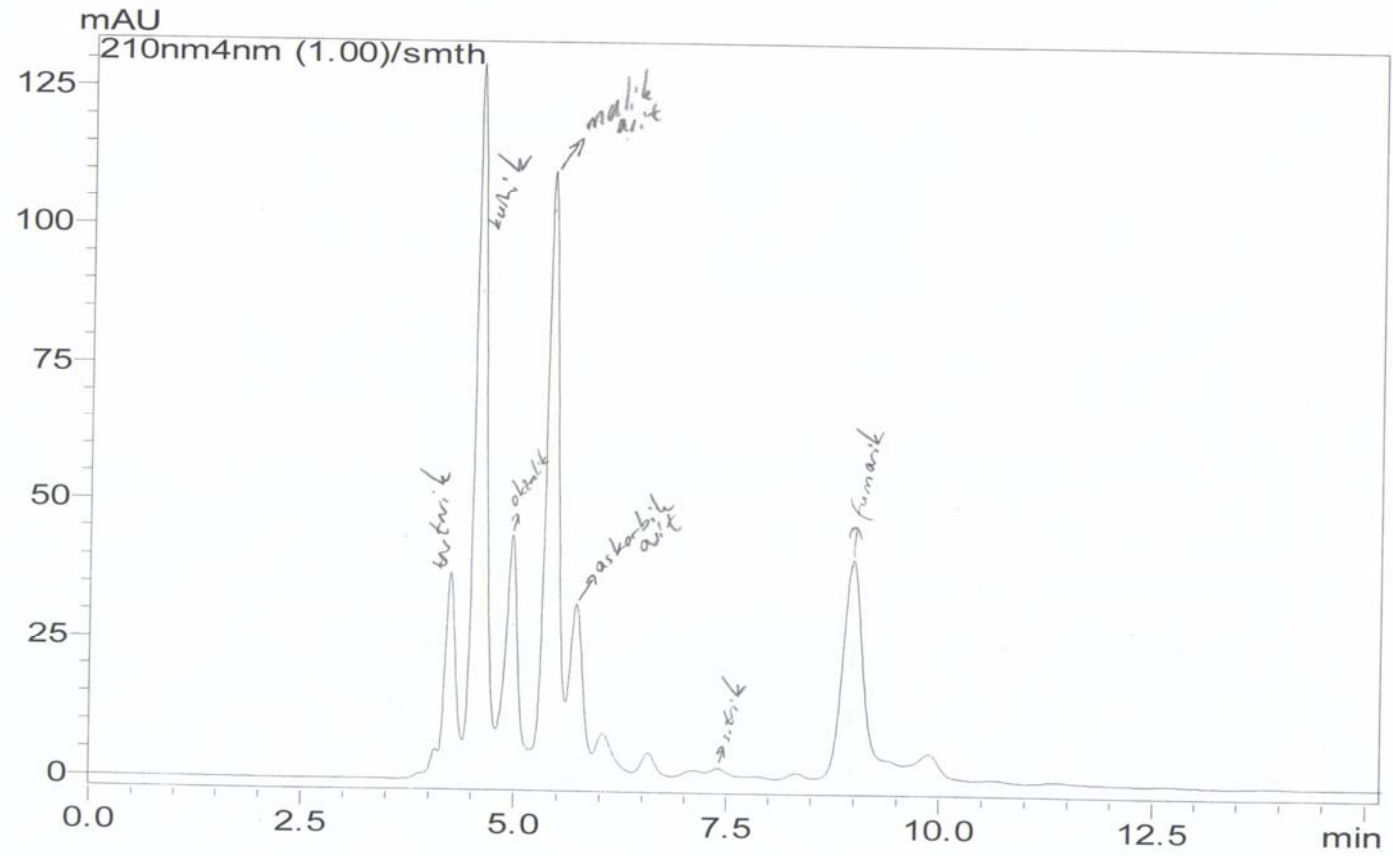
EK A

ELMA SUYUNDA HMF VE FURFURAL MİKTARINDAKİ DEĞİŞİM



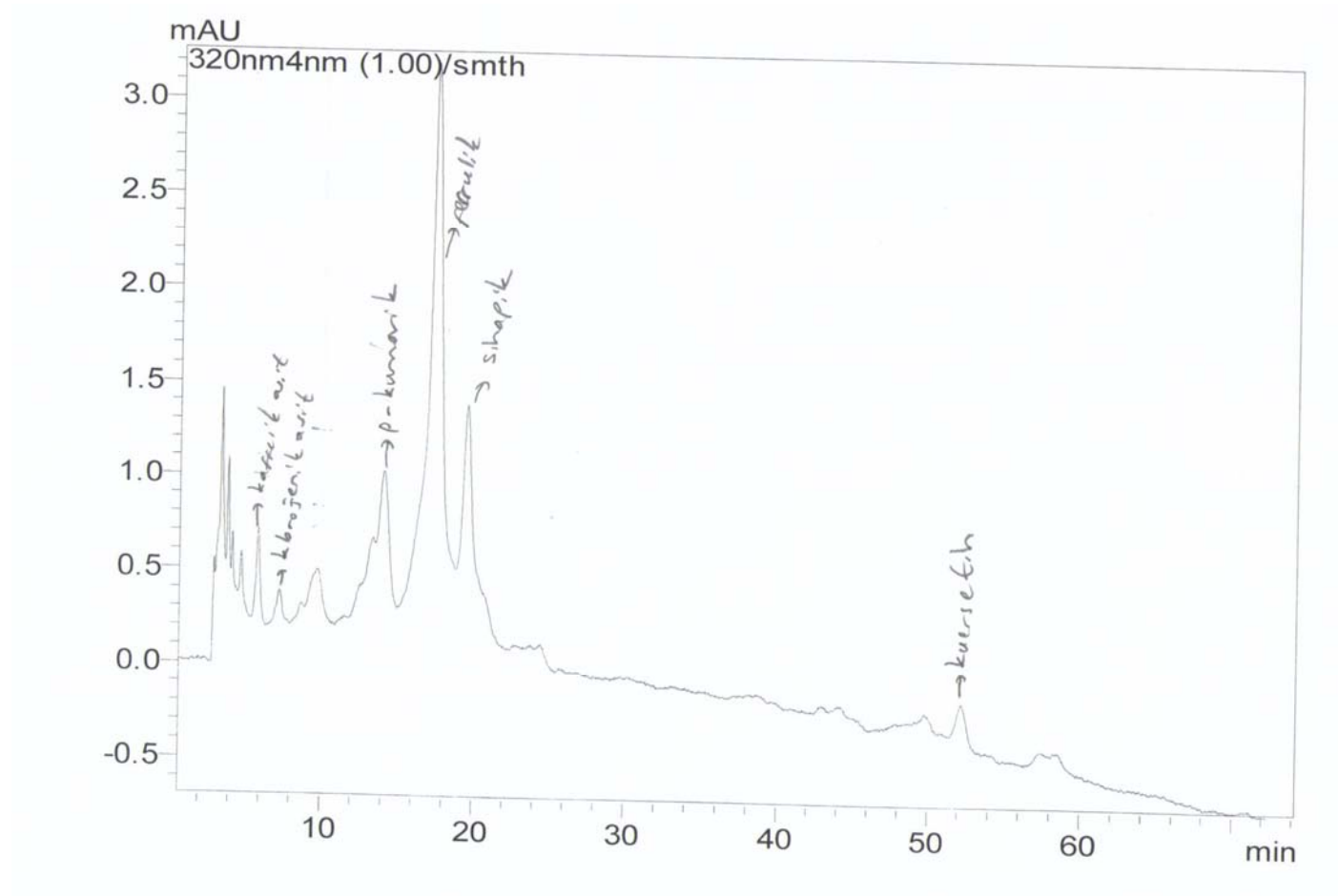
EK B

ELMA SUYUNDA ORGANİK ASİT MİKTARINDAKİ DEĞİŞİM



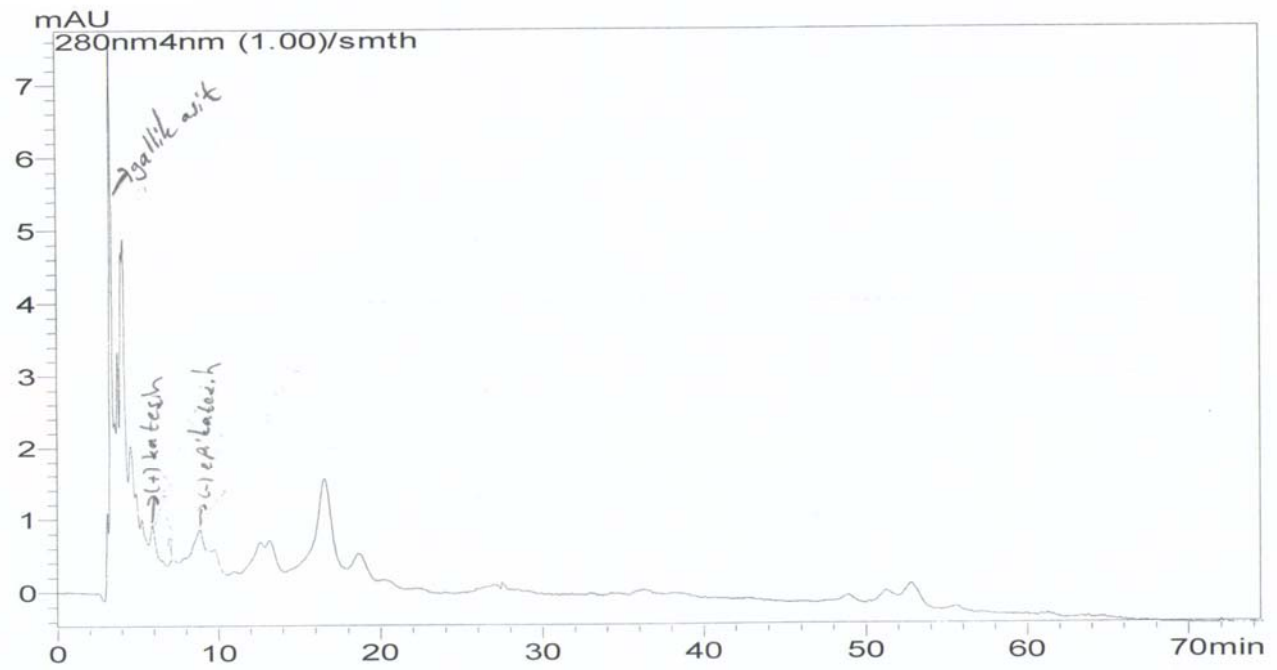
EK C

ELMA SUYUNDA FENOLİK MADDE MİKTARINDAKİ DEĞİŞİM



EK D

ELMA SUYUNDA FENOLİK MADDE MİKTARINDAKİ DEĞİŞİM



EK E

PEF ile proses edilen elma suyunda pH, °Briks, iletkenlik, antioksidant kapasite ve fenolik madde miktarlarındaki değişim.

Elektrik alan şiddeti (kV/cm)	Uygulama süresi (µs)	Sıcaklık (C)	Enerji (J)	pH	°Briks	TA (mg/L)	İletkenlik (µS/cm)	Antioksidant kapasite (%)	Fenolik madde (mg/L)
18.5	458.4	25.0	13.6	3.90±0.00	10.53±0.03	2.55±0.14	1704.11±2.99	49.03±0.04	2.69±0.01
18.5	261.9	25.0	7.8	3.97±0.06	11.00±0.00	2.67±0.15	1756.33±3.06	46.15±0.30	3.32±0.03
18.5	654.8	25.0	19.4	3.97±0.03	10.93±0.12	2.45±0.15	1771.00±6.56	48.40±0.00	3.07±0.01
18.5	458.4	25.0	13.6	4.00±0.01	11.00±0.00	2.45±0.15	1774.67±2.08	48.10±0.12	2.60±0.03
18.5	261.9	25.0	7.8	3.97±0.06	11.0±0.00	2.67±0.15	1737.33±2.08	50.95±0.10	3.32±0.03
18.5	654.8	25.0	19.4	3.97±0.03	10.93±0.12	2.45±0.15	1759.67±0.58	50.40±0.16	3.07±0.01
18.5	458.4	25.0	13.6	4.00±0.01	11.00±0.00	2.45±0.15	1781.67±1.15	50.60±0.00	2.60±0.03
18.5	261.9	25.0	7.8	3.95±0.01	11.00±0.00	2.67±0.15	1716.33±3.06	36.15±0.19	3.32±0.03
18.5	654.8	25.0	19.4	3.98±0.04	10.93±0.12	2.45±0.15	1722.00±1.73	36.70±0.70	3.07±0.01
18.5	458.4	25.0	13.6	3.95±0.01	11.00±0.00	2.45±0.15	1707.00±2.65	41.80±0.69	2.60±0.03
18.5	261.9	25.0	7.8	3.97±0.06	10.70±0.00	2.67±0.15	1695.67±1.15	40.70±0.35	3.32±0.03
18.5	654.8	25.0	19.4	3.97±0.03	10.33±0.06	2.45±0.15	1697.67±4.16	48.00±0.00	3.07±0.01
18.5	458.4	25.0	13.6	4.00±0.01	10.27±0.12	2.45±0.15	1701.67±1.53	47.70±0.58	2.60±0.03
18.5	261.9	25.0	7.8	3.97±0.06	10.80±0.00	2.67±0.15	1764.00±1.00	46.10±0.35	3.32±0.03
18.5	654.8	25.0	19.4	3.97±0.03	11.00±0.00	2.45±0.15	1756.33±0.58	46.45±0.53	3.07±0.01
9.6	611.0	33.9	5.3	4.00±0.01	10.80±0.00	2.45±0.15	1753.00±1.00	46.65±0.53	2.60±0.03
11.0	349.2	33.9	3.7	3.95±0.01	10.70±0.00	2.45±0.15	1737.33±2.08	50.95±0.10	2.86±0.00
11.0	873.1	33.9	7.7	3.98±0.04	10.33±0.06	2.56±0.00	1759.67±0.58	50.40±0.16	2.69±0.03

21.2	611.1	16.1	22.9	3.95±0.01	10.27±0.12	2.45±0.15	1781.67±1.15	50.60±0.00	2.65±0.01
21.2	349.2	16.1	14.9	3.99±0.05	10.80±0.00	2.67±0.15	1716.33±3.06	36.15±0.19	2.47±0.02
21.2	873.1	16.1	34.2	4.01±0.00	11.00±0.00	2.88±0.45	1722.00±1.73	36.70±0.70	2.82±0.00
11.0	305.6	16.1	4.3	3.89±0.02	10.80±0.00	2.77±0.30	1707.00±2.65	41.80±0.69	2.41±0.06
11.0	174.6	16.1	2.5	3.89±0.01	10.60±0.00	2.67±0.45	1695.67±1.15	40.70±0.35	2.73±0.03
10.3	436.5	16.1	6.5	3.89±0.01	10.73±0.06	2.77±0.30	1697.67±4.16	48.00±0.00	2.75±0.01
17.0	458.4	10.0	12.6	3.90±0.01	10.53±0.31	2.67±0.45	1701.67±1.53	47.70±0.58	2.56±0.03
17.1	261.9	10.0	7.2	3.90±0.00	11.00±0.00	2.67±0.15	1764.00±1.00	46.10±0.35	2.72±0.02
17.1	654.8	10.0	18.0	3.91±0.00	11.03±0.06	2.88±0.15	1756.33±0.58	46.45±0.53	2.58±0.05
18.5	458.4	25.0	13.6	3.91±0.01	11.00±0.00	2.67±0.15	1753.00±1.00	46.65±0.53	270±0.02
18.5	261.9	25.0	7.8	3.97±0.06	11.00±0.00	2.67±0.15	1756.33±3.06	46.15±0.30	2.72±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	3.97±0.03	10.93±0.12	2.45±0.15	1771.00±6.56	48.40±0.00	2.95±0.01
18.5	458.4	25.0	13.6	4.00±0.01	11.00±0.00	2.45±0.15	1774.67±2.08	48.10±0.12	3.06±0.17
18.5	261.9	25.0	7.8	3.97±0.06	11.00±0.00	2.67±0.15	1737.33±2.08	46.15±0.30	3.32±0.03
18.5	654.8	25.0	19.4	3.97±0.03	10.93±0.12	2.45±0.15	1759.67±0.58	48.40±0.00	3.07±0.01
21.2	611.1	16.1	22.9	4.00±0.01	11.00±0.00	2.45±0.15	1781.67±1.15	48.10±0.12	2.60±0.03
21.2	349.2	16.1	14.9	3.99±0.05	10.80±0.00	2.67±0.15	1716.33±3.06	36.15±0.19	2.47±0.02
21.2	873.1	16.1	34.2	4.01±0.00	11.00±0.00	2.88±0.45	1722.00±1.73	36.70±0.70	2.82±0.00
23.3	305.6	33.9	29.7	3.89±0.02	10.80±0.00	2.77±0.30	1707.00±2.65	41.80±0.69	2.41±0.06
21.9	436.5	33.9	36.9	3.91±0.01	10.60±0.10	2.35±0.00	1711.00±3.46	47.50±1.54	2.84±0.01
21.9	174.6	33.9	147.0	3.91±0.01	10.67±0.23	2.77±0.30	1713.33±2.31	49.75±0.53	2.82±0.01
16.4	152.8	25.0	12.1	3.91±0.00	10.80±0.00	2.56±0.00	1717.00±3.61	50.30±0.12	2.89±0.01
16.4	87.3	25.0	7.0	3.90±0.01	11.00±0.00	2.56±0.00	1745.00±2.00	48.60±0.16	2.50±0.03
16.4	218.3	25.0	17.3	3.91±0.01	10.90±0.10	2.77±0.00	1746.00±1.73	48.20±0.00	2.47±0.02

16.4	611.1	25.0	12.1	3.90±0.00	10.93±0.06	2.77±0.00	1743.67±2.08	48.95±0.75	2.63±0.03
15.8	349.1	25.0	6.6	3.90±0.01	11.00±0.00	2.67±0.15	1759.00±1.73	47.90±0.12	2.61±0.02
15.8	873.1	25.0	16.6	3.89±0.01	10.97±0.06	2.77±0.00	1755.67±4.04	48.20±0.00	2.70±0.01
21.2	305.6	16.1	20.8	3.90±0.01	11.00±0.00	2.67±0.15	1755.67±1.53	48.40±0.23	2.32±0.02
23.3	174.6	16.1	15.0	3.89±0.01	10.20±0.00	2.45±0.15	1679.67±1.53	39.10±0.12	2.81±0.03
22.6	436.5	16.1	35.6	3.90±0.01	10.30±0.00	2.45±0.15	1691.00±1.73	38.40±0.59	2.64±0.01
11.0	305.6	16.1	4.3	3.89±0.01	10.33±0.06	2.45±0.15	1701.00±2.00	36.25±0.10	2.48±0.07
11.0	174.6	16.1	2.5	3.89±0.01	10.60±0.00	2.67±0.45	1695.67±1.15	40.70±0.35	2.73±0.03
10.3	436.5	16.1	6.5	3.89±0.01	10.73±0.06	2.77±0.30	1697.67±4.16	48.00±0.00	2.75±0.01
18.5	458.4	25.0	13.6	3.90±0.01	10.53±0.31	2.67±0.45	1701.67±1.53	47.70±0.58	2.56±0.03
18.5	261.9	25.0	7.8	3.95±0.01	11.00±0.00	2.67±0.15	1756.33±3.06	46.10±0.35	3.32±0.03
18.5	654.8	25.0	19.4	3.98±0.04	10.93±0.12	2.45±0.15	1771.00±6.56	46.45±0.53	3.07±0.01
9.6	305.6	33.9	5.2	3.95±0.01	11.00±0.00	2.45±0.15	1774.67±2.08	46.65±0.53	2.60±0.03
10.3	174.6	33.9	3.2	3.89±0.01	10.30±0.10	2.35±0.00	1684.33±3.06	50.45±0.10	2.72±0.01
9.6	436.5	33.9	7.4	3.88±0.01	10.47±0.06	2.45±0.15	1705.00±0.00	50.40±0.23	2.95±0.01
22.6	305.6	33.9	28.8	3.88±0.01	10.27±0.06	2.45±0.15	1686.67±0.58	50.85±0.10	3.06±0.17
21.9	349.2	33.9	16.6	3.89±0.01	10.33±0.06	2.56±0.00	1717.00±5.29	48.65±0.53	2.63±0.00
21.9	873.0	33.9	36.9	3.89±0.00	10.50±0.17	2.45±0.15	1707.33±2.08	50.70±0.35	2.61±0.01
11.0	305.6	16.1	4.3	3.88±0.00	10.07±0.12	2.45±0.15	1674.00±1.73	50.55±0.19	2.41±0.02
11.0	174.6	16.1	2.5	3.89±0.01	10.60±0.00	2.67±0.15	1695.67±1.15	40.70±0.35	2.73±0.03
10.3	436.5	16.1	6.5	3.89±0.01	10.73±0.06	2.45±0.15	1697.67±4.16	48.00±0.00	2.75±0.01
26.7	458.4	25.0	38.0	3.90±0.01	10.53±0.31	2.45±0.15	1701.67±1.53	47.70±0.58	2.56±0.03
24.7	261.9	25.0	22.1	3.89±0.01	10.80±0.00	2.35±0.00	1726.33±2.08	50.20±0.23	2.80±0.00
25.3	654.8	25.0	49.7	3.89±0.01	10.33±0.06	2.45±0.15	1702.00±1.00	50.20±0.00	2.74±0.01

18.5	458.4	25.0	13.6	3.88±0.01	10.77±0.06	2.35±0.00	1704.00±2.65	49.75±0.41	2.83±0.00
18.5	261.9	25.0	7.8	3.97±0.06	11.00±0.00	2.67±0.15	1756.33±3.06	46.10±0.35	3.32±0.03
18.5	654.8	25.0	19.4	3.97±0.03	10.93±0.12	2.45±0.15	1771.00±6.56	46.45±0.53	3.07±0.01
16.0	458.0	40.0	13.0	4.00±0.01	11.00±0.00	2.45±0.15	1774.67±2.08	46.65±0.53	2.60±0.03
16.0	262.0	40.0	8.8	3.89±0.01	10.13±0.12	2.35±0.00	1663.33±3.79	50.10±0.35	2.67±0.02
15.0	655.0	40.0	19.0	3.89±0.01	10.23±0.06	2.35±0.00	1678.33±1.15	51.05±0.30	2.82±0.04
11.0	305.6	16.1	4.3	3.88±0.01	10.03±0.06	2.35±0.00	1689.33±1.53	50.30±0.12	2.60±0.02
11.0	174.6	16.1	2.5	3.89±0.01	10.60±0.00	2.67±0.45	1695.67±1.15	40.70±0.35	2.73±0.03
10.3	436.5	16.1	6.5	3.89±0.01	10.73±0.06	2.77±0.30	1697.67±4.16	48.00±0.00	2.75±0.01
6.8	458.4	25.0	1.7	3.90±0.01	10.53±0.31	2.67±0.45	1701.67±1.53	47.70±0.58	2.56±0.03
6.2	261.9	25.0	1.0	3.89±0.00	10.70±0.00	2.56±0.00	1710.67±0.58	47.20±0.23	2.58±0.00
6.0	654.8	25.0	2.0	3.89±0.01	10.67±0.12	2.45±0.15	1715.00±1.73	47.20±0.23	2.63±0.00
9.6	611.0	33.9	5.3	3.88±0.01	10.67±0.15	2.35±0.00	1734.67±4.16	47.85±0.10	2.66±0.03
11.0	349.2	33.9	3.7	3.95±0.01	10.70±0.00	2.45±0.15	1737.33±2.08	50.95±0.10	2.86±0.00
11.0	873.1	33.9	7.7	3.98±0.04	10.33±0.06	2.56±0.00	1759.67±0.58	50.40±0.16	2.69±0.03
23.3	305.6	33.9	29.7	3.95±0.01	10.27±0.12	2.45±0.15	1781.67±1.15	50.60±0.00	2.65±0.01
21.9	436.5	33.9	36.9	3.91±0.01	10.60±0.10	2.35±0.00	1711.00±3.46	47.50±1.54	2.84±0.01
21.9	174.6	33.9	147.0	3.91±0.01	10.67±0.23	2.77±0.30	1713.33±2.31	49.75±0.53	2.82±0.01
26.7	458.4	25.0	38.0	3.91±0.00	10.80±0.00	2.56±0.00	1717.00±3.61	50.30±0.12	2.89±0.01
24.7	261.9	25.0	22.1	3.89±0.01	10.80±0.00	2.35±0.00	1726.33±2.08	50.20±0.23	2.80±0.00
25.3	654.8	25.0	49.7	3.89±0.01	10.33±0.06	2.45±0.15	1702.00±1.00	50.20±0.00	2.74±0.01
18.5	458.4	25.0	13.6	3.88±0.01	10.77±0.06	2.35±0.00	1704.00±2.65	49.75±0.41	2.83±0.00
18.5	261.9	25.0	7.8	3.97±0.06	11.00±0.00	2.67±0.15	1756.33±3.06	46.10±0.35	3.32±0.03
18.5	654.8	25.0	19.4	3.97±0.03	10.93±0.12	2.45±0.15	1771.00±6.56	46.45±0.53	3.07±0.01

18.5	458.4	25.0	13.6	4.00±0.01	11.00±0.00	2.45±0.15	1774.67±2.08	46.65±0.53	2.60±0.03
18.5	261.9	25.0	7.8	3.97±0.06	10.70±0.00	2.67±0.15	1737.33±2.08	50.95±0.10	3.32±0.03
18.5	654.8	25.0	19.4	3.97±0.03	10.33±0.06	2.45±0.15	1759.67±0.58	50.40±0.16	3.07±0.01
22.6	305.6	33.9	28.8	4.00±0.01	10.27±0.12	2.45±0.15	1781.67±1.15	50.60±0.00	2.60±0.03
21.9	349.2	33.9	16.6	3.89±0.01	10.33±0.06	2.56±0.00	1717.00±5.29	48.65±0.53	2.63±0.00
21.9	873.0	33.9	36.9	3.89±0.00	10.50±0.17	2.45±0.15	1707.33±2.08	50.70±0.35	2.61±0.01
16.0	458.0	40.0	13.0	3.88±0.00	10.07±0.12	2.45±0.15	1674.00±1.73	50.55±0.19	2.41±0.02
16.0	262.0	40.0	8.8	3.89±0.01	10.13±0.12	2.35±0.00	1663.33±3.79	50.10±0.35	2.67±0.02
15.0	655.0	40.0	19.0	3.89±0.01	10.23±0.06	2.35±0.00	1678.33±1.15	51.05±0.30	2.82±0.04
21.2	305.6	16.1	20.8	3.88±0.01	10.03±0.06	2.35±0.00	1689.33±1.53	50.30±0.12	2.60±0.02
23.3	174.6	16.1	15.0	3.89±0.01	10.20±0.00	2.45±0.15	1679.67±1.53	39.10±0.12	2.81±0.03
22.6	436.5	16.1	35.6	3.90±0.01	10.30±0.00	2.45±0.15	1691.00±1.73	38.40±0.59	2.64±0.01
18.5	458.4	25.0	13.6	3.89±0.01	10.33±0.06	2.45±0.15	1701.00±2.00	36.25±0.10	2.48±0.07
18.5	261.9	25.0	7.8	3.95±0.01	11.00±0.00	2.67±0.15	1756.33±3.06	46.10±0.35	3.32±0.03
18.5	654.8	25.0	19.4	3.98±0.04	10.93±0.12	2.45±0.15	1771.00±6.56	46.45±0.53	3.07±0.01
16.4	152.8	25.0	12.1	3.95±0.01	11.00±0.00	2.45±0.15	1774.67±2.08	46.65±0.53	2.60±0.03
16.4	87.3	25.0	7.0	3.90±0.01	11.00±0.00	2.56±0.00	1745.00±2.00	48.60±0.16	2.50±0.03
16.4	218.3	25.0	17.3	3.91±0.01	10.90±0.10	2.77±0.00	1746.00±1.73	48.20±0.00	2.47±0.02
9.6	305.6	33.9	5.2	3.90±0.00	10.93±0.06	2.77±0.00	1743.67±2.08	48.95±0.75	2.63±0.03
10.3	174.6	33.9	3.2	3.89±0.01	10.30±0.10	2.35±0.00	1684.33±3.06	50.45±0.10	2.72±0.01
9.6	436.5	33.9	7.4	3.88±0.01	10.47±0.06	2.45±0.15	1705.00±0.00	50.40±0.23	2.95±0.01
17.0	458.4	10.0	12.6	3.88±0.01	10.27±0.06	2.45±0.15	1686.67±0.58	50.85±0.10	3.06±0.17
17.1	261.9	10.0	7.2	3.90±0.00	11.00±0.00	2.67±0.15	1764.00±1.00	46.10±0.35	2.72±0.02
17.1	654.8	10.0	18.0	3.91±0.00	11.03±0.06	2.88±0.15	1756.33±0.58	46.45±0.53	2.58±0.05

16.4	611.1	25.0	12.1	3.91±0.01	11.00±0.00	2.67±0.15	1753.00±1.00	46.65±0.53	2.70±0.02
15.8	349.1	25.0	6.6	3.90±0.01	11.00±0.00	2.67±0.15	1759.00±1.73	47.90±0.12	2.61±0.02
15.8	873.1	25.0	16.6	3.89±0.01	10.97±0.06	2.77±0.00	1755.67±4.04	48.20±0.00	2.70±0.01
6.8	458.4	25.0	1.7	3.90±0.01	11.00±0.00	2.67±0.15	1755.67±1.53	48.40±0.23	2.32±0.02
6.2	261.9	25.0	1.0	3.89±0.00	10.70±0.00	2.56±0.00	1710.67±0.58	47.20±0.23	2.58±0.00
6.0	654.8	25.0	2.0	3.89±0.01	10.67±0.12	2.45±0.15	1715.0±1.73	47.20±0.23	2.63±0.00
6.0	654.8	25.0	2.0	3.88±0.01	10.67±0.03	2.35±0.00	1734.67±4.16	47.85±0.10	2.66±0.03

EK F

PEF ile proses edilen elma suyunda renk (L, a, b) , hue , toplam renk değışimi (TRD) ve kroma değerlerindeki değışim.

Elektrik alan şiddeti (kV/cm)	Uygulama süresi (µs)	Sıcaklık (C)	Enerji (J)	L	a	b	Hue	Kroma	TRD
18.5	458.4	25.0	13.6	77.64±0.00	-2.27±0.00	22.78±0.02	-1.48±0.08	22.89±0.02	0.00±0.00
18.5	261.9	25.0	7.8	76.01±0.01	-1.81±0.01	34.90±0.07	-2.48±0.58	34.94±0.07	12.27±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	74.98±0.12	-1.99±0.01	31.32±0.08	-7.77±0.83	31.38±0.08	8.89±0.91
18.5	458.4	25.0	13.6	75.94±0.01	-2.17±0.01	28.21±0.03	-2.33±0.46	28.29±0.03	5.70±0.17
18.5	261.9	25.0	7.8	76.66±0.01	-1.80±0.02	31.63±0.02	0.31±0.17	34.9495±0.07	12.27±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	76.93±0.01	-1.88±0.01	30.55±0.02	-1.78±0.25	31.38±0.08	8.89±0.02
18.5	458.4	25.0	13.6	77.12±0.01	-1.86±0.01	31.08±0.01	-0.60±0.08	28.29±0.03	5.70±0.01
18.5	261.9	25.0	7.8	76.98±0.00	-2.13±0.01	28.64±0.04	-0.87±0.14	34.94±0.07	12.27±0.03
18.5	654.8	25.0	19.4	69.91±0.02	-1.36±0.02	31.74±0.01	-0.24±0.31	31.38±0.08	8.89±0.03
18.5	458.4	25.0	13.6	77.12±0.02	-2.20±0.01	27.24±0.05	6.11±2.94	28.29±0.03	5.70±0.09
18.5	261.9	25.0	7.8	77.34±0.16	-2.26±0.06	22.37±4.25	3.75±4.61	34.94±0.07	12.27±0.04
18.5	654.8	25.0	19.4	77.52±0.01	-2.34±0.01	22.24±0.02	-17.19±7.36	31.38±0.08	8.89±0.06
18.5	458.4	25.0	13.6	77.68±0.00	-2.34±0.01	25.35±0.02	-0.18±0.03	28.29±0.03	5.74±0.03
18.5	261.9	25.0	7.8	77.40±0.01	-2.48±0.01	22.78±0.02	3.90±0.22	34.94±0.07	12.74±0.07
18.5	654.8	25.0	19.4	77.44±0.01	-2.39±0.00	25.64±0.03	-0.27±0.01	31.38±0.08	8.89±0.21
9.6	611.0	33.9	5.3	77.43±0.01	-2.38±0.01	27.92±0.01	0.91±0.09	28.29±0.03	5.70±0.23
11.0	349.2	33.9	3.7	77.51±0.01	-2.22±0.01	24.12±0.01	-0.15±0.05	31.71±0.02	8.91±0.23

11.0	873.1	33.9	7.7	77.64±0.01	-2.04±0.01	29.71±0.02	0.48±0.10	30.61±0.01	7.83±0.25
21.2	611.1	16.1	22.9	77.56±0.01	-2.08±0.01	29.21±0.02	-0.09±0.08	31.14±0.01	8.32±0.02
21.2	349.2	16.1	14.9	77.51±0.00	-2.46±0.02	24.06±0.05	-2.60±0.32	28.70±0.04	5.93±0.01
21.2	873.1	16.1	34.2	77.55±0.00	-2.26±0.01	30.04±0.02	-1.08±0.06	31.81±0.01	11.80±0.13
11.0	305.6	16.1	4.3	77.51±0.03	-2.44±0.02	27.11±0.03	0.13±0.07	27.27±0.05	4.61±0.41
11.0	174.6	16.1	2.5	77.45±0.01	-2.44±0.01	25.98±0.02	-0.35±0.02	22.48±0.23	2.88±0.05
10.3	436.5	16.1	6.5	77.45±0.01	-2.38±0.01	26.50±0.02	0.12±0.02	22.35±0.01	0.55±0.01
17.0	458.4	10.0	12.6	77.47±0.01	-2.41±0.02	27.21±0.02	0.32±0.07	25.45±0.01	2.57±0.02
17.1	261.9	10.0	7.2	77.87±0.01	-2.35±0.00	24.77±0.01	-0.49±0.00	22.90±0.02	0.24±0.00
17.1	654.8	10.0	18.0	77.73±0.01	-2.36±0.01	22.26±0.02	-4.38±0.18	25.76±0.03	2.89±0.00
18.5	458.4	25.0	13.6	77.84±0.01	-2.35±0.00	20.41±0.00	1.00±0.00	28.02±0.01	5.15±0.01
18.5	261.9	25.0	7.8	77.78±0.02	-2.22±0.01	25.51±0.03	0.56±0.09	34.94±0.07	12.27±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	77.69±0.04	-2.27±0.02	21.20±0.04	1.79±0.17	31.38±0.09	8.89±0.22
18.5	458.4	25.0	13.6	77.76±0.02	-2.20±0.02	26.55±0.00	1.88±0.39	28.29±0.03	5.70±0.01
18.5	261.9	25.0	7.8	77.72±0.04	-2.28±0.01	21.97±0.01	-4.52±1.16	34.94±0.07	12.27±0.16
18.5	654.8	25.0	19.4	77.79±0.02	-2.28±0.01	21.50±0.05	-4.24±0.13	31.38±0.08	8.88±0.11
21.2	611.1	16.1	22.9	77.92±0.02	-2.14±0.00	27.82±0.02	-2.16±0.05	28.29±0.03	5.75±0.66
21.2	349.2	16.1	14.9	77.17±0.02	-2.56±0.02	27.37±0.20	-0.30±0.15	28.70±0.04	5.93±0.57
21.2	873.1	16.1	34.2	73.91±0.17	-2.29±0.01	27.39±0.11	1.51±0.19	31.81±0.01	11.83±0.28
23.3	305.6	33.9	29.7	71.30±0.08	-2.00±0.01	29.06±0.10	0.45±0.09	27.27±0.05	4.61±0.53
21.9	436.5	33.9	36.9	77.85±0.02	-2.59±0.02	23.35±0.03	2.28±0.47	24.23±0.01	1.34±0.02
21.9	174.6	33.9	147.0	71.06±0.01	-2.03±0.02	27.92±0.02	-0.38±0.11	29.79±0.02	6.91±0.23
16.4	152.8	25.0	12.1	75.43±0.09	-2.38±0.03	26.06±0.10	-0.06±0.09	29.28±0.02	6.43±0.03
16.4	87.3	25.0	7.0	73.85±0.06	-2.47±0.01	28.70±0.13	0.70±0.08	24.15±0.05	1.36±0.07

16.4	218.3	25.0	17.3	77.72±0.01	-2.78±0.01	27.46±0.04	-2.00±0.05	30.14±0.02	7.26±0.15
16.4	611.1	25.0	12.1	76.49±0.02	-2.68±0.01	27.25±0.15	-1.06±0.12	27.21±0.03	4.34±0.60
15.8	349.1	25.0	6.6	77.64±0.00	-2.27±0.00	22.78±0.02	-1.48±0.08	26.09±0.01	3.21±0.23
15.8	873.1	25.0	16.6	76.01±0.01	-1.81±0.01	34.90±0.07	-2.48±0.58	26.61±0.02	3.73±0.08
21.2	305.6	16.1	20.8	74.98±0.12	-1.99±0.01	31.32±0.08	-4.77±0.83	27.31±0.02	4.43±0.03
23.3	174.6	16.1	15.0	75.94±0.01	-2.17±0.01	28.21±0.03	-2.33±0.46	24.88±0.06	2.00±0.12
22.6	436.5	16.1	35.6	76.66±0.01	-1.80±0.02	31.63±0.02	0.31±0.17	22.39±0.02	0.51±0.01
11.0	305.6	16.1	4.3	76.93±0.01	-1.88±0.01	30.55±0.02	-1.78±0.25	20.55±0.04	2.38±0.01
11.0	174.6	16.1	2.5	77.12±0.01	-1.86±0.01	31.08±0.01	-0.60±0.08	22.48±4.23	2.88±0.02
10.3	436.5	16.1	6.5	76.98±0.00	-2.13±0.01	28.64±0.04	-0.87±0.14	22.35±0.07	0.54±0.00
18.5	458.4	25.0	13.6	69.91±0.02	-1.36±0.02	31.74±0.01	-0.24±0.31	25.45±0.21	2.58±0.02
18.5	261.9	25.0	7.8	77.12±0.02	-2.20±0.01	27.24±0.05	6.11±2.94	34.94±0.07	12.27±0.04
18.5	654.8	25.0	19.4	77.34±0.16	-2.26±0.06	22.37±4.25	3.75±0.61	31.38±0.08	8.89±0.38
9.6	305.6	33.9	5.2	77.52±0.01	-2.34±0.01	22.24±0.02	-5.19±0.36	28.29±0.34	5.70±0.02
10.3	174.6	33.9	3.2	77.68±0.00	-2.34±0.01	25.35±0.02	-0.18±0.03	25.617±0.03	2.74±0.02
9.6	436.5	33.9	7.4	77.40±0.01	-2.48±0.01	22.78±0.02	3.90±0.22	21.32±0.04	1.74±0.05
22.6	305.6	33.9	28.8	77.44±0.01	-2.39±0.00	25.64±0.03	-0.27±0.01	26.65±0.77	3.77±0.16
21.9	349.2	33.9	16.6	77.43±0.01	-2.38±0.01	27.92±0.01	0.91±0.09	22.08±0.02	0.82±0.10
21.9	873.0	33.9	36.9	77.51±0.01	-2.22±0.01	24.12±0.01	-0.15±0.05	21.63±0.04	1.31±0.04
11.0	305.6	16.1	4.3	77.64±0.01	-2.04±0.01	29.71±0.02	0.48±0.10	27.91±0.02	5.05±0.25
11.0	174.6	16.1	2.5	77.56±0.01	-2.08±0.01	29.21±0.02	-0.09±0.08	22.48±2.09	2.88±0.06
10.3	436.5	16.1	6.5	77.51±0.00	-2.46±0.02	24.06±0.05	-2.60±0.32	22.35±0.12	0.58±0.000
26.7	458.4	25.0	38.0	77.55±0.00	-2.26±0.01	30.04±0.02	-1.08±0.06	24.45±0.02	2.59±0.02
24.7	261.9	25.0	22.1	77.51±0.03	-2.44±0.02	27.11±0.03	0.13±0.07	27.46±0.19	4.73±0.01

25.3	654.8	25.0	49.7	77.45±0.01	-2.44±0.01	25.98±0.02	-0.35±0.02	27.51±0.11	5.98±0.09
18.5	458.4	25.0	13.6	77.45±0.01	-2.38±0.01	26.50±0.02	0.12±0.02	29.15±0.10	8.93±0.05
18.5	261.9	25.0	7.8	77.47±0.01	-2.41±0.02	27.21±0.02	0.32±0.07	34.93±0.07	12.75±0.91
18.5	654.8	25.0	19.4	77.87±0.01	-2.35±0.00	24.77±0.01	-0.49±0.00	31.38±0.08	8.28±0.07
16.0	458.0	40.0	13.0	77.73±0.01	-2.36±0.01	22.26±0.02	-4.38±0.18	28.29±0.03	5.60±0.21
16.0	262.0	40.0	8.8	77.84±0.01	-2.35±0.00	20.41±0.00	1.10±0.00	23.43±0.03	0.655±0.00
15.0	655.0	40.0	19.0	77.78±0.02	-2.22±0.01	25.51±0.03	0.56±0.09	28.04±0.02	8.63±0.02
11.0	305.6	16.1	4.3	77.69±0.04	-2.27±0.02	21.20±0.04	5.79±0.17	26.14±0.10	4.38±0.06
11.0	174.6	16.1	2.5	77.76±0.02	-2.20±0.02	26.55±0.00	1.88±0.39	22.48±2.23	2.98±0.02
10.3	436.5	16.1	6.5	77.72±0.04	-2.28±0.01	21.97±0.01	-4.52±1.16	2.35±0.22	0.57±0.01
6.8	458.4	25.0	1.7	77.79±0.02	-2.28±0.01	21.50±0.05	-4.24±0.23	25.45±0.03	2.58±0.01
6.2	261.9	25.0	1.0	77.92±0.02	-2.14±0.00	27.82±0.02	-2.16±0.05	28.80±0.13	7.17±0.03
6.0	654.8	25.0	2.0	77.17±0.02	-2.56±0.02	27.37±0.20	-0.30±0.15	27.57±0.04	4.71±0.14
9.6	611.0	33.9	5.3	73.91±0.17	-2.29±0.01	27.39±0.11	1.51±0.19	27.39±0.15	4.63±0.28
11.0	349.2	33.9	3.7	71.30±0.08	-2.00±0.01	29.06±0.10	0.45±0.09	31.71±0.03	8.82±0.03
11.0	873.1	33.9	7.7	77.85±0.02	-2.59±0.02	23.35±0.03	2.28±0.47	30.61±0.01	7.61±0.02
23.3	305.6	33.9	29.7	71.06±0.01	-2.03±0.02	27.92±0.02	-0.38±0.11	31.14±0.04	8.79±0.03
21.9	436.5	33.9	36.9	75.43±0.09	-2.38±0.03	26.06±0.10	-0.06±0.09	24.23±0.70	1.83±0.05
21.9	174.6	33.9	147.0	73.85±0.06	-2.47±0.01	28.70±0.13	0.70±0.08	29.79±0.02	6.67±0.02
26.7	458.4	25.0	38.0	77.72±0.01	-2.78±0.01	27.46±0.04	-2.00±0.05	29.28±0.05	6.72±0.15
24.7	261.9	25.0	22.1	76.49±0.02	-2.68±0.01	27.25±0.15	-1.06±0.12	27.46±0.19	4.58±0.02
25.3	654.8	25.0	49.7	77.64±0.00	-2.27±0.00	22.78±0.02	-1.48±0.08	27.51±0.11	5.93±0.10
18.5	458.4	25.0	13.6	76.01±0.01	-1.81±0.01	34.90±0.07	-2.48±0.58	29.15±0.20	9.06±0.07
18.5	261.9	25.0	7.8	74.98±0.12	-1.99±0.01	31.32±0.08	-3.77±0.53	34.94±0.07	12.77±0.91

18.5	654.8	25.0	19.4	75.94±0.01	-2.17±0.01	28.21±0.03	-2.33±0.46	31.38±0.08	8.86±0.45
18.5	458.4	25.0	13.6	76.66±0.01	-1.80±0.02	31.63±0.02	0.31±0.17	28.29±0.03	5.91±0.40
18.5	261.9	25.0	7.8	76.93±0.01	-1.88±0.01	30.55±0.02	-1.78±0.25	34.94±0.07	12.42±0.75
18.5	654.8	25.0	19.4	77.12±0.01	-1.86±0.01	31.08±0.01	-0.60±0.08	31.38±0.08	9.25±0.44
22.6	305.6	33.9	28.8	76.98±0.00	-2.13±0.01	28.64±0.04	-0.87±0.14	28.29±0.03	5.54±0.04
21.9	349.2	33.9	16.6	69.91±0.02	-1.36±0.02	31.74±0.01	-0.24±0.31	22.08±0.01	8.83±0.01
21.9	873.0	33.9	36.9	77.12±0.02	-2.20±0.01	27.24±0.05	4.11±0.94	21.62±0.04	1.85±0.01
16.0	458.0	40.0	13.0	77.34±0.16	-2.26±0.06	22.37±4.25	3.75±4.61	27.91±0.02	5.44±0.01
16.0	262.0	40.0	8.8	77.52±0.01	-2.34±0.01	22.24±0.02	-2.19±0.36	23.43±0.03	0.68±0.01
15.0	655.0	40.0	19.0	77.68±0.00	-2.34±0.01	25.35±0.02	-0.18±0.03	28.04±0.02	8.74±0.08
21.2	305.6	16.1	20.8	77.40±0.01	-2.48±0.01	22.78±0.02	3.90±0.22	26.14±0.10	4.74±0.05
23.3	174.6	16.1	15.0	77.44±0.01	-2.39±0.00	25.64±0.03	-0.27±0.01	24.88±0.00	2.43±0.03
22.6	436.5	16.1	35.6	77.43±0.01	-2.38±0.01	27.92±0.01	0.91±0.09	22.39±0.02	0.51±0.00
18.5	458.4	25.0	13.6	77.51±0.01	-2.22±0.01	24.12±0.01	-0.15±0.05	20.55±0.06	2.37±0.00
18.5	261.9	25.0	7.8	77.64±0.01	-2.04±0.01	29.71±0.02	0.48±0.10	34.94±0.07	12.34±0.95
18.5	654.8	25.0	19.4	77.56±0.01	-2.08±0.01	29.21±0.02	-0.09±0.08	31.38±0.08	8.24±0.61
16.4	152.8	25.0	12.1	77.51±0.00	-2.46±0.02	24.06±0.05	-2.60±0.32	28.29±0.03	5.14±0.02
16.4	87.3	25.0	7.0	77.55±0.00	-2.26±0.01	30.04±0.02	-1.08±0.06	24.15±0.05	1.80±0.01
16.4	218.3	25.0	17.3	77.51±0.03	-2.44±0.02	27.11±0.03	0.13±0.07	30.14±0.02	7.07±0.01
9.6	305.6	33.9	5.2	77.45±0.01	-2.44±0.01	25.98±0.02	-0.35±0.02	27.21±0.03	4.19±0.02
10.3	174.6	33.9	3.2	77.45±0.01	-2.38±0.01	26.50±0.02	0.12±0.02	25.61±0.03	2.48±0.11
9.6	436.5	33.9	7.4	77.47±0.01	-2.41±0.02	27.21±0.02	0.32±0.07	21.32±0.04	1.75±0.03
17.0	458.4	10.0	12.6	77.87±0.01	-2.35±0.00	24.77±0.01	-0.49±0.00	26.65±0.00	3.78±0.01
17.1	261.9	10.0	7.2	77.73±0.01	-2.36±0.01	22.26±0.02	-2.38±0.08	22.90±0.02	0.60±0.00

17.1	654.8	10.0	18.0	77.84±0.01	-2.35±0.00	20.41±0.00	1.10±0.00	25.76±0.03	2.95±0.07
16.4	611.1	25.0	12.1	77.78±0.02	-2.22±0.01	25.51±0.03	0.56±0.09	28.02±0.01	5.16±0.04
15.8	349.1	25.0	6.6	77.69±0.04	-2.27±0.02	21.20±0.04	2.79±0.17	26.09±0.02	3.38±0.22
15.8	873.1	25.0	16.6	77.76±0.02	-2.20±0.02	26.55±0.00	1.88±0.39	26.61±0.02	3.76±0.00
6.8	458.4	25.0	1.7	77.72±0.04	-2.28±0.01	21.97±0.01	-4.52±1.16	27.31±0.22	4.70±0.02
6.2	261.9	25.0	1.0	77.79±0.02	-2.28±0.01	21.50±0.05	-4.24±0.33	28.80±0.13	7.15±0.31
6.0	654.8	25.0	2.0	77.92±0.02	-2.14±0.00	27.82±0.02	-2.16±0.05	27.57±0.08	4.75±0.36

EK G

PEF ile proses edilen elma suyunda fenolik bileşen miktarlarındaki değişim.

Elektrik alan şiddeti (kV/cm)	Uygulama süresi (µs)	Sıcaklık (C)	Enerji (J)	(-) Epikateşin	Kaffeik asit	Klorojenik Asit	p-kumarik Asit	Ferrulik Asit	Sinapik Asit	Kuersetin	Galik Asit	(+) Kateşin
18.5	458.4	25.0	13.6	0.64±0.09	0.21±0.02	0.27±0.03	0.43±0.09	1.51±0.20	0.59±0.14	0.27±0.12	1.93±0.53	1.70±0.05
18.5	261.9	25.0	7.8	0.53±0.01	0.21±0.01	0.28±0.01	0.42±0.01	1.52±0.02	0.88±0.01	0.39±0.01	1.48±0.02	1.71±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	0.45±0.03	0.18±0.01	0.25±0.01	0.40±0.01	1.51±0.01	0.54±0.01	0.38±0.01	1.38±0.01	1.77±0.01
18.5	458.4	25.0	13.6	0.49±0.01	0.19±0.01	0.29±0.01	0.42±0.01	1.58±0.03	0.56±0.03	0.32±0.01	1.45±0.05	1.67±0.09
18.5	261.9	25.0	7.8	0.53±0.01	0.21±0.01	0.28±0.01	0.42±0.01	1.52±0.02	0.88±0.01	0.39±0.01	1.48±0.02	1.71±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	0.45±0.03	0.18±0.01	0.25±0.01	0.40±0.01	1.51±0.01	0.54±0.01	0.38±0.01	1.38±0.01	1.77±0.01
18.5	458.4	25.0	13.6	0.49±0.01	0.19±0.01	0.29±0.01	0.42±0.01	1.58±0.03	0.56±0.03	0.31±0.01	1.45±0.05	1.67±0.09
18.5	261.9	25.0	7.8	0.53±0.01	0.21±0.02	0.28±0.01	0.42±0.01	1.52±0.02	0.88±0.01	0.39±0.01	1.48±0.02	1.71±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	0.45±0.03	0.18±0.01	0.25±0.01	0.40±0.01	1.51±0.01	0.54±0.01	0.38±0.01	1.38±0.01	1.77±0.01
18.5	458.4	25.0	13.6	0.53±0.01	0.21±0.01	0.28±0.01	0.42±0.01	1.52±0.02	0.88±0.01	0.39±0.01	1.48±0.02	1.71±0.01
18.5	261.9	25.0	7.8	0.49±0.01	0.19±0.01	0.29±0.01	0.42±0.01	1.58±0.03	0.56±0.03	0.31±0.01	1.45±0.05	1.67±0.09
18.5	654.8	25.0	19.4	0.45±0.03	0.18±0.01	0.25±0.01	0.40±0.01	1.51±0.01	0.54±0.01	0.38±0.01	1.38±0.01	1.77±0.01
18.5	458.4	25.0	13.6	0.49±0.01	0.19±0.01	0.29±0.01	0.42±0.01	1.58±0.03	0.56±0.03	0.31±0.01	1.45±0.05	1.67±0.09
18.5	261.9	25.0	7.8	0.53±0.01	0.21±0.01	0.28±0.01	0.42±0.01	1.52±0.02	0.88±0.01	0.39±0.01	1.48±0.02	1.71±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	0.46±0.03	0.18±0.01	0.24±0.01	0.40±0.01	1.51±0.01	0.54±0.003	0.38±0.01	1.37±0.01	1.76±0.002
9.6	611.0	33.9	5.3	0.49±0.01	0.19±0.01	0.29±0.01	0.42±0.01	1.58±0.03	0.56±0.03	0.31±0.01	1.45±0.05	1.67±0.09
11.0	349.2	33.9	3.7	0.49±0.01	0.21±0.01	0.27±0.01	0.43±0.01	1.55±0.05	0.86±0.05	0.31±0.01	1.52±0.01	1.70±0.04
11.0	873.1	33.9	7.7	0.44±0.02	0.17±0.01	0.22±0.01	0.32±0.01	1.25±0.04	0.46±0.01	0.27±0.01	1.24±0.01	1.52±0.01

21.2	611.1	16.1	22.9	0.41±0.01	0.19±0.01	0.28±0.02	0.40±0.01	1.42±0.11	0.52±0.01	0.23±0.01	1.23±0.04	1.46±0.06
21.2	349.2	16.1	14.9	0.52±0.01	0.19±0.01	0.26±0.01	0.43±0.01	1.58±0.02	0.85±0.03	0.39±0.01	1.51±0.01	1.72±0.03
21.2	873.1	16.1	34.2	0.37±0.03	0.16±0.01	0.19±0.02	0.29±0.01	1.53±0.04	0.45±0.02	0.26±0.003	1.11±0.01	1.26±0.01
11.0	305.6	16.1	4.3	0.37±0.01	0.19±0.001	0.22±0.02	0.32±0.01	0.99±0.05	0.41±0.01	0.06±0.02	1.23±0.02	1.20±0.05
11.0	174.6	16.1	2.5	0.48±0.01	0.19±0.001	0.25±0.01	0.41±0.004	1.49±0.01	0.67±0.02	0.27±0.01	1.54±0.04	1.56±0.02
10.3	436.5	16.1	6.5	0.39±0.01	0.16±0.003	0.21±0.01	0.36±0.01	1.16±0.07	0.57±0.01	0.23±0.004	1.13±0.01	1.36±0.004
17.0	458.4	10.0	12.6	0.31±0.01	0.16±0.01	0.23±0.01	0.33±0.01	1.21±0.03	0.42±0.01	0.17±0.04	1.08±0.03	1.46±0.07
17.1	261.9	10.0	7.2	0.55±0.01	0.20±0.002	0.27±0.001	0.44±0.01	1.60±0.01	0.84±0.001	0.31±0.01	1.54±0.01	2.0±0.01
17.1	654.8	10.0	18.0	0.48±0.01	0.16±0.003	0.25±0.01	0.48±0.004	1.59±0.11	0.71±0.003	0.34±0.01	1.43±0.03	1.61±0.001
18.5	458.4	25.0	13.6	0.42±0.01	0.19±0.001	0.29±0.01	0.41±0.02	1.47±0.04	0.61±0.01	0.25±0.004	1.38±0.04	1.66±0.06
18.5	261.9	25.0	7.8	0.53±0.01	0.21±0.002	0.28±0.004	0.42±0.01	1.52±0.02	0.88±0.001	0.39±0.004	1.48±0.02	1.71±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	0.45±0.03	0.18±0.004	0.25±0.01	0.40±0.005	1.51±0.01	0.54±0.003	0.38±0.01	1.38±0.01	1.77±0.003
18.5	458.4	25.0	13.6	0.49±0.004	0.19±0.001	0.29±0.007	0.42±0.01	1.58±0.03	0.56±0.03	0.32±0.006	1.45±0.05	1.67±0.09
18.5	261.9	25.0	7.8	0.53±0.02	0.21±0.002	0.28±0.004	0.42±0.01	1.52±0.02	0.88±0.01	0.39±0.004	1.48±0.02	1.72±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	0.45±0.04	0.18±0.004	0.25±0.01	0.40±0.01	1.51±0.01	0.54±0.003	0.38±0.01	1.38±0.01	1.77±0.003
21.2	611.1	16.1	22.9	0.49±0.003	0.19±0.001	0.29±0.01	0.42±0.01	1.58±0.03	0.56±0.03	0.31±0.01	1.45±0.05	1.67±0.09
21.2	349.2	16.1	14.9	0.52±0.01	0.19±0.004	0.26±0.004	0.43±0.004	1.58±0.02	0.85±0.03	0.39±0.004	1.52±0.01	1.72±0.03
21.2	873.1	16.1	34.2	0.37±0.03	0.16±0.01	0.19±0.02	0.29±0.004	1.53±0.04	0.45±0.02	0.26±0.003	1.11±0.01	1.26±0.01
23.3	305.6	33.9	29.7	0.36±0.01	0.19±0.001	0.22±0.02	0.32±0.01	0.99±0.05	0.41±0.01	0.06±0.02	1.23±0.02	1.20±0.05
21.9	436.5	33.9	36.9	0.51±0.01	0.19±0.003	0.27±0.01	0.41±0.004	1.45±0.02	0.82±0.004	0.71±0.01	1.46±0.02	1.71±0.01
21.9	174.6	33.9	147.0	0.42±0.01	0.18±0.01	0.27±0.01	0.34±0.01	1.38±0.03	0.54±0.004	0.32±0.01	1.27±0.03	1.45±0.01
16.4	152.8	25.0	12.1	0.45±0.01	0.19±0.01	0.26±0.01	0.43±0.004	1.44±0.06	0.48±0.004	0.28±0.02	1.46±0.06	1.78±0.01
16.4	87.3	25.0	7.0	0.54±0.002	0.19±0.002	0.31±0.01	0.41±0.001	1.58±0.03	0.76±0.04	0.66±0.01	1.53±0.01	1.64±0.002
16.4	218.3	25.0	17.3	0.43±0.01	0.18±0.003	0.25±0.01	0.41±0.003	1.51±0.01	0.62±0.003	0.34±0.003	1.34±0.01	1.78±0.06
16.4	611.1	25.0	12.1	0.43±0.01	0.18±0.01	0.31±0.01	0.44±0.002	1.55±0.01	0.57±0.01	0.32±0.01	1.42±0.03	1.88±0.03
15.8	349.1	25.0	6.6	0.58±0.01	0.19±0.003	0.27±0.01	0.42±0.003	1.55±0.02	0.84±0.02	0.44±0.01	1.49±0.002	1.95±0.002
15.8	873.1	25.0	16.6	0.48±0.01	0.18±0.002	0.25±0.03	0.45±0.01	1.61±0.01	0.62±0.01	0.39±0.03	1.36±0.01	1.85±0.009
21.2	305.6	16.1	20.8	0.39±0.01	0.19±0.004	0.25±0.01	0.43±0.01	1.57±0.08	0.64±0.01	0.41±0.007	1.47±0.06	1.65±0.08
23.3	174.6	16.1	15.0	0.51±0.002	0.19±0.01	0.26±0.01	0.39±0.007	1.45±0.05	0.85±0.03	0.37±0.004	1.55±0.04	1.76±0.1

22.6	436.5	16.1	35.6	0.39±0.004	0.19±0.01	0.24±0.02	0.41±0.01	1.47±0.03	0.69±0.01	0.36±0.01	1.26±0.01	1.65±0.03
11.0	305.6	16.1	4.3	0.47±0.02	0.20±0.005	0.28±0.003	0.43±0.004	1.49±0.08	0.56±0.003	0.33±0.04	1.49±0.02	1.76±0.01
11.0	174.6	16.1	2.5	0.48±0.01	0.19±0.001	0.25±0.006	0.41±0.003	1.49±0.01	0.67±0.02	0.26±0.006	1.53±0.04	1.56±0.02
10.3	436.5	16.1	6.5	0.39±0.01	0.16±0.003	0.21±0.01	0.35±0.01	1.15±0.07	0.56±0.01	0.23±0.004	1.13±0.01	1.36±0.004
18.5	458.4	25.0	13.6	0.32±0.01	0.16±0.01	0.23±0.006	0.33±0.01	1.21±0.02	0.42±0.01	0.17±0.04	1.08±0.02	1.46±0.07
18.5	261.9	25.0	7.8	0.53±0.01	0.21±0.002	0.28±0.003	0.42±0.01	1.52±0.02	0.88±0.01	0.39±0.003	1.48±0.02	1.71±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	0.45±0.03	0.18±0.003	0.25±0.01	0.40±0.004	1.51±0.006	0.54±0.002	0.38±0.006	1.37±0.01	1.76±0.002
9.6	305.6	33.9	5.2	0.49±0.004	0.19±0.001	0.28±0.007	0.42±0.01	1.58±0.03	0.56±0.03	0.31±0.006	1.45±0.05	1.67±0.09
10.3	174.6	33.9	3.2	0.49±0.01	0.20±0.001	0.31±0.006	0.42±0.002	1.48±0.004	0.72±0.009	0.27±0.01	1.45±0.01	1.52±0.01
9.6	436.5	33.9	7.4	0.43±0.03	0.17±0.004	0.21±0.007	0.32±0.02	1.61±0.01	0.53±0.01	0.26±0.009	1.09±0.02	1.34±0.02
22.6	305.6	33.9	28.8	0.45±0.01	0.18±0.009	0.25±0.01	0.42±0.001	1.38±0.06	0.57±0.004	0.31±0.005	1.31±0.01	1.75±0.07
21.9	349.2	33.9	16.6	0.52±0.01	0.19±0.001	0.22±0.01	0.43±0.002	1.34±0.03	0.65±0.01	0.29±0.01	1.43±0.03	1.75±0.01
21.9	873.0	33.9	36.9	0.41±0.001	0.18±0.01	0.20±0.003	0.35±0.001	1.38±0.01	0.54±0.01	0.25±0.01	1.14±0.05	1.68±0.09
11.0	305.6	16.1	4.3	0.41±0.01	0.19±0.002	0.31±0.01	0.39±0.01	1.40±0.12	0.53±0.01	0.19±0.003	1.34±0.05	1.58±0.08
11.0	174.6	16.1	2.5	0.48±0.01	0.19±0.001	0.25±0.01	0.41±0.004	1.49±0.01	0.67±0.024	0.27±0.01	1.54±0.04	1.56±0.02
10.3	436.5	16.1	6.5	0.39±0.01	0.15±0.003	0.21±0.01	0.36±0.01	1.15±0.07	0.56±0.01	0.23±0.004	1.13±0.01	1.36±0.004
26.7	458.4	25.0	38.0	0.32±0.01	0.16±0.01	0.23±0.01	0.33±0.01	1.21±0.03	0.42±0.01	0.17±0.04	1.08±0.03	1.46±0.06
24.7	261.9	25.0	22.1	0.53±0.03	0.19±0.004	0.29±0.002	0.46±0.002	1.52±0.01	0.71±0.01	0.23±0.002	1.45±0.02	1.74±0.01
25.3	654.8	25.0	49.7	0.45±0.03	0.19±0.001	0.25±0.01	0.45±0.01	1.59±0.06	0.57±0.02	0.31±0.003	1.44±0.06	1.92±0.03
18.5	458.4	25.0	13.6	0.23±0.01	0.14±0.002	0.17±0.01	0.25±0.01	1.29±0.58	0.31±0.01	0.07±0.03	1.74±0.07	1.11±0.03
18.5	261.9	25.0	7.8	0.53±0.01	0.21±0.002	0.28±0.004	0.42±0.01	1.52±0.02	0.88±0.01	0.39±0.003	1.47±0.01	1.71±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	0.45±0.04	0.18±0.004	0.25±0.01	0.40±0.01	1.51±0.01	0.54±0.002	0.38±0.01	1.37±0.01	1.76±0.002
16.0	458.0	40.0	13.0	0.49±0.004	0.19±0.001	0.28±0.01	0.42±0.01	1.58±0.02	0.56±0.03	0.31±0.01	1.45±0.05	1.67±0.09
16.0	262.0	40.0	8.8	0.55±0.01	0.21±0.003	0.24±0.002	0.43±0.003	1.48±0.02	0.66±0.04	0.24±0.01	1.42±0.002	1.62±0.04
15.0	655.0	40.0	19.0	0.41±0.01	0.18±0.003	0.23±0.001	0.37±0.004	1.45±0.01	0.54±0.03	0.20±0.001	1.32±0.001	1.64±0.002
11.0	305.6	16.1	4.3	0.33±0.01	0.17±0.001	0.21±0.01	0.28±0.01	1.04±0.03	0.35±0.01	0.15±0.01	0.97±0.03	1.41±0.11
11.0	174.6	16.1	2.5	0.48±0.01	0.19±0.001	0.25±0.01	0.41±0.003	1.49±0.01	0.67±0.024	0.26±0.01	1.54±0.04	1.56±0.02
10.3	436.5	16.1	6.5	0.39±0.01	0.16±0.003	0.21±0.01	0.35±0.01	1.15±0.07	0.56±0.01	0.22±0.004	1.13±0.01	1.36±0.004
6.8	458.4	25.0	1.7	0.32±0.01	0.16±0.01	0.23±0.01	0.33±0.01	1.21±0.02	0.42±0.01	0.17±0.03	1.08±0.02	1.46±0.07

6.2	261.9	25.0	1.0	0.56±0.01	0.20±0.001	0.28±0.01	0.41±0.01	1.54±0.01	0.72±0.02	0.25±0.01	1.46±0.002	1.57±0.01
6.0	654.8	25.0	2.0	0.45±0.03	0.16±0.01	0.21±0.001	0.36±0.01	1.44±0.01	0.54±0.01	0.38±0.003	1.26±0.01	1.41±0.01
9.6	611.0	33.9	5.3	0.37±0.01	0.19±0.01	0.26±0.01	0.42±0.01	1.36±0.06	0.44±0.001	0.13±0.01	1.32±0.03	1.82±0.01
11.0	349.2	33.9	3.7	0.49±0.01	0.21±0.001	0.26±0.01	0.43±0.002	1.54±0.05	0.86±0.05	0.31±0.01	1.52±0.01	1.70±0.04
11.0	873.1	33.9	7.7	0.44±0.02	0.17±0.002	0.22±0.01	0.32±0.01	1.25±0.04	0.46±0.01	0.27±0.01	1.24±0.004	1.52±0.004
23.3	305.6	33.9	29.7	0.41±0.01	0.19±0.003	0.27±0.02	0.39±0.001	1.42±0.11	0.52±0.01	0.23±0.01	1.23±0.03	1.45±0.06
21.9	436.5	33.9	36.9	0.51±0.01	0.19±0.002	0.26±0.01	0.41±0.004	1.45±0.02	0.81±0.004	0.71±0.01	1.45±0.02	1.71±0.01
21.9	174.6	33.9	147.0	0.42±0.01	0.17±0.01	0.26±0.01	0.34±0.01	1.38±0.03	0.54±0.004	0.32±0.01	1.26±0.02	1.44±0.01
26.7	458.4	25.0	38.0	0.45±0.01	0.19±0.01	0.25±0.01	0.43±0.004	1.44±0.06	0.48±0.004	0.28±0.02	1.46±0.06	1.78±0.01
24.7	261.9	25.0	22.1	0.53±0.03	0.19±0.004	0.29±0.002	0.46±0.002	1.52±0.01	0.71±0.01	0.23±0.002	1.45±0.02	1.74±0.01
25.3	654.8	25.0	49.7	0.45±0.03	0.19±0.001	0.25±0.01	0.45±0.01	1.59±0.06	0.58±0.02	0.31±0.003	1.43±0.06	1.92±0.03
18.5	458.4	25.0	13.6	0.23±0.01	0.14±0.002	0.18±0.01	0.25±0.01	1.29±0.58	0.31±0.01	0.07±0.03	1.74±0.07	1.11±0.03
18.5	261.9	25.0	7.8	0.53±0.02	0.21±0.002	0.27±0.003	0.41±0.01	1.52±0.01	0.88±0.01	0.39±0.003	1.47±0.01	1.71±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	0.45±0.03	0.18±0.003	0.25±0.01	0.40±0.01	1.51±0.01	0.54±0.002	0.38±0.01	1.37±0.01	1.76±0.003
18.5	458.4	25.0	13.6	0.49±0.003	0.19±0.001	0.28±0.01	0.42±0.01	1.58±0.03	0.56±0.03	0.31±0.01	1.45±0.05	1.67±0.08
18.5	261.9	25.0	7.8	0.53±0.02	0.21±0.002	0.27±0.003	0.41±0.01	1.52±0.01	0.88±0.005	0.39±0.003	1.47±0.01	1.71±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	0.45±0.03	0.18±0.003	0.24±0.01	0.40±0.01	1.51±0.01	0.54±0.002	0.38±0.01	1.38±0.01	1.76±0.002
22.6	305.6	33.9	28.8	0.49±0.003	0.19±0.001	0.28±0.01	0.42±0.01	1.58±0.02	0.56±0.03	0.31±0.01	1.45±0.05	1.67±0.08
21.9	349.2	33.9	16.6	0.52±0.01	0.19±0.001	0.22±0.01	0.43±0.002	1.34±0.03	0.65±0.01	0.29±0.01	1.43±0.03	1.75±0.01
21.9	873.0	33.9	36.9	0.41±0.001	0.18±0.01	0.20±0.003	0.34±0.001	1.38±0.01	0.54±0.01	0.24±0.01	1.13±0.04	1.68±0.09
16.0	458.0	40.0	13.0	0.41±0.01	0.19±0.002	0.31±0.01	0.39±0.01	1.40±0.12	0.53±0.01	0.19±0.003	1.34±0.05	1.58±0.08
16.0	262.0	40.0	8.8	0.55±0.01	0.20±0.003	0.24±0.002	0.42±0.003	1.48±0.01	0.65±0.04	0.24±0.01	1.42±0.002	1.62±0.03
15.0	655.0	40.0	19.0	0.41±0.01	0.18±0.004	0.23±0.001	0.38±0.004	1.45±0.01	0.54±0.03	0.20±0.001	1.32±0.001	1.64±0.002
21.2	305.6	16.1	20.8	0.33±0.01	0.17±0.001	0.21±0.01	0.28±0.01	1.04±0.03	0.35±0.01	0.15±0.01	0.97±0.03	1.41±0.12
23.3	174.6	16.1	15.0	0.51±0.002	0.19±0.01	0.26±0.01	0.39±0.01	1.44±0.04	0.84±0.02	0.37±0.004	1.54±0.03	1.76±0.01
22.6	436.5	16.1	35.6	0.9±0.004	0.19±0.01	0.24±0.02	0.41±0.01	1.47±0.03	0.69±0.01	0.36±0.01	1.26±0.01	1.65±0.03
18.5	458.4	25.0	13.6	0.47±0.02	0.20±0.01	0.28±0.003	0.43±0.004	1.49±0.07	0.56±0.003	0.33±0.03	1.49±0.02	1.75±0.01
18.5	261.9	25.0	7.8	0.53±0.02	0.21±0.002	0.27±0.003	0.41±0.01	1.52±0.02	0.88±0.01	0.39±0.003	1.47±0.02	1.71±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	0.44±0.03	0.18±0.003	0.24±0.01	0.40±0.01	1.51±0.01	0.54±0.002	0.38±0.01	1.37±0.01	1.76±0.002

16.4	152.8	25.0	12.1	0.49±0.003	0.19±0.001	0.28±0.01	0.42±0.01	1.58±0.03	0.56±0.03	0.31±0.01	1.45±0.05	1.67±0.08
16.4	87.3	25.0	7.0	0.54±0.002	0.19±0.002	0.31±0.01	0.41±0.001	1.57±0.03	0.76±0.03	0.66±0.01	1.53±0.01	1.64±0.002
16.4	218.3	25.0	17.3	0.43±0.01	0.18±0.003	0.25±0.01	0.41±0.003	1.51±0.01	0.61±0.003	0.34±0.003	1.34±0.01	1.78±0.06
9.6	305.6	33.9	5.2	0.43±0.01	0.18±0.01	0.31±0.01	0.43±0.002	1.55±0.01	0.56±0.01	0.32±0.01	1.41±0.03	1.88±0.03
10.3	174.6	33.9	3.2	0.49±0.01	0.20±0.001	0.31±0.01	0.42±0.002	1.48±0.004	0.72±0.01	0.27±0.01	1.45±0.01	1.51±0.01
9.6	436.5	33.9	7.4	0.42±0.03	0.17±0.004	0.21±0.01	0.32±0.01	1.61±0.01	0.52±0.01	0.25±0.01	1.09±0.01	1.33±0.01
17.0	458.4	10.0	12.6	0.44±0.01	0.18±0.01	0.25±0.01	0.42±0.001	1.38±0.06	0.57±0.01	0.32±0.01	1.31±0.01	1.75±0.07
17.1	261.9	10.0	7.2	0.54±0.01	0.20±0.002	0.27±0.001	0.44±0.01	1.61±0.01	0.84±0.001	0.31±0.01	1.54±0.01	2.0±0.1
17.1	654.8	10.0	18.0	0.47±0.01	0.16±0.002	0.25±0.01	0.47±0.004	1.59±0.11	0.71±0.002	0.33±0.01	1.42±0.03	1.61±0.001
16.4	611.1	25.0	12.1	0.41±0.01	0.19±0.001	0.29±0.01	0.41±0.01	1.47±0.04	0.61±0.01	0.24±0.003	1.37±0.03	1.66±0.05
15.8	349.1	25.0	6.6	0.57±0.01	0.18±0.003	0.26±0.01	0.41±0.002	1.55±0.01	0.83±0.01	0.43±0.01	1.49±0.002	1.95±0.002
15.8	873.1	25.0	16.6	0.47±0.01	0.17±0.002	0.25±0.02	0.45±0.01	1.61±0.01	0.61±0.01	0.39±0.02	1.35±0.01	1.84±0.01
6.8	458.4	25.0	1.7	0.39±0.01	0.19±0.004	0.25±0.01	0.43±0.01	1.56±0.07	0.63±0.01	0.41±0.01	1.4±0.5	1.65±0.07
6.2	261.9	25.0	1.0	0.55±0.01	0.20±0.001	0.29±0.01	0.41±0.01	1.54±0.01	0.73±0.02	0.25±0.01	1.45±0.002	1.57±0.01
6.0	654.8	25.0	2.0	0.45±0.03	0.16±0.01	0.21±0.001	0.36±0.01	1.44±0.01	0.54±0.01	0.38±0.003	1.26±0.01	1.41±0.01
6.0	654.8	25.0	2.0	0.36±0.01	0.18±0.01	0.25±0.01	0.41±0.01	1.36±0.1	0.44±0.001	0.12±0.01	1.32±0.02	1.81±0.01

EK H

PEF ile proses edilen elma suyunda organik asit miktarındaki değişim.

Elektrik alan şiddeti (kV/cm)	Uygulama süresi (µs)	Sıcaklık (C)	Enerji (J)	Tartarik Asit	Kuinik Asit	Okzalik Asit	Malik Asit	Sitrik Asit	Fumarik Asit	Askorbik Asit
18.5	458.4	25.0	13.6	59.23±1.63	365.2±3.07	18.1±0.02	353.72±4.55	30573±1489.14	2.79±0.07	1.25±0.01
18.5	261.9	25.0	7.8	63.02±5.23	371.6±34.41	24.6±2.10	381.74±59.26	66505.5±1987.38	2.45±0.22	0.92±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	63.94±0.08	359.3±1.39	26.4±0.18	352.66±1.56	30409.5±1984.85	2.67±0.01	0.99±0
18.5	458.4	25.0	13.6	59.23±1.63	365.2±3.07	18.1±0.02	353.72±4.55	30573±1489.14	2.79±0.07	1.26±0.01
18.5	261.9	25.0	7.8	63.02±5.23	371.6±34.41	24.6±2.10	381.74±59.26	66505.5±1987.38	2.45±0.22	0.92±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	59.23±1.63	365.2±3.07	18.1±0.02	353.72±4.55	30573±1489.14	2.79±0.07	1.25±0.01
18.5	458.4	25.0	13.6	59.23±1.63	365.2±3.07	18.1±0.02	353.72±4.55	30573±1489.14	2.79±0.07	1.06±0.26
18.5	261.9	25.0	7.8	63.02±5.23	371.6±34.42	24.6±2.10	381.74±59.26	66505.5±1987.38	2.45±0.22	0.91±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	63.94±0.09	359.4±1.39	26.4±0.18	352.65±1.56	30409.5±1984.85	2.67±0.01	0.99±0
18.5	458.4	25.0	13.6	59.23±1.63	365.2±3.07	18.1±0.02	353.72±4.55	30573±1489.14	2.79±0.07	1.06±0.26
18.5	261.9	25.0	7.8	63.02±5.23	371.6±34.42	24.6±2.10	381.74±59.26	66505.5±1987.38	2.45±0.22	0.92±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	63.94±0.09	359.4±1.39	26.4±0.18	352.65±1.56	30409.5±1984.85	2.67±0.01	0.99±0
18.5	458.4	25.0	13.6	59.23±1.63	365.2±3.07	18.1±0.02	353.72±4.55	30573±1489.14	2.79±0.07	1.06±0.26
18.5	261.9	25.0	7.8	63.02±5.23	371.6±34.42	24.6±2.10	381.74±59.26	66505.5±1987.38	2.45±0.22	0.92±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	63.94±0.09	359.4±1.39	26.4±0.18	352.65±1.56	30409.5±1984.85	2.67±0.01	0.99±0

9.6	611.0	33.9	5.3	56.6±0.56	361.3±3.35	18.2±0.57	350.47±2.68	33716.5±2095.61	2.78±0.03	1.01±0.21
11.0	349.2	33.9	3.7	52.22±2.65	320.2±25.42	21.8±1.51	330.62±44.10	64158.5±1271.84	2.39±0.17	0.79±0.05
11.0	873.1	33.9	7.7	54.43±0.11	302.4±3.25	23.7±0.12	297.99±2.63	26761±1385.93	2.23±0.02	0.79±0.00
21.2	611.1	16.1	22.9	58.78±0.43	372.8±2.78	18.4±0.69	361.30±7.95	36633±2271.04	2.85±0.09	1.07±0.19
21.2	349.2	16.1	14.9	48.87±2.09	349.7±59.54	20.6±1.41	287.34±35.14	33597±6795.29	2.05±0.11	0.70±0.02
21.2	873.1	16.1	34.2	54.57±0.18	302.3±0.50	22.6±0.15	297.37±1.18	24717.44±23.43	2.23±0.01	0.84±0.01
11.0	305.6	16.1	4.3	53.04±4.43	358.2±2.25	18.1±0.41	346.28±1.92	34021±2185.14	2.78±0.02	0.99±0.20
11.0	174.6	16.1	2.5	49.59±2.82	286.0±13.36	20.3±1.39	293.15±32.46	33960±101.02	2.09±0.09	0.78±0.04
10.3	436.5	16.1	6.5	48.64±0.21	267.2±2.12	25.8±0.09	263.41±0.63	23068.5±1427.65	1.95±0.01	0.71±0.02
17.0	458.4	10.0	12.6	59.49±0.36	377.9±2.08	19.1±0.25	367.56±1.19	36222.5±2134.75	3.00±0.09	1.09±0.21
17.1	261.9	10.0	7.2	61.99±7.20	363.9±28.29	24.2±1.66	355.73±27.38	46933±1353.60	2.72±0.19	0.98±0.08
17.1	654.8	10.0	18.0	60.07±0.32	336.4±2.10	25.9±0.17	330.89±0.89	28707.5±3172.79	2.52±0.01	0.94±0.02
18.5	458.4	25.0	13.6	59.23±1.63	365.2±3.07	18.1±0.02	353.72±4.55	30573±1459.14	2.79±0.07	1.06±0.26
18.5	261.9	25.0	7.8	63.02±5.23	371.6±34.42	24.6±2.10	381.74±59.26	66505.5±1987.38	2.45±0.22	0.92±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	63.94±0.09	359.4±1.39	26.4±0.18	352.65±1.56	30409.5±1984.85	2.67±0.01	0.99±0
18.5	458.4	25.0	13.6	59.23±1.63	365.2±3.07	18.1±0.02	353.72±4.55	30573±1489.14	2.79±0.07	1.06±0.26
18.5	261.9	25.0	7.8	63.02±5.23	371.6±34.42	24.6±2.10	381.74±59.26	66505.5±1987.38	2.45±0.22	0.92±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	63.94±0.09	359.4±1.39	26.4±0.18	352.65±1.56	30409.5±1984.85	2.67±0.01	0.99±0
21.2	611.1	16.1	22.9	58.78±0.43	372.8±2.78	18.4±0.69	361.30±7.95	36633±2271.04	2.85±0.09	1.07±0.19
21.2	349.2	16.1	14.9	48.87±2.09	349.7±59.54	20.6±1.41	287.34±35.14	33597±6795.29	2.05±0.11	0.70±0.02
21.2	873.1	16.1	34.2	54.57±0.18	302.3±0.50	22.6±0.15	297.37±1.18	24717.44±23.43	2.23±0.01	0.84±0.01
23.3	305.6	33.9	29.7	51.15±7.39	347.9±13.77	17.5±0.37	336.55±13.19	35358.5±1734.21	2.77±0.16	1.11±0.09
21.9	436.5	33.9	36.9	56.79±1.58	321.2±10.31	21.9±0.69	313.53±9.01	41989±1034.39	2.37±0.07	0.84±0.02
21.9	174.6	33.9	147.0	62.13±0.04	348.8±2.74	25.1±0.06	343.20±0.13	38286±1098.2	2.59±0.03	0.98±0.02

16.4	152.8	25.0	12.1	59.04±0.96	375.5±0.76	19.1±0.51	365.41±6.67	37790±2398.16	2.89±0.06	1.13±0.18
16.4	87.3	25.0	7.0	60.67±0.93	293.8±78.97	32.1±0.84	337.11±6.73	46868.5±1459.81	2.58±0.07	0.93±0.03
16.4	218.3	25.0	17.3	63.96±0.11	358.2±1.98	25.3±0.33	354.13±0.87	42863±1121.78	2.72±0.02	0.99±0.04
16.4	611.1	25.0	12.1	60.75±0.20	379.9±0.47	19.8±0.38	367.26±0.79	20890.5±70.00	2.56±0.51	1.26±0.04
15.8	349.1	25.0	6.6	63.01±2.42	442.2±6.16	20.8±5.99	355.66±10.58	50853.5±1904.81	2.76±0.06	0.98±0.04
15.8	873.1	25.0	16.6	65.06±0.01	363.5±1.52	25.7±0.35	355.39±2.67	48448.5±1910.87	2.74±0.05	0.98±0.06
21.2	305.6	16.1	20.8	56.70±0.45	312.4±70.36	18.0±0.43	352.38±3.74	45846±1579.69	2.72±0.22	1.05±0.17
23.3	174.6	16.1	15.0	59.67±0.50	341.0±0.20	24.2±1.32	334.11±1.12	35475±130.11	2.51±0.07	0.92±0.00
22.6	436.5	16.1	35.6	64.66±0.17	361.5±2.32	30.7±7.28	355.74±1.58	38981±3702.41	2.73±0.01	1.32±0.41
11.0	305.6	16.1	4.3	53.04±4.43	358.2±2.25	18.1±0.41	346.28±1.92	34021±2185.14	2.78±0.02	0.99±0.20
11.0	174.6	16.1	2.5	49.59±2.82	286.0±13.36	20.3±1.39	293.15±32.46	33960±1056.88	2.09±0.09	0.78±0.04
10.3	436.5	16.1	6.5	48.64±0.21	267.2±2.12	25.9±0.09	263.41±0.63	23068.5±1427.65	1.95±0.01	0.71±0.02
18.5	458.4	25.0	13.6	59.23±1.65	365.2±3.07	18.1±0.02	353.72±4.55	3057±1459.14	2.79±0.07	1.06±0.26
18.5	261.9	25.0	7.8	63.02±5.23	371.6±34.42	24.6±2.10	381.74±59.26	66505.5±1987.38	2.45±0.22	0.92±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	63.94±0.09	359.4±1.39	26.4±0.18	352.65±1.56	30409.5±1984.85	2.67±0.01	0.99±0
9.6	305.6	33.9	5.2	53.99±3.04	356.7±0.30	17.8±0.03	346.34±4.21	44010±1010.01	2.72±0.17	1.02±0.17
10.3	174.6	33.9	3.2	49.67±0.15	278.1±0.97	20.2±0.29	271.29±2.74	40079.5±2270.05	2.06±0.02	0.74±0.03
9.6	436.5	33.9	7.4	56.65±0.34	318.2±2.30	23.9±0.29	314.98±0.13	44754±1778.38	2.40±0.02	0.87±0.08
22.6	305.6	33.9	28.8	58.29±1.59	363.3±2.48	18.1±0.53	351.32±2.10	49692±2395.93	2.79±0.26	1.05±0.28
21.9	349.2	33.9	16.6	43.06±9.89	328.8±41.91	19.6±1.16	273.30±28.98	38112.5±2230.92	3.36±1.06	1.79±1.45
21.9	873.0	33.9	36.9	62.11±0.06	346.7±2.67	25.1±0.27	340.41±0.03	39444±8393.36	2.61±0.03	0.97±0.02
11.0	305.6	16.1	4.3	53.04±4.43	358.2±2.25	18.1±0.41	346.28±1.92	34021±2585.14	2.78±0.02	0.99±0.20
11.0	174.6	16.1	2.5	49.59±2.82	286.0±13.36	20.3±1.39	293.15±32.46	33960±1156.88	2.09±0.09	0.78±0.04
10.3	436.5	16.1	6.5	48.64±0.21	267.2±2.12	25.8±0.09	263.41±0.63	23068.5±1427.65	1.95±0.01	0.71±0.02

26.7	458.4	25.0	38.0	56.99±0.13	363.7±0.66	18.5±0.63	352.33±0.64	32267±40.24	2.59±0.04	1.29±0.02
24.7	261.9	25.0	22.1	65.02±0.21	347.3±26.60	23.3±1.45	340.01±27.02	46930±2983.3	2.59±0.24	0.96±0.05
25.3	654.8	25.0	49.7	49.65±6.26	252.9±60.76	17.7±0.19	194.22±1.16	21405±4631.55	1.39±0.01	0.53±0.02
18.5	458.4	25.0	13.6	59.23±1.63	365.2±3.07	18.1±0.02	353.72±4.55	30573±1459.14	2.79±0.07	1.06±0.26
18.5	261.9	25.0	7.8	63.02±5.23	371.6±34.42	24.6±2.10	381.74±59.26	66505.5±1987.38	2.45±0.22	0.92±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	63.94±0.09	359.4±1.39	26.4±0.18	352.65±1.56	30409.5±1984.85	2.67±0.01	0.99±0
16.0	458.0	40.0	13.0	51.31±6.04	350.5±0.69	17.8±0.06	343.32±1.84	49955.5±4685.99	2.76±0.08	1.15±0.24
16.0	262.0	40.0	8.8	53.71±5.37	327.5±1.42	21.7±0.81	316.81±5.79	24169.5±3104.91	2.45±0.04	0.91±0.02
15.0	655.0	40.0	19.0	43.97±0.40	244.6±0.53	20.0±0.14	240.69±2.03	41554.5±2887.53	2.12±0.50	0.80±0.12
11.0	305.6	16.1	4.3	53.04±4.43	358.2±2.25	18.1±0.41	346.28±1.92	34021±2185.14	2.78±0.02	0.99±0.20
11.0	174.6	16.1	2.5	49.59±2.82	286.0±13.36	20.3±0.39	293.15±32.46	33960±1056.88	2.09±0.09	0.78±0.04
10.3	436.5	16.1	6.5	48.64±0.21	267.1±.,12	25.8±0.0	263.41±0.63	23068.5±1427.65	1.95±0.01	0.71±0.02
6.8	458.4	25.0	1.7	58.10±0.36	369.2±0.91	18.4±0.15	360.75±2.54	50391.5±1344.21	2.89±0.07	1.17±0.28
6.2	261.9	25.0	1.0	60.59±2.81	332.6±0.58	23.1±0.29	323.08±2.00	39481±1359.26	2.49±0.01	0.90±0.02
6.0	654.8	25.0	2.0	57.85±0.47	323.4±1.74	23.6±0.39	318.85±0.79	25531±1964.34	2.39±0.01	0.91±0.02
9.6	611.0	33.9	5.3	56.6±0.56	361.3±3.35	18.2±0.57	350.47±2.68	33716.5±2095.61	2.78±0.03	1.02±0.21
11.0	349.2	33.9	3.7	52.22±2.65	320.2±25.41	21.9±1.51	330.62±44.10	64158.5±1221.84	2.39±0.17	0.79±0.05
11.0	873.1	33.9	7.7	54.43±0.11	302.4±3.245	23.7±0.12	297.99±2.63	26761±1385.93	2.23±0.02	0.79±0.00
23.3	305.6	33.9	29.7	51.15±7.39	347.9±13.77	17.5±0.37	336.55±13.19	35358.5±1733.21	2.77±0.16	1.11±0.09
21.9	436.5	33.9	36.9	56.79±1.58	321.2±10.31	21.9±0.69	313.54±9.01	41989±1036.39	2.37±0.07	0.85±0.02
21.9	174.6	33.9	147.0	62.13±0.04	348.8±2.74	25.0±0.06	343.20±0.13	38286±1094.2	2.59±0.03	0.98±0.02
26.7	458.4	25.0	38.0	56.99±0.14	363.7±0.66	18.5±0.63	352.33±0.64	32267±34.24	2.59±0.04	1.29±0.02
24.7	261.9	25.0	22.1	65.02±0.21	347.3±26.59	23.31.45	340.01±27.02	46930±2983.3	2.59±0.24	0.96±0.05
25.3	654.8	25.0	49.7	49.65±6.26	252.9±60.76	17.7±0.19	194.22±1.16	21405±4631.55	1.39±0.01	0.53±0.02

18.5	458.4	25.0	13.6	59.23±1.63	365.2±3.07	18.1±0.02	353.72±4.55	3057±14859.14	2.78±0.07	1.06±0.26
18.5	261.9	25.0	7.8	63.02±5.23	371.6±34.42	24.6±2.10	381.74±5.26	66505.5±1987.38	2.45±0.22	0.92±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	63.94±0.08	359.4±1.39	26.4±0.18	352.65±1.56	30409.5±1984.85	2.67±0.01	0.99±0
18.5	458.4	25.0	13.6	59.23±1.63	365.2±3.07	18.1±0.02	353.72±4.55	30573±1489.14	2.79±0.07	1.06±0.26
18.5	261.9	25.0	7.8	63.02±5.23	371.6±34.42	24.6±2.10	381.74±59.26	66505.5±1987.38	2.45±0.22	0.92±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	63.94±0.09	359.4±1.39	26.4±0.18	352.65±1.56	30409.5±1984.85	2.67±0.01	0.99±0
22.6	305.6	33.9	28.8	58.29±1.60	363.3±2.48	18.1±0.53	351.32±2.10	49692±2395.93	2.79±0.26	1.05±0.28
21.9	349.2	33.9	16.6	43.06±9.89	328.8±41.91	19.6±1.16	273.30±28.98	38112.5±2230.92	3.36±1.06	1.79±1.45
21.9	873.0	33.9	36.9	62.11±0.06	346.7±2.67	25.1±0.27	340.41±0.03	39444±8393.36	2.61±0.03	0.97±0.02
16.0	458.0	40.0	13.0	51.31±6.04	350.5±0.69	17.9±0.05	343.32±1.84	49955.5±4685.99	2.76±0.08	1.15±0.24
16.0	262.0	40.0	8.8	53.71±5.37	327.5±1.42	21.7±0.81	316.81±5.79	24169.5±3104.91	2.45±0.04	0.91±0.02
15.0	655.0	40.0	19.0	43.97±0.40	244.6±0.53	20.0±0.13	240.69±2.03	41554.5±2877.53	2.12±0.50	0.80±0.12
21.2	305.6	16.1	20.8	56.70±0.45	312.4±70.36	18.1±0.43	352.38±3.74	45846±1589.69	2.72±0.22	1.05±0.17
23.3	174.6	16.1	15.0	59.67±0.50	341.0±0.20	24.2±1.32	334.11±1.12	35475±130.11	2.51±0.07	0.92±0.00
22.6	436.5	16.1	35.6	64.66±0.17	361.5±2.32	30.7±7.28	355.74±1.58	38981±3702.41	2.73±0.01	1.32±0.41
18.5	458.4	25.0	13.6	59.23±1.63	365.2±3.07	18.1±0.02	353.72±4.55	30573±1489.14	2.79±0.07	1.06±0.26
18.5	261.9	25.0	7.8	63.02±5.30	371.6±34.42	24.6±2.10	381.74±5.26	66505.5±1987.38	2.45±0.22	0.92±0.01
18.5	654.8	25.0	19.4	63.94±0.09	359.4±1.39	26.4±0.18	352.65±1.56	30409.5±1984.85	2.67±0.01	0.99±0
16.4	152.8	25.0	12.1	59.04±0.96	375.5±0.76	19.1±0.51	365.41±6.67	37790±2398.16	2.89±0.06	1.13±0.18
16.4	87.3	25.0	7.0	60.67±0.93	293.8±78.97	32.1±0.84	337.11±6.73	46868.5±1459.81	2.58±0.07	0.93±0.03
16.4	218.3	25.0	17.3	63.96±0.11	358.2±1.98	25.3±0.33	354.13±0.87	42863±1121.78	2.72±0.02	0.99±0.04
9.6	305.6	33.9	5.2	53.99±3.04	356.7±0.30	17.8±0.03	346.34±4.21	44010±1030.01	2.72±0.17	1.02±0.17
10.3	174.6	33.9	3.2	49.67±0.15	278.1±0.97	20.2±0.29	271.29±2.74	40079.5±2720.05	2.05±0.02	0.74±0.03
9.6	436.5	33.9	7.4	56.65±0.34	318.2±2.30	23.9±0.29	314.98±0.13	44754±1748.38	2.40±0.02	0.87±0.08

17.0	458.4	10.0	12.6	59.49±0.36	377.9±2.08	19.1±0.25	367.55±1.19	36222.5±2134.75	3.00±0.09	1.09±0.21
17.1	261.9	10.0	7.2	61.99±7.20	363.9±28.29	24.2±1.66	355.73±27.38	46933±1353.6	2.73±0.19	0.97±0.08
17.1	654.8	10.0	18.0	60.07±0.31	336.4±2.10	25.9±0.17	330.89±0.89	28707.5±3172.79	2.52±0.01	0.94±0.02
16.4	611.1	25.0	12.1	60.75±0.20	379.9±0.47	19.7±0.38	367.26±0.79	20890.5±70.00	2.56±0.51	1.26±0.04
15.8	349.1	25.0	6.6	63.01±2.42	442.2±6.16	20.8±5.99	355.66±1.58	50853.5±1914.81	2.76±0.06	0.98±0.04
15.8	873.1	25.0	16.6	65.06±0.01	363.5±1.52	25.6±0.35	355.39±2.67	48448.5±1920.87	2.74±0.05	0.98±0.06
6.8	458.4	25.0	1.7	58.10±0.36	369.2±0.91	18.4±0.15	360.75±2.54	50391.5±1344.21	2.89±0.07	1.17±0.28
6.2	261.9	25.0	1.0	60.59±2.81	332.5±0.59	23.1±0.29	323.08±2.00	39481±1359.26	2.49±0.01	0.90±0.02
6.0	654.8	25.0	2.0	57.85±0.47	323.4±1.73	23.6±0.39	318.85±0.79	25531±1964.34	2.39±0.01	0.91±0.02

EK I

PEF ile proses edilen elma suyunda furfural ve hidroksi metil furfural (HMF) miktarındaki değişim.

Elektrik alan şiddeti (kV/cm)	Uygulama süresi (µs)	Sıcaklık (C)	Enerji (J)	Furfural	HMF
18.5	458.4	25.0	13.6	0.02±0.001	0.19±0.001
18.5	261.9	25.0	7.8	0.02±0.001	0.31±0.001
18.5	654.8	25.0	19.4	0.05±0.06	0.15±0.002
18.5	458.4	25.0	13.6	0.02±0.001	0.19±0.001
18.5	261.9	25.0	7.8	0.02±0.001	0.31±0.001
18.5	654.8	25.0	19.4	0.05±0.06	0.15±0.002
18.5	458.4	25.0	13.6	0.02±0.001	0.19±0.001
18.5	261.9	25.0	7.8	0.02±0.001	0.31±0.001
18.5	654.8	25.0	19.4	0.05±0.06	0.15±0.002
18.5	458.4	25.0	13.6	0.02±0.001	0.19±0.001
18.5	261.9	25.0	7.8	0.02±0.001	0.31±0.001
18.5	654.8	25.0	19.4	0.05±0.06	0.15±0.002
18.5	458.4	25.0	13.6	0.02±0.001	0.19±0.001
18.5	261.9	25.0	7.8	0.02±0.001	0.31±0.001
18.5	654.8	25.0	19.4	0.05±0,06	0.15±0.002

9.6	611.0	33.9	5.3	0.03±0.001	0.19±0.001
11.0	349.2	33.9	3.7	0.02±0.01	0.15±0.001
11.0	873.1	33.9	7.7	0.01±0.001	0.15±0.003
21.2	611.1	16.1	22.9	0.02±0.001	0.27±0.002
21.2	349.2	16.1	14.9	0.01±0.001	0.20±0.002
21.2	873.1	16.1	34.2	0.01±0.001	0.16±0.002
11.0	305.6	16.1	4.3	0.03±0.001	0.24±0.001
11.0	174.6	16.1	2.5	0.03±0.002	0.16±0.001
10.3	436.5	16.1	6.5	0.01±0.001	0.15±0.003
17.0	458.4	10.0	12.6	0.02±0.0001	0.16±0.002
17.1	261.9	10.0	7.2	0.02±0.001	0.17±0.001
17.1	654.8	10.0	18.0	0.01±0.001	0.15±0.003
18.5	458.4	25.0	13.6	0.02±0.001	0.19±0.001
18.5	261.9	25.0	7.8	0.02±0.001	0.31±0.001
18.5	654.8	25.0	19.4	0.05±0.06	0.15±0.002
18.5	458.4	25.0	13.6	0.02±0.001	0.19±0.001
18.5	261.9	25.0	7.8	0.02±0.001	0.31±0.001
18.5	654.8	25.0	19.4	0.05±0.06	0.15±0.002
21.2	611.1	16.1	22.9	0.02±0.001	0.29±0.001
21.2	349.2	16.1	14.9	0.01±0.001	0.20±0.002
21.2	873.1	16.1	34.2	0.01±0.001	0.16±0.002
23.3	305.6	33.9	29.7	0.02±0.0001	0.15±0.001

21.9	436.5	33.9	36.9	0.02±0.0001	0.20±0.001
21.9	174.6	33.9	147.0	0.01±0.0002	0.17±0.01
16.4	152.8	25.0	12.1	0.03±0.030	0.12±0.003
16.4	87.3	25.0	7.0	0.02±0.0001	0.16±0.001
16.4	218.3	25.0	17.3	0.01±0.001	0.18±0.00
16.4	611.1	25.0	12.1	0.01±0.001	0.14±0.001
15.8	349.1	25.0	6.6	0.02±0.001	0.17±0.001
15.8	873.1	25.0	16.6	0.03±0.0002	0.20±0.001
21.2	305.6	16.1	20.8	0.01±0.001	0.23±0.001
23.3	174.6	16.1	15.0	0.01±0.0003	0.18±0.001
22.6	436.5	16.1	35.6	0.04±0.04	0.20±0.001
11.0	305.6	16.1	4.3	0.03±0.001	0.24±0.001
11.0	174.6	16.1	2.5	0.03±0.002	0.18±0.00
10.3	436.5	16.1	6.5	0.01±0.001	0.15±0.003
18.5	458.4	25.0	13.6	0.02±0.001	0.19±0.001
18.5	261.9	25.0	7.8	0.02±0.001	0.31±0.001
18.5	654.8	25.0	19.4	0.05±0.06	0.15±0.002
9.6	305.6	33.9	5.2	0.07±0.001	0.17±0.002
10.3	174.6	33.9	3.2	0.01±0.0002	0.14±0.001
9.6	436.5	33.9	7.4	0.03±0.0001	0.16±0.002
22.6	305.6	33.9	28.8	0.03±0.0003	0.17±0.001
21.9	349.2	33.9	16.6	0.01±0.0002	0.11±0.00

21.9	873.0	33.9	36.9	0.01±0.0001	0.16±0.001
11.0	305.6	16.1	4.3	0.03±0.001	0.24±0.001
11.0	174.6	16.1	2.5	0.03±0.002	0.25±0.00
10.3	436.5	16.1	6.5	0.01±0.001	0.16±0.003
26.7	458.4	25.0	38.0	0.06±0.004	0.15±0.003
24.7	261.9	25.0	22.1	0.02±0.0001	0.19±0.002
25.3	654.8	25.0	49.7	0.18±0.21	0.11±0.001
18.5	458.4	25.0	13.6	0.02±0.001	0.19±0.001
18.5	261.9	25.0	7.8	0.02±0.001	0.32±0.001
18.5	654.8	25.0	19.4	0.06±0.06	0.16±0.002
16.0	458.0	40.0	13.0	0.03±0.01	0.13±0.035
16.0	262.0	40.0	8.8	0.002±0.0003	0.04±0.001
15.0	655.0	40.0	19.0	0.04±0.05	0.14±0.006
11.0	305.6	16.1	4.3	0.03±0.001	0.25±0.001
11.0	174.6	16.1	2.5	0.03±0.002	0.15±0.00
10.3	436.5	16.1	6.5	0.01±0.001	0.16±0.004
6.8	458.4	25.0	1.7	0.05±0.0001	0.14±0.002
6.2	261.9	25.0	1.0	0.01±0.0004	0.12±0.00
6.0	654.8	25.0	2.0	0.02±0.001	0.17±0.001