

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**VURGULU ELEKTRİK ALANI KULLANILARAK
NANENİN ESMERLEŞTİRİLMESİ VE YÖNTEMİN
‘SİYAH NANE ÇAYI’ ÜRÜNÜ GELİŞTİRİLMESİNDE
POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Serap ALDEMİR**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa FİNCAN**

Yüksek Lisans Tezi

**Haziran 2019
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**VURGULU ELEKTRİK ALANI KULLANILARAK
NANENİN ESMERLEŞTİRİLMESİ VE YÖNTEMİN
‘SİYAH NANE ÇAYI’ ÜRÜNÜ GELİŞTİRİLMESİNDE
POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Serap ALDEMİR**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa FİNCAN**

**Haziran 2019
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Serap ALDEMİR



YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI

“Vurgulu Elektik Alanı Kullanılarak Nanenin Esmerleştirilmesi ve Yöntemin ‘Siyah Nane Çayı’ Ürünü Geliştirilmesinde Potansiyelinin İncelenmesi” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

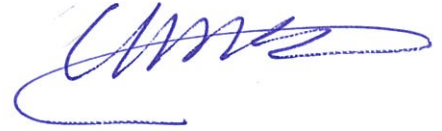
Tezi Hazırlayan

Serap ALDEMİR



Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa FİNCAN



Gıda Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Mahmut DOĞAN

KABUL VE ONAY

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa FİNCAN danışmanlığında **Serap ALDEMİR** tarafından hazırlanan “**Vurgulu Elektik Alanı Kullanılarak Nanenin Esmerleştirilmesi ve Yöntemin ‘Siyah Nane Çayı’ Ürünü Geliştirilmesinde Potansiyelinin İncelenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Gıda Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

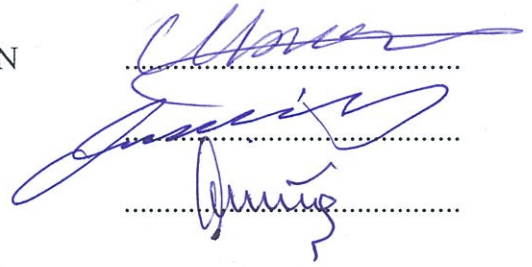
14. / 06 / 2019

JÜRİ:

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa FİNCAN

Üye : Doç. Dr. Mahmut TOKMAKÇI

Üye : Doç. Dr. Cemal KAYA



ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 25/06/2019 tarih ve 2019/36-17 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince, danışmanlığımı üstlenen, bilgi ve tecrübeleriyle beni aydınlatan, yardımını ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa FİNCAN'a,

Lisans ve yüksek lisans eğitimim sürecinde üzerimde emeği olan, her türlü olanağı sağlayan ve hiçbir konuda yardımını esirgemeyen Erciyes Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine,

Hayatımın her döneminde olduğu gibi yüksek lisans çalışmam boyunca da yanımda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bilime teşvik eden annem Sümül ALDEMİR, babam Mustafa ALDEMİR, kardeşim Uğur ALDEMİR ve Dr. Ayşe ALDEMİR'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Serap ALDEMİR

Haziran 2019, KAYSERİ

**VURGULU ELEKTRİK ALANI KULLANILARAK NANENİN
ESMERLEŞTİRİLMESİ VE YÖNTEMİN ‘SİYAH NANE ÇAYI’ ÜRÜNÜ
GELİŞTİRİLMESİNDE POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ**

Serap ALDEMİR

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2019
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa FİNCAN**

ÖZET

Vurgulu elektrik alanının (VEA) taze nane yapraklarının (*Mentha spicata*) enzimatik esmerleşmesini sağladığı gözlenerek, yöntemin siyah çay ürünü geliştirme potansiyeli üzerine bir ön çalışma gerçekleştirildi. Bu amaç doğrultusunda, çalışmada, vurgu parametrelerinin esmerleşme ve kurutma olaylarındaki rolünü aydınlatmaya odaklanılmıştır. Özellikle, vurgu sayı ve frekansının etkisi, orta derecede yüksek elektrik alanlı (1.43 kV/cm) kısa vurgularda (0.2ms-10ms) veya düşük elektrik alanlı (0.147-0.294 kV/cm) uzun vurguda (100ms) araştırılmış ve optimize edilmiştir. VEA'dan sonra oluşan doku parçalanma derecesi, empedans değişikliklerden hesaplanan bir doku parçalanma indeksi (Z_p) kullanılarak değerlendirilip, enerji sarfiyatları hesaplanmıştır. Oksidasyon aşamasında gelişen esmerleşme düzeyi ise, örnek imajların aydınlık yoğunluğundaki (L) değişikliklere dayanan bir kahverengileşme indeksi (KI) kullanılarak değerlendirildi. Son bölümde, 27 °C' de kurutma sırasındaki etkiler, deneysel kurutma eğrilerinin ince tabaka kurutma modellemesinden hesaplanan etkin nem difüzyon katsayılarındaki ($Deff$) ve kuruma sürelerindeki değişiklikler dikkate alınarak değerlendirildi.

VEA uygulamalarının, nane yapraklarının esmerleşme ve kuruma süresinde önemli değişikliklere yol açtığı gözlenmiştir. Bir çok VEA şiddetinde örneklerin neredeyse tamamen esmerleştiği, kuruma sürelerinin de %60 civarında kısaldığı belirlenmiştir. VEA' nın ayrıca esmerleşme kinetiğini de hızlandırdığı saptanmıştır. Dondurulup çözülmüş örneklerin esmerleşmesi 170-200 dakika sürerken VEA uygulanan örneklerin esmerleşmesinin yaklaşık 20 dakika içinde tamamlandığı görüldü. İşlem görmemiş örneklerin kuruma süresi yaklaşık $15,0 \pm 3,4$ saat sürerken, VEA uygulanan örneklerin 2-3 saatlik bir zaman ölçeğinde tamamen kurudukları tespit edilmiştir. Bu değişikliklerin, genellikle Z_p indeksinin büyüklüğü ile orantılı olduğu sonucuna

varılmıştır. Fakat bu orantılama (korelasyon), yüksek elektrik alanı (1.43 kV/cm) içeren VEA uygulamalarında, daha geçerlidir. Zp indeksi 65-80 seviyesine kadar artarken, hem KI indeksi hem de Deff paralelinde artmış, Zp 65-80' e ulaştığında ise, örnekler neredeyse tamamen kahverengiye dönüştüğü (KI≈100) ve Deff'in 3-4 kat arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, düşük elektrik alandaki (0.147-0.294 kV/cm) uygulamalarda elektrolizden dolayı böyle bir ilişki gözlemlenmemiştir. Test edilen tüm VEA uygulamaları arasında, orta derecede yüksek elektrik alan kuvvetinin (1.43 kV/cm, 2ms) 99 vurgu sayısında frekansı düşürmenin, en düşük enerji sarfıyatı ile bütüne yakın kahverengileşmeyi ve kurumayı sağladığı gözlemlenmiştir. Frekans 0.1 Hz'e düşürüldüğünde, enerji sarfıyatı $22,49 \pm 1,31$ kJ/kg düşerken, $Z_p = 81,30 \pm 4,84$, $KI = 83,21 \pm 4,08$, $Deff = 40,4 \times 10^{-12} \pm 4,86 \times 10^{-12}$ m²/s (işlenmemiş örneklere göre yaklaşık 5 kat artış) ve $2,7 \pm 0,6$ saatlik kuruma süresi (işlenmemiş örneklerden yaklaşık %80 daha az) olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın sonunda, VEA ile esmerleştirilen örnekler 90 °C' de kurutularak VEA destekli kahverengi nane çayının prototipi üretilmiştir. Bu örnekler, sıcak suda ekstraksiyona bırakıldıklarında, geleneksel siyah çayın rengine benzer şekilde, kahverengi pigmentlerin suya geçerek, renk verdikleri gözlemlenmiştir. Böylece bu çalışmada, VEA yönteminin siyah nane/geleneksel siyah çay üretiminde kullanılmasına yönelik ilk verilere ulaşılmış ve yeni çay ürünlerinin geliştirilmesine dair ön bilgi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Vurgulu Elektrik Alan (VEA), Nane, Enzimatik Esmerleşme, Kurutma, Ürün Geliştirme

ENZYMATIC BROWNING OF SPEARMINT USING PULSED ELECTRIC FIELD FOR DEVELOPING BLACK SPEARMINT TEA

Serap ALDEMİR

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, June 2019

Supervisor: Dr. Mustafa FİNCAN

ABSTRACT

Observing that pulsed electric field (PEF) induces enzymatic browning of fresh spearmint leaves (*Mentha spicata*), a pre-study here was undertaken to explore potential implication of this technique in product development of black tea. With this aim in mind, this thesis focused on elucidating role of pulse parameters in browning- and drying-phenomena. In particular, the effects of pulse number and pulse frequency either in short pulses (0.2ms-10ms) of moderately high electric field (1.43 kV/cm) or long pulse (100ms) of low electric field (0.147-0.294 kV/cm) were investigated and optimized. After the treatments, the specific energy input was calculated and degree of tissue disintegration estimated using a tissue disintegration index (Z_p) calculated from post impedance changes. The degree of browning in oxidation stage, was quantified using a Browning index (KI) based on changes in the Lightness intensity (L) in the captured images of samples. In the final part, the effects during drying in 27 °C were evaluated considering the changes in apparent diffusion coefficients ($Deff$) estimated from thin-layer modeling of drying curves and drying times.

PEF treatments caused significant changes in the browning and drying behavior of samples. In many PEF intensities, the samples have been observed to get almost completely brown and drying time reduced by some 60 %. Moreover, PEF also speeded up the kinetics of browning. Browning of frozen-thawed samples took 170-200 minutes, while PEF-treated samples about 20 minutes. While the drying time of untreated samples lasted about 15,0±3,4 hour, PEF treated samples were found to fully dry at a time scale of 2-3 hours. It has been noted that those changes are mostly correlate with the magnitude of Z_p index. More valid especially in moderately high electric field (1.43 kV/cm) treatments, as Z_p index increases up to a level of 65-80, both KI index and $Deff$ in parallel tend to rise. And when Z_p reaches 65-80, samples turns into almost completely brown ($KI \approx 100$) and $Deff$ increases 3-4 fold. However, such relation has not

been observed in low electric field (0.147-0.294 kV/cm) applications possibly due to presence of electrolysis at this range. Of all the PEF intensities tested, decreasing pulse frequency of 2ms at a pulse number 99 (0.1Hz) in moderately high electric field strength (1.43 kV/cm) provided complete browning and drying with the lowest energy expenditure. Decreasing the frequency to 0.1 Hz, the treatment yielded a $Z_p = 81,30 \pm 4,84$, a $KI = 83,21 \pm 4,08$, $Deff = 40,4 \times 10^{-12} \pm 4,86 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ (about 5 fold-increase from that of untreated samples) and drying time of $2,7 \pm 0,6 \text{ hr}$ (about 80% less than that of untreated samples) with specific energy input of $22,49 \pm 1,31 \text{ kJ/kg}$.

At the end of the study, a prototype of PEF-assisted brown spearmint tea was also produced after drying the PEF-browned samples at 90 °C. When these samples were exposed to brewing in hot water, they released their brownish pigments into water, as similar to the conventional black tea brewing. Thus, the study provided first evidence toward utilization of PEF technique in production of black spearmint tea and conventional black tea or development of novel tea products with this technique.

Keywords: Pulsed Electric Field (PEF), Spearmint, Enzymatic Browning, Drying, Product Development

İÇİNDEKİLER

VURGULU ELEKTRİK ALANI KULLANILARAK NANENİN ESMERLEŞTİRİLMESİ VE YÖNTEMİN ‘SİYAH NANE ÇAYI’ ÜRÜNÜ GELİŞTİRİLMESİNDE POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	ii
KABUL VE ONAY	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xii
TABLolar LİSTESİ	xv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xvi
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Elektroporasyon	3
1.1.1. Teori.....	3
1.1.2. Elektroporasyonun Değişkenleri.....	4
1.1.3. VEA Uygulama Sistemi.....	5
1.1.4. Hücreli Bitkisel Gıdaya Uygulanması Hakkında Literatür	6
1.1.4.1. Elektriksel İletkenlik Üzerine Etkileri.....	7
1.1.4.2. Kurutmanın Kolaylaştırılması	9
1.1.4.3. Ekstraksiyonun Kolaylaştırılması.....	12
1.2. <i>Mentha Spicata</i> (Spearmint, Aromatik Nane, Bahçe Nanesi)	14
1.3. Bitkisel Doku Morfolojisi	16

1.4. Fenolikler	20
1.5. Enzimatik Esmerleşme	22
1.6. Kurutma.....	25
1.6.1. Kurutma Olayı ve Hızı.....	26
1.6.2. Kurutmanın Matematiksel Modellenmesi	28

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal.....	31
2.1.1. Bitki Materyali.....	31
2.1.2. Kimyasallar	31
2.2. Yöntem	31
2.2.1. VEA Uygulama ve Empedans Ölçüm Düzeneği.....	31
2.2.1.1. Örnek Hazırlama	33
2.2.1.2. VEA Uygulaması ve Empedans Ölçümü	33
2.2.1.3. VEA Uygulama Protokolü	33
2.2.1.4. Doku Parçalanma Oranının Tayini	35
2.2.1.5. Enerji Sarfiyatlarının Hesaplanması	35
2.2.2. Enzimatik Esmerleşme Üzerine Etkinin Analizi	35
2.2.2.1. İmaj Yakalama Düzeneği.....	36
2.2.2.2. Örnek Hazırlama	37
2.2.2.3. İmajların Yakalanması	37
2.2.2.4. İmajların İşlenmesi (Processing).....	38
2.2.3. Kuruma Üzerine Etkinin Analizi.....	41
2.2.3.1. Kurutma Deney Düzeneği.....	41
2.2.3.2. Kuruma Evrelerinin Analizi.....	42
2.2.3.3. Kuruma Sürelerinin Hesaplanması	43
2.2.3.4. Etkin Nem Difüzyon Katsayısının Hesaplanması.....	43
2.2.4. İstatistiksel Analiz	43

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. İyon Salınım Kinetiği	45
3.2. Enerji Sarfıyatı ve Parçalanma Seviyesi.....	49
3.3. VEA Uygulamasının Enzimatik Esmerleşme Üzerine Etkisi.....	52
3.3.1. Esmerleşmenin Kinetiği	56
3.3.2. Parçalanma ve Kahverengileşme İndekslerinin Korelasyonu	61
3.4. Kuruma Üzerine Etki	65
3.4.1. Kuruma Hızı	65
3.4.2. Etkin Nem Difüzyon Katsayısı	69
3.4.2.1. Parçalanma İndeksi ve Etkin Nem Difüzyon Katsayısının Korelasyonu	73
3.4.3. Kuruma Süreleri.....	77
3.5. Siyah-Nane Çayı Prototip-Üretim Denemesi.....	80

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler	81
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ.....	92

KISALTMALAR

°C	: Santigrad Derece
μF	: Mikrofarad
μm	: Mikrometre
μs	: Mikrosaniye
a, b	: Modellerdeki Katsayılar
ABD	: Amerika Bileşik Devletleri
cm	: Santimetre
DC	: Doğru Akım
D_{eff}	: Etkin Nem Difüzyon Katsayısı (m ² /s)
dk	: Dakika
DNA	: Deoksiribo Nükleik Asit
DPPH	: 2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl
DR	: Kuruma Hızı (g su/(g kuru madde.dakika))
dt	: Zaman Aralığı (dakika)
E	: Elektrik Alan Şiddeti
EC	: Enzim Kodu
g	: Gram
k, k₀, k₁	: Modellerdeki Katsayılar
kg	: Kilogram
kHz	: Kilohertz
KI	: Kahverengileşme İndeksi
kJ	: Kilojoule
kV	: Kilovolt
L	: Levha Kalınlığı (m)

$L^*a^*b^*$	: Luminance-a-b Renk Uzayı
LCR metre	: Endüktans, Kapasitans, Direnç Ölçer
m	: Metre
M_0	: Başlangıç Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
M_e	: Denge Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
mg	: Miligram
MHz	: Megahertz
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
MPa	: Megapaskal
MR	: Nem Oranı (boyutsuz)
ms	: Milisaniye
M_t	: t Anındaki Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
M_{t+dt}	: t+dt Anındaki Nem İçeriği (g su/g kuru madde)
mV	: Milivolt
n	: Kullanılan Modeldeki Katsayı Adedi
nm	: Nanometre
p	: İstatistiksel Önem Değeri
VEA	: Vurgulu Elektrik Alan
π	: Vurgu Aralığı
ρ_l	: Vurgu Genişliği
ρ_n	: Vurgu Sayısı
PPO	: Polifenoloksidaz
Q_{pef}	: Bir Vurguda Birim Kütle Başına Düşen Spesifik Enerji Girişi (J/(kg.vurgu))

R^2	: Regresyon Katsayısı
RGB	: Kırmızı (Red, R), Yeşil (Green, G) ve Mavi (Blue, B) Renk Uzayı
RMSE	: Tahminin Standart Hatası
s	: Saniye
t	: Zaman (dakika)
V	: Volt
W_{dm}	: Kuru Madde Ağırlığı (g)
W_t	: t Anındaki Örneğin Ağırlığı (g)
W_{t+dt}	: t+dt Anındaki Örneğin Ağırlığı (g)
Z_P	: Doku Parçalanma İndeksi
σ	: İletkenlik

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. VEA, mikrodalga, dondurup-çözme ve ısıtma ön işlemleri ile taze nane yapraklarının tam olarak parçalanması için gereken enerji miktarları.	14
Tablo 1.2. Fenoliklerin grupları ve her bir gruba ait bileşikler	21
Tablo 1.3. Farklı meyve ve sebze kaynaklarından elde edilen PPO'nun kinetik parametreleri	24
Tablo 1.4. Yarı teorik ve deneysel modeller ve denklemleri.....	30
Tablo 2.1. Yüksek elektrik alan (1.43 kV/cm) ve düşük elektrik alan (0.294 kV/cm) şiddetlerinde vurgu sayısı ve genişlik etkisini çalışmak için tasarım (vurgu aralığı sabit;1s).....	34
Tablo 2.2. Yüksek elektrik alan (1.43 kV/cm) ve düşük elektrik alan (0.147 kV/cm) şiddetlerinde vurgu aralık(frekans) ve genişlik etkisini çalışmak için tasarım (vurgu sayısı sabit;99, 10).....	34
Tablo 3.1. Nane örnekleri için logaritmik model kullanılarak hesaplanmış model katsayıları, regresyon katsayıları ve RMSE değerleri.....	72
Tablo 3.2. Nane örnekleri için etkin nem difüzyon katsayıları	75
Tablo 3.3. Nane kurutma denemelerine ait kuruma süreleri	78

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Elektrik alan ile hücrenin elektroporasyonu	4
Şekil 1.2.	VEA sistemi	6
Şekil 1.3.	1 kHz-50 MHz frekans aralığında sağlam hücreler, kısmen parçalanmış ve tamamen parçalanmış bitki dokusunun tipik frekans-iletkenlik spektrumu.	8
Şekil 1.4.	<i>Menta spicata</i>	15
Şekil 1.5.	Tipik bir bitkisel hücre	17
Şekil 1.6.	Hücre zarı	18
Şekil 1.7.	Yaprağın üç boyutlu şematik iç yapısı	20
Şekil 1.8.	Polifenoloksidazın krezolaz ve kateşolaz aktiviteleri	22
Şekil 1.9.	Ürünün nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi	27
Şekil 1.10.	Kuruma hızının ürünün nem içeriği ile değişimi	27
Şekil 2.1.	Deneylerde kullanılan VEA uygulama ve anlık empedans ölçüm düzeneği	32
Şekil 2.2.	İşlem odası.....	32
Şekil 2.3.	Oksidasyon odası ve imaj yakalama düzeneği.....	36
Şekil 2.4.	Oksidasyon odası ve imaj yakalama düzeneği.....	36
Şekil 2.5.	Örnek kabı.....	37
Şekil 2.6.	İmajların işleme akış şeması	39
Şekil 2.7.	VEA işlemi görmüş örneğin (0.294 kV/cm 70x100ms) başlangıçta ve 20 dakika sonra imajının işleme akış şeması	40
Şekil 2.8.	VEA işleminden (0.294 kV/cm 70x100ms) 20 dakika sonra nane örneğinin L,a,b imajı (Gri skala, 8 bit).....	41
Şekil 2.9.	Örneklerin durgun havada kuruma davranışlarını incelemek için deneysel düzenek.....	42
Şekil 2.10.	Deneylerde kullanılan düzenek	44

Şekil 3.1. İşlem görmemiş örnekler ve dondurulup-çözölmüş örneklerde iyon salınım kinetiğı	47
Şekil 3.2. Yüksek ve düşük elektrik alanında vurgu sayısının iyon salınım kinetiğı üzerine etkisi	47
Şekil 3.3. Yüksek ve düşük elektrik alanında frekansın iyon salınım kinetiğı üzerine etkisi	48
Şekil 3.4. Yüksek ve düşük elektrik alanında farklı vurgu sayılarında enerji sarfiyatına karşılık gelen parçalanma seviyeleri	51
Şekil 3.5. Yüksek ve düşük elektrik alanında farklı frekanslarda enerji sarfiyatına karşılık gelen parçalanma seviyeleri	51
Şekil 3.6. İşlem görmemiş, dondurulup çözölmüş ve VEA uygulanmış (0.294 kV/cm 70x100ms ve 1.43 kV/cm 160x2ms) nane yapraklarının 27 °C' deki oksidasyonunda zamanla renk değışimleri (t, dakika).	52
Şekil 3.7. İşlem görmemiş, dondurulup çözölmüş ve VEA uygulanmış (0.294 kV/cm 70x100ms ve 1.43 kV/cm 160x2ms) nane yapraklarının L imajlarındaki zamanla değışmeler (t, dakika).	53
Şekil 3.8. Örneklerin 60 dakika sonundaki RGB imajları	56
Şekil 3.9. İşlem görmemiş örnekler ve dondurulup-çözölmüş örneklerde esmerleşme kinetiğı	58
Şekil 3.10. Yüksek ve düşük elektrik alanında vurgu sayısının esmerleşme kinetiğı üzerine etkisi	59
Şekil 3.11. Yüksek ve düşük elektrik alanında frekansın esmerleşme kinetiğı üzerine etkisi	60
Şekil 3.12. İşlem görmemiş ve dondurulup çözölmüş örneklerin parçalanma ve kahverengileşme indeksleri arasındaki ilişki	63
Şekil 3.13. Yüksek ve düşük elektrik alanında farklı vurgu sayılarında parçalanma ve kahverengileşme indeksleri arasındaki ilişki	63
Şekil 3. 14. Yüksek ve düşük elektrik alanında farklı frekanslarda parçalanma ve kahverengileşme indeksleri arasındaki ilişki	64
Şekil 3.15. İşlem görmemiş ve dondurulup çözölmüş örneklerin kuruma hızlarının nem içerikleri ile değışimi	66

Şekil 3.16. Yüksek ve düşük elektrik alanında farklı vurgu sayılarında kuruma hızlarının nem içerikleri ile değişimi	67
Şekil 3.17. Yüksek ve düşük elektrik alanında farklı frekanslarda kuruma hızlarının nem içerikleri ile değişimi	68
Şekil 3.18. Nane örneklerinin deneysel sonuç ve Logaritmik model ile elde edilen nem oranının (MR) zamana göre değişimi.....	71
Şekil 3.19. Yüksek ve düşük elektrik alanında farklı vurgu sayılarında (a) ve frekanslarda (b) parçalanma indeksine karşılık gelen etkin nem difüzyon katsayıları	76
Şekil 3.20. Yüksek ve düşük elektrik alanında farklı vurgu sayılarında (a) ve frekanslarındaki (b) kuruma süreleri	79
Şekil 3.21. VEA işlemi görmüş nane yaprakları 90 °C’ de kurutma sonrası (öğütülmüş) görünümü ve üretilen VEA çayının prototipi	80

GİRİŞ

Günümüzde, enzimatik esmerleşme reaksiyonu birçok gıda prosesinde kullanılarak modifiye edilmiş gıdalar üretilmektedir. Siyah çay, siyah kuru üzüm, siyah incir, kahve ve kakao eldesinde arzu edilen esmer/siyah renk, enzimatik esmerleşme reaksiyonu sonucu oluşmaktadır. Enzimatik esmerleşme reaksiyonu, temel olarak bitkisel dokuda bulunan polifenollerin enzimler katalizörlüğünde oksidasyonu prensibine dayanmaktadır. Reaksiyonların seyri ve oluşan ürünler, polifenollerin ve enzimlerin çeşidi ile etkilenmektedir. Bu reaksiyonlarda özellikle polifenoloksidaz (PPO) enziminin ağırlıklı rol oynadığı çeşitli çalışmalarda ortaya konulmuştur [1, 2]. Bitkisel dokularda bu tip reaksiyonların meydana gelmesi için önemli iki şart, hücre zarlarının parçalanmasının sağlanması ve ortamda oksijen bulunmasıdır. Sağlam hücrede enzimler ve polifenoller birbiriyle temas etmeden farklı kısımlarda bulunduğundan hücre zarlarının parçalanması gereklidir [2]. Bunun için dışarıdan bir müdahale veya proses ile hücre zarlarının parçalanması sağlanır. Örneğin, geleneksel siyah çay üretim teknolojisinde, yapraklara (*Camellia sinensis*) uygulanan kıvrırma prosesi ile enzimatik esmerleşme reaksiyonlarının başlatılması sağlanır. Kıvrırma prosesi hücreleri parçalayarak, hücre içi fenoliklerin dış ortama çıkmasını sağlar. Böylece fenolikler enzimler ve oksijen ile temas olanağı bulur. Bunu takiben, parçalanmış doku, optimum bir enzim çalışma sıcaklığında oksidasyona bırakılarak enzimatik esmerleşme reaksiyonlarının gelişmesi ve tamamlanması beklenir. Bunun sonucunda çayın istenen renk ve aroma maddeleri oluşur. Arzu edilen aromanın oluşumu, başta kateşin ve diğer polifenol çeşitlerinden etkilenmektedir [3]. Hücreleri parçalamak için kullanılacak yöntemin, oksidasyondaki enzimlerin aktivitesini engellememesi için ısısal olmayacak şekilde ayarlanmalıdır. Endüstride hücre parçalama aracı olarak birçok mekaniksel (ezme) ve dondurup çözündürme gibi yüksek enerji sarfiyatı gerektiren prosesler kullanılmaktadır. Son yıllarda, Vurgulu elektrik alan (VEA) uygulamasının, bitkisel dokuların etkin bir şekilde parçalanmasında ısısal olmayan ve enerji sarfiyatı düşük bir proses olduğu çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir [4, 5]. Bununla birlikte, VEA'nın

enzimatik esmerleşme gerektiren üretimlerde, örneğin siyah çay ve siyah zeytin üretiminde kullanılma potansiyeline dair literatürde bilgiye rastlanmamıştır. Bu çalışmada, Vurgulu Elektrik Alan (VEA) uygulamasının taze nane yapraklarının enzimatik esmerleşmesi üzerine etkileri araştırılmış ve yeni bir gıda ürünü olarak “siyah nane çayı” üretimi amaçlanmıştır. Deney yönteminde, nanelerin VEA ile hücre parçalanması sağlanarak, oksidasyona uğratıldıktan sonra kurutulmasıyla siyah nane çayı elde edilmiştir.

Bu çalışmada,

- Nane yapraklarının parçalanmasında, VEA’ı oluşturan vurgu parametrelerinin (elektrik alan şiddeti, vurgu genişliği, vurgu sayısı, vurgu arası veya frekans) etkisinin, bu parametreler kademeli olarak artırılıp cevap olarak elektriksel iletkenlik değişimlerinden doku parçalanma indeksinin (Z_p) belirlenmesi,
- Vurgu parametrelerinin nane yapraklarının esmerleşmesi üzerine etkisinin belirlenmesinde imaj analizi yönteminin kullanılması,
- VEA uygulanmış nane örneklerinin 27 °C’deki inkübatöre alınarak ağırlık değişimlerinin anlık ölçülüp kuruma davranışlarının, kuruma eğrilerinden ve difüzyon katsayısından belirlenmesi amaçlanmıştır.
- Tezin sonunda, yeni bir ürün eldesi yanında, VEA’nın siyah çay üretiminde kullanım potansiyeli üzerine ön bilgi sağlanması hedeflenmiştir.

1. BÖLÜM

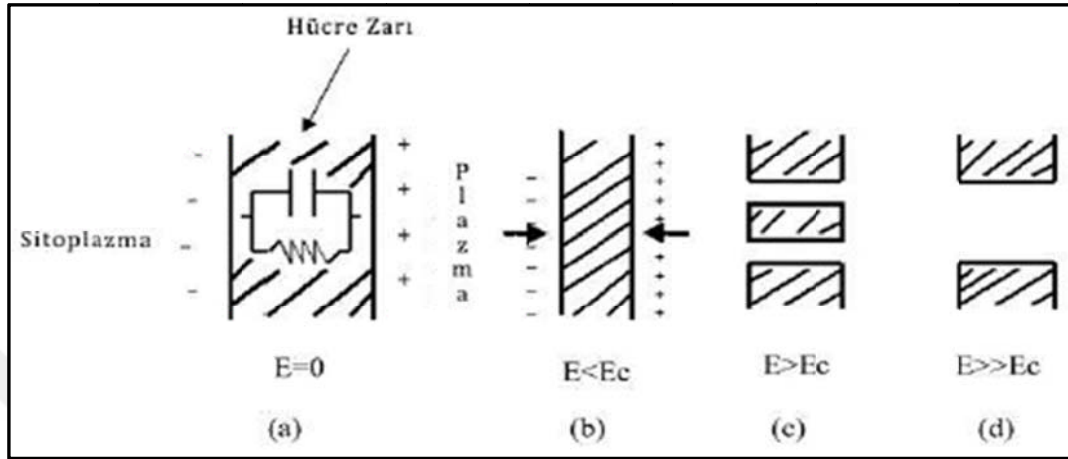
GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Elektroporasyon

1.1.1. Teori

Elektroporasyon, iki elektrot arasına yerleştirilen biyolojik hücrelerin (bitki, hayvan ve mikrobiyal) kısa süreli (μs veya ms) vurgulu elektrik alanına (VEA) maruz bırakılmasıyla, işlemin şiddetine bağlı olarak hücre zarlarında geçici veya kalıcı gözeneklerin (porların) oluşumu ile hücre zarlarının parçalanması olarak tanımlanır. Elektroporasyonda gözeneklerin oluşum mekanizması için birçok teorik model önerilmiş olmasına rağmen tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır [6]. Önerilen teorik modellerden en çok kabul gören Zimmermann [7], tarafından ortaya atılan, dielektrik parçalanma teorisidir. Bu teoriye göre hücre zarı, dielektrik ortam ile dolu bir kapasitör olarak kabul edilir. Hücre zarının her iki yanında (iç ve dış) serbest bulunan zıt iyonlar doğal transmembran potansiyelinin oluşmasına neden olur. Hücreler kesikli elektrik alana maruz bırakıldıklarında, iyonlar hücrenin iç ve dış yüzeyinde zıt iyon kümeleri şeklinde birikir. Bu birikim nedeniyle doğal transmembran potansiyeline oranla dış membran potansiyelinde bir artış olur. Elektrik alandan kaynaklanan transmembran potansiyelindeki artış ile zarın her iki yanındaki zıt yüklü iyonların çekiminden dolayı sıkıştırma basıncı artar, bu da zar kalınlığının azalmasını sağlar. Genellikle transmembran potansiyeli yaklaşık 1V civarında olduğunda hücre zarında por oluşumu veya elektroporasyon başlar, iyon geçirgenliği artar (Şekil 1.1). Gözenek oluşumu dinamik bir işlemdir ve başta elektrik alan şiddeti olmak üzere elektriksel parametrelerin şiddetine bağlı olarak geri dönüşümlü ya da geri dönüşümsüz olabilir. Uygulanan elektrik alan şiddeti (E) kritik değere eşit veya çok az aşmışsa, toplam hücre zarı yüzeyine göre gözeneklerin boyutu çok küçük olduğunda geri dönüşümlü elektroporasyon meydana gelir. Uygulanan elektrik alan şiddetinin büyüklüğü, kritik

değerden daha fazla olduğunda ve uzun uygulama sürelerinde toplam hücre zarı yüzeyine göre büyük gözenekler oluşur ve geri dönüşümsüz elektroporasyon meydana gelir (Şekil 1.1) [7].



Şekil 1.1. Elektrik alan ile hücrenin elektroporasyonu, E ; elektrik alan şiddeti, E_c ; kritik elektrik alan şiddeti (a) bozulmamış hücre zarı (b) hücre zarının sıkışması (c) geri dönüşümlü yapısal bozulma (d) geri dönüşümsüz yapısal bozulma [8].

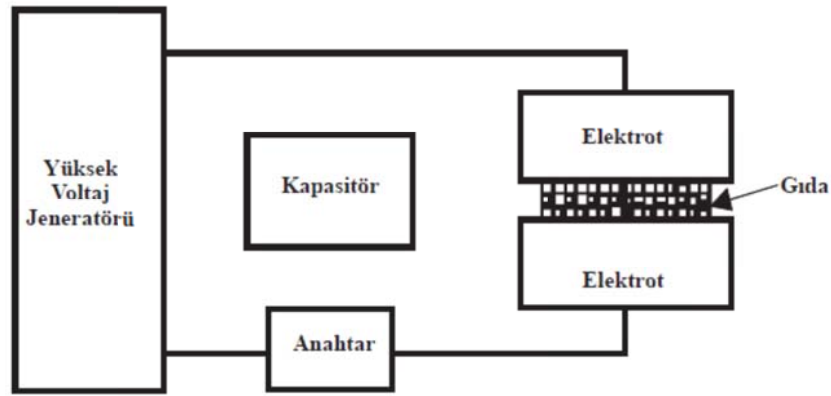
1.1.2. Elektroporasyonun Değişkenleri

VEA uygulamasının neden olduğu hücre zarı elektroporasyonu, elektriksel parametrelere, ortamla ilgili parametrelere, hücre ve doku tipine bağlıdır [9]. Hücre zarının geri dönüşümlü veya geri dönüşümsüz elektroporasyonuna, dış elektrik alan yoğunluğu, uygulanan vurgu sayısı, vurgu şiddeti, vurgu sıklığı ve uygulanan süre gibi elektriksel parametrelerin büyüklüğü etki eder. Bu parametrelerin büyüklüğünün artmasıyla hücre zarının hasarı da büyük olur [10, 11]. Uygulanan mikrosaniye ölçekli vurgular, hücre zarlarında küçük çaplı gözenek oluştururken, milisaniye ölçekli vurgular daha büyük gözenek oluşumuna yol açar [12]. Hücre zarı hasar derecesine vurgu sayısının artmasının bir noktaya kadar etkisi vardır. İlk 10-20 vurguda hücre zarı hasarı çok büyük olurken, bu noktadan sonra vurgu sayısının artmasının hücre hasarı üzerindeki etkisi azalır. Bununla birlikte yüksek frekansta uygulanan vurgular, işlem süresi kısa olduğunda hücre zarı hasarında daha etkilidir [13]. Elektroporasyonda etkili olan diğer faktörler, hücrenin çeşidi, boyutları, şekli ve üreme koşulları ile birlikte hücrenin bulunduğu ortamın elektriksel iletkenliği, pH'sı ve sıcaklığıdır [6, 11]. Boyutu büyük olan hücrelerin indüklenen potansiyel enerjisi, boyutu küçük olan hücrelere göre

daha büyüktür. Bu yüzden de boyutu büyük hücreler, elektrik alana karşı daha duyarlıdır [14]. Hücre zarının elektroporasyonuna neden olan kritik elektrik alan şiddeti, bitki hücreleri (hücre boyutu 40-200 μm) için 1 kV/cm iken boyutu daha küçük olan mikrobiyal hücrelerde (hücre boyutu 1-10 μm) ise 12-20 kV/cm' dir [15]. Yüksek sıcaklık uygulaması, hücre zarının akışkanlığını ve geçirgenliğini arttırarak, hücrenin elektrik alan ile parçalanmasını daha kolay hale getirir. Düşük sıcaklıklarda ise hücre zarının geçirgen duruma gelmesi için daha büyük elektrik alan şiddeti gerekir [13, 16]. Zimmerman [7] tarafından yapılan çalışmada, hücre zarının elektroporasyonu için, 4 °C'de 2V, 20 °C'de 1V ve 30-40 °C'de 500mV gerekmiştir. Ayrıca ortamın elektriksel iletkenliği, VEA uygulamasında önemli bir faktördür. Ortamın elektriksel iletkenliği yüksek olduğunda, elektrotlar arasından yoğun miktarda akım geçer. Akım miktarının artması ile ortamda ohmik ısınma meydana gelir. Bu durumda hücrenin elektroporasyonu VEA ile birlikte ısı artışıyla gerçekleşir. Ortamın elektriksel iletkenliği düşük olduğunda ise ısı artışı çok azdır ve bu durumda hücrenin elektroporasyonunda sadece VEA etkili olur [7].

1.1.3. VEA Uygulama Sistemi

Şekil 1.2'de gıdaya vurgulu elektrik alan (VEA) uygulama sisteminin basitleştirilmiş şekli görülmektedir. Genel olarak VEA sistemi, elektrik enerjisinin oluşturulması için yüksek voltaj DC jeneratörü, jeneratör tarafından oluşturulan elektrik enerjisini depolayacak kapasitörler dizisi, enerjinin kapasitörlerden elektrotlara ulaştırılmasını sağlayacak yüksek voltaj anahtarı, örneğin tutulması ve proses edilmesi için gerekli olan uygulama odacıkları, ısınmanın engellenmesi için soğutma ekipmanı, ısı kontrol ünitesi ve kontrol sisteminden (bilgisayar) oluşur [17, 18]. Sistemde kapasitör, DC jeneratörü kullanılarak şarj edilir. Sistem çalıştırıldığında kapasitörlerde depolanmış olan elektrik enerjisi istenen formda, sürede ve yoğunlukta uygulama odacığına verilerek gıdaya uygulanır [19]. VEA sisteminin ana bileşenleri, yüksek voltaj jeneratörü, anahtar, kapasitör ve elektrotlar Şekil 1.2'deki gibidir. Farklı vurgu şekilleri olan monopolar (tek kutuplu) vurgular; direk akım, karesel, üstel ve bipolar (çift kutuplu) vurguların (sinozoidal, karesel ve sürekli karesel) elektroporasyondaki etkileri farklıdır. Bu tür farklı vurgular, sistemin elektriksel devre dizaynında değişiklikler yoluyla sağlanır [17].



Şekil 1.2. VEA sistemi [20].

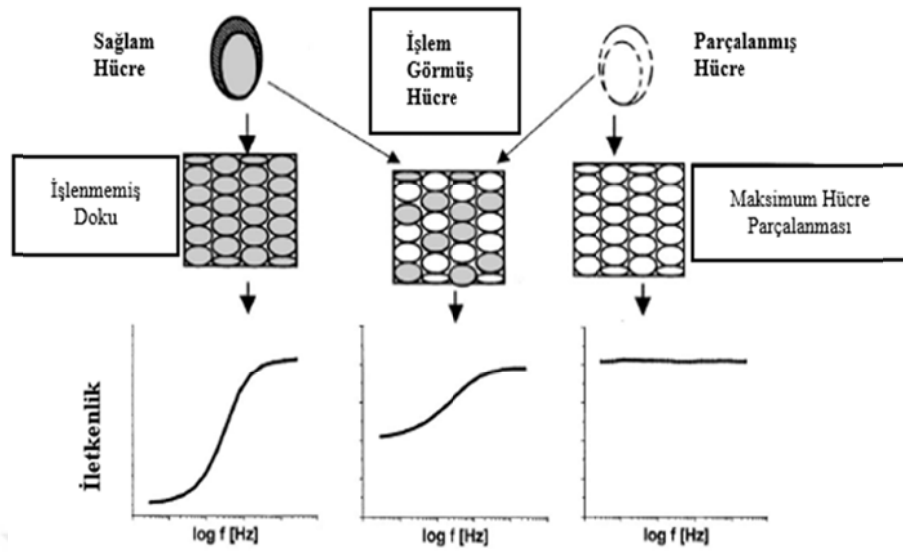
1.1.4. Hücreli Bitkisel Gıdaya Uygulanması Hakkında Literatür

Vurgulu elektrik alan uygulaması, ısısal olmayan [5], bitkisel hücre ve dokuları diğer yöntemlere (mekanik, enzimatik, ısıtma, dondurup-çözme) göre daha düşük bir enerji sarfiyatı ile parçalayan bir yöntem olarak kabul edilmektedir [21]. Bitkisel dokulara uygulanan VEA şiddetine bağlı olarak hem geri dönüşümlü elektroporasyon hem de geri dönüşümsüz elektroporasyon meydana gelebilmektedir. Bitkisel dokuların geri dönüşümlü elektroporasyonu ile dokuların içerisine antimikrobiyal, antioksidan ve kalınlaştırma ajanları gibi maddelerin aktarımının sağlanmasıyla yeni gıda ürünlerinin elde edilmesi, fonksiyonel özelliklerin ve proseslerin geliştirmesi son yıllardaki araştırma konularıdır [6]. Phoon et al. [22] ıspanak yapraklarına 580V/cm elektrik alan şiddetinde bipolar karesel vurgular uyguladıktan sonra empedans ölçümü ile geri dönüşümlü elektroporasyonunu göstermiş ve sonra yapraklara trehaloz (antifriz) çözeltisinin vakum altında empregnasyonunu sağlamıştır. Bu çalışmada, VEA uygulamasından sonra vakum empregnasyonu yoluyla trehalozun ıspanak yapraklarına infüze edilmesinin yaprakların donma direncini büyük ölçüde arttırdığı görülmüştür. Dymek et al. [23] roka yapraklarının geri dönüşümlü elektroporasyonuna VEA uygulamasının etkisini incelediklerinde 600V/cm elektrik alan şiddetindeki uzun vurgu aralıklarında daha fazla hücre canlılığı olduğunu belirtmiştir. Diğer bir çalışmada Janositz ve Knorr [24] tütün bitki protoplastları üzerinde VEA etkisini mikroskopik analizlerle görüntülemiş ve 250V/cm elektrik alan şiddetinde geri dönüşümlü elektroporasyonu protoplast boyutunun çok az artmasıyla göstermiştir. Çalışmaların önemli bir kısmı, bitkisel dokuların geri dönüşümsüz elektroporasyonu üzerinedir [23]. Bitkisel dokuların geri dönüşümsüz elektroporasyonunun kütle transfer direncini

azaltması sayesinde, VEA ön işlem uygulamasının meyve suyu üretiminde verimi artırdığı, kurutma ve ozmotik kurutma işlemlerinde suyun transferini hızlandırdığı ve ürün kalitesini iyileştirdiği ayrıca hücrelerin iç kısmından değerli metabolitlerin (fenolik, pigment, şeker, yağ veya aroma gibi) ekstraksiyonunu artırdığı belirtilmiştir[5].

1.1.4.1. Elektriksel İletkenlik Üzerine Etkileri

Bitki hücreleri, iletken olmayan zarlarla çevrilidir ve içinde iyonları bulunduran önemli miktarda su içerir. Hücre içindeki iyon miktarı, hücre dışından daha fazladır. VEA işlemi ile hücre zarı üzerinde gözeneklerin oluşumu ile beraber hücre içindeki iyonik sıvı hücre dışına doğru salınır. Bu durumda ölçülen doku empedansında veya elektriksel iletkenliğinde değişimler gözlenir. Bu gözlenen iletkenlik aslında ölçüm frekansı ile değişiklik göstermektedir. α -frekans bölgesinde (<0.1 MHz), akım hücreler arası bölgeden geçer ve bu bölgede yapılan ölçümde, ölçüm, sağlam (işlem görmemiş) dokunun hücreleri arasındaki iyonların miktarını verir. Hücre zarları parçalandığında ise hem hücre içi hem de hücre dışındaki iyonlar ölçülür. Düşük frekanslarda iletkenlik, frekansa bağlı değildir. β -frekans bölgesinde (0.1-100 MHz), sağlam dokunun hücre zarları dielektrik özelliklerini kaybederek akıma karşı direnç göstermezler (Maxwell-Wagner etkisi) ve bu bölgede yapılan ölçümde hem hücre içi hem de hücre dışındaki iyonlar ölçülür [6]. Şekil 1.3' te sağlam doku, VEA ile kısmen parçalanmış ve tamamen parçalanmış bitki dokusunun frekansa bağlı iletkenlik değişimi görülmektedir. Bu şekilde sağlam dokunun iletkenliği Maxwell-Wagner etkisine göre frekansın artmasına bağlı olarak artmaktadır. Tüm hücreleri parçalanmış dokunun iletkenliği ise frekansla artmayıp sağlam dokunun 50 MHz' deki değerinde sabit kalmaktadır. Buradan anlaşıldığı üzere, sağlam dokunun 50 MHz' de ölçülen iletkenlik değerinden yararlanılarak tamamen parçalanmış dokunun iletkenliği, 1 kHz' den daha düşük frekanslarda belirlenebilir.



Şekil 1.3. 1 kHz-50 MHz frekans aralığında sağlam hücreler, kısmen parçalanmış ve tamamen parçalanmış bitki dokusunun tipik frekans-iletkenlik spektrumu [25].

VEA'nın çeşitli kütle transferi içeren gıda proseslerinde (ekstraksiyon, kurutma gibi), uygulamanın dokuyu ne oranda parçaladığı ilgi odağıdır. Çünkü doku parçalanma düzeyi ile kütle transferi arasında kuvvetli bir bağ bulunmaktadır. Geçmiş çalışmalarda doku parçalanma oranının belirlenmesine yönelik dokunun-elektriksel iletkenlik cevabı yaygın olarak kullanılmış çeşitli doku parçalanma indeksleri geliştirilmiştir. Parçalanma indeksi, bitki dokusundaki hasarlı (geçirgen) hücrelerin oranını karakterize eder ve VEA'nın elektriksel parametrelerinin etkinliğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır[25].

Knorr ve Angersbach [25] hücresel geçirgenlik derecesini ölçmek için, sağlam ve geçirgen dokunun iletkenliğinin frekans bağımlılığına dayanan bir hücre parçalanma indeksi, Z_p katsayısı, tanımlanmıştır:

$$Z_p = 1 - b^* \frac{(\sigma'_h - \sigma'_l)}{(\sigma_h - \sigma_l)}; b = \frac{\sigma_h}{\sigma'_h}; 0 \leq Z_p \leq 1 \quad (\text{Denklem 1})$$

σ_l ve σ'_l düşük frekans aralığında (1-5 kHz) sırasıyla işlem görmemiş ve işlem görmüş dokunun elektriksel iletkenliğidir; σ_h ve σ'_h yüksek frekans aralığında (3-50 MHz) sırasıyla işlem görmemiş ve işlem görmüş dokunun elektriksel iletkenliğidir. Sağlam hücrelerin $Z_p = 0$ iken toplam hücre parçalanmasıyla $Z_p = 1$ olmaktadır.

Lebovka et al. [26] tarafından hücre hasarını karakterize etmek için iletkenliği kullanarak farklı bir parçalanma indeksi tanımlanmıştır:

$$Z_p = \frac{\sigma'_l - \sigma_l}{\sigma'_{ld} - \sigma_l} \quad (\text{Denklem 2})$$

σ'_l , σ_l ve σ'_{ld} düşük frekans aralığında (1-5 kHz) sırasıyla işlem görmüş, işlem görmemiş ve tamamen tahrip olmuş dokunun ölçülen elektriksel iletkenlik değeridir. Denklem 2 uygulaması önceki durumda olduğu gibi sağlam doku için $Z_p = 0$ ve tam parçalanmış doku için $Z_p = 1$ verir.

Fincan [27] tarafından iletkenliği kullanarak tanımlanan parçalanma indeksi:

$$Z_p = \frac{\sigma - \sigma_s}{\sigma_f - \sigma_s} \quad (\text{Denklem 3})$$

σ , σ_s ve σ_f sırasıyla işlem görmüş, distile su ve dondurulup-çözülmüş dokunun elektriksel iletkenliğidir. Sağlam dokunun parçalanma indeksi $Z_p=0$ ve tam parçalanmış (dondurulup çözülmüş) dokunun parçalanma indeksi $Z_p=1$ olur. Eskiden beri bitkisel dokuların dondurulup çözülmesi ile hücrelerin %100'e yakın parçalandığı bilinmektedir.

1.1.4.2. Kurutmanın Kolaylaştırılması

Vurgulu elektrik alan ön işleminin, çeşitli sebze ve meyve dokularının kurutulmasında etkin nem difüzyon katsayısının artmasına bağlı olarak kütle transferini hızlandırdığı bildirilmiştir.

Wiktor et al. [28], vurgulu elektrik alanının (VEA) elma dilimlerinin kurutma kinetiğine etkisini incelemiştir. İşlem odası, asite dayanıklı çelikten yapılmış iki paralel elektrottan (elektrotlar arası mesafe =18 mm, yüzey alanı= 15.2 cm²) oluşturulmuştur. Elma dilimleri (35 mm çapında ve 5 mm kalınlığında) elektrotlar arasına yerleştirildikten sonra elektrotlar arasındaki elektrik temasını arttırmak için işlem odası ticari elma suyu (% 10.2 ekstrakt) ile doldurulup üzeri ikinci bir elektrotla kapatılarak VEA işlemi (5-10 kV/cm elektrik alan şiddeti, 10-50 vurgu sayısı, 1 s vurgu aralığı, 10 ms vurgu genişliğinde monopolar üstel vurgu) uygulanmıştır. Daha sonra örnekler 70 °C'de 2 m/s hava hızında konvektif olarak kurutulmuştur. Yapılan çalışmada, VEA uygulaması

hücre parçalanma indeksini artırmış ve bunun sonucu olarak da kurutma kinetiğini değiştirmiştir. 10 kV/cm ve 50 vurgu sayısında VEA ön işlemi kuruma süresini %12 oranında azaltmıştır. İşlem görmemiş örneklerde etkin nem difüzyon katsayısının $1.04 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ olduğu, 5 kV/cm'da 10 vurgu sayısında ve 10 kV/cm' da 50 vurgu sayısında, VEA uygulanmış örneklerde ise etkin nem difüzyon katsayısının sırasıyla 1.09×10^{-9} ile $1.25 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiği gözlenmiştir.

Won et al. [29], ön işlem olarak VEA uygulamasının kırmızı biberin (*Capsicum annuum* L.) kuruma hızına ve renk özelliklerine etkisini incelemiştir. Biberlere 1.0-2.5 kV/cm elektrik alan şiddetinde, 30 μs vurgu genişliğinde (bipolar kare vurgu), 100 Hz vurgu frekansında ve 1s, 2s ve 4s işlem süresinde VEA işlemi uygulandıktan sonra, biberler 45 °C'de konvektif olarak kurutulmuştur. Bu çalışmada, biberler 2.5 kV/cm, 100 Hz ve 4s'lik VEA işlemine maruz bırakıldığında kuruma süresinin %34.7 azaldığı ve 2.5 kV/cm, 100 Hz ve 1s'lik işlem süresinde ise kuruma süresinin %20.4 azaldığı görülmüştür. İşlem görmemiş örneklerde etkin nem difüzyon katsayısının $2.42 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ olduğu, VEA işlemi ile (2.5 kV/cm, 100 Hz, 4s) etkin nem difüzyon katsayısı $3.71 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ 'ye yükseldiği belirlenmiştir. Ayrıca VEA ön işleminden geçirilmiş kırmızı biberin daha kısa kuruma süresi, artan (L^* , a^* , b^*) renk değerleri ile karotenoid pigmentlerinin daha fazla tutulmasına yol açarak, kurutulmuş biberin renk kalitesine olumlu katkı sağladığı belirtilmiştir.

Arevalo et al. [30], vurgulu elektrik alanın (VEA) elma ile patatesin kurutma etkinliğini 0.75-1.5 kV/cm elektrik alan şiddeti, 100 μs vurgu genişliği ve 5-120 vurgu sayısında incelemiştir. VEA ön işleminden sonra elma ve patates dokusu 70 °C'de bir konvektif hava fırınında kurutulmuştur. Bu çalışmada, VEA ön işleminin elmanın etkin nem difüzyon katsayısına bir etkisi olmadığı görülmüştür. Patateslere 0.75 ve 1.5 kV/cm'de uygulanan elektrik alanların patateslerin kuruma özelliklerinde etkisi benzer olmuştur ve vurgu sayısının 5'ten 120'ye çıkarılması difüzyon katsayısını etkilememiştir. İşlem görmemiş patates dokusunda etkin nem difüzyon katsayısı $0.78 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ iken, VEA işlemi ile (0.75-1.5 kV/cm, 5-120 vurgu sayısı, 100 μs vurgu genişliği) etkin nem difüzyon katsayısı $1.09 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ 'ye yükseldiği bildirilmiştir. VEA ön işlemi uygulamasının elma ve patates dokusunun kurutma özellikleri üzerinde farklı etki göstermesi, bu çalışmada dokular arasındaki morfolojik farklılıkları ile birlikte dokuların farklı elektrolitik bileşenlerinden kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

Shynkaryk et al. [31], vurgulu elektrik alanın (VEA) ön muamelesinin, kırmızı pancar dokusunun konvektif kurutulması üzerindeki etkisini 30-100 °C aralığındaki kurutma sıcaklıklarında incelemiştir. Sıcaklıkla parçalanabilen kırmızı pancarın, yüksek sıcaklıkta (100 °C) kurutulmasında kahverengi bileşikler artarken, düşük sıcaklıklarda kurutulmasında ise sarı renkli bileşiklerin artışı belirgin olmaktadır. Bundan dolayı, orta sıcaklıklarda (<50 °C) kurutma tercih edilmektedir, ancak bu durumda da işlem süresi artmaktadır. Ayrıca orta sıcaklığın dokulara verdiği hasar etkisiz olmaktadır. Bu çalışmada, kırmızı pancarın kurutulmasında uygulanan VEA ön işleminin, doku parçalanmasına bağlı olarak kuruma süresini azalttığı görülmüştür. Uygulanan VEA ön işleminin, nem difüzyonunda (aynı kurutma sıcaklığında) bir artışa veya kurutma sıcaklığında yaklaşık 20-25 °C (aynı seviyedeki difüzyonda, $Deff$) bir azalmaya neden olduğu ve pancarın rehidrasyon özelliklerinin işlem görmemiş benzer olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada, VEA ön işlemi ile orta sıcaklıklarda kurutmanın renk bileşiklerini koruyacağı gösterilmiştir.

Amami et al. [32], vurgulu elektrik alanın (VEA) ve ardından uygulanan santrifüj ozmotik dehidrasyonun (OD) havucun konvektif kuruma davranışı üzerindeki etkisini incelemiştir. Örneklere 0.60 kV/cm elektrik alan şiddetinde, 100µs vurgu genişliğinde (monopolar kare vurgu) ve 50 ms işlem süresinde (ortalama enerji girişi 19 kJ/kg) VEA işlemi uygulandıktan sonra örnekler 2400 x g merkezkaç ivmesinde ve 1, 2 ve 4 saat boyunca 40 °C'de % 65 (w/w)' lik sakkaroz çözeltisi içinde santrifüj OD işlemine maruz bırakılıp ardından 40-60 °C'de ve sabit hava hızında (6 m³/h) kurutulmuştur. Çalışmada, kurutma sıcaklığının artmasıyla işlem görmemiş ve VEA ile işlenmiş havuç dokusunun etkin nem difüzyon katsayısının arttığı görülmüştür. Bununla birlikte, VEA ile işlenmiş havucun etkin nem difüzyon katsayısının işlem görmemişden daha yüksek olduğu belirtilmiştir. İşlem görmemiş havuçların 60 °C kurutulmasında kuruma süresi 370 dakika iken VEA ile işlenmiş havuçlar ise 290 dakikada kurumuştur. OD süresinin artmasıyla kuruma süresinin azaldığı görülmüştür. 4 saat santrifüj OD'den sonra örneklerin 90 dakikada kuruduğu bildirilmiştir. VEA işlemini takiben 4 saat santrifüj OD uygulanmasından sonra 60 °C'de kurutmayla kurutma süresi aynı sıcaklıkta kurutulan işlem görmemiş örneklerin kuruma süresini %81 azaltmıştır. İşlem görmemiş havuçların etkin nem difüzyon katsayısı 0.93×10^{-9} m²/s iken, VEA işlemi ile etkin nem difüzyon katsayısının 1.17×10^{-9} m²/s ve VEA ile birlikte 1,2 ve 4 saatlik santrifüj OD

işlemleriyle etkin nem difüzyon katsayısının 1.96×10^{-9} - 5×10^{-9} m²/s arasında değiştiği görülmüştür (60 °C’de kurutmada).

Angersbach ve Knorr [33], patates dokusunun, VEA ile ön muamelesinin kurutmadaki etkinliğini akışkan yatak kurutucuda, (hava sıcaklığı 70 °C, hava hızı 2 m/s) konvektif kurutmada incelemiştir. Kübik doğranmış patates dokularına (1 × 1 × 1 cm) 0.35-3 kV/cm elektrik alan şiddetinde ve 1-70 vurgu sayısında (enerji girişi 6.4–16.2 kJ/kg) VEA uygulanmış sonra örnekler santrifüjlenerek (700xg, 10 dakika) geçirgenlik derecesi sıvı salınımı ile belirlenmiştir. VEA uygulanmış dokudan hiçbir işlem uygulanmamış dokuya göre % 29 daha yüksek hücre sıvısı salınımı gerçekleşmiştir. VEA uygulaması ile üründe sıcaklık artışı sadece 1.8-4.5 °C olmuştur. Sonuç olarak, optimum parametrelerle elektriksel işlemin (E = 0.9-2 kV / cm, vurgu sayısı = 15-30) patates dokusunun kurumasını hızlandırdığı ve kuruma süresini kısalttığı bildirilmiştir. Ayrıca, 10 kJ/kg'dan daha yüksek toplam enerji girişinin kurutma hızını arttırmadığı belirtilmiştir.

1.1.4.3. Ekstraksiyonun Kolaylaştırılması

Bazhal ve Vorobiev [34], elma posasına presleme ile beraber VEA uygulamasının meyve suyu ekstraksiyon verimi üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu çalışmada elma posaları, (elmaların 6 mm rende ile aynı şekilde öğütülmesiyle elde edilir) monopolar dikdörtgen vurgu üreticisi ile filtreli pres hücrelerinde işlenmiştir. Pres hücrelerine 2 cm’lik elma posası yerleştirildikten sonra elektrotlardan hareketli olanı, diğer sabit olana doğru hareket ettirerek iki elektrot arasında sıkıştırılmıştır. Aşağıdaki deneysel prosedür uygulanmıştır: İlk aşamada posalar preslenmiş ve ikinci aşamada VEA işlemi (1000V voltajlı 1000 vurguda, 10 ms periyotta ve 100 µs sürede) uygulanmasının ardından ikinci presleme yapılmıştır. Ayrıca VEA işleminden önce ve sonra basıncı 0 ile 30 bar arasında değiştirilerek basıncın toplam meyve suyu verimi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Posalara uygulanan VEA işlemi, 30 barlık bir basınçta (VEA işleminden önce ve sonra) ilk aşamada preslenmiş meyve suyuyla ilgili olarak verimi, yaklaşık % 12-13 oranında artırmış ve bu basınçta elde edilen toplam meyve suyu miktarı, 2-3 barda elde edilenle yakın olmuştur; burada VEA işlemi, verimi yaklaşık % 40 arttırmıştır. Meyve suyu veriminin maksimum olduğunda enerji girişi, minimum 3-5 kJ/kg olarak hesaplanmıştır.

Havuçlardan meyve suyu ekstraksiyonunu konu alan bir çalışmada, ince ve kabaca öğütülmüş havuçların VEA ön işleminin ardından sıkılmasıyla (10 MPa, oda sıcaklığı, 5 dakika) meyve suyu ekstraksiyonunu artırdığı bildirilmiştir. Bu çalışmada ince partiküllü havuçlara (ortalama 1.5 mm boyutta) 2.6 kV/cm elektrik alan şiddetinde VEA işlemi uygulanmış, hiçbir işlem uygulanmamışla (% 51.3 verim) karşılaştırıldığında maksimum % 76,1 meyve suyu verimi elde edilmiştir. Kaba partiküllüler (ortalama 3.0 mm boyutta) için ise meyve suyu verimi hiçbir işlem uygulanmamışta %30 ve VEA işleminden sonra %70.3 verim elde edilmiştir. Belirli bir elektrik alan şiddetinde (1,6 kV/cm) vurgu sayısındaki değişimin (50 vurgu sayısının üzerindeki bir artışın), meyve suyu veriminde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Geleneksel yöntemlerle üretilen havuç suyuna kıyasla, VEA ön işlemi ile üretilen havuç suyunun daha yüksek β -karoten değerlerine sahip olduğu vurgulanmıştır [35].

Gachovska et al. [36], Alfalfa yapraklarından pres suyunun eldesinde VEA işleminin etkisini incelemiştir. Bu çalışmada alfalfa yaprakları parçalanarak püre haline getirilmiş ve bu püreden yaklaşık 40 g alınarak elektrotlar arasına (elektrotları arasındaki mesafe=40 mm) yerleştirilip 1Hz de 6 kV besleyen 1 μ F kapasiteli 200 vurgulu VEA işlemine maruz bırakıldıktan sonra preslenmiştir. İlk presleme aşamasından sonra elektrotlar arasındaki mesafe yaklaşık 10 mm'ye düşürülerek tekrar VEA işlemi uygulanıp, ikinci presleme yapılmıştır. İlk preslemede 2 MPa basınç, ikinci preslemede ise 4MPa basınç uygulanmıştır. VEA işleminin pres suyu, protein ve mineral miktarını önemli derecede artırdığı bildirilmiştir.

Fincan [27], yaptığı çalışmada, nane yapraklarından fenolik ekstraksiyonu eldesinde, VEA ön uygulamasının ekstraktlarda, toplam fenolik ve DPPH içeriğini önemli oranda artırdığını bildirmiştir. VEA (3 kV/cm de 99x10 μ s monopolar karesel vurgu) ile sarf edilen enerjinin mikrodalga, dondurup-çözme ve ısıtma proseslerinden daha düşük olduğu ve ısıtmadaki enerji sarfiyatından %98 tasarruf sağladığını bildirmiştir (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. VEA, mikrodalga, dondurup-çözme ve ısıtma ön işlemleri ile taze nane yapraklarının tam olarak parçalanması için gereken enerji miktarları.

Ön- işlem	Enerji girişi (kJ/kg)
Mikrodalga	1134
Dondurup-çözme	458
Isıtma	252
VEA	4

Kırmızı pancardan pigment ekstraksiyonunu konu alan diğer bir çalışmada, VEA ön uygulamasından (1 kV/cm, 10 µs sürede, 270 monopolar karasel vurgu, 7 kJ/kg enerji girişi) sonra, 1 saatlik sulu ekstraksiyonun ardından toplam %90 oranında kırmızı renk ve iyon içeriği salınımı olduğu bildirilmiştir. Bu çalışma ile, pancarlardan pigmentlerin ekstraksiyonunda, VEA uygulamasının enerji sarfiyatı düşük bir geçirgenleştirme yöntemi olduğu gösterilmiştir [4].

1.2. *Mentha Spicata* (Spearmint, Aromatik Nane, Bahçe Nanesi)

Lamiaceae familyası dünyada yaklaşık olarak 250 cinsi ve 7000 türü içeren çok büyük bir familyadır. Nane (*Mentha piperita*), biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.), adaçayı (*Salvia officinalis* L.), lavanta (*Lavandula angustifolia* Mill.), kekik (*Thymus vulgaris* L.), mercanköşk/ kekik (*Origanum vulgare* subsp. *hirtum* Ietswaart), oğulotu (*Melissa officinalis* L.) gibi bitkiler eski dönemlerden beri kullanılan, bu familyaya ait kokulu ve aromatik bitkilerdir [37].

Nane, *Lamiaceae* familyasına ait *Mentha* türlerine verilen genel bir isim olup sürünücü yapıda çok yıllık bir bitkidir [38]. Anavatanı Orta Avrupa ve Asya olarak bilinen nane, tür çeşitliliği bakımından oldukça zengindir ve dünya üzerinde çok geniş alanlara yayılmıştır [37]. Ülkemizde eskiden beri bahçelerde, evlerin önünde ve tarlalarda yetiştirilen nane bitkisi tıbbi açıdan spazm ve gaz giderici, mide rahatlatıcı, serinletici, uyarıcı ve diüretik etkilere sahiptir. Nane yaprakları baharat ve bitki çayları şeklinde yaygın olarak kullanılırken, nane yağının da gıda, ilaç ve kozmetik sanayinde geniş bir uygulama alanı mevcuttur [39].

Dünyada kültürü en fazla yapılan nane türleri *M. piperita* (peppermint), *M. arvensis* (cornmint) ve *M. spicata* (spearmint)'dir. Bu üç kültürü yapılan nane türünden başka

içerdikleri özel bileşenlerden dolayı bergamot veya limon nanesi (*Mentha citrata*), su nanesi veya kıvırcık nane (*Mentha aquatica*), elma nanesi veya kırmızı nane (*Mentha gentilis*), ananas nanesi (*Mentha gentilis* var. *Variegata*) gibi çok sayıda nane türü bulunmaktadır. Ülkemizde ise ılıman iklimlerde bulunan nane türleri; *M. pulegium*, *M. arvensis*, *M. aquatica*, *M. piperita*, *M. longifolia*, *M. suaveolens*, *M. spicata*'dır. Bu türler 12 takson yayılış göstermektedir [37].

M. spicata, *M. viridis* olarak da isimlendirilen çok yıllık, otsu, 30-110 cm boyunda, canlı yeşil renkli, keskin kokulu, soluk mavi çiçekli, çiçekler dalların ucunda ve başak şeklinde bir arada olan türdür. Yaprak kenarları sivri uçludur ve genelde yaprak sapı yoktur [38].



Şekil 1.4. *Mentha spicata*

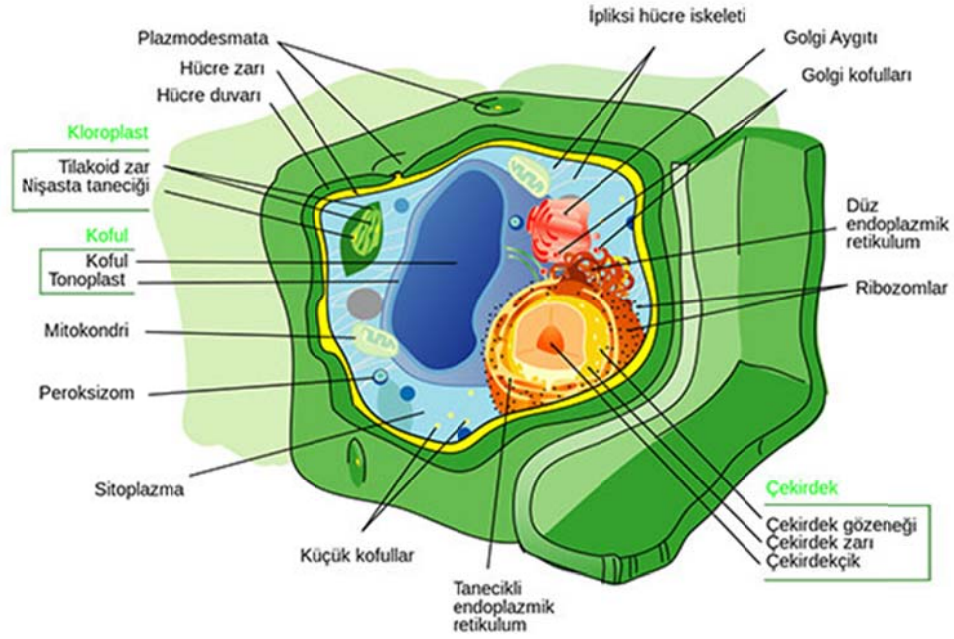
M. spicata türü nane yaklaşık 0. 21-2. 1% uçucu yağa sahiptir. Bu uçucu yağın yapısında 29-74% karvon, 4-24% limonen ve 3-18% cireole bulunur [40]. *M. spicata* türü nanenin içinde en çok bulunan karvon bileşiği, bu türün tatlı ve hoş kokusunun kaynağıdır. [41].

M. spicata türü nane, birçok fenolik madde içermektedir. *M. spicata* türü nanedeki fenolik miktarı ve çeşidi bitkinin yetiştirme koşullarına, çözücü tipine ve ekstraksiyon koşullarına bağlı olarak değişim göstermektedir [42]. Dorman et al. [43] *M. spicata* türü nanenin % 12-23 oranında değişen ekstraktının, diğer *Mentha* türleriyle karşılaştırıldığında gallik asit eşdeğeri olarak % 21'inden daha fazla fenoller içerdiğini bildirmiştir. Bu çalışmada, *M. spicata* türünden su ile alınan ekstraktlarda fenolik bileşiklerin, 0,19 mg/g kafeik asit, 10,70 mg/g eriositrin, 5,57 mg/g luteolin glikozit, 1,26 mg/g isorhoifolin, 4,60 mg/g rosmarinik asit, 0,54 mg/g luteolin ve 0,04 mg/g apigenin olduğu tespit edilmiştir. Gökbulut ve Şarer [44] *M. spicata* türünden metanol

ile alınan ekstraktlarda fenolik bileşiklerin 0,089 mg/g kafeik asit, 0,168 mg/g luteolin ve 13,4 mg/g rosmarinik asit olduğunu bildirmiştir. Bimark et al. [45] *M. spicata* türünden süperkritik karbon dioksit (SC-CO₂) ekstraksiyonu (60 °C, 200 bar, 60 dakika) kullanılarak alınan ekstraktlarda fenolik bileşiklerin, 0,140 mg/g kateşin, 0,156 mg/g epikateşin, 0,148 mg/g rutin, 0,117 mg/g mirsetin, 0,657 mg/g luteolin, 0,270 mg/g apigenin ve 0,249 mg/g naringenin olduğunu bildirmiştir. Kivilompolo ve Hyotylainen [46] *M. spicata* türünden etanol ile alınan ekstraktlarda fenolik bileşiklerin 0,31 mg/g klorogenik asit, 0,25 mg/g kafeik asit, 5,62 mg/g rosmarinik asit ve 0,05 mg/g' dan az gallik asit, vanilik asit, siringik asit, p-kumarik asit ve ferulik asitin olduğunu bildirmiştir. Proestos et al. [47] tarafından yapılan bir çalışmada ise *M. spicata* türünden metanol ile alınan ekstraktlarda fenolik bileşiklerin 0,009 mg/g gallik asit, 0,6 mg/g kafeik asit, 0,007 mg/g vanilik asit, 0,056 mg/g ferulik asit, 0,007 mg/g apigenin, 0,014 mg/g rutin ve 0,02 mg/g (+)-kateşin olduğu bildirilmiştir.

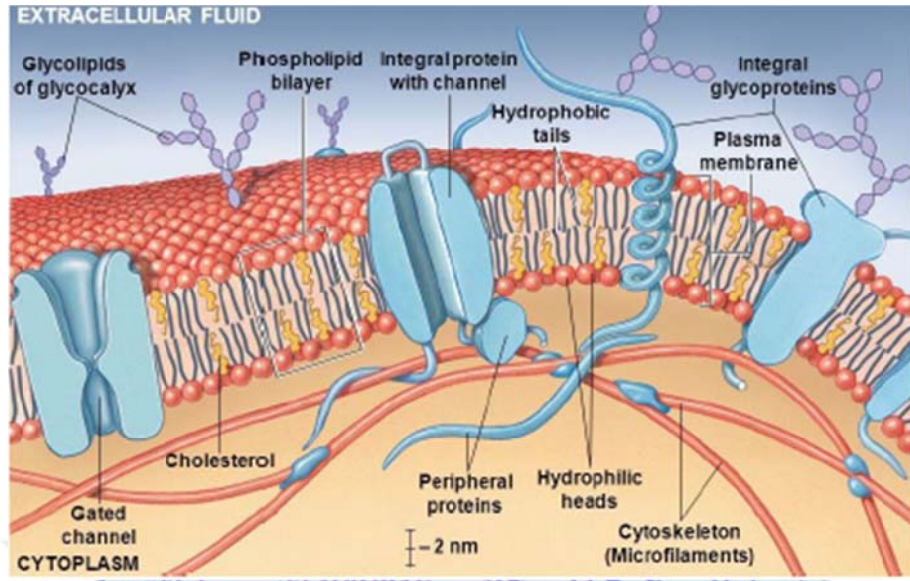
1.3. Bitkisel Doku Morfolojisi

Bitkisel hücrelerin kendilerini çevreleyen hücre dışı matris içinde, dikey ve yatay olarak yan yana gelmesiyle bitkisel doku oluşur. Doku içerdiği sıvı ile yarı katı niteliktedir. Sıvının çoğu hücre içinde bulunurken, çok azı hücre dışı alanda bulunur. Bu sıvı genellikle, aktif ve inaktif biyolojik maddeleri içinde bulunduran sudur. Hücreler arası boşlukta çok az hava bulunur [48]. Doku hücreleri daha çok şekli, çok yüzlü ya da küresel olan parankima hücreleri, farklı hücreler içerir ve bu hücrelerin boyutu 40-200 µm arasında değişir [15, 49]. Bitki hücresi hücre duvarı ile çevrilidir. Hücre duvarı içinde başlıca sitoplazma ve çekirdekten oluşan protoplast bulunur. Sitoplazma şeffaf, yarı sıvı nitelikte bir yapıdır ve hücrenin tüm organelleri sitoplazmanın içinde dağıntık olarak bulunur. Bunlar mitokondri, golgi organları, endoplazmik retikulum, ribozomlar ve plastitlerdir. Sitoplazmada % 60-90 su bulunur. Sitoplazmadaki kuru katı içeriğinin ise % 40-50'i protein ve % 2-3' ü lipidlerden oluşur. Küresel veya oval yapıdaki çekirdeğin etrafı nükleer zar ile çevrilidir ve içinde genetik materyali (DNA) taşır. Sitoplazma ile hücre duvarı arasında plasmalemma denen ince bir hücre zarı vardır [49]. Bitki hücresinin yapısı, Şekil 1.5'te görüldüğü gibidir.



Şekil 1.5. Tipik bir bitkisel hücre [6].

Hücre duvarının hemen altında bulunan hücre zarının ana işlevi, hücrenin iç kısmına dışardan madde akışını düzenlemektir. Hücre zarı çok ince (7,5-10 nm) elastik bir yapıya sahiptir. Zarın neredeyse tamamı, lipid ve proteinlerden oluşur. Zarın yapısında %55 protein, %25 fosfolipid, %13 kolesterol ve %7 diğer lipid ve karbonhidratlar bulunur. Lipit kısmı, yağ benzeri tamamen kolesterol ve fosfolipitten oluşan iki tabakalı bir yapıdadır. İki tabakalı lipitin her bir tabakasının dış kısmı hidrofilik (suda çözünür) ve iç kısım hidrofobiktir (yağda çözünür). Çift katlı lipit tabakası hidrofobik kısmından dolayı iyonlar, glukoz, üre ve diğerleri gibi suda çözünür maddeleri (su, CO₂, O₂ hariç) geçirmez. Zardan suyun taşınımı, çift katlı lipit tabakasından difüzyonla ve akuaporin olarak adlandırılan su kanallarıyla olur. Zarda bulunan proteinlerin çoğu (integral membran proteinleri), lipit tabakasına gömülüdür ve bu proteinler hücrenin dışına çıkarak suda çözünür maddelerin, özellikle de iyonların, geçebileceği kanalları meydana getirir. Diğer proteinler (periferel membran proteinleri) ise sitoplazmik iç yüzeye bağlı durumdadır [48, 49]. Hücre zarının yapısı Şekil 1.6'da görüldüğü gibidir.



Şekil 1.6. Hücre zarı [50].

Hücresinin işlevi ve metabolizması için gerekli olan maddeler hücreye hem girer hem de hücreden (atık ürünler veya zararlı maddeler) dışarı çıkarlar. Zardan istenmeyen maddelerin (su, O_2 , CO_2 , N_2 , K^+ , Ca^{2+} , Cl^-) uzaklaştırılması, enerji harcaması olmadan (ATP ayrışmasıyla) difüzyon ve integral proteinler tarafından kolaylaştırılmış difüzyonla gerçekleştirilir. Bu şekilde maddelerin taşınım mekanizmasına, pasif işlemler denir. Zarı konsantrasyon gradyanına ters olarak geçen maddeler, ATP tüketimi gerektirir ve bu taşınım mekanizmasına aktif işlemler denir. Başlıca Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , I^- ve Cl^- iyonların zar boyunca geçişi ATP enerjisi kullanılarak taşıyıcı proteinlerle olur [49].

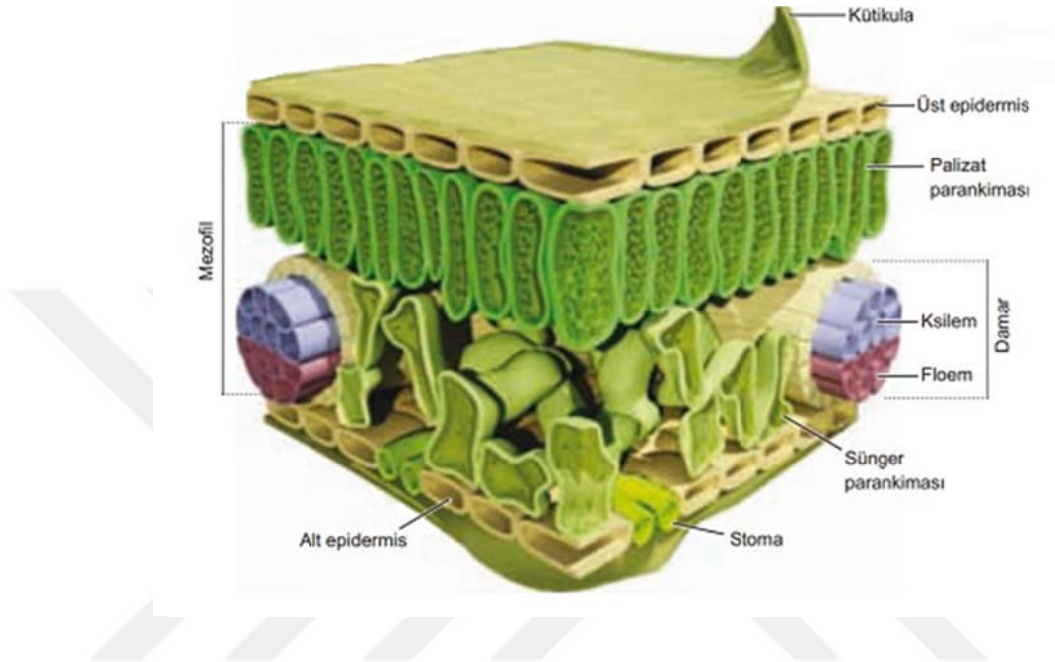
Bitki hücreleri bir ya da daha fazla sayıda vakuole sahiptir. Genç hücrelerde çok sayıda ve küçük vakuol bulunurken hücrelerin büyümesiyle birlikte küçük vakuoller birleşerek vakuolün boyutunu artırır. Genellikle toplam hücre protoplastının yaklaşık olarak %90'nı vakuolden oluşur. Vakuol protoplastan, tonoplast denen bir zar ile ayrılır ve bu zar içinde vakuol özsuyu adlı sulu bir sıvı bulunur. Vakuol özsuyu şekerler, organik asitler, tuzlar, fenolik bileşikler, antosiyaninler gibi çözünür pigmentleri içeren bir çözeltiden ibarettir. Vakuolun bitkinin büyümesi, çoğalması ve gelişmesinde çeşitli fonksiyonları vardır. [2, 49, 51].

Bitki hücresinin hücre zarının dışında, hücre duvarı bulunur. Bu duvar, hücrenin sert bir yapıda olmasını sağlar ve bir hücreyi diğer hücrelerden ayrı bir birim olarak tutar [2].

Primer duvar, sekonder duvar ve orta lamel olmak üzere üç katmandan oluşur. Primer duvar, hücrenin büyümesi sırasında ve öncesinde hücre zarının dışında oluşan ince elastik bir yapı iken, hücrenin büyümesi sona erince primer duvar ile plasmalemma arasında primer duvara göre daha katı ve kalın bir yapıya sahip, sekonder duvar oluşur. Yan yana gelmiş iki hücre, orta lamel denilen ve daha çok jel benzeri bir yapı olan amorf pektik maddelerden oluşmuş bir katman tarafından birbirine bağlanır. Primer ve sekonder duvar, yapı ve kompozisyon bakımından farklıdır. Primer hücre duvarı bileşimi (%9-25) selüloz, (% 25-50) hemiselüloz, (% 10-35) pektik maddeler ve (% 10) proteinlerden oluşur. Selülozun zincirleri kovalent olmayan kuvvetlerle, uzun silindirik iplikler (mikrofibriller) biçiminde birleştirilmiş olup, mikrofibril ağı hemiselüloz ve pektin içeren sulu bir matriks içinde dağılmış bir şekilde bulunur. Ayrıca hücre duvarında glikoproteinler gibi protein uzantılarının yanı sıra peroksidazlar, pektinazlar, selülozlar ve ekspansinler gibi çeşitli enzimler de bulunur. Sekonder duvar, yaklaşık olarak % 41-45 selüloz, % 30 hemiselülozdan oluşur. Ancak bazen, sekonder duvarın yapısında, selülozdan çok daha sert olan % 22-28 lignin de bulunabilir. Primer ve sekonder duvarının yapısı, her bitki hücresinde aynı değildir ve bu duvar yapısındaki farklılıklara göre hücreler sınıflandırılır. Parankima hücrelerinde, yalnızca ince primer duvar bulunurken, sklerankima hücrelerinde kalın sekonder hücre duvarı bulunur. Genellikle odunlaşmış bir yapıdadır ve kollenkima hücreleri ise çok ince bir sekonder hücre duvarına sahiptir. Primer hücre duvarlarında 40-50 nm çapında kanal gibi görünen ve bitişik hücre duvarlarının protoplastını bağlayan ince sitoplazma iplikçiklerine sahip, yoğunluğu yüksek plasmodesmata bulunur [48, 49].

Yaprığın enine kesiti alındığında, alt ve üst yüzde epidermis dokusu, ortada parankimatik bir doku olan mezofil ve damarları oluşturan iletim doku görülür (Şekil 1.7). Epidermis dokusu içte olan yaprak dokularından aşırı su kaybını önler ve yaprağı mantar enfeksiyonları ile mekanik zararlara karşı korur. Epidermisin dış yüzü mumsu bir tabaka olan kütikula ile kaplıdır. Bu mumsu tabaka, suyun buharlaşmasını geciktirir. Epidermis hücreleri arasında, stoma adı verilen gözenekler bulunur. Epidermis dokunun en özelleşmiş hücrelerini oluşturan stomalarda yaprağın atmosferle gaz alış veriş sağlanır. Ayrıca yapraktaki su kaybının büyük bir kısmı stomalardan meydana gelir. Mezofil dokusu, palizat ve sünger parankiması olmak üzere iki tip parankimadan oluşur. Sütunlar şeklinde çoğunlukla bir tabaka olan palizat parankimasında, hücreler arası

boşluk azdır ve çok sayıda kloroplast içerir. Düzgün olmayan şekilde dizilmiş olan sünger parankimasında ise hücreler arası boşluk fazladır ve kloroplast sayısı azdır. İletim dokunun oluşturduğu damarlar suyun ve besin maddelerinin taşınımını sağlamak için ksilem ve floem adını alan iki farklı hücre grubundan oluşur [52].



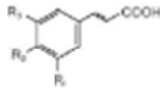
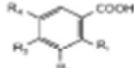
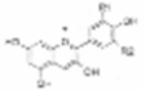
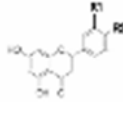
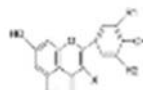
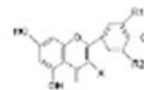
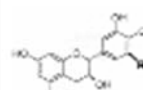
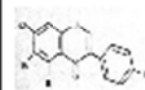
Şekil 1.7. Yaprığın üç boyutlu şematik iç yapısı [53].

1.4. Fenolikler

Fenolik bileşikler, bitkilerde çok az miktarlarda bulunmakta olup bu ürünlerin aroma, lezzet ve renginin oluşmasını sağlar. Bu bileşikler, aromatik bir halka çevresinde bir veya daha fazla sayıda hidroksil gruplarını (-OH) içeren, genellikle suda çözünür sekonder metabolitlerdir. Aromatik halkasında bir tane hidroksil grubu içeren benzen, çoğunlukla 'fenol' adı ile anılır, en basit fenolik bileşiktir ve tüm fenolik maddeler bundan türemişlerdir [2, 54].

Fenolik bileşikler, fenolik asitler ve flavonoidler olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Fenolik asitler, hidroksisünamik asitler ve hidroksibenzoik asitler olmak üzere iki gruptan oluşur [2]. Flavonoidler yapı farklılıklarına göre, antosiyanidinler, flavanonlar, flavonlar, flavonoller, flavan-3-oller, izoflavonlar olarak altı alt gruba ayrılmaktadır [55]. Tablo 1.2' de fenoliklerin grupları ve her bir gruba ait bileşikler gösterilmektedir.

Tablo 1.2. Fenoliklerin grupları ve her bir gruba ait bileşikler [2, 55].

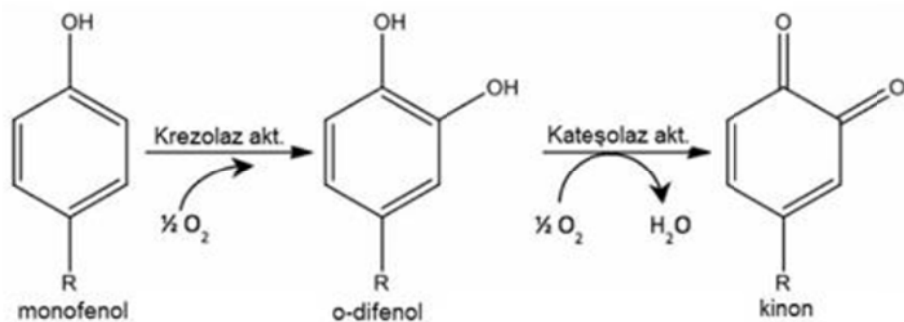
Fenolik asitler					
Hidroksisinnamik asitler			Hidroksibenzoik asitler		
					
<i>o</i> -kumarik asit <i>p</i> -kumarik asit Kafeik asit Ferulik asit Sinapik asit Kutarik asit Kaftarik asit Fertarik			Salisilik asit <i>p</i> -hidroksibenzoik asit Gentisik asit Protokateşik asit Vanilik asit Gallik asit Siringik asit		
Flavonoidler					
Antosiyanidinler	Flavanonlar	Flavonlar (X=H)	Flavonoller (X=OH)	Flavan-3-oller (Kateşinler)	Izoflavonlar
					
Siyanidin Delfinidin Malvidin Pelargonodin Petunidin Peonidin	Drydmin Eriositrin Eriodisitiyol Hesperetin Hesperidin Isosakurantın Naringenin Naringin Narirutin Neriositrin Neohesperidin Pinosembrin Ponsirin Prunin	Apigenin Baisalein Diosmin Genkwain Isohoifolin Luteolin Riyofilin Tektokrisin	Astragalin Hiperosid Isokuersitrin Isohamnetin Kempferid Kempferol Mirsetin Kuersetin Kuersitrin Ramnetin Rutin	Kateşin Gallokateşin Epikateşin Epigallokateşin Epikateşin-3-gallat Epigallokateşin-3-gallat	Biokem.A Daidzein Formomonetin Genistein Glisitein Glisititein Daidzm Genistin Siyertim

Tanımlanan bitki fenoliklerinin büyük bir kısmı flavonoidlerden oluşur [55]. Bitkinin yaprak, çiçek ve meyve gibi toprak üstünde bulunan kısımlarda glikozit formunda ve odunsu dokularında aglikon formunda bulunurken çekirdeklerinde glikozit ve aglikon olmak üzere her iki formda da bulunabilirler. Fenolik bileşikler bitkilerin tat ve kokusunun oluşmasını sağlayarak, bunların tüketimini etkilemektedir [54]. Ayrıca bu bileşiklerin tortu oluşturucu, enzimatik esmerleşme substratı, antioksidan, antimikrobiyel, enzim inhibitörü olarak çeşitli görevleri vardır [55].

1.5. Enzimatik Esmerleşme

Enzimatik esmerleşme, bitkisel dokulardaki fenoliklerin, polifenoloksidaz (PPO) enzimlerinin katalizörlüğünde ve hava oksijeni eşliğinde hızla oksidasyona uğrayarak, kahve-siyah renkte fenolik polimerlere dönüştürülmesi olarak tanımlanır. Fenolik bileşiklerin yer aldığı her bitkisel dokuda çoğunlukla PPO enzimi de bulunur. PPO (EC 1.10.3.1; 1,2-benzendiol: oksijen oksidoredüktaz) tirozinaz, polifenolaz, fenolaz, kateşol oksidaz, krezolaz veya kateşolaz olarak da bilinen ve aktif merkezlerinde bakır içeren oksidoredüktaz sınıfı enzimlerdir [2, 56].

Sağlam bir bitki hücresinde fenolik bileşikler vakuollerde bulunurken, buna karşın PPO enzimlerin bir kısmı sitoplazmada serbest halde, büyük bir kısmı ise hücrenin tilakoid ve kloroplast gibi unsurlarında membranlara bağlı bulunarak birbirleri ile temas etmezler [2]. Ancak bitkisel ürünlerin toplanması ve depolanması sırasında basınç, darbe, donma ve preslenme gibi mekanik etkiler veya bunların herhangi bir ürüne dönüştürülmesi için uygulanan kesme, doğrama, parçalama, rendeleme ve ezme gibi işlemlerle bitki dokusu hasar gördüğünde, fenolik bileşikler ve PPO enzimleri temas olanağı bulur [57-58]. PPO enzimi, oksijen varlığında iki farklı reaksiyonu katalize eder: monofenollerin o-difenollere hidroksilasyonu (krezolaz aktivitesi) ve o-difenollerin o-kinonlara oksidasyonudur (kateşolaz aktivitesi) (Şekil 1.8). Oluşan o-kinon veya o-difenol hidroksilasyona uğrayarak trihidroksi benzenleri (THB) oluştururlar. THB'ler ise, yeniden o-kinonlarla tepkimeye girerek hidrokinonları oluştururlar. Bu bileşikler polimerize olarak kırmızı-kahverenkli polimerlere veya esmer renkli melaninlere dönüşürler [2].



Şekil 1.8. Polifenoloksidazın krezolaz ve kateşolaz aktiviteleri [58].

Bitkisel dokularda bulunan fenolikler, oksidoredüktaz sınıfı bir enzim olan peroksidaz (EC 1.11.1.7) tarafından da oksidasyona uğrarlar. Peroksidaz, o-difenollerini hidrojen peroksit eşliğinde kinonlara oksidasyonunu katalize eder. Bu enzimin aktivitesinin meyve ve sebzelerin esmerleşmesine katkısının, endojen hidrojen peroksidin sınırlı veya yetersiz olması nedeniyle çok az olduğu düşünülmektedir. Bazı bulgulara göre ise peroksidaz, PPO enzimi tarafından üretilen hidrojen peroksit ve kinonları kullanarak fenollerin parçalanmasını arttırmaktadır [56]. Fakat, enzimatik esmerleşme reaksiyonlarının meydana gelmesinde özellikle PPO enziminin rol oynadığı çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir [1].

PPO' nun katalitik etkisinin, meyve ve sebzelerin kalitesi üzerine etkisi büyüktür. Bu ürünlerin rengini, lezzetini, tekstürünü ve besin değerini değiştirir. PPO etkisi elma, avokado, muz, salatalık, üzüm, ananas, mango, şeftali, kayısı, patlıcan, lahana, marul, patates ve sofracı pancarı gibi meyve ve sebze gibi ürünlerde rengin bozulmasına (esmerleşme) neden olduğundan istenmez [56]. Bununla birlikte, siyah çay, siyah kuru üzüm, siyah incir, kahve ve kakao gibi ürünlerde esmerleşme kaliteyi artırdığı için istenir [1]. Kuru üzüm ve incirin arzu edilen renkleri ile kakao ve kahvenin renk ve aromasının oluşumu enzimatik esmerleşme reaksiyonu ile sağlanır [58]. Siyah çayın renk, tat ve aromasının oluşumunda enzimatik esmerleşme etkilidir. Taze çay yaprağında kıvrırma prosesi ile hücrelerin parçalanması sonucu hücreden çıkan polifenollerin oksijenli ortamda polifenoloksidaz ve peroksidaz enzimleri ile reaksiyonu sonucu karakteristik siyah çay aromasının oluşumu sağlanır. Enzimatik reaksiyonlarda arzu edilen tat ve aromanın oluşumu için, sıcaklık ve bağıl nemin, enzim aktivitesini maksimum düzeye çıkaracak şekilde ayarlanması ve bu seviyede tutulması gerekir. Genelde oksidasyon, 26°C ile 28 °C arasında sıcaklıklarda ve % 90-95 bağıl nemde gerçekleşmektedir. Oksidasyonda başlıca rol oynayan fenolikler kateşinlerdir (Kateşin (C), Epikateşin (EC), Epikateşin Gallat (ECG), Gallokateşin (GC), Epigallokateşin (EGC) ve Epigallokateşin Gallat (EGCG)). Kateşinler polifenol oksidazın katalizörlüğü ile kinonlara dönüşürler ve kinonlar daha sonra daha büyük molekül yapısına sahip theaflavin (TF)'leri oluştururlar. TF'ler sarımsı kahverengi bir renk verirler. Çay deminin burukluğu, parlaklığı ve canlılığı üzerinde de önemli etki gösterirler. Tearubigin (TR)'ler ise hem kateşinlerin PPO enzimi katalizörlüğünde oksidasyonundan hem de TF'lerden türerler. TR'ler kahverengi-kırmızımsı renktedir ve

çay deminin rengine önemli katkıda bulunurlar. Ayrıca TR'ler çayda dolgunluk oluşumunu sağlarlar [3, 59, 60].

PPO'nun substratları fenolik bileşiklerdir ve bu bileşiklerden birkaçı substrat olarak görev yaparlar. Çeşitli bitki kaynaklarında bulunan doğal fenollerin türleri ve konsantrasyonları büyük ölçüde farklılık gösterir. Örneğin, çayda kateşin miktarı fazla iken elmada klorojenik asit miktarı fazladır. Ayrıca elmadaki esmerleşmenin ana etkeninin, kateşin olduğu bildirilmiştir [56]. Farklı bitki kaynaklarından elde edilen PPO'nun özelliklerinden bazıları Tablo 1.3' te verilmektedir [61]

Tablo 1.3. Farklı meyve ve sebze kaynaklarından elde edilen PPO'nun kinetik parametreleri

Kaynak	Yüksek affiniteli substratlar	Km (mM)	Maksimum pH	Maksimum sıcaklık (°C)
Enginar	Kateşol 4-Metilkateşol,	10.2 12.4	6.0	25
Patlıcan	Kateşol	8.7	7.0	20
Muz (Anamur)	Kateşol	8.5	7.0	30
Karayemiş	DHPPA	-	5.0	50
Üzüm (Victoria)	Klorojenik Asit Kateşin	3.2 4.3	5.0	25
Mango	Kateşol Pirogallol	6.3 47.8	7.0	30
Muşmula	DHPPA Epikateşin L-DOPA	1.9 4.0 4.7	7.5	20
Kekik	Pirogallol 4-Metilkateşol Kateşol	5.5 9.8 18.0	6.5	35
Dut	Pirogallol 4-Metilkateşol, Kateşol	1.2 9.2 19.8	7.5	20
Nane(Peppermint)	Kateşol	6.3	7.0	30
Çilek	Kateşol	5.9	5.0	25
Trabzon hurması	Kateşol 4-Metilkateşol	12.4 14.6	7.5	20-40

Enzimatik esmerleşme, örneğin polifenol oksidaz aktivitesi, biyokimyasal indeksli esmerleşme göstergeleri veya yüzey rengi gibi fiziksel göstergeler kullanılarak ölçülmektedir. Renge dayalı fiziksel göstergelerde, en çok kullanılan $L^*a^*b^*$ veya CIELab renk modelleridir. Meyvelerde özellikle esmerleşme göstergesi olarak L^* değeri kullanılmaktadır. L^* değeri parlaklığı veya açıklığı göstermekte olup, 0 ile 100 arasındadır, a (yeşilden kırmızıya veya kırmızılık) ve b (maviden sarıya veya sarılık) değerleri ise -120 ile +120 arasında değişen değerlere sahip renklerle ilgili iki bileşendir. Son yıllarda, Leon et al. [62] imaj analizinde kullanılacak RGB uzayından $L^*a^*b^*$ 'deki rengi ölçmek için bir bilgisayar görme sistemi (CVS) önermiş ve bu, bazı çalışmalarda kullanılmıştır [63]. Yoruk et al. [64] muz ve elma dilimleri üzerinde oksalik asit çözeltisinin esmerleşmeyi önleyici potansiyelini bilgisayarlı görme sistemi ile analiz etmişlerdir. Bu çalışmada, yakalanan imajların L değeri kullanılarak kahverengileşme indeksi (Browning index) geliştirilmiştir. Kahverengileşme indeksi ile esmerleşmedeki değişimler belirlenmiştir.

1.6. Kurutma

Kurutma işleminin temel amacı, gıdanın nem içeriği ve su aktivitesini, güvenli sınırlara düşürerek raf ömrünün uzamasını sağlamaktır. Nem içeriği düşürülmüş gıdalar, kimyasal, enzimatik ve mikrobiyolojik bozulmalara karşı daha dayanıklı duruma gelir. Kurutma ile gıdalar besin öğeleri bakımından yoğunlaştırılmış bir nitelik kazanır. Ayrıca hammadde, ara madde ve mamul maddeye istenilen fiziksel ve kimyasal özellikleri vermek amacıyla da gıdalar kurutulur. Bu sebeple kurutma yöntemi yaygın olarak sebzeler, meyveler, baharatlar, bitkiler ve diğer ürünler gibi gıda maddelerinin bünyesinde bulunan suyun uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır [65, 66, 67].

Kurutma, katı, yarı katı veya sıvı maddelerden nem içeriği daha az ürünlere dönüştüren eş zamanlı ısı ve kütle transfer işlemidir. Kurutma sırasında faz geçişi olan, kimyasal reaksiyonlu, reaksiyonsuz gözenekli, gözeneksiz bir maddeden, ısı, kütle ve momentum transferi gerçekleştiği için kurutma mekanizmasının tanımlanması ve modellenmesi zor olmaktadır [66].

Baharatlar ve bitkiler güneşte kurutma, sıcak havayla kurutma, dondurarak kurutma ve mikrodalga kurutma gibi geleneksel kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmaktadır. Fakat kullanılan bu kurutma yöntemlerinin çoğunun kuruma süresinin uzun olması,

kurutulmuş ürünün istenmeyen kalitede (rengi, tadı, kokusu, bileşimi gibi fiziksel ve yapısal özellikleri) ve özellikte olmasına neden olurlar. Baharatlar ve bitkiler ısıya duyarlıdır. Bu yüzden bunlar düşük sıcaklıklarda kurutulmalıdır. Bu nedenle son yıllarda kurutma verimini arttırmak (kuruma süresi, kuruma hızı ve enerji tüketimi gibi) ve yüksek kalitede ürünler elde etmek için yeni kurutma yöntemleri geliştirilmiştir [66, 68].

1.6.1. Kurutma Olayı ve Hızı

Bir ürünün kurutulmasında Şekil 1.9-1.10'da gösterilen kuruma eğrilerinden görüldüğü üzere, genel olarak 3 evre vardır. Bunlar ısınma evresi, sabit kuruma hızı evresi ve azalan kuruma hızı evresidir.

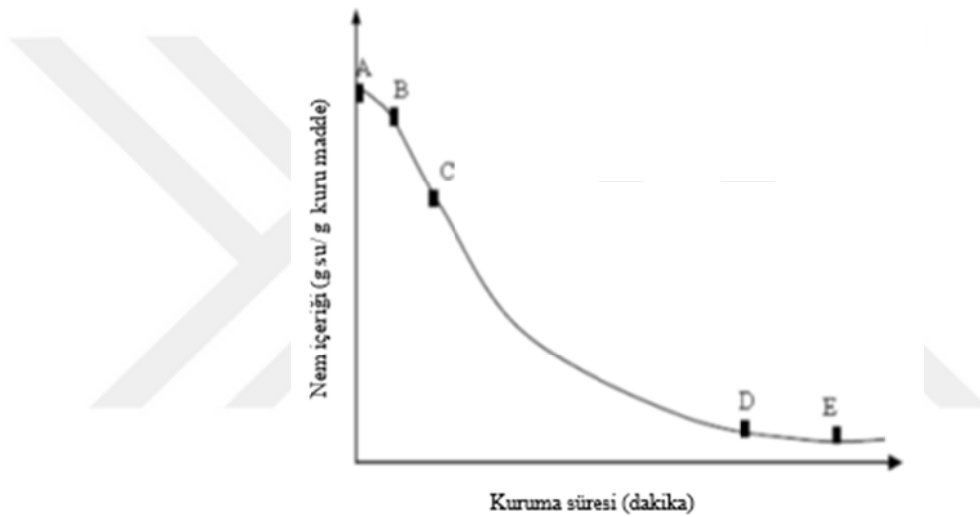
Şekil 1.9-1.10'da AB ile gösterilen ısınma evresinde ürünün yüzey sıcaklığı, denge değerine ulaşır. Bu ısınma evresinde kuruma hızında bir artış görülmektedir. Bu evre, tüm kuruma sürecinin çok az bir kısmını oluşturduğundan genellikle ihmal edilmektedir [69].

Sabit kuruma hızı evresi, Şekil 1.9-1.10' da görülen BC bölgesidir. Bu evrede, ürünün yüzeyinde ıslak bir film tabakası mevcuttur. Bu ıslak film tabakası, ürün içerisinde bulunan tamamen bağlı olmayan sudur ve kuruma olayı açısından herhangi bir materyalin yüzeyindeki serbest haldeki su nazarıyla bakılabilir. Ürünün yüzeyinden kuruma ile su uzaklaştıkça difüzyon ve kapiler kuvvetler ile ürünün yüzeyine su iletilir. Yüzeyden buharlaşmayla olan kuruma hızı ile ürün içerisinden gelen suyun difüzyon hızı birbirine eşittir. Bu evrede, ürünün yüzeyinden birim zamanda, sabit miktarda su buharı uzaklaşmaktadır. Ürün içerisindeki su miktarı azaldıkça, geride kalan suyu materyale bağlayan güç artmaktadır. Bu nedenle, ürün içerisindeki su oranı belli bir düzeye inince, sabit kuruma hızı evresi sona ermektedir [2, 69].

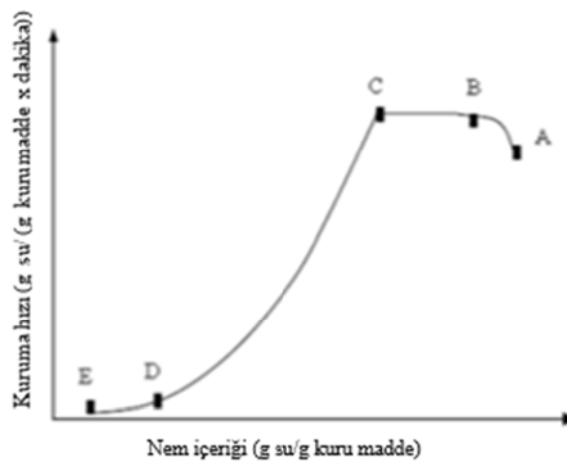
Azalan kuruma hızı evresi Şekil 1.9-1.10'da görüldüğü üzere, birinci (CD bölgesi) ve ikinci (ED bölgesi) olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Yüzeyden buharlaşma ile olan kuruma hızının ürün içerisinden gelen suyun difüzyon hızını aşması durumunda, kuruma hızı düşmeye başlamaktadır. Bu sıradaki nem düzeyi kritik nem olarak adlandırılmıştır. Burada C noktası, kritik nem düzeyini simgeler ve bu kritik nokta yüzeyde ilk kuru noktanın oluştuğu ve azalan hızda kuruma evresine girildiğini gösterir.

Kritik nemden itibaren ürünün yüzey sıcaklığı yükselir ve sıcak havanın kuru termometre sıcaklığına yaklaşır. Bu evrede ürün yüzeyinde ıslak alan miktarında sürekli azalma meydana gelir. Kuruma hızı CD bölgesi boyunca sürekli azalmaktadır [37, 69].

D noktasına gelindiğinde ürünün açık yüzeyi tamamen kuru durumdadır ve bu noktadan itibaren ikinci bir azalan hız evresi başlar. Buharlaşma ürünün içinde başlar ve buharlaşma ısı, üründen geçerek buharlaşma bölgesine aktarılır. Kuruma E noktasına gelindiğinde sona erer. E noktasında kurutucu havanın nemi ile kurumuş ürünün içerisindeki nem tam bir dengeye gelmiştir [37].



Şekil 1.9. Ürünün nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi [37].



Şekil 1.10. Kuruma hızının ürünün nem içeriği ile değişimi [37].

1.6.2. Kurutmanın Matematiksel Modellenmesi

Kurutma işlemlerinde kullanılan matematik modellemeler yeni kurutma sistemlerinin tasarımında veya geliştirilmesinin yanı sıra gıda maddeleri için en uygun kurutma koşullarının belirlenmesinde de kullanılmaktadır. Modellemeler, kurutma koşullarını yeterince tanımlayabilecek bir dizi matematiksel eşitliklerden oluşur. Matematiksel eşitliklerin çözümü, kurutma işleminde sadece başlangıç koşullarına dayalı olarak zamanın fonksiyonu olan herhangi bir noktada parametrelerin belirlenmesine olanak sağlamalıdır. Matematiksel modellerde kullanılan transfer katsayısı, kuruma sabitleri gibi parametrelerin tümü, kurutma koşullarına (kurutma havası, sıcaklığı ve hızı gibi) bağlıdır [70].

Gıda maddeleri için en uygun kurutma koşullarının belirlenmesinde en çok kullanılan model “ince tabaka kurutma modeli”dir. İnce tabaka kurutma modelinde, örnek parçacıklar veya dilimler tek bir kat şekli verilerek kurutulur ve ince yapısı nedeniyle sıcaklık dağılımının homojen olduğu kabul edilir. İnce tabaka kurutma modeli kullanım kolaylığı ve diğer modellerden farklı olarak daha az veri gereksinimiyle son yıllarda birçok kurutma çalışmasında kullanılmıştır [71, 72].

İnce tabaka kurutma modeli teorik, yarı teorik ve deneysel olarak üç kategoriye ayrılır. Teorik modeller nem transferinde içsel direnci dikkate alırken, yarı teorik ve amprik modeller ise nem transferinde ürün ve hava arasındaki dış direnci dikkate almaktadır. En çok kullanılan teorik kurutma modeli Fick’in ikinci yasasından türetilmiştir. Teorik modeller ürünün kuruma davranışlarını, net bir şekilde açıklar. Bu modeller her türlü ürün ve koşul için kullanılabilmektedir ancak önemli hatalara neden olan bir çok varsayım içermektedir [71, 73].

Azalan kuruma evresinde, kuruma hızı, etkin difüzyon katsayısı (D_{eff}) ile tarif edilebilir. D_{eff} ’in belirlenmesinde Fick’in ikinci difüzyon denklemi yaygın olarak kullanılmaktadır (Denklem 4).

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{eff} \nabla^2 M \quad (\text{Denklem 4})$$

Denklem 4'te verilen difüzyon denklemi, azalan kuruma periyodundan sonsuz levha yaklaşımı ile, difüzyon katsayısı ve sıcaklık sabit alınarak ve dış direnç ihmal edilerek çözümlerse, denklem 5 elde edilir.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left(-\frac{(2n-1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (\text{Denklem 5})$$

D_{eff} : etkin nem difüzyon katsayısı (m^2/s), L : levha kalınlığı (m), t : kuruma zamanı (s), n : pozitif tam sayı, M_t : t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde), M_0 : başlangıçtaki nem içeriği (g su/g kuru madde), M_e : denge nem içeriği (g su/g kuru madde)' dir.

Uzun kurutma zamanları için denklem 5 denklem 6'ya basitleştirilebilir. Deneysel MR değerlerinin logaritmasını zamana karşı çizerek, eğrinin eğimi (k) grafikten elde edildikten sonra, D_{eff} katsayısı denklem 7'den tahmin edilebilir [74, 75].

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (\text{Denklem 6})$$

$$k = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (\text{Denklem 7})$$

Geçmiş çalışmalarda, Fick'in ikinci yasasının genel seri çözümlerini basitleştirerek, bir çok model yöntemi türetilmiştir (Tablo 1.4). Teorik ince tabaka modelleriyle karşılaştırıldığında çözümleri kısa zaman gerektirir. Örnek geometrisi, kütle yayılım ve iletkenliği ile ilgili varsayımlar gerektirmezler [76]. Yarı teorik ince tabaka modelleri, Henderson ve Pabis modeli, Lewis modeli, Page modeli, modifiye Page modeli [72] Newton modeli, logaritmik model, iki terimli model, iki terimli exponansiyel model ve Midilli-Küçük modeli gibi modellerdir [77] (Tablo 1.4).

Deneysel modellerde ürünün nem içeriği ve kuruma süresi arasında doğrudan bir ilişki elde edilir. Bu modeller, kurutma işleminin temellerini ihmal eder ve fiziksel anlamı olmayan parametrelere sahiptir [76]. Bu sebeple deneysel modeller deney koşullarına ait kuruma eğrisinin oluşmasına yardımcı olsalar da kurutma işlemi sırasında gerçekleşen önemli süreçler hakkında kesin bir bilgi vermezler. Thompson modeli, Wangh ve Singh modeli gibi modeller deneysel modellere örnektir [72] (Tablo 1.4).

Tablo 1.4. Yarı teorik ve deneysel modeller ve denklemleri

Model adı	Model denklemi	Kaynak
Lewis (Newton)	$MR = \exp(-kt)$	[72]
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	[78]
Modified Page	$MR = \exp[-(kt)^n]$	[79]
Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	[80]
İki terimli	$MR = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	[81]
İki terimli exponansiyel	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	[82]
Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + b$	[75]
Midilli–Kucuk	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	[83]
Wangh ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	[84]
Thompson	$t = a \ln(MR) + b [\ln(MR)]^2$	[85]

Tablo 1.4’te verilen modellerdeki ‘MR’ terimi boyutsuz nem oranı iken n , a , k , b model katsayıları ve ‘ t ’ kuruma süresidir.

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

2.1.1. Bitki Materyali

Taze nane (*Mentha spicata* L.) yaprakları Kayseri’de yerel bir marketten temin edilmiştir. Analizler gerçekleştirilene kadar, en fazla 4 gün süreyle kapalı plastik torbalarda +4 °C’de buzdolabında muhafaza edilmiştir.

2.1.2. Kimyasallar

Bu tez çalışmasında kullanılan kimyasal malzemeler aracı firmalar vasıtasıyla temin edilmiştir.

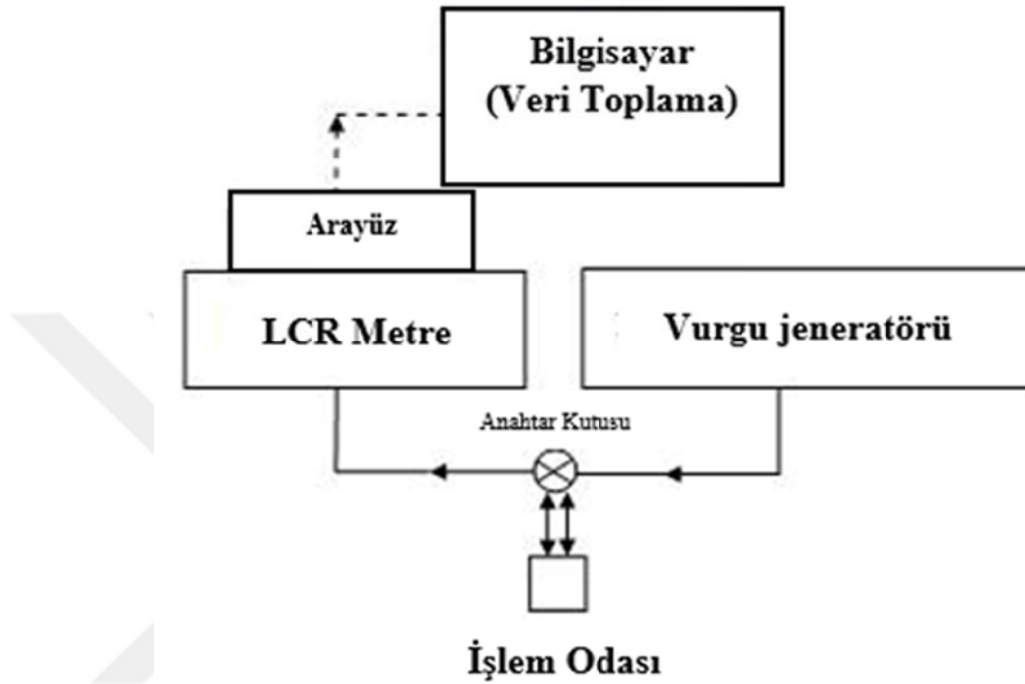
Kullanılan kimyasallar: Potasyum sülfat (Salihli Tarım), magnezyum klorür (Akbel Kimya).

2.2. Yöntem

2.2.1. VEA Uygulama ve Empedans Ölçüm Düzeneği

VEA uygulaması ve anlık empedans ölçümü için aşağıda şekli verilen entegre bir sistem kullanılmıştır (Şekil 2.1). VEA uygulaması vurgu jeneratörü (ECM 830, Harvard aparatı, ABD) kullanılarak gerçekleştirilip, işlem odacığındaki örneğin empedansı LCR metre (Hioki 3532-50, Japonya) kullanılarak ölçülmüştür. Ölçülen anlık empedans verileri, LCR metreye bağlı bir ara yüz (Hioki RS-233C,9593-01, Japonya) vasıtasıyla bilgisayara aktarılıp, yazılım programı kullanılarak (Hioki LCR versiyon 4.03.E, Japonya) kaydedilmiştir. Örneklerin yerleştirilip sisteme bağlandığı işlem odacığı, iki adet paralel paslanmaz çelikten imal edilmiş olup, elektrotların aralığı $l=0,34$ cm,

elektrot uzunluğu 13,8 cm, bir elektrodun sıvıya temas eden yüzey alanı $A=48,3 \text{ cm}^2$ dir. Sistemde VEA uygulaması sonrası empedans ölçümüne geğiş, switch-anahtar pozisyonu değiştirerek sağlanmıştır.



şekil 2.1. Deneylerde kullanılan VEA uygulama ve anlık empedans ölçüm düzeneği



şekil 2.2. İşlem odası

2.2.1.1. Örnek Hazırlama

Taze nane yapraklarından 0,3 g (2 adet yaprak) alınıp yaklaşık 30 saniye distile su ile yıkanmıştır. Sonra işlem odası içerisine 16,75 ml distile su doldurulmuştur. Ardından örnekler elektrotlara paralel olacak şekilde elektrotlar arasına yerleştirilmiştir. Örneklerin tamamen sıvı içine batması sağlanıp buharlaşma olmaması için üstü kapatıldıktan sonra, VEA uygulaması ve empedans ölçümü için hazır hale getirilmiştir. Bütün denemelerde, aynı miktarda örnek ve aynı doku/su oranı kullanılmıştır.

2.2.1.2. VEA Uygulaması ve Empedans Ölçümü

Kısım 2.2.1.1'deki gibi hazırlanan örnek, Şekil 2.1'deki entegre sisteme bağlandıktan sonra, LCR metre çalıştırılıp 2 dakika boyunca 1 dakikada bir mutlak empedans $|Z_{(t)}(t)|$, sabit 2 kHz frekansta ölçülüp, ara yüzden bilgisayara aktarılmıştır. Ardından, jeneratörden elektriksel parametreler ayarlanarak VEA uygulanmış ve sonrasında yaklaşık 1 saat boyunca empedans her dakika ölçülüp kaydedilmiştir. Bütün empedans ölçümleri ve VEA uygulamaları sabit sıcaklıkta (26-27°C) oda ve su içinde gerçekleştirilmiştir. Her deney en az 3 kez tekrarlanmıştır. Hiçbir işlem görmemiş ve dondurulup çözülmüş nane örneklerinde, empedansı aynı şartlarda ölçülmüştür. Dondurulup çözülmüş örneklerin empedans ölçümü için, öncelikle örnekler 2-3 hafta boyunca -20 °C'de bekletilmiş sonra oda sıcaklığında yaklaşık 1 dakika tutularak çözündürülüp, distile su içerisine alınmış (sabit doku/su oranında) ve 90 dakika boyunca empedansı ölçülmüştür.

2.2.1.3. VEA Uygulama Protokolü

VEA parametre veya değişken büyüklerinin (elektriksel alan şiddeti, vurgu genişliği, vurgu sayısı, vurgu arası zaman veya frekans) etkilerini belirlemede, Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'de verilen protokoller kullanılmıştır. Protokol tasarımı, iki farklı elektrik alan seviyesi, biri yüksek (1.43 kV/cm), diğeri düşük (0.294 kV/cm veya 0.147 kV/cm) seçilerek, bu seviyelerde vurgu sayısının, vurgular arası zamanın ve vurgu genişliğinin etkisini çalışmak hedeflenmiştir (Tablo 2.1 ve 2.2). Tasarımda yüksek elektrik alan şiddeti kullanıldığında, nispeten düşük vurgu genişlikleri seçilmiş (0.2ms, 2ms, 10ms), düşük elektrik alan şiddeti kullanıldığında ise nispeten yüksek vurgu genişliği seçilmiştir (100ms).

Tablo 2.1. Yüksek elektrik alan (1.43 kV/cm) ve düşük elektrik alan (0.294 kV/cm) şiddetlerinde vurgu sayısı ve genişlik etkisini çalışmak için tasarım (vurgu aralığı sabit;1s)

Protokol (P)	Elektrik alan şiddeti (E)	Vurgu genişliği (pl)	Vurgu aralığı (pi)	Vurgu sayısı (pn)
P1	1.43 kV/cm	0.2ms	1s	50
P2				1485
P3		2ms		99
P4				160
P5				201
P5		10ms		10
P7				30
P8				50
P9	0.294 kV/cm	100ms		18
P10				53
P11				70

Tablo 2.2. Yüksek elektrik alan (1.43 kV/cm) ve düşük elektrik alan (0.147 kV/cm) şiddetlerinde vurgu aralık(frekans) ve genişlik etkisini çalışmak için tasarım (vurgu sayısı sabit;99, 10)

Protokol (P)	Elektrik alan şiddeti (E)	Vurgu genişliği (pl)	Vurgu aralığı (pi)	Vurgu sayısı (pn)
P12	1.43 kV/cm	2ms	1	99
P13			5	
P14			10	
P15		10ms	1	10
P16			5	
P17			10	
P18	0.147 kV/cm	100ms	1	99
P19			5	
P20			10	

2.2.1.4. Doku Parçalanma Oranının Tayini

Farklı VEA (P1'den P20'ye) uygulamaları sonucu oluşan doku (veya hücre) parçalanma oranları, elektriksel iletkenlik değişimlerine dayanan doku parçalanma indeksinden (Z_p) belirlenmiştir. Anlık elektriksel iletkenlik değerleri $\sigma(t)$, kısım 2.2.1.2'de anlık ölçülen empedans değerlerini, denklem 8'de kullanarak hesap edilmiştir. Bundan sonra, denklem 9 kullanılarak doku parçalanma indeksi (Z_p) tahmin edilmiştir [27].

$$\sigma(t) = 1 / [|Z_{2kHz}(t)|A] \quad (\text{Denklem 8})$$

l : elektrotlar arası mesafe (cm), $|Z_{2kHz}(t)|$: 2kHz' de t anındaki mutlak empedans (Ω), A : elektrotun yüzey alanı (cm^2).

$$Z_p = \frac{\sigma(60) - \sigma_s}{\sigma_f(90) - \sigma_s} \times 100 \quad (\text{Denklem 9})$$

$\sigma(60)$: VEA uygulamasından 60 dakika sonra doku+distile suyun elektriksel iletkenliği (mS/cm), σ_s : distile suyun elektriksel iletkenliği (mS/cm), $\sigma_f(90)$: dondurulup çözülmüş doku+distile suyun 90 dakika sonraki elektriksel iletkenliği (mS/cm).

2.2.1.5. Enerji Sarfiyatlarının Hesaplanması

Bir vurgu başına düşen spesifik enerji sarfiyatı, (Q_{pef} , J/(kg.vurgu)) denklem 10'dan hareketle belirlenmiştir. Toplam enerji sarfiyatı ise Q_{pef} 'in vurgu sayısı ile çarpımı yaklaşımından Fincan [27]'teki yöntemle göre tahmin edilmiştir.

$$Q_{\text{pef}} = \frac{E^2}{\rho} \int_0^t \sigma(t) dt \approx \frac{E^2 \sigma_{\text{maks}} \tau}{\rho} \quad (\text{Denklem 10})$$

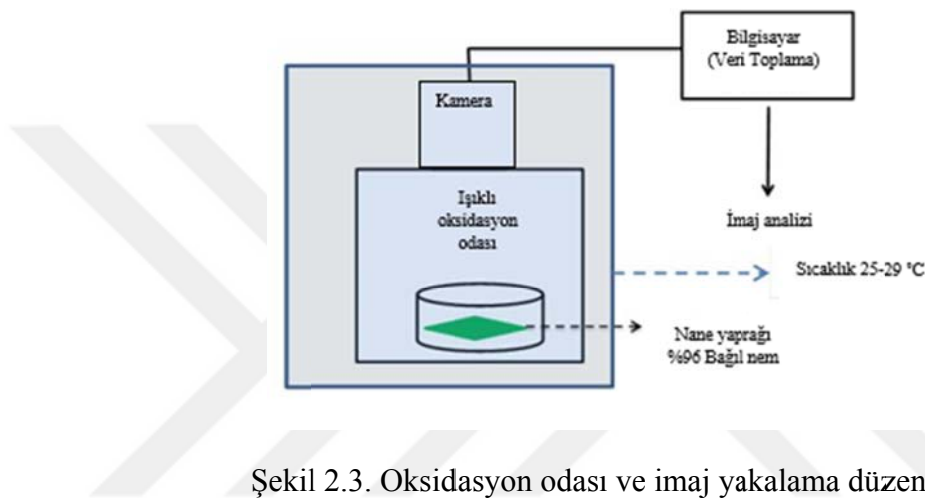
E : elektrik alan şiddeti (V/cm), ρ : kütle yoğunluğu (kg/m^3), σ_{maks} : τ (s) genişliğindeki bir vurgudan sonra gözlenen maksimum elektriksel iletkenlik (S/m).

2.2.2. Enzimatik Esmerleşme Üzerine Etkinin Analizi

Çalışmanın bu kısmında, farklı VEA şiddetlerinin (P1'den P20'ye) esmerleşme üzerine etkisi imaj analizi yöntemi ile belirlenmiştir. İmajların alınmasında, Mery ve Pedreschi [86] tarafından geliştirilene benzer bir kamera ile imaj yakalama sistemi kullanılmıştır.

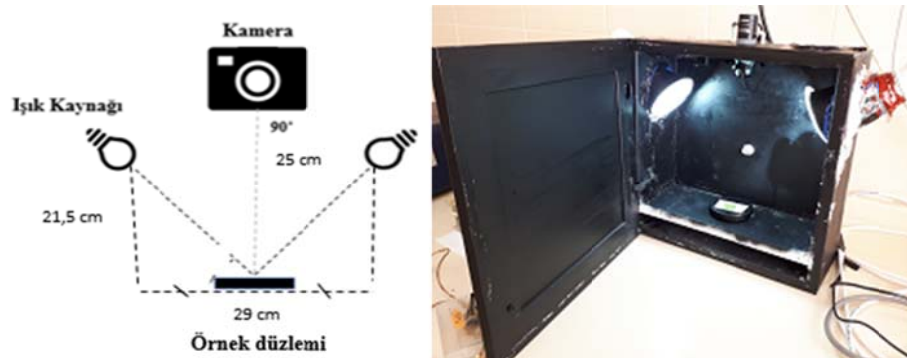
2.2.2.1. İmaj Yakalama Düzenegi

Örnek imajlarının yerinde (in-situ) anlık (on-line) yakalanması için Şekil 2.3'te şematize edilen entegre bir sistem kullanılmıştır. Sistem bir oksidasyon odası, buna eklenen bir kamera (Plugable 250x Digital USB Microscope, ABD), kameradan bilgisayara veri aktarımını sağlayan bir USB kablosu, bilgisayarda imajların kaydı için bir yazılım programı (Digital Viewer v3.1.07, Plugable Technologies) ve örnek kabından oluşmaktadır.



Şekil 2.3. Oksidasyon odası ve imaj yakalama düzenegi

Oksidasyon odası imal edilerek oluşturulmuştur. Aydınlatma için kabinin sağ ve sol tarafında iki adet gün ışığı özelliğinde, iki adet florasan lamba (Exo Terra PT2190, Naturel Light, 13W, 6700 K, Renk Geri Dönüşüm indeksi 98) örneğin 21,5 cm üzerinde konumlandırılmıştır. Lambalardan homojen bir ışık dağılımını sağlamak için, lambaların önüne diffüzörler yerleştirilmiştir. Oda, aydınlatıcılar ve kameradan gelen ışığın yansımalarını önlemek için siyah mat boyayla boyanmıştır. İmajların yakalanmasında kullanılan kamera örnekten 25 cm mesafede dikey olacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Oksidasyon odası ve imaj yakalama düzenegi

2.2.2.2. Örnek Hazırlama

İlk önce, işlem odacığındaki sudan çıkarılan örneklerin üzerindeki su, bir peçete ile giderilmiştir. Sonra bir petri kabı (örnek kabı) içerisine yerleştirilen örnekler, oksidasyon odasına alınıp imajları yakalama işlemi için hazır hale gelmiştir. Örnek kabı, sorunsuz imaj yakalama işlemi için tasarlanarak imal edilmiştir. Bunun için petri kabı, görüntüleme kısmı hariç, siyah mat boya ile boyanmıştır. Görüntüleme kısmı, petri ortasına beyaz renkten imal edilerek, zeminden 4 mm yükseltilmiştir. Bu zeminin altına imaj yakalama boyunca örnekteki şekil değişikliklerini önlemek için % 96 bağıl nem sağlayan doymuş potasyum sülfat çözeltisi kullanılmıştır (Şekil 2.5). Sonra işlem görmüş örnekler, zemin üzerine yerleştirilerek petrinin kapağı kapatılıp imaj yakalama işlemi başlatılmıştır.



Şekil 2.5. Örnek kabı

2.2.2.3. İmajların Yakalanması

İlk önce, Kısım 2.2.2.1’de oksidasyon odasındaki lambalar yaklaşık 30 dakika çalıştırılıp, daha sonra bilgisayar programından (Digital Viewer v3.1.07, Plugable Technologies) imaj çözünürlüğü 1200x1600 piksel olarak ayarlanmıştır. Her imaj yakalama işleminden önce, “beyaz denge” (White balance) ayarı yapılmıştır. Beyaz denge ayarı, örnek yerine beyaz mat bir kağıt yerleştirilerek yapılmıştır (Beyaz dengesi 5200, Aydınlık 0, Karşıtlık 64, Ton 0, Doyma 64, Netlik 1, Gama 100, Elektrik şebekesi frekansı 50 Hz, Pozlandırma -5, Yetersiz ışık dengelemesi kapalı).

Örnekler üzerindeki suyun peçete ile giderilmesiyle, örnekler örnek kabındaki beyaz zemine yerleştirilip kapağı kapatılmış ve imaj yakalama işlemine başlanmıştır. İmajlar, bilgisayardaki yazılım kullanılarak, başlangıçtan 60 dakikaya kadar her dakika RGB renk skalası ve 1200x1600 piksel çözünürlüğünde yakalanıp kaydedilmiştir.

2.2.2.4. İmajların İşlenmesi (Processing)

Esmerleşmedeki değişimler, Yoruk et al. [64] kullandığına benzer bir kahverengileşme indeksi (Browning index) kullanılarak çalışılmıştır (Denklem 11).

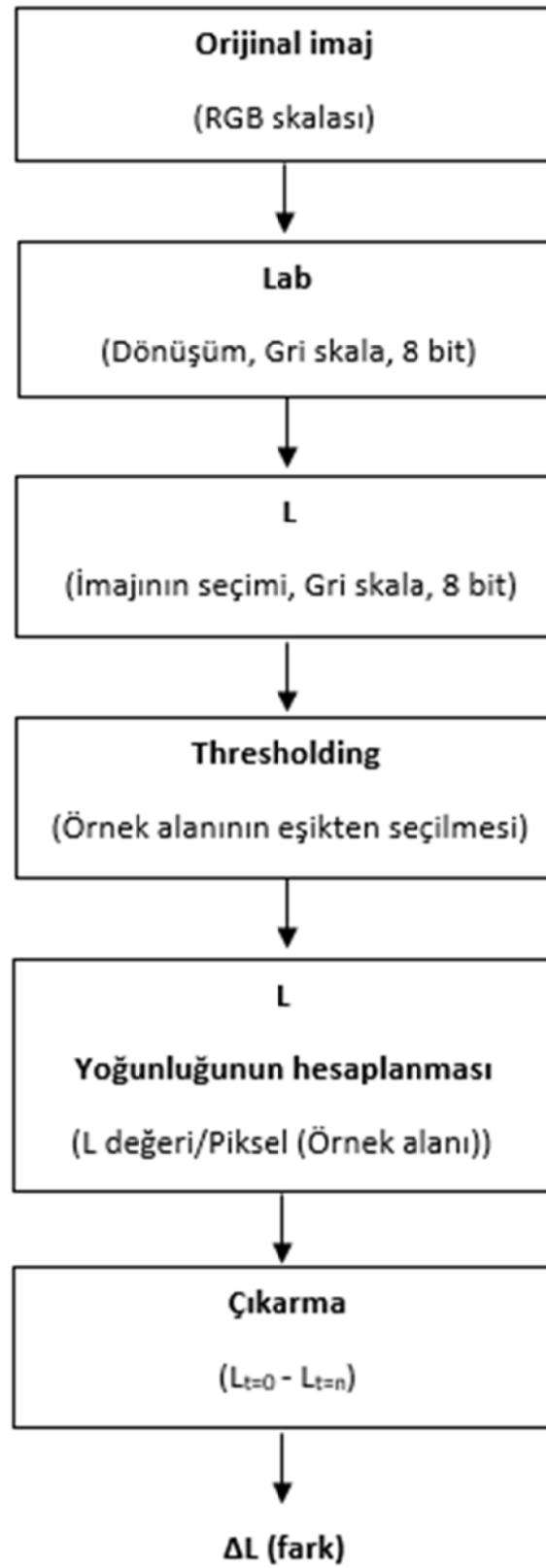
$$KI = \frac{\Delta L_{\text{işlem görmüş}}}{\Delta L_{\text{dondurulup çözülüş}}} \times 100 \quad (\text{Denklem 11})$$

$$\Delta L_{\text{işlem görmüş}} = L_0 - L_t \quad (\text{Denklem 12})$$

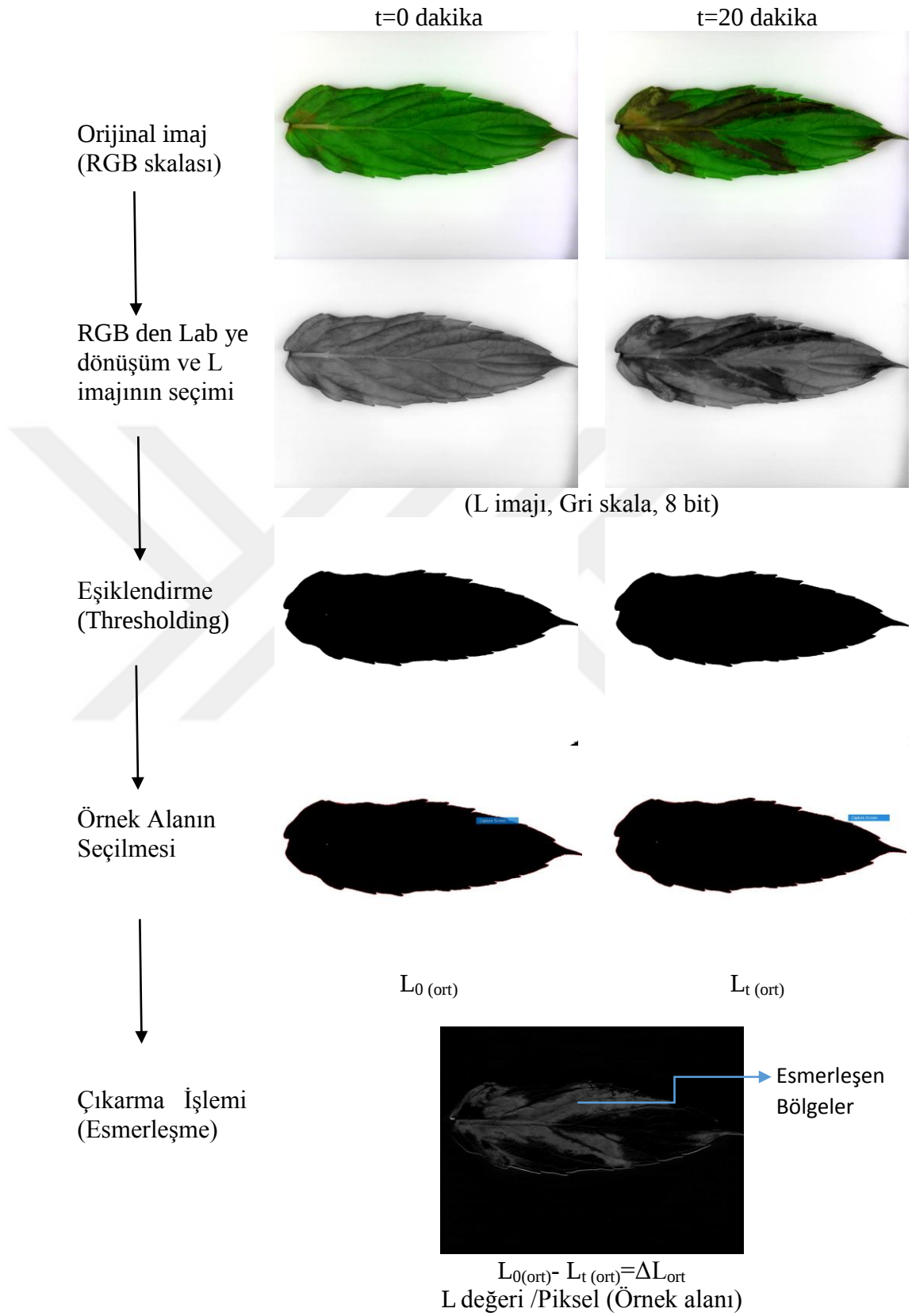
$$\Delta L_{\text{dondurulup çözülüş}} = L_0 - L_{\text{son}} \quad (\text{Denklem 13})$$

KI: kahverengileşme indeksi, $\Delta L_{\text{işlem görmüş}}$: işlem görmüş örneğin başlangıç yoğunluk değeri (L_0) ile farklı zamanlardaki yoğunluk değerleri (L_t) arasındaki fark, $\Delta L_{\text{dondurulup çözülüş}}$: dondurulup çözülüş örneklerin başlangıç yoğunluk değeri (L_0) ile son yoğunluk değerleri ($L_{t=\text{son}}$) arasındaki farkların ortalaması.

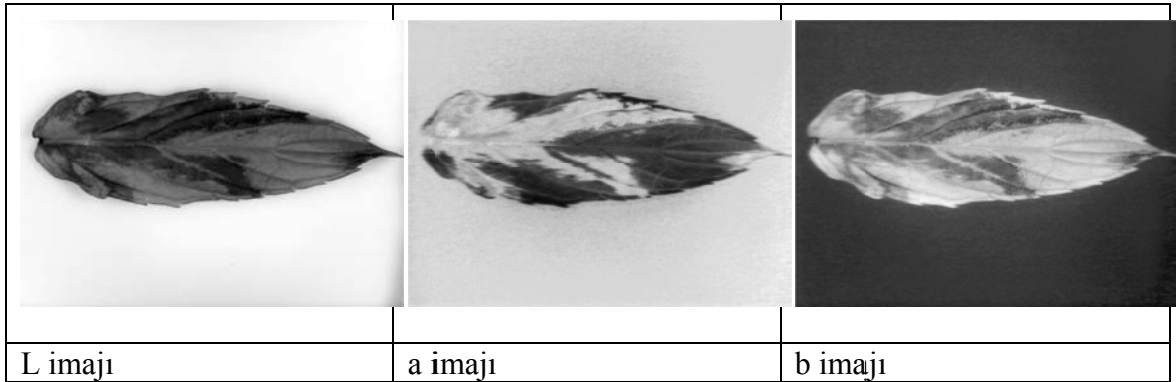
L ve ΔL ' nin hesaplanması için image J programında (İmage J 1.5i Wayne Rasband National Institute of Health, ABD), Şekil 2.6'daki akış şeması takip edilmiştir. Yani, RGB imajlar önce, Lab skalasına dönüştürülüp, imajların L kısmı (8 bit, gri skala) JPEG formatında kaydedilip analizlerde kullanılmıştır. Daha sonra örneklerin (nane imaj) alanındaki L yoğunluğu hesaplanmıştır. Bunun için örnek alan programda (otomatik threshold ile) belirlenip, wand tool ile seçildikten sonra, bu seçilen alanda L yoğunluğu okunmuştur. Daha sonra interpolasyon ile hesaplanan başlangıç L yoğunluğundan (L_0) farklı zamanlarda hesaplanan L yoğunlukları (L_t) çıkarılarak ΔL değerleri elde edilmiştir. Şekil 2.7' de 0.294 kV/cm' de 70x100ms'lik VEA işlemi görmüş örneğin, başlangıçta ve 20 dakika sonra yakalanan imajların işleme akışı verilmektedir.



Şekil 2.6. İmajların işlenme akış şeması



Şekil 2.7. VEA işlemi görmüş örneğin (0.294 kV/cm 70x100ms) başlangıçta ve 20 dakika sonra imajının işleme akış şeması



Şekil 2.8. VEA işleminden (0.294 kV/cm 70x100ms) 20 dakika sonra nane örneğinin L,a,b imajı (Gri skala, 8 bit)

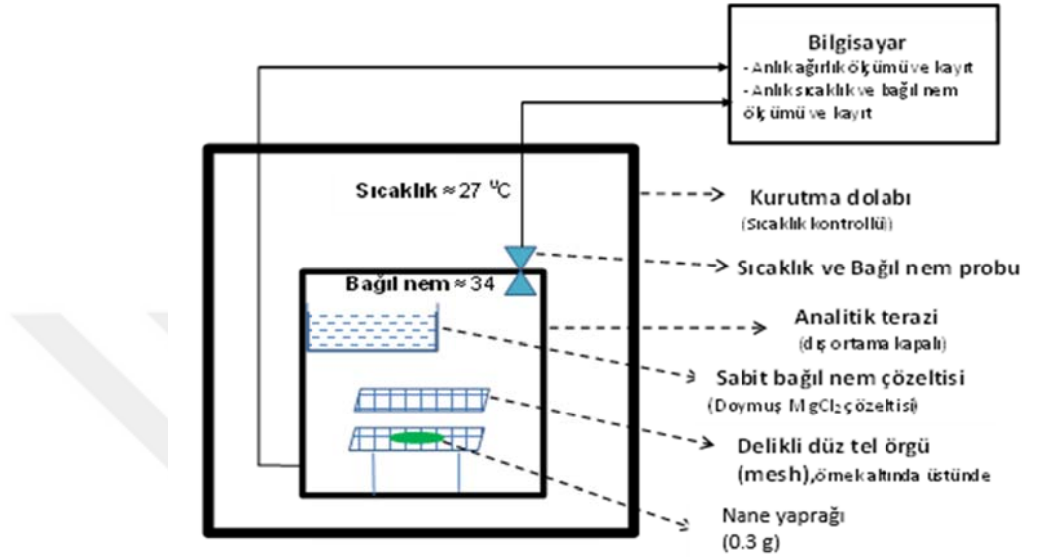
2.2.3. Kuruma Üzerine Etkinin Analizi

2.2.3.1. Kurutma Deney Düzenegi

VEA işlemi görüp okside edilmiş örneklerin kurutulması, Şekil 2.9’da gösterilen durgun havada kurutma sisteminde gerçekleştirilmiştir. Kurutma, sabit sıcaklık (27°C) ve sabit bağıl nem’de (% 34) yapılmıştır. Deneyde ilk olarak, hassas analitik terazi, (Presica XB 220 ASCS, İsviçre) sıcaklık kontrollü inkübatör (Lab Companion, Model ON-11E, Kore) içerisine yerleştirilmiştir. Kurutmada sabit bağıl nem sağlamak (%34) için, terazi içerisine doymuş $MgCl_2$ çözeltisi yerleştirilmiş ve terazinin dış kapakları (sabit sıcaklık sonrası) sızdırmaz bir şekilde kapatılmıştır. Ardından 0,3 g örnek, darası önceden alınmış iki düz tel örgü arasına alınıp (paralel şekilde kısıtılıp), terazinin kefesindeki dört ayaklı tel üzerine konularak kurutma işlemi başlamıştır. Deney boyunca ağırlık değişimleri teraziden bir USB kablo bağlantısı ile her 3 dakikada bir bilgisayara aktarılıp bir yazılım programı (Balint version 5.0, Precisa Instruments AG) ile kaydedilmiştir. Terazi içerisindeki sıcaklık ve bağıl nem değerleri ise, bir sıcaklık/nem ölçer (Perfect Prime TH1165, ABD) ile 3 dakikada bir alınarak bilgisayara aktarılmıştır (HT165 Communication Tool Software, Perfect Prime). Kurutma işlemi, örneklerdeki ağırlık değişimleri dengeye gelene kadar sürdürülmüştür. Dondurulup çözülmüş ve hiçbir işlem görmemiş örnekler de aynı şartlarda kurutularak ölçümleri yapılmıştır. Her kurutma işlemi, üç kez tekrarlanmıştır.

Kurutma işlemi sonrasında, örneklerin (VEA işlemi görmüş, dondurulup çözülmüş ve hiçbir işlem görmemiş) kuru madde miktarlarının belirlenmesi için, darası önceden

belirlenmiş petri kaplarına konularak 105°C'ye ayarlanmış inkübatörde sabit tartıma gelene kadar kurutulup, kuru madde analizi yapılmıştır. İnkübatörden alınan örnekler desikatöre alınmış, örneklerin nem ve kuru madde miktarları belirlenmiştir [87].



Şekil 2.9. Örneklerin durgun havada kuruma davranışlarını incelemek için deneysel düzenek

2.2.3.2. Kuruma Evrelerinin Analizi

Kuruma esnasında ortaya çıkan farklı (sabit ve azalan) kuruma evreleri, kuruma eğrilerindeki değişimlerden analiz edilmiştir. Kuruma eğrileri, anlık kuruma hızına (Y-ekseni) karşı anlık nem içeriği (X-ekseni) çizilerek belirlenmiştir. Nem içeriği (M_t) ve kuruma hızı (DR), sırasıyla denklem 14 ve denklem 15'ten hesaplanmıştır.

$$M_t = \left(\frac{W_t - W_{dm}}{W_{dm}} \right) \times 100 \quad (\text{Denklem 14})$$

M_t : t anındaki nem içeriği (g su/100 g kuru madde), W_t : t anındaki örneğin ağırlığı (g), W_{dm} : örneğin kuru madde ağırlığı (g)' dir.

$$DR = \frac{(M_t - M_{t+dt})/100}{dt} = \frac{(W_t - W_{t+dt})/W_{dm}}{dt} \quad (\text{Denklem 15})$$

DR: kuruma hızı (g su/(g kuru madde.dakika)), M_t : t anındaki nem içeriği (g su/ 100 g kuru madde), M_{t+dt} : t+dt anındaki nem içeriği (g su/g 100 kuru madde), dt: zaman aralığı (dakika), W_{t+dt} : t+dt anındaki örneğin ağırlığı (g)' dir [75].

2.2.3.3. Kuruma Sürelerinin Hesaplanması

Kuruma süresinin hesaplanmasında, nem içeriği, başlangıçtan 0.19 g su/ g kuru madde değerine ulaşana kadarki süre göz önüne alınmıştır.

2.2.3.4. Etkin Nem Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

Kısım 2.2.3.1’de kuruma boyunca elde edilen anlık ağırlık verilerini, denklem 16’ da kullanarak, nem oran (MR) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu deneysel MR_t değerleri zamana karşı çizilerek deneysel kuruma eğrileri oluşturulmuştur.

$$MR_t = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (\text{Denklem 16})$$

M_t : t anındaki nem içeriği (g su/g kuru madde), M_0 : başlangıçtaki nem içeriği (g su/g kuru madde), M_e : dengeye eriştiğindeki nem içeriği (g su/g kuru madde)’dir.

Daha sonra, deneysel kuruma eğrileri, ince-tabaka kuruma modelleme yöntemlerinden Logaritmik yönteme (Denklem 17) göre, azalan kuruma evresinde modellenerek, model katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu model katsayılarından, etkin nem difüzyon katsayısı (D_{eff}), denklem 18’den ifade edilmiştir [75, 88]. Azalan kuruma evresi, kısım 2.2.3.2’ de elde edilen Kuruma-Hız eğrilerinin şeklinden, 0-240 g su/100 g kuru ağırlık aralığında alınmıştır.

$$MR_t = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = a \exp(-kt) + b \quad (\text{Denklem 17})$$

$$k = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \quad (\text{Denklem 18})$$

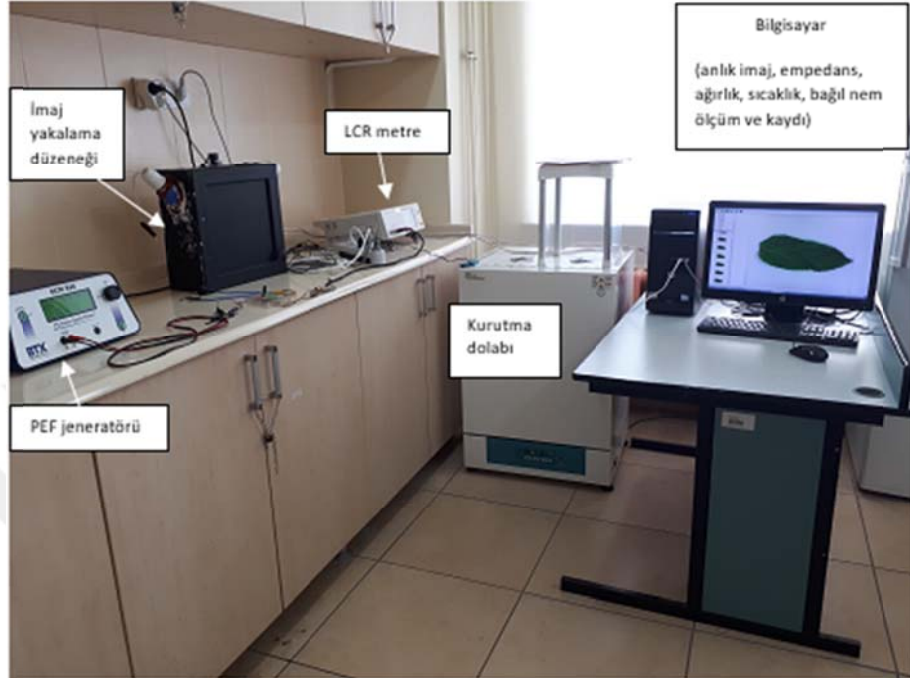
MR_t : deneysel nem oran değerleri, a,k,b; model katsayıları, L: yaprağın kalınlığı (0,00006667 m), D_{eff} : etkin nem difüzyon katsayısı (m^2/s)

Matematiksel modelleme, Sigma Plot (Versiyon 10) programı kullanılarak yapılmıştır.

2.2.4. İstatistiksel Analiz

Farklı örneklerden olmak üzere en az 3 tekrarlı yapılan her bir deneyde sonuçlar ortalama $\pm$ standart sapma olarak ifade edilmiştir. Ortalamalar arasındaki farklılıklar

($p < 0,05$) SPSS (Versiyon 22) istatistiksel programı kullanılarak bağımsız iki örneklem t testi ile değerlendirilmiştir.



Şekil 2.10. Deneylerde kullanılan düzenek

3. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. İyon Salınım Kinetiği

Şekil 3.2-3.3' te, VEA uygulanmasından sonra zamanla gelişen elektriksel iletkenlik 2kHz ölçüm frekansında (α -frekans bölgesi) 60 dakika boyunca görülmektedir. Çalışmada VEA'nın etkisi hiçbir işlem görmemiş örnekler (% 0 hasarlı dokuyu temsilen) ve dondurulup-çözülmüş örneklerle (%100 hasarlı dokuyu temsilen) kıyas edilerek değerlendirilmiştir (Şekil 3.1 a). İletkenlik 60 dakika boyunca, işlem görmemiş (kontrol) örneklerinde önemli bir artış göstermezken ($0,008098 \pm 0,001132$ mS/cm) %100 hasarlı dokuda (dondurulup-çözülmüş örnekler) hızla artarak $0,136188 \pm 0,012981$ mS/cm'e ulaşmıştır (Şekil 3.1 a). Yani doku %100' e yakın parçalandığında iletkenlik değeri yaklaşık 17 kat artış göstermektedir. Bu da hücre zarlarının bozulduğunun ve içindeki iyonların dışarıya çıktığının göstergesidir. Bundan başka %100 yakın parçalanmış dokularda elektriksel iletkenlik birden bire artmayıp, zamanla artmaktadır. İletkenliğin birdenbire artmayıp zamanla artmasının muhtemel sebebi, hücre içinden çıkan iyonların çözelti içine geçişini mumsu kütikula tabakasının engellemesi sebebiyle olabilir [27].

VEA uygulanmış örneklerde iyon salınım kinetiği dondurulup-çözülmüş örneklerde olduğu gibi zamanla artmaktadır. Bu da yine VEA' nın hücre zarlarını parçaladığının bir işaretidir. VEA ile iletkenlik artışı tipik olarak iki farklı evrede a) VEA uygulaması esnasında b) VEA' dan sonraki zamanda meydana gelmektedir. VEA uygulaması esnasında hücre zarında farklı sayıda ve çapta gözenekler oluşmakta, bu esnada hücre içi iyonların çıkışı daha çok elektrik alanının etkisiyle (itici güç) meydana gelmektedir. VEA' dan sonraki zamanda iyon çıkışında ise itici güç konstantasyon farkı veya ozmotik farklılığa göre yürümektedir. Bu davranış biçimi, deney sonuçlarında da açıkça

görülmektedir (Şekil 3.2 ve 3.3). VEA' dan hemen sonra, iletkenlik a) ani olarak artmıştır b) sonrasında yavaş artmaktadır (VEA' dan sonraki 60 dakika boyunca).

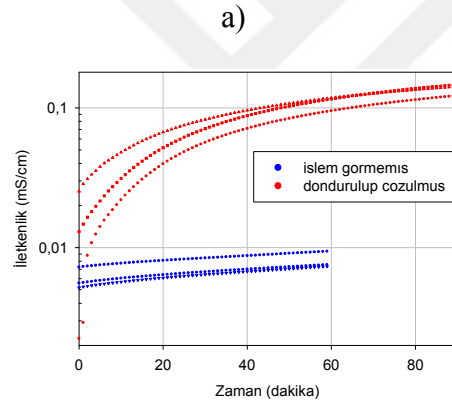
İlaveten, VEA ile meydana gelen toplam iletkenlik artışının, uygulanan VEA' nın şiddetine bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir. VEA şiddeti özellikle ani iletkenlik artışı (VEA uygulaması esnasında meydana gelen) ile korelasyon göstermiştir. Bundan sonraki evrede meydana gelen artışlar, VEA uygulaması esnasında meydana gelen porların (gözenekler) sayısı ve çapı ile orantılı olarak ozmotik etkiyle oluşmuştur ve buna bağlı olarak bu evrede iyon salınım kinetik eğrileri aynı şiddetteki VEA uygulaması ile paraleldir (Şekil 3.2 ve 3.3). İlave olarak iyon salınım kinetiği başlarda (ilk 20 dakikada) hızlı artarken, bundan sonra artış oranı gittikçe azalmaktadır.

a) Yüksek ve düşük elektrik alanında vurgu sayısının etkisi

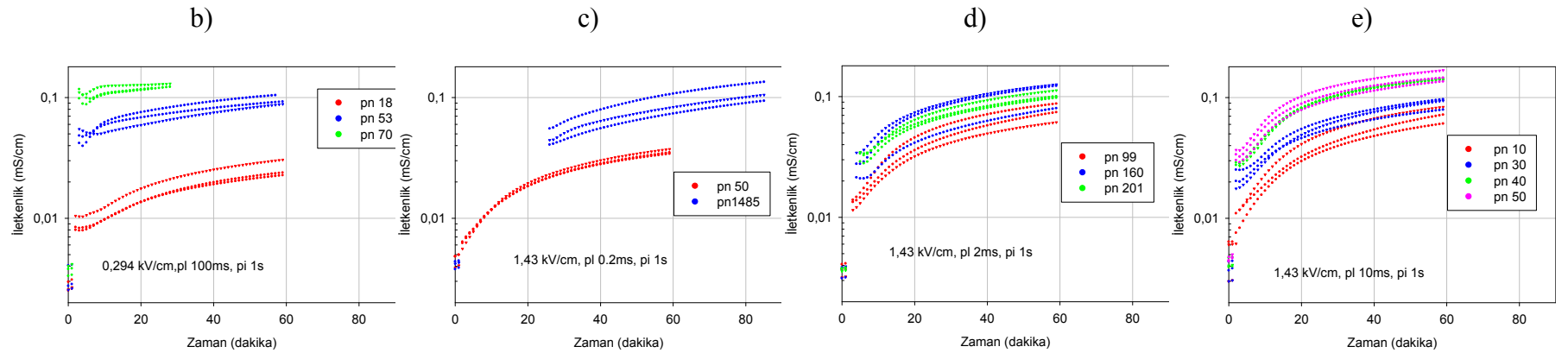
Yüksek elektrik alanın 0.2ms, 2ms ve 10ms vurgu genişliklerinde (pils) VEA uygulamalarında, vurgu sayısı arttıkça ani-artış seviyesi artmaktadır. Benzer davranış düşük elektrik alanının yüksek vurgu genişliğinde (100ms) gözlenmiştir. Buna karşın, düşük elektrik alanının yüksek vurgu genişliğinde VEA' dan sonraki (ani artış sonrası) iletkenlik değişimi diğerlerinden çok daha yavaş seyretmektedir. Örneğin 0.294 kV/cm'de 100ms 70 vurgu sonrasında, iletkenlik zamanla sabit veya bu civarda kalmaktadır. Bunun muhtemel sebebi uzun vurgu genişliğinde çözelti ve elektrot yüzeyinde elektroliz oluşması ile, sudan iyonik maddelerin oluşumudur. Çünkü VEA uygulaması esnasında elektrot yüzeyinde gaz kabarcıklarının oluştuğu gözlenmiştir. Böylece dokudan sızan iyonlara ilaveten, VEA uygulaması esnasındaki elektrolizden oluşan iyonların toplamı ile iletkenlik oluşmaktadır (Şekil 3.2 b).

b) Yüksek ve düşük elektrik alanında frekansın etkisi

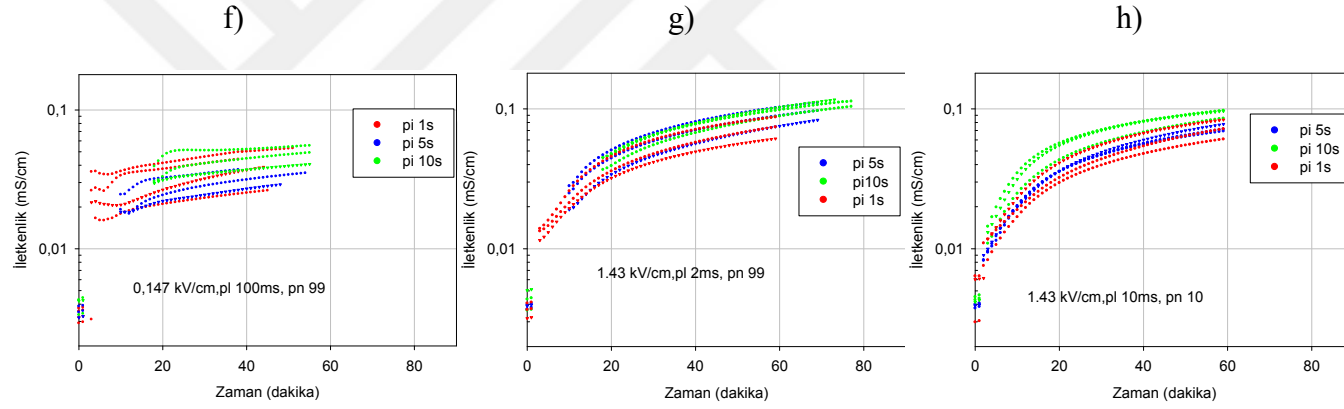
Frekansın etkisi düşük elektrik alanın 100ms' lik vurgu genişliğinde incelendiğinde, sonuçlar yukardakine benzer şekilde elektroliz olayının meydana geldiğine işaret etmektedir (Şekil 3.3 f). Yüksek elektrik alanında düşük vurgu genişliklerinde (2ms ve 10ms) kullanıldığında, VEA' nın frekansı azaldıkça (vurgu aralığı π 1sn' den 10 sn' ye yükseltildiğinde) VEA sonrası eğrilerde yukarıya doğru artma meyili gözlenmiştir (Şekil 3.3 g ve h) ve bunun ilgili daha detaylı bilgilere aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.



Şekil 3.1. İşlem görmemiş örnekler ve dondurulup-çözülmüş örneklerde iyon salınım kinetiği



Şekil 3.2. Yüksek ve düşük elektrik alanında vurgu sayısının iyon salınım kinetiği üzerine etkisi



Şekil 3.3. Yüksek ve düşük elektrik alanında frekansın iyon salınım kinetiği üzerine etkisi

3.2. Enerji Sarfıyatı ve Parçalanma Seviyesi

Şekil 3.4-3.5’ te, VEA uygulanmasından sonra hesaplanan parçalanma indekslerinin enerji sarfıyatına göre değişimleri görülmektedir.

a) Yüksek ve düşük elektrik alanında vurgu sayısının etkisi

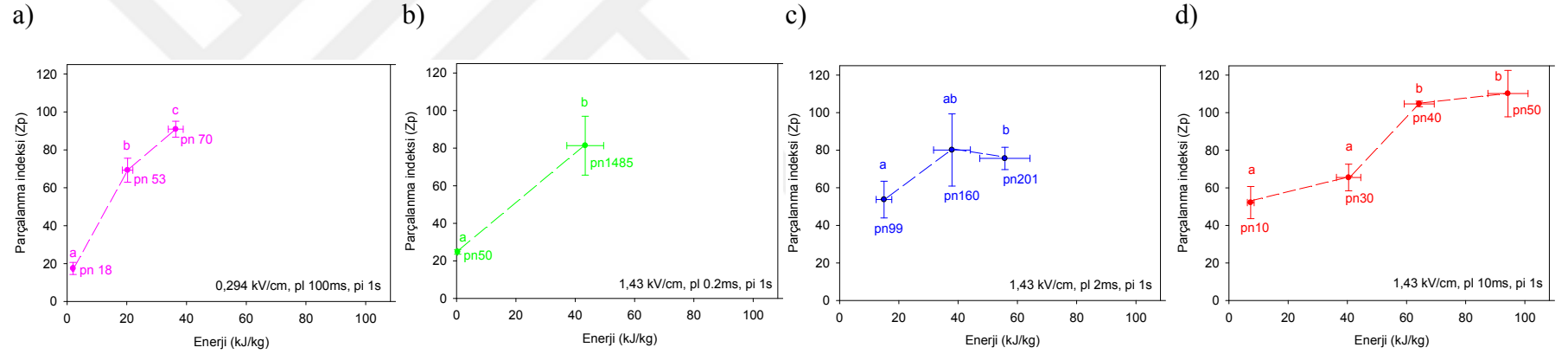
Yüksek elektrik alanının 0.2ms-10ms’ lik vurgu genişliklerinde, vurgu sayısı arttıkça parçalanma indeksi sigmoidal olarak artmaktadır ve Z_p ortalamada 80-90’ a ulaştıktan sonra vurgu sayısının indeksi artırma üzerine etkisi oldukça azalmaktadır (Şekil 3.4 c ve d). Yani bu seviyeden sonra vurgu başına düşen hücre parçalanma oranı azalmaktadır ve enerji sarfıyatı artmaktadır. Bu davranış biçimi Knorr ve Angersbach [25] bulgularıyla örtüşmektedir ve VEA uygulama esnasında artan iletkenlik, parçalanma oranının azalmasına sebebiyet vermektedir. Ne kadar enerji sarfedilip ne oranda parçalanma meydana geldiği değerlendirildiğinde bulgular şu değerleri göstermektedir; Yüksek elektrik alanının 1485x0.2ms’ lik uygulamada $43,38 \pm 6,19$ kJ/kg enerji sarfıyatı ile parçalanma oranı $Z_p = 81,34 \pm 15,68$, 160x2ms’ lik uygulamada $37,92 \pm 6,22$ kJ/kg enerji sarfıyatı ile $Z_p = 80,11 \pm 19,20$ ve 40x10ms’ lik uygulamada $64,28 \pm 5,09$ kJ/kg enerji sarfıyatı ile $Z_p = 104,70 \pm 1,47$ elde edilmiştir.

Düşük elektrik alanının (0.294 kV/cm) 100ms’ lik vurgularının sayısı artırıldığında, Z_p sigmoidal olarak değil doğrusal olarak artmaktadır (Şekil 3.4 a). Bu beklenmeyen bir davranış biçimidir ve şu şekilde açıklanabilir. Yukardaki kısımda (3.1) açıklandığı üzere bu şiddetteki uygulamada (100ms’lik vurgu) doku parçalanması meydana gelmesine rağmen, beraberinde elektroliz de meydana gelmektedir, dolayısıyla elde edilen Z_p ve enerji sarfıyatı değerleri elektrolizden gelen katkı içermektedir ve gerçek değerleri yansıtmadığı düşünülmektedir. Hata payı içeren bu sonuçlara göre, düşük elektrik alanının 70x100ms’ lik uygulamasında $36,38 \pm 2,50$ kJ/kg enerji sarfıyatı ile $Z_p = 90,89 \pm 4,20$ civarında görünmektedir.

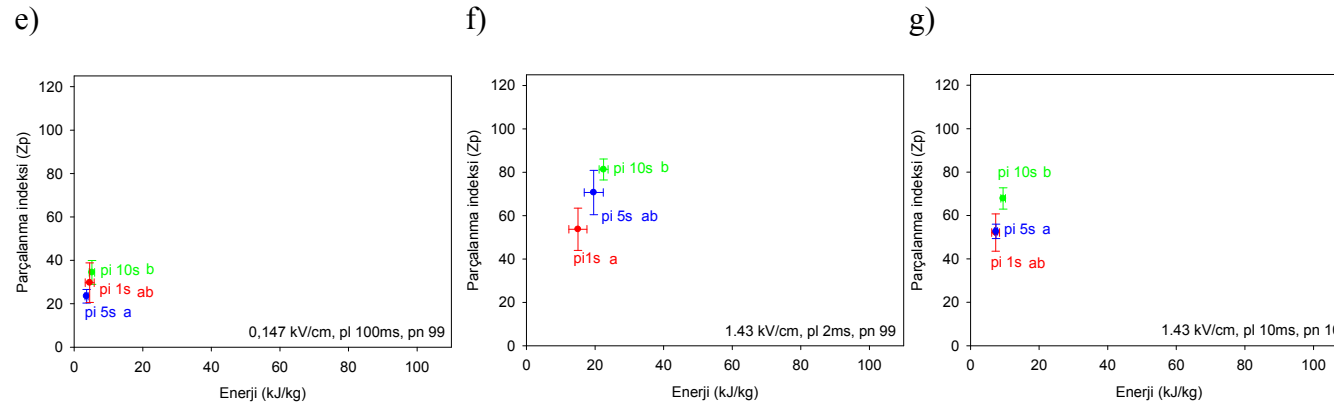
b) Yüksek ve düşük elektrik alanında frekansın etkisi

Düşük elektrik alanının (0.147 kV/cm) 100ms’ lik vurgularında frekans azaltmanın Z_p üzerine net bir etkisi, muhtemelen elektrolizden dolayı gözlenememiştir ve hiç bir frekansta bütüne yakın parçalanma seviyesine ulaşamamıştır (Şekil 3.5 e).

Buna karşın, yüksek elektrik alanında, frekans azaltmanın doku parçalanma oranında (Z_p) önemli derecede artışa sebebiyet verdiği işaret etmektedir (Şekil 3.5 f ve g). Hem 99x2ms' lik hem de 10x10ms'lik uygulamada frekans azaldıkça, Z_p artma eğilimine yönelmektedir. Bu iki uygulama birbiri ile karşılaştırıldığında, sonuçlar frekans azaltma etkisinin yüksek vurgu sayısında (99x2ms) düşük vurgudakinden daha belirgin olduğuna işaret etmektedir. Sonuçta, en yüksek parçalanma oranlarına en düşük frekansta (0.1Hz, pi 10s) ulaşılmış olup, 99x2ms' lik uygulamada $22,49 \pm 1,31$ kJ/kg enerji sarfiyatı ile $Z_p = 81,30 \pm 4,84$ iken, 10x10ms' lik uygulamada $9,52 \pm 0,67$ kJ/kg enerji sarfiyatı ile $Z_p = 67,87 \pm 4,91$ olarak bulunmuştur. Bu sonuçlardan görüldüğü üzere, frekansın azaltılması hem Z_p ' yi artırırken hem de enerji sarfiyatını azaltmaktadır. Yukarda, yüksek elektrik alanının 160x2ms' lik uygulamasında $37,92 \pm 6,22$ kJ/kg enerji sarfiyatı ile parçalanma oranı $Z_p = 80,11 \pm 19,20$ iken, benzer Z_p değerine ($Z_p = 81,30 \pm 4,84$) düşük frekansta (0.1Hz, pi10) $22,49 \pm 1,31$ kJ/kg enerji sarfiyatında ulaşılmıştır.



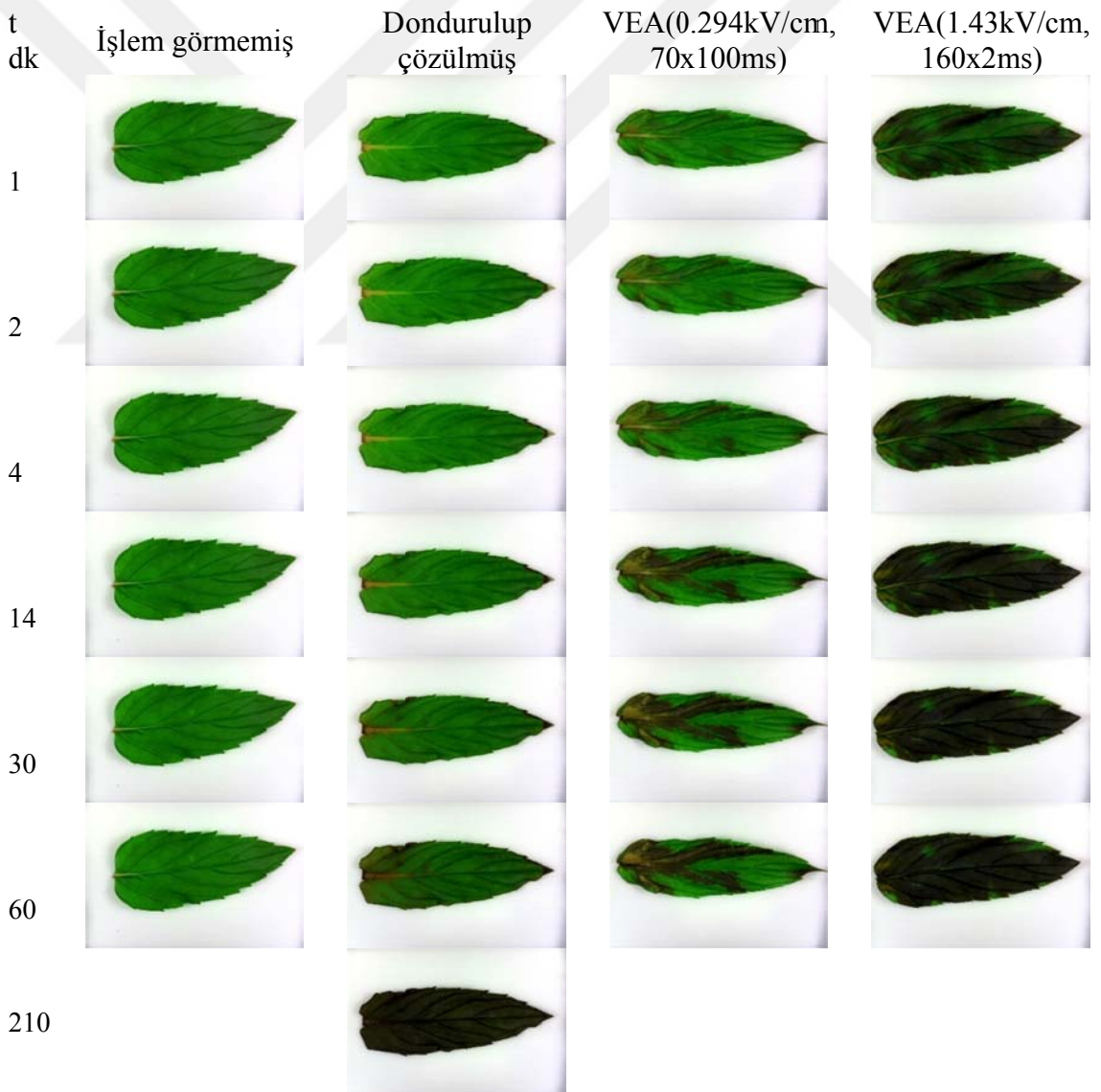
Şekil 3.4. Yüksek ve düşük elektrik alanında farklı vurgu sayılarında enerji sarfiyatına karşılık gelen parçalanma seviyeleri. Birbirinden önemli derecede farklı olmayan ($p>0,05$) uygulamalar aynı harf ile gösterilmiştir.



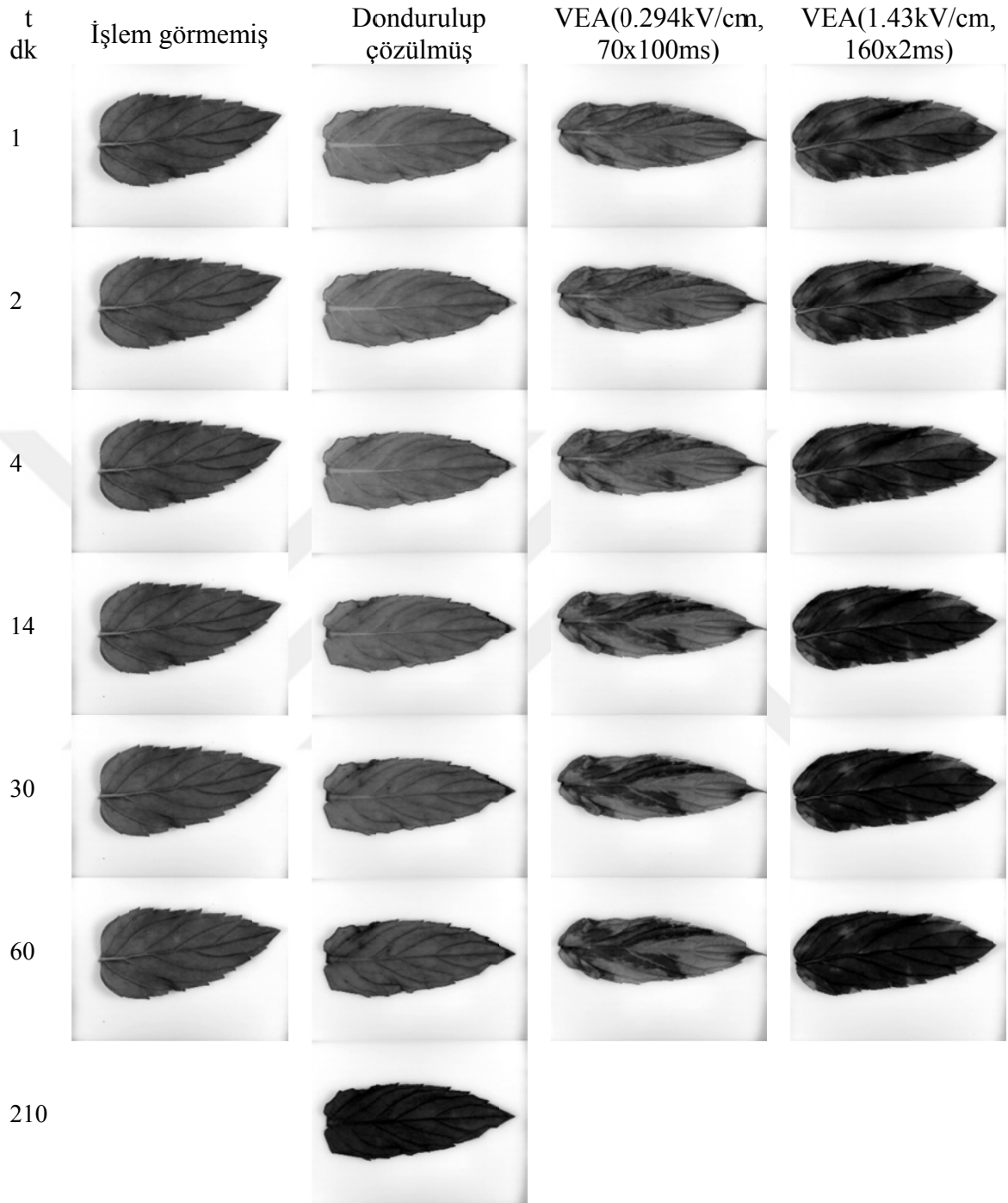
Şekil 3.5. Yüksek ve düşük elektrik alanında farklı frekanslarda enerji sarfiyatına karşılık gelen parçalanma seviyeleri. Birbirinden önemli derecede farklı olmayan ($p>0,05$) uygulamalar aynı harf ile gösterilmiştir.

3.3. VEA Uygulamasının Enzimatik Esmerleşme Üzerine Etkisi

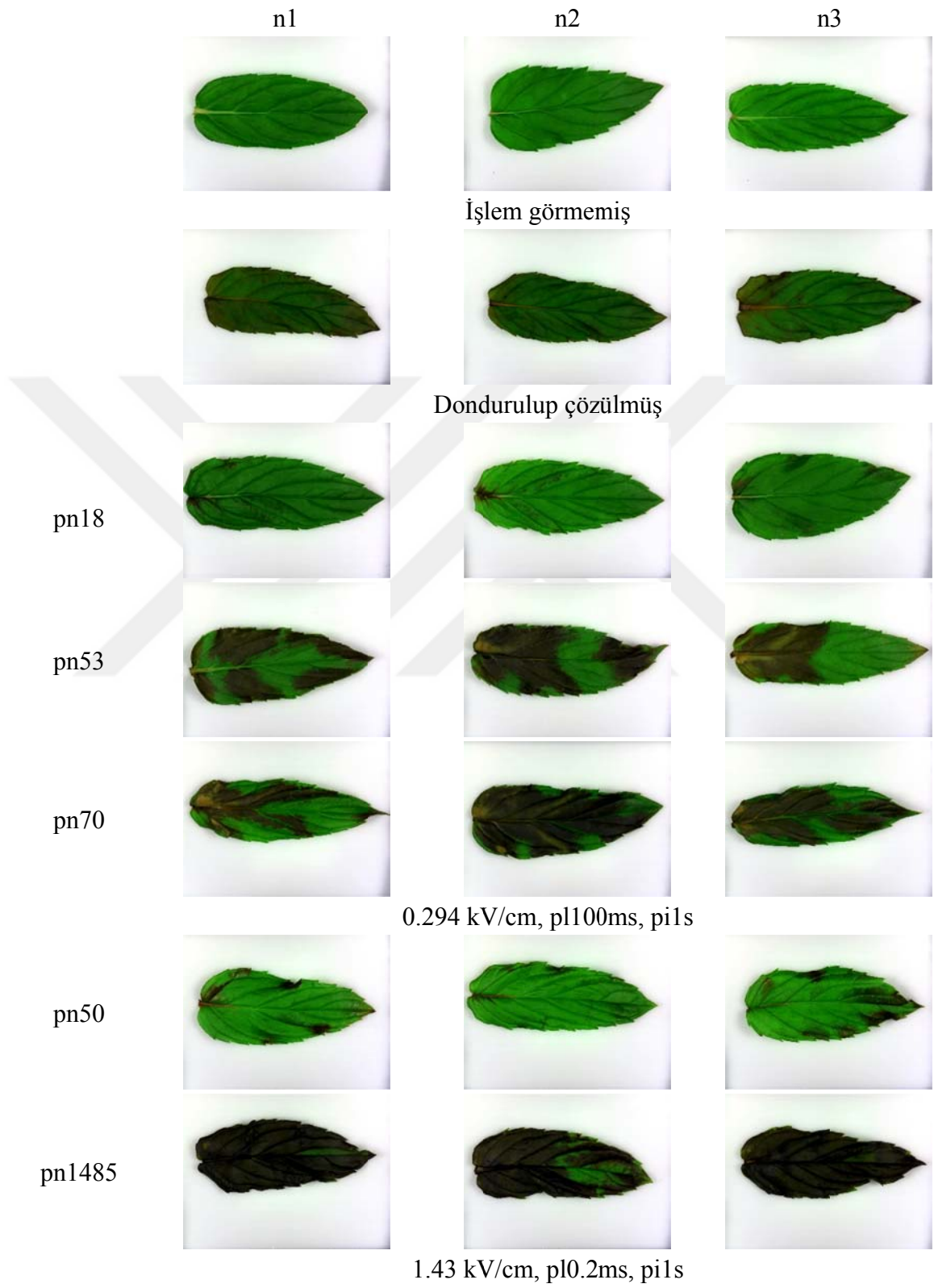
Şekil 3.6’ da, işlem görmemiş, dondurulup çözülmüş, düşük elektrik alanında uzun vurgu genişlikli (0.294 kV/cm 70x100ms, p1s) ve yüksek elektrik alanında kısa vurgu genişlikli (1.43 kV/cm 160x2ms, p1s) VEA uygulanan nane yapraklarının bir örneğinin, 27 °C’ deki oksidasyonunda imajları 60 dakika boyunca seçili zamanlarda görülmektedir. Şekil 3.7’ de aynı örneklerin L imajları gösterilmiştir. Bu sonuçlardan, VEA uygulamasının nanelerin esmerleşmesine yol açtığı bulunmuştur. Ayrıca, VEA’nın anlık esmerleştirme hızı ve oranının (esmerleşme indeks değeri) dondurulmuş-çözülmüş örneklerden çok daha yüksek olduğu ve bunların seviyelerinin VEA şiddetleri ile değişiklik gösterdiği gözlenmiştir.



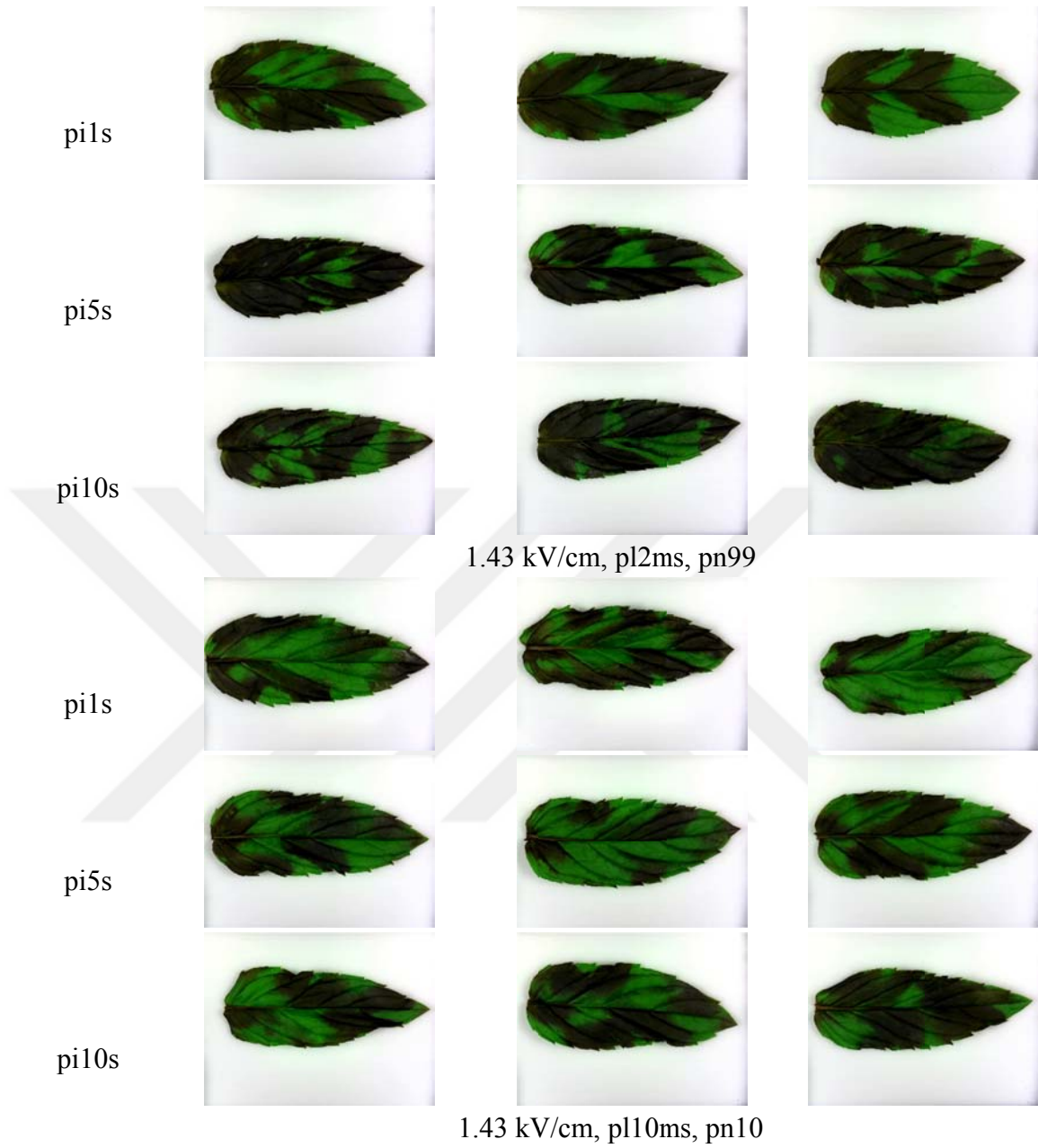
Şekil 3.6. İşlem görmemiş, dondurulup çözülmüş ve VEA uygulanmış (0.294 kV/cm 70x100ms ve 1.43 kV/cm 160x2ms) nane yapraklarının 27 °C’ deki oksidasyonunda zamanla renk değişimleri (t, dakika).



Şekil 3.7. İşlem görmemiş, dondurulup çözölmüş ve VEA uygulanmış (0.294 kV/cm 70x100ms ve 1.43 kV/cm 160x2ms) nane yapraklarının L imajlarındaki zamanla değışmeler (t, dakika).



0.147 kV/cm, pl100ms, pn99



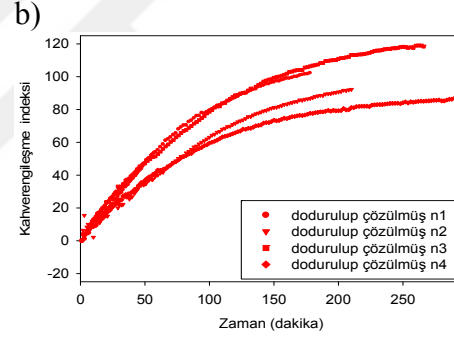
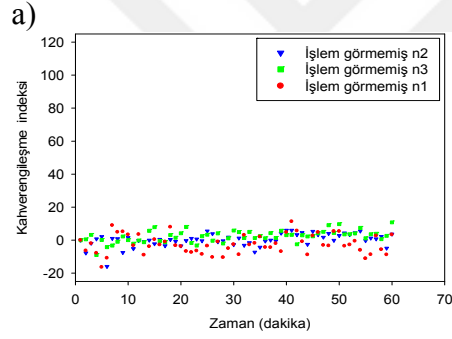
Şekil 3.8. Örneklerin 60 dakika sonundaki RGB imajları

3.3.1. Esmerleşmenin Kinetiği

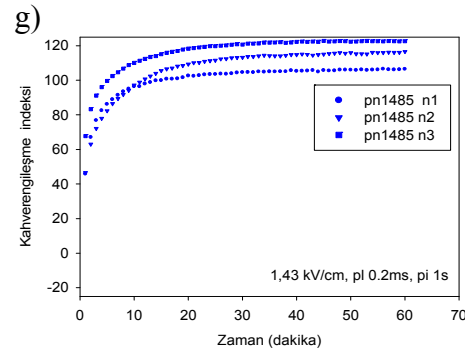
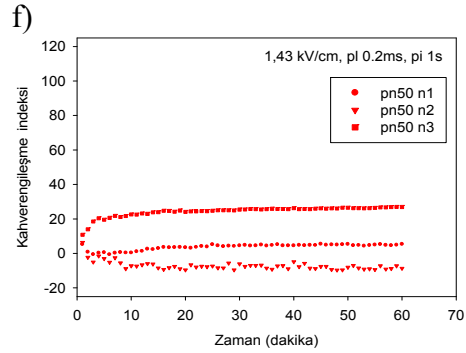
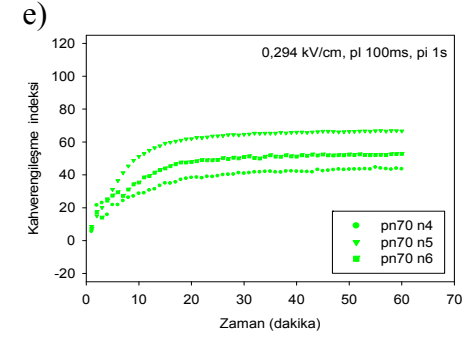
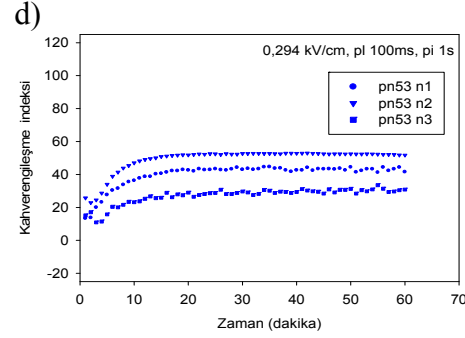
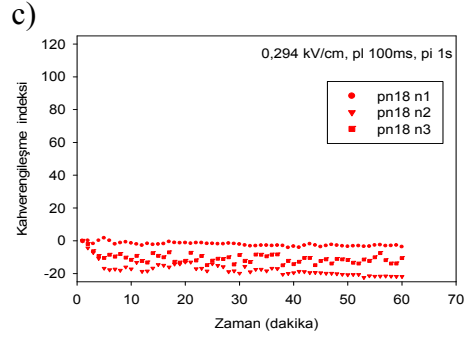
Şekil 3.10-3.11’ de, farklı şiddetteki VEA uygulamalarından sonra gelişen esmerleşme hızı, kahveringileşme indeksi (KI) zamana karşı çizilerek değerlendirilmiştir. İşlem görmemiş örneklerde KI 60 dakika boyunca sıfıra yakın seyrederken, dondurulup çözülmüş örneklerde KI ancak 170-200 dakika sonrasında 90-100’ e ulaşmıştır (Bütüne yakın esmerleşme). Özellikle yüksek elektrik alanlı VEA uygulanan örneklerin çoğunda esmerleşme hızının, dondurulmuş-çözülmüşlerinkinden çok daha hızlı cereyan ettiği gözlenmiş olup, esmerleşme yaklaşık 20 dakika sonunda tamamlanmıştır. Örneğin doku

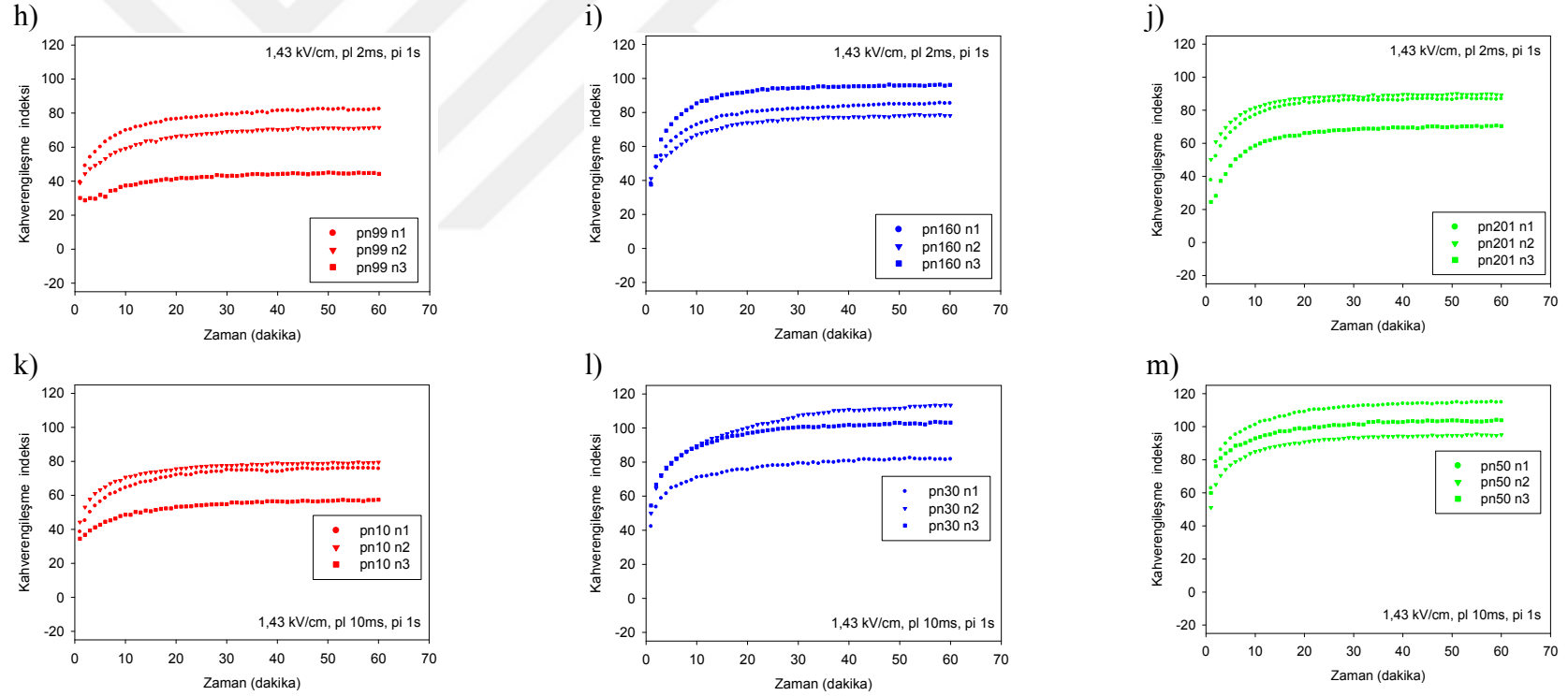
parçalanma indeksi Z_p 'nin $80,11 \pm 19,20$ olduğu, yüksek elektrik alanındaki $160 \times 2 \text{ ms}$ 'lik uygulamada, doku 20 dakika sonunda bütüne yakın esmerleşmiştir ($KI_{30dk} = 84,27 \pm 9,36$). VEA ile oluşan bu hızlı esmerleşmenin iki farklı sebebi olabilir, biri enzim aktivasyonunda artış ve/veya VEA'nın doku içinde alabora (karıştırma) etkisi meydana getirerek, enzimlerin substratlara (fenolikler ve oksijen) ulaşabilirliğini artırmasıdır. Düşük elektrik alanlı VEA ve elektroliz içeren uygulamalarda ise, 60 dakika boyunca esmerleşme oranı önemsiz bazı hallerde azalmalar gözlenmiştir (Şekil 3.10 c ve Şekil 3.11 n, o, p)



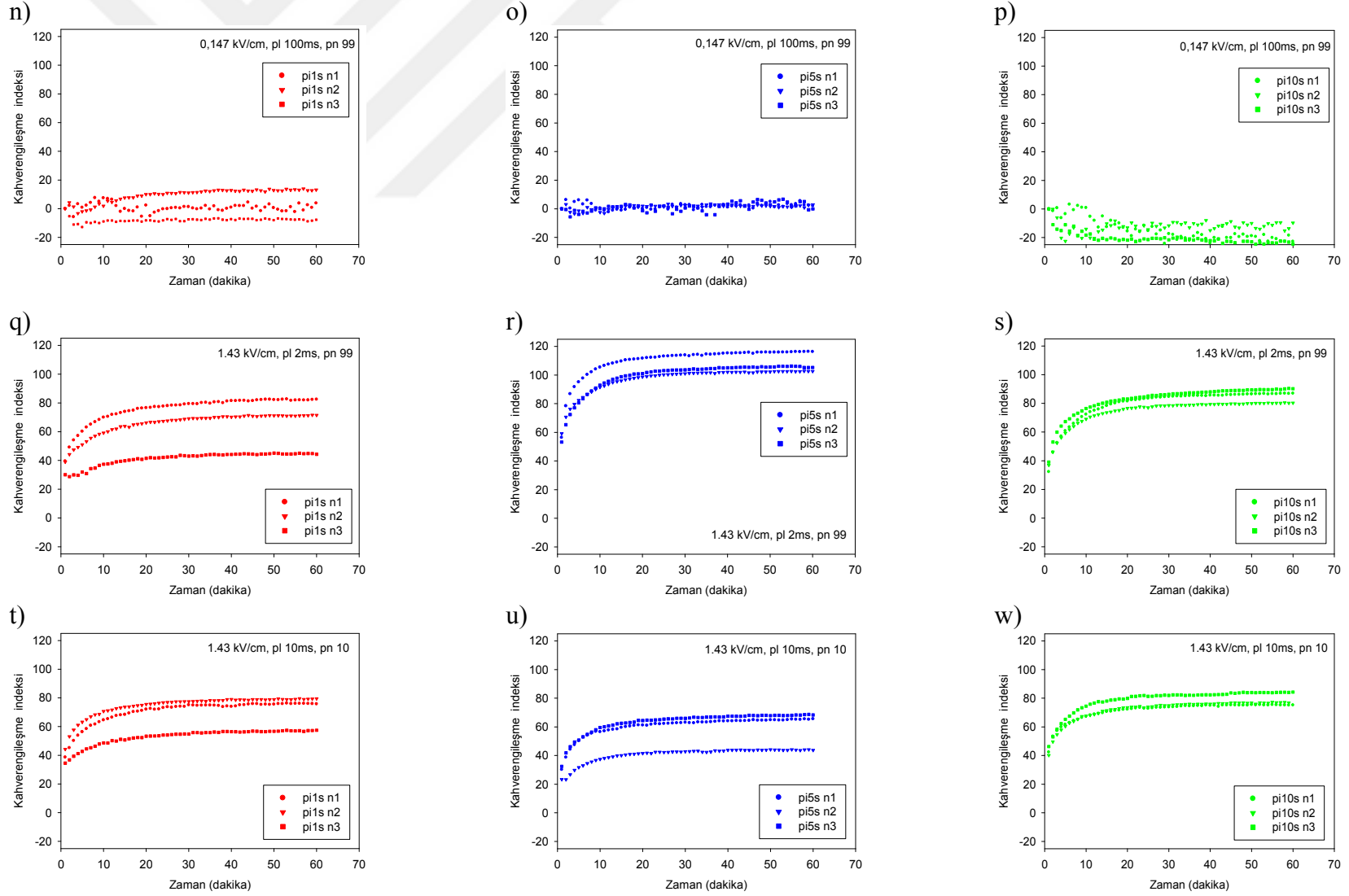


Şekil 3.9. İşlem görmemiş örnekler ve dondurulup-çözülmüş örneklerde esmerleşme kinetiği





Şekil 3.10. Yüksek ve düşük elektrik alanında vurgu sayısının esmerleşme kinetiği üzerine etkisi



Şekil 3.11. Yüksek ve düşük elektrik alanında frekansın esmerleşme kinetiği üzerine etkisi

3.3.2. Parçalanma ve Kahverengileşme İndekslerinin Korelasyonu

Şekil 3.12-3.14' te, kahverengileşme indeksi değerleri, yukarıdaki grafiklerde 30 dakika sonundaki ortalama±standart sapmaları gösterirken dondurulup çözülmüş örneklerde ise en son dakikadaki ortalama±standart sapmaları göstermektedir. VEA' nın esmerleşme indeksi üzerine etkisi hiç bir işlem görmemiş örnekler ve dondurulup-çözülmüş örneklerle kıyas edilerek değerlendirilmiştir. Şekil 3.12 (a)' da işlem görmemiş ve dondurulup çözülmüş örneklerin parçalanma (Z_p) ve kahverengileşme indeksleri (KI) arasındaki ilişki verilmiştir. Dondurulup çözülmüş örnekler Z_p ' de 100 (bütüne yakın parçalanma) iken KI' de 100 (bütüne yakın esmerleşme) olarak alınmış ve VEA uygulamalarındaki değerler buna referans edilerek değerlendirilmiştir. İşlem görmemiş örnekler $Z_p \approx 0$ iken $KI \approx 0$ ' dır.

a) Yüksek ve düşük elektrik alanında vurgu sayısının etkisi

Yüksek elektrik alanın 2ms ve 10 ms' lik vurgu genişliklerinde vurgu sayısı arttıkça, KI sigmoidal olarak artmaya meyletmektedir ki bu davranış Z_p ' nin artma şekliyle benzerdir (Şekil 3.13 d ve e) . Bir genelleme yapılırsa $Z_p=65-80$ ' e kadar KI ile doğrusal olarak artma meyli içersinde olduğu tahmin edilmektedir. $Z_p=65-80$ ' e ulaştığında KI' i değeri 100'e yaklaşmaktadır (bütüne yakın esmerleşme seviyesi) ve bu Z_p değerine ulaştıktan sonra vurgu sayısının artırmanın etkisi iyice azalmaktadır ve önemsiz görünmektedir (Şekil 3.13 d ve e).

Düşük elektrik alanın 100ms' lik vurgu genişliğinde vurgu sayısını artırıldığında Z_p ile KI arasındaki anlamlı değildir. Bunun iki sebebi olduğu düşünülmektedir. Birincisi 70 vurguda $Z_p=90,89 \pm 4,20$ yani bütüne yakın parçalanmayı gösterirken $KI=52,11 \pm 11,93$ çıkmaktadır. Halbuki bütüne yakın parçalanmada KI' ninde bütüne yakın çıkması beklenirdi. Bu sonuç yine düşük elektrik alanın 100ms' lik vurgularında elektrolizden hasıl olan ekstra iyon artışının Z_p ' nin gerçek değerinin üzerinde çıkmasına yol açmasıdır. Diğer bir deyişle, gözlenen $Z_{p \text{ gözlenen}} > \text{gerçek } Z_{p \text{ gerçek}}$ 'den daha düşüktür.

b) Yüksek ve düşük elektrik alanında frekansın etkisi

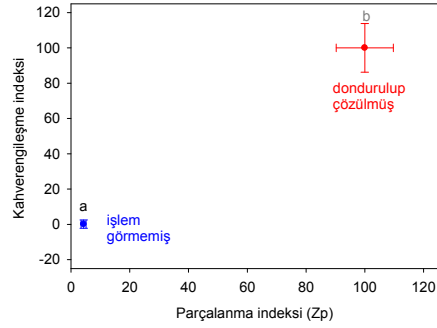
Yüksek elektrik alanında frekans azaltmanın etkisi söz konusu olduğunda, sonuçlar özellikle çoklu vurgularda frekans azaltmanın önemli etkisi olduğunu göstermektedir.

Yüksek sayıda vurgu kullanıldığında (2msx99) ve frekans azaltıldığında, Z_p arttıkça KI artmaya meyletmektedir (Şekil 3.14 g) Buna karşın düşük sayıda vurgu kullanılıp (10msx10) frekans azaltıldığında, parçalanma indeksi (Z_p) artışının, KI' yi yükseltme etkisi iyice zayıflamaya başlamaktadır (Şekil 3.14 h).

Düşük elektrik alanının 100ms' lik vurgularında frekans azaltmanın etkisi incelendiğinde, Z_p ve KI arasındaki ilişki, yukarda açıklandığı üzere (elektrolizden dolayı) anlamlı değildir (Şekil 3.14 f). Frekans azaltıldığında (0.1Hz, pi 10s) $Z_p=34,42\pm5,48'$ i gösterirken, $KI=-16,87\pm4,98'$ e işaret etmiştir, yani L değerlerinde (parlaklıkta) artma gözlenmiştir.

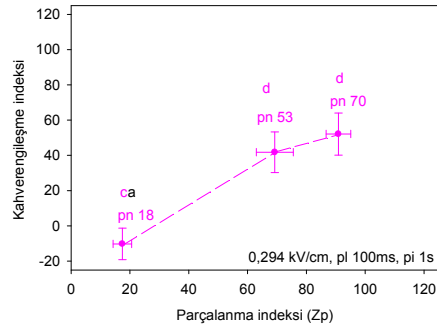


a)

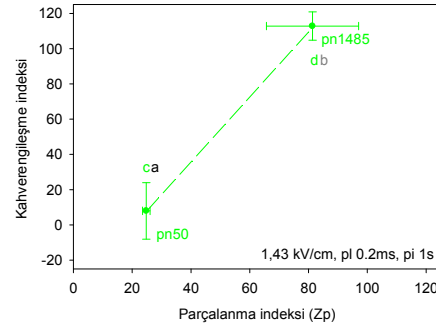


Şekil 3.12. İşlem görmemiş ve dondurulup çözülmüş örneklerin parçalanma ve kahverengileşme indeksleri arasındaki ilişki. Birbirinden önemli derecede farklı olmayan ($p>0,05$) uygulamalar aynı harf ile gösterilmiştir.

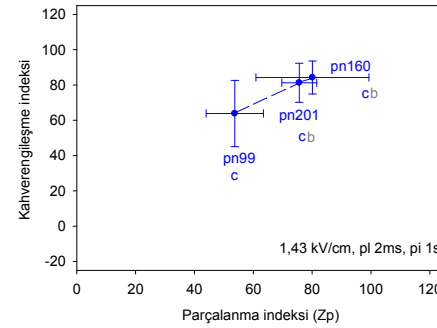
b)



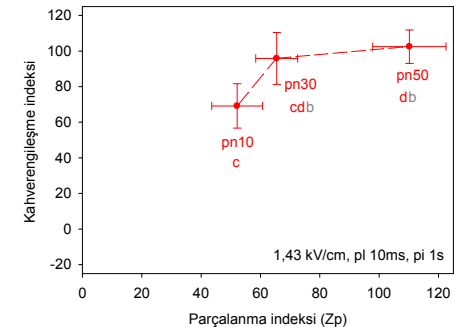
c)



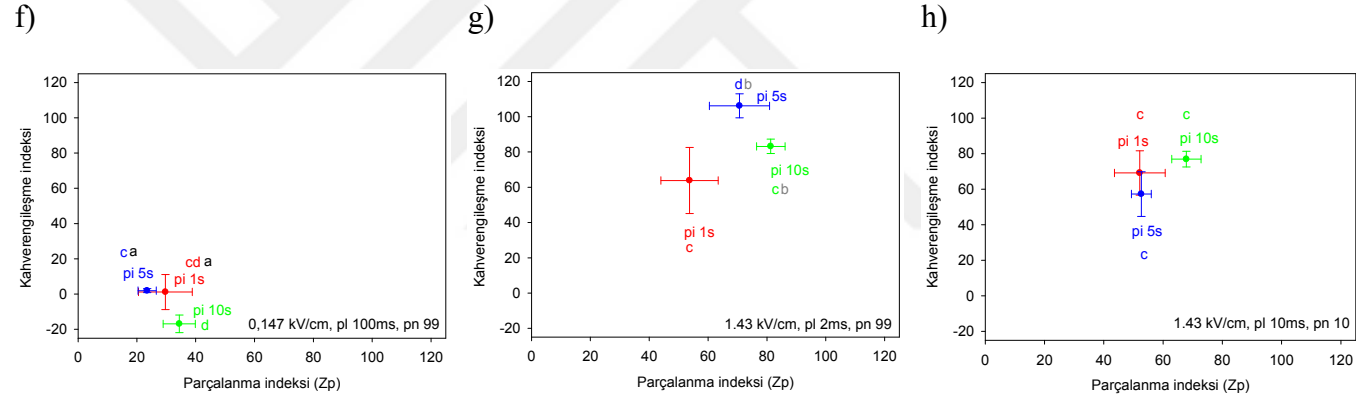
d)



e)



Şekil 3.13. Yüksek ve düşük elektrik alanında farklı vurgu sayılarında parçalanma ve kahverengileşme indeksleri arasındaki ilişki. Birbirinden önemli derecede farklı olmayan ($p>0,05$) uygulamalar aynı harf ile gösterilmiştir.



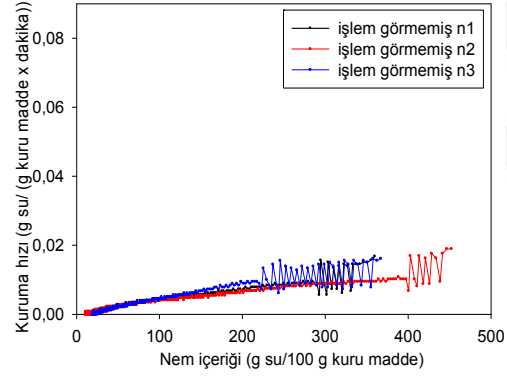
Şekil 3. 14. Yüksek ve düşük elektrik alanında farklı frekanslarda parçalanma ve kahverengileşme indeksleri arasındaki ilişki. Birbirinden önemli derecede farklı olmayan ($p>0,05$) uygulamalar aynı harf ile gösterilmiştir.

3.4. Kuruma Üzerine Etki

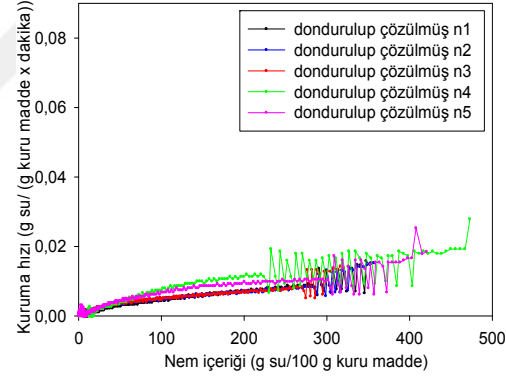
3.4.1. Kuruma Hızı

Şekil 3.16-3.17’ de VEA uygulanmasından sonra kuruma hızındaki değişimler nem içeriğine karşı çizilerek gösterilmiştir. Çalışmada VEA’ nın kuruma hızına etkisi hiç bir işlem görmemiş örnekler ve dondurulup-çözülmüş örneklerle kıyas edilerek değerlendirilmiştir. İşlem görmemiş örneklerde sabit kuruma evresi, nem içeriği yaklaşık 240 g su/100 g kuru madde ye düşene kadar, sabit kurumu hızında ($\approx 0.01-0.013$ g su/g kuru madde. dakika) yürüdüğü gözlenmiştir. Beklenmeyen bir şekilde, dondurulmuş çözülmüş örneklerin kuruma davranışı da işlem görmemiş örneklerinkine yakın bulunmuştur (Şekil 3.15 a ve b). VEA uygulamasının, örneklerin bir çoğunda, özellikle yüksek elektrik alanındaki uygulamalarda, oluşturduğu en dikkat çekici değişiklik kuruma hızındaki artışlara sebebiyet vermesi olmuştur. Bir genelleme yapılırsa, VEA uygulaması daha çok, işlem görmemiş örneklerin sabit kuruma evresinde değişikliğe yol açarak, başlangıç kuruma hızının 6-7 kata kadar çıkmasına sebebiyet vermiş, sonrasında hız giderek azalmıştır. Bunun yanında işlem görmemiş örneklerin azalan kuruma evrelerinde de hız artışları gözlenmiştir, fakat bu evredeki değişimler bir öncekinden daha yavaştır. VEA’ nın şiddeti ile değişen bu değişimler, aşağıdaki kısımda etkin nem difüzyon katsayısı terimi ile daha detaylı tartışılmıştır.

a)

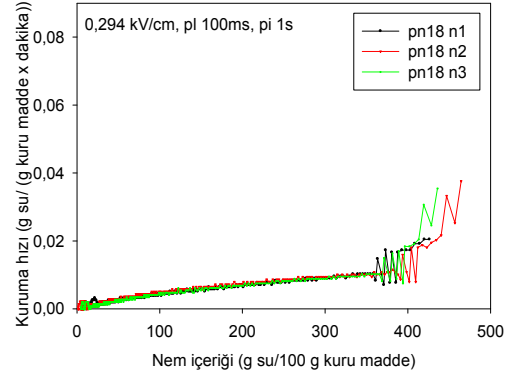


b)

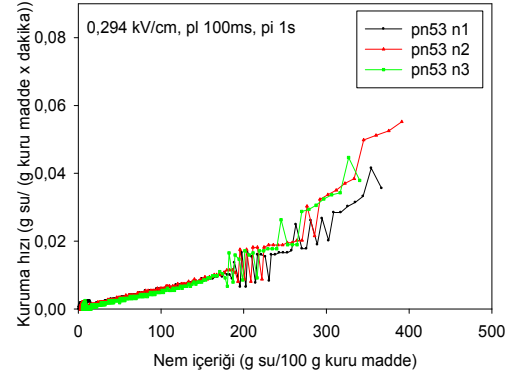


Şekil 3.15. İşlem görmemiş ve dondurulup çözölmüş örneklerin kuruma hızlarının nem içerikleri ile değişimi

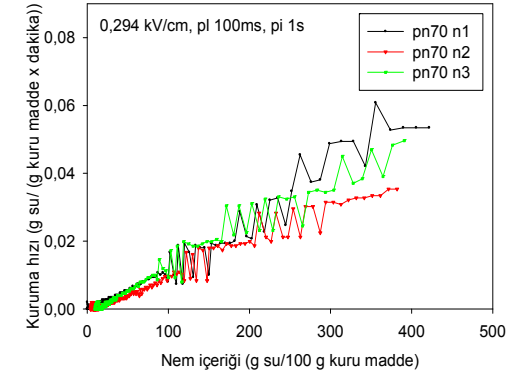
c)

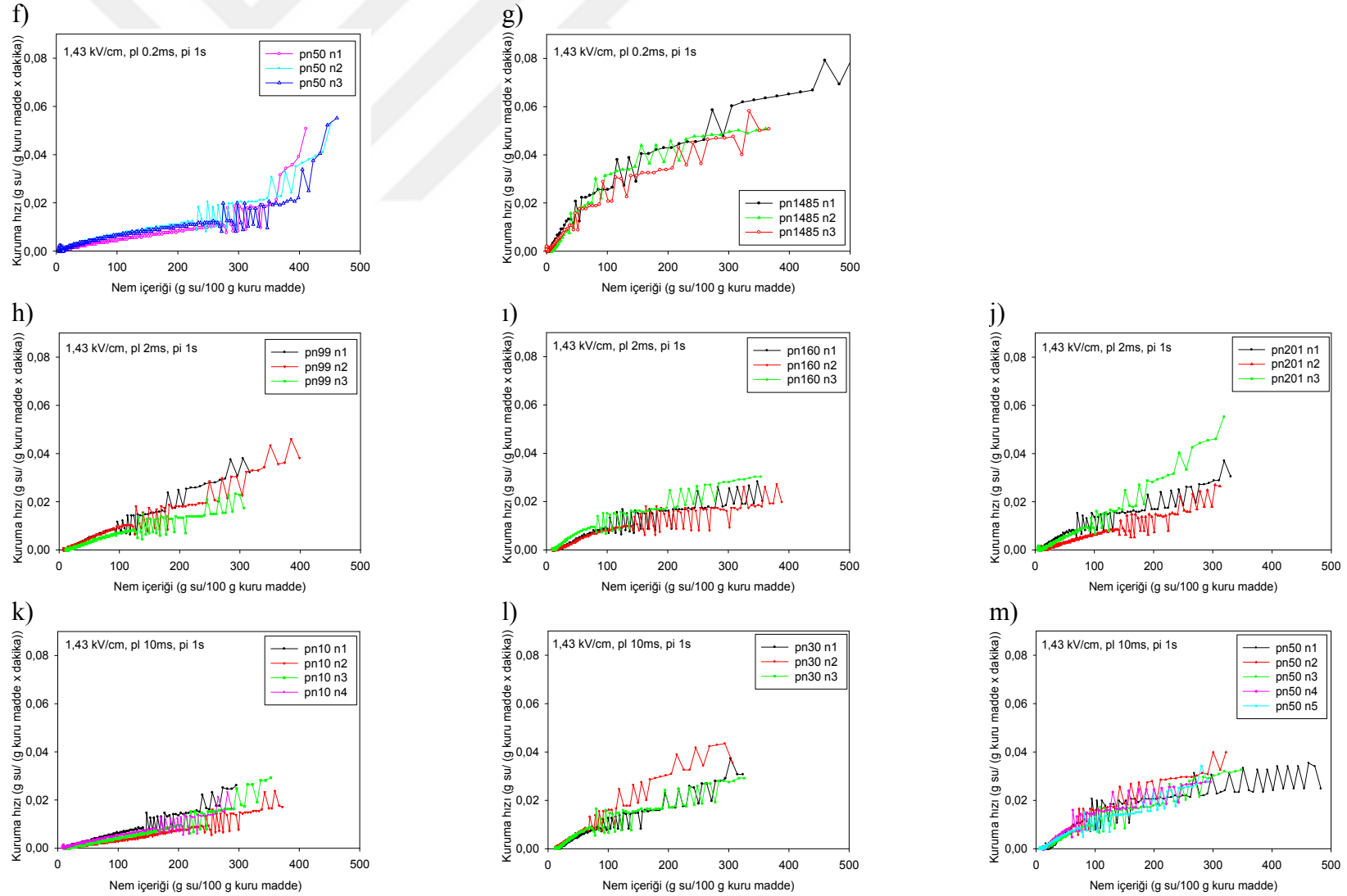


d)

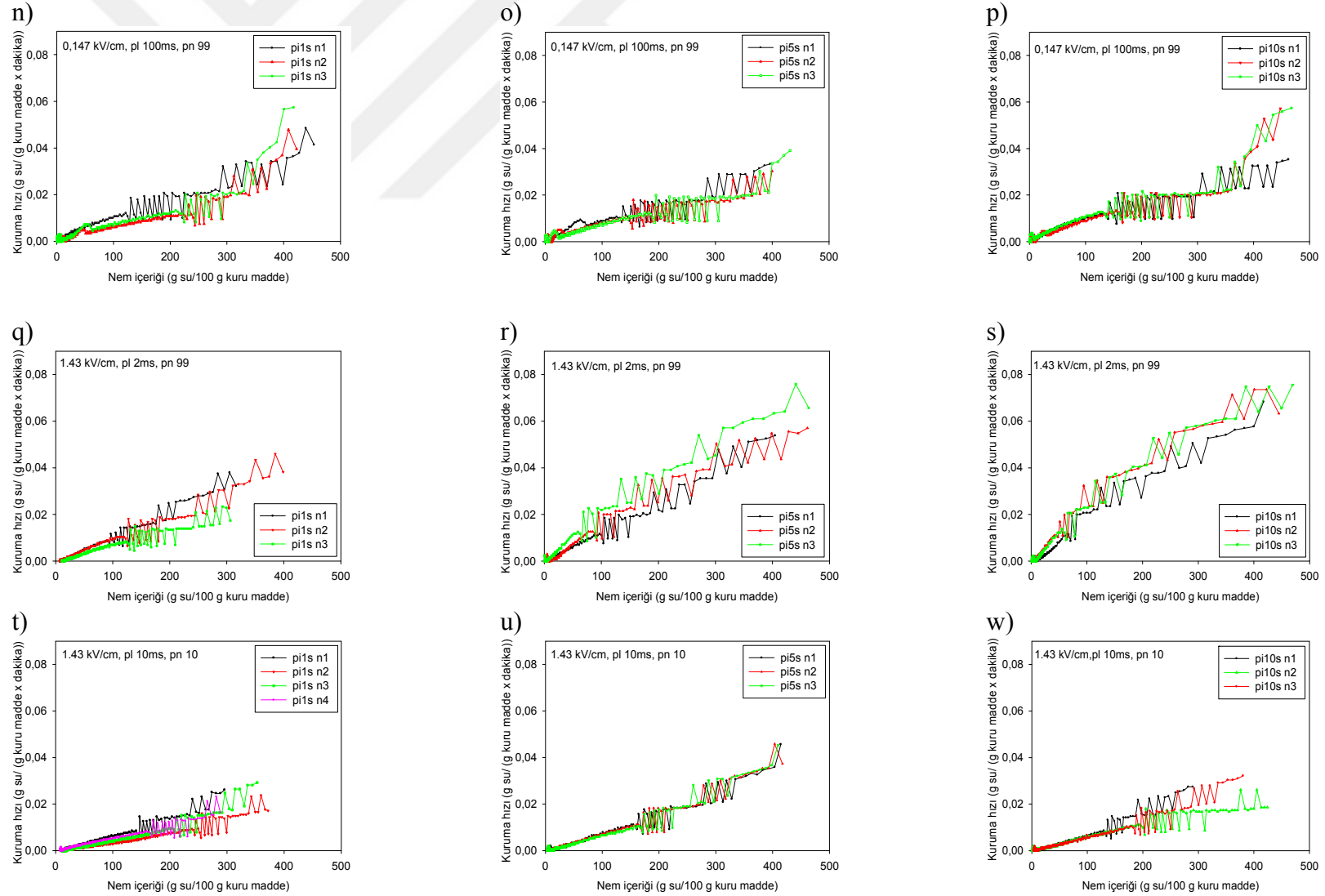


e)





Şekil 3.16. Yüksek ve düşük elektrik alanında farklı vurgu sayılarında kuruma hızlarının nem içerikleri ile değişimi

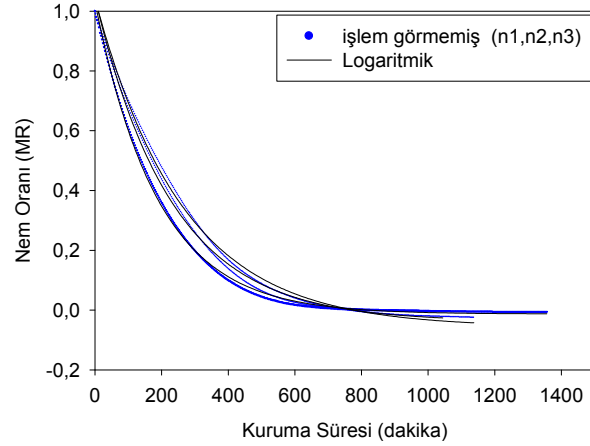


Şekil 3.17. Yüksek ve düşük elektrik alanında farklı frekanslarda kuruma hızlarının nem içerikleri ile değişimi

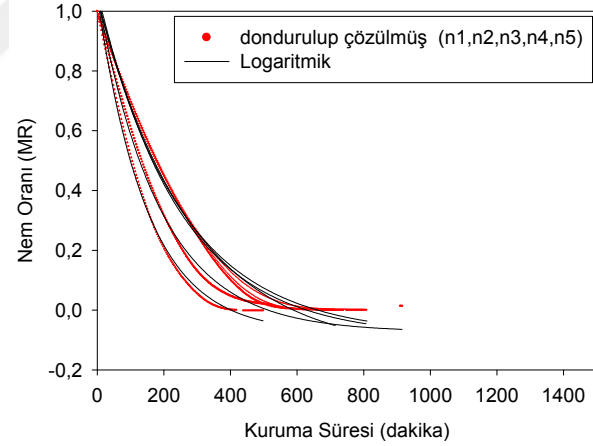
3.4.2. Etkin Nem Difüzyon Katsayısı

Etkin nem difüzyon katsayısı nem oranı eğrilerinin matematiksel modellenmesi yolu ile hesap edilmiştir. Kısım 3.4.1’ deki grafiklerde, azalan kuruma evresinin örneklerde nem içeriği 240 g su/100 g kuru madde civarına düştükten sonra başladığı göz önüne alınmıştır. Buna dayanarak Şekil 3.18’ de deneysel kuruma eğrileri (zaman karşı nem oranı (MR) azalan kuruma evresinde çizilip, eğrilerin Logaritmik yönteme göre modellenmiş hali gösterilmiştir. Logaritmik modelin uygulanması ile hesaplanan model katsayıları (a, k ve b), regresyon katsayıları (R^2) ve tahminin standart hatası (RMSE) değerleri Tablo 3.1’ de verilmiştir. Modelin uygunluğunu belirlemede yüksek R^2 ve düşük RMSE değerlerine bakılmaktadır [75, 88]. Regresyon katsayısı, modelin modelleme yeterliliğini, tahminin standart hatası (RMSE) ise model ile elde edilen tahmini değerler ile deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir.

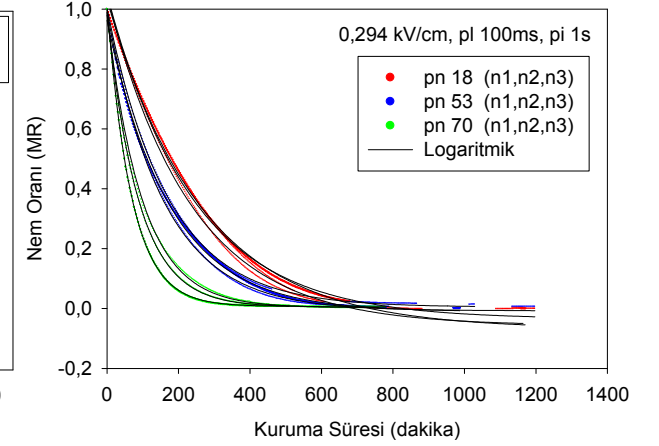
a)



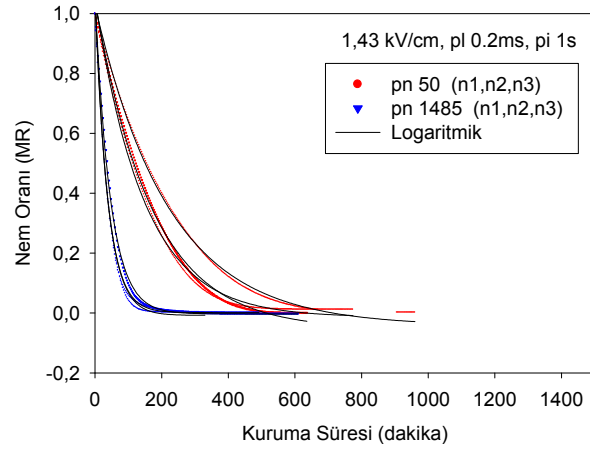
b)



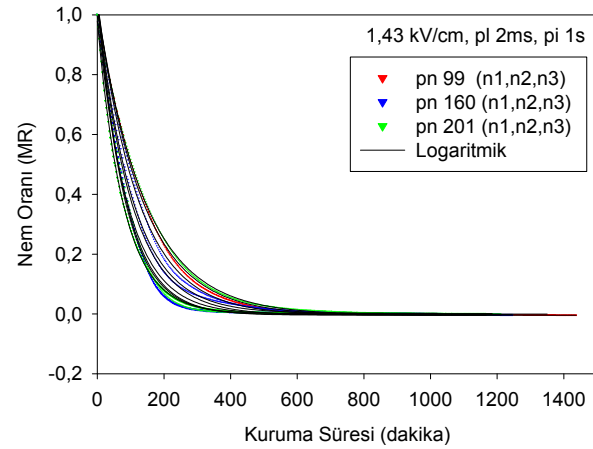
c)



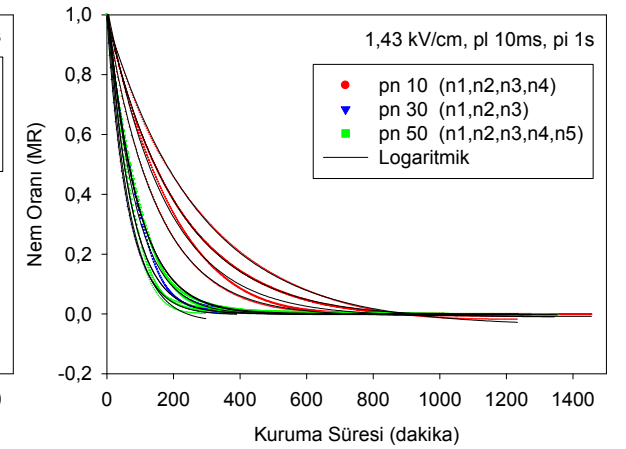
d)



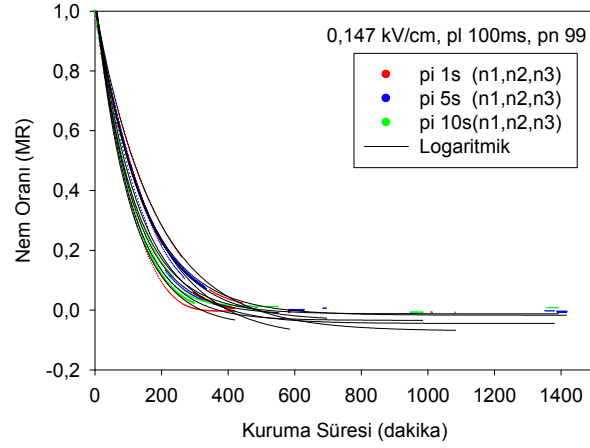
e)



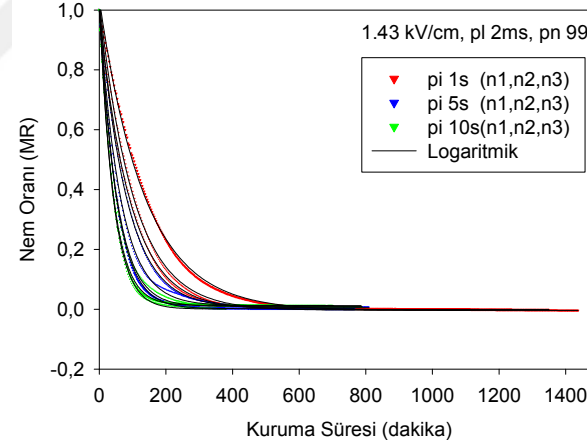
f)



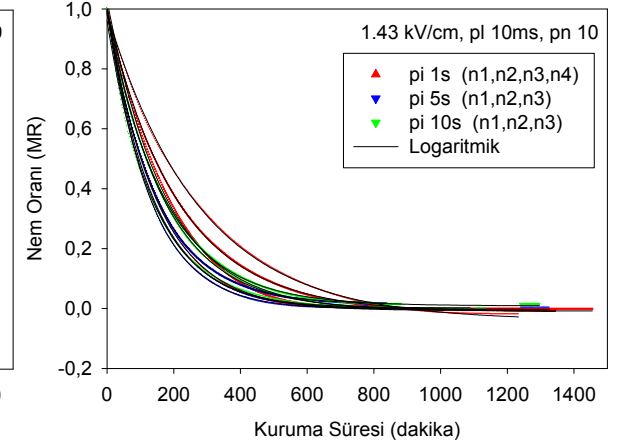
g)



h)



i)



Şekil 3.18. Nane örneklerinin deneysel sonuç ve Logaritmik model ile elde edilen nem oranının (MR) zamana göre değişimi

Tablo 3.1. Nane örnekleri için logaritmik model kullanılarak hesaplanmış model katsayıları, regresyon katsayıları ve RMSE değerleri

Logaritmik Model ($MR=a \exp(-kt)+b$)						
Ön işlem		a	k	b	R ²	RMSE
İşlem görmemiş	n1	1,0820	0,0043	-0,0378	0,9963	0,0167
	n2	1,0988	0,0038	-0,0568	0,9973	0,0145
	n3	1,0430	0,0053	-0,0131	0,9985	0,0090
Dondurulup çözölmüş	n1	1,1269	0,0039	-0,0825	0,9956	0,0195
	n2	1,1854	0,0036	-0,1413	0,9950	0,0216
	n3	1,1534	0,0041	-0,0881	0,9908	0,0290
	n4	1,1234	0,0067	-0,0747	0,9964	0,0179
	n5	1,1276	0,0053	-0,0727	0,9951	0,0206
0.147 kV/cm, pl100ms, pn99, pi1s	n1	1,0947	0,0093	-0,0546	0,9966	0,0168
	n2	1,0910	0,0056	-0,0698	0,9983	0,0124
	n3	1,1116	0,0062	-0,0937	0,9984	0,0126
0.147 kV/cm, pl100ms, pn99, pi5s	n1	1,0900	0,0078	-0,0443	0,9948	0,0222
	n2	1,0732	0,0070	-0,0345	0,9976	0,0147
	n3	1,0433	0,0071	-0,0169	0,9991	0,0088
0.147 kV/cm, pl100ms, pn99, pi10s	n1	1,0763	0,0092	-0,0150	0,9959	0,0173
	n2	1,0462	0,0087	-0,0123	0,9976	0,0143
	n3	1,0844	0,0093	-0,0340	0,9963	0,0179
0.294 kV/cm, pl100ms, pi1s, pn18	n1	1,0850	0,0041	-0,0351	0,9956	0,0195
	n2	1,1036	0,0043	-0,0575	0,9956	0,0193
	n3	1,1001	0,0038	-0,0678	0,9980	0,0128
0.294 kV/cm, pl100ms, pi1s, pn53	n1	0,9975	0,0059	0,0047	0,9997	0,0046
	n2	0,9982	0,0063	-0,0075	0,9993	0,0067
	n3	0,9725	0,0058	-0,0103	0,9992	0,0068
0.294 kV/cm, pl100ms, pi1s, pn70	n1	0,9834	0,0114	0,0051	0,9999	0,0016
	n2	0,9768	0,0101	0,0035	0,9994	0,0054
	n3	1,0051	0,0146	0,0073	0,9999	0,0019
1.43 kV/cm, pl2ms, pi1s, pn99	n1	0,9973	0,0109	-0,0007	0,9997	0,0032
	n2	1,0328	0,0098	-0,0033	0,9988	0,0071
	n3	1,0391	0,0073	-0,0042	0,9990	0,0064
1.43 kV/cm, pl2ms, pi1s, pn160	n1	1,0391	0,0095	0,0022	0,9983	0,0088
	n2	1,0512	0,0082	-0,0033	0,9981	0,0100
	n3	1,0598	0,0122	-0,0023	0,9955	0,0123
1.43 kV/cm, pl2ms, pi1s, pn201	n1	1,0647	0,0119	-0,0040	0,9958	0,0124
	n2	1,0253	0,0069	-0,0034	0,9995	0,0051
	n3	0,9780	0,0126	0,0013	0,9997	0,0027
1.43 kV/cm, pl2ms, pn99, pi5s	n1	1,0122	0,0124	0,0051	0,9997	0,0035
	n2	0,9916	0,0158	0,0122	0,9988	0,0072
	n3	1,0247	0,0197	0,0019	0,9995	0,0042
1.43 kV/cm, pl2ms, pn99, pi10s	n1	1,0055	0,0193	0,0091	0,9990	0,0056
	n2	1,0319	0,0242	0,0008	0,9989	0,0075
	n3	1,0087	0,0237	0,0127	0,9993	0,0047
1.43 kV/cm, pl10ms, pi1s, pn10	n1	1,0074	0,0067	-0,0069	0,9997	0,0042
	n2	1,0266	0,0036	-0,0402	0,9997	0,0042
	n3	1,0023	0,0047	-0,0115	0,9999	0,0026
	n4	1,0392	0,0057	-0,0084	0,9983	0,0092

Tablo 3.1. devamı

1.43 kV/cm, pl10ms, pi1s, pn30	n1	1,0456	0,0112	-0,0015	0,9979	0,0096
	n2	0,9987	0,0160	-0,0030	0,9999	0,0018
	n3	1,0653	0,0123	-0,0024	0,9962	0,0112
1.43 kV/cm, pl10ms, pi1s, pn50	n1	1,0682	0,0146	0,0005	0,9955	0,0116
	n2	1,0598	0,0151	-0,0277	0,9985	0,0108
	n3	1,0349	0,0111	0,0012	0,9988	0,0070
	n4	1,0650	0,0145	-0,0008	0,9964	0,0102
	n5	1,0461	0,0111	-0,0017	0,9973	0,0094
1.43 kV/cm, pl10ms, pn10, pi5s	n1	1,0062	0,0077	-0,0026	0,9999	0,0027
	n2	0,9964	0,0072	-0,0015	0,9999	0,0025
	n3	0,9773	0,0068	0,0137	0,9999	0,0018
1.43 kV/cm, pl10ms, pn10, pi10s	n1	0,9594	0,0072	0,0017	0,9990	0,0067
	n2	1,0105	0,0059	-0,0046	0,9999	0,0023
	n3	0,9764	0,0058	0,0088	0,9999	0,0026
1.43 kV/cm, pl0.2ms, pi1s, pn50	n1	1,0699	0,0045	-0,0428	0,9980	0,0125
	n2	1,0628	0,0068	-0,0140	0,9958	0,0170
	n3	1,0961	0,0059	-0,0538	0,9968	0,0161
1.43 kV/cm, pl0.2ms, pi1s, pn1485	n1	1,0667	0,0263	-0,0078	0,9957	0,0155
	n2	1,0575	0,0269	0,0014	0,9972	0,0105
	n3	1,0570	0,0218	-0,0029	0,9975	0,0098

3.4.2.1. Parçalanma İndeksi ve Etkin Nem Difüzyon Katsayısının Korelasyonu

Şekil 3.19 (a) ve (b)' de, VEA uygulanmasından sonra model katsayılarından (k model katsayısı) hesaplanan etkin nem difüzyon katsayılarının parçalanma indeksine göre değişimleri görülmektedir. VEA'nın etkin nem difüzyon katsayısı üzerine etkisi hiç bir işlem görmemiş örnekler ve dondurulup-çözülmüş örneklerle kıyas edilerek değerlendirilmiştir. Etkin nem difüzyon katsayısı, işlem görmemiş örneklerde $8,05 \times 10^{-12} \pm 1,38 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ve dondurulup-çözülmüş örneklerde $8,50 \times 10^{-12} \pm 2,31 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ iken aralarındaki fark önemsiz bulunmuştur ($p=0,770$).

a) Yüksek ve düşük elektrik alanında vurgu sayısının etkisi

Yüksek elektrik alanında vurgu sayısının artırılması, etkin difüzyon katsayısının (D_{eff}) da işlem görmemişlerinkine göre önemli artışlara sebebiyet vermiştir. İşlem görmemişlerinkine göre istatistiksel önemli artışlar Şekil 3.19' da belirtilmiştir. Bunun yanında, Z_p ve D_{eff} arasındaki ilişki incelenmiştir. Bir genelleme yapılırsa 2ms-10ms' lik vurgu genişliklerinde vurgu sayısı 30' dan 201' e kadar arttırıldığında, D_{eff} değeri Z_p ile Z_p yaklaşık 54-65 oluncaya kadar arttığı izlenimi vermektedir. Diğer bir ifade ile, Z_p

yaklaşık 54-65 seviyesine ulaştıktan sonra vurgu sayısını artırmak D_{eff} ' te önemli artışlara işaret etmemektedir. Buna dair örneğin 2ms' lik vurgu genişliğinde vurgu sayısı 99 ($Z_p=53,71\pm9,73$)'dan 201 ($Z_p=75,62\pm5,93$)' e kadar arttırıldığında D_{eff} ' teki değişimler istatistiksel olarak önemsizdir ($16,8\times10^{-12}\pm3,32\times10^{-12} - 18,9\times10^{-12}\pm5,60\times10^{-12}$). Aynı şekilde, 10ms' lik vurgu genişliğinde vurgu sayısı 30 ($Z_p=65,48\pm7,07$)' dan 50 ($Z_p=110,19\pm12,37$)' ye kadar arttırıldığında, D_{eff} teki değişimler istatistiksel olarak önemsizdir ($23,7\times10^{-12}\pm4,53\times10^{-12} - 23,9\times10^{-12}\pm3,61\times10^{-12}$). Benzer Z_p değerlerinde bu iki uygulama karşılaştırılırsa (2 ms ve 10ms' lik vurgu genişlikleri), 10ms' lik vurgular daha yüksek D_{eff} değeri vermektedir. Bu da vurgu genişliği arttıkça gözenek çapının artması bulgusu [12] ile ilişkili olabilir. Bununla birlikte, bu genellemeye 0.2msx1485' lik uygulama dahil değildir, zira burda vurgu sayısı (pn 1485) parçalama etkisinin çok ötesindedir bu ise doku içinde alabora-aşırı parçalama etkisi yaptığından D_{eff} değerini yükselttiği düşünülmektedir.

Düşük elektrik alanında (100 ms' lik vurgu) vurgu sayısının arttırılması, D_{eff} ' te ancak 70 vurgu sayısında önemli artışa yol açmıştır. 100msx70' lik uygulamada gözlenen D_{eff} ile 10msx30' lik uygulamada elde edilen D_{eff} arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır. Ayrıca, bu uygulamada elektroliz olmasına rağmen D_{eff} ' te önemli artış dikkat çekicidir.

b) Yüksek ve düşük elektrik alanında frekansın etkisi

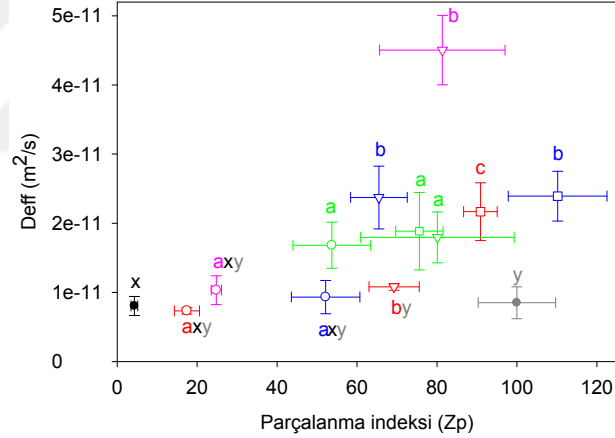
Sonuçlar yüksek elektrik alanında frekans azaltımının, ancak yüksek vurgu sayısı (99) kullanıldığında önemli olduğuna işaret etmektedir (ayrıca kısım 3.2 ve 3.3.2' deki yorumlara bakınız). Şekil 3.19 (b)' de 99 vurgunun frekansı azaltıldığında, D_{eff} değeri Z_p ile doğrusal olarak artmaktadır. En düşük frekansta (0.1Hz, pi 10s) D_{eff} değeri $40,4\times10^{-12}\pm4,86\times10^{-12}$ ye ulaşmaktadır, yani D_{eff} değeri işlem görmemişlerin yaklaşık 5 katıdır. Buna karşın frekans azaltımının D_{eff} üzerine etkisi, vurgu sayısı azaldıkça (pn 10) kaybolmaya başlamaktadır (Şekil 3.19 b).

Elektroliz içeren, düşük elektrik alanında frekans azaldıkça, D_{eff} teki artışlar önemli olmaya başlamaktadır. En düşük frekansta (0.1Hz, pi 10s) D_{eff} değeri $16,3\times10^{-12}\pm0,579\times10^{-12}$ 'ye ulaşarak işlem görmemişlerin yaklaşık 2 katı olmaktadır.

Tablo 3.2. Nane örnekleri için etkin nem difüzyon katsayıları

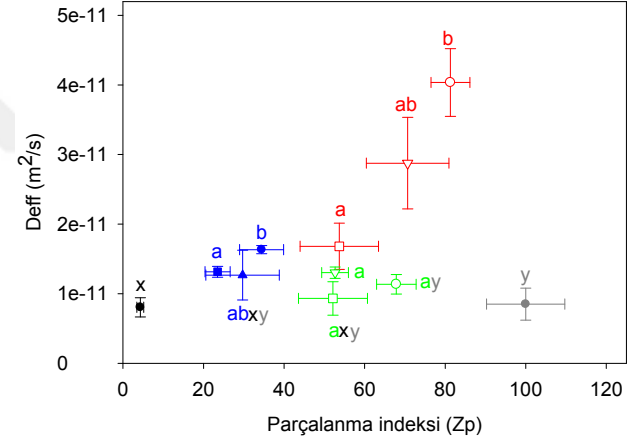
Ön işlem	Deff (m ² /s)	Deff' in işlem görmemiş göre artış katı
İşlem görmemiş	$8,05 \times 10^{-12} \pm 1,38 \times 10^{-12}$	1
Dondurulup çözölmüş	$8,50 \times 10^{-12} \pm 2,31 \times 10^{-12}$	1,06
0.294 kV/cm, pl100ms, pi1s, pn18	$7,33 \times 10^{-12} \pm 0,453 \times 10^{-12}$	0,91
0.294 kV/cm, pl100ms, pi1s, pn53	$10,8 \times 10^{-12} \pm 0,477 \times 10^{-12}$	1,34
0.294 kV/cm, pl100ms, pi1s, pn70	$21,7 \times 10^{-12} \pm 0,417 \times 10^{-12}$	2,70
1.43 kV/cm, pl2ms, pi1s, pn99	$16,8 \times 10^{-12} \pm 3,32 \times 10^{-12}$	2,08
1.43 kV/cm, pl2ms, pi1s, pn160	$18,0 \times 10^{-12} \pm 3,68 \times 10^{-12}$	2,23
1.43 kV/cm, pl2ms, pi1s, pn201	$18,9 \times 10^{-12} \pm 5,60 \times 10^{-12}$	2,34
1.43 kV/cm, pl10ms, pi1s, pn10	$9,32 \times 10^{-12} \pm 2,40 \times 10^{-12}$	1,16
1.43 kV/cm, pl10ms, pi1s, pn30	$23,7 \times 10^{-12} \pm 4,53 \times 10^{-12}$	2,94
1.43 kV/cm, pl10ms, pi1s, pn50	$23,9 \times 10^{-12} \pm 3,60 \times 10^{-12}$	2,97
1.43 kV/cm, pl0.2ms, pi1s, pn50	$10,3 \times 10^{-12} \pm 2,09 \times 10^{-12}$	1,28
1.43 kV/cm, pl0.2ms, pi1s, pn1485	$45,0 \times 10^{-12} \pm 5,02 \times 10^{-12}$	5,59
0.147 kV/cm, pl100ms, pn99, pi1s	$12,7 \times 10^{-12} \pm 3,58 \times 10^{-12}$	1,58
0.147 kV/cm, pl100ms, pn99, pi5s	$13,1 \times 10^{-12} \pm 0,785 \times 10^{-12}$	1,63
0.147 kV/cm, pl100ms, pn99, pi10s	$16,3 \times 10^{-12} \pm 0,579 \times 10^{-12}$	2,02
1.43 kV/cm, pl2ms, pn99, pi1s	$16,8 \times 10^{-12} \pm 3,32 \times 10^{-12}$	2,09
1.43 kV/cm, pl2ms, pn99, pi5s	$28,8 \times 10^{-12} \pm 6,58 \times 10^{-12}$	3,58
1.43 kV/cm, pl2ms, pn99, pi10s	$40,4 \times 10^{-12} \pm 4,86 \times 10^{-12}$	5,02
1.43 kV/cm, pl10ms, pn10, pi1s	$9,32 \times 10^{-12} \pm 2,40 \times 10^{-12}$	1,16
1.43 kV/cm, pl10ms, pn10, pi5s	$13,0 \times 10^{-12} \pm 0,812 \times 10^{-12}$	1,61
1.43 kV/cm, pl10ms, pn10, pi10s	$11,3 \times 10^{-12} \pm 1,40 \times 10^{-12}$	1,40

a)



- 0,294 kV/cm, pl 100ms, pi 1s, pn 18
- ▽ 0,294 kV/cm, pl 100ms, pi 1s, pn 53
- 0,294 kV/cm, pl 100ms, pi 1s, pn 70
- 1,43 kV/cm, pl 2ms, pi 1s, pn 99
- ▽ 1,43 kV/cm, pl 2ms, pi 1s, pn 160
- 1,43 kV/cm, pl 2ms, pi 1s, pn 201
- 1,43 kV/cm, pl 10ms, pi 1s, pn 10
- ▽ 1,43 kV/cm, pl 10ms, pi 1s, pn 30
- 1,43 kV/cm, pl 10ms, pi 1s, pn 50
- 1,43 kV/cm, pl 0.2ms, pi 1s, pn 50
- ▽ 1,43 kV/cm, pl 0.2ms, pi 1s, pn 1485
- işlem görmemiş
- dondurulup çözülmüş

b)



- ▲ 0,147 kV/cm, pl 100ms, pn 99, pi 1s
- 0,147 kV/cm, pl 100ms, pn 99, pi 5s
- 0,147 kV/cm, pl 100ms, pn 99, pi 10s
- 1,43 kV/cm, pl 2ms, pn 99, pi 1s
- ▽ 1,43 kV/cm, pl 2ms, pn 99, pi 5s
- 1,43 kV/cm, pl 2ms, pn 99, pi 10s
- 1,43 kV/cm, pl 10ms, pn 10, pi 1s
- ▽ 1,43 kV/cm, pl 10ms, pn 10, pi 5s
- 1,43 kV/cm, pl 10ms, pn 10, pi 10s
- işlem görmemiş
- dondurulup çözülmüş

Şekil 3.19. Yüksek ve düşük elektrik alanında farklı vurgu sayılarında (a) ve frekanslarda (b) parçalanma indeksine karşılık gelen etkin nem difüzyon katsayıları. Birbirinden önemli derecede farklı olmayan ($p>0,05$) uygulamalar aynı harf ile gösterilmiştir.

3.4.3. Kuruma Süreleri

Şekil 3.20 (a) ve (b)' de, VEA uygulanmasından sonra kurutulan (27°C) örneklerin kuruma süreleri görülmektedir. VEA'nın etkisi hiç bir işlem görmemiş örnekler ve dondurulup-çözülmüş örneklerle kıyas edilerek değerlendirilmiştir. İşlem görmemiş örneklerin kuruma süresinin $15 \pm 3,4$ saat ve dondurulup-çözülmüş örneklerin $9,1 \pm 0,9$ saat olduğu görülmektedir ($p=0,008$).

a) Yüksek ve düşük elektrik alanında vurgu sayısının etkisi

Şekil 3.20 (a)' da, yüksek elektrik alanında vurgu sayısını artırımı ile kuruma süresinin işlem görmemişlerinkine göre daha kısa olduğu görülmektedir. 2ms' lik vurgu genişliğinde vurgu sayısı 99 ($Z_p=53,71 \pm 9,73$)'dan 201 ($Z_p=75,62 \pm 5,93$)' e kadar arttırıldığında kuruma süresindeki değişimler istatistiksel olarak önemsizdir ($6,1 \pm 1,4 - 5,5 \pm 2,3$ saat). Aynı şekilde, 10ms' lik vurgu genişliğinde vurgu sayısı 30 ($Z_p=65,48 \pm 7,07$)' dan 50 ($Z_p=110,19 \pm 12,37$)' ye kadar arttırıldığında, kuruma süresindeki değişimler istatistiksel olarak önemsizdir ($4,7 \pm 1,1 - 5,3 \pm 2,5$ saat). Bununla birlikte, 0.2msx1485' lik uygulamada kuruma süresi $2,2 \pm 0,1$ saate düşmüştür.

Düşük elektrik alanında (100 ms' lik vurgu) vurgu sayısının arttırımı ile kuruma süresinin kısaldığı görülmüştür. 100msx70' lik uygulamada gözlenen kuruma süresi ile 10msx30' lik uygulamada elde edilen kuruma süresi arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır.

b) Yüksek ve düşük elektrik alanında frekansın etkisi

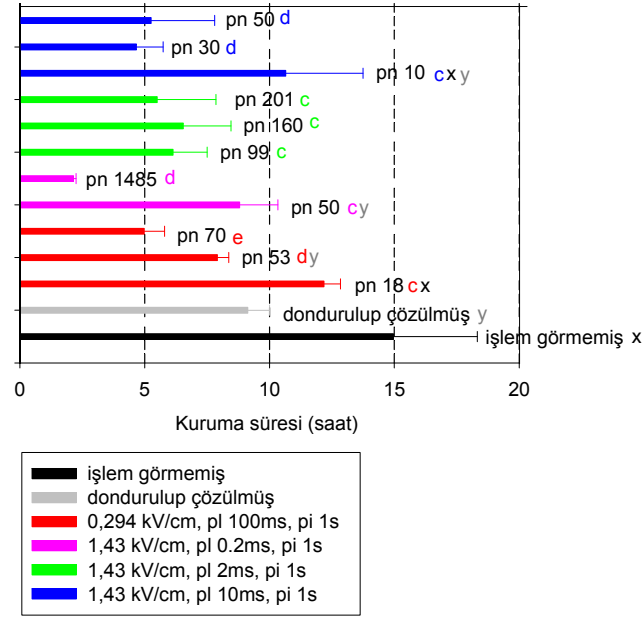
Sonuçlar, yüksek elektrik alanında frekans azaltımının, ancak yüksek vurgu sayısı (99) kullanıldığında önemli olduğuna işaret etmektedir. Şekil 3.20 (b)' de 99 vurgunun frekansı azaltıldığında, kuruma süresinin kısaldığı görülmektedir. En düşük frekansta (0.1Hz, pi 10s) kuruma süresi $2,7 \pm 0,6$ saat olarak işlem görmemiş örneklere göre daha kısa olduğu görülmektedir. Buna karşın frekans azaltımının kuruma süresine etkisi, vurgu sayısı azaldıkça ($p_n 10$) kaybolmaya başlamaktadır.

Düşük elektrik alanının 100ms' lik vurgularında frekans azaltmanın kuruma süresine etkisi önemsiz bulunmuştur. Fakat işlem görmemiş göre kuruma süresi kısalmıştır.

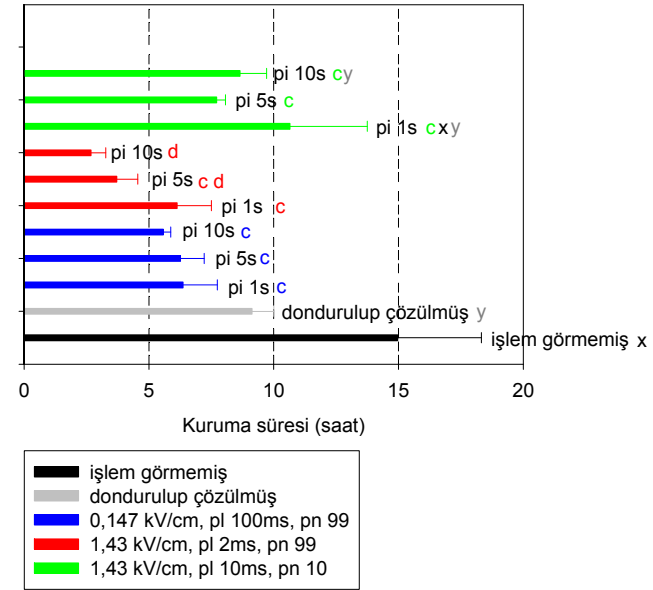
Tablo 3.3. Nane kurutma denemelerine ait kuruma süreleri

Ön işlem	Kuruma süresi (saat)
İşlem görmemiş	15,0±3,4
Dondurulup çözölmüş	9,1±0,9
0.294 kV/cm, pl100ms, pi1s, pn18	12,2±0,7
0.294 kV/cm, pl100ms, pi1s, pn53	7,9±0,5
0.294 kV/cm, pl100ms, pi1s, pn70	5,0±0,8
1.43 kV/cm, pl2ms, pi1s, pn99	6,1±1,4
1.43 kV/cm, pl2ms, pi1s, pn160	6,6±1,9
1.43 kV/cm, pl2ms, pi1s, pn201	5,5±2,3
1.43 kV/cm, pl10ms, pi1s, pn10	10,7±3,1
1.43 kV/cm, pl10ms, pi1s, pn30	4,7±1,1
1.43 kV/cm, pl10ms, pi1s, pn50	5,3±2,5
1.43 kV/cm, pl0.2ms, pi1s, pn50	8,8±1,5
1.43 kV/cm, pl0.2ms, pi1s, pn1485	2,2±0,1
0.147 kV/cm, pl100ms, pn99, pi1s	6,4±1,4
0.147 kV/cm, pl100ms, pn99, pi5s	6,3±1,0
0.147 kV/cm, pl100ms, pn99, pi10s	5,6±0,3
1.43 kV/cm, pl2ms, pn99, pi1s	6,1±1,4
1.43 kV/cm, pl2ms, pn99, pi5s	3,7±0,8
1.43 kV/cm, pl2ms, pn99, pi10s	2,7±0,6
1.43 kV/cm, pl10ms, pn10, pi1s	10,7±3,1
1.43 kV/cm, pl10ms, pn10, pi5s	7,7±0,4
1.43 kV/cm, pl10ms, pn10, pi10s	8,7±1,1

a)



b)



Şekil 3.20. Yüksek ve düşük elektrik alanında farklı vurgu sayılarında (a) ve frekanslarındaki (b) kuruma süreleri. Kuruma süresin hesaplanmasında, nem içeriği, başlangıçtan 0.19 g su/ g kuru madde değerine ulaşana kadarki süre göz önüne alınmıştır. Birbirinden önemli derecede farklı olmayan ($p>0,05$) uygulamalar aynı harf ile gösterilmiştir.

3.5. Siyah-Nane Çayı Prototip-Üretim Denemesi

VEA işlemi görüp okside edilmiş nane yaprakları 90 °C’ de 30 dakika kurutulduktan sonra öğütülmüş ve ardından 90 °C’deki su içerisinde ekstraksiyona maruz bırakılmıştır. Şekil 3.21’ de VEA işlemi görmüş nane yapraklarının 90 °C’ de kurutma sonrası resimleri ve üretilen VEA-çayının prototipi gösterilmiştir.



Şekil 3.21. VEA işlemi görmüş nane yaprakları 90 °C’ de kurutma sonrası (öğütülmüş) görünümü ve üretilen VEA çayının prototipi

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler

Bu tez çalışmasında, Vurgulu elektrik alan (VEA) tekniği kullanarak esmer/kahverengi/siyah nane çayının üretilip üretilmeyeceğinin ön çalışması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar bunun mümkün olabileceğini göstermiştir, teknik ayrıca diğer çay yaprağı çeşitlerine de uygulanabilir. Çalışmada bir çok farklı VEA şartlarında bütüne yakın kahverengileşme gözlenmiş olup, hangi VEA şartlarının kullanılmasının uygun olabileceği hakkında değerlendirme de yapılmıştır. Optimum VEA şartları olarak, en az enerji sarfiyatı ile bütüne yakın kahverengileşmeyi sağlayan VEA şartları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, yüksek elektrik alanın (1.43 kV/cm, 2ms) sadece çoklu vurgularında (99 sayıda) frekans azaltmanın, Z_p , KI , $Deff$ artışlara ve kuruma sürelerinde azalmalara yol açtığı bulunmuştur. Fakat bu etki yüksek elektrik alanın (1.43 kV/cm, 10ms) az sayıdaki vurgularında tam tespit edilememiştir veya vurgu sayısı azaldıkça, frekans azaltmanın etkisi de azalmaktadır. 99 adet vurgunun 10 saniye veya 1 saniye aralıkla uygulanması karşılaştırıldığında 10 saniyelik uygulama daha etkin bulunmuştur. Bu etkinin muhtelif sebepleri olabilir. İlk vurgularda oluşan gözenekler (porlar) den hücre dışına çıkış 10 saniye süre içerisinde ozmoz yolu ile yürürken, 10. saniye sonunda gelen diğer vurgu çıkışı hızlandırabilir. Bu aşamada ozmotik güçlerin yanında, elektriksel güçte devreye girerek, adeta gözeneklerde bir yırtılmaya sebebiyet verebilir. Ayrıca vurgu sayısının yüksek 99 adet olduğu göz önüne alınırsa, bu kadar yüksek vurguda doku içinde bir alabora, hücre parçalanma sonrasında etkin bir karıştırmaya yol açarak, enzimlerin substratlara (fenolikler ve oksijen) daha yaklaşması sonucunu doğurabilir. İlişkin olarak, VEA' nın hızla (ortalama 20 dakika içerisinde) esmerleşmeye yol açmasıdır. Bazı yüksek alan uygulamalarında ise örneklerin % 30-40 oranında 1 dakika içerisinde esmerleştiği

gözlenmiştir. Tezin işaret ettiği diğer sonuç ise, kahverengileşme ve kurumadaki etkilerin Z_p değeri = 65-80 olana kadar doğru bir oran içinde olmasıdır ve Z_p bunun üzerine çıktığında etkiler genelde daha fazla artmamaktadır. Dolayısıyla gelecekte yapılacak çalışmalarda, Z_p ' ye bakılarak esmerleşmenin seviyesi ve kuruma süresinin zamanı tahmin edilebilir. Diğer bir bulgu, düşük elektrik alanında uzun vurgular kullanımında, doku parçalanmanın yanında elektroliz oluştuğudur. Eğer bu VEA seviyesinde bir çalışma yapılırsa, elektrolizin etkisi çıkarılarak Z_p gerçeğe daha yakın tahmin edilebilir. İmaj analiz sonuçları elektrolize rağmen 0.294 kV/cm' in, 100ms' lik vurgusunda önemli oranda hücrenin parçalandığını göstermiştir. Bununla birlikte elektrik alan şiddet 0.147 kV/cm' e düşürüldüğünde hücrelerin parçalanıp parçalanmadığı belirsizdir. Deneyde çok az düzeyde yüzeyde kahverengileşme gözlenirken, dokunun halen diri (turgora sahip) olduğu gözlenmiştir. Gelecekte yapılması muhtemel çalışmalarda göz önüne alınması gereken diğer bir gözlem ise yaprakları elektrot içindeki suya yerleştirirken, yapraklar üzerinde hava kabarcıkları oluşumu ile VEA etkinliğinin engellenmesidir. Bu açıdan örnek elektrot içine yerleştirildikten sonra ultrases ile veya vakum uygulanması ile bu kabarcıklar giderilebilir. Çalışmanın işaret ettiği diğer bir önemli sonuç ise, VEA' nın esmerleştirmenin yanında kuruma sürelerinde de çok önemli farklar oluşturduğudur. Elde edilen sonuçlar nane örneklerine VEA uygulamasının kuruma süresini azalttığını göstermektedir. İşlem görmemiş örneklerin kuruma süresi yaklaşık $15,0 \pm 3,4$ saat sürerken, VEA' lı örneklerin 2-3 saatlik bir zaman ölçeğinde tamamen kurudukları tespit edilmiştir. Kuruma süresinin kısalması VEA' nın hücre zarı parçalanmasını sağlayarak suyun kütle transferini hızlandırmasıyla açıklanabilir. Siyah çay üretiminde soldurma/kıvırma prosesi yerine VEA kullanımı endüstriyel üretimde enerji ve zaman tasarrufu sağlamanın yanı sıra kalite kriterlerinde de iyileşmelere yol açabilir.

VEA ile kahverengileştirilmiş ve kurutulmuş nane yapraklarından esmer renkli çay üretmek mümkün mü? Elde ettiğimiz nane örneklerini sıcak suya bıraktığımızda, tıpkı geleneksel çayda olduğu gibi kahverengi dem renginin oluştuğunu gözlemledik. Mevcut bilgimize göre, piyasada esmer renkli nane çayı bulunmamaktadır, çalışma bu açıdan piyasaya yeni bir ürün çeşidi de sunmuştur. Ancak bu VEA-çayının duyu özellikleri ve iyileştirilmesi, oluşan maddelerin analizi ile beraber ayrı bir çalışma konusudur.

KAYNAKLAR

1. Whitaker, J.R., Lee, C.Y., 1995. Recent advances in chemistry of enzymatic browning: An overview, 2-7.
2. Cemeroğlu, B.S, 2011. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, 2. Cilt 1. Baskı, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
3. İpekçi, B., 2016. Siyah Çayın Triterpenik Asit İçeriği. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun.
4. Fincan, M., De Vito, F., Dejmek, P., 2004. Pulsed electric field treatment for solid-liquid extraction of red beetroot pigment. **Journal of Food Engineering**, **64** (3): 381–388.
5. Donsi, F., Ferrari, G., Pataro, G., 2010. Applications of pulsed electric field treatments for the enhancement of mass transfer from vegetable tissue. **Food Engineering Reviews**, **2** (2): 109-130.
6. Yaşar, Ş., 2017. Nane Yapraklarına Vakum Empregnasyonu Yoluyla Askorbik Asit Aktarımında Tersinir Elektroporasyonun Rolü. Erciyes üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
7. Zimmermann, U. 1986. Electrical breakdown, electroporabilization and electrofusion-Reviews of physiology. **Biochemistry Pharmacology**, **105**: 175-256.
8. Uğur, M., 2015. Atık Aktif Çamurun Darbeli Elektrik Alan (PEF) ile Ön Arıtımı ve Aerobik Stabilizasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
9. Napotnik, B. T., Miklavcic, D., 2018. In vitro electroporation detection methods- an overview. **Bioelectrochemistry**, **120**: 166-182.
10. Pataro, G., Ferrari, G., Donsi, F., 2011. Mass transfer enhancement by means of electroporation. **Mass Transfer** **1** (8): 151-176.
11. Ekici, L., 2011. Üzüm Kabuğu, Siyah Havuç ve Kırmızı Lahanadan Ekstrakte Edilen Antosiyanin Bazlı Renk Maddelerinin Biyolojik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Bazı Gıda Maddelerinde Renklendirici Olarak Kullanımı. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri.

12. Saulis, G., Saule, R., 2012. Size of the pores created by an electric pulse: Microsecond vs millisecond pulses. **Biochimica et Biophysica Acta**, **1818**: 3032–3039.
13. Kakı, H.İ., Balkan, B., Akar, M., Font, A., Karbancıoğlu Güler, F., Kalenderli, Ö., 2014. Darbeli elektrik alan uygulamasının sıvı gıdaların pastörizasyonunda kullanımı use of impulse electric fields for liquid food pasteurization. Elektrik- Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 27-29 Kasım, Bursa, Türkiye.
14. Chen, W., Lee, R.C. 1994. Altered ion channel conductance and ionic selectivity induced by large imposed membrane potential pulse. **Biophysical Journal**, **67** (2): 603-612.
15. Soliva-Fortuny, R., Balasa, A., Knorr, D., 2009. Effects of pulsed electric fields on bioactive compounds in foods: a review. **Trends in Food Science & Technology** **20**: 544-556.
16. Hulsheger, H., Pottel, J., Niemann, E. G. 1981. Killing of bacteria with electric pulses of high field strength. **Radiation and Environmental Biophysics**, **20**, 53–65.
17. Ngadı, M. O., Bazhal, M. I., Raghavan, G. S. V., 2003. Engineering aspects of pulsed electroporation of vegetable tissues. **Journal of Scientific Research and Development**, **5**: 1-9.
18. Evrendilek, G.A., Zhang, Q., Richter, E.R. 1999. Inactivation of *Escherichia coli* 8739 in apple juice by pulsed electric fields. **Journal of Food Protection**, **62** (7): 793-796.
19. Ağçam, E., Akyıldız, A., Akdemir Evrendilek, G., 2014. Vurgulu elektrik alan teknolojisi (PEF): Sistem ve uygulama odacıkları. **Akademik Gıda**, **12**: 69-78.
20. Seçkin, A. K., Özgören, E., 2011. Gıda endüstrisinde darbeli elektrik alan uygulamaları. **Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi/ Journal of Food and Feef Science**, **11**: 39-48.

21. Barba, F.J., Parniakov, O., Pereira, S.A., Wiktor, A., Grimi, N., Boussetta, N., Saraiva, J.A., Rasoe, J., Martin-Belloso, O., Witrowa-Rajchert, D., Lebovka, N., Vorobiev, E., 2015. Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. **Food Research International**, **77** (4): 773-798.
22. Phoon, P.Y., Galindo, F.G., Vicente, A., Dejmek, P., 2008. Pulsed electric field in combination with vacuum impregnation with trehalose improves the freezing tolerance of spinach leaves. **Journal of Food Engineering**, **88** (1): 144-148.
23. Dymek, K., Dejmek, P., Galindo, F. G., 2014. Influence of pulsed electric field protocols on the reversible permeabilization of rucola leaves. **Food and Bioprocess Technology**, **7**: 761-773
24. Janositz, A., Knorr, D., 2010. Microscopic visualization of pulsed electric field induced changes on plant cellular level. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, **11**(4): 592-597.
25. Knorr, D., Angersbach, A., 1998. Impact of high-intensity electric pulses on plant membrane permeabilization. **Trends in Food Science & Technology**, **9**: 185-191.
26. Lebovka, N. I., Bazhal, M. I., Vorobiev, E., 2002. Estimation of characteristic damage time of food materials in pulsed-electric fields. **Journal of Food Engineering**, **54**: 337-346.
27. Fincan, M., 2015. Extractability of phenolics from spearmint treated with pulsed electric field. **Journal of Food Engineering**, **162**: 31-37.
28. Wiktor, A., Iwaniuk, M., Sledz, M., Nowacka, M., Chudoba, T., Witrowa-Rajchert, D., 2013. Drying kinetics of apple tissue treated by pulsed electric field. **Drying Technology**, **31**(1): 112–119.
29. Won, Y.C., Min, S. C., Lee, D. U., 2015. Accelerated drying and improved color properties of red pepper by pretreatment of pulsed electric fields. **Drying Technology**, **33**(8): 926–932.

30. Arevalo, P., Ngadi, M. O., Bazhal, M. I., Raghavan, G. S. V., 2004. Impact of pulsed electric fields on the dehydration and physical properties of apple and potato slices. **Drying Technology**, **22**(5): 1233–1246.
31. Shynkaryk, M.V., Lebovka, N. I., Vorobiev, E., 2008. Pulsed electric fields and temperature effects on drying and rehydration of red beetroots. **Drying Technology**, **26**: 695–704.
32. Amami, E., Khezami, L., Vorobiev, E., Kechaou N., 2008. Effect of pulsed electric field and osmotic dehydration pretreatment on the convective drying of carrot tissue. **Drying Technology**, **26**: 231–238.
33. Angersbach, A., Knorr, D., 1997. Anwendung elektrischer hochspannungsimpulse als vorbehandlungsverfahren zur beeinflussung der trocknungscharakteristika und rehydratationseigenschaften von kartoffelwürfeln. **Nahrung** **41** (4): 194-200.
34. Bazhal, M., Vorobiev, E., 2000. Electrical treatment of apple cosettes for intensifying juice pressing. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, **80**: 1668-1674.
35. Knorr, D., Geulen, M., Grahl, T., Sitzmann W., 1994. Food application of high electric field pulses. **Trends in Food Science and Technology**, **5** (3): 71-75.
36. Gachovska, T. K., Ngadi, M.O., Raghvan, G.S.V., 2006. Pulsed electric field assisted juice extraction from alfalfa. **Department of Bioresource Engineering**, **48**(3): 33–37
37. Karakaplan, N., 2017. Nane (*Mentha spicata*) Bitkisinden Uçucu Yağ Eldesi için Optimum Koşulların Araştırılması. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Malatya.
38. Telci, İ., 2001. Farklı Nane (*Mentha* spp.) Klonlarının Bazı Morfolojik, Tarımsal ve Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerinde Bir Araştırma. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Tokat.
39. Özgüven, M., Kırıcı, S., 1999. Farklı Ekolojilerde Nane (*Mentha*) türlerinin verim ile uçucu yağ oran ve bileşenlerinin araştırılması. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, **23**: 465-472.

40. Akdoğan M., Tamer M. N., Cüre E., Cüre M. C., Köroğlu B.K., Delibaş N., 2007. Effect of spearmint (*Mentha spicata Labiatae*) teas on androgen levels in women with hirsutism. **Phytotherapy Research**, **21** (5): 444-447
41. De Carvalho, C.C.C.R., Da Fonseca, M.M.R., 2006. Carvone: Why and how should one bother to produce this terpene. **Food Chemistry**, **95** (3): 413-422.
42. Alaşalvar, H., 2017. Tıbbi ve Aromatik Nane Türlerinden Buzlu Çay Üretimi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
43. Dorman, H.J.D., Koşar, M., Kahlos, K., Holm, Y., Hiltunen, R., 2003. Antioxidant properties and composition of aqueous extracts from *Mentha* species, hybrids, varieties, and cultivars. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, **51** (16): 4563-4569.
44. Gökbulut, A., Şarer, E., 2010. Simultaneous determination of phenolic compounds in *Mentha Spicata* L. Subsp. *Spicata* by RP-HPLC. **Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences**, **7** (3): 249-254.
45. Bimakr, M., Rahman, R.A., Taip, F.S., Ganjloo, A., Salleh, L.M., Selamat, J., Hamid, A., Zaidul, I.S.M., 2011. Comparison of different extraction methods for the extraction of major bioactive flavonoid compounds from spearmint (*Mentha spicata* L.) leaves. **Food and Bioproducts Processing**, **89** (1): 67-72.
46. Kivilompolo, M., Hyotylainen, T., 2007. Comprehensive two-dimensional liquid chromatography in analysis of Lamiaceae herbs: Characterisation and quantification of antioxidant phenolic acids. **Journal of Chromatography**, **1145** (1): 155–164.
47. Proestos, C., Chorianopoulos, N., Nychas, G.J.E., Komaitis, M., 2005. RP-HPLC analysis of the phenolic compounds of plant extracts. Investigation of Their Antioxidant Capacity and Antimicrobial Activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, **53** (4): 1190-1195.
48. Fincan, M., 2003. Pulsed Electric Field Treatment of Plant Tissue. Doctoral Thesis, Lunc University.

49. De Vito, F., Application of pulsed electric field (PEF) techniques in food processing, department of chemical and food engineering, Programma Operativo Nazionale 2000/2006.
50. <https://slideplayer.com/slide/10613653/36/images/19/Figure+3-2+The+Plasma+Membrane.jpg>. (Eriřim tarihi: 15.04.2019).
51. Liu, X., Frang, J.Q., Cosic, I., 2006. Electrical Impedance Spectroscopy Applied in Plant Physiology Studies. RMIT Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Melbourne.
52. Yazıcı, K., Kaynak, L., 2002. yaprak anatomisi ile değişik çevre koşulları arasındaki ilişkiler. **Derim**, **19** (1): 56-65.
53. <https://www.bilgiustam.com/yaprak-anatomisi> (Eriřim tarihi: 16.04.2019).
54. Özayaz, Ç., 2014. Origanum Vulgare, Origanum Majorana Türlerinde Farklı Kurutma Tekniklerinin Protein, Fenolikler ve Peroksidaz Enzimi Üzerine Etkileri. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale.
55. Eruçar, S., 2006. Bazı Bitkisel Çayların Fenolik Madde Profili ve Antioksidan Aktivitelerinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
56. Yörük, R., Marshall, M.R., 2003. Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: A review. **Journal of Food Biochemistry**, **27** (5): 361-422.
57. Özcan, H.M., 2010. Fenolik Bileşiklerin Tayinine Yönelik Amperometrik Esaslı Biyosensör Hazırlanması. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Edirne.
58. Yediel, A., 2018. Bakla Kabuęundan Polifenol Oksidaz Enziminin İzolasyonu ve Bazı Biyokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Edirne.

59. Karadeniz, B., 2011. Sürgün Dönemine, Rakıma ve Çay Sınıfına Bağlı Olarak Siyah Çayın Aroma Bileşenlerinin Belirlenmesi ve Pervaporasyon İşlemi ile Ayrılması. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Samsun.
60. Polat, A., 2013. Derapazarı-7, Fener-3 ve Tuğlalı-10 Klonlarından Üretilen Siyah Çayların Kalite Parametrelerinin Karşılaştırılması. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
61. Queiroz, C., Lopes, M.L.M, Fialho, E., Valente-Mesquita, V.L., 2008. Polyphenol oxidase: characteristics and mechanisms of browning control. **Food Reviews International**, **24** (4): 361-375.
62. Leon, K., Mery, D., Pedreschi, F., Leon, J., 2006. Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. **Food Research International**, **39** (10): 1084–1091.
63. Quevedo, R., Díaz, O., Ronceros, B., Pedreschi, F., Aguilera, J.M., 2009. Description of the kinetic enzymatic browning in banana (*Musa cavendish*) slices using non-uniform color information from digital images. **Food Research International**, **42** (9): 1309–1314.
64. Yoruk, R., Yoruk, S., Balaban, M.O., Marshall. M.R., 2004. Machine vision analysis of antibrowning potency for oxalic acid: a comparative investigation on banana and apple. **Journal of Food Science**, **69** (6): 281-289.
65. Şahin, M., 2014. Brokoli ve Karnabaharın Kurutma Karakteristiklerine Ön İşlem Sıcaklığının ve Süresinin Etkisi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
66. Jin, W., Mujumdar A. S., Zhang, M., Shi, W., 2018. Novel drying techniques for spices and herbs. **Journal of Food Engineering**, **10** (1): 34–45.
67. Moses, J.A., Norton, T., Alagusundaram, K., Tiwari B. K., 2014. Novel drying techniques for the food industry. **Journal of Food Engineering**, **6** (3): 43–55.

68. Cesur, Ö., 2013. Kurutma Metodları ve Şartlarının Nar Tanesinin Kurutma Kinetiği ve Kalitesi Üzerine Etkisi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa.
69. Mujumdar, A.S., 1995. Handbook of Industrial Drying, 1, Marcel Dekker, Inc., New York.
70. Kaleta. A., Górnicki. K., 2010. Some remarks on evaluation of drying models of red beet particles. **Energy Conversion and Management**, **51** (12): 2967–2978.
71. Erbay, Z., İçier, F., 2009. A review of thin layer drying of foods: theory, modeling and, experimental results. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, **50**: 441-464.
72. Özdemir, M., Devres, Y. O., 1999. The thin layer characteristics of hazelnuts during roasting. **Journal of Food Engineering**, **42**: 225-233.
73. Mohapatra, D., Rao, P. S., 2005. A Thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of food engineering**, **66**: 513-518.
74. Ade-Omowaye, B.I.O., Rastogi, N.K., Angersbach, A., Knorr, D., 2003 . Combined effects of pulsed electric field pre-treatment and partial osmotic dehydration on air drying behaviour of red bell pepper. **Journal of Food Engineering**, **60**: 89-98.
75. Doymaz, İ., 2006. Thin-layer drying behaviour of mint leaves. **Journal of Food Engineering**, **74**: 370-375.
76. Mcminn, W. A. M., 2006. Thin-layer modelling of the convective, microwave, microwave-convective and microwave-vacuum drying of lactose powder. **Journal of Food Engineering**, **72**: 113-123.
77. Hu, C. L., Law, C. L., Cloke, W., 2009. Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa. **Journal of Food Engineering**, **90**: 191-198.
78. Doymaz, I., Pala, M., 2002. Hot-air drying characteristics of red pepper. **Journal of Food Engineering**, **55**: 331–335.

79. Overhults, D. D., White, G.M., Hamilton, M. E., Ross, I. J., 1973. Drying Soybeans with Heated Air. **Published in Transactions of the ASAE, 16 (1): 112-113.**
80. Henderson, S. M., Pabis, S., 1961. Grain drying theory: I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Research Engineering, 6:** 169-174.
81. Henderson, S. M., 1974. Progress in developing the thin layer drying equation. **Transactions of American Society of Agricultural Engineers, 17 (6): 1167-1172.**
82. Akpınar, E.K., Bicer, Y., Yildiz, C., 2003. Thin layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering 59 (1): 99–104.**
83. Midilli A, Kucuk H, Yapar Z., 2002. A new model for single-layer drying. **Drying Technology, 20 (7): 1503–13.**
84. Wang, C. Y., Singh, R. P., 1978. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. ASAE Paper 78-6505, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
85. Thompson, T. L., Peart, R. M., Foster, G. H., 1968. Mathematical simulation of corn drying - a new model. **Transactions of American Society of Agricultural Engineers, 11 (4): 582-586.**
86. Mery, D., Pedreschi, F., 2005. Segmentation of colour food images using a robust algorithm. **Journal of Food Engineering, 66 (3): 353–360.**
87. Consuelo Diaz-Maroto, M., Soledad Perez-Coello, M., Gonzalez Vinas, M.A., Dolores Cabezudo, M., 2003. Influence of drying on the flavor quality of spearmint (*Mentha spicata* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51 (5): 1265-1269.**
88. Toğrul, I. T., Pehlivan, D., 2003. Modelling of drying kinetics of single apricot. **Journal of Food Engineering, 58 (1): 23–32.**

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Serap Aldemir
Uyruğu : Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri : 17.05.1990 - Kayseri
Medeni Durum : Bekâr
e- mail : serap_al2008@hotmail.com
Yazışma Adresi : Beyazşehir Mah. Osman Özcan Cad. 824. Sok. No:6/6
Kocasinan/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Gıda Mühendisliği	2019
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Gıda Mühendisliği	2013
Lise	Şemsettin Mursaloğlu Lisesi, İskenderun	2007

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2014-2015	Kayseri Şeker Fabrikası AŞ.	Kalite Kontrol

YABANCI DİL

İngilizce