

**ULTRASES, FOTOSONİKASYON VE VURGULU
ELEKTRİKSEL ALAN İŞLEMLERİNİN
ELMA SUYUNUN BAZI KALİTE
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Mehmet BAŞLAR

**Doktora Tezi
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Prof. Dr. M. Fatih ERTUGAY
2011
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**ULTRASES, FOTOSONİKASYON VE VURGULU
ELEKTRİKSEL ALAN İŞLEMLERİNİN
ELMA SUYUNUN BAZI KALİTE
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Mehmet Başlar

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2011
Her hakkı saklıdır**



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

ULTRASES, FOTOSONİKASYON VE VURGULU ELEKTRİKSEL ALAN
İŞLEMLERİNİN ELMA SUYUNUN BAZI KALİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Prof.Dr. M.Fatih ERTUGAY danışmanlığında, Arş. Gör. Mehmet BAŞLAR tarafından hazırlanan bu çalışma 23/12/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak oybirliği/~~oy çokluğu~~ (5./5.) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Fevzi KELEŞ

İmza:

Üye : Prof. Dr. M. Fatih ERTUGAY

İmza:

Üye : Prof. Dr. Hasan ÖZDEMİR

İmza:

Üye : Prof. Dr. Feramuz ÖZDEMİR

İmza:

Üye : Doç. Dr. Memnune ŞENGÜL

İmza:

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. Ömer AKBULUT
Enstitü Müdürü

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: 2009/13

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak

ÖZET

Doktora Tezi

ULTRASES, FOTOSONİKASYON VE VURGULU ELEKTRİKSEL ALAN İŞLEMLERİNİN ELMA SUYUNUN BAZI KALİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Mehmet BAŞLAR

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. M. Fatih ERTUGAY

Bu çalışmanın amacı elma suyunun bazı kalite özellikleri üzerine ultrases, fotosonikasyon ve vurgulu elektriksel alan işlemlerinin etkisini incelemek, bu işlemlerin birbirlerine karşı üstünlük ve noksanlıklarını karşılaştırmaktır. Bu amaçla muamele edilen elma suyunun polifenoloksidaz (PFO) ve toplam maya-küf inaktivasyonu, toplam fenolik madde kaybı, bulanıklık düzeyi, bulanıklık kararlılığı, sedimentasyon değeri ve renk, pH, briks değişimi belirlenmiştir. Ayrıca ultrases işleminin kaba partiküllerde meydana getirdiği değişim mikroskopla tespit edilmiştir. Bu çalışmada ultrases ve fotosonikasyon işlemleri 24 kHz sabit frekansta, farklı dalga genliği (50 ve 100µm), vurgu (1:1 ve 0,5:1 ss⁻¹), sıcaklık (40, 50 ve 60°C), süre (5 ve 10 dak.) ve UV şiddeti (0, 8,8 ve 17,6 mWcm⁻²) ile uygulanmıştır. PEF işlemleri ise 0,2 kHz sabit frekansta farklı elektrik alan şiddeti (30 ve 40 kVcm⁻¹) ve vurgu sayısı (50, 100, 150 ve 200) ile kullanılmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre PFO enzimi ve maya-küf inaktivasyonu üzerine fotosonikasyon işlemi ultrases işlemine göre daha başarılıyken, bunların tamamen inaktivasyonu sadece PEF işlemlerinde gerçekleşmiştir. Bununla birlikte fenolik madde kaybı, PFO inaktivasyonun yüksek olduğu işlem şartlarında genellikle yüksek olmuştur. Ultrases ve fotosonikasyon işlemleri elma suyundaki kaba partikülleri parçalayarak bulanıklık düzeyini ve bulanıklık kararlılığını önemli oranda artırmış ve fiziksel görünümünü belirgin bir şekilde iyileştirmiştir. PEF işleminde ise bulanıklık artışı çok düşük seviyede olmuştur. Ayrıca fotosonikasyon işlemi ultrases işlemine göre elma suyunun *L* ve *b* renk parametrelerini daha olumlu etkileirken, uygulanan işlemlerin hiçbirisi pH ve briks değerlerini önemli seviyede etkilememiştir.

2011, 113 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ultrases, fotosonikasyon, PEF, elma suyu, bulanıklık, PFO.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

THE EFFECT OF ULTRASOUND, PHOTOSONICATION AND PULSED ELECTRICAL FIELD PROCESSES ON SOME QUALITY PARAMETERS OF APPLE JUICE

Mehmet BAŞLAR

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. M. Fatih ERTUGAY

The objective of this study was to investigate the effect of ultrasound, photosonation and pulsed electric field (PEF) processes on some quality parameters of apple juice and to compare advantages and disadvantages of these processes. For this purpose, polyphenoloxidase (PPO) enzyme and total yeast-mold inactivation, loss of total phenolic compounds, cloud value, cloud stability, sedimentation level and changes of color, pH, Brix of apple juice were determined. Also the effect of ultrasound on changing of large particles in apple juice was determined by microscopy. It was applied at constant frequency (24 kHz) and different amplitudes (50 and 100 μ), pulses (1:1 and 0,5:1 ss⁻¹), temperatures (40, 50 and 60°C), treatment times (5 and 10 min.) and ultraviolet intensity (0, 8,8 and 17,6 mWcm⁻²) conditions for ultrasound and photosonation processes, and also at constant frequency (0,2 kHz) and different electric field intensity (30 and 40 kVcm⁻¹) and number of pulses (50, 100, 150 and 200) for PEF processes.

According to the research results, it was found that photosonation was effective than ultrasound on PPO and total yeast-mold inactivation, while they were completely inactivated by only PEF. However, loss of total phenolic compounds generally decreased with increasing of PPO inactivation. Ultrasound and photosonation processes improved clearly physical appearance of apple juice increased cloud value and cloud stability by grinding the large particles, while PEF conditions weren't clearly effective on cloud quality of apple juice. Moreover, ultrasound and especially photosonation processes positively affected *L* and *b* parameters, while none of applied processes changed Brix and pH levels of apple juices.

2011, 113 pages

Keywords: Ultrasound, photosonation, PEF, apple juice, cloudy, PPO.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım ve lisansüstü eğitimim boyunca bilimsel katkıları yanı sıra, büyük bir samimiyetle maddi ve manevi desteklerini sunan hocam Sayın Prof.Dr. M.Fatih ERTUGAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince desteğini esirgemeyen bilgi ve deneyimlerinin yanı sıra laboratuvar olanaklarıyla çalışmalarına çeşitli katkılar sunan Sayın Prof.Dr. Fevzi KELEŞ, Sayın Prof.Dr. Hasan ÖZDEMİR, Sayın Doç.Dr. Memnune ŞENGÜL, Sayın Yrd.Doç.Dr. Halis ŞAKİROĞLU, Sayın Doç.Dr. Taner TEKİN, Sayın Doç.Dr. Mustafa ŞENGÜL, Sayın Doç.Dr. Mustafa GÜRSES, Sayın Doç.Dr. Nejdet ŞİMŞEK, Sayın Yrd.Doç.Dr. Bülent ÇETİN, Sayın Arş.Gör. Adem KARA, Sayın Arş.Gör. Fatih ORTAKCI ve Sayın Arş.Gör. Bilge TOPTAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Washington State Üniversitesi'nde çalışma fırsatı sunan Sayın Prof.Dr. Gustavo V. BARBOSA-CANOVAS'a ve çeşitli yardımlarını gördüğüm Sayın Asst. Prof. Dr. Daniela BERMUDEZ-AGUIRRE ve Sayın Fabio VOLAPPI'ye de teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bölüm başkanımız Sayın Prof. Dr. Mükerrerem KAYA'ya ve doktora çalışmamı BAP projesi (2009/13) çerçevesinde destekleyen Atatürk Üniversitesi'nin ilgili tüm yöneticilerine de teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak hayatım boyunca desteğini esirgemeyen annem Sayın Keziban BAŞLAR'a ve çalışmalarım boyunca sabır ve iyi niyetiyle sıkıntılarımı paylaşan hayat arkadaşım Sayın Yasemin BAŞLAR'a teşekkür ederim.

Arş. Gör. Mehmet BAŞLAR

Aralık, 2011

İÇİNDEKİLER

ÖZET..	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	6
2.1. Ultrases	6
2.1.1. Ses dalgasının özellikleri.....	9
2.1.2. Ultrasesin mekanizması	10
2.1.3. Kavitasyonu etkileyen önemli parametreler	14
2.1.4. Ultrasesin gıdalarda meydana getirdiği önemli etkiler	17
2.2. Fotosonikasyon	22
2.2.1. Ultrases ve ultraviyole arasındaki farklılıklar	22
2.2.2. Ultraviyole ışığının fotosonikasyondaki önemi.....	23
2.2.3. Fotosonikasyonun tasarlanması	26
2.3. Vurgulu Elektriksel Alan (PEF).....	27
2.3.1. PEF sisteminin teknik özellikleri.....	27
2.3.2. PEF sisteminin etki mekanizması	31
2.3.3. PEF işlemini etkileyen faktörler	32
2.4. Elma Suları ve Kalite Özellikleri	33
2.4.1. Doğal bulanık elma suyu.....	35
2.4.2. Doğal bulanık elma sularının kalite özellikleri.....	36
2.5. Çalışmanın Amacı	40
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	42
3.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler	42

3.2. Kullanılan Çözeltilerin Hazırlanması	42
3.3. Yararlanılan Alet ve Cihazlar	43
3.4. Materyal	44
3.5. Yöntem	44
3.5.1. Polifenol oksidaz (PFO) enzim aktivitesinin belirlenmesi	44
3.5.2. Toplam fenolik madde analizi	45
3.5.3. Bulanıklık düzeyinin belirlenmesi	45
3.5.4. Bulanıklık kararlılığının belirlenmesi	45
3.5.5. Sedimantasyon değerinin belirlenmesi	46
3.5.6. Mikroskopik görüntünün elde edilmesi	46
3.5.7. Toplam maya-küf sayısının belirlenmesi	46
3.5.8. Renk ölçümü	47
3.5.9. Suda çözünür kuru madde, pH ve elektrik iletkenliğinin belirlenmesi	47
3.5.10. Fotoğraf çekimi	47
3.5.11. Sistemin enerji sarfiyatının belirlenmesi	47
3.5.12. D ve z değerlerinin hesaplanması	48
3.5.13. Isıl işleminin uygulanması	48
3.5.14. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin uygulanması	49
3.5.15. PEF işleminin uygulanması	50
3.5.16. Çalışma Planı	51
3.5.17. İstatistiksel analiz	52
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	53
4.1. Ultrases ve Fotosonikasyon İşlemlerinin Elma Suyunun PFO İnaktivasyonu ve Bazı Fizikokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi	55
4.1.1. PFO enzim inaktivasyonu üzerine etkisi	55
4.1.2. Toplam fenolik madde miktarı üzerine etkisi	63
4.1.3. Renk üzerine etkisi	65
4.1.4. pH ve suda çözünür kuru madde üzerine etkisi	69
4.1.5. Enerji sarfiyatı	72
4.2. Ultrases ve Fotosonikasyonun Bulanıklık Üzerine Etkisi	74
4.2.1. Bulanıklık düzeyi üzerine etkisi	74

4.2.2. Bulanıklık kararlılığı üzerine etkisi	77
4.2.3. Sedimentasyon üzerine etkisi	79
4.2.4. Elma suyundaki kaba partiküllerin mikroskopik görüntüsü	82
4.2.5. Depolama sonrası elma sularının görüntüsü	84
4.3. Ultrases ve Fotosonikasyonun Maya ve Küf İnaktivasyonu Üzerine Etkisi	89
4.4. PEF İşleminin Elma Suyunun Bazı Kalite Özelliklerine Etkisi.....	92
4.4.1. PFO ve bazı fizikokimyasal özelliklerine etkisi	92
4.4.2. Depolama sonrası bulanıklık üzerine etkisi.....	95
4.4.3. Maya ve küf inaktivasyonu üzerine etkisi.....	97
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	100
KAYNAKLAR.....	105
ÖZGEÇMİŞ.....	114

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

μm	Mikrometre
a değeri	Kırmızı/yeşil renk değeri ($+a$ = kırmızı, $-a$ = yeşil)
A	Genlik (μm)
A_{420}	420 nm dalga boyundaki absorbands değeri
b değeri	Sarı/mavi renk değeri ($+b$ = sarı, $-b$ = mavi)
BK	Bulanıklık kararlılığı (%)
C_p	Spesifik ısı ($\text{J kg}^{-1} \text{C}^{-1}$)
d	Uzunluk (cm veya m)
dak.	Dakika
$D_{\text{Sic.}}$	Belirtilen sıcaklıktaki D değeri (dak.)
E	Enerji (joule)
EA	Enzim aktivitesi ($\Delta A_{420} \text{ dak}^{-1}$)
E_e	Elektrik alan şiddeti (kVcm^{-1})
EE	Enzimatik esmerleşme
F	Akış debisi (L dak.^{-1})
f	Frekans (Hz veya kHz)
FCR	Folin-Ciocalteu reaktifi
FS	Fotosonikasyon
FS1	2 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon sistemi
FS2	4 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon sistemi
GAE	Gallik Asit Eşdeğeri (mg l^{-1})
HTST	Yüksek sıcaklık şartlarında kısa süreli işlem
Hz	Hertz
I	Ses şiddeti (Wcm^{-2})
IU	Uluslararası Birim
kHz	Kilo Hertz
kob	Koloni oluşturan birim
L değeri	Koyuluk/açıklık renk değeri (0=siyah, 100=koyu)
MHz	Mega Hertz

MS	Manosonikasyon
MTS	Manotermosonikasyon
n	Vurgu sayısı
NTU	Nefelometrik bulanıklık birimi
P	Güç (W)
PE	Pektin esteraz
PEF	Vurgulu elektriksel alan
PFO	Polifenol oksidaz
P _{FS}	Vurgusuz fotosonikasyon sistemi için harcanan güç (W)
PME	Pektin metil esteraz
POD	Peroksidaz
P _{US}	Vurgusuz ultrases sistemi için harcanan güç (W)
P _{V-FS}	Vurgulu fotosonikasyon sistemi için harcanan güç (W)
P _{V-US}	Vurgulu ultrases sistemi için harcanan güç (W)
Q	Isı (kcal)
R	Korelasyon katsayısı
r	Yarıçap (cm ²)
S	Alan (cm ² veya m ²)
s	Saniye
SÇKM	Suda çözümlü kuru madde (°B)
T	Sıcaklık (°C)
t	Zaman (dak. veya s)
TS	Termosonikasyon
UI	Ultrases şiddeti (Wcm ⁻²)
US	Ultrases
UV	Ultraviyole
UV-A	Kısa dalga UV (320–400 nm)
UV-B	Mikrodalga UV (280–320 nm)
UV-C	Uzun dalga UV (200–280 nm)
v	Hacim (ml)
V	Voltaj (kV)
V _r	Vurgu (s s ⁻¹)

V-UV	Vakum ultraviyole (100–200 nm)
z	z değeri (°C)
α	Soğurma katsayısı
λ	Dalga boyu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Sesin frekans aralığı	6
Şekil 2.2. Ultrases işlemcisi	8
Şekil 2.3. Ses dalgasının özellikleri	9
Şekil 2.4. Kaviteasyon kabarcığının oluşum, gelişim ve patlama süreci.....	11
Şekil 2.5. Kaviteasyon sırasında kabarcık çapının zamana bağlı olarak gelişimi.....	12
Şekil 2.6. Kaviteasyonun oluşması.....	13
Şekil 2.7. Asimetrik patlayan bir kabarcığın şematik gösterimi	14
Şekil 2.8. Kaviteasyonun oluşması için gereken eşik ultrases şiddeti.....	15
Şekil 2.9. Ultrases uygulanmış hücrenin zarar görme mekanizması	18
Şekil 2.10. Ultrasesin proteinin yapısal özellikleri üzerine etkisi	19
Şekil 2.11. Işın skalası.....	23
Şekil 2.12. UV ışınmasının sınırlamaları	24
Şekil 2.13. Elektromanyetik spektrumda hücre ölüm eğrisi	25
Şekil 2.14. Fotosonikasyon sistemi	26
Şekil 2.15. PEF sisteminin temel unsurlarının şematik gösterimi	28
Şekil 2.16. İşlem kabindeki elektrotların durumu	29
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan fotosonikasyon sistemi.....	49
Şekil 3.2. Kullanılan PEF sistemindeki işlem kabini.....	51
Şekil 4.1. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin elma suyunun PFO inaktivasyonu üzerine etkisi	56
Şekil 4.2. PFO inaktivasyonunun z değeri (°C) grafiği	62
Şekil 4.3. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin elma suyunun fenolik madde kaybı üzerine etkisi	64

Şekil 4.4. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin elma suyunun <i>L</i> değeri üzerine etkisi.....	66
Şekil 4.5. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin elma suyunun kroma değeri üzerine etkisi.....	67
Şekil 4.6. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin elma suyunun bulanıklık düzeyi üzerine etkisi	76
Şekil 4.7. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin elma suyunun bulanıklık kararlılığı üzerine etkisi	78
Şekil 4.8. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin elma suyunun sedimentasyon üzerine etkisi.....	81
Şekil 4.9. İşlem görmemiş elma suyundaki kaba parçacıkların mikro yapısı	82
Şekil 4.10. Ultrases uygulanmış elma suyundaki kaba parçacıkların mikro yapısı	83
Şekil 4.11. Depolamanın işlem görmüş elma sularının görüntüsüne etkisi - 1	85
Şekil 4.12. Depolamanın işlem görmüş elma sularının görüntüsüne etkisi - 2	86
Şekil 4.13. Depolamanın işlem görmüş elma sularının görüntüsüne etkisi - 3	87
Şekil 4.14. Depolamanın işlem görmüş elma sularının görüntüsüne etkisi - 4	88
Şekil 4.15. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin elma suyunun toplam maya-küf inaktivasyonu üzerine etkisi	90
Şekil 4.16. PEF işleminin PFO aktivitesi ve toplam fenolik madde kaybı üzerine etkisi.....	93
Şekil 4.17. PEF işleminin elma suyunun renk değerleri üzerine etkisi	94
Şekil 4.18. PEF işleminin elma suyunun bulanıklık düzeyi ve bulanıklık kararlılığı üzerine etkisi	96
Şekil 4.19. Depolamanın PEF uygulanan elma sularının görüntüsüne etkisi	96
Şekil 4.20. PEF işleminin toplam maya – küf inaktivasyonu üzerine etkisi.....	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Elma ve elma suyunun bileşimi	34
Çizelge 4.1. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinde kullanılan soğutma suyunun sıcaklık (°C) değerleri.....	54
Çizelge 4.2. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin PFO inaktivasyonundaki D değerleri (dak.)	60
Çizelge 4.3. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin PFO inaktivasyonundaki z değerleri (°C).....	61
Çizelge 4.4. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin pH değeri üzerine etkisi	70
Çizelge 4.5. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin SÇKM (°B) değeri üzerine etkisi	71
Çizelge 4.6. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin harcadığı güç (W) miktarı.....	73
Çizelge 4.7. PEF işleminin elma suyunun bazı özelliklerine etkisi.....	95

1. GİRİŞ

Günümüzde gıda endüstrisi açısından gıdaların daha iyi muhafaza edilebilmesi ve güvenli gıdaların üretilebilmesi önem arz eden konuların başında gelmektedir. Bu amaçla kullanılan gıda muhafaza yöntemlerinin esası mikroorganizma ve enzim aktivitelerinin tamamen durdurulması, etkin olarak kontrol altına alınması veya mümkün olduğu kadar yavaşlatılması esasına dayanmaktadır.

Günümüzde kullanılan muhafaza metotları genel olarak ısı işlem teknolojileri, soğukta ve dondurarak muhafaza, kurutma, konsantre etme, fermantasyon teknolojisi, koruyucu madde kullanımı, atmosfer şartlarının değiştirilmesi ve alternatif yeni teknolojilerden oluşmaktadır (Erkmen 2010). Gıda endüstrisinde birçok gıdanın muhafaza edilebilmesine imkân tanıyan ve çok yaygın bir kullanım alanına sahip olan ısı işlem teknolojisi mikroorganizma ve enzim inaktivasyonu üzerine oldukça etkili bir yöntemdir. Bununla birlikte gıdaların tat ve aromalarını olumsuz etkilemesi ve besin kayıplarına sebep olması ısı işlemlerin en önemli dezavantajları arasındadır. Tüketicilerin daha taze ve daha az işlenmiş gıda ürünlerini tercih etme eğilimi araştırmaların ısı olmayan gıda işleme tekniklerine odaklanmasına sebep olmuştur (Mason *et al.* 2005)

Mikroorganizma veya enzim inaktivasyonu için ısı olmayan alternatif teknolojilerin kullanımını yeni değildir. Fakat son zamanlarda tüketicilerin isteklerini karşılamak için bu alandaki gelişmeler önemli düzeylere ulaşmıştır. Bunun için geliştirilen ısı olmayan işlemler, gıdaların renk, tat, aroma ve besin değerini çok etkilemeden mikroorganizma ve enzimleri inaktif etme özelliğine sahiptir (Barbosa-Canovas *et al.* 1999a). Ultrases (US), yüksek basınç teknolojisi (HP), vurgulu elektriksel alan (PEF), ultraviyole ışık (UV) ve ışınlama uygulamaları başlıca ısı olmayan gıda işleme teknikleridir. Bu teknikler bazen tek başına kullanılırken bazen de daha iyi sonuçların alınabilmesi için birlikte kullanılabilir (Karel and Lund 2003).

Ultras ses tekniği kullanılarak peroksidaz (De Gennaro *et al.* 1999; Lopez and Burgos 1995a), lipoksigenaz (Lopez and Burgos 1995b), lipaz ve proteaz (Vercet *et al.* 1997), pektin esteraz (Kuldiloke 2002; Lopez *et al.* 1998; Vercet *et al.* 1999; Vercet *et al.* 2002), laktoperoksidaz ve alkalen fosfataz (Ertugay *et al.* 2003) gibi enzimlerin inaktivasyonu ile ilgili çok sayıda araştırma bulunmaktadır.

UV ışık kullanımı mikroorganizma inaktivasyonunda oldukça önem arz eden bir teknoloji olmasına rağmen enzim inaktivasyonunda henüz pek başarılı değildir. UV ışığının sıvı ortam içerisine nüfuz edebilme kabiliyetinin sınırlı olmasından dolayı bu teknik tek başına enzim inaktivasyon çalışmalarında tercih edilmemektedir. Bununla birlikte mango nektarındaki polifenol oksidaz (PFO) enzim inaktivasyonunun %81'e kadar ulaştığına dair çalışmalar mevcutken (Guerrero-Beltran and Barbosa-Canovas 2006), başka bir çalışmada ise UV ışığına maruz bırakılan portakal suyunda pektinmetil esteraz (PME) inaktivasyon seviyesi sadece %5'te kalmıştır (Tran and Farid 2004). PEF işleminin de çeşitli meyvelerden elde edilen PFO enzimi üzerine önemli bir inaktivasyon etkisinin olduğu gözlenmiştir (Giner *et al.* 2001). PEF işlemi (Giner *et al.* 2005; Espachs-Barroso *et al.* 2006) ve yüksek basınç tekniği (Goodner *et al.* 1998; Basak *et al.* 2001; Riahi and Ramaswamy 2003; Bull *et al.* 2004) ile pektinesteraz enzim inaktivasyon çalışmalarına da literatürde çokça rastlanmaktadır.

Blume *et al.* (2002) UV ve US kullanarak suyun dezenfeksiyonu üzerine yaptıkları bir çalışmada 20 kHz'de, 13mm çapında ultras ses probuyla 1,7-60,8 Wcm⁻² ultras ses şiddeti ile 10-400 WL⁻¹ ultras ses yoğunluğu aralığında ultras ses ve 254nm (20×1,3cm) dalga boyunda UV lambasını ayrı ayrı kullanmışlardır. Ultras ses işlemi tek başına dezenfeksiyonda yetersiz kalmasına rağmen, ultras ses işleminden sonra UV işlemi uygulanmasının tek başına UV uygulamasından daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Ultras esle önışlem görmüş sulara UV ışığı uygulaması hem faydalı hem de düşük maliyetli olmuştur.

Portakal suyu ile ilgili olarak yapılan bir çalışmada, 500 kHz frekans ve 240 W gücünde 15 dakika ultrasonik su banyosu kullanılarak işlem yapılmış ve sınırlı bir mikrobiyal

inaktivasyon ($\leq 1,08$ log kob) sağlanmıştır. Bununla birlikte ultrasesin mikroorganizmalarda hücre hasarına sebep olmasından dolayı hem 5°C hem de 14°C'de depolamada 14. güne kadar mikrobiyal gelişim gözlemlenmemiştir. Mikrobiyal etkinliğinin azalmasında meyve suyunun pulp içeriğinin ultrases işlemine olumsuz etki ettiği de vurgulanmıştır. Ayrıca ultrasesin tek başına gıda kaynaklı patojenlerin inaktivasyonunda yeterli olmadığı ve diğer ısı olmayan işlemlerle birlikte uygulanması gerektiği de ifade edilmiştir (Valero *et al.* 2007).

UV ve PEF işlemlerinin elma sularına yalnız ve sırayla uygulandığı bir çalışmada (Noci *et al.* 2008) tek başına UV işlemi 2,2 log, tek başına PEF işlemi ise 5,4 log mikrobiyal azalmaya sebep olmuştur. 72°C'de 26 saniyelik işlem şartlarında ısı işlem uygulamasının 6,0 log, 94°C'de 26 saniyelik işlem şartlarında ısı işlem uygulamasının ise 6,7 log mikrobiyal azalmaya sebep olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışmada önce UV sonra PEF uygulamasında 6,2; önce PEF sonra UV uygulamasında ise 7,1 log bir azalma gerçekleşmiştir. Isıl olmayan işlem uygulamalarında renk ve fenolik madde içeriklerinin ısı uygulamaya göre daha az etkilendiği belirlenmiştir. PEF ve iki ısı olmayan işlemin sırayla uygulanması sonucu PFO ve peroksidaz (POD) enzim aktivitesindeki azalma 72°C'deki ısı işleminden daha fazla olmuştur (Noci *et al.* 2008).

UV'nin sütün mikrobiyal inaktivasyonu üzerine yapılan bir çalışmada (Engin vd, 2009) 254 nm dalga boyu ve $260 \mu W cm^{-2}$ şiddete sahip 9 adet UV lambasının süt örneklerinde toplam aerobik mezofilik bakteri ve koliform popülasyonu üzerine pastörizasyon işlemi kadar etkili olduğu ve önemli inaktivasyon sağladığı tespit edilmiştir. Ancak UV uygulamasının maya-küf ve *Streptococcus* spp. üzerine etkisinin daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Guerrero-Beltran ve Barbosa-Canovas (2006) yaptıkları bir çalışmada, sürekli sistemde 254 nm dalga boyunu kullanarak mango nektarındaki *Saccharomyces cerevisiae* yükünü 2,94 log'a kadar, PFO enzimini ise %81'e kadar inaktif etmeyi başarmışlardır. UV ışığının kesilmiş mango meyvelerine uygulanmasının fenolik maddenin korunmasına etkisinin incelendiği bir çalışmada (Gonzalez-Aguilar *et al.* 2007) ise, UV süresinin

artmasının fenolik ve flavonoidlerin muhafazasında pozitif korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir.

Taze portakal suyunun kullanıldığı bir çalışmada uygulanan ultrases işlemi pH, briks ve toplam asitlikte önemli bir değişikliğe neden olmazken ($P < 0,05$); bulanıklık değeri, kararma indeksi ve renk parametrelerinin (L , a ve b) ultrases şiddeti ve sürenin artmasıyla birlikte önemli seviyede etkilendiği belirtilmiştir (Tiwari *et al.* 2008).

Goodner *et al.* (1999) portakal sularına yüksek basınç uygulamasının bulanıklık kararlılığı üzerine olumlu bir etkisinin olduğunu ve bu etkinin basınç ve sürenin artmasıyla arttığını belirtmişlerdir. Zhou *et al.* (2009) ise havuç suyuna karbondioksitle birlikte yüksek basınç uygulayarak kalıntı PFO aktivitesinin %2-3'e kadar düştüğü, asitliğin, bulanıklığın ve viskozitenin ise arttığını rapor etmişlerdir.

Chouliara *et al.* (2010), süte 16 dakikaya kadar 24 kHz ve 200 W'da ultrases uygulamışlar ve sütteki mikrobiyal yükün 1- 2,1 log arasında azaldığını belirlemişlerdir. Ultrases çiğ sütün tadında pastörize ve ısıl işlem görmüş süte nazaran az miktarda olumsuzluğa yol açmıştır. Ayrıca, ultrasesin şiddetiyle birlikte lipit oksidasyonu sonucu ürünün uçucu bileşikleri artmıştır.

Şengül *et al.* (2011) sütteki toplam mezofilik ve koliform bakterilerini sırasıyla ultrases işlemiyle $1,31 \log \text{ ml}^{-1}$ ve $4,01 \log \text{ ml}^{-1}$, fotosonikasyon işlemiyle $4,79 \log \text{ ml}^{-1}$ ve $5,31 \log \text{ ml}^{-1}$ düzeyinde inaktif etmeyi başarmışlardır. Fotosonikasyon işleminin özellikle toplam mezofilik bakteri inaktivasyonunda ultrasese göre oldukça üstün olduğu görülmüştür. Ayrıca koliform bakterileri fotosonikasyonla 9. dakikadan itibaren tamamen inaktif hale getirilirken, ultrasesle 15. dakikada bile inaktif edilememiştir.

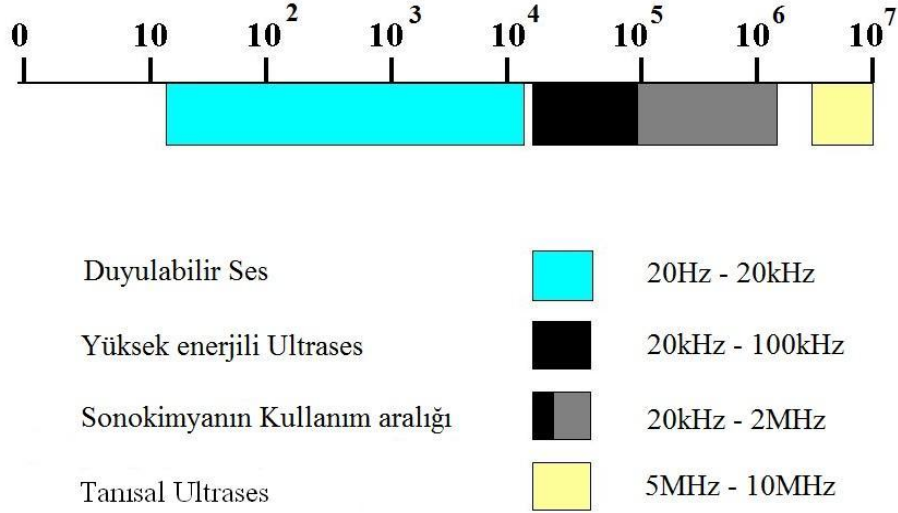
Isıl olmayan muhafaza tekniklerinin enzimler ve mikroorganizmalar üzerine etkisini artırmak ve daha etkili bir inaktivasyon işlemi gerçekleştirmek için bu teknikler eş zamanlı olarak da kullanılabilir. Özellikle gıdalardaki enzim ve

mikroorganizmaların inaktivasyonunda ultrases ve yüksek basınç, yüksek basınç ve sıcaklık, ultrases ve kimyasal madde kullanımı, ışınlama ve kimyasal madde kullanımı, PEF ve yüksek basınç gibi işlemler yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Fakat oldukça yeni olan ultrases ve ultraviyolenin eş zamanlı olarak kullanıldığı fotosonikasyon tekniği hakkında sütteki mikroorganizmaların inaktivasyonu (Şengül *et al.* 2011) dışında gerek ülkemizde gerekse yurt dışında herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Ultrases

İnsan kulağının işitme aralığı yaklaşık olarak 20 Hz ile 20 kHz arasında değişmektedir. Ultrases 20 kHz'den fazla olan, insan kulağı tarafından algılanamayan ses dalgalarına verilen addır. Diğer bir ifadeyle ultrases saniyede 20,000 veya daha fazla ses dalgasından oluşan mekanik bir enerjidir. Ultrases frekansının üst limiti tam olarak kesinleşmese de genellikle gazlarda 5 MHz, sıvı ve katılarda 500 MHz olarak ifade edilmektedir. Bu geniş frekans aralığı içerisinde ultrases frekans aralığı Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Mason and Lorimer 2002; Mason *et al.* 2005).



Şekil 2.1. Sesin frekans aralığı

Ultrases enerjisinin farklı alanlarda kullanılabilmesi için çalışmalar 20. yy.'ın ortalarından beri devam etmekte olup henüz ticari olarak kullanımı yaygın değildir. Son 10-15 yılda özellikle gıda, çevre, ilaç/kimya üretimi, makine ve madencilik gibi çeşitli sektörlerde ultrases enerjisinin kullanımına ilgi oldukça artmış bulunmaktadır. Ultrases uygulandığı zaman ürünü fiziksel, biyokimyasal ve mikrobiyal olarak etkileyebilmesinden dolayı gıda teknolojisinde önemi hızla artmaktadır. Gıda

endüstrisinde emülsiyon oluşturma, kesme, kurutma, bileşen ekstraksiyonu, kristalizasyon, köpük giderme, enzim ve mikroorganizma aktivitelerinin azaltılması veya kontrol edilmesi gibi konular üzerine yoğunlaşmıştır (Torley and Brandari 2007; Gallego-Juarez 2010; Feng and Yang 2011).

Ultrases işlemi çoğu kez tek başına yeterli bir işlem olmadığı için sıcaklık, basınç, ultraviyole gibi çeşitli yöntemlerle birlikte kullanılarak etkinliği artırılmaya çalışılmıştır. Ultrases işleminin orta veya yüksek sıcaklıklarla birlikte uygulanması işlemine termosonikasyon (TS) denilmektedir. Sıcaklığın artırılması hem etkinliği yükseltmekte hem de işlem süresini kısaltmaktadır. Ultrases işleminin düşük sıcaklıkta yüksek basınç (600 kPa) ile uygulanmasına ise manosonikasyon (MS) denilmektedir. Bu da ultrases işleminin etkinliğini önemli derecede artırmaktadır. Bazı uygulamalarda ise yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında ultrases işlemi uygulanabilmektedir ki buna manotermosonikasyon (MTS) denir. Vejetatifler üzerine inhibisyon etkisi olan MTS işlemi, aynı sıcaklıktaki termosonikasyona göre 6 ile 30 kat arasında daha etkindir (Evrendilek *et al.* 2010). Ultrases işleminin ultraviyole ışığıyla beraber kullanılmasına ise fotosonikasyon denir (Toy and Carter 1990). Fotosonikasyon işleminin özellikle mikrobiyal inaktivasyon açısından önemli sonuçlar verdiği rapor edilmiştir (Şengül *et al.* 2011).

Ultrases, ultrasonik su banyosu ve ultrases işlemcisi adı verilen cihazlarla uygulanabilmektedir. Ultrases işlemcisi güç kaynağı, ultrases dönüştürücüsü, genlik yükselticisi ve prob olmak üzere dört parçadan oluşur (Şekil 2.2). Güç kaynağı, voltajı yüksek frekansta (örneğin 20 kHz) elektrik enerjisine dönüştürür. Ultrases dönüştürücüsü ise elektrik enerjisini sabit bir frekanstaki mekanik titreşimlere dönüştürür. Daha sonra bu mekanik enerji genlik yükselticiye gönderilerek ultrases genliğinin istenen seviyeye ayarlanması sağlanır. Proplar ise mekanik enerjiyi gıda örneklerine veya çözeltilere iletirler (Santos *et al.* 2009).



Şekil 2.2. Ultrases işlemcisi

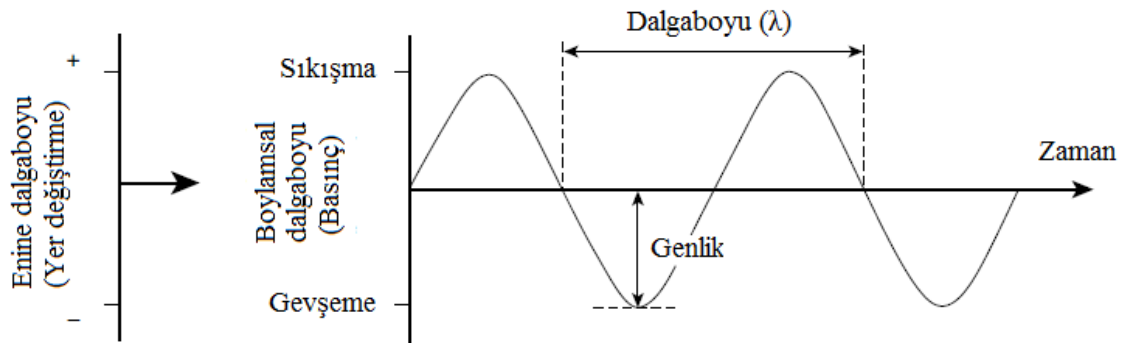
Ultrases işleminin uygulanmasında problemlerin kullanılmasının gıda endüstrisi açısından bazı problemleri vardır. Yüksek saflıkta titanyum alaşımından yapılması sebebiyle gıdayla doğrudan temas halinde olan problemler, krom veya alüminyum gibi bazı metallerin kontaminasyonuna sebep olabilmektedir (Wibetoe *et al.* 1999; Santos *et al.* 2009). Ayrıca, örneğin işlenmesi sırasında örnek kabının ağzının açık kalması da nem kaybının yanı sıra birçok önemli uçucu bileşiklerin kaybolmasına yol açabilmektedir. Dolayısıyla endüstriyel uygulamalarda camdan yapılmış problemlerin kullanılması (Santos and Capelo 2007; Santos *et al.* 2009) ve sistemin kapalı olacak şekilde tasarlanması önem arz etmektedir.

Ultrasonik su banyoları basit, ucuz, çok yönlü olarak kullanılabilen ve ultrases enerjisini iletebilen su banyosu şeklinde cihazlardır. Bu sistemlerde ultrases enerjisi önce suya verilir ve sonra uygulanacak gıdaya iletilir (Mason 1990; Mason 1998; Mason 1999; Torley and Brandari 2007). Ultrasonik su banyoları ultrases işlemcileri kadar etkili cihazlar olmaması ve uygulamaları sırasında ultrases dalgalarının su ve gıda kabının

dışına çarptıktan sonra gıdaya ulaşmasından dolayı ultrases şiddeti kısmen azalmakta ve uygulamalarda sınırlı kalabilmektedir (Santos *et al.* 2009).

2.1.1. Ses dalgasının özellikleri

Ses dalgasının özelliklerinin bilinmesi ultrasesin daha iyi anlaşılabilmesi açısından önemlidir. Sesi tanımlayan temel parametreler frekans, dalga boyu, genlik ve ses şiddeti kavramlarıdır. Ses dalgasındaki birbirine yakın iki tepenin birbirine olan uzaklıklarına dalga boyu (λ) denilmektedir (Şekil 2.3). Frekans (f) ise 1 saniyede oluşan ses titreşim sayısı veya bir noktadan geçen salınım olarak ifade edilebilmekte olup birimi Hertz (Hz)'dir (Torley and Brandari 2007)



Şekil 2.3. Ses dalgasının özellikleri

Ses dalgasının yüksekliğine genlik (A) denir. Genlik ses dalgasının gücünü belirler ve ses dalgasının içerdiği enerji, genliğin karesiyle doğru orantılıdır (Torley and Brandari 2007).

$$E \propto A^2$$

Ultrases şiddeti (UI , Wcm^{-2}) belirli bir zamanda (t , saniye) birim alandan (S , cm^2) geçen akustik enerji (E , joule) olarak tanımlanır. Ultrases işlemcilerinde alan olarak probun

yüzey alanı ifade edilmektedir. Bir ultrases cihazının sahip olduğu ultrases şiddetinin bulunması için aşağıdaki formül dikkate alınır:

$$UI = \frac{E}{S \times t}$$

Birim zamandaki enerjiye (E/t) güç (P, *Watt*) dendiği için, ultrases şiddeti aşağıdaki şekilde de tanımlanabilmektedir (Tiwari *et al.* 2008).

$$UI = \frac{P}{\pi r^2}$$

Ses dalgası herhangi bir ortamdan geçerken ses dalgasının etrafa yayılması ve materyal tarafından kısmen absorbe olması nedeniyle giderek şiddeti azalır. Absorbe edilen sesin enerjisi sıcaklık artışına neden olarak ısıya dönüşür. Bu ısı (Q), sesin şiddeti (I) ve materyalin soğurma katsayısı (α) ile orantılıdır (Torley and Brandari 2007).

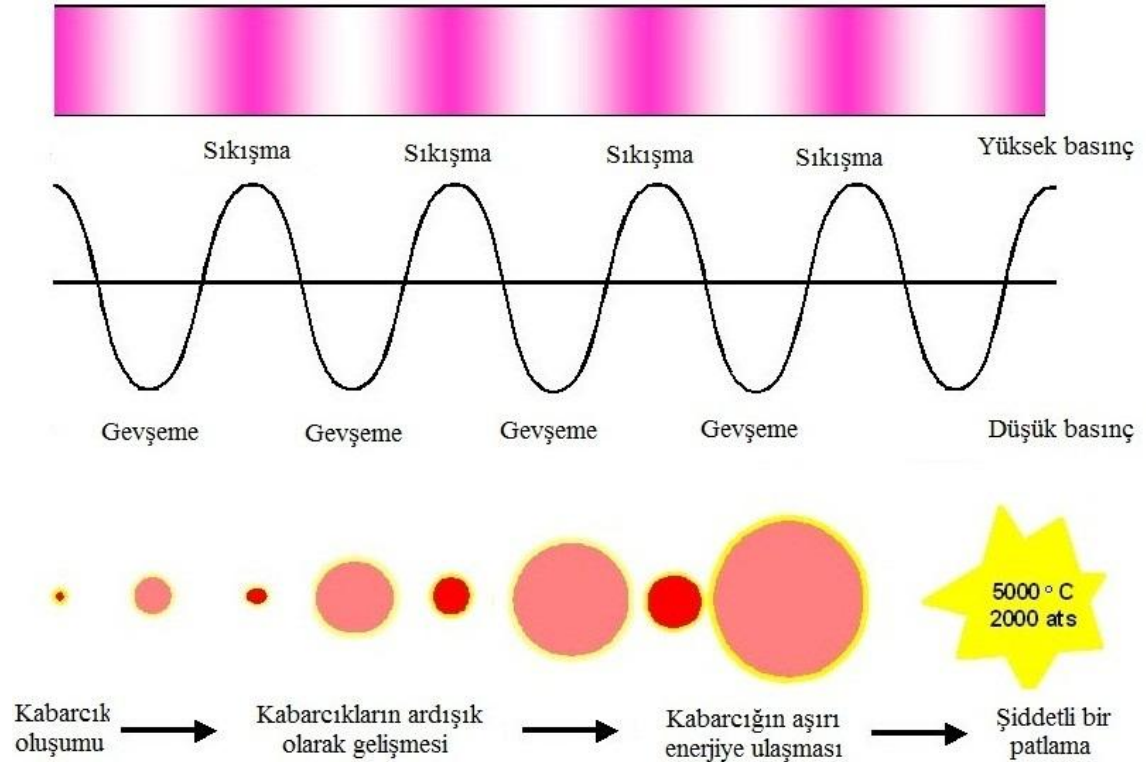
$$Q = 2 I \alpha$$

2.1.2. Ultrasesin mekanizması

Yüksek güce sahip akustik dalgaların gıdaların fiziksel, biyokimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerini değiştirebilme gücü ultrases dalgasının ve uygulandığı ürünün özelliklerine bağlı olarak çeşitlilik kazanmaktadır (Torley and Brandari 2007). Ultrases işleminin gıda işlemlerinde meydana getirdiği bu etkilerin oluşmasının temel faktörü akustik kaviteasyondur. Ses dalgası bir sıvının içerisinde geçerken ardışık olarak sıkışma ve gevşeme olayları gerçekleşir. Ses dalgası gevşeme pozisyona geçerken negatif basınç sıvının noktasal çekme kuvvetini aştığı zamanlarda mikrometre çaplarında kabarcık ve boşluklar oluşur. Yüksek güce sahip ultrases kullanılarak oluşturulan bu kabarcıklar

birkaç dalgalanmayla hızlı bir şekilde gelişir ve patlarlar ki bu olaya kavitasyon denir (Feng and Yang 2011).

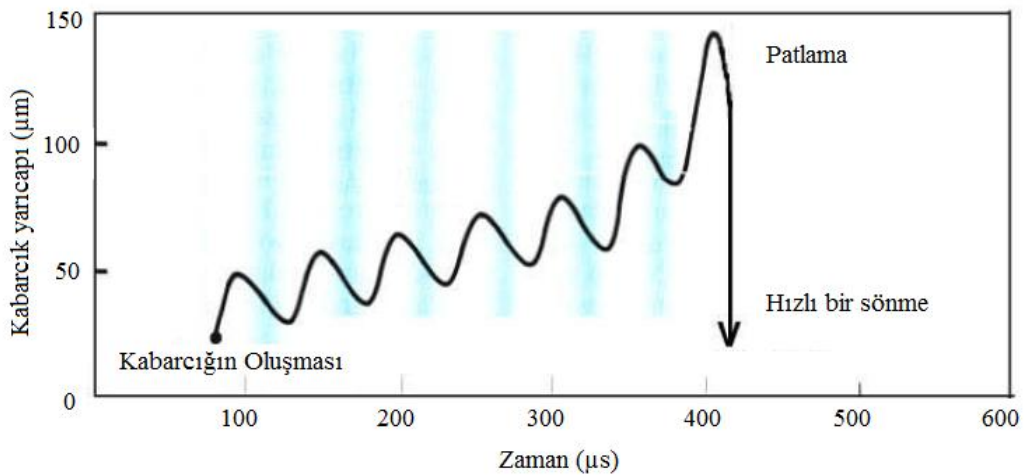
Kavitasyon geçici kavitasyon ve kararlı kavitasyon olmak üzere iki şekilde oluşmaktadır. Oluşumundan sonra hızlı bir şekilde titreterek salınan kabarcıklara kararlı kavitasyon, şiddetli bir şekilde patlayana ise geçici kavitasyon denir. Eğer ses dalgalarının şiddeti 10 Wcm^{-2} ve üzerinde olursa geçici kavitasyon kabarcıkları oluşacaktır. Bu kabarcıklar birkaç akustik salınımla birlikte hızlı bir şekilde hacimleri genişlemekte fakat kabarcıklar etkili bir şekilde dayanmalarına rağmen çok kısa bir sürede hacimleri kritik seviyeye ulaşmaktadır. Kabarcıkların hacimleri artan enerjiyi absorplayamayacak bir seviyeye ulaştığında şiddetli bir çöküşle sona ermektedir (Şekil 2.4) (Mason *et al.* 2003; Feng and Yang 2011).



Şekil 2.4. Kavitasyon kabarcığının oluşum, gelişim ve patlama süreci

Etkisini akustik enerjinin küçük hacimlerde yoğunlaştırılmasından alan kavitasyon, hot-spot teorisine göre oluşan kabarcıkların şiddetli bir şekilde patlaması sonucu noktasal olarak çok yüksek sıcaklık (yaklaşık 2000-5000°C), çok yüksek basınç (yaklaşık 10-100 MPa), mikroşok dalgalar ve ışık enerjisinin yayılmasıyla sonuçlanmaktadır. Noktasal olarak sıcaklık ve yüksek basıncın bir sonucu oluşan şok dalgaları gıdalarda fiziksel, biyokimyasal ve bakterisidal etkilerin oluşmasına ve protein, nişasta gibi büyük polimerlerin veya farklı materyallerin birleşim noktalarının mekanik olarak bölünmesine yol açabilir (Mason *et al.* 2003; Feng and Yang 2011; Weiss *et al.* 2011; Louisnard and González-García 2011).

Birçok kimyasal ve mikrobiyal sonuçları olan kavitasyon fiziksel bir olgudur. Kavitasyonun oluşması sırasında kabarcığın çapının zamana bağlı olarak gelişim grafiği Şekil 2.5’de gösterilmektedir (Suslick 1989).

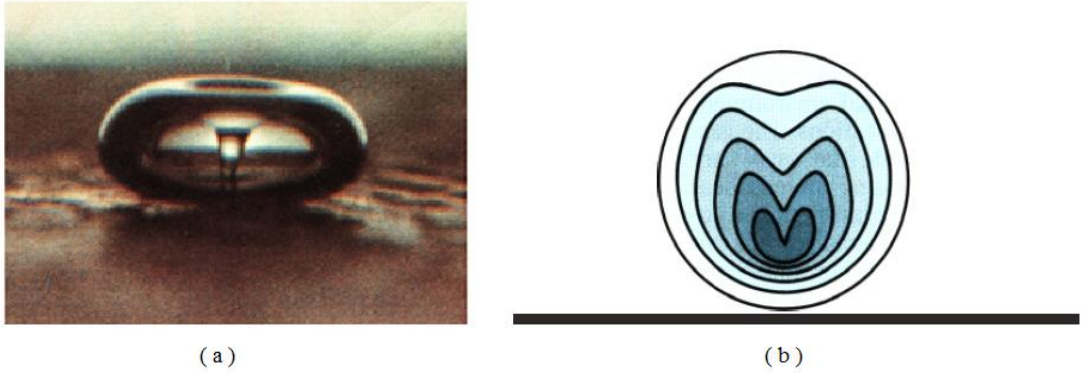


Şekil 2.5. Kavitasyon sırasında kabarcık çapının zamana bağlı olarak gelişimi

Kararlı kavitasyon, $1-3 \text{ Wcm}^{-2}$ arasında oldukça düşük ultrases şiddetine sahip olan ses dalgaları tarafından oluşturulmakta olup içerisinde genellikle gaz ve buhar bulunmaktadır. Kararlı kavitasyonun kimyasal etkilerde çok önemli bir rolü yoktur. Kabarcıkların doğrusal olmayan salınımları ortamın akustik etkisi ve çevresel faktörlere bağlı olarak büyümeye başlarsa kabarcık geçici kavitasyona dönüşebilir ve şiddetli bir şekilde patlayabilir. Fakat bu patlamaların şiddeti normal olarak gerçekleşen geçici

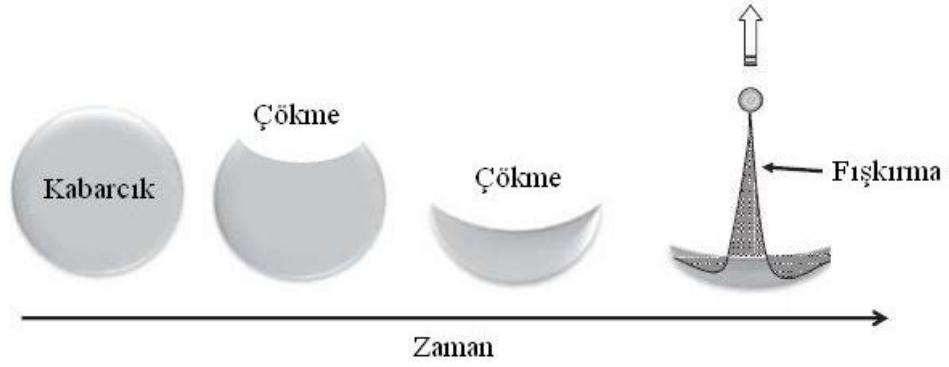
kavitasyondan daha düşüktür. Çünkü kabarcığın hacmi patlama sırasında tamponlama etkisi oluşturacak olan çeşitli gazları içine alarak büyümüştür. Ayrıca kararlı kavite geçici kaviteye dönüşmeden kabarcıklar yüzeye ulaşınca kadar büyüye de bilir ki bu olay endüstride ultrasesin gaz çıkarması olarak adlandırılır (Santos *et al.* 2009; Weiss *et al.* 2011).

Normalde ultrases alanındaki enerji yoğunluğu atom başına yaklaşık olarak 10^{-9} joule'dir. Bu enerji kimyasal bağları kırmak için yeterli değildir. Fakat kaviteyonlar sırasında daralan kabarcık ses enerjisini yoğunlaştırır. Bu seviyedeki bir enerji kimyasal bağları kırabilecek seviyeye ulaşmış demektir (Weiss *et al.* 2011)



Şekil 2.6. Kaviteyonun oluşması

Ultrases uygulanmış bir sıvıdaki kabarcığın patlama anının çok yüksek hızdaki bir flaşla elde edilmiş mikroskopik fotoğrafı Şekil 2.6-a'da bulunmaktadır. 150 mikron çapındaki bu kabarcık katı bir yüzeyin yanında oluştuğu için asimetric olarak patlamaktadır. Şekil 2.6-b'de ise kabarcığın patlama aşamalarının ve fişkırmının oluşumunun gösterildiği bir çizim vardır. Bu çizimde kabarcık önce küreseldir, fakat hızla içe doğru çökerek patlar. Çizimden de görüleceği üzere patlama ve çökme katı yüzeye doğru hareket etmektedir (Suslick 1989). Kabarcıkların çökmesinden sonra çok güçlü bir fişkırm gerçekleşir ki bu sırada fırlatılan maddelerin hızı saniyede 1000 metreye çıkabilir (Brujan *et al.* 2001; Azhari 2010). Şekil 2.7'de asimetric olarak patlayan bir kabarcığın şematik olarak nasıl fişkırdığı gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Asimetrik patlayan bir kabarcığın şematik gösterimi

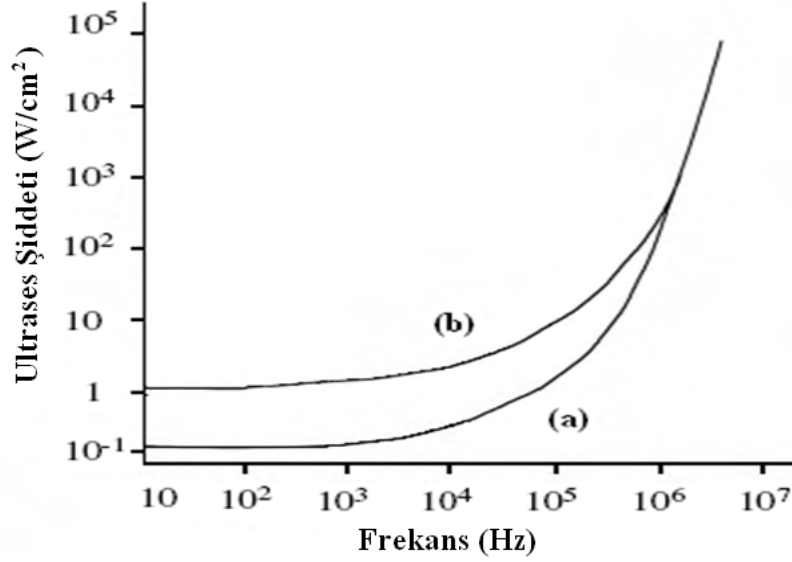
2.1.3. Kavitasyonu etkileyen önemli parametreler

Frekans

Ultrases frekansı kavitasyon oluşumunda oldukça etkilidir. Yüksek şiddete sahip ultrases ekipmanları 20 kHz gibi düşük frekanslarda etkilidirler. Çünkü ultrases dalgasının frekansı arttığı zaman kavitasyonun oluşabilmesi için uygulanan ses şiddetinin de o ölçüde artırılması gerekir (Santos *et al.* 2009). Örneğin 20 kHz frekansta salınım $25\mu\text{s}$ sürerken, 20 MHz'de sadece $0,025\ \mu\text{s}$ sürmektedir. Yani frekansın 1000 kat artması sürenin 1000 kat azalması anlamına gelmektedir. Dolayısıyla sıvı ortamdaki kohozif kuvvetlerin kırılması için gereken süre çok azaldığı için gerekli ultrases şiddetinin de aynı oranda artması gerekir. Kavitasyonun oluşması için eşik frekansa karşılık gelen ultrases şiddetinin değişimi Şekil 2.8'de gösterilmektedir (Mason and Lorimer 2002).

Moleküllerin fiziksel olarak ayrılması ve kabarcığın oluşabilmesi için belirli bir süreye ihtiyaç duyulduğu için megahertz bölgesindeki frekanslarda kavitasyon tamamen durur. Ayrıca düşük frekanslarda yüksek akustik basınçta sahip yüksek genlikte akustik dalga üretmek kolaydır. Fakat 1 MHz ve üzerindeki yüksek frekansta akustik basınçlar daha düşüktür ve bu genlik sınının içerisinde çok daha kolay bir şekilde dağılır. Endüstriyel

uygulamalarda bu sebepten dolayı çok nadir kavitasyon gözlemlenir (Kentish and Ashokkumar 2011; Weiss *et al.* 2011).



Şekil 2.8. Kavitasyonun oluşması için gereken eşik ultrases şiddeti

* (a) Havalandırılmış su; (b) Havasız su

Ultrases şiddeti

Kavitasyonun oluşması için gereken eşik ultrases şiddetinin aşılması gerekir. Eşik ultrases şiddeti ultrasesin frekans değerine ve sıvının özelliklerine bağlı olarak değişir. Ultrases şiddetinin artmasıyla üretilen kabarcıkların miktarı da artacaktır. Fakat kavitasyon sayısının artması her zaman olumlu olarak sonuçlanmaz ve bazen tam aksine sisteme aktarılan enerjinin etkisini kırabilir. Bunun sebebi kavitasyon arttıkça kabarcıklar daha fazla büyümek için birbirleriyle kaynaşmaya başlarlar ve bu kabarcıkların daha geç patlamasıyla sonuçlanır (Weiss *et al.* 2011).

Ultrases şiddetinin artması cihazın titreşim genliğiyle doğrudan orantılıdır. Ultrases şiddetinin artırılması isteniyorsa yapılabilecek ilk işlemlerden birisi genliğin artırılmasıdır. Fakat genliğin çok fazla olması hem aktarılan enerjinin azalmasına hem

de cihazın daha kısa sürede çatlaması veya kırılmasıyla sonuçlanabilir (Santos *et al.* 2009; Weiss *et al.* 2011).

Sıcaklık

Ultrases işleminin uygulanması sırasında sıcaklığın artması ultrases şiddetinin azalmasına sebep olmaktadır. Bunun sebebi gaz kabarcıklarının patlama süresinin uzamasından dolayı buhar basıncının artmasına bağlanmaktadır. Ayrıca ultrases sıcaklığın artmasıyla maddenin viskozitesi ve yüzey gerilimi gibi bazı özelliklerini değiştirir. Kaviteasyonun üretilmesini etkileyen bu özellikler bazı işlemlerde ultrases işlemini olumsuz etkileyecektir (Mason 1992; Weiss *et al.* 2011). Bununla beraber ultrases işlemlerinde sıcaklığın artması kaviteasyonun etkisini çok önemli şekilde artırmaktadır. Enzim ve mikrobiyal etkinliğin artırılması işlemleri başta olmak üzere yapısal değişikliklerde etkinliğin artırılması için ultrases işleminin yüksek sıcaklıklarda uygulandığı termosonikasyon ve manotermosonikasyon işlemleri mevcuttur (Ohlsson and Bengtsson 2002). Mikroorganizma inaktivasyonu üzerine Pagan *et al.* (1999) 50°C'nin kritik bir değer olduğunu, bu sıcaklığın altındaki değerlerin inaktivasyon üzerine herhangi önemli bir etkisinin olmadığını, fakat 50°C'nin üzerine çıktığında inaktivasyon gücünün çok önemli bir seviyede arttığını ifade etmektedirler (Mason *et al.* 2005). Ledly and Williams (2001) ise yaptıkları çalışmada patojen ve çürükçüllerin inaktivasyonunda kritik sıcaklık değerinin 55° ile 60°C arasında olduğunu ve ultrases işleminin daha düşük sıcaklıklara göre 20 kata kadar etkinliğini artırdığını belirtmişlerdir (Ohlsson and Bengtsson 2002).

Gıdanın özellikleri

Sıvı gıdanın buhar basıncı, viskozitesi ve yüzey gerilimi kabarcıkların oluşması ve patlamasında önemli bir etkidir. Kaviteasyon kabarcıkları sıvının etrafında üretilen buhar ile doldurulur. Dolayısıyla sıvının özellikleri kaviteasyonu oldukça etkileyecektir. Çözelti moleküllerinin ayrılması ve ara yüzeyler oluşması gerektiği için daha düşük

yüzey gerilimleri genellikle kavitasyonu artırır. Yüzey aktif maddelerin ilave edilmesi de ultrasesin kimyasal etkilerini de artıracaktır (Weiss *et al.* 2011).

Gıdada bulunan çözünmüş gazlar kavitasyonun çekirdeği gibi davranacağı için kavitasyon etkinliğini artıran bir özelliktir. Fakat ultrasesin gaz giderme özelliğinden dolayı bu gazlar bir taraftan kavitasyon oluştururken diğer taraftan da hızlı bir şekilde uzaklaştırılacaktır. Eğer kavitasyon oluşumunu artırmak için harici olarak gaz kullanılmak isteniyorsa He, Ar, Ne gibi monoatomik gazlar tercih edilmeli ve işlem süresince gıdaya verilmelidir (Santos *et al.* 2009).

Harici basınç

Manosonikasyon olarak isimlendirilen harici basınç altında ultrases işleminin eşzamanlı olarak kullanılmasının gıda araştırmalarında önemli bir yeri vardır. Harici basıncın artmasıyla birlikte kabarcıkların patlama şiddeti de artar ve daha etkili sonuçlar gözlemlenebilir (Weiss *et al.* 2011).

2.1.4. Ultrasesin gıdalarda meydana getirdiği önemli etkiler

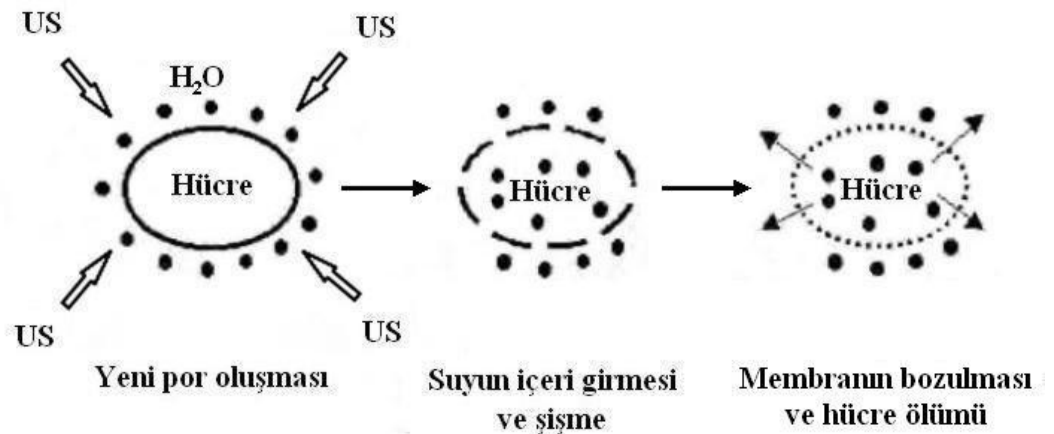
Yüksek şiddete sahip akustik dalgalar bir ortamdan geçerken çeşitli değişikliklere sebep olurlar. Ultrases işleminin gıdalarda meydana getirdiği başlıca değişiklikler aşağıda özetlenmiştir.

Mikroorganizma üzerine etkisi

Gıdaların işlenmesinden mikrobiyal inaktivasyona kadar birçok amaçla gıda endüstrisinde kullanım olanakları artırılmaya çalışılan ultrases teknolojisi, son yıllarda gittikçe önemi artan ısı olmayan işlemlerin başında gelmektedir (Piyasena *et al.* 2003). Bu teknolojinin genellikle mikroorganizmalar ve enzimler üzerine önemli bir

inaktivasyon etkisi mevcuttur. Çünkü akustik kavitasyondan kaynaklanan noktasal sıcaklık ve basınç değişimleri ile birlikte oluşan mikromekaniksel şoklar hücrelerin yapısını bozabileceği gibi enzimlerin de denatürasyonuna sebep olabilir. Fakat bu etkinin noktasal olmasından dolayı yeteri kadar geniş bir alana yayılamazlar (Mason *et al.* 2003; Evrendilek *et al.* 2010).

Ultrases işlemi mikrobiyal inaktivasyonda basınç ve sıcaklık gibi faktörler başta olmak üzere çeşitli yöntemlerle kombine edilerek çok daha başarılı sonuçlar alınabilmektedir. Termosonikasyon, manosonikasyon ve manotermosonikasyon işlemleri bu amaçla sıklıkla kullanılabilir (Piyasena *et al.* 2003). Bir diğer açıdan ultrases mikrobiyal inaktivasyon için tek başına yeterli olmasa bile mikroorganizmalarda oluşan hasarlanma ve olumsuz etkilenmeler nedeniyle kalan mikroorganizmaların belli bir süre gelişimleri yavaşlayabilmekte veya durabilmektedir (Valero *et al.* 2007). Ultrasesin mikrobiyal inaktivasyon mekanizması genel olarak meydana gelen kavitasyonla oluşan mekanik şokların hücrede yeni porlar açması ve bunun sonucunda hücrenin şişerek lizise sebep olması Şekil 2.9'da açıklanmaktadır (Mason *et al.* 2003).



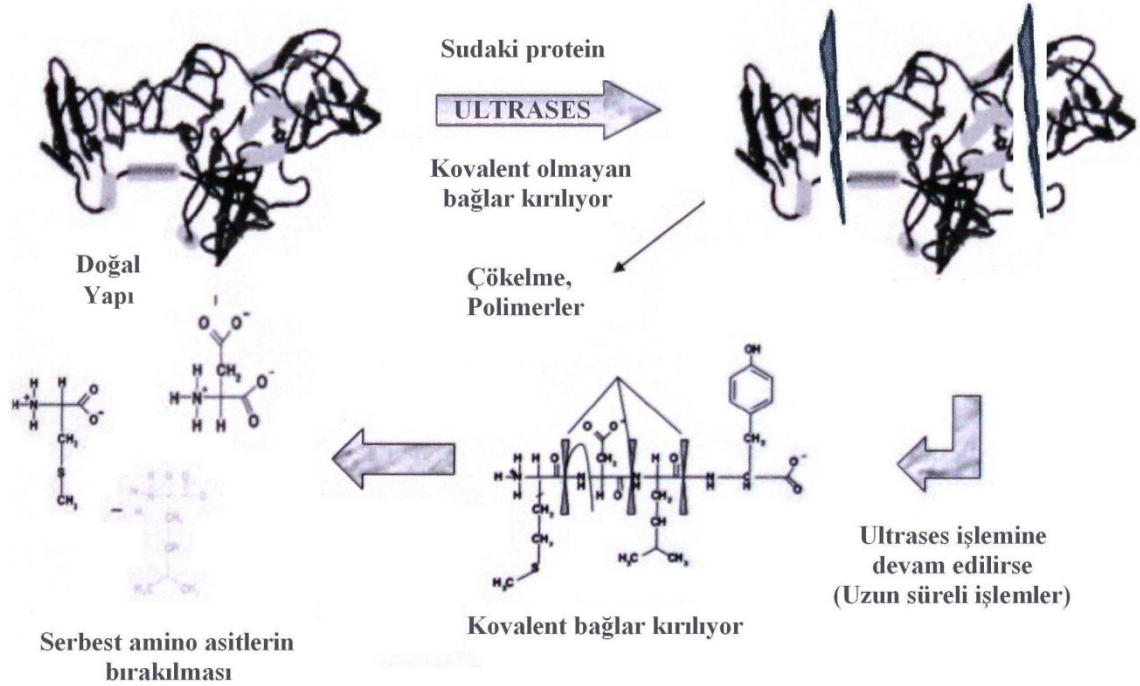
Şekil 2.9. Ultrases uygulanmış hücrenin zarar görme mekanizması

Ultrases işlemi mikroorganizmanın türü ve özelliklerine bağlı olarak değişik seviyelerde inaktivasyon etkisine sahiptir. Genellikle büyük hücreler küçüklere, yuvarlak şekilliler çubuk olanlara, gram pozitifler gram negatiflere, yaşlı hücreler gençlere, sporlar

vejetatiflere, aerobikler anaerobikler göre daha dirençlidirler (Mason *et al.* 2003; Mason *et al.* 2005).

Enzimler üzerine etkisi

İnsan beslenmesinde önemli bir besin olan protein, gıda teknolojisinde köpük oluşturma, emülsiyon oluşturma, jel oluşturma gibi fonksiyonlarda görev aldığı gibi enzim aktivitesinin de gerçekleşmesini sağlayan ana unsurdur. Proteinler makromoleküler yapılara sahip olmalarından dolayı ultrasesle muamele edilmiş bir gıdanın protein yapısının ve buna bağlı olarak da fonksiyonlarında bazı değişikliklerin olması beklenmektedir. Şekil 2.10'da ultrases dalga genliğinin artmasıyla proteinin yapısal olarak yeniden düzenlenmesi, çökme ve bozulma işlemleri şematik olarak gösterilmektedir (Weiss *et al.* 2011).



Şekil 2.10. Ultrasesin proteinin yapısal özellikleri üzerine etkisi

Ultrases sırasında meydana gelen kavitasyon sonucu oluşan mekanik ve kimyasal etkiler birçok enzimin inaktivasyonuna sebep olabilmektedir. Ayrıca ultrasesin sabit kavitasyon hücrelerini titretmesi sonucu oluşan şok dalgalar güçlü bir makaslama ve yakınındaki sıvının mikro dalgalanmasına sebep olur. Polipeptid zincirindeki Van Der Waals interaksyonları ve hidrojen bağlarının kırılması protein yapısındaki enzimlerin sekonder ve tersiyer yapısında değişikliklere yol açarak enzimin biyolojik aktivitesini kaybetmesine sebep olur (Mawson *et al.* 2011).

Ultrases işleminin başta sıcaklık ve basınç olmak üzere sistemdeki iç ve dış faktörlere bağlı olarak enzim inaktivasyonundaki etkinliği değişmektedir. Yapılan çalışmalarda kullanılan cihaz, sistem ve şartlar oldukça farklı olmasından dolayı birbiriyle kıyaslanması oldukça zor olmakla birlikte birçok enzimin inaktif edilmesinde kullanılabilecek bir teknolojidir (O'Donnel *et al.* 2010).

Viskozite ve yapısal özellikleri üzerine etkisi

Isıl olmayan gıda işleme tekniklerinin kullanılmasındaki temel amaçlardan birisi gıdaların yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında istenmeyen bazı değişikliklerin azaltılarak veya tamamen ortadan kaldırılarak gıdaların muhafaza edilebilmeleridir. Ayrıca ısıl işlemler gıdaların işlenmesinde gıdalara farklı özellikler kazandırarak veya ara işlem olarak kullanılarak gıdanın daha farklı ve esnek olarak işlenmesini sağlaması açısından oldukça önemlidir. Ultrases gıda bileşenlerinin parçalanmasına ve bazı meyve sularında bulanıklığın artmasına sebep olmaktadır. Yapılan bir çalışmada ultrases şiddeti ve işlem süresinin artması portakal suyunun bulanıklık ve renk gibi özelliklerinde önemli değişikliklere sebep olduğu bildirilmiştir (Tiwari *et al.* 2008).

Ultrases işlemi daha iyi bir emülsiyon oluşumuna sebep olmakta ve daha az yüzey aktif madde kullanımı veya mekanik işlemlerle kıyaslandığında daha homojen bir yapının oluşumunu sağlayabilmektedir (Abismail *et al.* 1999).

Ultrases dalgalarının etkisiyle oluşan çalkalama ve kayma basıncı viskozite gibi bazı yapısal özellikler üzerinde önemli değişikliklere sebep olabilmektedir. Newton tipi akışkanların özelliklerini korurken dilatant ve tiksotropik akışkanların viskozitelerinde değişikliklere yol açabilmektedir. Ayrıca, sıvı/katı veya gaz/katı ara yüzeylerinde ultrases dalgalarının uygulanması, “akustik dalgalanma” veya “mikro dalgalanma” olarak bilinen şiddetli türbülansa neden olabilmektedir (Nyborg 1965; Ensminger 1986; Kuldiloke 2002). Ultrases işleminin domates suyunun viskozitesini ısıl işlemde daha fazla artırdığına dair çeşitli araştırma sonuçları mevcuttur (Vercet *et al.* 2002; Wu *et al.* 2008).

Sıcaklık üzerine etkisi

Ultrases işlemi gıdaların sıcaklığında az miktarda bir artışa neden olmaktadır. Ultrases genliğinin artması sıcaklığın daha hızlı artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle yüksek sıcaklıktan kaynaklanan istenmeyen durumların olmaması için sıcaklığın kontrol edilmesi gerekmektedir. Sıcaklığın kontrol edilmesi oldukça zor bir işlem olmakla beraber bununla ilgili bazı uygulamalar mevcuttur. Bunlar gıdanın bulunduğu kabın buz banyosuna daldırılması, soğutucu reaktörlerin kullanılması veya ultrases işleminin vurgulu olarak uygulanmasıdır (Santos *et al.* 2009).

Sıcaklık artışı aynı zamanda birim hacme verilen enerjinin belirlenmesi için de kullanılabilir. Ultrases gücü kalorimetrik metoda bağlı olarak zamana bağlı sıcaklık değişiminden aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$P = m C_p \left(\frac{dT}{dt} \right)_{t=0}$$

Burada P ultrases gücü (W), m kütle (kg), C_p spesifik ısı, T sıcaklık (°C), t zaman (saniye) olarak ifade edilmektedir (Tiwari *et al.* 2008)

2.2. Fotosonikasyon

Yüksek enerjili ultrases ve ultraviyole (UV) ışığının eş zamanlı olarak uygulanmasına ‘fotosonikasyon’ denilmektedir (Toy and Carter 1990). Ultrases tek başına enzim inaktivasyonunda etkili olarak kullanılmakla birlikte, UV işlemi genellikle mikrobiyal inaktivasyon amaçlı ısı ve ısı olmayan proseslerle birlikte yaygın olarak uygulanmaktadır. UV’nin bulanık ve renkli gıdalara nüfuz edebilme kabiliyeti çok az olduğu için UV’nin tek başına enzim veya mikroorganizma üzerine etkisi oldukça sınırlıdır. UV ışığı yaklaşık olarak havada 4 m, suda yaklaşık 30 cm nüfuz edebilirken, meyve suyunda 1 mm, sütte ise sadece 0,1 mm nüfuz edebilmektedir (Mannapperuma 1996; Guerrero-Beltran and Barbosa-Canovas 2006). UV ışığının uygulanan sıvıların tüm yüzeylerine tamamen nüfuz edebilmesi için ortamda kargaşalı (türbülans) bir akışın meydana gelmesi gerekmektedir. Bunun için UV ile birlikte ortamda yüksek enerjili ses dalgaları yani ultrases kullanılarak meydana gelecek olan türbülans sayesinde UV ışığının daha fazla nüfuz etmesi sağlanabilmektedir. Ultrases işlemi sırasında meydana gelen akustik kaviteasyon (boşluk oluşumu) ve şok dalgaları ortamda yoğun bir karışmaya neden olmaktadır (Gondrexon *et al.* 1998). Zaten fotosonikasyon adı verilen bu yöntemin de temel prensibi buna dayanmaktadır.

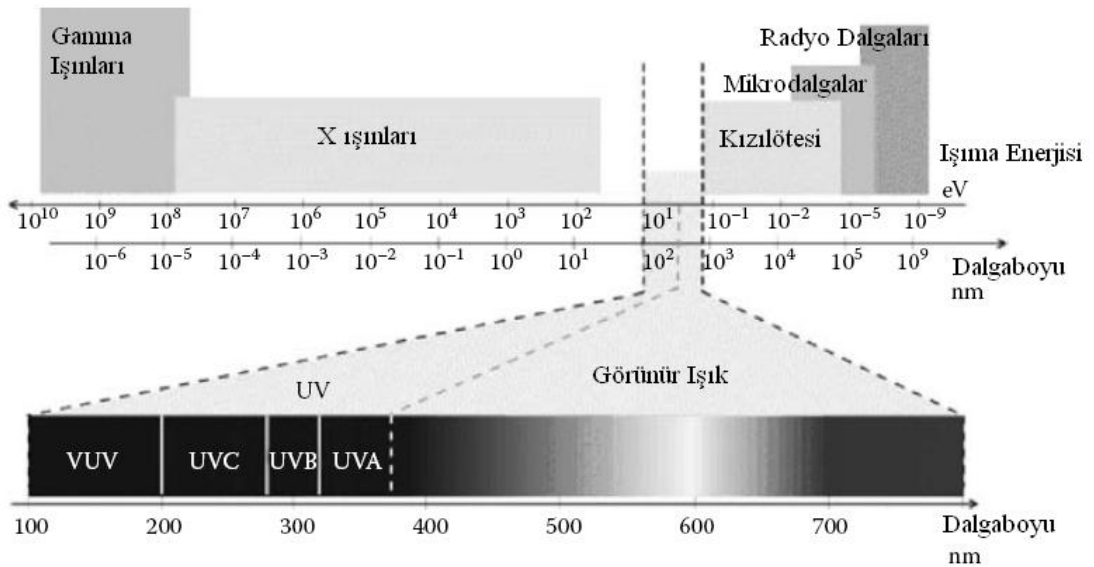
2.2.1. Ultrases ve ultraviyole arasındaki farklılıklar

Ses dalgaları düşük frekanslı radyo dalgalarına benzer frekanslara sahip olup temelde ses dalgası radyo veya diğer elektromanyetik dalgalardan farklıdır. Mekanik ve elektromanyetik dalgalar, dalgalar halinde yayılırlar bile taşıdıkları enerjiler farklıdır. Mekanik dalgalar kinetik enerji taşırlar. Elektromanyetik dalgalar (Radyo dalgası, Kızılötesi, görünür ışık, ultraviyole, X-ray ve gamma) ise proton ve elektron gibi şarj edilen partiküllerin hızlandırılmasıyla üretilirler. Bu dalgalar boşluktan zorlanmadan geçebilirlerken yarı katı veya sıvı materyallerden kısmen geçerler veya geçemezler. Hâlbuki ses dalgaları boşluktan geçemezler ve yayılabilmeleri için bir ortama ihtiyaç duyarlar. Sesin yayılması için maddeye ihtiyaç duyduğundan katılarda havaya göre daha hızlı yayılır. Sesin yayılma hızı içinden geçtiği maddeye bağlı olarak değişmekle

birlikte ve 20°C’de sıcaklıktaki bir havada sesin ilerleme hızı 344 ms^{-1} olmaktadır (Glickstein 1960; Suslick 2006; Kantaş 2007).

2.2.2. Ultraviyole ışığının fotosonikasyondaki önemi

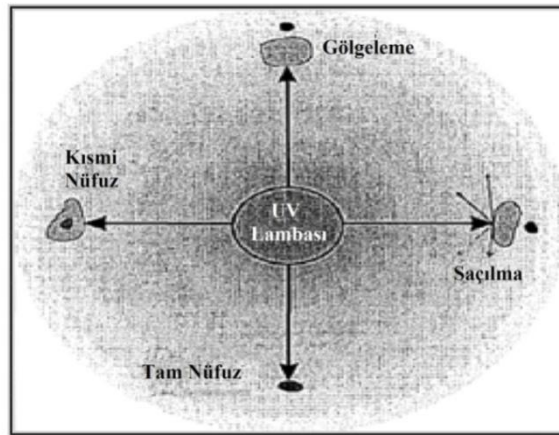
UV ışınları sahip oldukları biyolojik ve biyokimyasal etkilerinden dolayı gıdaların muhafazasında çeşitli şekillerde kullanılabilirler. Bu ışınlar dalga boyunun gözle görülebilir ışınlardan daha kısa ancak X ışınlarından daha uzun olan ışınlar olarak tanımlanmakta ve gıda teknolojisinde özellikle zararlı mikroorganizmaların inaktif edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ultraviyole ışıklar kendi içerisinde UV-A (315–400 nm), UV-B (280–315 nm) ve UV-C (200–280 nm) olmak üzere 3 dalga boyu aralığında değerlendirilmektedir (Şekil 2.11) (Koutchma *et al.* 2009). Esas antiseptik etki, UV-C aralığında meydana gelmektedir. Ultraviyole ışığın dalga boyunun küçülmesiyle birlikte etkinliği de artmaktadır. UV-A insan derisinde bronzlaşmaya, UV-B kansere sebep olabilecek şekilde derinin yanmasına UV-C ise mikroorganizmalar için ölümcül bir etkiye sahiptirler (Guerrero-Beltrán and Barbosa-Canovas 2011).



Şekil 2.11. Işın skalası

1000 Jm⁻²'lik bir şiddette UV-C uygulanmasında bakteri, maya ve virüslerde 4 log azalma meydana getirilebilmektedir. Hücre ölümüne neden olan mekanizma DNA/RNA tarafından UV'nin absorpsiyonu ile ilişkilendirilmektedir. Gereken işlem zamanı vurgulu ışık işleminden daha uzundur. UV-C günümüzde ticari olarak yüzeylerin ve hava filtrelerinin dezenfeksiyonunda kullanılmaktadır. UV'nin penetrasyon derinliği çok az olduğu için sadece yüzeye etki etmektedir. Belirli gıdaların yüzeylerine yapılan UV uygulamalarına bazı ülkelerde izin verilmiştir. Ultraviyole ışık aroma ve rengi olumsuz yönde etkilemektedir. Lazer kullanılarak 248 nm'de çalışan bir UV kaynağı ticari olarak ambalaj materyallerinin sterilizasyonunda saniyede 5 log azalma ile uygulanmaktadır (Ohlsson and Bengtsson 2002).

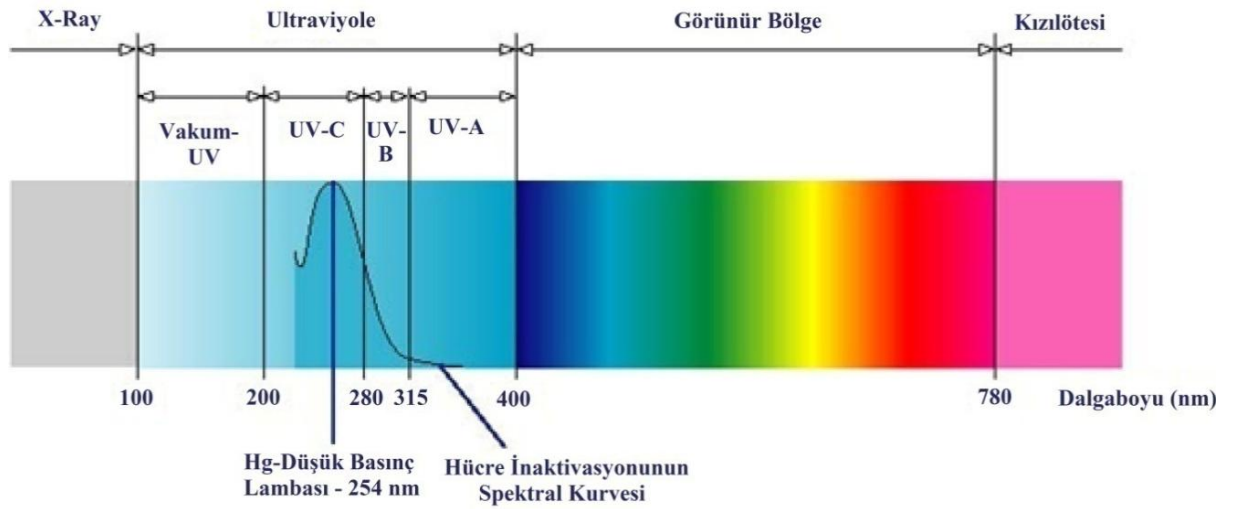
Ultraviyolenin etkinliği yüksek konsantrasyondaki süspansiyonlardaki partiküllerden etkilenmektedir (Blume *et al.* 2002; Darby *et al.* 1993). Küçük partiküller UV ışığını saçarken, büyük süspansiyon maddelerinin varlığında bakterileri korumaktadır (Şekil 2.12). Son çalışmalar (Sakamoto and Zimmer 1997) büyük partiküllere (50µm) gereken UV ihtiyacını artırdığı için nüfuz etmenin zorlaştığını göstermektedir (Blume *et al.* 2002).



Şekil 2.12. UV ışımalarının sınırlamaları

Ultraviyole ışığın germisidal etkisi DNA'daki timin ve sitozin tarafından absorbe edilerek DNA'nın yapısını bozmasına ve mikroorganizmanın çoğalmasını

engellenmesine bağlı olmaktadır. Birçok gıdadaki mikroorganizmaları etkili olarak inaktif eden dalga boyu 220 ve 300 nm dalga boyları arasındadır. 250 ve 270 nm arasındaki dalga boylarının inaktivasyon etkinliği de oldukça yüksektir fakat 254 nm dalga boyunda en yüksek düzeye ulaşılmaktadır (Şekil 2.13) (Bintsis *et al.* 2000; Aydın, 2009; Guerrero-Beltrán and Barbosa-Canovas 2011).



Şekil 2.13. Elektromanyetik spektrumda hücre ölüm eğrisi

Mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesinde kullanılan UV cihazlarının debiye veya miktara bağlı olarak ortamı dezenfekte edebilme gücüne ‘UV dozu’ denir ve birimi Jm^{-2} ’dir. UV dozu iki faktöre bağlıdır: ‘UV ışık şiddeti’ ve ‘Uygulama süresi’. UV ışın yoğunluğu, birim yüzey alana düşen UV enerjisi olup, birimi Wm^{-2} ’dir. Dezenfeksiyonun etkinliği açısından UV ışın yoğunluğunun mümkün olduğunca yüksek ve homojen olacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Dezenfeksiyon için UV ışınlarının mikroorganizmaya yeterince temas etmesi gerekmektedir. Bu nedenle UV uygulama süresinin de yeterli olması gerekir. Uygulama süresi saniye cinsinden ifade edilir ve UV’nin en az 1 s uygulanması gereklidir. UV dozu aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilmektedir (Bintsis *et al.* 2000; FDA 2000; Aydın 2009):

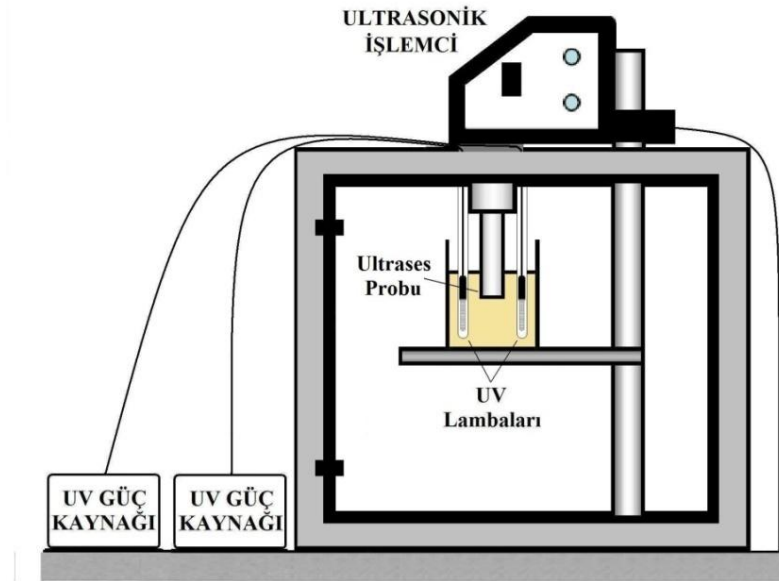
$$UV \text{ dozu } [Jm^{-2}] = UV \text{ ışın şiddeti } [Wm^{-2}] \times Uygulama \text{ süresi } [s]$$

2.2.3. Fotosonikasyonun tasarlanması

Ultrases ve UV uygulamalarının beraber kullanıldığı çalışmalar aşağıdaki şekillerde uygulanmıştır:

- Ultrases probu kaba konulup UV lambaları dışarı konulmuştur,
- Ultrases su banyosunun kenarlarına lambalar dizilmiştir,
- Önce biri sonra diğeri olmak üzere ayrı ayrı uygulanmıştır.

Ertugay (2009) tarafından geliştirilen model ultrases probuyla beraber UV lambalarının paralel olarak gıdaya daldırılması esasına dayanır. Böylece UV lambalarının enerjisinden her yönde (360°) istifade edilmekte ve ultrasesin karıştırma etkisiyle birlikte sıvı ortama nüfuz edebilme kabiliyeti opak sıvılarda da artırılmaktadır. Aynı sistem kullanılarak yapılan bir çalışmada fotosonikasyon işleminin ultrasese karşın mikrobiyal inaktivasyondaki etkinliği araştırılmış ve fotosonikasyonun ultrasese göre çok daha etkili olduğu gözlenmiştir (Şekil 2.14) (Şengül *et al.* 2011)



Şekil 2.14. Fotosonikasyon sistemi

2.3. Vurgulu Elektriksel Alan (PEF)

Yüksek şiddete sahip vurgulu elektriksel alan (PEF) teknolojisi gıdaların tat ve aromasını değiştirmeden besin değerlerini en üst seviyede koruyarak gıda kaynaklı mikroorganizmaların yok edilmesinde veya mikroorganizma yükünün azaltılmasında etkili bir şekilde kullanılan ve ısıl olmayan bir teknolojidir. Günümüzde PEF teknolojisinin hem laboratuvar hem de pilot fabrikalarda meyve suları, sıvı yumurta ve sütlerin işlenmesinde önemli uygulamaları mevcuttur. Metodun esası iletken olmayan bir boru sisteminde iki iletken elektrot yerleştirilerek yüksek elektrik alan şiddetine sahip elektriğin vurgulu olarak verilmesine dayanmaktadır. Böylece sistemdeki boru iletken olmadığı için elektrotlar arasındaki elektrik transferinin sıvı gıda aracılığıyla gerçekleşmesi zorlanmakta ve mevcut mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesine yol açmaktadır (Barbosa-Canovas and Sepulveda 2005).

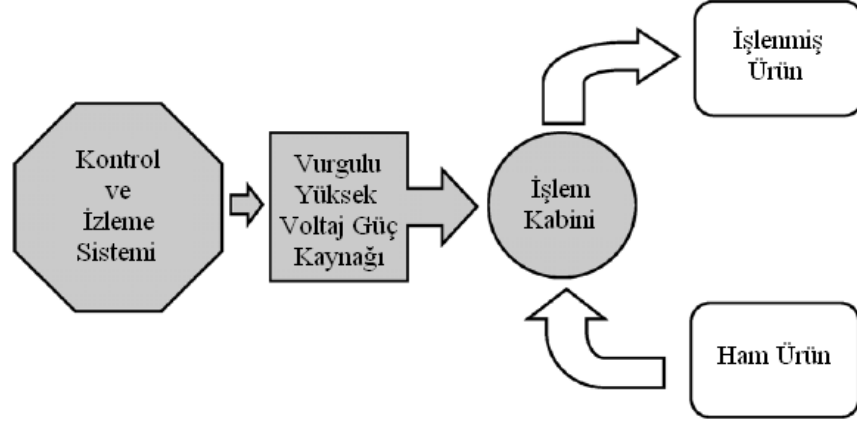
Sıvı gıdalar genellikle çok miktarda iyon içerdikleri için elektrik iletkenliği yüksektir. Güç kaynağındaki kapasitörde biriktirilen elektrik voltajı çok kısa zaman aralıklarıyla (μ s) vurgulu olarak sıvı gıdadan geçirilmeye zorlanır. Vurgu süresinin kısa olmasının sebebi elektrik voltajının uzun sürede depolanmasına rağmen gıdaya çok hızlı olarak boşaltılmasından kaynaklanmaktadır (Barbosa *et al.* 1999a).

PEF işleminin farklı işlemlerle kombinasyonları yaygın olarak araştırılmış olup en kolay uygulanabileni sıcaklıkla kombine edilmesidir. 60°C'nin altındaki orta sıcaklık değerlerinin kullanılmasında bile PEF işleminin önemli seviyede mikrobiyal inaktivasyon artışına sebep olmuştur (Picart and Cheftel 2003).

2.3.1. PEF sisteminin teknik özellikleri

PEF sistemi genel olarak yüksek voltajda elektrik enerjisinin temin edildiği güç kaynağı, elektriğin μ s aralıklarla vurgusal olarak sıvı gıdaya aktarıldığı işlem kabini, sıvı gıdanın taşındığı sistem ve bütün sistemin kontrol edilip izlendiği sistem olmak

üzere dört ana unsurdan oluşur. PEF sisteminin temel unsurları Şekil 2.15’de gösterilmektedir (Barbosa-Canovas and Sepulveda 2005).



Şekil 2.15. PEF sisteminin temel unsurlarının şematik gösterimi

Yüksek voltaj güç kaynağı

Yüksek voltaj güç kaynağı, elde edilen elektrik enerjisinin bir kapasitörde yüksek voltajda depolanarak vurgulu olarak işlem kabine aktarılmasını sağlar. Güç kaynağında elektrik alan şiddeti, vurgunun süresi (μs), frekans (Hz) ve dalganın şeklinin ayarlanması oldukça önemlidir (Yeom and Zhang, 2001). Elektrik alan şiddeti (E , kVcm^{-1}), iki elektrot arasındaki uzaklığa (d , cm) aktarılan voltaja (V , kV) bağlı olarak hesaplanmaktadır (Barbosa *et al.* 1999a):

$$E_e = \frac{V}{d}$$

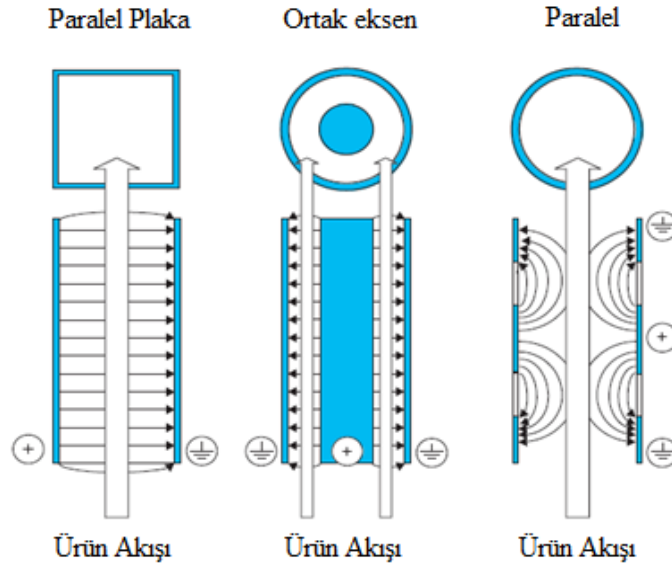
PEF sistemi tasarlanırken istenen vurgu sayısı (n), frekans (f , Hz), elektrotlar arasında kalan akışkan gıdanın hacmi (v , ml) ve akış debisi (F , Ldak^{-1}) sonucu etkileyen faktörlerdendir. Aşağıdaki formül kendi aralarındaki ilişkiyi açıklamaktadır (Zhang *et al.* 1995; Barbosa *et al.* 1999a):

$$f = \frac{n \times F}{v}$$

İşlem kabini

İşlem kabininin görevi güç kaynağındaki kapasitörde depolanan yüksek voltajın elektrotlar arasındaki sıvı gıdayı kullanarak diğer elektrota aktarılmasını sağlamaktır. İşlem kabinlerindeki elektrotlar farklı şekillerde tasarlanabilir (Şekil 2.16) (Toepfl *et al.* 2005) hepsinde temel esas yüksek voltajın (+) yüklü elektrotlardan yüksüz elektroda iletken sıvı gıdayı kullanarak taşınmasıdır. İşlem kabinlerinde ayrıca yalıtkan aparatlar bulunmaktadır. Bunların görevi elektrotla taşıma borusunun arasına girerek elektriğin sıvı üzerinden aktarımını sağlamaktır. Böylece elektrik verildiğinde elektrik sadece sıvı gıdayı kullanarak diğer elektroda geçebilmektedir. Şayet elektrik alan şiddeti çok fazla ise veya sıvının iletkenliği düşükse sistem kendini otomatik olarak kapatacaktır.

Elektrodun yapıldığı malzeme, elektrotlar arasındaki uzaklık, elektrotların düzeni ve hava kontağının olup olmaması işlem kabini en önemli hususların başında gelir (Yeom and Zhang 2001).



Şekil 2.16. İşlem kabini elektrotlarının durumu

Sıvı taşıma sistemi

PEF sisteminin sürekli mi kesikli mi uygulanacağı önemli bir konudur. Fakat günümüzdeki birçok sistem artık sürekli olarak çalışmaktadır. PEF sürekli sistemde kullanılacaksa sıvının taşındığı uygun bir sistemin tasarlanması gerekmektedir. Bu sistemde akış hızı, sıcaklık kontrolü ve dezenfekte etme prosedürleri en önemli hususlardandır (Yeom and Zhang 2001). Sıvı taşıma sisteminin görevi işlenmemiş sıvı gıdanın pompa aracılığıyla alınıp işleme kabini içinde elektrotlara ulaştırılıp PEF işlemi uygulandıktan sonra işlenmiş ürünün istenen yere gönderilmesidir. PEF işlemi sırasında elektriksel alan şiddetinin büyüklüğünün karesiyle orantılı olarak sıcaklık nispeten yükselmektedir (Barbosa *et al.* 1999a). Sıcaklık PEF sisteminde önemli bir faktör olduğu için başlangıç sıcaklığının istenen sıcaklığa getirilmesi veya işlem sonrası sıcaklığın düşürülmesi amacıyla ısı değiştiricilerin eklenmesi de sıvı taşıma sistemine dâhil edilmelidir.

Kontrol ve izleme cihazları

PEF işlemi sırasında elektriksel alan şiddeti, frekans, vurgu süresi, vurgunun biçimi, ürünün giriş ve çıkış sıcaklık değerleri ve sıvının akış hızı işlemin kontrol edilmesi ve izlenmesine izin verecek şekildedir. Uygun cihazlar sayesinde PEF işleminin başarısı hassas olarak takip edilebilmektedir.

PEF işleminin uygulanmasının bazı zayıf yönleri mevcuttur. Bunlar çeşitli kaynaklar (Picart and Cheftel 2003; Toepfl *et al.* 2005) tarafından şu şekilde aktarılmaktadır:

- Kullanılacak sıvı gıdanın gaz kabarcıkları veya büyük partiküller içermemesi gerekir.
- PEF işlemi sıvı gıdalar için uygun bir metot olup sıvının belirli bir elektrik iletkenliği ve viskozite aralığında olması gerekir.
- Yüksek elektrik iletkenliğine sahip gıdalarda enerji sarfiyatı artarak 200 Jml⁻¹'yi geçmekte ve soğutma yapılmazsa sıcaklık 50°C'yi aşabilmektedir.

- Bakteri sporları inaktif edilememesinden dolayı asitli olmayan gıdaların buzdolabında depolanması gerekmektedir. Ayrıca enzim inaktivasyonunun sınırlı olmasından dolayı birçok PEF ürününün buzdolabında depolanması gerekmektedir.
- Yasal düzenlemelerdeki yeri henüz kesinleşmemiştir.
- Elektrotlardan ağır metal kontaminasyonları olabilmektedir. Bu konu hakkında önerilen çeşitli materyaller olsa bile henüz tartışmalı bir konudur.

2.3.2. PEF sisteminin etki mekanizması

PEF işlemine maruz kalan bir hücre elektroporasyon ve elektrofizyona maruz kalabilir. Elektroporasyon hücrede birçok önemli faaliyetin gerçekleşmesinde rol alan membranlardaki porlarının genişlemesi veya membranda yeni porların oluşması olayıdır. Elektroporasyon, başta hücrenin seçici geçirgen özelliği olmak üzere birçok aktivitenin bozulmasına yol açarak hücrenin ölümüne sebep olmaktadır. Ayrıca hücredeki madde giriş ve çıkışındaki kontrolün kaybolmasından dolayı hücre zamanla aktivitesini kaybetmektedir. Elektrofizyon ise elektriksel yıkım anlamına gelmektedir. Bir hücreye elektriksel alan uygulandığı zaman iletkenlik eşik değerin üzerine ulaşırsa membranın direnci kırılmaktadır. Hücre içi ve hücre dışındaki yük yoğunluğunda meydana gelen değişimlere bağlı olarak hücrenin elektriksel özelliği değişmektedir. Eğer bu stres kritik değeri aşarsa hücre membranı mekanik olarak kırılabilir (Barbosa *et al.* 1999b).

PEF işleminin enzim inaktivasyonu üzerine etkisi ile ilgili olarak oldukça fazla çalışma bulunmasına rağmen bazı araştırmacılar önemli enzim inaktivasyonu bulamazken bazıları da yüksek oranda inaktivasyon rapor etmişlerdir. Bunun sebebinin kullanılan PEF sistemlerindeki şartların farklı olmasından kaynaklanmış olabilir. PEF enzim inaktivasyon mekanizması detaylı olarak aydınlatılamamakla beraber enzimin doğal yapısının değiştirilmesine bağlanmaktadır. Araştırmalara dayanılarak, moleküllerin hidrolize edilmediği fakat polarizasyon, alifatik hidrofobik grupların kısmi olarak açılması ve proteinlerin kümeleşmesi gibi değişikliklere uğradığı sonucuna ulaşılmıştır. PEF işlemi çoğu kez gıdanın sıcaklığını aşırı ve pH'sını önemli ölçüde

değiştirmemesinden dolayı enzim inaktivasyonunda bu şekilde bir denatürasyonun olmadığı düşünölmektedir. Fakat ortaya açıkça konulmuş olan husus PEF işleme enzimlerin vejetatif mikroorganizmalardan çok daha dirençli olduklarıdır (Yeom and Zhang 2001; Picart and Cheftel 2003).

2.3.3. PEF işlemini etkileyen faktörler

PEF işleminin etkinliğindeki parametreleri teknik faktörler, biyolojik faktörler ve gıdanın özellikleri olmak üzere üç grupta toplayabiliriz. Bu faktörler şu şekilde sunulabilir.

PEF sisteminin özellikleri

Elektrik alan şiddeti, frekans ve vurgu süresi önemli parametreler olup bu parametrelerin artmasıyla birlikte PEF işleminin etkinliği de artmaktadır (Barbosa-Canovas and Sepulveda 2005). Kullanılan vurgunun süresi genellikle 1-20 µs olmakla beraber 50ns'den birkaç mili saniyeye kadar değişebilmektedir. Kullanılan yüksek elektrik şiddeti de genellikle 15-80 kVcm⁻² arasında değişmektedir. Vurgu biçimi de mikrobiyal inaktivasyonda önemli parametrelerdir (Picart and Cheftel 2003).

Hedef mikroorganizmanın özellikleri

Hedef mikroorganizmanın büyüklüğü ve şekli, mikroorganizmanın tipi, mikroorganizmanın durumu PEF işlemini etkinliğinde önemli faktörlerdir (Barbosa-Canovas and Sepulveda 2005). Bakteri sporları genellikle vejetatif hücrelerin inaktivasyonuna göre daha dirençlidirler. Ayrıca logaritmik gelişim fazındaki mikroorganizmaların sabit faza ulaşmış mikroorganizmalara göre PEF işleme daha hassas oldukları rapor edilmiştir (Wouters *et al.* 1999; Alvarez *et al.* 2000, Picart and Cheftel 2003).

Gıdanın özellikleri

Elektrik iletkenliği PEF uygulanan gıdanın en önemli özelliğidir. Çünkü işlem kabının direnci başta olmak üzere elektrik alan şiddeti, vurgu süresi ve örneğin sıcaklık artışı gibi hususlar bu özelliğe göre değerlendirilmektedir. Ayrıca gıdanın viskozitesi ve yoğunluğu da PEF etkinliğini belirleyen diğer önemli parametrelerdir. pH'nın düşük olması da PEF'in mikrobiyal inaktivasyonu üzerine oldukça etkili bir faktördür (Wouters *et al.* 2001; Picart and Cheftel 2003).

2.4. Elma Suları ve Kalite Özellikleri

Elmalar, gülgiller familyasının *Pomoideae* alt familyasından *Malus* cinsini oluşturan elma ağaçlarından (*Malus sylvestris*) elde edilen meyvelerdir. Elmanın anavatanının Anadolu, Kafkasya ve Avrupa olduğu ve ilk olarak 4000 yıl önce kültüre alındığı, günümüzde 5000'e yakın çeşidinin bulunduğu ve bu çeşitlerin çoğunluğunun Avrupa ve Amerika kaynaklı olduğu belirtilmektedir (Özbek 1985; Coşar 1996; Tetik 2005). Çizelge 2.1'de elma ve elma suyunun bileşimi yaklaşık olarak verilmiştir (USDA 2011).

Elma suyu üretiminde asit-şeker dengesinin yeterli olması ve aroma içeriğinin zengin olmasının yanı sıra hasat edileceği zamanın da iyi seçilmesi gerekmektedir. Elmalar berrak elma suyu üretiminde sofrta olgunluğundan önce hasat edilirken, bulanık elma suyu üretiminde elmanın olgunlaşması beklenmelidir (Cemeroğlu ve Karadeniz 2001).

Çizelge 2.1. Elma ve elma suyunun bileşimi

Bileşen/ 100g	Kabuklu Elma	Kabuksuz Elma	Elma suyu
Su (g)	85,56	86,67	87,93
Toplam karbonhidrat (g)	13,81	12,76	11,68
Gıda lifi (g)	2,40	1,3	0,10
Toplam şeker (g)	10,39	10,10	10,90
Sakaroz (g)	2,07	0,82	1,70
Glikoz (g)	2,43	3,25	2,50
Fruktoz (g)	5,90	6,03	5,60
Nişasta	0,05	-	-
Protein	0,26	0,27	0,06
Toplam Yağ (g)	0,17	0,13	0,11
Kül (g)	0,19	0,17	0,23
Mineraller			
K (mg)	107	90	119,0
P (mg)	11	11	7
Ca (mg)	6	5	7,0
Mg (mg)	5	4	5
Vitaminler			
C vitamini (mg)	4,60	4,0	0,9
Tiamin (mg)	0,017	0,019	0,021
Riboflavin (mg)	0,026	0,028	0,017
Niasin (mg)	0,091	0,091	0,073
Pentotenik asit (mg)	0,061	0,071	0,049
B-6 (mg)	0,041	0,037	0,018
Kolin (mg)	3,4	3,4	1,8
Betain (mg)	0,1	-	0,1
E vitamini (mg)	0,18	0,00	0,10
A vitamini (IU)	54	38	1
Enerji (kcal)	52	48	46,0
Enerji (kj)	218	200	191

*Bu tablo ABD'nin Ulusal beslenme veri tabanına (USDA 2011) dayanarak hazırlanmıştır.
http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl

2.4.1. Doğal bulanık elma suyu

Bulanık elma suyu tüketimi Japonya başta olmak üzere gelişmiş ülkelerde yaygınlaşmaya başlamıştır. Kaliteli bir bulanık elma suyu Nagel (1992) tarafından beyaza yakın açık sarı renkte, meyve eti hissedilebilir düzeyde, belirgin ve kararlı bulanıklığa sahip, tortu oluşturmamış, taze elma lezzetinde, asitliği belirgin, buruk olmayan, pişmiş tat göstermeyen bir içecek olarak tanımlanmaktadır (Cemeroğlu ve Karadeniz 2009).

Çizelge 2.1'den de anlaşılacağı üzere elmanın gıda lifi (%2,4) oldukça yüksektir. Bununla birlikte berrak elma suyu üretimi sırasında uygulanan işlemler sonucunda elma suyunun lif içeriği hemen hemen tamamen kaybolmakta ve elmanın gıda lifi elma suyuna aktarılamamaktadır. Oysa bulanık elma suyunda bu kayıplar minimum seviyededir (Cemeroğlu ve Karadeniz 2001; USDA 2011).

Doğal bulanık elma suyu üretiminde en önemli hususların başında hammadde seçimi gelmektedir. Yeterli olgunluğa ulaşmamış, yara-bere içermeyen elmalar bulanıklık düzeyi ve kararlılığı açısından oldukça önemli olduğu kadar elmanın çeşidi de çok önemli bir husustur. Pecoroni *et al.* (1996) yaptıkları bir çalışmada elma suyunun bulanıklık düzeyi ve kararlılığı açısından Boskop çeşidinin oldukça uygun olduğunu ve 4200×g santrifüjlemeden sonra bile yüksek kararlılığa sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Aynı çalışmada bulanıklık açısından sırasıyla Gloster, Jonagold ve *Golden delicious* çeşitlerinin geldiği fakat bunların bulanıklığın Boskop çeşidinin neredeyse yarısı kadar olduğu bildirilmiştir (Beveridge 2002).

Bulanık elma suyu üretim teknolojisinde dikkat ve özenle seçilen elmalar değirmende hızla mayşe haline getirilmelidir. Mayşenin preslenmesinde kullanılan ekipmanların (bant veya horizontal presler) modifiye edilmesi ve presleme sırasında inört bir gazın (azot) ilave edilerek enzimatik esmerleşme reaksiyonlarının sınırlandırılması daha iyi sonuçların elde edilmesi için gerekmektedir. Horizontal presler, inört gaz kullanımına

oldukça uygundur. Ayrıca bu preslerde elma mayşesinin %50-60'a kadar preslenmesi tavsiye edilmektedir. Presleme sonrası ambalajda faz ayrılmasının olmaması için seperatörle ham elma suyundaki katı parçacıkların uzaklaştırılması gerekmektedir. Kaba parçacıklar ayrılır ayrılmaz elmadan gelen enzimlerin hızla inaktif edilmesi ve elma suyunda bulunan doğal mikrobiyal yükün önemli ölçüde düşürülmesi için ısıl işlem (96°C'da 15-30 saniye) uygulanmakta ve aseptik olarak ambalajlama yapılmaktadır. Bununla birlikte elma suyu önce şişelere doldurulup sonra şişede ısıl işlem uygulaması da yapılabilmektedir (Markowski *et al.* 2009; Cemeroğlu ve Karadeniz 2001).

2.4.2. Doğal bulanık elma sularının kalite özellikleri

Polifenoloksidaz (PFO) enzimi

PFO enzimleri oksidoredüktaz enzim sınıfında yer almaktadırlar. Substratları fenolik bileşikler olup oksijen varlığında etki ederler ve esmer renkli bileşiklerin oluşmasına sebep olurlar. Sağlıklı bir elmada PFO'lar ile fenolik maddelerin teması bitkisel hücrenin farklı yerlerinde buldukları için yok denecek kadar azdır. PFO enziminin bir kısmı sitoplazmada olmakla birlikte büyük bir kısmı membranlara bağlı olarak bulunmaktadır (Mayer 1987; Cemeroğlu *et al.* 2009).

Birçok meyve ve sebze de bulunan PFO enzimi özellikle fenolik bileşiklerin parçalanması sonucunda ortaya çıkan renk bozulmalarından sorumlu olup, istenilmeyen pigmentlerin oluşumunu polimerize eden kinonlarla oksijen varlığında fenolik bileşiklerin oksidasyonuna neden olmaktadır. İşleme ve depolama sırasında taze meyve, sebze, meyve suyu veya şarap gibi ürünlerde meydana gelen bu renk bozukluğu ürünlerdeki tat ve besleme değerindeki olumsuzlukları işaret etmesi yönüyle tüketici albenisini olumsuz etkileyecektir. Enzimin reaksiyonu iki basamakta gerçekleşmektedir (Keleş 1986; Cemeroğlu *et al.* 2009):

Monofenoller (renksiz) + PFO + O₂ → o-Difenol (renksiz)

o-Difenol (renksiz) + PFO + O₂ → o-Kinon (çoğunlukla kırmızı renkli)

Meyve suyu üretiminde önemli bir problem olan enzimatik esmerleşmenin durdurulması için PFO enziminin inaktif veya inhibe edilmesi gerekmektedir. Bunun için kullanılan en yaygın metot ısı işlem uygulamasıdır (Cemeroğlu *et al.* 2009). Bunun için esas olarak PFO enziminin tahrip veya denatüre edilmesi, işleme şartlarının değiştirilerek enzim aktivitesinin en aza indirilmesi, kimyasal madde kullanımı, substratların değiştirilmesi/uzaklaştırılması ve hasat öncesinde agronomik uygulamalar veya ıslah işlemleri kullanılabilir önemli metotlardır (Keleş 1987).

Karadeniz ve Ekşi (2001a) farklı yıllarda ve farklı şehirlerden temin edilen elmalardaki PFO içeriğinin elmanın çeşidine, yetiştirildiği yere ve yıla bağlı olarak çok fazla etkilenebildiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca genel olarak amasya çeşidinin 0,435; golden çeşidinin 0,306; starking çeşidinin ise 0,346 A₄₄₀ dak.⁻¹ PFO aktivitesine sahip olduğu rapor edilmiştir. Keleş (1986) ise Amasya çeşidinin PFO aktivitesini 0,540 A₄₄₀ dak.⁻¹ olarak, golden çeşidinkini ise 0,187 A₄₄₀ dak.⁻¹ olarak rapor etmiştir.

Mikrobiyal yük

Birçok meyve ve bu meyvelerden elde edilen ürünler sitrik, malik ve tartarik asit gibi organik asitler içerdikleri için yüksek asidik karaktere sahiptirler. Elmalar da malik asit başta olmak üzere sitrik asit ve laktik asit gibi organik asitler bakımından yoğundur. Dolayısıyla elmalarda gelişebilen mikroflora içeriğini etkileyen en önemli faktör pH içeriğidir. Genellikle birçok küf ve maya asidik şartlarda gelişebildiklerinden dolayı elma ve ürünlerinde hâkim florayı oluştururlar. Sayıları az olmakla birlikte aside dayanıklı çeşitli bakteriler de mevcut olup önem taşımaktadırlar (Worobo and Splittstoesser 2000).

Gıda bozulmalarında küf oluşumu oldukça önemli bir konudur. Örneğin *S. cerevisia* ekmeğın mayalanmasında ve alkol fermantasyonunda önemli roller üstlenmekle birlikte meyve suyu gibi ürünlerde alkol ve CO₂ üreterek meyve sularında bozulmalara sebep olabilir. Bu nedenle meyve sularının muhafazasında maya ve küf inaktivasyonu oldukça önemlidir (Barbosa *et al.* 1999c).

Bulanıklık düzeyi ve kararlılığı

Meyve suyu preslendikten sonra farklı irilikte meyve dokusundan oluşan parçacıklar, protein-tanen kompleksleri, çözünmeyen proteinler, aktif enzimler, canlı veya ölmüş mikroorganizmalar gibi çeşitli bileşenlerle süspansiyon oluştururlar. Bu bileşenler gözle görünmeseler de meyve suyunda bulanıklığın temel sebebidirler. Genellikle bunların çapı 1µm'den büyük olup, bu katı partiküllere kaba süspansiyon denir. Böyle bir karışım kendi haline bırakılması durumunda ya dibe çöker veya yüzeyde toplanır (Cemeroğlu ve Karadeniz 2009). Dietrich *et al.* (1996) 70'den fazla elma suyunda yaptıkları bir çalışmaya dayanılarak bulanık elma sularında bulanıklığı oluşturan unsurlarının proteinler (%40), lipitler (%30), prosiyanidinler (%5), nötral polisakkaritler (%5), pektin (%2) ve diğer bileşikler (%18) olduğu ifade edilmektedir (Beveridge 2002; Cemeroğlu ve Karadeniz 2009). Ayrıca Cemeroğlu ve Karadeniz (2009), sedimantasyona sebep olmayan ince bulanıklığın en az 100 mg l⁻¹ olması gerektiğini ve bunun yaklaşık olarak 200-300 NTU'ya (Nefelometrik bulanıklık birimi) karşılık geldiğini ifade etmişlerdir.

Doğal bulanık elma suyunun kararlılığı çözünmüş partiküllerin büyüklüğüne, bu maddelerdeki çözünmüş pektin içeriğine ve pektinin yük yoğunluğuna bağlıdır. Bulanık elma suyu teknolojisinde süspansiyon partiküllerin mümkün olduğu kadar küçük olmaları istenir. Çünkü büyüklüklerinin artmasıyla çökme hızları da artmaktadır. Ayrıca bulanık elma suyunun kararlılığında pektinin önemli bir fonksiyonu vardır. Çünkü pektin ne kadar çoksa ortamın negatif yükü de o kadar fazladır. Süspansiyonda partiküllerin yükü fazlaysa partiküllerin çökmesi de gecikecektir (Urlaub 2002).

Bulanık elma sularında bulanıklık düzeyi ve bulanıklık kararlılığı en önemli kalite özelliklerindedir. Stahle-Hamatschek, (1989) 50 elma suyunun bulanıklık kararlılığı üzerine bir çalışma yapmış ve 15 dakika 4200×g santrifüjlemenin 1 yıl depolama sonrası oluşacak bulanıklık kararlılığıyla büyük oranda ($R=0,99$) korelasyon içerdiğini ortaya koymuştur. Yani elma suyu üretildiği gün 1 yıl sonraki bulanıklığı bu şekilde tahmin edilebilmektedir (Beveridge 2002). Çünkü bu şartlarda santrifüjleme işlemi 1µm'den büyük partikülleri çoğunlukla uzaklaştırmaktadır. Ayrıca 15 dakikadan fazla santrifüj yapılmasının bulanıklık kararlılığını değiştirmede ifade edilmiştir (Genovese *et al.* 1997; Stahle-Hamatschek 1989). Bu esasa dayanılarak yapılan bir çalışmada farklı çeşit elmalardan elde edilen bulanık elma sularının bulanıklık düzeyinin 298-3309 NTU, bulanıklık kararlılığının ise %29 ve 52 arasında değiştiği rapor edilmiştir (Markowski *et al.* 2009).

Toplam fenolik madde

Fenolik bileşikler bitkilerde bulunan ve bitkiden bitkiye yapısal farklılıklar gösteren bileşiklerdir. Meyve, sebze ve ürünlerinde az veya çok miktarda bulunan bu bileşikler pek çok gıdanın renk, tat ve aromasının oluşumunda çeşitli katkılarda bulunmakta ve meyve sebzenin dayanıklılığına olumlu etkileri olmaktadır. Fenolik bileşiklerin en önemli özelliklerinden birisi de doğal antioksidan olmalarından dolayı insan sağlığı üzerine önemli etkilerinin olmasıdır. Serbest radikallerin faaliyetlerini durdurarak veya yavaşlatarak kanser, kalp ve akciğer hastalıkları gibi pek çok hastalığın engellenmesinde önemli rolleri vardır (Yıldız ve Baysal 2003; Nizamlioğlu ve Nas 2010).

Karadeniz ve Ekşi (2001b), elma suyunun işlenmesi ve depolanması sırasında fenolik madde kaybı olduğunu, işlem sırasında en fazla kaybın presleme ve evaporasyon sırasında gerçekleştiğini ifade etmiştir. Aynı çalışmada elma suyundaki en önemli fenolik bileşikler klorojenik asit ve epikateşin başta olmak üzere florotinglikozit, floridzin, p-kumarik asit olarak tespit edilmiştir.

Briks, pH ve renk parametreleri

Briks suda çözünen kuru madde demektir. Türk Gıda Kodeksi'ne göre elma suyunun briks değerinin 11,5°B'den aşağı olmaması gerekmektedir. Meyve suları yüksek asitlikleri nedeniyle bakteri gelişimi açısından güvenilir gıdalar olarak değerlendirilmektedir (Karagözlü 2004). Dolayısıyla meyve sularının pH değerinin artması meyve suyunun dayanıklılığını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca bulanık elma suyu üretiminde renk tüketicinin beğenisini kazanmada oldukça önemli olup, rengin beyaza yakın açık sarı olması istenmektedir (Nagel 1992; Cemeroğlu ve Karadeniz 2009).

2.5.Çalışmanın Amacı

Gıda muhafazası özellikle meyve sularında enzim ve mikroorganizmaların inaktivasyonu esasına dayanmaktadır. Enzimlerin ve mikroorganizmaların inaktif edilmesi için günümüzde yaygın olarak uygulanan ısı işlemlerin duyusal kalite parametrelerine zarar vermesinden dolayı son zamanlarda tüketicilerin daha taze ve daha doğal gıda ürünleri isteklerini karşılamak için ısı olmayan alternatif gıda muhafaza tekniklerine olan ilgi gittikçe artmaktadır. Isı olmayan muhafaza tekniklerinin enzimler ve mikroorganizmalar üzerine etkisini artırmak ve daha etkili bir inaktivasyon işlemi gerçekleştirmek için bu teknikler genellikle eş zamanlı olarak kullanılabilir.

PFO özellikle elma sularında enzimatik esmerleşmeye yol açan ve tüketici tarafından arzu edilen rengin olumsuz etkilenmesine neden olan önemli bir enzim olup, inaktif edilmesi teknolojik açıdan büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte maya ve küfler de özellikle düşük pH değerlerinde gelişebilen mikroorganizmalar olup bu mikroorganizmaların da inaktif hale getirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı ultrases, fotosonikasyon ve vurgulu elektriksel alan işlemlerinin PFO ve maya-küf inaktivasyonunun yanı sıra, doğal bir görünüm veren bulanıklıkla ilgili parametreler ve

fenolik madde, pH, briks gibi diğer önemli kalite parametrelerine etkisinin incelenerek birbirilerine olan üstünlük ve sınırlamalarını tespit etmektir. Böylece, besin değeri yüksek ve kalite özellikleri daha iyi olan ürünlerin üretilebilmesi için alternatif teknolojilerin geliştirilmesine katkı sağlamaktır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler

Bu çalışmada kateşol, sodyum karbonat, sodyum fosfat, Folin-Ciocalteu reaktifi, gallik asit, sitrik asit, pH 4,00 tampon çözelti, pH 7,00 tampon çözelti, pepton, PDA besiyeri, etil alkol ve metilen mavisi kullanılmıştır.

3.2. Kullanılan Çözeltilerin Hazırlanması

- Kateşol Çözeltisi (0,1 M): 11,011g kateşol ($C_6H_4-1,2-(OH)_2$) saf suyla 1 litreye tamamlanarak hazırlanmıştır.
- Disodyum hidrojen fosfat (0,2 M): 71,60 g ($Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$) saf suyla 1 litreye tamamlanarak hazırlanmıştır.
- Sitrik asit (0,1M) : 19,02 g sitrik asit ($C_6H_8O_7$) saf suyla 1 litreye tamamlanarak hazırlanmıştır.
- McIlvane Tampon Çözeltisi (pH= 6,5'e ayarlı fosfat tamponu): 29,65ml sitrik asit (0,1M) ve 70,35ml disodyum hidrojen fosfat (0,2 M) karıştırılarak hazırlanmıştır.
- Folin-Ciocalteu Reaktifi (FCR): Ticari olarak satın alındığı şekilde kullanılmıştır.
- Doymuş sodyum karbonat: 75g Na_2CO_3 saf suyla 1 litreye tamamlanarak hazırlanmıştır.
- Dilüsyon: 1g pepton 1 litre saf suda çözüldükten sonra otoklavda steril edilmiştir.
- PDA besiyeri: 39g PDA 1 litre saf suda çözüldükten sonra mikrodalgada kaynatılmış ve soğumadan otoklavda steril edilmiştir. Daha sonra 50°C'ye kadar soğutulup 14ml %10'luk laktik asitle pH'sı 3,5'e getirilmiştir.
- Gallik asit standart çözeltileri: 25 mg gallik asit 50ml absöü alkolde çözüldürülerek 500 mg l^{-1} konsantrasyona sahip stok çözelti hazırlanmıştır. Stok çözeltilerden 1, 2, 4, 6 ve 8ml hassas olarak alınarak her biri 10ml'lik ölçü balonlarına aktarılmış ve absöü alkolle çizgisine kadar tamamlanmıştır. Böylece 50, 100, 200, 300, 400 ve 500 mg l^{-1} konsantrasyona sahip 6 adet standart çözelti hazırlanmıştır (Özkan vd 2010).

- %1'lik metilen mavisi: 1 g metilen mavisi saf suyla 100ml'ye tamamlanarak hazırlanmıştır.

3.3. Yararlanılan Alet ve Cihazlar

Çalışmalar sırasında yararlanılan alet ve cihazlar aşağıda listelenmiştir. Washington State Üniversitesi'nde yararlanılan alet ve cihazlar WSU ile gösterilmiştir.

Ultras ses cihazı	UP400S, Hielscher, Almanya
Ultras ses probu	H22L2D, Hielscher, Almanya
UV güç kaynağı	Pen-Ray, Cole-Parmer, ABD
UV lambaları	Pen-Ray, R-97606-08, Cole-Parmer, ABD
Pompa	Grant Instrument Ltd., İngiltere.
PEF sistemi (WSU)	PowerMod™ 25 kW - Diversified Technologies Inc., Bedford, Mass., ABD
Spektrofotometre	T60V Spectrophotometer PG Instruments Ltd.
Spektrofotometre (WSU)	HP - 8452A diode array, Hewlett-Packard, Palo Alto, CA
Santrifüj	Mikro 22R Hettich Zentrifugen, Almanya
Kolorimetre	Konika Minolta CR-400, Japonya
Kolorimetre (WSU)	Konika Minolta CM-2002, Japonya
Abbe refraktometresi	Carl Zeiss, Almanya
Abbe refraktometresi(WSU)	ABBE-3L refractometer, Milton Roy Co., Rochester, NY.
Su banyosu	Model WNB 10, Memmert, Almanya.
Peristaltik pompa	Cole Parmer Masterflex Easyload L/S 7518-00, ABD
Katımevve sıkacağı	Philips XXL, HR1861, Çin.
Katımevve sıkacağı (WSU)	GE Juice extractor, 169201, ABD.
pH metre	Orion 3-Star Meter, Thermo Scientific.
pH metre (WSU)	Orion 4-Star Meter, Thermo Scientific.
Voltmetre	Voltcraft, Energy Check 3000, Germany

3.4. Materyal

Çalışmada piyasadan temin edilen *Golden delicious* çeşidi elmalar kullanılmıştır. Elmalar, elma suyu elde edilene kadar +4°C’de muhafaza edilmiştir. Zarar görmemiş sağlam elmalar musluk suyuyla yıkanıp kurulandıktan sonra katı meyve sıkacağına sıkılarak elma suyu elde edilmiştir. Elde edilen elma suları kaba parçacıkların uzaklaştırılması gerektiği için (Cemeroğlu ve Karadeniz 2001) yaklaşık 1 mm²’lik delikleri olan süzgeçten ikişer kez süzümüştür. Bu işlemler elma suyunun oksidasyona fazla maruz kalmaması için hızlı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

İşlem uygulanan elma suları analiz edilinceye kadar koyu renkli ve ağzı kapalı şişelere silme olarak doldurulup ışık almayacak şekilde +4°C’de depolanmıştır. Örneklerin bileşiminde fazla değişiklik olmaması için taze ve işlenmiş elma sularında yapılan tüm analizler elma suyu elde edilmesinden hemen sonra seri bir şekilde gerçekleştirildi.

3.5. Yöntem

3.5.1. Polifenol oksidaz (PFO) enzim aktivitesinin belirlenmesi

Taze ve işlem uygulanmış elma suyunun PFO enzim aktivitesinin (EA) belirlenmesinde substrat olarak kateşol kullanılmıştır. 0,5 ml örnek 0,5 ml kateşol çözeltisi (0,1 M) ve 2ml McIlvane tampon çözeltisiyle (pH=6,5’e ayarlı fosfat tamponu) karıştırılmıştır. 420 nm dalga boyunda spektrofotometre kullanılarak 10 saniye aralıklarla absorbans değeri kaydedilmiştir. Zamana karşı A₄₂₀’de meydana gelen değişimin lineer kurvesinin eğimine bağlı olarak EA belirlenmiştir. EA’nın her bir ünitesi “1 ml elma suyu numunesi başına 1 dakikada absorbansta meydana gelen 0,001 birimlik değişim (ΔA_{420} dak.⁻¹)” olarak kabul edilmiştir. İşlem uygulanan elma sularına ait enzim inaktivasyon seviyesi ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak belirlenmiştir (Özoğlu and Bayındırlı 2002):

$$\% \text{Enzim İnaktivasyonu} = \left[\frac{(EA_{\text{Kontrol}} - EA_{\text{İşlem}})}{EA_{\text{Kontrol}}} \times 100 \right]$$

3.5.2. Toplam fenolik madde analizi

Toplam fenolik madde miktarı Folin-Ciocalteu metodu ile spektrofotometrik olarak gerçekleştirilmiştir. 100ml'lik ölçü balonuna 75 ml damıtık su ve 1 ml elma suyundan sonra 5 ml FCR eklenip balon iyice çalkalanmıştır. 3 dakika kendi haline bıraktıktan sonra üzerine 10ml doymuş sodyum karbonat çözeltisi eklenerek saf suyla ölçü balonu çizgisine kadar tamamlanmış ve tekrar çalkalanmıştır. Ölçü balonu 60 dakika kendi haline bırakıldıktan sonra çözeltinin absorbansı spektrofotometrede 720 nm dalga boyunda aynı şekilde hazırlanmış şahide karşı saptanmıştır. Standart olarak gallik asit kullanılmıştır. Standartlarla hazırlanan grafikten faydalanılarak örneklerin fenolik madde miktarı gallik asit eşdeğeri (mg GAE L⁻¹ örnek) olarak ifade edilmiştir (Özkan vd 2010).

3.5.3. Bulanıklık düzeyinin belirlenmesi

Elma suyu 20°C sıcaklıkta 760×g'de 10 dakika süreyle santrifüjlenmiştir. Bulanıklık düzeyi süpernatantın saf suya karşı 660 nm'deki absorbans değeri (A₆₆₀) olarak ölçülmüştür (Versteeg *et al.* 1980; Tiwari *et al.* 2008).

3.5.4. Bulanıklık kararlılığının belirlenmesi

Elma suyu 25°C sıcaklıkta 4200×g'de 15 dakika süreyle santrifüjlenmiştir. Bulanıklık kararlılığı (%BK) santrifüjlemeden önce (BK_{ilk}) ve hemen sonra (BK_{son}) 625 nm'deki absorbans (A₆₂₅) değişimi olarak aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Stahle-Hamatschek 1989; Genovese *et al.* 1997):

$$\%BK = \frac{BK_{\text{Son}}}{BK_{\text{ilk}}} \times 100$$

3.5.5. Sedimentasyon değerinin belirlenmesi

Elma suları 100 ml'lik ölçü silindirlerine konulmuş ve +4°C'de 24 saat beklendikten sonraki faz ayrılması hacimsel olarak belirlenmiştir (Stahle-Hamatschek 1989; Tetik 2005).

3.5.6. Mikroskopik görüntünün elde edilmesi

Lam üzerine 3 damla elma suyu damlatılıp yayıldıktan sonra 60°C sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur. Sonra preparata saf etil alkol damlatılıp kurutularak fiksasyon yapılmıştır. Daha sonra %1'lik metilen mavisi damlatılıp 2-3 dakika bekletilmiş ve saf suya daldırılarak boya uzaklaştırılmıştır. Üzerine lamel kapatılan preparat, mikroskopta 10x objektifte (Nikon 50i) büyütülerek tesadüfi seçilen farklı bölgelerin görüntüsü kaydedilmiştir.

3.5.7. Toplam maya-küf sayısının belirlenmesi

Her bir örnek için dilüsyon çözeltisi olarak peptonlu su (%0,1) kullanılarak dilüsyonlar hazırlanmıştır. En az bir gün önceden pH'sı 3,5'e ayarlanmış PDA besiyeri petri kutularına dökülerek kurutulmuştur. Elma suyundan ve dilüsyonlardan 0,1ml alınarak petri kutularına ilave edilmiş ve drigalski spatülü ile yayılmıştır. Petriler 25°C'de 5-7 gün inkübe edilerek oluşan koloniler sayılmış ve tanımlanabilen limit seviyesi 1 log₁₀ olarak kabul edilmiştir.

3.5.8. Renk ölçümü

Çalışmada üç boyutlu renk ölçümü esasına dayanan Minolta kolorimetre cihazı kullanılmıştır. Elma suyu örneklerinde bu kolorimetreye L , a , b değerleri ölçülmüş ve bu değerlere bağlı olarak kroma değeri [$C = (a^2 + b^2)^{1/2}$] hesaplanmıştır. L değeri beyazlık-siyahlık göstergesi olup 0 (siyah) ile 100 (beyaz) değerleri arasında, a değeri yeşillik-kırmızılık olup -60 (yeşil) ile $+60$ (kırmızı) değerleri arasında ve b değeri mavilik-sarılık göstergesi olup -60 (mavi) ile $+60$ (sarı) değerleri arasında değişimi göstermektedir (Ozdemir 2001).

3.5.9. Suda çözünür kuru madde, pH ve elektrik iletkenliğinin belirlenmesi

Elma sularının çözünür kuru madde miktarı (briks) Abbe refraktometresi kullanılarak 20°C sıcaklıkta belirlenmiştir. pH ve elektrik iletkenliği analizleri için 20°C sıcaklıktaki elma sularına pH metreye ait probalar direkt olarak daldırılarak ölçümleri yapılmıştır (Cemeroğlu 2010).

3.5.10. Fotoğraf çekimi

$+5^{\circ}\text{C}$ 'de 195ml'lik kavanozlarda depolanan elma suları 1., 30., 90. ve 120. günlerde 8 megapiksel çözünürlüğe sahip bir fotoğraf makinesiyle (Canon-A580) fotoğrafları çekilmiştir.

3.5.11. Sistemin enerji sarfiyatının belirlenmesi

Ultrases ve fotosonikasyon sistemlerinin çalışması için gereken gücün tespit edilebilmesi için voltmetrenin göstergesi okunmuştur. Vurgulu sistemde cihaz çalışmadığı için aynı şartlardaki vurgusuz sisteme göre aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır. Kullanılan vurgu seviyesi $0,5 \text{ s}^{-1}$ (yani %50) olduğu için;

$$P_{V-US} = \frac{P_{US}}{2}$$

$$P_{V-FS} = P_{FS} - \frac{P_{US}}{2}$$

formülleri kullanılmıştır. Burada, P_{V-US} vurgulu ultrases sistemi için harcanan gücü, P_{US} vurgusuz ultrases sistemi için harcanan gücü; P_{V-FS} vurgulu fotosonikasyon sistemi için harcanan gücü, P_{FS} ise vurgusuz fotosonikasyon sistemi için harcanan gücü ifade etmektedir.

3.5.12. D ve z değerlerinin hesaplanması

Elma suyun enzim aktivitesinde meydana gelen 1 logaritmik azalma için gerekli olan işlem süresi D değeri olarak tanımlanmıştır. Bu değer aşağıdaki formüle göre hesaplanmış olup EA belli bir süre sonundaki enzim aktivitesini, EA_0 ise ilk baştaki enzim aktivitesini ifade etmektedir (Kuldiloke 2002; Aktaş 2008):

$$D = \frac{t}{\text{Log } EA_0 - \text{Log } EA}$$

Elma suyundaki enzim inaktivasyonuna yönelik olarak D değerinde 1 logaritmik azalma için gerekli olan sıcaklık artışı z değeri olarak tanımlanmıştır. Bu değer aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Kuldiloke 2002; Aktaş 2008):

$$z = \frac{T_2 - T_1}{\log D_{T_1} - \log D_{T_2}}$$

3.5.13. Isıl işleminin uygulanması

Meyve sularında ısıl işlem su banyosunda gerçekleştirilmiştir. Elma suları vidalı kapaklı deney tüplerinin içine konup ağzı kapatıldıktan sonra su banyosuna daldırılmış ve

90°C'de 1 dakika bekletilmiştir. İşlem sonrası deney tüpleri musluk suyu kullanılarak hızlı bir şekilde soğutulmuştur.

3.5.14. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin uygulanması

Ultrases kaynağı olarak ultrases işlemcisi (UP400S, Hielscher, Almanya) kullanılmıştır. UP400S'in güç kontrolü %20-100, vurgu döngüsü ise saniyede %10-100 arasında değişmektedir. Ultrases işlemcisi 22 mm çapa sahip H22L2D probu ile birlikte kullanılmıştır. UP400S bu proba beraber kullanıldığında maksimum ultrases güç şiddeti 85 Wcm^{-2} olup, maksimum ultrases genliği (%100) $100 \mu\text{m}$ 'dir (Hielscher 2007). Fotosonikasyon işleminde ultrases ile birlikte ultraviyole kaynağı olarak UV lambaları (Pen-Ray, Cole-Parmer) kullanılmıştır. Kullanılan her bir UV lambası $4,4 \text{ mWcm}^{-2}$ ($4400 \mu\text{W cm}^{-2}$) güce sahiptir. Ultrases ve fotosonikasyon işlemleri Şekil 3.1'deki sistem kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

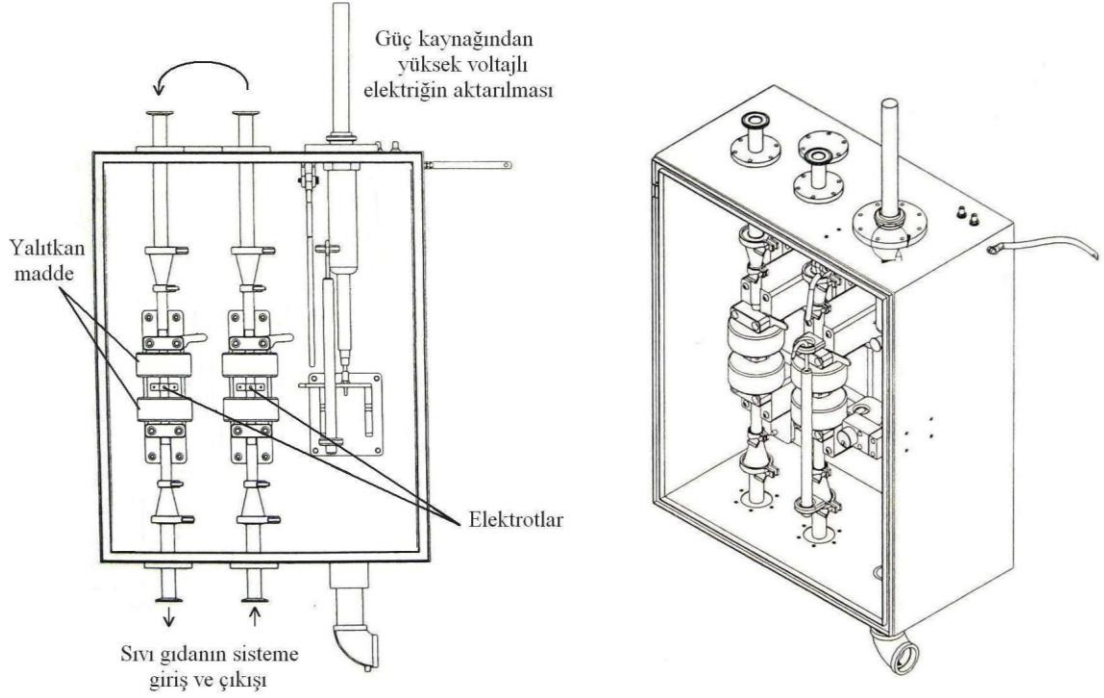


Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan fotosonikasyon sistemi

Elma sularına %50 (50 μm) ve %100 (100 μm) olmak üzere 2 farklı güç seviyesi ile vurgulu (0,5:1 ss^{-1}) ve vurgusuz (1:1 ss^{-1}) olmak üzere 4 kombinasyonlu ultrases dalgası 0, 8.8 mWcm^{-2} ve 17.6 mWcm^{-2} olmak üzere 3 farklı UV dozu; 40, 50 ve 60°C sıcaklıklarında eş zamanlı olarak 5 ve 10'ar dakika uygulanmıştır ($2 \times 2 \times 3 \times 3 \times 2 = 72$). Örnek hacmi 200 ml olup ultrases ve fotosonikasyon işlemlerindeki sıcaklık artışının kontrol edilebilmesi için 250 ml'lik ceketli reaktör kullanılmıştır. İşlem sırasında ultrases probu elma suyunun içerisine yaklaşık 2,5 cm daldırılmıştır. Fotosonikasyon işleminde merkeze ultrases probu ve problara paralel olarak UV lambaları yerleştirilmiştir. Fotosonikasyon işlemlerinde 8,8 mWcm^{-2} ve 17,6 mWcm^{-2} gücünde UV şiddeti uygulayabilmek için 2 ve 4 adet UV lambaları kullanılmıştır. Sıcaklığın sabit tutulabilmesi için debisi 7 L dak.^{-1} olan sirkülasyon suyu kullanılmıştır.

3.5.15. PEF işleminin uygulanması

PEF çalışmalarında Washington State Üniversitesi'ndeki PEF sistemi (PowerMod™ Diversified Technologies Inc.) kullanılmıştır. PEF sistemi, her birinde 2 elektrodu bulunan 2 işlem kabininden oluşmaktadır. Bu elektrotların çapı 0,5 cm olup birbirlerine uzaklıkları (gap) 0,65 cm'dir. Çalışmada 30 ve 40 kVcm^{-1} elektrik alan şiddetinde 50, 100, 150 ve 200 vurgu uygulanmıştır. Çalışma öncesinde ön denemeler yapılmış ve sistemde kullanılabilirliği en yüksek olan vurgu genişliği (pulse width) (2,0 μs) ve frekans (0,2 kHz) seçilmiştir. Elma suyu PEF sistemine 0,5 L dak.^{-1} akış debisinde ve 40°C sıcaklıkta verilmiş olup, işlem sırasında meydana gelen sıcaklık artışının engellenmesi için sürekli sistemde ısı değiştiriciler kullanılarak hemen soğutma işlemi yapılmıştır. Sisteme giren ve sistemden çıkan elma suyu sıcaklığının hassas ve online olarak izlenmesi için iki adet elektronik termometre (k-type, Omega Engineering Inc., Stamford, Conn., U.S.A.) kullanılmıştır. İşlem uygulanmamış elma suları kontrol olarak kabul edilmiştir. Şekil 3.2'de WSU'daki PEF sisteminin iki farklı açıdan görünümü mevcuttur (PowerMod 2008).



Şekil 3.2. Kullanılan PEF sistemindeki işlem kabini

3.5.16. Çalışma Planı

Bu çalışmada ultrases, fotosonikasyon ve PEF işlemlerinin elma suyunun bazı kalite özelliklerine etkisinin incelenmesi için 4 kademeli bir çalışma planı uygulanmıştır. Bu kademelerde;

- Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin PFO aktivitesi, toplam fenolik madde içeriği, briks, pH ve renk değerlerine etkisiyle harcanan gücün belirlenmesi,
- Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin bulanıklık düzeyi, bulanıklık kararlılığı, sedimentasyon, elma suyunun mikroskopik görüntüsü ve depolamaya bağlı olarak fiziksel görünümündeki değişimin belirlenmesi,
- Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin toplam maya ve küf inaktivasyonu üzerine etkisinin belirlenmesi ve
- PEF işlemlerinin elma suyunun genel özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

3.5.17. İstatistiksel analiz

Çalışmanın istatistik analizleri SPSS 15.0 (SPSS Inc., Chicago, U.S.A) programında yapılmıştır. Elde edilen ham verilere çoklu varyans analizi uygulanmış ve verilerin ortalamaları $P < 0,05$ önem seviyesinde Duncan çoklu karşılaştırma testiyle karşılaştırılmıştır. Yine aynı program kullanılarak korelasyon ve regresyon analizleri yapılarak regresyon modelleri hesaplanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Ultrases işlemi ısı esasa dayanan bir etki mekanizmasına sahip olmamasına rağmen işlem sırasında yüksek yoğunluktaki ses dalgaları elma suyunun sıcaklığında artışa sebep olmaktadır. Bu, materyalin akustik enerjiiyi kısmi absorpsiyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Floros and Liang 1994; Kuldiloke 2002). Isıl olmayan teknolojilerde amaç yüksek sıcaklık değerlerinde meydana gelen olumsuzlukları engellemek olduğu için belirlenen sıcaklıkların üzerine çıkılmaması gerekmektedir. Bu nedenle belirli sıcaklık değerlerinin aşılması için ultrases işlemi genellikle soğutma sistemleriyle çalışılmaktadır (Kuldiloke 2002; Salleh-Mack and Roberts 2007). Bu işlemlerde ultrasesin uygulanacağı reaktörün etrafında sirküle ettirilen soğutma suyunun sıcaklık değerlerinin işlem öncesinde belirlenmesi gerekmektedir.

İşlem boyunca elma suyunun sıcaklık değerlerinin 40, 50 ve 60°C ($\pm 0,5$)'yi aşmaması için soğutma suyunun bağlı olduğu su banyosunun olması gereken sıcaklık değeri deneysel olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Belirlenen bu sıcaklık değerleri SPSS istatistik yazılımı kullanılarak yüksek hassasiyete sahip (R^2 : 0,987) regresyon modeli oluşturulmuştur. Su banyosunun sıcaklığı (SBS; °C); istenen son sıcaklık (İSS; °C), genlik seviyesi (A; μm), ultrases vurgusu (V_r ; 0,5 veya 1 ss^{-1}), kullanılan UV lamba sayısı (UV) ve işlem süresine (t; dak.) bağlı olarak şu denklik ile hesaplanabilir:

$$\text{SBS} = 6,896 + (1,183 \times \text{İSS}) - (0,095 \times \text{A}) - (12,500 \times V_r) - (0,635 \times \text{UV}) - (0,500 \times t)$$

Elde edilen bu model çalışmada kullanılan ultrases ve fotosonikasyon sistemi (Şekil 3.1) için geçerlidir.

Çizelge 4.1. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinde kullanılan soğutma suyunun sıcaklık (°C) değerleri

İşlem	Sıcaklık (°C)	Süre (Dak.)	Vurgusuz Ultrases		Vurgulu Ultrases	
			50µm	100µm	50µm	100µm
Ultrases	40	5	35,0	28,0	40,0	37,0
		10	33,0	26,0	37,5	35,0
	50	5	48,5	40,0	51,0	49,0
		10	45,5	38,0	49,0	46,0
	60	5	59,0	52,5	63,0	60,5
		10	56,5	51,0	60,5	58,0
Fotosonikasyon-1 (2 UV Lambası)	40	5	34,0	27,0	39,0	35,5
		10	32,0	24,0	36,5	33,5
	50	5	47,0	39,0	50,5	48,0
		10	43,5	36,5	48,0	45,0
	60	5	57,0	51,5	61,5	59,5
		10	55,0	50,0	59,0	56,5
Fotosonikasyon-2 (4 UV Lambası)	40	5	32,5	26,0	38,0	34,5
		10	30,5	22,0	35,5	32,0
	50	5	46,0	38,0	49,0	46,5
		10	42,0	35,0	46,0	44,0
	60	5	56,0	49,0	60,0	58,5
		10	54,0	50,5	58,0	55,0

4.1. Ultrases ve Fotosonikasyon İşlemlerinin Elma Suyunun PFO İnaktivasyonu ve Bazı Fizikokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi

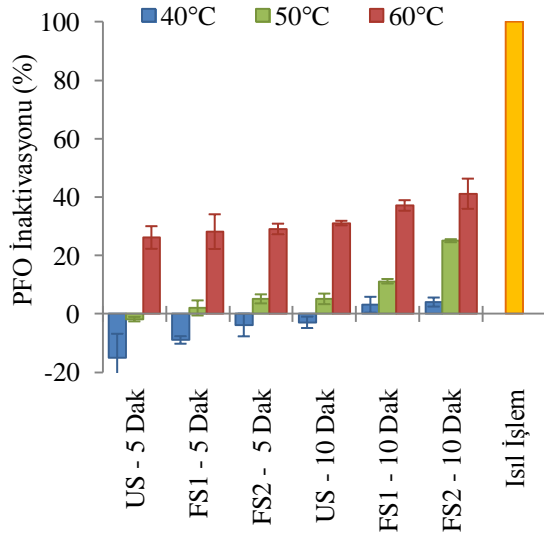
4.1.1. PFO enzim inaktivasyonu üzerine etkisi

Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinde ise en yüksek PFO inaktivasyonu, 4 lambanın 100µm genlikte vurgusuz ultrasesle birlikte 10 dakika uygulandığı fotosonikasyon işleminde elde edilmiş ve bu oran %89,3 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, işlem süresinin ve özellikle işlem sıcaklığının artmasına bağlı olarak PFO inaktivasyonunun bütün işlemlerde önemli seviyede arttığı görülmüştür ($P<0,05$).

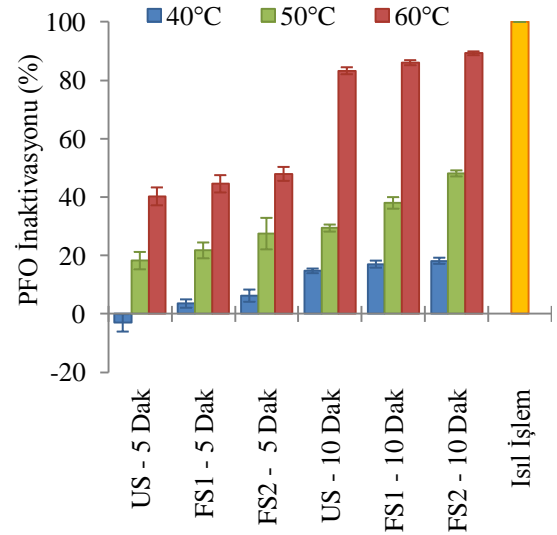
Fotosonikasyon işlemleri aynı şartlarda ultrasesin kullanıldığı bütün ultrases işlemlerine göre daha fazla PFO enzim inaktivasyonuna sebep olmuştur (Şekil 4.1). Özellikle 40 ve 50°C sıcaklıkta uygulanan fotosonikasyon işlemlerinde elde edilen etki aynı şartlardaki ultrases işlemine göre daha belirgin olarak fark edilmiş ($P<0,05$), hatta fotosonikasyon işlemleri kendi arasında değerlendirildiğinde bile çoğu kez UV lamba sayısının artmasıyla PFO enzim inaktivasyonunun önemli derecede arttığı belirlenmiştir. Fakat 60°C sıcaklıkta uygulanan işlemlerde 50µm genlikteki vurgulu ultrases işlemi hariç fotosonikasyon işlemlerinin ultrasese üstünlüğü şekillerde nispeten görülse bile istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ($P<0,05$).

Elde edilen sonuçlara göre fotosonikasyon işlemi PFO inaktivasyonunda ultrasese göre önemli bir üstünlüğe sahiptir. Ayrıca fotosonikasyon işleminin PFO inaktivasyonu üzerine etkinliğinin artırılabilmesi için kullanılan UV lamba sayısının artırılmasının gerektiği de söylenebilir. Sonuçlar değerlendirildiğinde UV lamba sayısının artması durumunda 60°C sıcaklıkta da PFO inaktivasyonunda oldukça etkili olması beklenmektedir. Çünkü Manzocco *et al.* (2009) model sistemde düşük UV şiddetinde ($3,9 \text{ Wcm}^{-2}$) 200 dakikada inaktif edemediği PFO enzimini, yüksek UV şiddetinde ($13,8 \text{ Wcm}^{-2}$) 75 dakikada tamamen inaktif etmişlerdir. Falguera *et al.* ise (2011), UV uygulayarak berrak elma suyundaki PFO enzimini inaktif edebilmek için çeşide göre

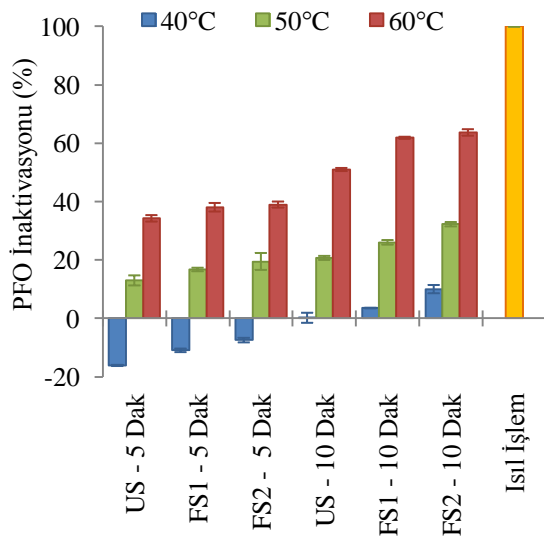
100 dakikaya çıkılması gerekebildiğini bildirerek UV'nin etkinliğinin uzun sürede ortaya çıktığını ifade etmişlerdir.



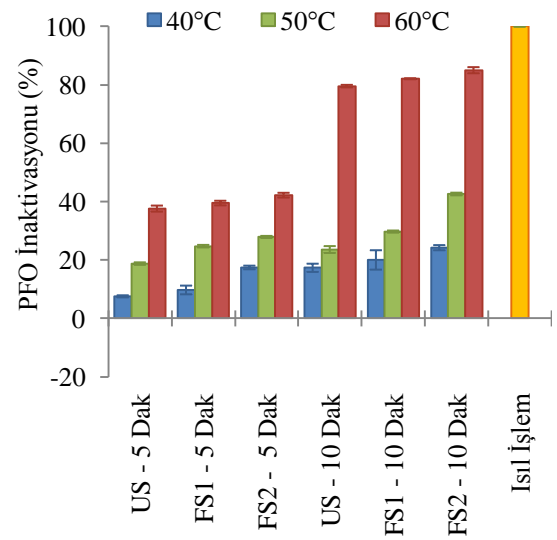
(a) Vurgusuz Ultrases, A:50 µm



(b) Vurgusuz Ultrases, A:100 µm



(c) Vurgulu Ultrases, A:50 µm



(d) Vurgulu Ultrases, A:100 µm

Şekil 4.1. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin elma suyunun PFO inaktivasyonu üzerine etkisi

* FS1, 2 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemiyken FS2, 4 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemidir.

Ultras ses ve fotosonikasyon işlemlerinin 40°C sıcaklıktaki bazı uygulamalarında toplam PFO enzim aktivitesi artmış ve şekillerde bu değerler negatif inaktivasyon olarak gösterilmiştir. Ultras ses ve fotosonikasyonun düşük sıcaklık ve düşük seviyelerde uygulanmasının PFO enzim aktivitesini artırdığı gibi düşünülen bu sonuçların temel sebebi ultras sesin homojenizasyon etkisi olabilir. Çünkü elma suyunun elde edilmesi sırasında dokularda bulunan PFO ortaya çıkmakta, fenolik madde ve oksijen varlığında aktivite göstermektedir. Ultras ses işlemi, Şekil 4.6'dan da yorumlanabileceği üzere elma suyunda homojenizasyon etkisi oluşturup elma suyundaki parçalanmayan dokuları da parçalayarak PFO'ların serbest kalmasına sebep olmaktadır. Dokuların parçalanmasıyla serbest kalan PFO enzimleri, ultras ses veya fotosonikasyondan kaynaklanan tahrip olmuş enzimlerden daha fazla olması durumunda toplam PFO aktivitesi artmaktadır. Başka bir açıdan %90'lara yakın inaktivasyonun sağlandığı işlemlerde dokulardaki enzimlerin de inaktif edildiği düşünülürse bu işlemlerin gerçek etkisinin daha fazla olduğu söylenebilir.

Ultras ses işlemlerinin PFO enzimini inaktif etmesinde en önemli faktör kaviteasyondur. Çünkü kaviteasyon birçok mekanik ve kimyasal etkinin oluşumunu tetikleyerek enzim inaktivasyonuna sebep olmaktadır. Ayrıca kaviteasyon sonucu oluşan şok dalgalar güçlü bir makaslama etkisi yapmakta ve sıvıda meydana getirdiği mikrodalgalanmalar, polipeptid zincirindeki Van Der Waals interaksiyonlarını ve hidrojen bağlarını kırarak enzimin denatüre olmasına sebep olmaktadır ki bu, enzimin biyolojik aktivitesinin durması anlamına gelmektedir (Mawson *et al.* 2011).

PFO inaktivasyon sonuçları değerlendirildiğinde işlem sıcaklığının PFO inaktivasyonunda en önemli parametrelerden biri olduğu görülmüştür. Ultras sesin yüksek sıcaklıkta daha etkili olmasının sebebi sinerjik etkinin yüksek olmasıdır. Başka bir ifadeyle, sıcaklık kaviteasyonu artırmakta ve buna bağlı olarak da ultras ses işleminin etkinliği artmaktadır. Enzim ve mikroorganizmaların inaktivasyonu ultras ses ve ısı işleminin ayrı ayrı uygulanmalarında elde edilen inaktivasyonun toplamından çok daha fazla olmaktadır (Feng *et al.* 2009). Çünkü ultras ses yüksek sıcaklıkta uygulandığı zaman kaviteasyon etkinliği belirgin bir şekilde artmaktadır. Ultras ses uygulamalarında

kritik sıcaklık değerinin 50 ile 60°C arasında olduğu ifade edilmektedir (Pagan *et al.* 1999; Ledly and Williams 2001; Ohlsson and Bengtsson 2002; Mason *et al.* 2005). Ayrıca, gıdadaki enzimlerin ultrases kullanılarak etkili olarak inaktif edilebilmesi için kritik sıcaklık değerinin üstündeki bir sıcaklıkta uygulanması gerekmektedir (Raviyan *et al.* 2004; Feng *et al.* 2009).

UV ile ultrasesin kombine olarak kullanıldığı fotosonikasyon işlemlerinde, elma sularındaki PFO enziminin inaktivasyonunun büyük ölçüde akustik kavitasyondan kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Kavitasyonun yanı sıra fotosonikasyondaki UV'nin de enzim denatürasyonuna sebep olduğu görülmektedir. UV ışığının foto-oksidasyon mekanizmasıyla proteinin doğal yapısını bozarak enzim inaktivasyonuna sebep olabileceği ifade edilmektedir. Foto-oksidasyon, ışıktaki radyasyonun protein yapısı veya bağlı kromofor tarafından absorbe edilmesiyle meydana gelmekte olup yapısal değişikliklere sebep olmaktadır (Davies and Truscott 2001; Manzocco *et al.* 2009). Yapılan bir çalışmada UV ışığının enzimleri çok yüksek düzeyde (%89) inaktif ettiği, başka bir çalışmada ise bu etkinin oldukça düşük (%5) olduğu rapor edilmiştir (Tran and Farid, 2004; Guerra-Beltran and Barbosa-Canovas, 2006). Bu, UV'nin nüfuz edebilme farklılığından kaynaklanmış olabilir. Çünkü Manzocco *et al.* (2009) UV ışığının model sistemde berrak elma suyuna göre daha iyi nüfuz ettiğini ve PFO inaktivasyonunun daha başarılı olduğunu rapor etmişlerdir.

Ayrıca elma suyuna 90°C sıcaklıkta 1 dakika ısıl işlem uygulamasının PFO enzim aktivitesini tamamen durdurduğu belirlenmiştir. Isıl işlemin inaktivasyon etkisi protein yapısında olan enzimlerdeki tersiyer ve kuarterner yapının bozularak denatüre olmasından kaynaklanmaktadır. Isıl işlemin bu etkisinden dolayı endüstriyel olarak elma suyundaki PFO enzim aktivitesinin durdurulması için ısıl işlem uygulanmaktadır (Cemeroğlu ve Karadeniz, 2009).

PFO enzim inaktivasyonu için işlemlerde kullanılan sıcaklıklara ait D değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Çizelge 4.2'ye göre hem ultrases hem de fotosonikasyon işlemlerinde PFO inaktivasyonun en etkili parametresi işlemin uygulandığı sıcaklık değeridir.

Örneğin 100µm ve vurgusuz ultrases işlemi 40°C’de uygulanırsa 1 logaritmik bir enzim inaktivasyonun sağlanabilmesi için 146 dakika gerekliyken, 60°C’de bu değer 12,9 dakikaya kadar düşmektedir. 4 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işleminde ise bu süre 116 dakikadan 10,3 dakikaya düşmektedir. Sıcaklığın bu etkisi ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin tümünde de benzer şekilde gözlemlenmiştir (P<0,05). Ayrıca PFO enziminin inaktivasyonunun daha kısa sürede sağlanabilmesi ve daha etkili enzim inaktivasyonu için sıcaklığın artırılması yolu da değerlendirilebilir. Bununla birlikte ultrases ve fotosonikasyonun en önemli işlevi duyuşsal özelliklerde yüksek sıcaklıktan kaynaklanan olumsuzlukları engellemek olduğu için 60°C sıcaklığın üzerine çıkılması durumunda bu özelliğinden bir miktar ödün verilmesi gerektiğı de unutulmamalıdır.

Kuldiloke (2002), limondan elde edilen PE çözeltilisine 40 ve 50°C sıcaklıklarda uygulanan ultrases işlemlerinde önemli bir inaktivasyonun olmadığını, fakat 60°C üzerindeki sıcaklıklarda ultrasesin inaktif etme gücünün çarpıcı bir şekilde ortaya çıktığını ve ısıya dirençli olan PE’nin ultrasese karşı hassasiyetinin arttığını ortaya koymuştur. Yaptığımız bu çalışmada da 40 ve 50°C sıcaklıklarda önemli bir inaktivasyonun elde edilmediğı fakat 60°C sıcaklıkta %90’lara yakın inaktivasyonun gerçekleştiğı gözlenmiştir. Kuldiloke (2002) limondan ekstrakte edilen PE çözeltilisinin ultrasesle inaktivasyonunda D₄₀ değerini 681 dak., D₆₀ değerini 57dak., D₈₀ değerini ise 3 dak. olarak rapor etmiştir. Domatesten ekstrakte edilen model sistemdeki PFO enzimi için D₄₀ değeri 15,99 dak., D₆₀ değeri 11,86 dak., D₈₀ değeri ise 1,98 dak. olarak rapor edilmiştir. Ayrıca PFO enziminin PE’ye göre ısı işlemlerde olduğu gibi daha hassas olduğu da Kuldiloke (2002) tarafından rapor edilmektedir. Bu çalışmada ise ultrasesin elma suyundaki PFO enziminin inaktivasyonunda değışen ultrases işlem şartlarıyla birlikte D₄₀ değerinin 122 ile 146 dak., D₆₀ değerinin ise 12,9 ile 14,5 dak. arasında, fotosonikasyon içinse D₄₀ değerinin 83 ile 124 dak., D₆₀ değerinin ise 10,3 ile 13,4 dak. arasında olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan ultrases işlem şartlarındaki farklılık göz önüne alındığında kıyaslamak tam olarak mümkün olmamakla birlikte PFO inaktivasyonunda D₆₀ değerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. D₄₀ değerlerinin ise oldukça farklı çıkmasının en önemli sebebi Kuldiloke (2002) model sistemde

çalışmasına karşın bu çalışmada materyal olarak taze sıkılmış elma suyunun kullanılmasından kaynaklanmış olduğu düşünülmektedir. Çünkü bu çalışmada 40°C sıcaklıkta yapılan bazı işlemlerde hücrelerdeki PFO'nun açığa çıkmasıyla toplam PFO aktivitesinde artış gözlenmiştir.

Çizelge 4.2. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin PFO inaktivasyonundaki D değerleri (dak.)

İşlem	D _{Sıc.} (dak.)	Vurgusuz Ultrases*		Vurgulu Ultrases*	
		50µm	100µm	50µm	100µm
Ultrases	D ₄₀	-	146±9 ^f (R= -0,781)	-	122±16 ^f (R= -0,978)
	D ₅₀	-	66,4±3,3 ^d (R= -0,995)	99,8±3,7 ^c (R= -0,998)	86,0±6,3 ^d (R= -0,961)
	D ₆₀	61,9±1,9 ^{ab} (R= -0,940)	12,9±0,5 ^a (R= -0,971)	32,3±0,5 ^b (R= -0,997)	14,5±0,2 ^a (R= -0,970)
Fotosonikasyon-1 (2 UV Lambası)	D ₄₀	-	124±10 ^c (R= -0,941)	-	104±29 ^c (R= -0,990)
	D ₅₀	195±14 ^c (R= -0,935)	48,3±3,2 ^c (R= -0,999)	76,6±2,7 ^d (R= -0,996)	65,5±1,1 ^c (R= -0,948)
	D ₆₀	49,7±3,1 ^a (R= -0,971)	11,7±0,4 ^a (R= -0,974)	23,9±0,2 ^a (R= -0,999)	13,4±0,1 ^a (R= -0,969)
Fotosonikasyon-2 (4 UV Lambası)	D ₄₀	-	116±7 ^c (R= -0,979)	-	83,4±4,3 ^d (R= -0,984)
	D ₅₀	79,9±1,9 ^b (R= -0,939)	35,2±1,1 ^b (R= -0,999)	59,3±1,7 ^c (R= -0,999)	41,6±0,7 ^b (R= -0,997)
	D ₆₀	43,9±7,3 ^a (R= -0,985)	10,3±0,3 ^a (R= -0,973)	22,8±0,7 ^a (R= -0,999)	12,1±0,5 ^a (R= -0,969)

*Her sütunun istatistik analizi kendi içerisinde yapılmış ve aynı harfle gösterilenler kendi içerisinde Duncan çoklu karşılaştırma testine göre P<0,05 önem seviyesinde aynı kabul edilmiştir.

** PFO Enzim aktivitesinin logaritmasının süreyle korelasyonu (R) parantez içinde verilmiştir.

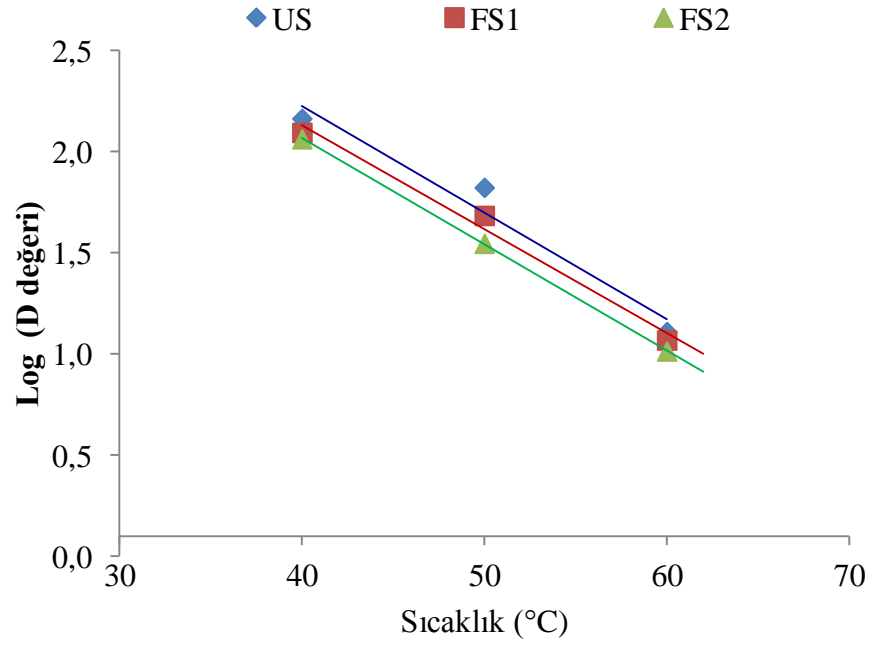
Bir diğ er önemli parametre olan z değ erleri Çizelge 4.3’de verilmiştir. Çizelge 4.3’e göre 100µm genlikteki vurgusuz ultras es ve fotosonikasyon iş lemlerinde sürenin 1 logaritma azaltılabilmesi için sıcaklığ ın 19,0 ile 19,5°C arasında artırılması gerekirken aynı genlikte vurgulu ultras esin kullanıldığı bu iş lemlerde 21,6 ile 23,9°C arasında artırılması gerekmektedir. Yani ultras es iş leminin vurgulu olarak uygulanması durumunda z değ eri yükselmektedir. Ayrıca vurgulu iş lemlerde sıcaklığ ın artmasıyla z değ eri hem kendi içerisinde hem de vurgusuz iş leme göre 2,6 ile 4,8°C arttığı görülmektedir. Kuldiloke (2002) ise PE süspansiyonundaki PE enziminin ultras esle inaktivasyonunda z değ erini 18,8°C olarak bulmuştur.

Ş ekil 4.2’te D değ erinin logaritmasının sıcaklığ a karşı şek illeri bulunmaktadır. Her iki grafikte de fotosonikasyonun ultras ese karşı az da olsa üstün oldu ğ u görülmektedir. Her ne kadar 60°C sıcaklıkta bu etki istatistiksel olarak önemli görülme se de Ş ekil 4.1’de görüldü ğ ü gibi ortalamaları alındığı nda az da olsa bir etkinin oldu ğ u anlaşılmaktadır. Ayrıca Ş ekil 4.2 ve Çizelge 4.2 ve 4.3 incelendiğ inde PFO inaktivasyonu açısından ultras es ve fotosonikasyon iş lemlerinin D ve z değ eri açısından büyük ölçüde lineer olmasından dolayı 60°C üzerindeki sıcaklıklarda bu iş lemlerde elde edilenden çok daha etkili sonuçların elde edilmesi beklenmektedir.

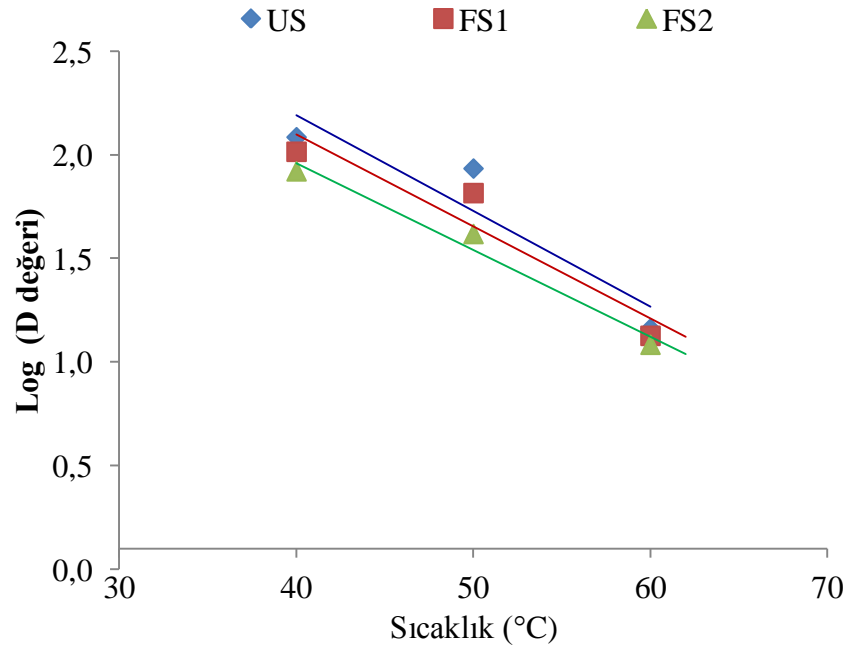
Çizelge 4.3. Ultras es ve fotosonikasyon iş lemlerinin PFO inaktivasyonundaki z değ erleri (°C)

İş lem	Vurgusuz Ultras es	Vurgulu Ultras es
Ultras es	19,0±0,0 ($R = -0,980$)	21,6±0,9 ($R = -0,932$)
Fotosonikasyon-1 (2 UV Lambası)	19,5±0,6 ($R = -0,993$)	22,5±2,1 ($R = -0,953$)
Fotosonikasyon-2 (4 UV Lambası)	19,1±0,0 ($R = -1,000$)	23,9±1,0 ($R = -0,987$)

* D değ erinin logaritmasının sıcaklıkla korelasyonu (R) parantez içinde verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.2. PFO inaktivasyonunun z değeri (°C) grafiği

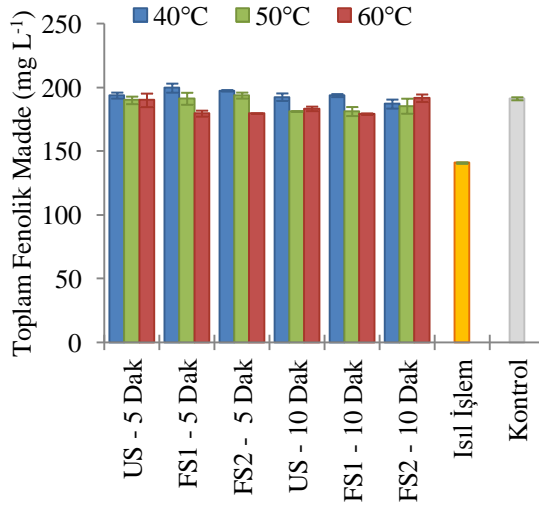
* Bu şekillerde 100µm genlikteki ultrases, vurgusuz (a) ve vurgulu olarak (b) uygulanmıştır.

4.1.2. Toplam fenolik madde miktarı üzerine etkisi

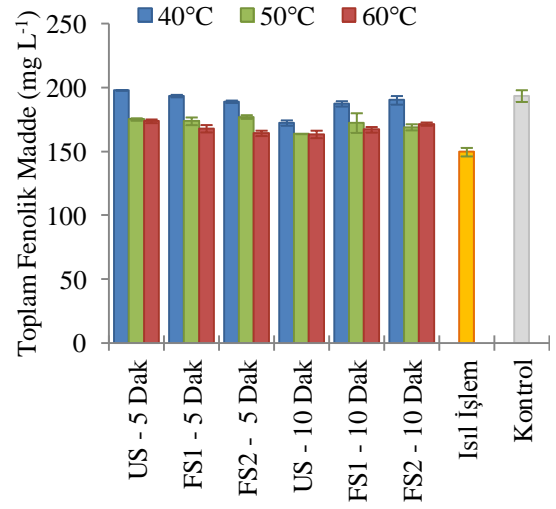
Bu çalışmada kullanılan *Golden delicious* cinsine ait taze elmalardan elde edilen elma suyundaki toplam fenolik madde içeriğinin 190 ile 200 mg GAE L⁻¹ arasında olduğu tespit edilmiştir. 90°C sıcaklıkta 1 dakikalık ısıtma işlemi uygulaması elma sularında %21 ile %26 arasında fenolik madde kaybına sebep olurken, ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin elma sularındaki en yüksek fenolik madde kaybı kontrole göre %15 olmuştur. Hem ultrases hem de fotosonikasyon işlemlerindeki fenolik madde kaybının ısıtma işlemiyle kıyaslandığında daha az olduğu Şekil 4.3'den de anlaşılmaktadır. Ultrases ve fotosonikasyon işlemleri arasında en yüksek fenolik madde kaybına sebep olan işlem şartı 60°C sıcaklıkta uygulanan 100 µm genliğe sahip vurgusuz ultrases işlemidir.

Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinde fenolik madde kaybına sebep olan en önemli parametre işlemin uygulandığı sıcaklıktır (P<0,05). İşlemin uygulandığı sıcaklığın artması genellikle fenolik madde kaybını da artırmıştır. 40°C ise sıcaklıkta çoğu kez fenolik madde kaybı istatistiksel olarak önemsiz bulunmasına rağmen, 60°C'de fenolik madde kayıpları genellikle daha sık gerçekleşmiştir (P<0,05). Ayrıca işlem süresi ve ultrases genliğinin artması, fenolik madde içeriğinde bazen önemli bir değişikliğe sebep olmazken, bazen de fenolik madde içeriğini azaltıcı bir etkiye sebep olduğu görülmüştür (P<0,05).

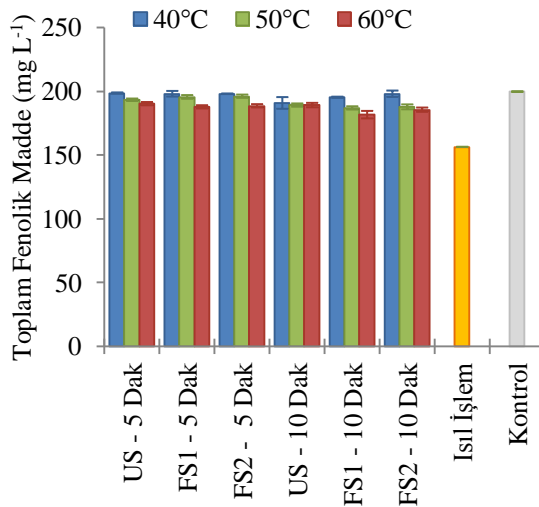
Fotosonikasyon işlemi, ultrases işlemiyle kıyaslandığında fenolik madde içeriğini bazen daha az bazen daha fazla etkilemiş, fakat çoğunlukla ultrases ve fotosonikasyon işlemleri arasındaki farklılıklar önemli görülmemiştir (P<0,05). Yani sisteme UV lambalarının ilave edilmesi fenolik madde içeriğinde istatistiksel olarak önemli bir değişikliğe sebep olmamıştır. Buradan da anlaşılacağı üzere fenolik madde kayıplarına sebep olan en önemli faktör ultrases işlemidir. Bazı çalışmalarda ultrases işleminin serbest radikal oluşumuna sebep olabildiği ifade edilmektedir (Weiss *et al* 2011). Oluşan bu serbest radikallerden dolayı ultrasesin fenolik madde kaybına sebep olduğu düşünülmektedir.



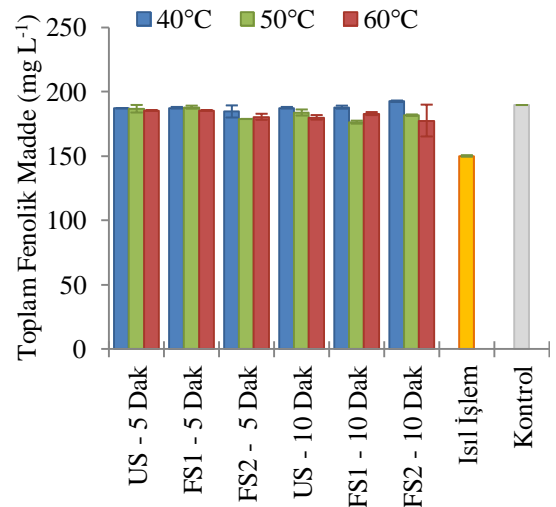
(a) Vurgusuz Ultrases, A:50 µm



(b) Vurgusuz Ultrases, A:100 µm



(c) Vurgulu Ultrases, A:50 µm



(d) Vurgulu Ultrases, A:100 µm

Şekil 4.3. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin elma suyunun fenolik madde kaybı üzerine etkisi

* FS1, 2 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemiyken FS2, 4 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemidir.

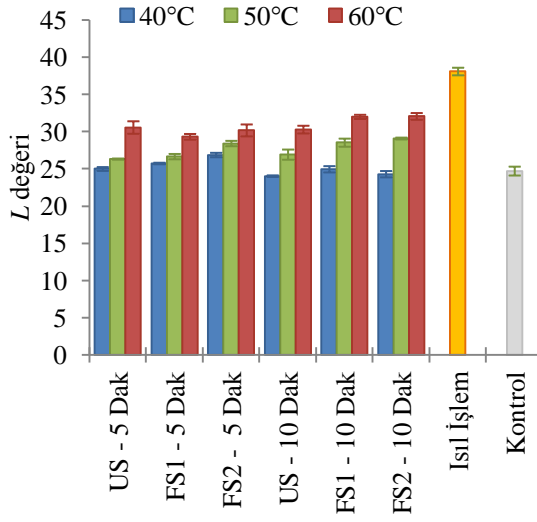
Fenolik bileşikler doğal antioksidan olmalarının yanı sıra renk, tat ve aromanın oluşmasında önemli rolleri olmasından dolayı elma suyunun fenolik madde içeriğinin uygulanan işlemler sırasında kayba uğraması istenmemektedir. Yüksek sıcaklığın besin bileşenlerini olumsuz etkilediği bilinmesinden dolayı ısı olmayan işlemlerdeki fenolik madde içeriğinin düşük olması beklenmektedir. Bu çalışmada PFO enziminin ve maya-küflerin inaktif edilmesinde, ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin en etkili olduğu sıcaklık 60°C olmuş ve sıcaklığın artmasının akustik kavitasyonun etkinliğini de artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca PFO enziminin daha iyi inaktif edilebilmesi için ultrases ve fotosonikasyonun uygulandığı sıcaklık veya uygulama süresinin artırılması gerektiği ifade edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ısı işlemde olduğu gibi PFO enziminin tamamen inaktif edilmesi için gereken ultrases veya fotosonikasyon işlem şartlarının toplam fenolik madde kaybını da artıracığı düşünülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada, ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin fenolik madde kaybı açısından ısı işleme göre üstün olduğunun söylenebilmesi için yeterli bulgular elde edilememiştir.

4.1.3. Renk üzerine etkisi

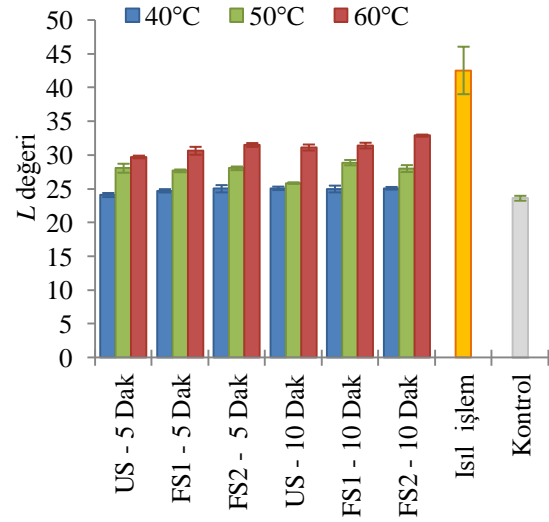
L değeri açıklık koyuluk değeri hakkında fikir veren bir parametre olup 0 siyahın 100 ise beyazı göstermektedir. Kroma değeri ise a ve b renk değerlerine bağlı olarak belirlenen bir parametredir. Bilindiği gibi a değeri yeşillik-kırmızılık olup -60 (yeşil) ile +60 (kırmızı) değerleri arasında ve b değeri mavilik-sarılık göstergesi olup -60 (mavi) ile +60 (sarı) değerleri arasında değişim göstermektedir (Ozdemir 2001). Elma suyundaki renk değişiminin belirlenmesi açısından bu parametreler önem taşımaktadır.

Elma suyuna ultrases ve fotosonikasyon işlemleri uygulandıktan sonra bu işlemlerin açıkça gözlenebilir seviyede bir renk açılmasına sebep olduğu fakat bu renk açılmasının bazı işlemlerde olduğu gibi aşırı (Torres *et al.* 2011) ve gıdanın doğal rengini olumsuz etkileyen bir açılma olmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.4). Bu renk açılması işlemler sırasında meydana gelen kısmi renk esmerleşmesinin geri çevrilmesi şeklinde de sayılabilecek seviyede olduğu için olumlu karşılanmıştır. Fotosonikasyon işleminde meydana gelen renk değişimi ultrases işlemine göre daha belirgindir. Doğal bulanık elma

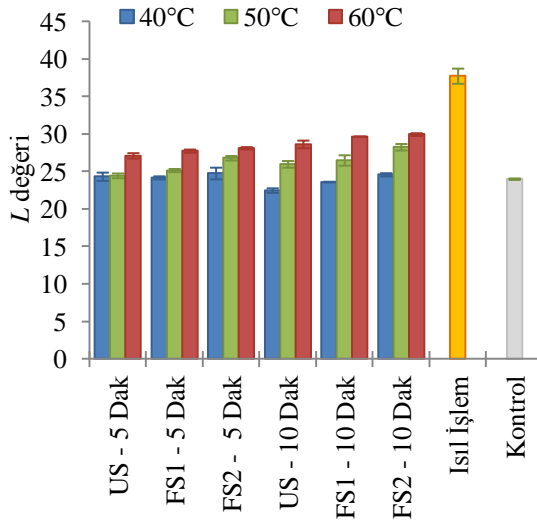
suyu teknolojisinde işlemler sırasında nötr gaz kullanılarak esmerleşme önlenmeye çalışılırken (Cemeroğlu ve Karadeniz 2001), ultrases ve fotosonikasyon uygulamalarının renk esmerleşmesini bu şekilde dengeleneceği düşünülebilir.



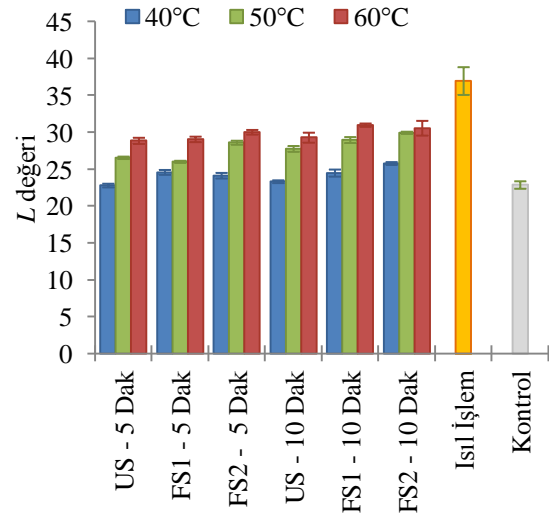
(a) Vurgusuz Ultrases, A:50 µm



(b) Vurgusuz Ultrases, A:100 µm



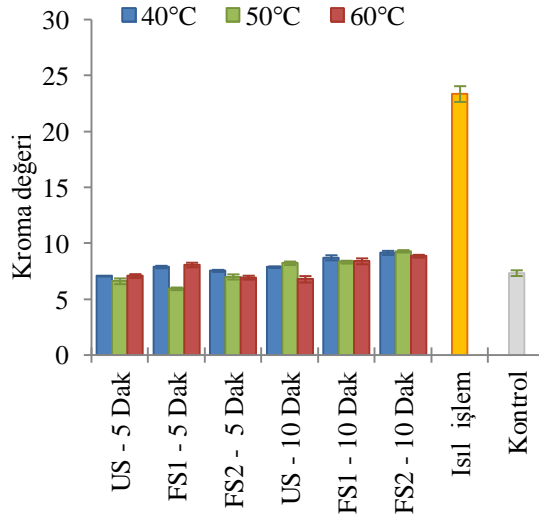
(c) Vurgulu Ultrases, A:50 µm



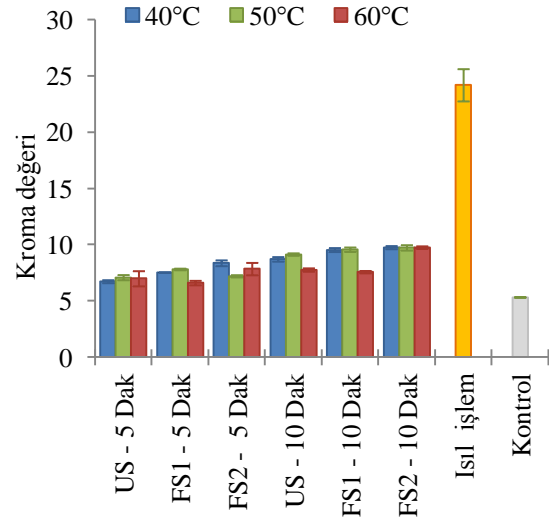
(d) Vurgulu Ultrases, A:100 µm

Şekil 4.4. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin elma suyunun L değeri üzerine etkisi

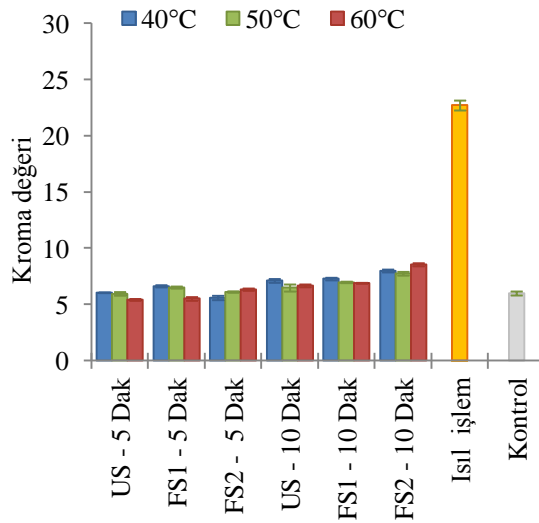
* FS1, 2 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemiyken FS2, 4 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemidir.



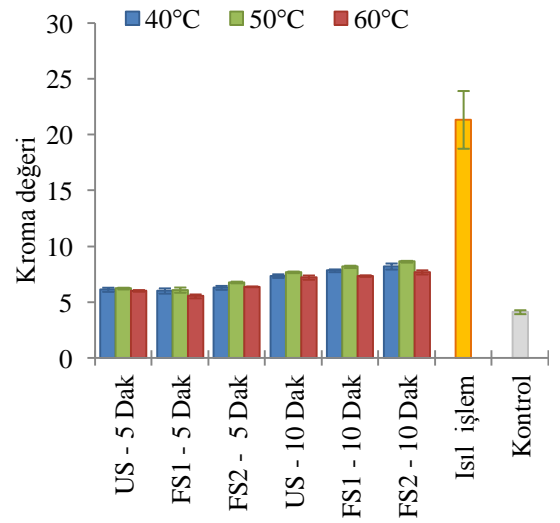
(a) Vurgusuz Ultrases, A:50 µm



(b) Vurgusuz Ultrases, A:100 µm



(c) Vurgulu Ultrases, A:50 µm



(d) Vurgulu Ultrases, A:100 µm

Şekil 4.5. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin elma suyunun kroma değeri üzerine etkisi

* FS1, 2 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemiyken FS2, 4 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemidir.

Bütün işlemlerde yüksek sıcaklıklarda yapılan işlemler düşük sıcaklıklara göre L değerinin daha fazla artmasına sebep olmuştur. Bu ilişki büyük ölçüde kroma değeri için de geçerlidir. Kroma değerinin artmasına b değerinin artması sebep olurken, a değerinde de genellikle küçük bir azalma gözlemlenmiştir. Aynı şekilde yapılan bazı çalışmalarda da ultrases ve UV'nin L ve b değerini artırırken a değerini nötre yaklaştırdığı rapor edilmiştir (Kuldiloke 2002; Tiwari *et al.* 2008; Falguera *et al.* 2011). Bununla birlikte renk parametreleri, 40°C sıcaklıkta uygulanan işlemlerin bir kısmında kontrole yakın çıkmıştır. Ayrıca birçok fotosonikasyon işlemi ultrasese göre elma suyunun L ve kroma değerini daha fazla artırmıştır (Şekil 4.4, 4.5). Ayrıca işlem süresinin artışı çoğunlukla L ve kroma değerinin artışına sebep olurken özellikle düşük sıcaklıklarda bu artış bazen önemli bulunmamıştır ($P<0,05$). Şekiller incelendiğinde renk değişiminde vurgulu işlemlerin vurgusuzlara göre daha etkili olduğu fakat genliğin renk değişimini çok etkilemediği görülmüştür.

PFO enzim aktivitesinin fenolik bileşikleri parçalayarak koyu renkli bileşikler oluşturduğu ve elma suyunun rengini koyulaştırdığı bilinmektedir. Renk parametrelerindeki değişimlerin hassas olarak analiz edilebilmesi için PFO aktivitesinden kaynaklanan hataların en düşük seviyeye indirilmesi gerekmektedir. Bu sebepten dolayı çalışma planı hazırlanırken PFO aktivitesinden kaynaklanabilecek hataların en aza indirilebilmesi için elma suları elde edildikten sonra hızlı bir şekilde koyu renkli şişelere silme olarak doldurulmuş ve +4°C'de muhafaza edilmiştir. Böylece hem oksijene bağlı reaksiyonlar en üst seviyede sınırlandırılmış hem de düşük sıcaklıktan dolayı muhtemel enzim aktivitesi en düşük seviyeye indirilmiştir. Bununla birlikte elmanın, elma suyuna işlenmesi sırasında ortamdaki karışan hava veya doku boşluklarında doğal olarak bulunan havadan (Cemeroğlu ve Karadeniz 2009) kaynaklanan küçük hatalar olabilir.

Yapılan bu çalışmada ultrases ve fotosonikasyon işlemlerine bağlı gerçekleşen renkteki açılma işlem öncesi ve işlem sonrası gözle bile fark edilebilir seviyededir. Özellikle sıcaklığın artmasıyla ultrasesin kontrole, fotosonikasyonun da ultrasese göre daha olumlu ve açık renge sahip oldukları anlaşılmıştır (Şekil 4.4, 4.5). Bunun temel sebebi

olarak ultrases ve UV ışığının enzimatik esmerleşme reaksiyon ürünlerini parçaladığı düşünülmektedir. Falguera *et al.* (2011) elma sularına 120 dakika UV işlemi uygulamasının *L* ve *b* değerlerini artırdığı, *a* değerini düşürdüğü sonucunu rapor etmekte ve bu renk değişiminin sebebini enzimatik veya enzimatik olmayan reaksiyonlarla oluşan pigmentlerin UV ile bozulması olabileceğini ifade etmektedirler. Başka bir çalışmada da aynı şekilde UV ışığındaki radyasyonunun renk veren kromofor tarafından absorbe edilerek fotooksidasyonla bozulabileceği ifade edilmektedir (Davies and Truscott 2001; Manzocco *et al.* 2009). Sadece ultrases işleminin kullanıldığı işlemlerde ise enzimatik esmerleşme ürünlerinin akustik kavitasyonla parçalanarak renk açılmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

4.1.4. pH ve suda çözünür kuru madde üzerine etkisi

Elma suyuna uygulanan ultrases ve fotosonikasyon işlemleri sonrasında pH değerinde en fazla 0,16'lık bir değişim gözlenmiştir (Çizelge 4.4). Çizelge 4.4 incelendiğinde pH değişiminin az olduğu ve meydana gelen bu değişimlerin kendi içerisinde yorumlanabilir önemli bir değişim olmadığı gözlenmiştir. pH değerinin ultrases veya fotosonikasyon işlemi sonrasında yükselmesi elma suyunun asidik etkisine bağlı olarak birçok mikroorganizmanın gelişmesini baskılama etkisini değiştirebilirdi. Fakat işlem sonrası pH seviyesinde önemli bir değişimin olmaması olumlu kabul edilmiştir.

Elma sularına 60°C sıcaklıkta 10 dakika uygulanan ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinden sonra SÇKM değerinde elma suyundaki buharlaşmaya bağlı olarak yaklaşık 0,5'lik bir artışa sebep olmuştur. Ayrıca SÇKM'nin yükseldiği işlemlerde uygulamanın son dakikalarına doğru ultrases kabının camında kısmi buğulanmalar gözlemlenmiştir. Bu buğulanmalar SÇKM artışının sebebini açıkça ortaya koymaktadır. Diğer işlemlerde ise Çizelge 4.5'de de görülebileceği üzere önemli bir değişim gözlemlenmemiştir. Daha önceden yapılan çalışmalarda da (Kuldiloke 2002; Tiwari *et al.* 2008) ultrasesin pH ve briks değeri üzerine önemli bir etkisinin olmadığı rapor edilmektedir. Dolayısıyla ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin endüstriyel uygulamalarında 60°C sıcaklık veya üstünde çalışılacaksa buharlaşmaya bağlı oluşacak

problemlere yönelik önlemlerin alınması gerekmektedir. Kapalı sistemin çalışılması buharla birlikte uçucu aroma bileşiklerinin kaybının önlenmesi açısından da önem arz etmektedir (Santos and Capelo 2007).

Çizelge 4.4. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin pH değeri üzerine etkisi

İşlem	Sıcaklık (°C)	Süre (Dak.)	Vurgulu Ultrases*		Vurgusuz Ultrases*	
			50µm	100µm	50µm	100µm
Ultrases	40	5	3,65±0,03 ^c	3,54±0,00 ^a	3,85±0,02 ^a	3,78±0,00 ^{abc}
		10	3,65±0,04 ^c	3,56±0,01 ^{abc}	3,85±0,02 ^a	3,76±0,00 ^{ab}
	50	5	3,64±0,01 ^c	3,54±0,01 ^a	3,84±0,01 ^a	3,76±0,01 ^{ab}
		10	3,66±0,05 ^c	3,56±0,01 ^{abc}	3,85±0,01 ^a	3,73±0,02 ^a
	60	5	3,54±0,01 ^{ab}	3,61±0,04 ^{bc}	3,84±0,02 ^a	3,76±0,03 ^{ab}
		10	3,49±0,03 ^a	3,61±0,01 ^c	3,85±0,05 ^a	3,80±0,01 ^{bc}
Fotosonikasyon-1 (2 UV Lambası)	40	5	3,66±0,06 ^c	3,56±0,02 ^{abc}	3,81±0,06 ^a	3,79±0,06 ^{bc}
		10	3,66±0,05 ^c	3,54±0,00 ^a	3,85±0,02 ^a	3,77±0,01 ^{abc}
	50	5	3,66±0,06 ^c	3,54±0,03 ^a	3,84±0,06 ^a	3,77±0,01 ^{abc}
		10	3,65±0,06 ^c	3,55±0,02 ^{abc}	3,83±0,04 ^a	3,77±0,01 ^{abc}
	60	5	3,61±0,01 ^{bc}	3,52±0,04 ^a	3,84±0,02 ^a	3,77±0,02 ^{abc}
		10	3,49±0,01 ^a	3,55±0,05 ^{abc}	3,84±0,04 ^a	3,78±0,04 ^{abc}
Fotosonikasyon-2 (4 UV Lambası)	40	5	3,67±0,01 ^c	3,54±0,01 ^a	3,84±0,05 ^a	3,77±0,01 ^{abc}
		10	3,65±0,03 ^c	3,56±0,02 ^{abc}	3,85±0,05 ^a	3,79±0,00 ^{bc}
	50	5	3,64±0,03 ^c	3,51±0,01 ^a	3,85±0,06 ^a	3,78±0,01 ^{abc}
		10	3,65±0,04 ^c	3,53±0,01 ^a	3,85±0,06 ^a	3,77±0,00 ^{abc}
	60	5	3,64±0,03 ^c	3,51±0,03 ^a	3,84±0,04 ^a	3,79±0,01 ^{bc}
		10	3,51±0,01 ^a	3,53±0,03 ^a	3,84±0,03 ^a	3,78±0,01 ^{abc}
Isıl İşlem	90	1	3,62±0,05 ^{bc}	3,55±0,04 ^{ab}	3,84±0,06 ^a	3,77±0,02 ^{abc}
Kontrol	-	-	3,60±0,05 ^{bc}	3,57±0,04 ^{abc}	3,84±0,06 ^a	3,82±0,04 ^c

*Her sütunun istatistik analizi kendi içerisinde yapılmış ve aynı harfle gösterilenler Duncan çoklu karşılaştırma testine göre P<0,05 önem seviyesinde aynı kabul edilmiştir.

Çizelge 4.5. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin SÇKM (°B) değeri üzerine etkisi

İşlem	Sıcaklık (°C)	Süre (Dak.)	Vurgulu Ultrases*		Vurgusuz Ultrases*	
			50µm	100µm	50µm	100µm
Ultrases	40	5	12,5 ^a	13,0 ^a	12,5 ^a	12,5 ^a
		10	12,5 ^a	13,0 ^a	12,5 ^a	12,5 ^a
	50	5	12,5 ^a	13,0 ^a	12,5 ^a	12,5 ^a
		10	12,5 ^a	13,0 ^a	12,5 ^a	12,5 ^a
	60	5	12,5 ^a	13,0 ^a	12,6 ^b	12,5 ^a
		10	13,0 ^b	13,5 ^b	12,9 ^c	13,0 ^b
Fotosonikasyon-1 (2 UV Lambası)	40	5	12,5 ^a	13,0 ^a	12,5 ^a	12,5 ^a
		10	12,5 ^a	13,0 ^a	12,5 ^a	12,5 ^a
	50	5	12,5 ^a	13,0 ^a	12,5 ^a	12,5 ^a
		10	12,5 ^a	13,0 ^a	12,5 ^a	12,5 ^a
	60	5	12,5 ^a	13,0 ^a	12,6 ^b	12,5 ^a
		10	13,0 ^b	13,5 ^b	13,0 ^c	13,0 ^b
Fotosonikasyon-2 (4 UV Lambası)	40	5	12,5 ^a	13,0 ^a	12,5 ^a	12,5 ^a
		10	12,5 ^a	13,0 ^a	12,5 ^a	12,6 ^c
	50	5	12,5 ^a	13,0 ^a	12,5 ^a	12,5 ^a
		10	12,5 ^a	13,0 ^a	12,5 ^a	12,5 ^a
	60	5	12,6 ^c	13,1 ^c	12,6 ^b	12,5 ^a
		10	13,0 ^b	13,5 ^b	13,0 ^c	13,0 ^b
Isıl İşlem	90	1	11,6 ^d	12, ^d	11,6 ^d	11,5 ^d
Kontrol	-	-	12,5 ^a	13,0 ^a	12,5 ^a	12,5 ^a

*Her sütunun istatistik analizi kendi içerisinde yapılmış ve aynı harfle gösterilenler Duncan çoklu karşılaştırma testine göre P<0,05 önem seviyesinde aynı kabul edilmiştir.

4.1.5. Enerji sarfiyatı

Fotosonikasyon işleminde ultrasese ilaveten UV lambaları da kullanılmaktadır. UV lambalarının kullanımının PFO enzim inaktivasyonu ve olumlu renk değişimi gibi bazı avantajlar sağladığı görülmüştür. Elde edilen sonuçların önemi kadar enerji giderlerindeki artışın büyüklüğü de önem arz etmektedir. Bu amaçla ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin çalışması için gereken güç (W) miktarları Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

Vurgulu işlemlerde elde edilen sonuçlar hesaplama sonucu elde edildikleri için istatistik analizleri yapılamamıştır. Vurgusuz ultrasese dayalı 2 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemlerinin harcadığı enerji sadece ultrasese göre yaklaşık %13 fazlayken, 4 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemlerinde bu oran yaklaşık %26'ya çıkmaktadır. Vurgulu ultrasesin ve 2 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemi ultrasese göre yaklaşık %29; 4 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemi ise yaklaşık %53 daha fazla enerji harcamaktadır. Ayrıca vurgulu sistemle vurgusuz sistemlerin birbirine kıyaslaması yapıldığında vurgusuz sistemin çok daha ekonomik olduğu görülmektedir. Vurgulu ultrases vurgusuzla göre %50 daha ekonomiktir. 2 lambanın kullanıldığı fotosonikasyon-1 işlemlerinde vurgulu sistem vurgusuzla göre %44; 4 lambanın kullanıldığı fotosonikasyon-2 işlemlerinde ise %40 daha ekonomik olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6'deki sonuçlar dikkate alındığında ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinde sürenin artmasına bağlı olarak sisteme verilen enerji sarfiyatında bir miktar azalma olmuş, fakat yapılan çalışmada bu farklılık çoğu kez istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Sıcaklığın artması da enerji sarfiyatında istatistiksel olarak önemli bir değişime sebep olmamıştır. Kuldiloke (2002)'e göre 40° ve 60°C sıcaklık arasında enerji sarfiyatında önemli bir değişim gözlemlenmezken, 70°C ve üzerindeki sıcaklıklarda enerji sarfiyatı yaklaşık %40'a kadar düşmüştür. Ayrıca yüksek sıcaklıkta süreyle birlikte enerji sarfiyatının arttığını ifade etmiştir. Bazı kaynaklarda materyale aktarılan enerjinin sıcaklığın artmasıyla sistem içerisinde dağıldığından

bahsedilmektedir (Mason *et al.* 1992; Weiss *et al.* 2011). Fakat Kuldiloke (2002), 60°C'nin üzerinde uygulanan ultrases işlemlerinin harcadığı enerjinin azaldığını ve ultrases etkinliğinin bunun aksine önemli bir seviyede arttığını ifade etmiştir.

Çizelge 4.6. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin harcadığı güç (W) miktarı

İşlem	Sıcaklık (°C)	Süre (Dak.)	Vurgulu Ultrases*		Vurgusuz Ultrases**	
			50µm	100µm	50µm	100µm
Ultrases	40	5	82,4±2,2 ^a	171,0±1,0 ^c	41,2	85,5
		10	81,6±2,1 ^a	168,0±1,3 ^{bc}	40,8	84,0
	50	5	82,0±1,8 ^a	169,0±1,0 ^c	41,0	84,5
		10	85,9±1,8 ^a	164,3±1,1 ^a	42,9	82,1
	60	5	85,4±2,1 ^a	168,1±1,7 ^{bc}	42,7	84,1
		10	82,5±1,5 ^a	165,5±1,4 ^{ab}	41,2	82,8
Fotosonikasyon-1 (2 UV Lambası)	40	5	105,4±2,3 ^b	191,6±1,5 ^{de}	64,2	106,1
		10	107,0±2,3 ^{bc}	190,1±1,7 ^d	66,2	106,1
	50	5	105,5±1,7 ^b	194,4±1,1 ^e	64,5	109,9
		10	110,0±1,3 ^c	190,1±1,7 ^d	67,1	108,0
	60	5	109,7±2,1 ^{bc}	192,5±1,1 ^{de}	67,0	108,4
		10	108,2±1,7 ^{bc}	190,8±1,5 ^d	67,0	108,0
Fotosonikasyon-2 (4 UV Lambası)	40	5	129,7±2,1 ^{de}	213,5±1,6 ^g	88,5	128,0
		10	130,3±1,1 ^{def}	212,8±1,4 ^{fg}	89,5	128,8
	50	5	129,0±1,9 ^d	213,0±1,3 ^{fg}	88,0	128,5
		10	133,5±1,7 ^{ef}	209,6±1,8 ^f	90,6	127,5
	60	5	134,5±2,2 ^{ef}	211,6±2,1 ^{fg}	91,8	127,6
		10	132,6±1,3 ^{def}	210,0±1,8 ^f	91,3	127,2

*Her sütunun istatistik analizi kendi içerisinde yapılmış ve aynı harfle gösterilenler Duncan çoklu karşılaştırma testine göre P<0,05 önem seviyesinde aynı kabul edilmiştir.

** Vurgulu işlem sırasında sonuçlar okunamadığı için aynı şartlardaki vurgusuz güç hesaplanmıştır.

4.2. Ultrases ve Fotosonikasyonun Bulanıklık Üzerine Etkisi

Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin elma suyunun bulanıklığı üzerine etkisi farklı kalite analizleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla bulanıklık düzeyi, bulanıklık kararlılığı, sedimentasyon analizleri yapılmış ve aynı zamanda ağızda hissedilebilen kaba parçacıkların mikron seviyesinde fotoğrafları çekilerek partiküllerin yapısındaki değişim gösterilmiştir. Ayrıca elma suyu 4 ay boyunca depolanarak gerçek bulanıklık kararlılığı gösterilmiştir.

Genellikle fotosonikasyon işlemlerinin elma suyunun bulanıklık kalitesi açısından ultrasese göre üstün olmadığı görülmüştür. Bulanıklık düzeyi, bulanıklık kararlılığı ve sedimentasyon değerleri üzerine en önemli etki işlemin uygulandığı sıcaklık değeri olmuştur. Sıcaklığın artmasıyla kavitasyonun şiddeti de artmış ve en çarpıcı sonuçlar 60°C sıcaklıkta elde edilmiştir. Bununla birlikte 40°C sıcaklıkta uygulanan işlemlerde sürenin artmasıyla birlikte bulanıklık kalitesinde önemli bir artış olmadığı belirlenmiştir.

4.2.1. Bulanıklık düzeyi üzerine etkisi

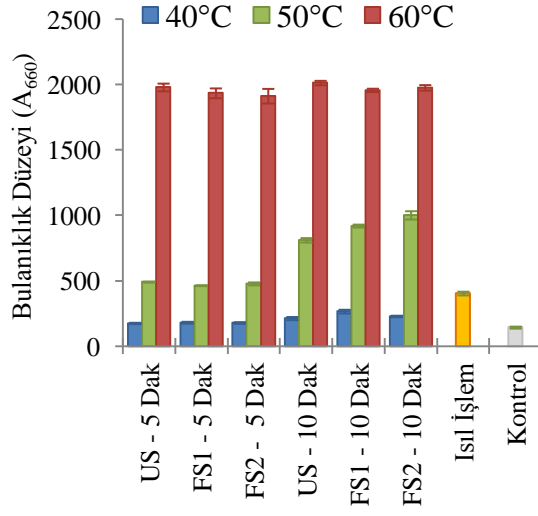
Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin elma suyunun bulanıklık düzeyini kontrole göre on kattan daha fazla artırdığı anlaşılmaktadır (Şekil 4.6). Bulanıklık düzeyi üzerine hem ultrases hem de fotosonikasyon işleminde sıcaklığın çok önemli bir rolü vardır. 60°C sıcaklıkta uygulanan işlemlerde bulanıklık çok önemli seviyede artarken, 50°C sıcaklıkta uygulanan işlemlerde 60°C'deki kadar artmasa da kontrole göre önemli bir artışa sebep olmaktadır. Bununla birlikte 40°C sıcaklıkta uygulanan ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin kontrole yakın değerlerde bulanıklık düzeyine sahip olduğu görülmektedir. Şekillerden de görüleceği üzere bulanıklık düzeyi açısından en yüksek değer 60°C sıcaklıkta 100µm genlikte ultrasesin vurgusuz uygulandığı ultrases işlemi ve aynı şartlarda ultrasesin kullanıldığı fotosonikasyon işlemleridir. 60°C sıcaklıkta 100µm genlikte vurgulu ultrasesin elma suyuna uygulandığı işlemlerde de hemen hemen bu

değerlere yakın bulanıklık düzeyine ulaştırdığı belirlenmiştir. Ayrıca 50°C sıcaklıkta bulanıklık düzeyi üzerine en önemli etki 100µm genliğin vurgulu olarak uygulandığı ultrases ve fotosonikasyon işlemleri olmuştur. Bu sıcaklık ve genlikteki vurgulu işlemler diğer işlemlere göre hem bulanıklık düzeyi hem de bulanıklık kararlılığı açısından daha etkili olduğu görülmüştür.

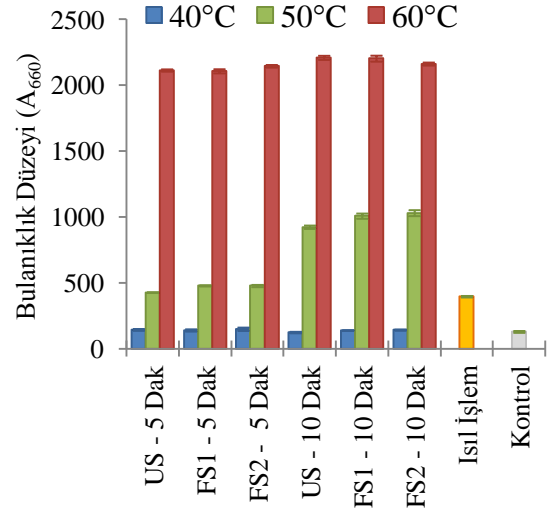
Birçok çalışmada sıcaklık artışının ultrases işleminin etkinliğini artırdığı rapor edilmektedir (Ohlsson and Bengtsson 2002; Kuldiloke 2002). Kuldiloke (2002) de bu çalışmada olduğu gibi bulanıklığın ultrasesin uygulandığı sıcaklık ve ultrases şiddetiyle arttığını rapor etmektedir. Fakat bulunan sonuçlar ve Kuldiloke'nin (2002) tam aksine Tiwari *et al.* (2008) yaptığı bir çalışmada portakal sularının bulanıklığının ultrases şiddeti, sıcaklık ve sürenin artmasıyla ters orantılı olarak azaldığını ifade etmişlerdir.

Markowski *et al.* (2009) yaptıkları bir çalışmada Fransa ve Polonya'dan temin edilen 10 farklı elmadan üretilen elma suyunun bulanıklık düzeyinin 298 NTU ile 3309 NTU arasında değiştiğini rapor etmişlerdir. Bu çalışmada bu seviye en yüksek 2209 A₆₆₀ olarak bulunmuş ve bulanıklık açısından yeterince tatmin edici kabul edilmiştir.

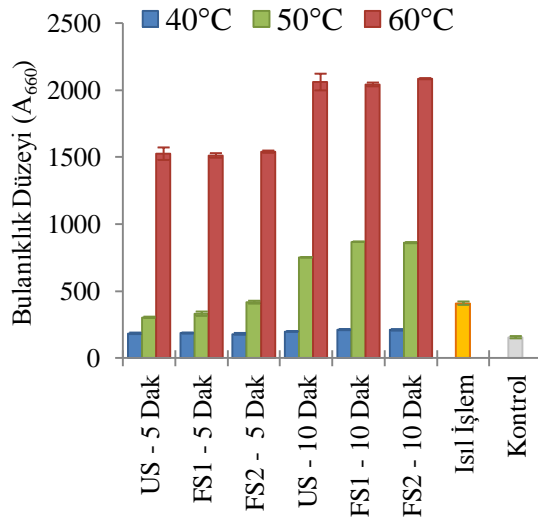
Ultrasesle oluşan kavitasyon, noktasal olarak çok yüksek sıcaklık (yaklaşık 2000-5000°C) ve çok yüksek basınç (yaklaşık 10-100 MPa) oluşturarak meydana gelmektedir. Aynı zamanda mikro şok dalgalar ortamda bulunan büyük molekülleri parçalayabilmekte ve farklı materyallerin birleşim noktalarının mekanik olarak bölünmesine yol açabilmektedir (Mason *et al.* 2003; Feng and Yang 2011; Weiss *et al.* 2011; Louisnard and González-García 2011). Yapılan bu çalışmada da akustik kavitasyona bağlı olarak elma suyunda bulanıklığa sebep olan büyük partiküller, ultrasesin homojenizasyon etkisinden dolayı parçalanmıştır. Bulanıklık düzeyi ve bulanıklık kararlılığının artmasına, bulanıklık unsuru kaba partiküllerin ultrasesle parçalanmasının sebep olduğu düşünülmektedir.



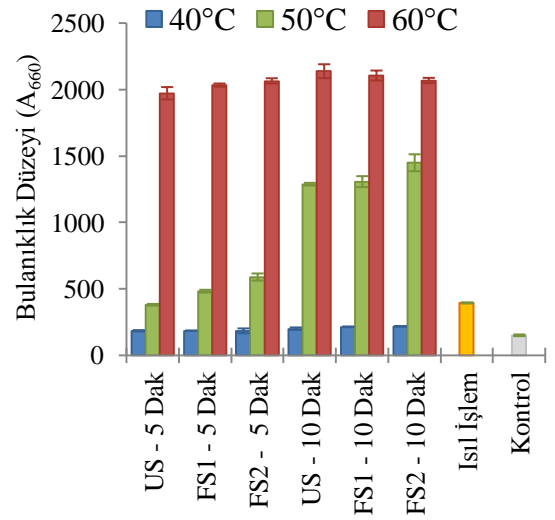
(a) Vurgusuz Ultrases, A:50 µm



(b) Vurgusuz Ultrases, A:100 µm



(c) Vurgulu Ultrases, A:50 µm



(d) Vurgulu Ultrases, A:100 µm

Şekil 4.6. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin elma suyunun bulanıklık düzeyi üzerine etkisi

* FS1: 2 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemi; FS2: 4 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemidir.

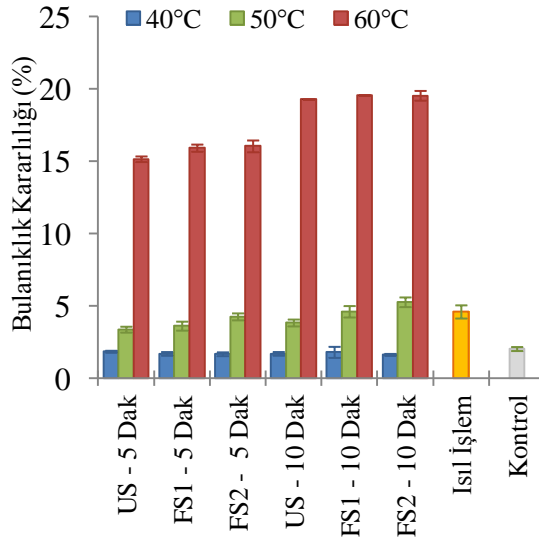
Yapılan bu çalışmada özellikle 60°C sıcaklıkta uygulanan ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinde akustik kavitasyonun bulanıklık düzeyini ve bulanıklık kararlılığını artırması termosonikasyon işlemlerinin esasını oluşturmaktadır. Çünkü sıcaklığın artmasıyla kavitasyon daha şiddetli oluşmakta ve moleküllerin parçalanması için gereken şiddete ulaşmaktadır. Şekil 9 ve 10 incelendiğinde moleküllerin 60°C sıcaklıkta daha fazla parçalandığı açıkça görülmektedir.

UV ışığının molekülleri tetikleyerek kimyasal reaksiyonlara bağlı parçalama reaksiyonlarına sebep olma etkisi bilinmesine rağmen homojenizasyon üzerine önemli bir etkisinin olmadığı gözlemlenmektedir. Dolayısıyla fotosonikasyon işlemlerinde meydana gelen bulanıklık düzeyindeki artış ultrasesin kavitasyon etkisinden kaynaklanmaktadır.

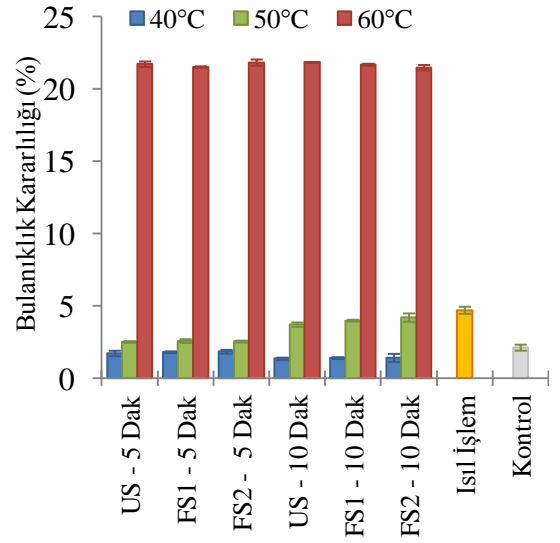
4.2.2. Bulanıklık kararlılığı üzerine etkisi

Bulanıklık düzeyinin yüksek olmasının yanı sıra elma suyunun kararlı bir bulanıklığa sahip olması da oldukça önemli bir kalite özelliğidir. Bulanıklık kararlılığı 4200×g'de 15 dakika santrifüj yapıldıktan sonra elma suyu bulanıklığının ne kadar kararlı olduğunu gösteren bir parametre olup, bu işlem yaklaşık 1 yıllık depolamaya eş değer kabul edilmiştir (Stahle-Hamatschek 1989; Beveridge 2002).

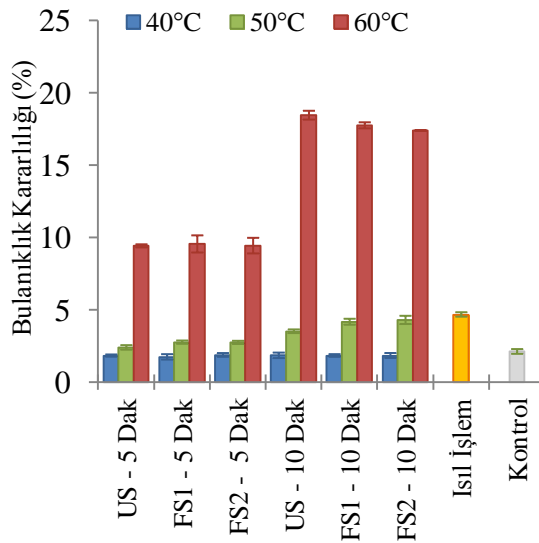
60°C sıcaklıkta uygulanan ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinde en düşük seviye olan 50µm genlikte ultrasesin vurgulu uygulandığı işlem hariç işlem süresinin 5 dakikadan 10 dakikaya çıkması bulanıklık düzeyini bir miktar artırmıştır (Şekil 4.7). Fakat bu artışın teknolojik anlamda çok önemli olmadığı düşünülmektedir. 50µm genliğe sahip ultrasesin vurgulu uygulandığı işlemde sürenin 10 dakika yerine 5 dakika uygulanması durumunda bulanıklık düzeyi yaklaşık %25 daha düşük bulunmuştur. 100µm genlikte ultrasesin vurgusuz uygulandığı işlem en yüksek bulanıklık düzeyi ve kararlılığına sahip olup bu işlem hariç bulanıklık kararlılığı süreyle birlikte artmaktadır.



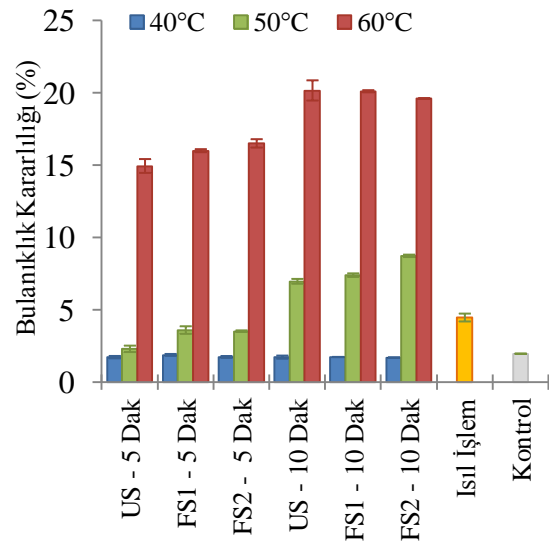
(a) Vurgusuz Ultrases, A:50 µm



(b) Vurgusuz Ultrases, A:100 µm



(c) Vurgulu Ultrases, A:50 µm



(d) Vurgulu Ultrases, A:100 µm

Şekil 4.7. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin elma suyunun bulanıklık kararlılığı üzerine etkisi

* FS1: 2 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemi; FS2: 4 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemidir.

50°C sıcaklıkta uygulanan işlemler bulanıklık düzeyi ve bulanıklık kararlılığı açısından değerlendirildiğinde bu sıcaklıkta uygulanan işlemlerde ultrases şiddeti ve sürenin artmasına bağlı olarak bulanıklık düzeyinin kontrole göre oldukça arttığı, fakat bulanıklık kararlılığının aynı seviyede artmadığı görülmektedir. Sadece bu sıcaklıkta 100µm genlikte vurgulu ultrasesin uygulandığı işlemlerde bulanıklık kararlılığı daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuç sedimentasyon sonuçları ve 4 aylık depolama sonrasında elde edilen fotoğraflardaki sonuçlarla da doğrulanmaktadır.

Bulanıklık kararlılığının artmasının en önemli sebebi akustik kavitasyonun partikül boyutunu küçültmesidir. Çünkü elma sularında bulunan ve çökerek tabanda biriken katı partiküllerin çapı genellikle 1µm'den büyüktür (Cemeroğlu ve Karadeniz, 2009). Akustik kavitasyonda bulanıklık düzeyi kaba partiküllerin parçalanmasına dayandığı için, kaba partiküller parçalanıp koloidal bir yapı kazanmakta ve bulanıklık kararlılığı artmaktadır.

Yapılan bir çalışmada farklı elmalardan elde edilen bulanık elma sularında bulanıklık kararlılığının %29 ile %52 arasında değiştiği rapor edilmiştir (Markowski *et al.* 2009). Bu çalışmada ise bulanıklık kararlılığı en yüksek %21,8 olarak bulunmuş ve bulanıklık açısından yeterince tatmin edici olduğu kabul edilmiştir.

4.2.3. Sedimentasyon üzerine etkisi

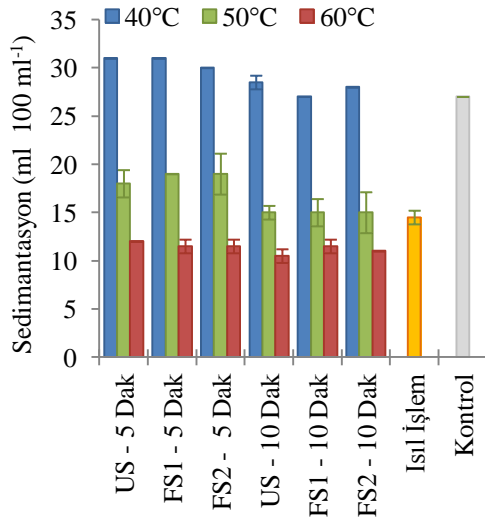
Elma suyunun preslenerek posasının uzaklaştırılmaması durumunda elma suyu içindeki kaba partiküller hızlıca kümelenerek çökmektedir. Bulanık elma suyu üretiminde bulanıklık kararlılığının uzun süre devam ettirilebilmesi için elma suyundaki kaba partiküllerin boyutları çeşitli işlemler uygulanarak küçültülmektedir (Cemeroğlu ve Karadeniz 2009). Ultrases işlemi bulanıklık düzeyi ve bulanıklık kararlılığını artırırken sedimentasyon değerini düşürmektedir ki bu istenen bir kalite özelliğidir.

40°C sıcaklıkta uygulanan ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin bulanıklık düzeyi ve bulanıklık kararlılığını artırmadığı bir diğer ifadeyle sedimentasyon değerini de önemli

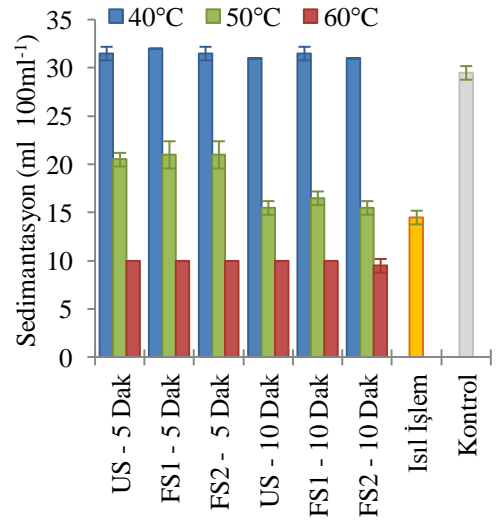
bir düzeyde azaltmadığı görülmektedir (Şekil 4.8). Ayrıca çoğu kez 40°C sıcaklıkta ultrases ve fotosonikasyon işlemleri elma suyunun sedimantasyon değerini 2-3 ml artırmaktadır. 60°C sıcaklıkta uygulanan işlemlerde de bulanıklık düzeyi yaklaşık 10 katın üzerinde ve bulanıklık kararlılığı ise 10 kata kadar artarken sedimantasyon değeri ise %60'dan fazla azalmaktadır. Genel olarak 1 günlük bekleme sonrası işlem uygulanmamış elma sularının 100ml'sinde 28-30 ml tortu dibe çökerken, 40°C sıcaklıkta ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin uygulanması sedimantasyon değerini 2-3 ml artırmakta, 60°C sıcaklıkta uygulanan işlemlerde ise tortu oluşumu 10-12 ml'ye kadar düşmektedir.

60°C sıcaklıkta uygulanan işlemlerden sonra sedimantasyon değerinin azalmasının sebebi ultrasesin homojenizasyon etkisiyle kaba partiküllerin parçalanıp elma suyunda kararlı hale geçmeleriyle açıklanabilir. Başka bir deyişle tortu oluşturacak olan kaba partiküllerin %60'dan fazlası elma suyunda kararlı hale geçerek kazanılmış demektir. Bu da elma suyunun beslenme değerinin önemli seviyede artması demektir. 40°C sıcaklıktaki ultrases işlemlerinde ise sedimantasyonun kısmen artması ultrasesin kaba partiküllerinin elektriksel yükünü değiştirerek topaklanmasını yavaşlatarak sedimantasyonun yavaşlatılması şeklinde açıklanabilir. Ayrıca ısı işlemlerle sedimantasyon oldukça düşmekle birlikte bunun sebebi bulanıklık artışı olmayıp, liflerin sıcaklıkla birbirine yapışmasından kaynaklanmaktadır.

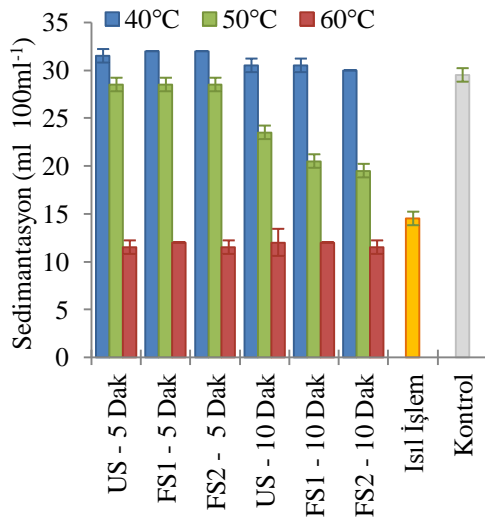
Ultrases ve fotosonikasyon uygulamalarına ait bulanıklık düzeyi ve bulanık kararlılığı sonuçlarıyla sedimantasyon sonuçlarının büyük oranda birbirleriyle ters ilişkili olduğu görülmüştür (Şekil 4.6, 4.7, 4.8). Yani elma suyunda bulanıklığa sebep olan unsurların parçalanarak bulanıklık kalitesinin artması ile birlikte, elmaların sedimantasyon değeri düşmüştür. Bununla beraber ısı işlem uygulanan elma sularının bulanıklık kararlılığı ve bulanıklık düzeyinin kontrole göre belirgin bir şekilde artmamasına rağmen sedimentasyon değerinin kontrole göre oldukça düştüğü görülmüştür. Çelişki gibi görülen bu sonuçların sebebi ısı işlemle pektin ve diğer unsurların yapısal olarak bozulması ve birbirleriyle yapışmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir (Cemeroğlu ve Karadeniz 2009).



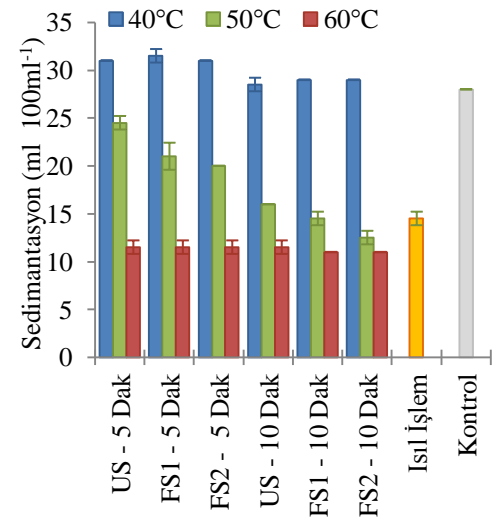
(a) Vurgusuz Ultrases, A:50 µm



(b) Vurgusuz Ultrases, A:100 µm



(c) Vurgulu Ultrases, A:50 µm



(d) Vurgulu Ultrases, A:100 µm

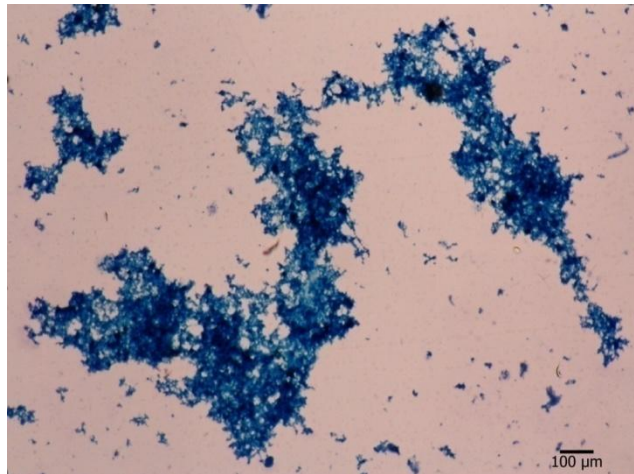
Şekil 4.8. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin elma suyunun sedimentasyon üzerine etkisi

* FS1: 2 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemi; FS2: 4 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemidir.

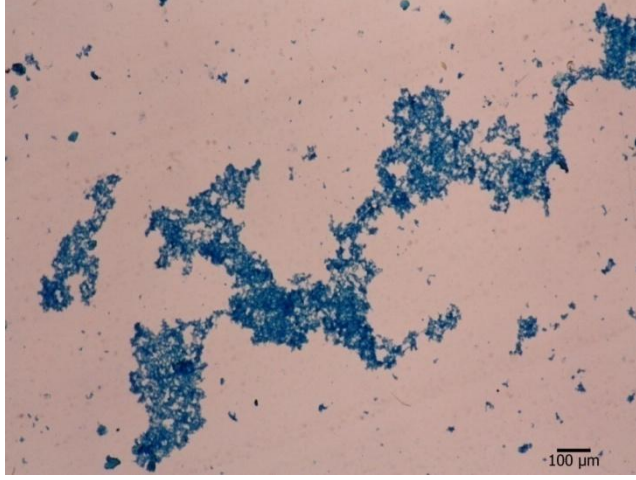
4.2.4. Elma suyundaki kaba partiküllerin mikroskopik görüntüsü

Elma suyuna uygulanan 100 µm genlikte vurgusuz ultrases işleminin elma suyundaki katı partiküllerin boyutları üzerine etkisi mikroskop yardımıyla belirlenmiştir (Şekil 4.10). Şekil 4.9’da ise işlem uygulanmamış elma suyundaki kaba partiküllerin yapısı görülmektedir.

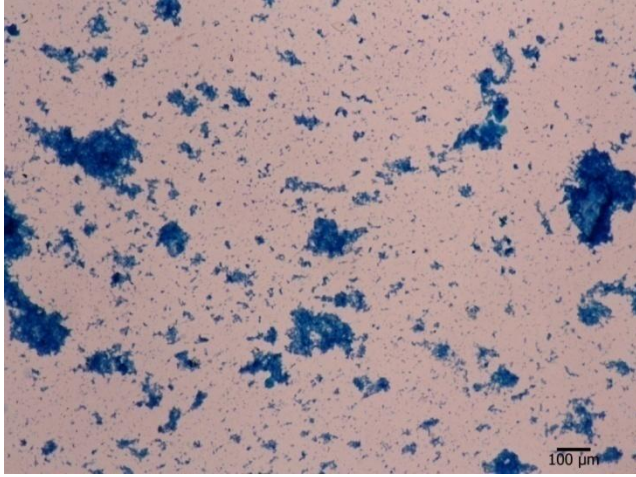
Şekil 4.9 ve 4.10-a incelendiğinde 40°C sıcaklıkta ultrases işleminin elma suyunun partikül büyüklüğü üzerine önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Şekil 4.10-b’de 50°C sıcaklıkta ultrases işleminin partikül boyutlarında önemli bir küçültmeye sebep olduğu görülmektedir. Fakat Şekil 4.10-c’da 60°C sıcaklıkta ultrases işleminin kaba partikülleri parçalamasının yanı sıra partiküller miktar olarak da oldukça azalmıştır. Bu azalma bulanıklıkla ilgili önceki sonuçlarla değerlendirildiğinde bu partiküllerin 1µm’den daha küçük parçalara kadar parçalanarak çözünür bulanıklık unsuru oldukları tahmin edilmektedir. Bu şekiller ultrasesin bulanıklık düzeyi ile bulanıklık kararlılığındaki artışa ve sedimentasyon değerinin azalışına sebep olan homojenizasyon mekanizmasının en önemli göstergesidir.



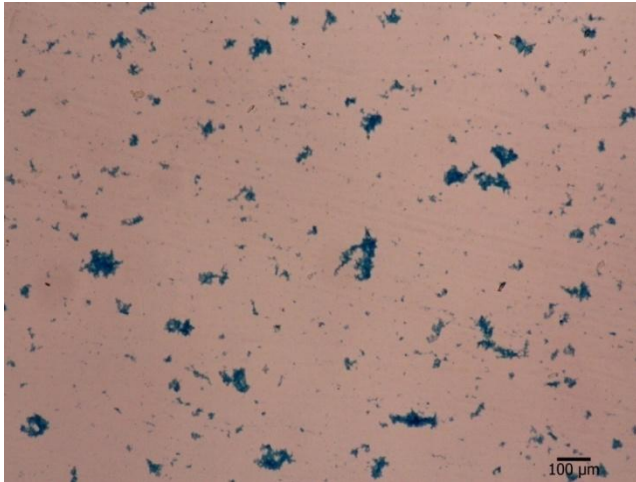
Şekil 4.9. İşlem görmemiş elma suyundaki kaba parçacıkların mikro yapısı



(a) Ultrases 40°C sıcaklıkta 10 dakika 100 μm genlikte vurgusuz olarak uygulanmıştır.



(b) Ultrases 50°C sıcaklıkta 10 dakika 100 μm genlikte vurgusuz olarak uygulanmıştır.



(c) Ultrases 60°C sıcaklıkta 10 dakika 100 μm genlikte vurgusuz olarak uygulanmıştır.

Şekil 4.10. Ultrases uygulanmış elma suyundaki kaba parçacıkların mikro yapısı

4.2.5. Depolama sonrası elma sularının görüntüsü

Deneysel olarak bulanıklığın 1 yıl sonra ne kadar kararlı olacağı hakkında fikir veren bir analiz olan bulanıklık kararlılığı partiküllerin uzun süre sonrasında çökmesi olayının santrifüj kullanılarak hızlandırılması esasına dayanmaktadır. Bulanıklık kararlılığında elma suyundaki partiküllerin büyüklükleri önemli bir parametre olmakla beraber bulanıklık kaybı sadece büyük moleküllerin zamana bağlı olarak yerçekimi kuvvetinin etkisiyle çökmesi esasına dayanmaz. Aynı zamanda moleküllerin çeşitleri ve yük değişimi de bulanıklık kararlılığında önemli parametrelerdir (Dietrich *et al.* 1996; Beveridge 2002; Cemeroglu ve Karadeniz 2009).

Ultrases ve fotosonikasyonla işlenmiş elma sularının gerçek bir depolama sonrasında fiziksel görünümünde meydana gelen değişimlerin belirlenebilmesi için elma suları 195ml'lik kavanozlara silme olarak doldurulmuş ve $4,5\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta buzdolabında depolanmıştır. Aylık olarak fiziksel görünümündeki değişimin fotoğrafları çekilerek incelenmiştir. Ultrases ve fotosonikasyon işlemleri uygulanmış elma sularının 4 aylık depolama sonrası gerçek görüntüleri Şekil 4.11, 4.12, 4.13, 4.14'de sunulmuştur.

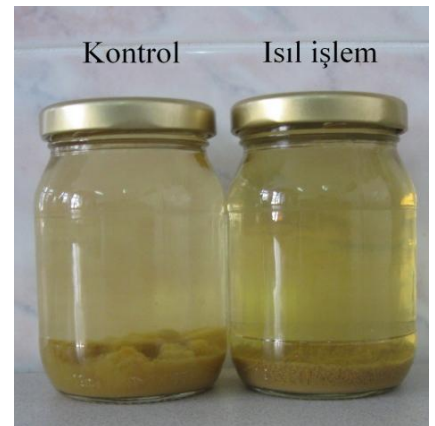
40 ve 60°C sıcaklıkta uygulanan işlemlere ait bulanıklık düzeyi ve kararlılığı sonuçları ile bu işlemlerin depolama sonrası görüntülerinin büyük oranda paralellik gösterdiği anlaşılmaktadır. 60°C sıcaklıkta hem 5 hem de 10 dakika ultrases ve fotosonikasyon işlemleri uygulanan elma sularının 4 aylık depolama sonrasında dibinde bir miktar tortu olmakla birlikte bulanıklık açısından yeterince tatmin edici oldukları görülmüştür. Kuldiloke (2002) da tez çalışmasında termosonikasyon ile limon suyuna yüksek bulanık kazandırıldığını ve depolama sonrası bir miktar tortu çöktüğünü rapor etmektedir. 50°C sıcaklıkta uygulanan işlemler de teorik analizlerle paralellik göstermekte olup, özellikle $100\mu\text{m}$ genliğin kullanıldığı işlemlerde fotosonikasyonun uygulandığı elma sularının nispeten daha bulanık olduğu ve dibine çöken tortunun ise daha az olduğu görülmüştür. 40°C sıcaklıkta ultrases ve fotosonikasyon işlemleri uygulanan elma suları ise kontrole benzer sonuçlar vermiş ve bulanıklık kalitesinde gözle görülür bir değişim olmamıştır.

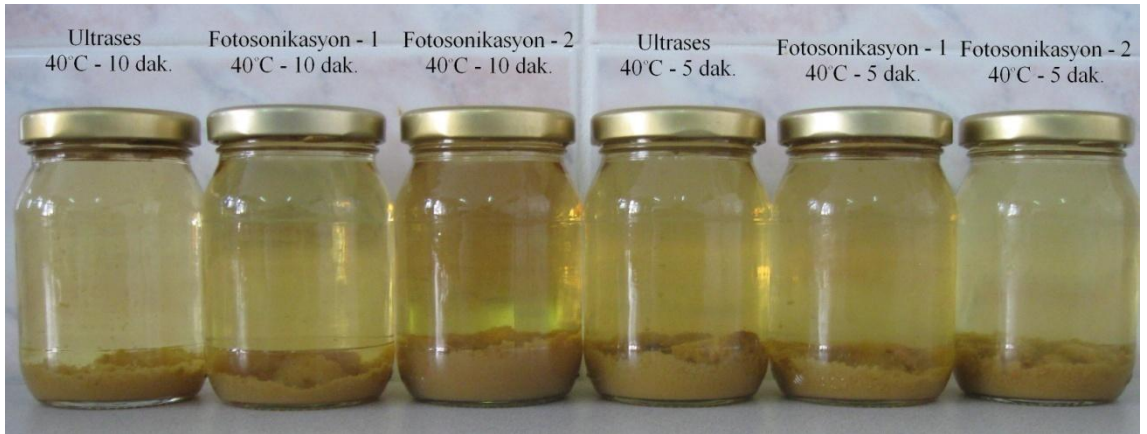
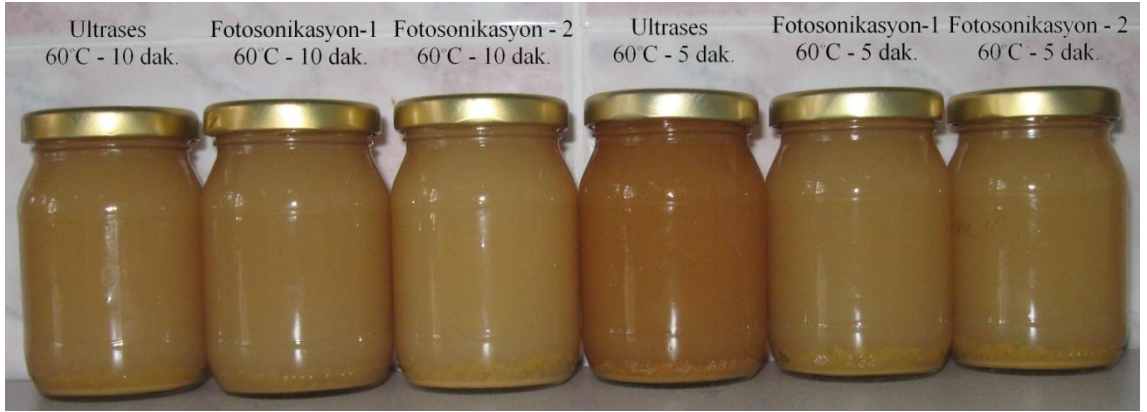


Şekil 4.11. Depolamanın işlem görmüş elma sularının görünüşüne etkisi - 1

* Bu işlemlerde kullanılan ultrasesin tümü vurgusuz olup genliği 50 μ m'dir.

** Depolama süresi 4 aydır.



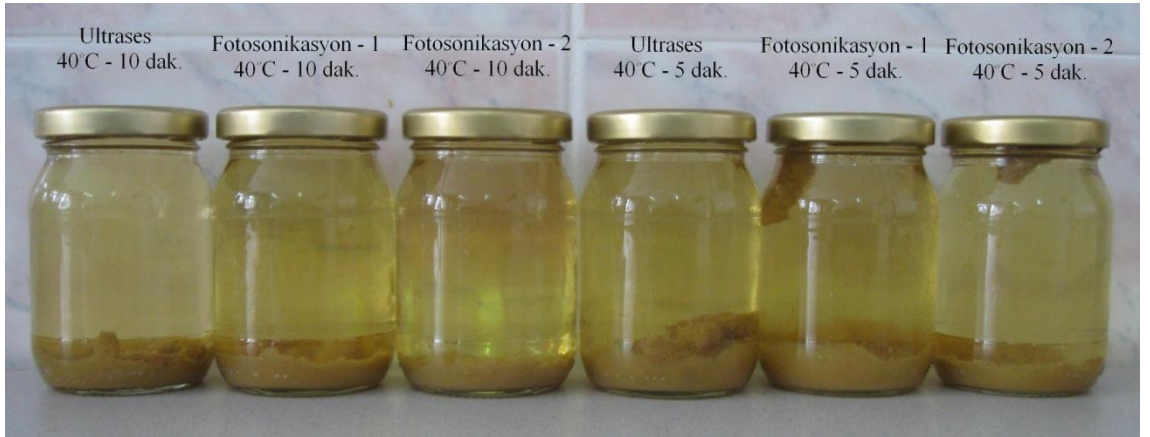


Şekil 4.12. Depolamanın işlem görmüş elma sularının görünüşüne etkisi - 2

* Bu işlemlerde kullanılan ultrasesin tümü vurgusuz olup genliği 100µm'dir.

** Depolama süresi 4 aydır.

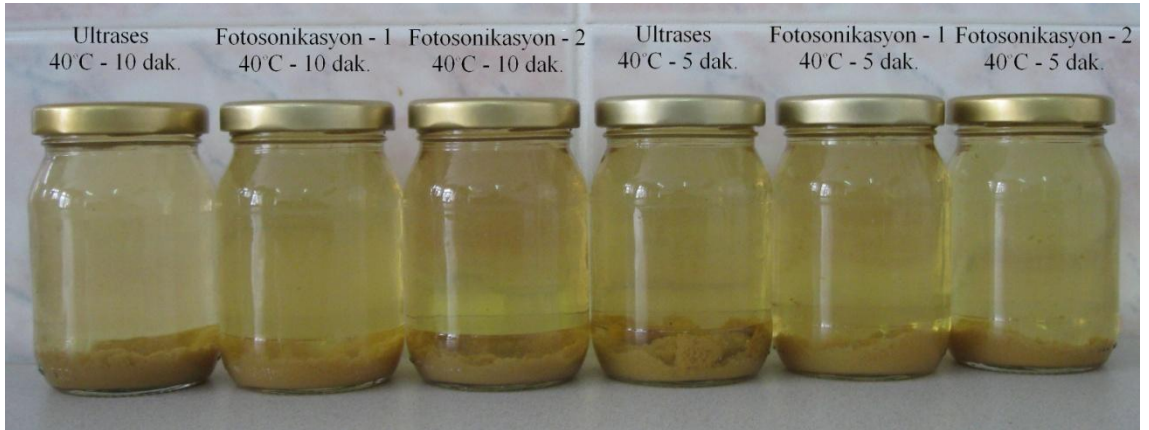
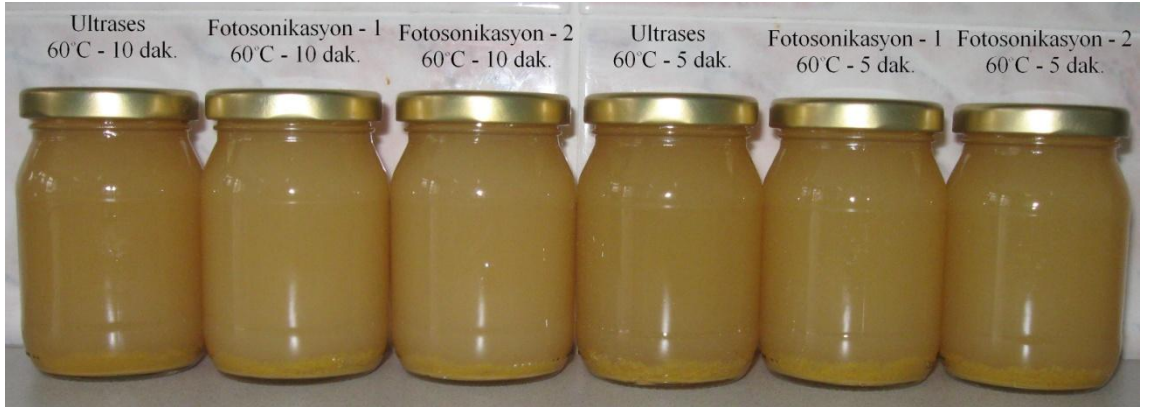




Şekil 4.13. Depolamanın işlem görmüş elma sularının görünüşüne etkisi - 3

* Bu işlemlerde kullanılan ultrasesin tümü vurgulu olup genliği 50 μ m'dir.

** Depolama süresi 4 aydır.



Şekil 4.14. Depolamanın işlem görmüş elma sularının görünüşüne etkisi - 4

* Bu işlemlerde kullanılan ultrasesin tümü vurgulu olup genliği 100 μ m'dir.

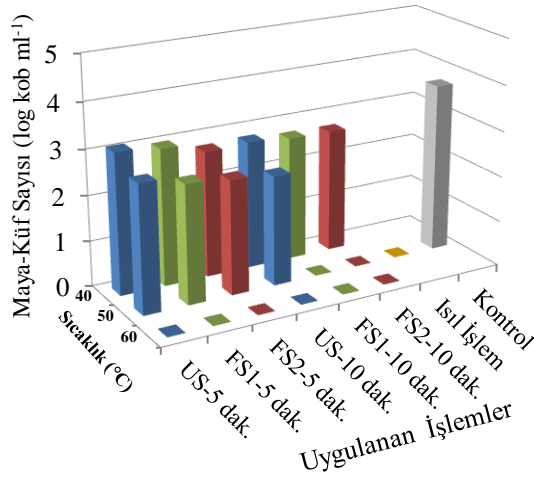
** Depolama süresi 4 aydır.

4.3. Ultrases ve Fotosonikasyonun Maya ve Kf İnaktivasyonu zerine Etkisi

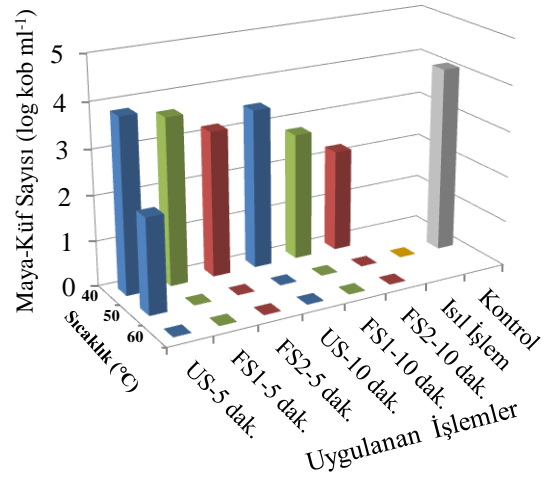
60°C sıcaklıkta uygulanan hem ultrases hem de fotosonikasyon işlemlerinin tümünde maya ve küflerin tamamı ($< 1 \log \text{ kob ml}^{-1}$) inaktif edilmiştir (şekil 4.15). Ayrıca 50°C sıcaklıkta 100µm ultrases genliğinin kullanıldığı vurgusuz ultrases işleminde 5 dakikada yaklaşık 2 logaritmik azalma olurken işlemin 10 dakika uygulanmasıyla maya ve küfler tamamen inaktif olmuşlardır. Bu etkinin görüldüğü ve aynı ultrases şartlarının kullanıldığı her iki fotosonikasyon işlemlerinde de hem 5 dakikada hem de 10 dakikada tamamen maya ve kf inaktivasyonu sağlanmıştır. 50°C sıcaklıkta 100µm ultrasesin vurgulu olarak uygulandığı ultrases işleminde 10 dakikada yaklaşık 1,6 logaritmik azalma varken, 2 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işleminde 10 dakikada yaklaşık 2,2 log düzeyinde azalma olmuştur. 4 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işleminde ise maya ve küflerin tamamen inaktif edilebilmesi için 5 dakika yeterli olmuştur.

50°C sıcaklıkta vurgusuz ultrasesin 50 µm genlikte kullanıldığı 2 ve 4 lambalı fotosonikasyon sistemlerinde 10 dakikalık işlemin maya ve küfleri tamamen inaktif ettiği fakat aynı şartlarda ultrasesin vurgulu olarak uygulandığı işlemlerde sadece 4 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işleminin maya ve küfleri tamamen inaktif ettikleri sonucuna ulaşılmıştır. 40°C sıcaklıkta ise ultrases ve fotosonikasyonun etkisi çok zayıf olmuştur.

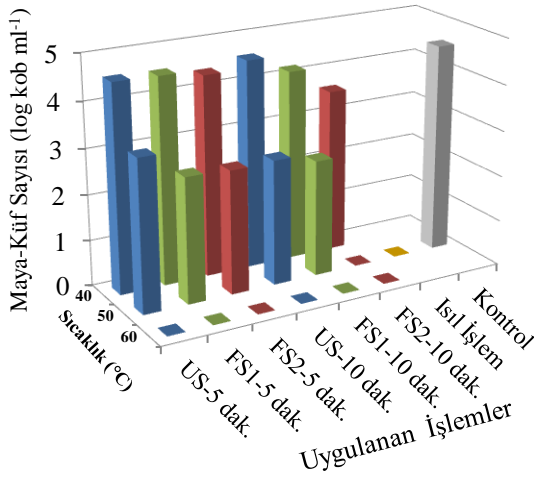
Sonuç olarak fotosonikasyon işleminin elma sularındaki maya ve küfleri inaktif etmek için ultrases işlemine karşı üstünlüğü açıkça görülmektedir (şekil 4.15). Fotosonikasyon işleminin ultrasese olan üstünlüğünün sebebi fotosonikasyon sisteminde meydana gelen kavitasyon etkisinin yanı sıra 254 nm dalga boyuna sahip UV lambalarının kullanılmasıdır. 254 nm dalga boyuna sahip UV ışığı mikroorganizmaların hücre zarından süzülerek DNA'yı oluşturan nükleik asitler tarafından absorbe edilmekte ve DNA tahrip edilmesine sebep olmaktadır (Aydın 2009). Aynı şekilde fotosonikasyon işlemindeki UV ışıkları maya ve küflerin DNA yapısını bozarak fotosonikasyonun ultrasese göre önemli seviyede etkili olmasına sebep olmuşlardır ($P < 0,05$).



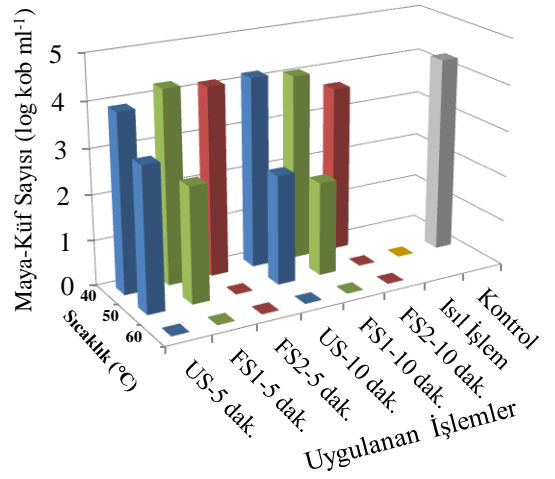
(a) Vurgusuz Ultrases, A:50 µm



(b) Vurgusuz Ultrases, A:100 µm



(c) Vurgulu Ultrases, A:50 µm



(d) Vurgulu Ultrases, A:100 µm

Şekil 4.15. Ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin elma suyunun toplam maya-küf inaktivasyonu üzerine etkisi

* FS1: 2 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemi; FS2: 4 UV lambasının kullanıldığı fotosonikasyon işlemidir.

** Tanımlanabilir limit 1 log kob ml⁻¹

Hem fotosonikasyon işleminde hem de ultrases işleminde kaviteasyona bağlı maya - küf inaktivasyonu da gerçekleşmiştir. Ultrasesin mikrobiyal inaktivasyon mekanizması genel olarak meydana gelen kaviteasyonla oluşan mekanik şokların hücrede yeni porlar oluşturması ve bunun sonucunda hücrenin şişerek lizise sebep olması şeklinde açıklanmaktadır (Mason *et al.* 2003). Bu etkinin sıcaklığın artmasıyla daha da belirginleştiği görülmektedir (Şekil 4.15). Akustik kaviteasyonda mikroorganizma inaktivasyonundaki kritik sıcaklık değerinin 50-60°C arasında değiştiği ifade edilmektedir (Pagan *et al.* 1999; Ledly and Williams 2001; Ohlsson and Bengtsson 2002; Mason *et al.* 2005). Örneğin 60°C sıcaklıktaki ultrases işleminin aynı sıcaklıkta ultrasesin uygulanmadığı ısıl işleme göre 70 kat daha etkili olduğu ifade edilmektedir (Earnshaw *et al.*, 1995; in Feng *et al.*, 2009). Bu sinerjik etki kaviteasyonun 60°C sıcaklıkta daha şiddetli oluşmasından kaynaklanmaktadır. 40°C sıcaklıkta uygulanan ultrases işleminde maya küf inaktivasyonunun zayıf olmasının sebebi kritik sıcaklık değerinin altında uygulanmasından kaynaklandığı düşünölmektedir. Bu sıcaklıkta fotosonikasyon işleminin maya ve küf inaktivasyonunda zayıf olmasının sebebi ise ultrasesin karıştırma etkisinin azalmasına bağlı olarak UV'nin daha az yüzeyle temas etmesinden kaynaklandığı düşünölmektedir.

Şengöl *et al.* (2011), sütteki koliform ve mezofilik mikroorganizma inaktivasyonunda fotosonikasyonun ultrasese üstün olduğunu rapor etmişlerdir. Hatta koliform grubu bakterileri fotosonikasyonla 9. dakikada tamamen inaktif edilirken, sadece ultrases işleminin 15 dakikada bile etki etmediği sonucuna ulaşılmıştır. Guerrero-Beltran ve Barbosa-Canovas (2006) ise sadece UV uygulayarak 30 dakikada mango nektarındaki maya sayısını 2,94 log düzeyinde azalttıklarını rapor etmişlerdir. Ayrıca mikrobiyal inaktivasyonda UV ışığına en çok koliformların, daha sonra mezofilik bakterilerin hassas olduğunu ve UV ışığından en az da maya ve küflerin etkilendiği bildirilmiştir (Engin vd 2009). UV ışığının en önemli dezavantajı penetrasyon kabiliyetinin düşük olmasıdır (Mannapperuma 1996; Guerrero-Beltran and Barbosa-Canovas 2006). Yapılan bu çalışmada fotosonikasyon işleminde ultrasesin karıştırma etkisi UV ışığının daha çok yüzeyle temas etmesini sağladığı görölmüştür. Böylece UV ışığının penetrasyon zafiyetinin fotosonikasyonla azaltılabildiği açıkça gösterilmiştir.

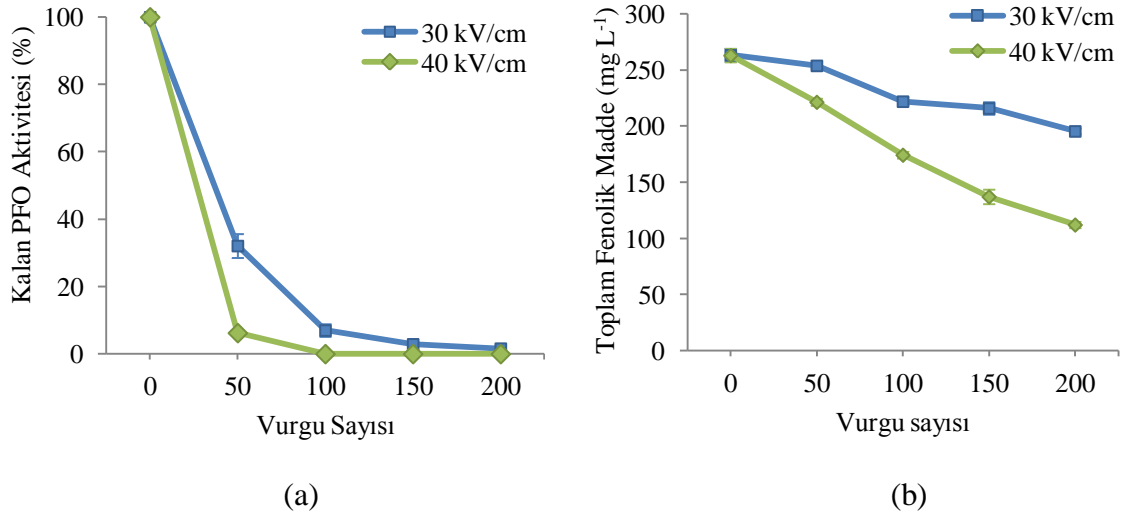
4.4. PEF İşleminin Elma Suyunun Bazı Kalite Özelliklerine Etkisi

Elma suyuna PEF işlemi ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin aksine sürekli sistemde uygulanmıştır. PEF işleminde sıvının özelliklerine ve uygulanan elektriksel alan şiddetine bağlı olarak elma suyunun sıcaklığında artış meydana getirmektedir. Elma suyu işlem kabineye aktarılmadan önce ısı değiştirici kullanılarak sıcaklığı 40°C'ye getirilmiş ve işlem sonrası elma suyunun sıcaklığı hemen düşürülmüştür. Ayrıca elma suyu işlem kabineye girmeden hemen önce ve işlem kabinden çıktıktan hemen sonra artan sıcaklık değeri hassas olarak tespit edilmiştir.

4.4.1. PFO ve bazı fizikokimyasal özelliklerine etkisi

30 kVcm⁻¹ elektrik alan şiddetinin kullanıldığı PEF işleminde 200 vurgudan sonra bile PFO tamamen inaktif edilememiş ve %1,6 kalan PFO aktivitesine rastlanmıştır. 40 kVcm⁻¹ elektrik alan şiddetinin kullanıldığı PEF işleminde ise 100 vurgudan sonra PFO enzimi tamamen inaktif hale getirilmiştir (Şekil 4.16-a). Ayrıca 30 kVcm⁻¹ elektrik alan şiddetinin kullanıldığı PEF işleminde 100 vurguda ulaşılan %93'lük inaktivasyon oranına 40 kVcm⁻¹ elektrik alan şiddetinin kullanıldığı PEF işleminde 50 vurguda ulaşılmıştır. Yapılan farklı çalışmalarda ise PEF ile elmadan elde edilen PFO ekstraktında %38'e kadar (Giner *et al.* 2001), berrak elma suyunda ise yaklaşık %70'e kadar (Sanchez-Vega *et al.* 2009; Riener *et al.* 2008) PFO enzimi inaktif edilebilmiştir. Bu çalışmada berrak elma sularına göre oldukça başarılı sonuçların elde edilmiş olması bulanık elma suyundaki bulanıklık unsuru olan doku ve bileşiklerin mevcudiyetinden kaynaklanmış olabilir.

İşlem uygulanmamış elma suyunun toplam fenolik madde miktarı 263 mg l⁻¹ olarak ölçülmüştür. 30 kVcm⁻¹ elektrik alan şiddetinin kullanıldığı PEF işleminde %26'lık bir fenolik madde kaybı varken 40 kVcm⁻¹ elektrik alan şiddetinin kullanıldığı PEF işleminde PFO'nun tamamen inaktif edildiği en düşük işlem şartı olan 100 vurguda %34, en yüksek işlem şartı olan 200 vurguda ise %57 fenolik madde kaybı tespit edilmiştir (Şekil 4.16-b).

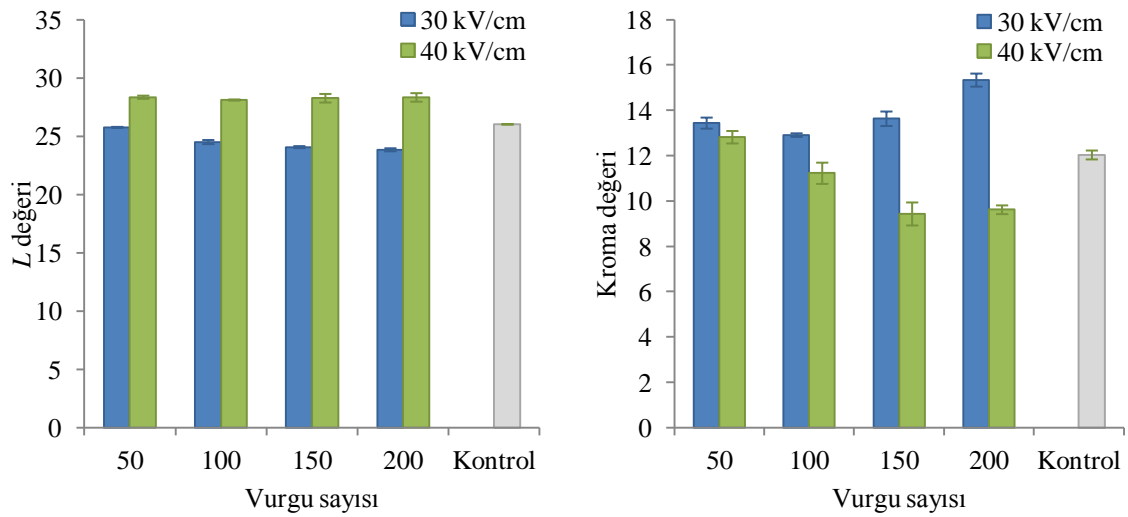


Şekil 4.16. PEF işleminin PFO aktivitesi ve toplam fenolik madde kaybı üzerine etkisi

Yapılan bir çalışmada (Aguilar-Rosas *et al.* 2007), berrak elma suyuna 90°C’de 1 dakika ısıtma uygulamasının %32; 35 kVcm⁻¹ elektrik alan şiddetine sahip PEF işleminin ise %15 toplam fenolik madde kaybına sebep olduğu ifade edilmektedir. Aynı çalışmada PEF işleminin ısıtma göre genellikle daha az lezzet bileşeni kaybına sebep olduğu ifade edilmiştir. Benzer bir çalışmada portakal suyuna ısıtma işleminin askorbik asit içeriğini %19 düşürdüğü, PEF işleminin önemli bir değişikliğe sebep olmadığı belirlenmiştir (Min *et al.* 2003).

PEF işleminin enzim inaktivasyon mekanizması detaylı olarak aydınlatılmış bir konu değildir. Bununla beraber inaktivasyon mekanizmasının temel sebebi, enzimin doğal yapısının değişikliğe uğraması olarak açıklanmaktadır. Enzim moleküllerinin hidrolize edilmediği, fakat polarizasyon, alifatik hidrofobik grupların kısmi olarak açılması ve proteinlerin denatürasyonu gibi değişikliklere uğraması sonucu aktivitelerini kaybettikleri ifade edilmektedir. PEF işlemi çoğu kez gıdanın sıcaklığını aşırı değiştirmemesinin yanı sıra pH’yı önemli ölçüde değiştirmemesinden dolayı enzim inaktivasyonunda bu şekilde bir denatürasyonun da olmadığı düşünülmektedir (Yeom and Zhang 2001; Picart and Cheftel 2003). Yapılan bu çalışmada PFO enzimlerinin doğal yapısının bozulmasına bağlı olarak aktivitesini kaybettiği düşünülmektedir.

L değeri açısından sonuçlar değerlendirildiğinde önemli bir değişiklik gözlenmezken kroma değeri açısından 30 kVcm^{-1} elektrik alan şiddetinin kullanıldığı PEF işleminde vurguyla birlikte bir artış; 40 kVcm^{-1} elektrik alan şiddetinin kullanıldığı PEF işleminde ise vurgunun artmasıyla azalma olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.17). Bununla birlikte bu değişimler işlem sırasında meydana gelebilecek hatalar da düşünüldüğünde fark edilir bir değişim değildir. Başka bir çalışmada da PEF işleminin L değeri üzerine etkisinin olmadığı fakat a ve b değerini artırdığı rapor edilmiştir (Charles-Rodriguez *et al.* 2007)



Şekil 4.17. PEF işleminin elma suyunun renk değerleri üzerine etkisi

PEF işlemi pH değeri ve briks üzerine önemli bir değişikliğe sebep olmamıştır (Çizelge 4.7). İletkenlik değeri açısından bakıldığında 30 kVcm^{-1} elektrik alan şiddetinin kullanıldığı PEF işleminde iletkenlik değerinde önemli bir değişim olmazken 40 kVcm^{-1} elektrik alan şiddetinin kullanıldığı PEF işleminde elektrik iletkenliği artmıştır. Elma suyuna PEF uygulanan başka bir çalışmada bu çalışmadaki gibi pH ve briks değerlerinin değişmediği fakat elektrik iletkenliğinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır (Evrendilek *et al.* 2000). Ayrıca çeşitli çalışmalarda PEF işleminin pH (Charles-Rodriguez *et al.* 2007) ve briks (Charles-Rodriguez *et al.* 2007; (Min *et al.* 2003) üzerine önemli bir etki oluşturmadığını rapor edilmiştir. PEF işlemi aynı zamanda elma suyu sıcaklığını da bir miktar artırmış olup (Çizelge 4.7), işlem sonrası hemen sıcaklığı düşürülmüştür.

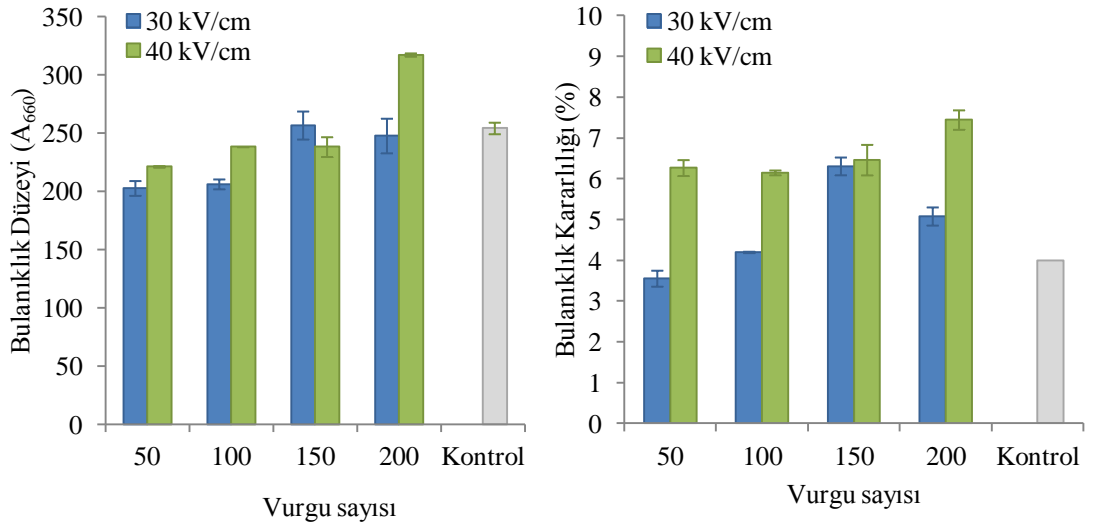
Çizelge 4.7. PEF işleminin elma suyunun bazı özelliklerine etkisi

PEF (kVcm ⁻¹)	Vurgu sayısı	pH	İletkenlik (µs/cm)	Briks (°B)	T _{Giriş} (°C)	T _{Çıkış} (°C)	ΔT (°C)
30	50	3,56 ^b (±0,02)	1864 ^b (±15)	12,6 ^a (±0)	40,0 (±0,9)	43,4 (±0,6)	3,4 (±0,4)
	100	3,65 ^c (±0,03)	1920 ^c (±20)	12,6 ^a (±0)	40,3 (±0,7)	43,8 (±0,6)	3,5 (±0,3)
	150	3,59 ^b (±0,03)	1866 ^b (±11)	12,6 ^a (±0)	40,5 (±0,6)	44,3 (±0,9)	3,8 (±0,5)
	200	3,52 ^a (±0,02)	1970 ^d (±10)	12,7 ^b (±0)	40,6 (±0,6)	44,5 (±0,8)	3,9 (±0,5)
40	50	3,69 ^c (±0,02)	2162 ^e (±23)	12,6 ^a (±0)	40,4 (±1,4)	54,2 (±1,0)	13,8 (±0,5)
	100	3,57 ^b (±0,02)	2181 ^e (±20)	12,6 ^a (±0)	40,6 (±1,9)	54,6 (±1,7)	14,0 (±0,9)
	150	3,54 ^{ab} (±0,03)	2174 ^e (±9)	12,7 ^b (±0)	40,9 (±1,7)	54,9 (±1,5)	14,0 (±0,8)
	200	3,57 ^b (±0,02)	2172 ^e (±9)	12,7 ^b (±0)	40,9 (±1,5)	54,9 (±1,4)	14,0 (±0,7)
Kontrol		3,58 ^b (±0,03)	1834 ^a (±5)	12,6 ^a (±0)	-	-	-

*Her sütunun istatistik analizi kendi içerisinde yapılmış ve aynı harfle gösterilenler Duncan çoklu karşılaştırma testine göre P<0,05 önem seviyesinde aynı kabul edilmiştir.

4.4.2. Depolama sonrası bulanıklık üzerine etkisi

PEF işleminin elma suyunun bulanıklık kalitesine gözle görülür bir etkisi olmamakla birlikte bulanıklık düzeyini analizinde kontrole göre %50'ye kadar artırdığı sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.18). Fakat 40 kVcm⁻¹ elektrik alan şiddetinin kullanıldığı PEF işlemi uygulanmış elma sularında 3 aylık depolama sonrası tabandaki tortu miktarındaki farklılık gözle görülebilir seviyededir (Şekil 4.19). Hatta 30 kVcm⁻¹ elektrik alan şiddetinde 200 vurgu uygulanan PEF işleminde de tortunun azlığı dikkat çekmektedir.



Şekil 4.18. PEF işleminin elma suyunun bulanıklık düzeyi ve bulanıklık kararlılığı üzerine etkisi



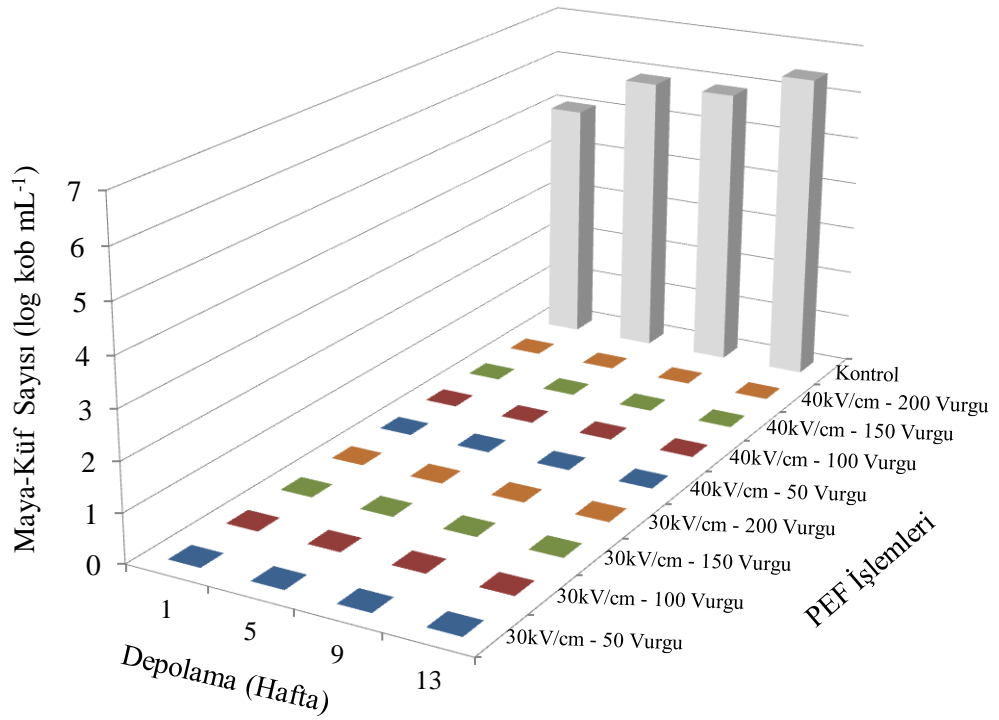
Şekil 4.19. Depolamanın PEF uygulanan elma sularının görüntüsüne etkisi

Yapılan bir çalışmada hem ısıl işlemin hem de PEF işleminin bulanıklık düzeyini önemli bir seviyede artırdığı rapor edilmiştir (Rivasa *et al.* 2006). Çalışma sonucuna göre işlem uygulanmamış meyve suyunun bulanıklık düzeyi 0,637; PEF işleminden sonra 1,061; ısıl işlem (98°C, 21 s) uygulamasından sonra ise 1,310 olduğu rapor edilmiştir. Buradan da anlaşılacağı üzere PEF işleminin bulanıklık kalite özelliklerini değiştirebildiği ifade edilmiştir. Fakat yaptığımız çalışmada bazı işlem şartlarının elma suyunun bulanıklık kalite parametrelerini olumsuz etkileyebildiği de görülmüştür. Bulanık elma suyunda ultrasesle PEF işleminin kombine edilerek kullanılması düşünülürse, PEF işlem şartının bulanıklık kalite özelliklerini olumsuz etkilememesi için uygun şartların belirlenmesi gerekmektedir.

4.4.3. Maya ve küf inaktivasyonu üzerine etkisi

PEF işleminin en önemli etkilerinden birisi mikrobiyal inaktivasyon üzerinedir. Elma suyuna uygulanan bütün işlemlerde maya ve küf inaktivasyonu sağlanmış olup, dörder hafta arayla 3 ay boyunca yapılan maya ve küf analizlerinde de maya veya küf sayısı $< 1 \log \text{ kob ml}^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Şekil 4.20).

Yapılan bir çalışmada portakal suyuna uygulanan PEF işleminin toplam mezofilik aerobik bakteri ve maya-küf içeriğini tamamen inaktif ettiği fakat 133. günden itibaren bakteri, maya ve küflerin yavaş yavaş çoğalmaya başladıkları rapor edilmiştir (Min *et al.* 2003). Bu çalışmada da PEF'in bütün formlarının maya ve küfleri tamamen inaktif ettiği ve 13. haftaya kadar da herhangi bir gelişmenin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bununla beraber yapılan bir çalışmada (Evrendilek *et al.* 2000) PEF işleminin berrak elma suyunun toplam mezofilik sayısında 2 log, maya ve küf sayısında ise 1,5 log düzeyinde bir azalma sağladığı rapor edilmiştir. Yapılan bu çalışmalar değerlendirildiğinde PEF işlemi berrak elma sularında PFO (Sanchez-Vega *et al.* 2009; Riener *et al.* 2008) ve maya küf (Evrendilek *et al.* 2000) inaktivasyonunda yeterli olmazken, portakal suyu gibi bulanıklık unsuru içeren bir üründe daha etkili olduğu görülmektedir (Min *et al.* 2003).



Şekil 4.20. PEF işleminin toplam maya – küf inaktivasyonu üzerine etkisi

*Tanımlanabilir limit 1 log kob ml⁻¹

Bu çalışmada berrak elma sularına göre oldukça etkili sonuçların elde edilmiş olması bulanık elma suyundaki bulanıklık unsuru olan doku ve bileşiklerin PEF işleminin etkinliğini artırmasından kaynaklanmış olabilir. Elma suyuna PEF işleminin uygulanması sonucu maya ve küflerin elektroporasyon ve elektrofizyona bağlı olarak inaktif oldukları düşünülmektedir. Elektroporasyon hücrede birçok önemli faaliyetin gerçekleşmesinde rol alan membranlardaki porlarının genişlemesi veya membranda yeni porların oluşması olayıdır. Elektroporasyon yoluyla maya ve küf hücrelerinin seçici geçirgen özelliği başta olmak üzere birçok aktivitenin bozulmasına yol açarak maya ve küfler inaktif olmuş olabilir. Hücredeki madde giriş ve çıkışındaki kontrolün kaybolmasından dolayı da hücre zamanla aktivitesini kaybetmektedir. Elektriksel yıkım anlamına gelen elektrofizyon mekanizması da maya ve küflerin inaktivasyonuna sebep olmuş olabilir. Çünkü bir hücreye elektriksel alan uygulandığı zaman iletkenlik, eşik değerinin üzerine ulaşırsa membranın direnci kırılmaktadır. Hücre içi ve hücre dışındaki yük yoğunluğunda meydana gelen değişimlere bağlı olarak hücrenin elektriksel özelliği

değişmektedir. Eğer bu stres kritik değeri aşarsa hücre membranı mekanik olarak kırılabilir (Barbosa *et al.* 1999b).

Yapılan bir çalışmada (Min *et al.* 2003) PEF işlemi uygulanmış portakal suyunda depolamanın 132. gününden itibaren hasarlanmış mikroorganizmaların tekrar faaliyete geçebildikleri görülmüştür. Aynı çalışmada ısı işlem uygulanmış portakal suyunda ise daha sonradan herhangi bir gelişme olmamıştır. Bu çalışmada da 3 ay boyunca herhangi bir gelişme olmamış olması ilerleyen zamanda maya ve küflerin aktivitelerini tekrar kazanamayacakları anlamına gelmemektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışma sonucunda ultrases, fotosonikasyon ve PEF işlemlerinin birbirlerine karşı üstünlükleri ve sınırlamaları belirlenmiştir. Ayrıca ultrases işleminin bilinmeyen birçok noktasına açıklık getirilerek farklı sıcaklık, genlik, süre ve vurguda elma suyunun kalite özelliklerini nasıl etkilediği detaylı olarak ortaya konmuştur.

Araştırma sonuçlarına göre, PEF işlemi elma suyundaki PFO enzim inaktivasyonunda ultrases ve fotosonikasyon işlemlerine göre oldukça etkili olurken daha fazla fenolik madde kaybına sebep olmuştur. PEF işlemiyle 40 kVcm^{-1} elektrik alan şiddetinde 100 vurgudan sonra PFO enzimi tamamen inaktif edilirken 30 kVcm^{-1} elektrik alan şiddetinde uygulanan PEF işlemleri, ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinde tamamen inaktif edilememiştir. Ayrıca PFO enzim inaktivasyonunda fotosonikasyon işleminin ultrases işlemine göre çoğu kez üstünlük sağladığı görülmüştür. PEF işleminde PFO enziminin inaktif edildiği en düşük işlem şartında fenolik madde kaybı yaklaşık %38 iken ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinde en yüksek %15, ısıtılma işlemlerinde ise %21-26 arasında olmuştur. Bulanık elma suyu üzerine 40°C ve daha düşük sıcaklık değerlerinde ultrases işlemi uygulanması durumunda membrana yapışık olan PFO enziminin elma suyuna geçerek serbest hale geleceği ve model sistemde elde edilen sonuçların yanıltıcı olabileceği ortaya konulmuştur.

Mikroskopla çekilen fotoğraflara dayanarak ultrases işleminin elma suyundaki kaba partikülleri parçalayarak elma suyunun bulanıklık düzeyi ve bulanıklık kararlılığını artırmasının yanı sıra dibe çöken kaba partiküllerin birçoğunu elma suyunun içinde kararlı süspansiyon haline getirerek elma suyunun görünümünü ve fiziksel kalitesini önemli ölçüde iyileştirdiği söylenebilir ($P<0,05$). 4 aylık depolama sonunda bile elma suyunun bulanıklık kalitesi depolama öncesine çok yakın olmuştur. Fotosonikasyon işleminde kullanılan UV lambalarının sayısı ve PEF işlem şartlarının ise elma suyunun bulanıklık kalitesi üzerine belirgin bir etkisi olmamıştır. Başka bir ifadeyle ultrases işleminin 60°C sıcaklıkta uygulanmasıyla ürünün tat ve aromasında önemli bir bozulma

olmadan, hem maya ve küfler tamamen inaktif edilmiş hem de PFO enzimini %90'lara kadar inaktif edilerek bulanıklık düzeyi ve kararlılığı 10'ar kata kadar çok önemli seviyede artırılmıştır. Bu çalışmada bulanıklık kararlılığı en yüksek %21,8 olarak bulunmuş ve bulanıklık açısından yeterince tatmin edici kabul edilmiştir. Ayrıca sedimentasyon sonuçları ile ultrases uygulanmış elma sularının mikron seviyesindeki parçalanmaları dikkate alınırca elma suyundaki önemli birçok gıda lifi ve bileşenin atılmadan elma suyunda çözündürülmesi mümkün kılınmıştır.

Bütün PEF işlemlerinde, 60°C sıcaklıkta uygulanan bütün ultrases ve fotosonikasyon işlemleriyle 50°C sıcaklıktaki bazı ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinde tamamen maya ve küf inaktivasyonu sağlanırken, 40°C sıcaklıktaki ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin hiçbirinde tamamen maya ve küf inaktivasyonu sağlanamamıştır. Ayrıca maya-küf inaktivasyonunda kullanılan UV lamba sayısının artmasıyla fotosonikasyon işleminin ultrasese karşı üstünlüğü de çoğu kez artmıştır.

Ultrases, fotosonikasyon ve PEF işlemleri elma suyunun briks ve pH değerlerinde belirgin bir değişime sebep olmazken renk parametrelerinde değişikliklere sebep olmuşlardır. Fotosonikasyon işleminin elma suyunun renginde meydana getirdiği olumlu değişiklikler diğer işlemlere göre çok daha fazla olmuştur. Ultrases işlemi de fotosonikasyon kadar olmasa da olumlu değişikliklere sebep olmuştur. PEF işlemi *L* değerini değiştirmezken yüksek şiddete sahip ultrases işlemi kroma değerini bir miktar artırmış fakat bu değişim diğer işlemlere göre çok fazla belirgin olmamıştır.

Fenolik madde kaybı hariç hemen hemen bütün işlemlerde fotosonikasyon işleminin ultrases işlemine göre önemli üstünlükleri sonuçlardan anlaşılmaktadır. Bulanıklık, pH ve briks değerleri hariç fotosonikasyon işleminden kaynaklanan sinerjik etki genellikle kullanılan UV lamba sayısına bağlı olarak artmaktadır. Her ne kadar bazen fotosonikasyon işleminin ultrases işlemine göre istatistiksel olarak üstün olmadığı sonuçlarına ulaşılmış olsa da kullanılan UV lamba sayısının artmasıyla fotosonikasyon işleminde çok daha etkili sonuçların alınabileceği tahmin edilmektedir.

Sonuçlar enerji sarfiyatı açısından incelendiğinde özellikle PFO aktivitesi, maya küf inaktivasyonu ve bulanıklık açısından vurgulu ve vurgusuz ultrases işlemleri etkinlikleri birbirine yakındır. Örneğin, vurgulu ultrases kullanıldığında %50 enerji tasarrufu sağlanırken, PFO inaktivasyonu ve bulanıklık düzeyi yaklaşık %5 düşmektedir. Dolayısıyla vurgulu sistem hem daha ekonomik olmakta hem de ürün daha az ultrases işlemine maruz kalmaktadır. Vurgulu sistemlerin enerji sarfiyatı vurgusuz sistemlere göre daha fazla olmasının yanı sıra daha az ultrasese maruz bırakılacak, gıda bileşenleri daha az zarar görecek ve sıcaklık kontrolü çok daha kolay sağlanacağı için elde edilen ürün daha homojen olacaktır.

Ultrases probu ve PEF işleminde kullanılan materyalden dolayı, gıdaya ağır metal kontaminasyonu olabilemesinden dolayı elde edilen ürünlerin tadına bakılması çok uygun görülmemektedir. Bununla beraber ultrases işleminin bazen olumsuz tat ve kokuya sebep olduğu bu olumsuz etkisinin ve özellikle metalik tadın probdaki kontaminasyondan kaynaklandığı ve cam problemlerin bu sorunu ortadan kaldırdığı ifade edilmektedir (Santos and Capelo 2007). UV işleminin de yüzeylerde mikroorganizma inaktivasyonu için kullanılabilmesi bildirilmiştir (Guerrero-Beltrán and Barbosa-Canovas 2004). Bununla birlikte bu çalışmada duyu analizleri yapılmamakla birlikte araştırmacının kendi izlenimleri çerçevesinde PEF işlemi ve ultrasesin elma suyunun tat ve kokusu üzerine herhangi bir olumsuzluğa sebep olmadığı fakat fotosonikasyon işleminde fazla UV lambasının kullanılmasının olumsuz bir kokuya sebep olduğu ifade edilmektedir.

Elde edilen sonuçlar ışığında ultrases ve fotosonikasyon işlemlerinin bulanık elma suyu üretimi açısından tek başına veya diğer sistemlerle birlikte uygulamaya uygun olduğu düşünülmektedir. Ultrases veya fotosonikasyon işlemleri tek başına uygulanacaksa PFO enzimi tamamen inaktif edilemediği için bulanık elma suyunun renginin zamanla değişmemesi için dolumdan sonra inört gazla hava uzaklaştırılarak kapağı kapatılmalı veya işlem şartları geliştirilmelidir. Fakat bu konunun sonuca ulaştırılması için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

PEF işleminin etkili enzim ve mikrobiyal inaktivasyon özelliği ile ultrasesin veya fotosonikasyon işlemlerinin bulanıklık kalitesini iyileştirme özellikleri göz önüne alındığında ultrases veya fotosonikasyonla birlikte uygun bir proses oluşturulabileceği düşünülmektedir. Örneğin ultrases veya fotosonikasyonla bulanıklık kalitesi artırılıp PFO ve mikrobiyal yükü azaltılan bir elma suyunun PEF işlemi uygulanarak kaliteli ve güvenli hale getirilmesi şeklinde bir proses oluşturulabilir.

Kuldiloke (2002) yaptığı çalışmada ultrasesle birlikte sıcaklığın yanı sıra yüksek basınç uygulayarak daha etkili sonuçlar bulmuştur. Dolayısıyla daha fazla UV lambasının kullanıldığı bir fotosonikasyon işlemi 60°C sıcaklıkta ve yüksek basınç altında uygulanabilir. Böylece alternatif bir üretim prosesinin oluşturulması da mümkün olabilir.

Ultrases işlemi tek başına veya diğer ısı olmayan işlemlerle kullanılabilmesi gibi biraz daha yüksek sıcaklıklarda kullanılarak bulanık elma suyu üretiminde ara işlem olarak ısı sistemine entegre edilmesi de uygun olabilir. Böyle bir sistemde ısı işlem uygulanacağı için ultrases değirmenin homojenize etme görevini üstlenerek ısı olmayan işlem kimliğinden uzaklaşacaktır. Fakat böyle bir işlemde bile ısı işlem normları sıcaklık veya süre olarak azalacağı için ürün kalitesinin artması beklenmektedir. Aynı zamanda ultrases işleminin deaerasyon (gaz giderme) için kullanılabilmesi rapor edilmiştir (Santos *et al.* 2009). Ultrasesin ısı işleme entegrasyonu sayesinde hem ultrases işleminin bu çalışmada elde edilmiş birçok olumlu sonuçlarından yararlanılıp hem de gaz gidermek için bulanık elma suyu üretim proseslerinde faydalanılabilir. Çünkü meyvenin elma suyuna işlenmesi sırasında ortamdan karışan hava veya doku boşluklarında doğal olarak %10-15 civarında bulunan hava (Cemeroğlu ve Karadeniz 2009) ultrases işlemiyle uzaklaştırılabilir. Ayrıca bulanık elma suyu üretiminde oksijen varlığında enzimatik esmerleşme olmaması için nötr gazlar kullanılmaktadır (Cemeroğlu ve Karadeniz 2009). Nötr gazlar aynı zamanda ultrases işlemlerinde de kaviteasyonun etkisinin artırılmasında kullanılmaktadır. Yani ortama ilave edilecek olan nötr gazlar sayesinde hem daha az renk esmerleşmesi hem de daha yüksek ultrases etkinliği sağlanabilir. Hatta böyle bir sistemde kaviteasyon etkinliğinin artması

bekleneceği için belki de bu tez çalışmasında elde edilenden daha iyi sonuçların elde edilmesi mümkün olabilir. PFO enziminin reaksiyonlarının sınırlandırılması ile PFO'ların substratı olan fenolik maddelerin kaybının da azalması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Abismail, B., Canselier, J.P., Wilhelm, A.M., Delmas, H. and Gourdon, C., 1999. Emulsification by ultrasound: drop size distribution and stability. *Ultrasonics Sonochemistry*, 6 (1-2), 75-83.
- Aktaş, N., 2008. Gıda teknolojisinde reaksiyon kinetiği. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, Yayın no: 235, Erzurum.
- Alvarez I., Raso J., Palop A. and Sala F.J., 2000. Influence of different factors on the inactivation of *Salmonella senftenberg* by pulsed electric fields. *International Journal of Food Microbiology*, 55 (1-3), 143-146.
- Aydın K., 2009. Ultraviyole ışınları ile suların dezenfeksiyonu. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. 6-9 Mayıs, İzmir.
- Azhari H., 2010 . Safety and therapeutic applications. *Basics of Biomedical Ultrasound For Engineers*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Barbosa-Canovas, G.V., Gongora-Nieto, M.M., Pothakamury, U.R. and Swanson, B.G., 1999a. Fundamentals of high-intensity pulsed electric fields (PEF). *Preservation of foods with pulsed electric fields*. Academic Press, USA.
- Barbosa-Canovas, G.V., Gongora-Nieto, M.M., Pothakamury, U.R. and Swanson, B.G., 1999b. Biological principles for microbial inactivation in electric fields. *Preservation of foods with pulsed electric fields*. Academic Press, USA.
- Barbosa-Canovas, G.V., Gongora-Nieto, M.M., Pothakamury, U.R. and Swanson, B.G., 1999c. PEF inactivation of vegetative cells, spores, and enzymes in foods. *Preservation of foods with pulsed electric fields*. Academic Press, USA.
- Barbosa-Canovas, G.V. and Sepulveda, D., 2005. Present status and the future of PEF technology. *Novel food processing technologies*, Eds: G.V. Barbosa-Canovas, M.S. Tapia and M.P. Cano. CRC Press, New York, USA.
- Basak, S., Ramaswamy, H.S. and Simpson, B.K., 2001. High pressure inactivation of pectin methyl esterase in orange juice using combination treatments. *Journal of Food Biochemistry*, 25 (6), 509-526.
- Beveridge, T., 2002. Opalescent and cloudy fruit juices: formation and particle stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42 (4), 317-337.
- Bintsis, T., Litopoulou-Tzanetaki, E. and Robinson, R.K., 2000. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry - a critical review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80 (6), 637-645.
- Blume, T., Martinez, I. and Neis, U., 2002. Wastewater disinfection using ultrasound and UV light. *TU Hamburg-Harburg Reports on Sanitary Engineering*, 35, 117-128.
- Brujan, E.A., Nahen, K., Shmidt, P. and Vogel, A., 2001. Dynamics of laser induced cavitation bubble near an elastic boundaries: influence of the elastic modulus. *Journal of Fluid Mechanics*, 433, 251 -281.
- Bull, M.K., Zerdin, K., Howe, E., Goicoechea, D., Paramanandhan, P., Stockman, R., Sellahewa, J., Szabo, E.A., Johnson, R.L. and Stewart, C.M., 2004. The effect of high pressure processing on the microbial, physical and chemical properties of Valencia and Navel orange juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5 (2), 135-149.

- Cemeroğlu, B., 2010. Gıda analizlerinde genel yöntemler. Gıda Analizleri, Ed: B. Cemeroğlu. Gıda Teknolojisi Yayınları, No:34, Ankara.
- Cemeroğlu, B. ve Karadeniz, F., 2001. Meyve suyu üretim teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, No: 25, Ankara.
- Cemeroğlu, B. ve Karadeniz, F., 2009. Meyve suyu üretim teknolojisi. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi (1.Cilt), Ed: B. Cemeroğlu. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, No: 38, Ankara.
- Cemeroğlu, B., Yemencioğlu A. ve Özkan M., 2009. Meyve ve sebzelerin bileşimi. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi (1.Cilt), Ed: B. Cemeroğlu. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, No: 38, Ankara.
- Charles-Rodriguez, A.V., Nevarez-Moorillon, G.V., Zhang, Q. H. and Ortega-Rivas, E., 2007. Comparison of thermal processing and pulsed electric fields treatment in pasteurization of apple juice. Food and Bioproducts Processing, 85 (C2), 93-97.
- Chouliara, E., Georgogianni, K.G., Kanellopoulou, N. and Kontominas, M.G., 2010. Effect of ultrasonication on microbiological, chemical and sensory properties of raw, thermized and pasteurized milk. International Dairy Journal, 20 (5), 307-313.
- Coşar, F., 1996. Isparta yöresinde elmacılık ve depolanması ile depolama maliyetlerinin tek düzen hesap planına göre hesaplanması. Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Darby, J.L., Snider, K.E. and Tchobanoglous, G., 1993. Ultraviolet disinfection for wastewater reclamation and reuse subjects to restrictive standards. Water Environment Research, 65 (2), 169-180.
- Davies, M.J. and Truscott, R.J.W., 2001. Photo-oxydation of proteins and its role in cataractogenesis. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 63, (1-3)114-125.
- De Gennaro, L., Cavella, S., Romano, R. and Masi, P., 1999. The use of ultrasound in food technology I: inactivation of peroxidase by thermosonication. Journal of Food Engineering, 39 (4), 401-407.
- Dietrich, H., Gierschner, K., Pecoroni, S., Zimmer, E. and Will, F., 1996. New findings regarding the phenomenon of cloud stability - first results from a continuous research program. Flussiges Obst, 63 (1), 7-10.
- Engin, B., Güneşer, O. and Yüceer, Y.K., 2009. Ultraviyole ışınlarının sütün mikrobiyel özellikleri üzerine etkisi. Gıda, 34 (5), 303-308.
- Ensminger, D. E., 1986. Acoustic dewatering. Battelle Press, Columbus, Ohio.
- Erkmen, O., 2010. Gıda Mikrobiyolojisi. Ed: O. Erkmen. 2. Basım. Efil yayınevi, Ankara, Türkiye.
- Ertugay, M.F., 2009. Isıl olmayan işlemler. Basılmamış lisansüstü ders notları. Erzurum.
- Ertugay, M.F., Yüksel, Y. and Sengül, M., 2003. The effect of ultrasound on lactoperoxidase and alkaline phosphatase enzymes from milk. Milchwissenschaft, 58 (11/12), 593-595.
- Espachs-Barroso, A., Loey, A.V., Hendrickx, M. and Martin-Belloso, O., 2006. Inactivation of plant pectin methylesterase by thermal or high intensity pulsed electric field treatments. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 7 (1-2), 40-48.

- Evrendilek, G.S., Mehmetoğlu, A.Ç., Coşansu, S. and Erkmen, O., 2010. Yeni yöntemlerle gıdaların korunması. *Gıda Mikrobiyolojisi*, Ed: O. Erkmen. 2. Basım. Efil Yayınevi, Ankara.
- Evrendilek, G. A, Jina Z.T., Ruhlman, K.T. Qiu, X., Zhang, Q.H. and Richter, E.R., 2000. Microbial safety and shelf-life of apple juice and cider processed by bench and pilot scale PEF systems. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 1 (1) 77-86.
- Falguera, V., Pagan J. and Ibarz, A, 2011. Effect of UV irradiation on enzymatic activities and physicochemical properties of apple juices from different varieties. *LWT- Food Science and Technology*, 44 (1), 115-119.
- FDA, (Food and Drug Administration), 2000. Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies: pulsed light technology, <http://vm.cfsan.fda.gov/comm/ift-puls.html>.
- Feng, H. and Yang, W., 2011. Ultrasonic processing. *Nonthermal Processing Technologies for Food*, Eds: H.Q. Zhang, G.V. Barbosa-Cánovas, V.M.B. Balasubramaniam, C.P. Dunne, D.F. Farkas, J.T.C. Yuan. Blackwell Publishing, USA.
- Floros, J.D. and Liang, H., 1994. Acoustically assisted diffusion through membranes and biomaterials. *Food Technology*, 48 (12), 79-84.
- Gallego-Juarez, J.A., 2010. High-power ultrasonic processing: recent developments and prospective advances. *Physics Procedia*, 3 (1), 35-47.
- Genovese, D.B., Elustondo, M.P. and Lozano, J.E., 1997. Color and cloud stabilization in cloudy apple juice by steam heating during crushing. *Journal of Food Science*, 62 (6), 1171-1175.
- Giner, J., Gimeno, V., Martin, O., Barbosa-Canovas, G.V. and Martin, O., 2001. Effects of pulsed electric field processing on apple and pear polyphenoloxidases. *Food Science and Technology International*. 7 (4), 339-345.
- Giner, J., Grouberman, P., Gimeno, V. and Martin, O., 2005. Reduction of pectinesterase activity in a commercial enzyme preparation by pulsed electric fields: comparison of inactivation kinetic models. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85 (10), 1613-1621.
- Glickstein, C., 1960. *Basic ultrasonics*. New York: John F. Rider Publisher, Inc.
- Gondrexon, N., Renaudin, V., Petrier, C., Clement, M., Boldo, P., Gonthier, Y. and Bernis, A., 1998. Experimental study of the hydrodynamic behaviour of a high frequency ultrasonic reactor. *Ultrasonics Sonochemistry*. 5 (1), 1-6.
- González-Aguilar, G.A., Villegas-Ochoa, M.A., Martínez-Téllez, M.A., Gardea, A.A. and Ayala-Zavala, J.F., 2007. Improving antioxidant capacity of fresh-cut mangoes treated with UV-C. *Journal of Food Science*, 72 (3), S197-202.
- Goodner, J.K., Braddock, R.J. and Parish, M.E., 1998. Inactivation of pectinesterase in orange and grapefruit juices by high pressure. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 46(5), 1997-2000.
- Goodner, J.K., Braddock, R.J., Parish, M.E. and Sims, C.A., 1999. Cloud stabilizing of orange juice by high pressure processing. *Journal of Food Science*, 64 (4), 699-700.
- Guerrero-Beltrán, J.A. and Barbosa-Cánovas, G.V., 2004. Review: Advantages and limitations on processing foods by UV Light. *Food Science and Technology International*, 10 (3), 137-147.

- Guerrero-Beltrán, J.A. and Barbosa-Cánovas, G.V., 2011. Ultraviolet-C light processing of liquid food products. *Nonthermal Processing Technologies for Food*, Eds: H.Q. Zhang, G.V. Barbosa-Cánovas, V. M. B. Balasubramaniam, C. P. Dunne, D.F. Farkas, J.T.C. Yuan. Blackwell Publishing, USA.
- Guerrero-Beltrán, J.A. and Barbosa-Cánovas, G.V., 2006. Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* and polyphenoloxidase in mango nectar treated with UV light. *Journal of Food Protection*, 69 (2), 362-368.
- Hielscher, Ultraschall-Technologie, 2007. UP200S/UP400S Betriebsanleitung, ultraschall prozessoren für Laboranwendungen. (UP200S/UP400S Kullanma Klavuzu, laboratuvar uygulamaları için ultrasonik işlemciler). p:4, 8, 10. Germany.
- Kantaş, Y., 2007. Effect of ultrasound on drying rate of selected produce. Doktora tezi. METU, Ankara.
- Karadeniz, F. ve Ekşi, A., 2001a. Elma suyunda esmerleşme düzeyi ile doğal etkenler arasındaki ilişki. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 7 (4), 102-105.
- Karadeniz, F. ve Ekşi, A., 2001b. Elma suyunda fenolik madde dağılımı üzerine araştırma. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 7 (3), 135-141.
- Karagözlü, N., 2004. Meyve sularında bozulma etmeni: *Alicyclobacillus acidoterrestris*. *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8 (1):15-21.
- Karel, M. and Lund, D.B., 2003. *Physical principles of food preservation* (Second edition, revised and expanded). Marcel and Dekker, USA.
- Keleş, F., 1986. Amasya ve Golden elmalarının polifenol oksidazları üzerinde araştırmalar I. Genel özellikler. *Doğa*, 10 (2), 224-234.
- Keleş, F., 1987. Gıdalarda enzimatik esmerleşme ve kontrolü. *Doğa*, 11(1), 105-121.
- Kentish, S. and Ashokkumar, M., 2011. The physical and chemical effects of ultrasound. *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*, Eds: H. Feng, G.V. Barbosa-Cánovas and J. Weiss. Springer, New York.
- Koutchma, T.N. Forney, L.J. and Moraru, C.I., 2009. *Ultraviolet light in food technology - principles and applications*. CRC Press, USA.
- Kuldiloke, J., 2002. Effect of Ultrasound, temperature and pressure treatments on enzyme activity and quality indicators of fruit and vegetable juices. Doktora tezi. Technischen Universität Berlin, Berlin, Germany.
- Leadly, C. and Williams, A., 2001. Current and potential applications for power ultrasound in the food industry. *New Food*, 4 (3), 23-6.
- Lopez, P. and Burgos, J., 1995a. Peroxidase stability and reactivation after heat treatment and manothermosonication. *Journal of Food Science*, 60 (3), 451-455.
- Lopez, P. and Burgos, J., 1995b. Lipoxigenase inactivation by manothermosonication: effects of sonication physical parameters, pH, KCl, sugars, glycerol, and enzyme concentration. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43 (3), 620-625.
- Lopez, P., Vercet, A., Sanchez, A.C. and Burgos, J., 1998. Inactivation of tomato pectic enzymes by manothermosonication. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*, 207 (3), 249-252.
- Louisnard, O. and González-García, J., 2011. Acoustic cavitation. *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*, Eds: H. Feng, G.V. Barbosa-Cánovas and J. Weiss. Springer, New York.
- Mannapperuma, J.D., 1996. Residual management in fruit processing plants, p: 461-499. *Processing fruits: science and technology*, V:1. Biology, principles, and

- applications, Eds: L.P. Somogyi, H.S. Ramaswamy and Y.H. Hui. Technomic, Lancaster, Pa.
- Manzocco, L., Quarta, B. and Dri, A., 2009. Polyphenoloxidase inactivation by light exposure in model systems and apple derivatives. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10 (4), 506-511.
- Markowski, J., Baron, A., Mieszczakowska M. and Płocharski W., 2009. Chemical composition of French and Polish cloudy apple juices. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 51, 68-74.
- Mason, T.J., Paniwnyk, L. and Chemat F., 2003. Ultrasound as a preservation technology. *Food preservation techniques*, Eds: P. Zeuthen and L. Bugh-Sørensen. CRC Press, USA.
- Mason, T.J., 1990. A survey of commercially available sources of ultrasound suitable for sonochemistry. *Sonochemistry: the uses of ultrasound in chemistry*, Ed: T.J. Mason. The Royal Society of Chemistry: Cambridge, pp. 60-68.
- Mason, T.J., 1998. Power ultrasound in food processing the way forward. M.J.W. Povey and T.J. Mason. *Ultrasound in food processing*. Blackie Academic and Professional: London, pp. 105-126.
- Mason, T.J., 1999. *Sonochemistry*. Oxford University Press: Oxford.
- Mason, T.J., 1992. Industrial sonochemistry: potential and practicality. *Ultrasonics*, 30 (3), 192-196.
- Mason, T.J. and Lorimer J.P., 2002. *Applied sonochemistry: uses of power ultrasound in chemistry and processing*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Mason, T.J., Riera E., Vercet A. and Lopez-Buesa, P., 2005. Application of ultrasound. *Emerging technology for food processing*, Ed: D.W. Sun. Elsevier Academic Press, Londra.
- Mawson, R., Gamage M., Terefe N.S. and Knoerzer, K., 2011. Ultrasound in Enzyme Activation and Inactivation, *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*, Eds: H. Feng, G.V. Barbosa-Canovas and J. Weiss. Springer, New York.
- Mayer., A.M., 1987. Polyphenol oxidases in plants-recent progress. *Phytochemistry*, 26 (1):11.
- Min, S., Jin, Z.T., Min, S.K., Yeom, H. and Zhang Q.H., 2003. Commercial-scale pulsed electric field processing of orange juice. *Journal of Food Science*, 68 (4), 1265-1271.
- Nagel, B., 1992. Kontinuierliche herstellung von hochwertigen naturtrüben Apfelsäften. *Flüss Obst*, 59:6-8.
- Nizamlioğlu, N.M., ve Nas, S., 2010. Meyve ve sebzelerde bulunan fenolik bileşikler: yapıları ve önemleri. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5 (1), 20-35.
- Noci, F., Riener, J., Walkling-Ribeiro, M., Cronin, D.A., Morgan, D.J. and Lyng, J.G., 2008. Ultraviolet irradiation and pulsed electric fields (PEF) in a hurdle strategy for the preservation of fresh apple juice. *Journal of Food Engineering*, 85 (1), 141-146.
- Nyborg, W. L., 1965. *Acoustic streaming*, Vol. 2B, Academic Press, New York.
- O'Donnell, C.P. Tiwari, B.K., Bourke P. and Cullen, P.J., 2010. Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. *Trends in Food Science and Technology*, 21 (7), 358-367.

- Ohlsson, T. and Bengtsson, N., 2002. Minimal processing of foods with non-thermal methods. Minimal processing technologies in the food industry, Eds: T. Ohlsson and N. Bengtsson. CRC Press LLC, USA.
- Özbek, S., 1985. Genel meyvecilik. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Yayın No: 111, Adana, 386 ss.
- Ozdemir, M., 2001. Mathematical analysis of color changes and chemical parameters of roasted hazelnuts. Ph.D. thesis. Istanbul Technical University, 161 pp.
- Özkan, M., Kırca, A. ve Cemeroğlu, B., 2010. Gıdalara uygulanan bazı analiz yöntemleri. Gıda analizleri, Ed: B. Cemeroğlu. Gıda Teknolojisi Yayınları, No:34, Ankara.
- Özoğlu, H. and Bayındırlı, A., 2002. Inhibition of enzymatic browning in cloudy apple juice with selected antibrowning agents. Food Control, 13 (4), 213-221.
- Pagan, R., Mañas, P., Alvarez, I. and Condon, S., 1999. Resistance of *Listeria monocytogenes* to ultrasonic waves under pressure at sublethal (manosonication) and lethal (manothermosonication) temperatures. Food Microbiology, 16 (2), 139-148.
- Pecoroni, S., Zimmer, E., Gierschner, K., and Dietrich, H., 1996. Stable naturally cloudy apple juices - manufacturing technology and influence of raw materials (in German). Flussiges Obst, 63 (1), 11-15.
- Picart, L. and Cheftel, J.C., 2003. Pulsed electric fields. Food preservation techniques, Ed: P. Zeuthen and L. Bugh-Sørensen, CRC Press, USA.
- Piyasena, P., Mohareb, E. and McKellar, R.C., 2003. Inactivation of microbes using ultrasound: a review. International Journal of Food Microbiology 87 (3), 207-216.
- PowerMod, 2008. PowerMod 25kW PEF treatment system operations manual - Original revision. Diversified Technologies Inc., MA, USA.
- Riahi, E. and Ramaswamy, H.S., 2003. High-pressure processing of apple juice: kinetics of pectin methyl esterase inactivation. Biotechnology Progress, 19 (3), 908-914.
- Riener, J., Noci, F., Cronin, D.A., Morgan, D.J. and Lyng., J.G., 2008. Combined effect of temperature and pulsed electric fields on apple juice peroxidase and polyphenoloxidase inactivation. Food Chemistry, 109 (2), 402-407.
- Sakamoto, G. and Zimmer, C., 1997. UV disinfection for wastewater reclamation: the effect of particle size and suspended solids. PNPCA Annual Conference, October 26-29, Seattle, Washington.
- Salleh-Mack, S.Z., Roberts J.S., 2007. Ultrasound pasteurization: the effects of temperature, soluble solids, organic acids and pH on the inactivation of *Escherichia coli* ATCC 25922. Ultrasonics Sonochemistry 14 (3), 323-329.
- Sanchez-Vega, R., Mujica-Paz, H., Marquez-Melendez, R., Ngadi, M.O. and Ortega-Rivas, E., 2009. Enzyme inactivation on apple juice treated by ultrapasteurization and pulsed electric fields technology. Journal of Food Processing and Preservation, 33 (4), 486-499.
- Santos, H.M., Lodeiro, C., and Capelo-Martínez, J.L., 2009. The power of ultrasound. Ed. José-Luis Capelo-Martínez, Ultrasound in Chemistry: Analytical Applications. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Santos, H.M. and Capelo, J.L., 2007. Trends in ultrasonic-based equipment for analytical sample treatment. Talanta, 73 (5), 795-802.

- Şengül, M., Erkaya, T., Başlar, M. and Ertugay, M.F., 2011. Effect of photosonication on inactivation of total and coliform bacteria in milk. *Food Control*, 22 (11), 1803-1806.
- Stahle-Hamatschek, S., 1989. Cloud composition and its effect on cloud stability in natural cloudy apple juices (in German). *Flussiges Obst*, 56 (9), 543-548.
- Suslick, K.S., 1989. The Chemical Effects of Ultrasound. *Scientific American*, 2 (260), 80-86.
- Suslick, K.S., 2006. The chemistry of ultrasound. Retrieved March 2, 2007, Ulaşım adresi: <http://www.scs.uiuc.edu/~suslick/britannica.html>.
- Tetik, N., 2005. Doğal bulanık elma suyunda bulanıklık stabilitesi üzerine presleme ortamı ve depolama koşullarının etkisi. Yüksek lisans tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Tiwari, B.K., Muthukumarappan, K., O'Donnell, C.P. and Cullen., P.J., 2008. Effects of sonication on the kinetics of orange juice quality parameters. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 56 (7), 2423-2428.
- Toepfl, S., Heinz, V. and Knorr, D., 2005. Overview of pulsed electric field processing for food. *Emerging technology for food processing*, Ed: D.W Sun. Elsevier Academic Press, Londra.
- Torley, P.J. and Bhandari, B.R., 2007. Ultrasound in food processing and preservation. *Handbook of food preservation*, Ed: M. Shafiur Rahman. CRC Press, USA.
- Torres, B., Tiwari, B.K., Patras, A., Wijngaard, H.H, Brunton, N., Cullen, P.J. and O'Donnell, C.P., 2011. Effect of ozone processing on the colour, rheological properties and Phenolic content of apple juice. *Food Chemistry*, 124 (3), 721-726.
- Toy, M.S. and Carter, M.K., 1990. Method for detecting organic compounds by photoacoustic conversion. US patent. Patent No: 4945063, 31 July.
- Tran, M.T.T. and Farid, M., 2004. Ultraviolet treatment of orange juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5 (4), 495-502.
- Urlaub, R., 2002. Enzymes in fruit and vegetable juice extraction. *Enzymes in food technology*, Eds: R. Whitehurst and B.A. Law. CRC Press, USA.
- USDA, 2011. United States department of agriculture (USDA) resmi web sayfası. http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl. Erişim tarihi: 11.11.2011.
- Valero, M., Recrosio N., Saura D., Munoz N., Marti N. and Lizama V., 2007. Effects of ultrasonic treatments in orange juice processing. *Journal of Food Engineering*, 80 (2), 509-516.
- Vercet, A., Lopez, P. and Burgos, J., 1997. Inactivation of heat-resistant lipase and protease from *Pseudomonas fluorescens* by manothermosonication. *Journal of Dairy Science*, 80 (1), 29-36.
- Vercet, A., Lopez, P. and Burgos, J., 1999. Inactivation of heat-resistant pectinmethylesterase from orange by manothermosonication. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47 (2), 432-437.
- Vercet, A., Sanchez, C., Burgos, J., Montanes, L. and Lopez-Buesa, P., 2002. The effects of manothermosonication on tomato pectic enzymes and tomato paste rheological properties. *Journal of Food Engineering*, 53 (3), 273-278.

- Versteeg, C., Rombouts, F.M., Spaansen, C. H. and Pilnik, W., 1980. Thermostability and orange juice cloud destabilizing properties of multiple pectinesterases from orange. *Journal of Food Science*, 45 (4), 969-971.
- Weiss, J., Gulseren, I. and Kjartansson, G., 2011. Physicochemical effects of high-intensity ultrasonication on food proteins and carbohydrates. *Nonthermal processing Technologies for Food*, Eds: H.Q. Zhang, G.V. Barbosa-Cánovas, V. M. B. Balasubramaniam, C. P. Dunne, D.F. Farkas, J.T.C. Yuan. Blackwell Publishing, USA.
- Wibetoe, G., Takuwa, D.T., Lund, W. and Sawula, G., 1999. Coulter particle analysis used for studying the effect of sample treatment in slurry sampling electrothermal atomic absorption spectrometry. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*, 363 (1), 46-54.
- Worobo, R.W. and Splittstoesser, D.F., 2000. Microbiology of fruit products. *Processing Fruits Science and Technology*, Eds: D.M. Barrett, L. Somogyi and H. Ramaswamy. CRC Press LLC, USA.
- Wouters, P.C, Dutreux, N., Smelt, J.P.P.M. and Lelieveld, H.L.M., 1999. Effects of pulsed electric fields on inactivation kinetics of *Listeria innocua*. *Applied Environmental Microbiology*, 65 (12), 5364-5371.
- Wouters, P.C., 2001. Pulsed electric field inactivation of microorganisms, PhD Thesis, Technical University of Berlin, Germany.
- Wu, J., Gamage T.V., Vilku K.S., Simons L.K. and Mawson R., 2008. Effect of thermosonication on quality improvement of tomato juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9 (2), 186-195.
- Yeom, H.W. and Zhang, Q.H., 2001. Enzymatic inactivation by pulsed electric fields: a review. *Pulsed electric field in food processing- Fundamental aspects and applications*, Eds: Barbosa-Canovas, Q.H. Zhang and G. Tabilo-Munizaga. Technomic Publishing Company, USA
- Yıldız, H. ve Baysal, T., 2003. Bitkisel fenoliklerin kullanım olanakları ve insan sağlığı üzerine etkileri. *Gıda Mühendisliği Dergisi*, 29-35.
- Zhang, Q., Barbosa-Canovas, G.V., and Swanson, B.G., 1995. Engineering aspects of pulsed electric field pasteurization. *Journal of Food Engineering*, 25 (2), 261-281.
- Zhou, L., Wang, Y., Hu, X., Wu, J. and Liao, X., 2009. Effect of high pressure carbon dioxide on the quality of carrot juice *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10 (3), 321-327.
- Raviyan, P., Zhang, Z. and Feng, H., 2005. Ultrasonication for food enzyme inactivation: effect of cavitation intensity and temperature on inactivation. *Journal of Food Engineering* 70 (2), 189-196.
- Feng, H., Yang, W. and Hielscher, T., 2009. Power Ultrasound. *Food Science and Technology International*, 14 (5), 433-436.
- Aguilar-Rosas, S.F., Ballinas-Casarrubias, M.L., Nevarez-Moorillon, G.V., Martin-Belloso, O. and Ortega-Rivas, E., 2007. Thermal and pulsed electric fields pasteurization of apple juice: effects on physicochemical properties and flavour compounds. *Journal of Food Engineering*, 83 (1), 41-46.
- Rivasa, A., Rodrigo, D., Martinez, A., Barbosa-Canovas, G.V. and Rodrigo, M., 2006. Effect of PEF and heat pasteurization on the physical-chemical characteristics of

blended orange and carrot juice. *LWT-Food Science and Technology*, 39 (10), 1163-1170.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Üsküdar'da doğdu. İlkokul ve ortaokulu Konya'nın İmrenler Kasabası'nda, liseyi Beyşehir'de tamamladı. 2001 yılında başladığı Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden 2005 yılında mezun oldu. Aynı yıl Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2006'da aynı anabilim dalında araştırma görevlisi oldu. 2008 yılında "ISO 22000 - Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi" konulu Avrupa Birliği projesi kapsamında eğitim, teknik gezi ve inceleme için 2,5 aylığına Almanya'ya görevlendirildi. Aynı yıl "Ekmeklik buğday unlarının bazı kalite özelliklerinin yakın kızılötesi spektroskopisi (NIRS) kullanılarak belirlenmesi" konulu yüksek lisans tezini bitirerek aynı ana bilim dalında doktora başladı. 2009 yılında Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi oldu. 2011'de YÖK tarafından ABD'deki Washington State Üniversitesi'nde doktora tez araştırmalarının bir kısmını tamamlamak için 3 aylığına görevlendirildi.