

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İ.T.Ü. KOSGEB'DE GELİŞTİRİLMekte OLAN MİKRODALGA
FIRINDA ELMA MEYVESİNİN KURUTULMASINA YÖNELİK BİR
ÇALIŞMA**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Kimya Müh. Aysun KANAT
506981025**

101410

101410

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Nisan 2001

Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Mayıs 2001

Tez Danışmanı :

Prof. Dr. A. Nursen İPEKOĞLU

Diğer Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Selma TÜRKAY

Prof. Dr. Onur DEVRES

MAYIS 2001

ÖNSÖZ

Gıda endüstrisinde mikrodalgaların kullanımı günümüzde hızla yaygınlaşmaktadır. Mikrodalga ile besinlerin kurutulmasının endüstriyel olarak sağladığı avantajlar nedeniyle, mikrodalga ile kurutma, üzerinde yoğun olarak çalışılan konulardan biri olmuştur.

Bu çalışmada İ.T.Ü. KOSGEB’de Makimsan Firması’nın tasarlayıp ürettiği endüstriyel ölçekli mikrodalga fırında önemli bir besin maddesi olan elma kurutulmuş, farklı sıcaklık, farklı fırın hava hızı ile çalışılmış, kararmanın önüne geçebilmek için farklı konsantrasyonlarındaki sitrik asit çözeltileri denenmiştir.

Tüm çalışma boyunca her türlü desteğini ve ilgisini sürekli olarak gördüğüm, her zaman yanımda olan değerli Hocam Prof. Dr. A. Nursen İpekoğlu’na teşekkürlerimi sunarım.

Deneyisel çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen İ.T.Ü. KOSGEB Makimsan Müdürü Sayın Harun Kuraner ve Sayın Sıtkı Orhan’a, Gıda Mühendisliği Bölümü’nden Prof. Dr. A. Özgül Evranuz’a ve Prof. Dr. Onur Devres’e ve çalışmam sırasında ilgi ve desteklerini sürekli olarak gördüğüm Sevgili Mahmut Sürmen ve Araş. Gör. Gıda Yük. Müh. Filiz Lokumcu’ya ve diğer Gıda Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi Arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük emekleri geçen başta canım annem ve babam olmak üzere tüm aileme her zaman gösterdikleri sonsuz ilgi ve hoşgörülerinden dolayı minnetlerimi sunar ve teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Ocak, 2001

Aysun KANAT

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvi
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. KURUTMA	3
2.1. Kurutmanın Temel Prensipleri	3
2.2. Kurutmanın Aşamaları	4
2.3. Kuruma Hızını Etkileyen Faktörler	6
2.3.1. Sıcaklık	6
2.3.2. Kurutma havasının hızı	6
2.3.3. Kurutulan maddenin yüzey alanı	7
2.3.4. Kurutma havasının nemi	7
2.3.5. Ortamın basıncı	7
2.3.6. Diğer değişkenler	7
2.4. Kuruma Hızı Değerlerinde Kuruma Zamanlarının Tahmini	8
2.4.1. Kuruma hızı eğrisi orijinden geçen azalan hız periyodundaki maddeler	8
2.4.2. Birden fazla azalan hız periyoduna sahip maddeler	9
2.5. Gıdaların Kurutulması	10
2.6. Kurutucu Çeşitleri	11
2.6.1. Fırın kurutucular	11
2.6.2. Kabin kurutucular	11
2.6.3. Tünel kurutucular	12
2.6.4. Bantlı kurutucular	13
2.6.5. Püskürtmeli kurutucular	14
2.6.6. Vakum kurutucular	15
2.6.7. Döner kurutucular	15
2.6.8. Dondurarak kurutmanın yapıldığı kurutucular	15

2.6.9. Mikrodalgalı kurutucular	16
2.7. Su Aktivitesi	16
2.7.1. Su aktivitesinin termodinamik esasları	18
3. MİKRODALGA ENERJİNİN TEMELLERİ	20
3.1. Mikrodalga Kullanımı İle İlgili Gelişmeler	20
3.2. Mikrodalga Enerjinin Fiziksel Özellikleri	21
3.3. Mikrodalga Fırınlar	23
3.4. Mikrodalga Fırınların Çalışması	23
3.5. Magnetronun Tarihi	26
3.6. Magnetronun Yapısı ve Çalışma Prensipleri	27
3.7. Mikrodalga Isıtmaya Etki Eden Faktörler	30
3.7.1. Mikrodalga enerjisinin frekansı	31
3.7.2. Gıda maddesinin elektrik iletkenliği	32
3.7.3. Mikrodalga gücü ve ısıtma hızı	32
3.7.4. Gıdanın spesifik ısısı	33
3.7.5. Gıdanın su içeriği	33
3.7.6. Gıda maddesinin fiziksel geometrisi	34
3.7.7. Gıda maddesinin kütlesi	34
3.7.8. Gıdanın ısı iletkenliği	34
3.7.9. Gıdanın yoğunluğu	35
3.7.10. Gıdanın sıcaklığı	35
3.8. Gıdaların Mikrodalga İle Isıtılması	36
3.9. Mikrodalgaların Maddelerle Etkileşimi	36
3.10. Gıda Endüstrisinde Mikrodalga Uygulamaları	37
3.10.1. Pişirme operasyonları	38
3.10.1.1. Et pişirme	38
3.10.1.2. Hafif ateşte kaynatma	38
3.10.1.3. Fırında pişirme	38
3.10.1.4. Derin kızartma	38
3.10.1.5. Buğulama ve kaynatma	39
3.10.1.6. Sosların mikrodalgada hazırlanması	39
3.10.2. Eritme ve çözme	39
3.10.3. Temperleme	39
3.10.4. Tavlama	40
3.10.5. Pastörizasyon ve sterilizasyon	41
3.11. Mikrodalga Isıtmanın Avantajları	41
3.12. Mikrodalga Isıtmanın Dezavantajları	42
3.13. Mikrodalga Fırınlarda Güvenlik Standardı	43

3.14. Mikrodalgayla Yapılmış Diğer Çalışmalar	44
4. ELMANIN YAPISI VE ÖZELLİKLERİ	48
4.1. Enzimatik Kahverengileşme	51
5. MİKRODALGA FIRINDA ELMA KURUTULMASI	53
5.1. Materyal ve Metot	53
5.1.1. Elmaların hazırlanması	53
5.1.2. Sitrik asit çözeltilerinin hazırlanması	53
5.1.3. Kurutma	53
5.1.3.1. Mikrodalga fırında kurutma	53
5.1.3.2. Etüvde kurutma	57
5.1.3.3. Tünel kurutucuda kurutma	57
5.2. Deneylerde Kullanılan Mikrodalga Fırının Özellikleri	57
5.2.1. Sistemin Çalıştırılması	58
5.3. Elmaların Nem Tayini	60
5.4. Elmaların Nem İçeriğinin Hesaplanması	61
5.5. Elmaların Rehidrasyon Kapasiteleri	61
5.6. Su Aktivitesi Tayini	61
5.7. Mikrodalga Fırında Yapılan Kurutma Deneyleri	62
5.7.1. Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 5 sitrik asit çözeltilisine ve damıtık suya batırılmış elma parçalarının kurutulması	62
5.7.2. Sıcaklığı 55 ± 3 °C'ye ayarlanan mikrodalga fırında % 0,5 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltilisine batırılmış elma parçalarının 30,1 m/dak, 51,7 m/dak, 70,1 m/dak hava hızlarında kurutulması	64
5.7.3. Sıcaklığı 55 ± 3 °C'ye ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltilisine batırılmış elma parçalarının 51,7 m/dak, 70,1 m/dak, 90,1 m/dak hava hızlarında kurutulması	66
5.7.4. Sıcaklığı 65 ± 3 °C'ye ayarlanan mikrodalga fırında % 2 ve % 4 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltilisine batırılmış elma parçalarının 51,7 m/dak, hava hızında kurutulması	68
5.7.5. Sıcaklığı 65 ± 3 °C'ye ayarlanan mikrodalga fırında % 2 ve % 4 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltilisine batırılmış elma parçalarının 70,1 m/dak hava hızında kurutulması	70
5.8. Su Aktivitesi Deneyleri	71
5.9. Rehidrasyon Deneyleri	73
5.10. Mikrodalga Kurutma Sonrası Etüv ve Tünel Kurutucu Son Kurutma Deneyleri	79

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	103
KAYNAKLAR	106
EKLER	110
ÖZGEÇMİŞ	114



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Mikrodalga kullanımı ile ilgili gelişmeler	21
Tablo 3.2. Gıdaların ve diğer bazı materyallerin 2450 MHz' de (oda sıcaklığında, 20 °C) dielektrik özellikleri	25
Tablo 3.3. Bazı yaygın materyaller için kayıp faktörler	25
Tablo 3.4. Magnetronun tarihi	26
Tablo 3.5. 2450 MHz Mikrodalga frekansında su ve buzun dielektrik özellikleri	36
Tablo 4.1 Elmanın 100 gramında bulunan mineral maddelerin miktarları	49
Tablo 4.2 Elma ve elma ürünlerinin bileşenlerinin ortalama değerleri	49
Tablo 4.3 Yıllara göre kuru elma ihracat miktarları ve ihracat bedelleri	50
Tablo 4.4 Yıllara göre ithal edilen kuru elma miktarları ve ithalat bedelleri	50
Tablo 5.1. Fanların AC sürücü hızlarına göre verdiği hava miktarı (m/dak)....	60
Tablo 5.2. Bant hızlarına göre zaman röleleri	60
Tablo 5.3. Su aktivitesi deney sonuçları	72
Tablo A.1 % 5 sitrik asit çözeltisine ve damıtık suya batırılıp mikrodalga fırında kurutulan elmaların nem içeriklerinin zamana göre değişimi T = 55±3 °C Hava hızı = 51,7 m/dak	109
Tablo A.2. % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılıp mikrodalga fırında kurutulan elmaların nem içeriklerinin zamana göre değişimi T = 55±3 °C Hava hızı = 30,1 m/dak, 51,7 m/dak, 70,1 m/dak.....	110
Tablo A.3. % 2 sitrik asit çözeltisine batırılıp mikrodalga fırında kurutulan elmaların nem içeriklerinin zamana göre değişimi T = 55±3 °C Hava hızı = 51,7 m/dak 70,1 m/dak, 90,1 m/dak.....	110
Tablo A.4. % 2 ve % 4 sitrik asit çözeltisine batırılıp mikrodalga fırında kurutulan elmaların nem içeriklerinin zamana göre değişimi T = 65±3 °C Hava hızı = 51,7 m/dak	111
Tablo A.5. %2 ve % 4 sitrik asit çözeltisine batırılıp mikrodalga fırında kurutulan elmaların nem içeriklerinin zamana göre değişimi T = 65±3 °C Hava hızı = 70,1 m/dak	111

Tablo A.6.	İlk aşamada mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde ve tünel kurutucuda kurutulan, % 5'lik sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının nem içeriklerinin zamana göre değişimi (140. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.) T = 55±3 °C, Hava hızı = 51,7 m/dak	112
-------------------	--	-----



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	: Elma dilimlerinin desorpsiyon izotermi ve farklı nem içeriklerinde kuruma hızları	4
Şekil 2.2	: Bir kabin kurutucunun şematik gösterilişi.....	12
Şekil 2.3	: Tünel kurutucuların şematik gösterilişi.....	13
Şekil 2.4	: 4 Bantlı kurutucu.....	14
Şekil 2.5	: Su aktivitesi (a) ve gıda maddelerindeki bozunma reaksiyonları arasındaki ilişki	17
Şekil 3.1	: ISM bandı	23
Şekil 3.2	: Basitleştirilmiş elektromanyetik dalga gösterimi	24
Şekil 3.3	: Magnetronun yapısı ve fonksiyonları	28
Şekil 3.4	: Magnetronun salınımının mekanizması	29
Şekil 3.5	: Mikrodalga (RF) ısıtmanın bisküvilerin nem oranı üzerindeki etkisi	44
Şekil.3.6	: Patates dilimlerinin mikrodalga ve sıcak hava ile kurutulmasının karşılaştırılması.....	45
Şekil 5.1	: Deneylerde kullanılan mikrodalga fırını	54
Şekil 5.2	: Mikrodalga fırının kontrol panelinin yandan görünüşü	55
Şekil 5.3	: Mikrodalga fırının kontrol panelinin yakından görünüşü	55
Şekil 5.4	: Mikrodalga fırının kontrol panelinin detaylı görünüşü	56
Şekil 5.5	: Mikrodalga jeneratörü	57
Şekil 5.6	: Kurutulan maddelerin hareketini sağlayan bantlar	58
Şekil 5.7	: Mikrodalga fırın bantına yerleştirilmiş elma örnekleri	59
Şekil 5.8	: Hazırlanan elmaların mikrodalga fırın bandına yerleştirilmesi	63
Şekil 5.9	: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri	63
Şekil 5.10	: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında damıtık suya batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri	64
Şekil 5.11	: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 30,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 0,5 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri	65
Şekil 5.12	: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 0,5 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri	65
Şekil 5.13	: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 0,5 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri	66

Şekil 5.14	: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri	67
Şekil 5.15	: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri	67
Şekil 5.16	: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 90,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri .	68
Şekil 5.17	: Sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri .	69
Şekil 5.18	: Sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 4 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri .	69
Şekil 5.19	: Sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri .	70
Şekil 5.20	: Sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 4 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri .	71
Şekil 5.21	: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 5 sitrik asit çözeltisine batırılarak kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri	73
Şekil 5.22	: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında damıtık suya batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri.....	74
Şekil 5.23	: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 30,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 0,5 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri	74
Şekil 5.24	: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 0,5 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri	75
Şekil 5.25	: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 0,5 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri	75
Şekil 5.26	: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri	76
Şekil 5.27	: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri	76

Şekil 5.28	: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 90,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri.....	77
Şekil 5.29	: Sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri	77
Şekil 5.30	: Sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 4 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri	78
Şekil 5.31	: Sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri	78
Şekil 5.32	: Sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri	79
Şekil 5.33	: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri. (140. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)	80
Şekil 5.34	: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının (170. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.)	81
Şekil 5.35	: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan damıtık suya batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (140. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)	81
Şekil 5.36	: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan damıtık suya batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (140. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)	82
Şekil 5.37	: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)	83

Şekil 5.38	: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra tünel kurutucuda kurutma işlemine devam edilmiştir)	84
Şekil 5.39	: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 30,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (180. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)	85
Şekil 5.40	: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 30,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının nem içeriğinin zamana göre değişimi (180. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.)	86
Şekil 5.41	: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan itibaren kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)	87
Şekil 5.42	: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.)	88
Şekil 5.43	: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (180. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)	89
Şekil 5.44	: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (180. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.)	90
Şekil 5.45	: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (180. dakikadan itibaren kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir).....	91
Şekil 5.46	: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (180. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.)	92

Şekil 5.47	: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir)	93
Şekil 5.48	: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.)	94
Şekil 5.49	: İlk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (160. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir)	95
Şekil 5.50	: İlk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının zamana kuruma eğrileri (160. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir)	96
Şekil 5.51	: İlk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 4 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (160. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)	97
Şekil 5.52	: İlk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 4 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (160. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.)	98
Şekil 5.53	: İlk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 4 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)	99
Şekil 5.54	: İlk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 4 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.).....	100
Şekil 5.55	: İlk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)	101

Şekil 5.56 : İlk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.) 102



SEMBOL LİSTESİ

λ	: Dalga boyu, (cm)
f	: Fugasite, (Pa)
μ	: Kimyasal potansiyel, (kJ)
f°	: Saf komponentin fugasitesi, (Pa)
ϵ'	: Maddenin dielektrik sabiti
ϵ''	: Maddenin dielektrik kayıp faktörü
η_e	: Verim
λ_o	: Uzaydaki dalga boyu, (cm)
a	: Su aktivitesi
B	: Manyetik alan kuvveti, (Gauss)
c	: Işık hızı, (m/sn)
C_p	: Isı kapasitesi, (kJ/kg °C)
D_0	: İşleme derinliği, (cm)
E	: Elektrik alanının kuvveti, (V/m)
E_q	: Kuantum enerjisi, (eV)
f	: Frekans, (Hz)
F	: Serbest enerji, (kJ)
H	: Entalpi, (kJ)
h	: Planck sabiti, (js)
k	: Güç ve hacimle ilgili bir sabit
N	: Anot tabakaların sayısı
P	: Sistemdeki suyun basıncı, (Pa)
P°	: Saf suyun buhar basıncı, (Pa)
Q	: Isı, (kJ)
r_a	: Anot çapı, (cm)
r_c	: Katot çapı, (cm)
S	: Entropi, (kJ/K)
T	: Sıcaklık, (°C)
$\tan\delta$	: Maddenin kayıp tanjantı
V_a	: Anot voltajı, (Volt)
X	: Nem içeriği, (g su/g kuru madde)

ÖZET

Son yıllarda özellikle gelişmiş ülkelerde, tüketicinin bilinçlenmesi ile yüksek kalitede ve üstün lezzetteki gıda ürünlerine olan istemin hızla artmasının yanı sıra, düşük işleme ve dağıtım maliyetleri ile, yüksek derecede güvenli ve uzun bir raf ömrü olan gıdaların üretimi önem kazanmaya başlamıştır.

Mikrodalga ile yapılan çalışmaların son yıllarda hız kazanması, özellikle mikrodalga enerjinin endüstride kullanılan diğer ısısal uygulamalardan tamamen farklı bir ısıtma mekanizması ile, işlem süresini kısaltması, gıdanın yüzeyinde aşırı bir ısınmayı engelleyen homojen ısı dağılımı, sadece gıdayı ısıtarak seçici bir ısıtma sağlaması ile paketli gıdaların ısıtılabilme olanağı, ekipmanların az yer kaplaması ve kolay temizlenebilmesi gibi sağladığı avantajları nedeniyledir.

Bu çalışmada İ.T.Ü. KOSGEB’de bulunan Makimsan Firmasının pizza ve ekmek pişirmek için tasarlayıp ürettiği mikrodalga fırının elma meyvesinin kurutulmasında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Mikrodalga fırında 65 ± 3 °C ve 55 ± 3 °C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta, 30,1 m/dak, 51,7 m/dak, 70,1 m/dak ve 90,1 m/dak hava akım hızlarında, damıtık suya ve kararmanın önüne geçebilmek için % 0,5, % 2, % 4 ve % 5 sitrik asit çözeltilerine batırılarak, halka, dilim ve küp şeklinde kesilmiş elma örnekleri kurutulmuştur.

Kurutulan elma örneklerinin su aktiviteleri ve rehidrasyon kapasiteleri ölçülerek kurutmaya tünel kurutucu ve etüvde devam edilmiştir. Ayrıca kurutulmuş örnekler renk, şekil ve tat değişikliği açısından gözlenmiştir.

SUMMARY

In recent years, especially in developed countries, with the consumers becoming more conscious, besides the increasing demand for high quality and tasteful food products, low production and distribution costs, high reliability and long shelf life is becoming more important.

Searches on microwave heating is accelerated, because of microwave energy with having a different mechanism from other thermal applications, has the advantages of decreasing process time, preventing excess heating on the food surface, selectively heating only the food in a package, covering small working area and easily cleaning.

In this study, the suitability of a microwave oven, that has been developed in İ.T.Ü. KOSGEB for drying pizza and bread has been investigated for its suitability for dehydration of apple.

55 ± 3 °C and 65 ± 3 °C are chosen for microwave oven temperature. At 30,1 m/min, 51,7 m/min, 70,1 m/min and 90,1 m/min air velocities apple parts are dehydrated in microwave oven. Apple parts have been cut into different shapes as cubes, slices and rings and in order to prevent browning they have been put either in distilled water or in citric acid solutions of % 0,5, % 2, % 4, % 5 concentrations.

The drying has been continued in tunnel dryer and conventional oven after the water activation and rehydration capacities of the dehydrated apple samples have been evaluated. In addition to this, the dehydrated samples are observed from the point of changes in colour, shape and taste.

GİRİŞ

1.1. Giriş ve Amaç

Kurutularak gıdaların dayanıklılığının artırılması yöntemi, insanın doğadan öğrendiği ve bu yüzden ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski ve en yaygın gıda saklama yöntemidir. 1795 yılında ilk kurutucu Fransa’da sebze ve meyvelerin kurutulmasında kullanılmaya başlanmıştır, bugün ise çok çeşitli cihaz ve yöntemler gıdaların kurutulmasında çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Gıda endüstrisinde kullanılan “kurutma” sözcüğü, ham, yarı işlenmiş ya da işlenmiş katı, sıvı ve yarı sıvı gıdaların yapılarındaki su oranının azaltılarak belirli düzeylere düşürülme işlemini tanımlamakta kullanılır.

Kurutulan gıdalarda istenilen niteliklerin, istenilen anlamda oluşmasını sağlamak için makine, ekipman ve tesislerin tasarımı, seçimi, kurulması ve iletilmesi sırasında, kurutma konusu ile ilgili tüm ilkeler göz önünde bulundurulmalı ve optimum koşullar seçilmelidir.

Sıvı, yarı sıvı ve katı gıdaların kurutulması amacıyla yapılmış olan kurutucular birkaç temel yönetime dayanan makine ve ekipmanlardır. Buna karşın son üründen istenen nitelikler, en az ürün zararı, üstün rehidrasyon özelliği, ekonomik koşulların çeşitli ve farklı olmaları gibi faktörler, kurutucuların tasarım ve çalışma ilkeleri yönünden çok çeşitli tiplerin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Teknolojik gelişmelere paralel olarak, son yıllarda besinlerin dayanıklı hale getirilmesi yada tüketimi için uygulanan prosesler içinde mikrodalga uygulamaları, üzerinde çalışılan bir konu olmuştur.

Mikrodalgaların ısı kaynağı olarak kullanımı II. Dünya Savaşı’ndan hemen sonra radar konusunda yapılan çalışmalar sırasında farkedilmiştir. Isı enerjisi olarak mikrodalga enerjisinden 1950’li yıllarda sanayide patates cipsi son kurutmasında

yararlanıldığı, ilk ev tipi mikrodalga fırının Raytheon Lisansı ile 1955 yılında kullanıma sunulduğu belirtilmektedir.

Gıda sanayiinde mikrodalga enerjisinden kurutma, haşlama, pişirme, pastörizasyon, sterilizasyon ve buz çözme gibi amaçlarla yararlanılmaktadır.

Mikrodalga enerji, geleneksel yöntemlere göre gıdaların pişirilmesinde enerji ve zaman tasarrufu sağlar, bazı gıdalar tüketici tarafından talep edilir ve birçok gıda maddesi yüksek besleyici kalitededir.

Bu çalışmada İ.T.Ü. KOSGEB’de bulunan Makimsan Firmasının pizza ve ekmek pişirmek için tasarlayıp ürettiği mikrodalga fırının elma meyvesinin kurutulmasında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Halka, küp ve dilim halinde kesilmiş elmalar, kararmanın önüne geçebilmek için farklı konsantrasyonlardaki sitrik asit çözeltisine daldırılarak, farklı sıcaklık ve hava akım hızlarında kurutulmuştur. Kurutulan elma örneklerinin su aktivasyonlarına ve rehidrasyon kapasitelerine bakılarak kurutmaya tünel kurutucu ve etüvde devam edilmiştir. Ayrıca kurutulmuş örnekler renk, şekil ve tat değişikliği açısından gözlenmiştir.

2. KURUTMA

Gıda saklama yöntemleri içinde, kurutma tüm dünyada kabul görmüş, en yaygın saklama yöntemidir. Kurutma teknikleri nesiller boyunca bir kuşaktan diğerine geçmiş, son yıllarda ise karmaşık hale gelmiştir. 1795 yılında ilk kurutucu Fransa'da sebze ve meyvelerin kurutulmasında kullanılmaya başlanmış, bugün ise çok çeşitli cihaz ve yöntemler gıdaların kurutulmasında uygulama alanı bulmuştur [1].

Kurutma gıdaların yapılarında bulunan suyun, buharlaştırma veya süblimleştirme yoluyla belirlenen seviyeye ulaştırılması işlemidir. Bir ısı ve kütle transferi olayı olan kurutma, ısının gıdaya transferiyle gıdanın yapısında bulunan suyun gıdadan uzaklaştırılmasıdır [2].

Düşük nem içeriğine ulaşan gıda maddelerinde mikrobiyal bozunmalar minimize edileceğinden gıda maddelerinin raf ömrü artar, ağırlık ve hacimdeki önemli azalmalar paketlenme, taşıma, depolama ve dağıtım maliyetlerinin azaltılmasına katkıda bulunur [3].

Kurutma ile aroma ve besin değeri gibi kalite özelliklerinin muhafazası da sağlanmaktadır. Kurutma işleminde daha az belirgin olan amaç, kullanımı kolay ürün – henüz tam potansiyeline ulaşılmamış bir öge- geliştirmek veya üretmektir [4].

2.1 Kurutmanın Temel Prensipleri

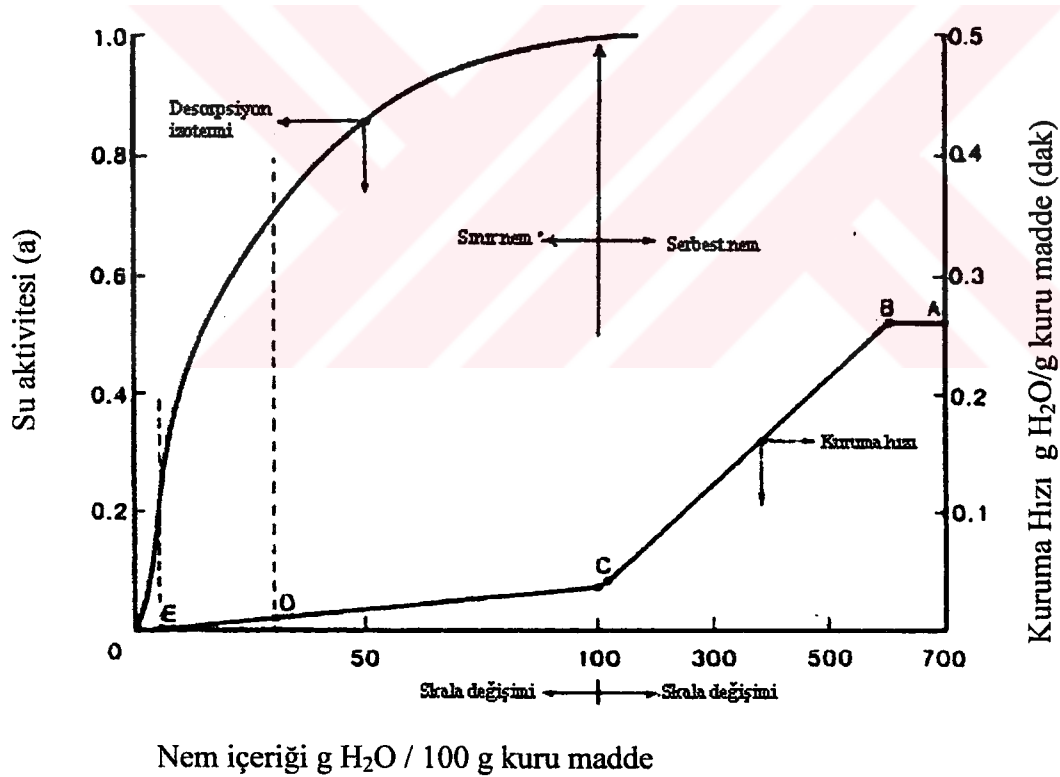
Kurutma, ısı enerjisi kullanarak katıdan nem giderilmesidir. Kurutmada ısı transferi ve kütle transferi olmak üzere iki temel işlem gerçekleşir. Konvansiyonel enerji kaynaklarıyla kurutmada ısı, kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon yoluyla transfer edilir. Gıda maddesinin içinde bulunan nem (kütle), difüzyon yoluyla buharlaşarak, uzaklaşacağı yüzeye transfer edilir [5].

Gıda maddesinin kurutulabilmesi için, suyun buharlaşması için gerekli gizli ısının sağlanarak su buharının uzaklaştırılması gerekir. Atmosfer basıncı altında ve 100 °C sıcaklıkta buharlaşma gizli ısı 2256 J/g'dır. İstenen miktar suyun gıda maddesinden

uzaklaştırılabilmesi için gerekli teorik ısı miktarı hesaplanırken, tüm kütlenin sıcaklığının göz önünde bulundurulması gerekir [5].

2.2 Kurumanın Aşamaları

Kurutma, genellikle birkaç aşamada gerçekleşir ve her aşamada farklı kurutma hızlarıyla karakterize edilir. Şekil 2.1’de, kabin kurutucuda kurutulan elma dilimlerine ait desorpsiyon izotermi görülmektedir. Elma dilimlerini içeren tepsiler üzerinde dolaşan hava 0,3 m/s hızında, 65,6 °C sıcaklığındadır ve % 20 relatif rutubet değerine sahiptir. Kuruma eğrisi 8,7 g H₂O / g kuru madde başlangıç nem içeriğinden 6,00 g H₂O / g kuru madde nem içeriğine kadar sabit kuruma hızı (AB çizgisi) gösterir [6].



Şekil 2.1: Elma dilimlerinin desorpsiyon izotermi ve farklı nem içeriklerinde kuruma hızları [6]

Kuruma çevriminin bu aşamasında buharlaşma ürün yüzeyinde olur ve su aktivite değeri (a) 1 olan serbest su genelde buharlaşmak üzere yüzeyde bulunur. Bu aşama sabit hız kuruma aşamasıdır. Kuruma hızı, havadan kurutulan maddeye transfer edilen ısı miktarı ile sınırlıdır [6].

6,00 g H₂O / g kuru madde nem içeriğiyle , kuruma hızı, nem içeriğiyle lineer olarak azalır. B noktası, nem içeriğinin kritik noktasıdır ve BC çizgisi ilk azalan hız periyodunu gösterir. İlk azalan hız periyodu, ürünün sıcaklığındaki az miktarda sıcaklık yükselmesiyle karakterize edilir, bu sıcaklık yaşı termometre sıcaklığından daha yüksek olamaz [6].

Yüzeyde artık serbest nem bulunmaz ve kuruma hızı, yüzeye nem difüzyonu tarafından kontrol edilir. Madde içerisindeki suyun çoğu hala a=1 değerindeki serbest sudur, buharlaşmanın meydana gelebilmesi için yüzeye difüzyon olması gerekir [6].

1,20 g H₂O/g kuru madde nem içeriğiyle, nem içeriği değişimine karşılık, kuruma hızı eğimi ve kuruma hızı ikinci azalan hız periyoduna girer. İkinci azalan hız periyodu C noktasında başlar. C noktasında maddenin denge bağıl nemi % 100 değerinin altında azalmaya başlar. C noktasındaki nem içeriği, maddenin sınır su kapasitesidir. İkinci azalan hız periyodunda, kurutma sorpsiyon izotermi kısmı içerisinde ilerler. Burada maddedeki su multimoleküler adsorpsiyon ve kapiler kondensasyonla tutulur. Kurutma işleminin bu aşamasında suyun buharlaşma ısısı, saf suyun buharlaşma ısısından daha yüksektir. Çünkü adsorpsiyon ve buharlaşma ısıları sağlanmalıdır. Bu aşamada buharlaşma yüzeyden çok, iç kısımda meydana gelir [6].

0,30 g H₂O /g kuru madde içeriğinde, kuruma hızı farkı bir azalan hız bölgesine girer. Kurumanın bu aşaması sorpsiyon izotermi bölgesine karşılık gelir, burada su, mono veya multimoleküler tabakalar arasında tutulur. Kuruma DE çizgisi boyunca bir noktada sonlandırılmalıdır. E noktası, yüzey ve hava a değerleri eşit olduğu için, kurumanın durduğu denge nem içeriği E'yi temsil eder [6].

2.3 Kuruma Hızını Etkileyen Faktörler

Kuruma hızı doğrudan doğruya, ısı, kütle transferine etki eden faktörler tarafından kontrol edilir. Bu faktörlerin başlıcaları, sıcaklık derecesi, havanın nemi ve havanın kurutucudaki hızı, kurutulacak maddeye maksimum yüzey alanı kazandıracak geometrik düzenleme (parça iriliği, şekli, yığın kalınlığı vb.) gibi fiziksel faktörlerle, kurutulan maddenin, başta bileşimi olmak üzere, kendine özgü nitelikleridir [7].

2.3.1 Sıcaklık

Kuruma hızını etkileyen en önemli faktörlerden birisi, kullanılan sıcak havanın kuru ve yaş termometre dereceleri arasındaki farktır. Yaş ve kuru termometre dereceleri farkı sabit kalmak koşulu ile kuru termometre derecesi daha yüksek olan havanın kullanılması halinde kuruma başlangıcında kuruma hızında herhangi bir değişme görülmemesine karşın, kuruma ilerledikçe kuruma hızında bir artış olur çünkü kurumanın ileri aşamalarında kuruma hızını sınırlayıcı faktör, iç tabakalardaki suyun yüzeye difüzyonudur. Sıcaklık derecesi artınca bu difüzyon olayı hızlanmakta ve buna bağlı olarak da kuruma hızı yükselmektedir [8].

2.3.2 Kurutma havasının hızı

Kuruma hızına etki eden diğer bir faktör, kurutucudaki hava hızıdır. Hava hızı arttıkça kuruma hızı da artmaktadır. Kurutulan maddenin yüzeyinde kuruma sırasında, daima durgun bir buhar filmi oluşur. Eğer bu filmin oluşması önlenir, daha doğrusu bu film, sürekli olarak uzaklaştırılırsa, suyun evaporasyonunda bir hızlanma belirir. İşte hava hızı, bu buhar filmini devamlı olarak sürüklemek suretiyle kuruma hızını arttırıcı yönde etkiye bulunmaktadır. Ancak bu etki belli bir hava hızına ulaşılan kadar görülmektedir. Nitekim 300 m/dak'dan daha fazla bir hava hızının kuruma hızı üzerine artık etki göstermediği saptanmıştır. Diğer taraftan hava hızının olumlu etkisi, kurumanın bulunduğu aşamaya göre değişmektedir. Gerçekten kurumanın başlangıç aşamalarında hava hızı çok etkiliyse de kurumanın ileri aşamalarında kuruma hızı artık alt tabakalardaki suyun yüzeye taşıma hızı ile sınırlandırıldığından, hava hızının yüksek olmasının bu konuda bir etkisi bulunmamaktadır [7].

2.3.3 Kurutulan maddenin yüzey alanı

Kurutulacak gıdanın birim ünitesinin yüzey alanı, ısı ve kütle aktarım hızını etkileyen bir diğer değişkendir. Hızın artırılması için genellikle ürün küçük parçalara ya da ince dilimlere bölünmelidir. Daha büyük bir yüzey alanı daha geniş bir ısıtıcı yüzeyle temas anlamındadır. Böylece nemin uzaklaşacağı alan artmaktadır [8].

Küçük parçacıklar ya da ince dilimler ısının, ürünün merkezine kadar ilerlemesi gereken uzaklığı kısaltmakta, aynı şekilde nemin merkezinden ürünün yüzeyine kadar ilerlemesi gereken uzaklığı azaltmaktadır. Kuruma hızı, ürün parçacıklarının yüzey alanı ile doğru, kalınlıkları ile ters orantılıdır. Yüzey alanı ne kadar artar ve kalınlık ne kadar azalırsa kuruma hızı da o kadar artar [8].

2.3.4 Kurutma havasının nemi

Isı ve kütle aktarım hızını etkileyen bir diğer faktör havanın kuruluşudur. Hava, kurutucu ortam olduğunda ya da ürün hava içinde kurutulduğunda kuruma hızı, havanın kuruluşu ile yakından ilgilidir. Kuru hava absorbe edici (soğurucu) ve tutucu özellik taşır. Buna karşın nemli hava doygunluğa yakındır ve kuru havaya kıyasla daha az nem soğurur [8].

2.3.5 Ortamın basıncı

Bilindiği gibi su, 760 mm civa basıncı altında 100 °C de kaynar. Bilindiği gibi, kaynama derecesi sabit tutularak basınç düşürüldüğü sürece kaynama işlemi hızlanacaktır. Ürünü atmosfere kapalı bir ortama koyarsak ürünlerdeki su daha düşük sıcaklık derecelerinde uzaklaştırılabilir. Bu olay, ısıya duyarlı ürünlerde düşük kuruma dereceleri ve kısa süreli kuruma yönünden önem taşır [8].

2.3.6 Diğer değişkenler

Yukarıda sayılan değişkenler dışında kurutma hızı ve son ürün kalitesi üzerinde önemli etkileri olan diğer faktörler, ürünün su tutma özelliği, kimyasal bileşimi gibi ürünün kendine özgü nitelikleridir [7].

Ürünün kendine özgü özellikleri kuruma süresince değişir. Örneğin kimyasal bileşim olarak ele alındığında, şeker, tuz ve benzerleri gibi küçük moleküllü erimiş

maddelerce zengin bir madde, bu maddelerce fakir bir madde ile kuruma açısından kıyaslanırsa, erimiş maddelerce zengin olanın daha zor kuruduğu görülür. Bilindiği gibi çözülmüş maddeler suyun buhar basıncını düşürmekte, dolayısı ile suyun buharlaşmasını güçleştirmektedir. Aynı şekilde ortamda yağ bulunması kuruma hızını sınırlayıcı bir faktördür. Yağın sürekli faz olduğu bir emülsiyonda, su damlacıkları yağ tarafından adeta izole edilmiş bulunduğundan böyle bir sistemde suyun buharlaşarak uzaklaşması çok güçtür. Diğer taraftan maddenin bileşimi onun suyu bağlama gücüyle yakından ilişkilidir. Nitekim serbest su, gıdada öncelikle ve kolaylıkla uzaklaşabilen su olduğu halde, katı parçacıklara adsorbsiyonla bağlanan su daha zor uzaklaşmaktadır. Bu nedenle nişasta ve pektince zengin maddelerin kurutulması oldukça zordur. En zor uzaklaştırılan su ise, glikoz monohidratta olduğu gibi, hidrat formunda kimyasal bağlı sudur. Böylece maddenin bileşiminin suyu bağlama şekli üzerine etki ettiği görülmektedir [7].

2.4 Kuruma Hızı Değerlerinden Kuruma Sürelerinin Tahmini

2.4.1 Kuruma hızı eğrisi orijinden geçen azalan hız periyodunda maddeler

Bu maddeler için, başlangıç nem içeriğinden (X_0) kritik nem içerisine (X_c) kadar kuruma hızı eğimi sabit hız (R_c) gösterir. Kuruma hızı, azalan nem içeriğiyle lineer bir şekilde $X=0$ 'da, 0 olana kadar azalır. Kurumanın her aşamasında X nem içeriğine ulaşmak için kuruma süreleri gerekmektedir :

$$\text{Sabit hız: } -\frac{dX}{dt} = R_c \quad (2.1)$$

Sabit hız periyodu için toplam süre, t_c :

$$t_c = \frac{X_0 - X_c}{R_c} \quad (2.2)$$

Azalan hız periyodunda :

$$-\frac{dX}{dt} = \frac{R_c}{X_c}(X) \quad (2.3)$$

$$\int_{t_c}^t dt = \frac{X_c}{R_c} \int_{X_c}^X \frac{dX}{X} \quad (2.3a)$$

$$t - t_c = \frac{X_c}{R_c} \ln \frac{X_c}{X} \quad (2.3b)$$

Azalan hız periyodunda X_0 'dan X 'e toplam süre (2.3a) eşitliğinde, (2.2) eşitliğindeki t_c yerine konulursa;

$$t = \frac{X_0 - X_c}{R_c} + \frac{X_c}{R_c} \ln \frac{X_c}{X} \quad (2.4)$$

eşitliği elde edilir.

(2.4) eşitliği, madde tek bir azalan hız periyodu gösteriyorsa ve $X=0$ değerinde kuruma hızı 0 ise, istenen nem içeriğine ulaşabilmek için gerekli kuruma süresine; sabit hız, R_c ve kritik nem içeriği, X_c 'den faydalanılarak karar verileceğini göstermektedir. Bu maddeler için desorpsiyon izoterminde a değeri 1 in altına düşmeye başladığında X_c , genellikle nem içeriğidir [6].

2.4.2 Birden fazla azalan hız periyoduna sahip maddeler :

Birçok katı madde bu kuruma davranışını gösterir. Şekil 2.1'de elma dilimleri için gösterilen kuruma hızı eğrisi tipik bir örnektir. Sabit hızda kuruma (2.2) numaralı eşitliğe uyar. Bununla birlikte, nem içeriğine karşılık kuruma hızı çizgisi orijin noktasına (X_c , R_c) gitmediği için, (2.3) numaralı eşitlik azalan hız periyodu için kullanılmaz. Hız-nem içeriği çizgisi absise uzatıldığında, hızın 0 olduğu noktadaki nem içeriği X_r olarak işaretlenir ve birinci azalan hız periyodu için :

$$\frac{d(X - X_{r1})}{dt} = \frac{R_c}{X_{c1} - X_{r1}} (X - X_{r1}) \quad (2.5)$$

(2.5) numaralı eşitlik integre edilerek ve sabit hız bölgesinde (2.2) numaralı eşitlik kullanılarak, birinci azalan debi periyodunda nem içeriği, X'e kadar kurutmak için gereken süre;

$$t = \frac{X_0 - X_{c1}}{R_c} + \frac{X_{c1} - X_{r1}}{R_c} \ln \frac{X_{c1} - X_{r1}}{X - X_{r1}} \quad (2.6)$$

olarak bulunur [6].

X_{c1} = Kurumanın birinci azalan hız periyodu kritik nem içeriği,

X_{r1} = Kurumanın birinci azalan hız basamağında kalan nem içeriği.

İkinci azalan hız periyodunda X nem içeriğini kurutmak için gereken süre aşağıdaki eşitlikle ifade edilir [6].

$$t = \frac{X_0 - X_{c1}}{R_c} + \frac{X_{c1} - X_{r1}}{R_c} \ln \left[\frac{X_{c1} - X_{r1}}{X_{c2} - X_{r1}} \right] + \left[\frac{X_{c1} - X_{r1}}{R_c} \right] \left[\frac{X_{c2} - X_{r2}}{R_c} \right] \ln \left[\frac{X_{c2} - X_{r2}}{X - X_{r2}} \right]$$

(2.7)

2.5 Gıdaların Kurutulması

1. Güneşte kurutma : Güneşte kurutma, gıdaların kurutulmasında kullanılan en eski yöntemdir. Güneşte kurutma kesikli bir işlemdir. Güneşten gelen ısıdan ve havanın doğal hareketinden faydalanılmaktadır. Güneşte kurutma yapabilmek için güneşli hava, düşük nem gerekmektedir. Kuruma hızı oldukça düşüktür, kuruma ancak güneşli günlerde ve sadece gündüz gerçekleşir, bu nedenle kurutma hızının kontrolü güçtür, gıda maddesi böcek ve mikroorganizmalardan korunmalıdır, güneşte kurutma işlemi esnasında geniş alanlara ve yüksek iş gücüne ihtiyaç vardır [9].

2. Sıcak hava akımı ile kurutma : Kurutulacak gıda maddesinin kurutulması için gerekli ısı yalnızca hava akımı ile konveksiyonel olarak sağlanır. Hava akımı hem maddeyi ısıtır ve hem de oluşan su buharını taşır [10].
3. Isıtma yüzeyi ile ısı transferi vasıtasıyla kurutma : Isı, kurutulacak maddeye bir ısıtma yüzeyi ile transfer olur. Bununla beraber, kurutucudan rutubeti uzaklaştırmak için belirli tipte kondensör ve vakum pompalarından da faydalanılır [10].
4. Buzun buharlaştırılması ile kurutma : Saf buz üzerinde suyun buhar basıncı 4,6 mm' dir. Bunun bir sonucu olarak içerisinde su bulunan madde, 4,6 mm'den daha düşük bir vakum altında tutulursa su donar ve süblimleşir [10].
5. Dielektrik, mikrodalga veya radyasyon kaynaklı enerji uygulamasıyla kurutma : Kurutulacak madde yüksek frekanslı (2 ila 100×10^6) bir elektrostatik alandan geçirilerek, maddenin her noktasında bir ısınma meydana gelir [10].

2.6 Kurutucu Çeşitleri

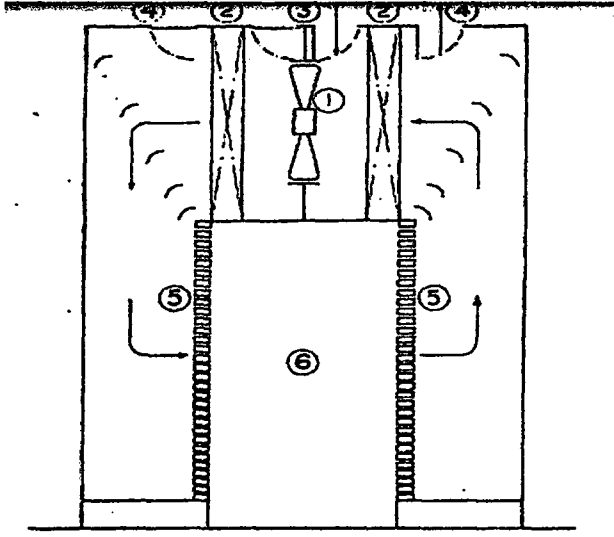
2.6.1 Fırın kurutucular

En pratik kurutma yöntemlerinden biridir, çok küçük bir yatırım gerektirir, gıdaları, böcek ve toz kontaminasyonundan korur, hava şartlarına bağlı değildir. Sürekli kullanım için fırında gıda kurutulması tavsiye edilmemektedir, çünkü gıda kurutucularına göre enerji verimliliği düşüktür, ayrıca fırınlarda düşük kuruma sıcaklığı sağlanması oldukça güçtür ve gıda maddesi kuruma periyodu sonunda kavrulmaya müsaittir. Fırında kurutulmuş gıdalar genellikle, esmer, daha gevrek ve kurutucularda kurutulmuş gıdalara göre daha az lezzetlidir [1].

2.6.2 Kabin kurutucular

Kurutma kabinde kurutulacak gıda maddeleri tepsilere yerleştirilmekte ve tepsiler, ürünün kurutma havasıyla temas ettiği, kurutucu bölüme sürülmektedir. Bu Şekil 2.2'de görüldüğü gibi, sıcak hava üst üste dizilmiş tepsiler arasından ve her tepside serili ürünlerin üzerinden geçerek tekrar ısıtma bölümüne geri döner. Şekilde hava,

ürün yüzeyine paralel olarak geçmektedir, fakat başka tip kurutucu tasarımlarında, hava ürün içinden tepsilere dik olarak da geçebilir [4].



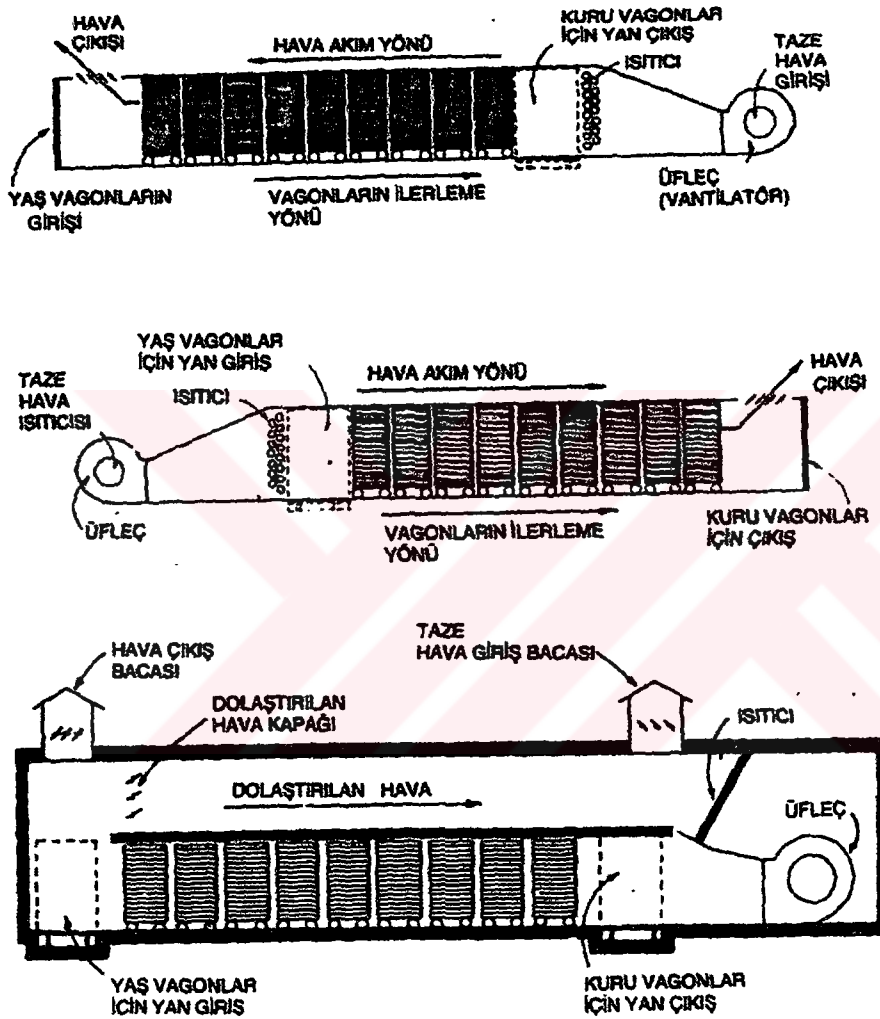
Şekil 2.2: Bir kabin kurutucunun şematik gösterilişi: 1.Hava dolaşımını sağlayan fan
2. Isıtıcı bataryaları 3. Hava giriş delikleri 4. Ayarlanabilir Louvre duvarları
5. Vagon bölümü [7]

Kabin kurutucular çoğunlukla az miktarda, örneğin birkaç ton meyve ve sebze kurutacak kapasitede yapılırlar. Sabit yatırımı nisbeten az, çalıştırılmaları kolaydır. 25 tepsiyi üst üste alacak kadar büyük tipleri vardır. Isıtıcılar, içerisinde buhar dolaştırılan, yüzeyi genişletilmiş serpantinler şeklinde yapılmaktadır. Ancak içerisinde doğrudan yanmış gaz dolaştıran ısıtıcılar da kullanılabilir. Isıtıcı kapasitesi, m^2 tepsi alanına 12000 – 16000 kcal/h ısı verebilecek şekilde seçilmelidir. Kabin kurutucularda hava hızı genellikle 2.5 – 5 m/saniye dolayındadır. Kuruma süresi ürüne ve istenen son nem içeriğine bağlı olarak 10 – 20 saat kadardır [7].

2.6.3 Tünel kurutucular

Tünel kurutucularda ürün tepsilere yerleştirilir, tepsilere üst üste raflara konur ve sonra ürün tepsilerinden oluşan çok raflı sistem, hava tüneline yerleştirilir. Şekil 2.3'te gösterildiği gibi ürünün tünele girişinde ve çıkışında çok çeşitli uygulamalar vardır. Bunlar tünel boyunca ürünün hareket yönüne göre hava yönünün ters oluşu, ürünün ve havanın tünel boyunca birbirine paralel hareketi ve tünel boyunca hareket eden ürünle hava akımının ters ve havanın bir bölümünün geri çevrimi gibi değişik

uygulamalarıdır. Her bir uygulamanın avantajları ve dezavantajları vardır. Tünel kurutucudaki sorunlardan birisi, kabin kurutucuda olduğu gibi, tünelin değişik yerlerindeki ürünün, düzgün bir şekilde kurumamasıdır. Bu tip olumsuzluklar, hava hızı dağılımının mümkün olduğu kadar düzgün olması sağlanarak en aza indirilebilir [4].

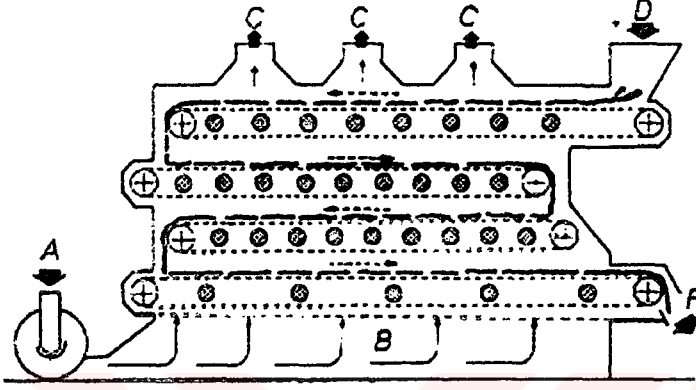


Şekil 2.3: Tünel kurutucuların şematik gösterilişi [4]

2.6.4 Bantlı kurutucular

Bantlı kurutucuların kurutma hızı oldukça yüksektir. Sistemde zincirden yapılmış hareketli bantlar mevcuttur. Bu kurutucuların klasik modelleri genellikle 4 bantlıdır. Şekil 2.4.'te 4 bantlı bir model görülmektedir. Kurutulacak ürün D noktasından sisteme beslenerek bant üzerine yayılır. Kuruyan ürün F noktasından sistemden alınır. A ile gösterilen kısım kuruma havasının fırına girdiği kısımdır. Kurutma

havası B ile gösterilen bölümde ısıtılır ve ısıtılan hava alttan üste doğru sisteme verilir. Tüm fırın içerisine dağılan ve su buharını taşıyan kurutma havası fırının üst kısmından C ile gösterilen açıklıklardan uzaklaştırılır. Hem ürün hem de hava her bantın alt ve üst yüzeyi arasında bulunan ısıtma elemanlarıyla tekrar ısıtılır. Isı girişi kurutucu içerisinde kontrol edilebilir. En küçük ısı girişi kurutma odasının en alt kısmında, son kurutmanın olduğu bölüme yerleştirilmiştir [11].



2.4. 4 Bantlı kurutucu [11]

2.6.5 Püskürtmeli kurutucular

Püskürterek kurutma, sıvı haldeki gıdaların kurutulmasında kullanılan en gelişmiş yöntemlerden birisidir. Süt ürünleri, kahve, yumurta, sebze veya meyve sularının kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır [11].

Püskürterek kurutmada sıvı haldeki gıda maddeleri sisteme püskürtülür ve damlacıklar halinde sıcak hava akımıyla temas eder. Küçük boyutlu sıvı damlacıkları çok kısa sürede kurur ve kuruyan madde toz haline gelir. Toz haldeki ürün sürekli olarak sistemden çekilir ve soğutulur [6].

Püskürterek kurutmada ilke, kurutulacak ürünün atomize edilmesi ile son derece geniş bir yüzey kazandırılması ve böylece sıcak hava içinde hızlı bir kuruma sağlanmasıdır. Damlacıklardan suyun buharlaşması o kadar hızlıdır ki, 150 – 200 °C'ye kadar yüksek sıcaklıkta hava kullanılmasına karşın, kuruyan ürünün sıcaklığı 50 – 70°C dolaylarında bulunur, yani yaş termometre derecesinin oldukça altında kalır. Kuruma çoğunlukla 3 – 10 saniye gibi kısa bir sürede gerçekleşir [7].

2.6.6 Vakum kurutucular

Bu kurutucularda kuruma vakum altında, düşük derecelerde gerçekleşir. Gerek tesis ve gerek işletme masrafları çok yüksek olduğundan, ısıya çok duyarlı ürünlerin kurutulmalarında veya nem içeriği herhangi bir zararlanmaya neden olmadan çok düşük düzeye düşürülmesi gereken ürünlerde uygulanmaktadır. Vakum kurutucularda hem sıvı hem katı parçacıklar halindeki ürünler kurutulabilmektedir. Bu kurutuculardaki koşulların duyarlı bir şekilde ayarlanma olanağı bulunmasına olanak vermektedir. Ayrıca ortamda hava hemen hemen bulunmadığından kurutulan ürünün oksidasyon tehlikesi ortadan kalkmıştır [7].

2.6.7 Döner kurutucular

Bu sistemde gıda maddesinin yapısında bulunan suyun buharlaşması için gerekli ısı maddeye kondüksiyonla verilir. Döner kurutucular, kendi yatay eksenlerinde dönen bir veya iki adet içi boş silindir içerir. Bu silindirler buhar, su veya başka bir sıvı tarafından ısıtılır. Nemli gıda maddesi yüzeye üniform kalınlıkta film halinde yayılır. Silindir döndükçe kuruma gerçekleşir ve kuruyan gıda maddesi yüzeyden bir bıçak yardımıyla sıyrılarak alınır. Döner kurutucular süt tozu, hazır çorba, bebek gıdaları, patates püresi üretiminde uygulanmaktadır [12].

Döner kurutucuların avantajları :

1. Yüksek kuruma hızı,
2. Isının ekonomik olarak kullanılmasıdır [12].

2.6.8 Dondurarak kurutmanın yapıldığı kurutucular

Gıda maddelerindeki nemin uzaklaştırılması için, dondurarak kurutma işlemi de uygulanabilir. Bu yöntemde, donmuş halde bulunan su, süblimasyonla, doğrudan buhar haline geçer. Dondurarak kurutma işleminin en belirgin üstünlüğü, nemin uzaklaştırılması veya kurutma işlemi sırasında, ürünün yüksek sıcaklıklara maruz kalmamasıdır. Ayrıca, ürünün yapısı bozulmadan korunabildiği için, daha kaliteli kuru ürün elde edilmektedir. Genel olarak, ürün önce dondurulur sonra, ürün yüzeyine ısı uygulanarak, buzun süblimasyonu sağlanır. İşlem başlangıcında, ürün yüzeyine uygulanan ısı o noktada süblimasyonuna yani buharın uzaklaşmasına neden

olur. Başlangıçta gözlenen bu süblimasyonla buharın uzaklaşma olayı, buz yüzeyinin geri çekilmesine neden olur. Buz yüzeyi, ürün yüzeyinden ürün içine doğru hareket ederken, dondurarak kuruma debisini, ısı transferi ve buhar difüzyonu belirler [4].

Herhangi bir dondurarak kurutucunun temel elemanları, kurutma işlemi için enerji kaynağı olarak kullanılan, ısıнын üretildiği evaparatör ve üründen uzaklaştırılan buharları toplayan kondensördür. Kondensör ve evaparatör, vakum altında tutulan bölmeye yerleştirilmiştir. Vakum, vakum pompası veya buhar ejektörü yardımıyla sağlanmaktadır [4].

2.6.9 Mikrodalgalı kurutucular

Mikrodalga enerjisi 3 MHz ile 30.000 GHz frekans aralığındaki elektromanyetik radyasyondur. Dielektrik maddelerin ısıtılmasında rol oynayan iki ana mekanizma dipol rotasyon ve iyonik polarizasyondur. Nem içeren gıda maddesi mikrodalga radyasyona maruz kaldığında, su gibi dipol elektrik yükleri taşıyan molekülleri, hızlı bir şekilde değişen elektrik alanıyla birlikte dipolleri sıraya sokma eğilimi gösterir. Sonuç olarak oluşan sürtünmeyle ısı açığa çıkar ve bu ısı komşu moleküllere iletilir. Mikrodalgayla kalın maddeler dahi kolaylıkla ısıtılabilir, ayrıca yüksek nem içeriğine sahip maddelerin çeşitli bölgeleri seçimli olarak ısıtılabilir. Mikrodalgayla ısıtılan ürün içerisinde bulunan serbest nem hızla buharlaşır ve gıda yüzeyinde kabuk oluşumu gerçekleşmez, uzaklaştırılan nem oranı konvektif kurutmaya göre daha yüksektir. Yukarıda ifade edilenler de dahil olmak üzere çeşitli üstünlükleri sebebiyle mikrodalga kurutucular, gıda, tekstil ve kimya endüstrilerinde çeşitli ürünlerin kurutulmasında son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır [13].

Üçüncü bölümde bu konu ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

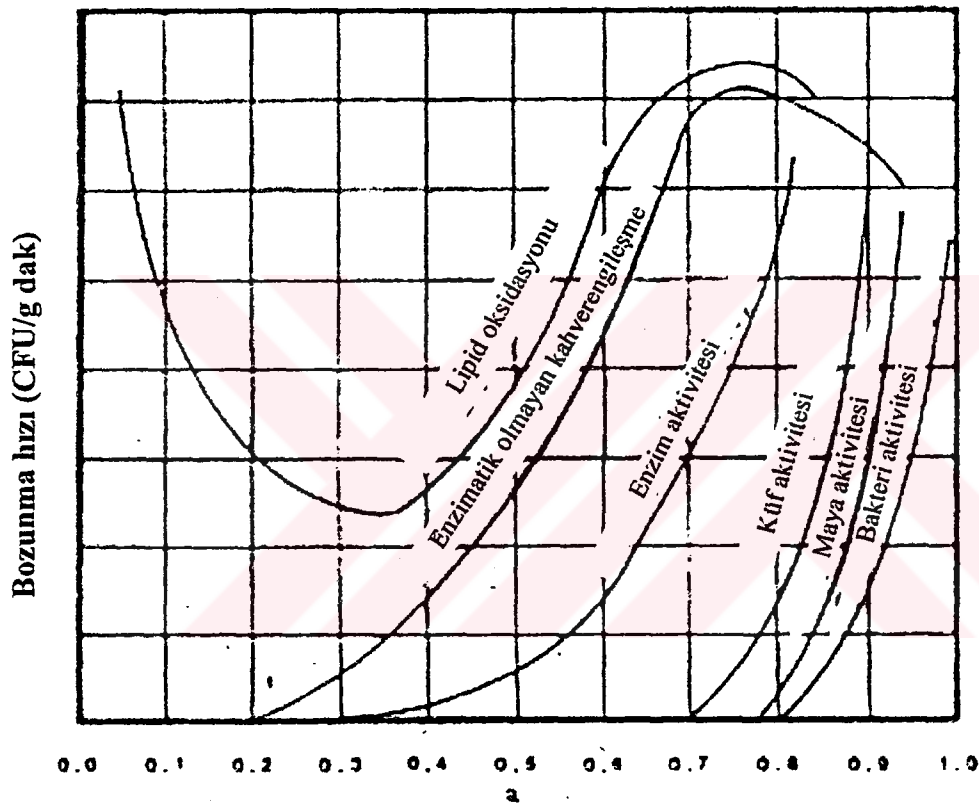
2.7 Su Aktivitesi

Su aktivitesi, sistemdeki suyun buhar basıncının aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranı olarak ifade edilir. Su aktivitesi aşağıdaki eşitlikle ifade edilir :

$$a = \frac{P}{P^o} \quad (2.8)$$

Burada a , T °C sıcaklığındaki su aktivitesi; P sistemdeki suyun, P^0 saf suyun T °C sıcaklığındaki buhar basınçlarıdır [14].

Kurutulmuş gıda maddeleri uzun süre saklanabilir, çünkü su aktiviteleri hiçbir mikrobiyolojik aktivitenin oluşamayacağı ve bozunma (kimyasal ve biyokimyasal reaksiyon) hızlarının minimuma indiği seviyededir. Su aktivitesi (a) ve gıda maddelerindeki bozunma reaksiyonları arasındaki ilişki Şekil 2.5'te gösterilmiştir. a 'nın 0,7'nin altındaki değerleri mikrobiyolojik bozunmayı önler [6].



Şekil 2.5 : Su aktivitesi (a) ve gıda maddelerindeki bozunma reaksiyonları arasındaki ilişki [6]

Bununla birlikte, mikrobiyolojik bozunma a 'nın 0,7'nin altındaki değerlerinde oluşmaz, ancak gıda maddelerinin uzun süreli saklanabilmesi için, kurutmada, su aktivitesinin değeri 0,3 değerine düşürülmesi gerekir [6].

2.7.1 Su aktivitesinin termodinamik esasları

Termodinamiğin I. ve II. yasalarından yararlanılarak aşağıdaki ifade elde edilir :

$$F = H - TS \quad (2.9)$$

Bu eşitlikte;

F = Serbest enerji

H = Entalpi

T = Sıcaklık

S = Entropiyi simgeler.

F = serbest enerji, PV işinden farklı olarak sistemdeki enerjinin diğer bir şeklidir. Enerjinin bu şekli kimyasal ve elektriksel iş için gereklidir. Kimyasal potansiyel (μ) doğrudan serbest enerjiyle ilişkilidir [6].

$d\mu = dF$ olarak ifade edilir. (2.9) eşitliğinin türevi alınır;

$$dF = dH - TdS - SdT \text{ olur.} \quad (2.9a)$$

elde edilir.

$$dH = dU + PdV + VdP \quad (2.9b)$$

$$dU = TdS - PdV \quad (2.9c)$$

(2.9b) ve (2.9c) eşitlikleri, (2.9a) eşitliğinde yerine konulursa;

$$dF = VdP - SdT \quad (2.10)$$

ifadesi elde edilir. Sabit sıcaklıkta,

$$\frac{d\mu}{dP} = V \quad (2.11) \text{ olarak yazılabilir.}$$

$$a = \frac{f}{f^o} \quad (2.14)$$

$$d\mu = RTd(\ln P) \quad (2.13)$$

$$a = \frac{f}{f^o} \quad (2.14)$$

f^o : aynı sıcaklıktaki saf bileşenin fugasitesidir. Bileşen su ise aşağıdaki eşitlik geçerli olur.

Su aktivitesi için termodinamik esas, suyun kimyasal potansiyeli ve kimyasal reaksiyonlarda rol almasıdır [6].

3. MİKRODALGA ENERJİNİN TEMELLERİ

Magnetron, mikrodalga enerji üreten, merkezinde katot ve çevresinde anot bulunan silindirik diyottur. Enerji verildiğinde, katottaki elektron yayan metal etkilenir ve anot ve katot arasındaki vakum ortamına elektron yayar. Anot, osilatör görevi yapan ve elektrik alanı yaratan yansıtıcı ve kavitelerden oluşur. Manyetik alan magnetron tarafından çevrilmiş mıknatıs tarafından yaratılır [15].

Elektronların enerjisi alanlarda tutulur ve magnetronlardan antenlere doğru dalgalar halinde hareket eder. Anten, titreşen dalgaları fırın kavitesine geçecekleri yere yollar. Dalgalar, kaviteye girdikçe dağıtıcı tarafından dağıtılır. Bu olay fırın kavitesi içindeki sıcak ve soğuk bölgeleri minimize eder [15].

Mikrodalga fırın içerisinde, dalgalar fırın duvarları veya tavanından yansıtılabilir, camdan yapılmış kapakların, kağıt ve plastiğin içerisine iletilebilir ve gıda maddesi tarafından absorblanabilir. Daha başarılı pişirme sonuçları gıda maddesi; fırın tabanına, örneğin cam bir tabak üzerine yerleştirildiğinde alınabilir [15].

3.1 Mikrodalga Kullanımı İle İlgili Gelişmeler

Mikrodalgaların ısı kaynağı olarak kullanımı II. Dünya Savaşı'ndan hemen sonra radar konusunda yapılan çalışmalar sırasında farkedilmiştir. Isı enerjisi olarak mikrodalga enerjisinden 1950'li yıllarda sanayide patates cipsi son kurutmasında yararlanıldığı, ilk ev tipi mikrodalga fırının Raytheon Lisansı ile 1955 yılında kullanıma sunulduğu belirtilmektedir. Bugün ise mikrodalga teknolojisi gıda sektörü de dahil olmak üzere endüstriyel, bilimsel ve tıbbi alanlarda geniş bir uygulama alanına sahiptir [16].

Ticari mikrodalga fırınlar yaklaşık 40 yıldır kullanılmaktadır. Tablo 3.1.'de mikrodalga kullanımı ile ilgili gelişmeler gösterilmiştir. Yapılan araştırmalarda, mikrodalgayla pişirilmiş gıdaların uygunluğu ve müşteri memnuniyeti, gıdalarda kalan besleyicilik özelliği, bozulmaya sebep olan ve patojenik mikroorganizmaların

mikrodalga enerjisiyle pasif hale getirilmesi ve mikrodalga fırınların endüstriyel ürünlerin işlenmesi göz önünde bulundurulmuştur [15].

Tablo 3.1. Mikrodalga kullanımı ile ilgili gelişmeler [15]

1921	Hill tarafından mikrodalga geliştirilmiştir.
1940	Sürekli dalga magnetronu yapılmıştır.
1945	Dr. Perry Spencer tarafından üretilen ilk mikrodalga fırını patent almıştır.
1946	Raytheon Firması ticari literatürde ilk Radarange'ı duyurmuştur.
1950'ler	Birleşik Devletler'de Raytheon Firması araştırmalarını 2450 MHz üzerinde yoğunlaştırmıştır.
1955	Raytheon Firması ilk ev tipi mikrodalga fırını tanıtmıştır.
1964	Fırın fiyatları 1500 \$ - 2500 \$ arasında belirlenmiştir.
1967	Rakip mikrodalga fırın üretilmiştir.
1968	Japonların magnetronu geliştirmesiyle magnetron fiyatları düşmüştür.
1967 –1969	Mikrodalga fırınların fiyatları düşmüş ve satılabilir bir cihaz olmuştur.
1970'ler	Sağlık ve güvenlik için radyasyon kontrolü kanunu çıkmıştır.
1974	Değişken güç kontrolleri uygulanmıştır.
1974	Özel pişirme kapları piyasaya sürülmüştür.
1984	Toplam 9.1 milyon mikrodalga fırın satılarak bu alanda rekor kırılmıştır.

3.2 Mikrodalga Enerjinin Fiziksel Özellikleri

Mikrodalgalarla gıdaların pişirilmesi son yıllarda oldukça yaygınlaşmıştır. Bununla birlikte, elektromanyetik dalga bilimi yaklaşık yüzyıldır çalışılan bir konudur. Elektromanyetik dalgalar, dalga boyu (λ) ve frekans (f) olarak ifade edilir. λ ve f arasında ters ilişki vardır, biri artarken diğeri azalır. Dalga boyu bir çevrimin boyu olarak ifade edilir ve frekans saniyedeki çevrim sayısı olarak tanımlanır. Birçok

elektromanyetik dalga örneği vardır, bunlar frekans artışına göre aşağıdaki gibi sıralanabilir : Doğru akım (sıfır frekans), telefon, radyo, mikrodalga, infrared görünür ışık, ultraviyole, X-ışını, gama ışını [15].

Amerika’da mikrodalga pişirmede kullanılan frekanslar, Federal Haberleşme Komisyonu tarafından kontrol edilmektedir ve endüstriyel, bilimsel ve tıp frekansları olarak bu alanlardaki kullanım uygulamalarına göre adlandırılır. Bu frekanslar, 915, 5800, 22125 MHz ve en çok kullanılan 2450 MHz’dir. Diğer ülkeler, diğer ek frekansların kullanılmasına izin vermektedirler. Elektromanyetik dalgalar için diğer bir değer hızdır. Hız tüm elektromanyetik dalgalar için (vakumda) aynıdır ve ışığın hızı olan $c=3 \times 10^8$ m/sn’dir. Hız ve frekans değerleri verildiğinde dalga boyu,

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.1)$$

olarak hesaplanabilir [15].

Tipik bir mikrodalga dalganın dalga boyu;

$$\frac{3 \times 10^8 \text{ m / sn}}{2.45 \times 10^9 \text{ Hz}} = 0.122 \text{ m}$$

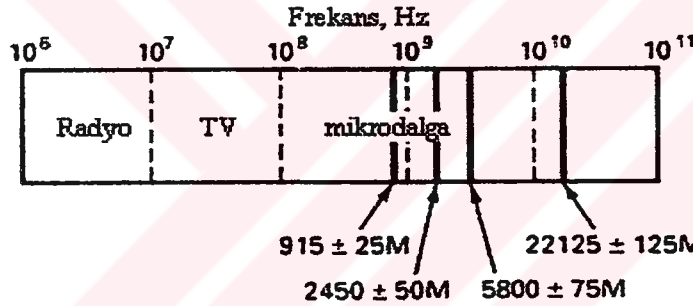
olarak hesaplanır. Elektromanyetik dalgaların enerjisi yüksek parçacıklar şeklindedir. Kuantum enerjisi (E_q), $E_q = h / \lambda$ olarak hesaplanabilir, burada h , Planck Sabiti (1.24×10^{-4}), E_q elektronvolt (eV) ve λ , cm olarak alınır. E_q kuantumdaki enerji miktarıdır, moleküler seviyede etkiler üreten yoğunluk (saniyedeki kuantum sayısı) değildir. Kuantum enerjisinin bir etkisi, kimyasal bağların kırılmasıdır. Bir bağın kırılması için kuantum enerjisinin kimyasal bağ aşması gerekir [15].

Gama ve X-ışınlarının birçok kimyasal bağ kırabilecek enerjiye sahip olduğuna karar verilmiştir. Ultraviyole, görünür ve infrared dalgalar zayıf hidrojen bağlarını kırabilecek yeterli enerjiye sahiptir. Elektromanyetik dalgaların dalga boyu infrared yanında daha büyük (frekansı küçük) olduğu için, herhangi bir kimyasal bağ kırabilecek enerjiye sahip değildir. Bu sebeple mikrodalgalar kimyasal bağları kıramaz. İyonizasyon, elektron ayrışmasıdır. Bu proses 3 eV enerji gerektirir. Mikrodalgalar, iyonize olmayan radyasyon grubuna girer [15].

Mikrodalga alanı, saniyede 2.45×10^9 kez titreşir. Dipol moleküller (örneğin su) alanda aynı seviyeye gelmeye çalışır ve komşu moleküller arasında sürtünme meydana gelir. Kimyasal bağların kırılması, mikrodalgaların doğrudan hareketinden değil, üretilen ısıdan kaynaklanır [15].

3.3 Mikrodalga Fırınlar

Mikrodalga fırın, mikrodalga üretim kaynağı magnetronu kullanan pişirme ekipmanı olarak tarif edilir ve doğrudan ısıtma, yeniden ısıtma, tavlama veya gıdalarda benzer işlemler için mikrodalgaların ısıtma etkisinden yararlanır. Endüstriyel mikrodalga ısıtma için, ISM olarak adlandırılan frekans aralığında 2450 ± 50 MHz frekansının kullanımına izin verilmiştir. Şekil 3.1’de ISM bantı gösterilmiştir [17].



Şekil 3.1: ISM bantı [17]

Mikrodalga fırın pazarı hızla büyümektedir ve pazar dağılımı İngiltere’de % 50, Japonya’da % 80 ve Amerika’da % 85 seviyelerine ulaşmıştır. Bu dağılım seviyelerine ulaşılmasının, mikrodalga fırın üretiminde maliyetin azalması ve tüketicilerin yaşam biçimleri olduğu düşünülmektedir [17].

3.4 Mikrodalga Fırınların Çalışması

Mikrodalga fırınlar mikrodalga frekanslı ışıınım enerjisi kullanır. Bu enerji, gıdanın moleküler yapısındaki iyonların ve dipollerin ısı üreterek hızla titreşimine sebep olur. Genelde, tüm pişirme yöntemlerinde, gıda maddeleri dış yüzeyden merkeze doğru enerji iletimiyle ısınır. Mikrodalga fırınlar çok hızlı pişme sağlar, çünkü geleneksel

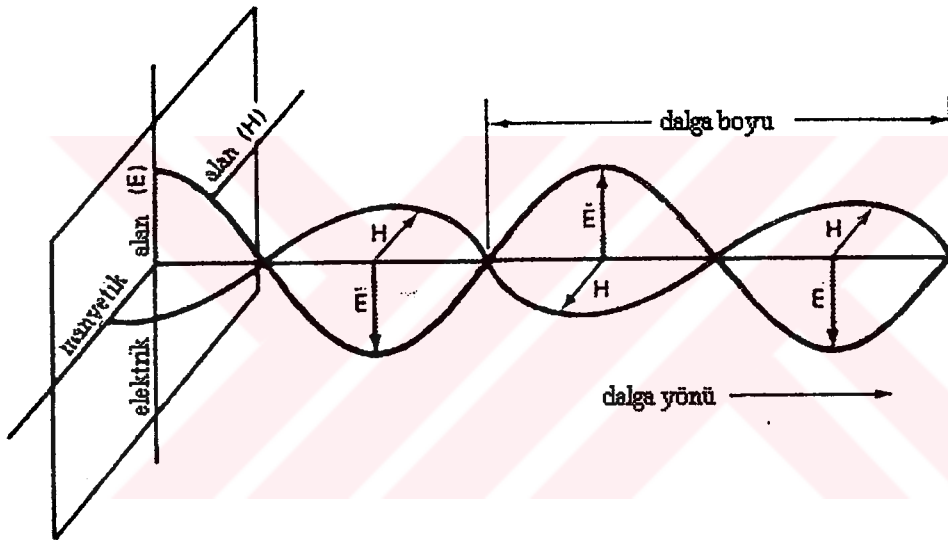
yöntemlerle üretilen enerjiye kıyasla, enerji gıda maddelerinin derinliklerine ulaşır, böylece enerji, fırın içinin ve kavite duvarlarının ısıtılmasında harcanmaz. Enerji aşağıda ifade edilen üç yolla iletilir :

Kondüksiyon : Isı kaynağının doğrudan temasıyla,

Konveksiyon : Sıcak hava sirkülasyonu ile,

Radyasyon : Boşluk içinde elektromanyetik ısı dalgalarının yayılmasıyla [17].

Mikrodalga fırınlar enerjiyi ışınlama ile transfer eder. Mikrodalgalar, kısa yüksek frekanslı elektromanyetik enerji dalgalarıdır. Genelde mikrodalgalar hem elektrik hemde manyetik özelliklere sahiptir [17].



Şekil 3.2: Elektromanyetik dalganın basitleştirilmiş gösterimi [17]

Kısa dalga boylarına bağlı olarak “mikrodalga” olarak adlandırılırlar. Mikrodalga fırınlarda, serbest boşlukta dalga boyları 12,25 cm’dir. Dalga boyu benzer konumdaki komşu dalga halkası şeklinin her tepesinin arası mesafesidir. Ayrıca, dalganın frekansını da hesaba katmak gerekir. Mikrodalga fırınlarda, kullanılan dalga frekansı saniyede 2450 milyon çevrimdir, bu genellikle 2450 MHz (megahertz) veya 2,45 GHz (gigahertz) olarak ifade edilir [17].

Tablo 3.2. Gıdaların ve diğer bazı maddelerin 2450 MHz' de (oda sıcaklığında) dielektrik özellikleri [17]

Madde	Bağıl dielektrik sabit ϵ''
Distile su	78
Çiğ biftek	49
Patates püresi	65
Pişmiş jambon	45
Bezelye	63
Seramik (Alüminyum)	8 – 11
Çoğu plastikler	2 – 4,5
Bazı camlar (Pyrex)	Yaklaşık 4,0
Kağıt	3 – 4
Ağaç	1,2 – 5
Buz	3,2 – 3,3

Tablo 3.3. Bazı yaygın maddeler için kayıp faktörleri (Spesifik sıcaklıklarda yaklaşık değerler alınmıştır) [17]

	10 MHz	3000 MHz
Süet	4,2	0,18
Tahta	0,8	0,4
Polietilen	0,0004	0,001
PVC	0,4	0,1
Buz	0,07	0,003
Su	100	18,0

Bu listedeki maddeler :

- Frekansın kayıp faktörü üzerindeki etkisini,
- Plastik gibi görünüşte benzer maddeler için ortaya çıkan kayıp faktörlerindeki farkı,
- Kayıp faktörü üzerindeki maddenin hal değişiminin etkisini (örneğin buz ve su) aydınlatmak için seçilmişlerdir.

Tablo 3.3'te görüldüğü gibi; gıda maddeleri farklı frekanslarda sarsıldığında veya osilasyona uğratıldığında farklı tepki göstermekte ve farklı kayıp faktörleri vermektedirler. Gıda maddeleri farklı kimyasal ve atomik yapılarıyla çok çeşitli doğal frekanslara sahiptirler, böylece gıdaların elektromanyetik alanlarla etkileşimi frekansla büyük ölçüde farklılık göstermektedir [17].

Şekil 3.2'de hem elektrik alan hem de manyetik alan gösterilmektedir. Manyetik alan metallerde elektrik akımı oluşturmada, fakat bu alanın gıda maddeleri ile etkileşiminde temel önemi yoktur. Manyetik alan, madde ferromanyetik ortamda ısıtıldığında önemli olmaktadır ve bu özelliği kahverengileşen metal tip tabaklarda ve bazı iki modlu paketlenme maddeleri içerisinde yüksek sıcaklıklar oluşturmada işe yaramaktadır [17].

3.5 Magnetronun Tarihi

Başlangıçta magnetronlar radar sistemlerinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. 1944'te Raytheon, mikrodalga ısıtma için sürekli dalga magnetronu (CW) geliştirmiştir. Bunun mikrodalga fırınların başlangıcı olduğu söylenebilir. 1968 yılında Japon magnetron üreticileri kompakt ve kütle üretim tipi CW magnetronlarının, örneğin 2M53 üretimine başlamıştır. Bugün mikrodalga fırın pazar toplamı yıllık 20 milyon birimi geçmiştir. Tablo 3.4. magnetronun tarihini göstermektedir [17].

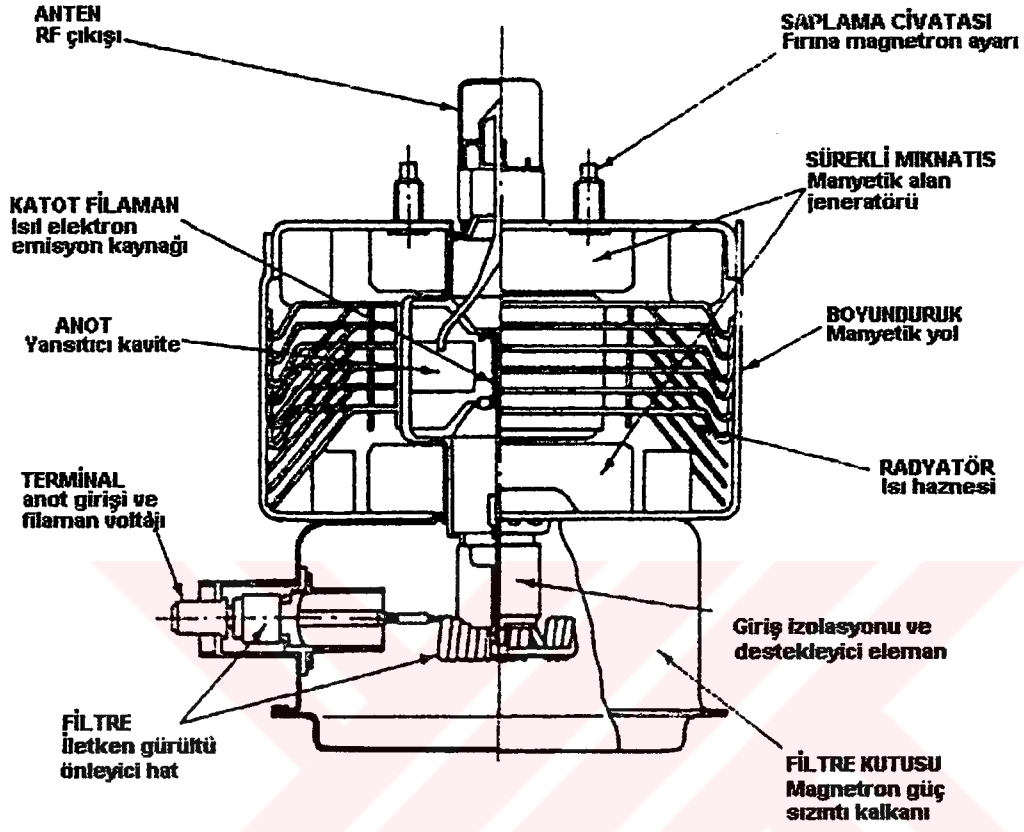
Tablo 3.4. Magnetronun tarihi [17]

1920	Dr. Hull (ABD) tarafından magnetron icat edilmiştir.
1926	Dr. Okabe (Japonya) tarafından çoklu bölümlü magnetron icat edilmiştir.
1944	Raytheon / ABD tarafından CW magnetronu geliştirilmiştir.
1951	İlk Toshiba CW magnetronu üretilmiştir.
1968	2M53 magnetronu geliştirilmiş ve üretimine başlanmıştır.
1980	Toshiba'nın kümülatif üretimi 10 milyon parçaya ulaşmıştır.
1986	Beşinci sıkıştırılmış magnetron geliştirilmiş ve üretimine başlanmıştır.

3.6 Magnetronun Yapısı ve Çalışma Prensipleri

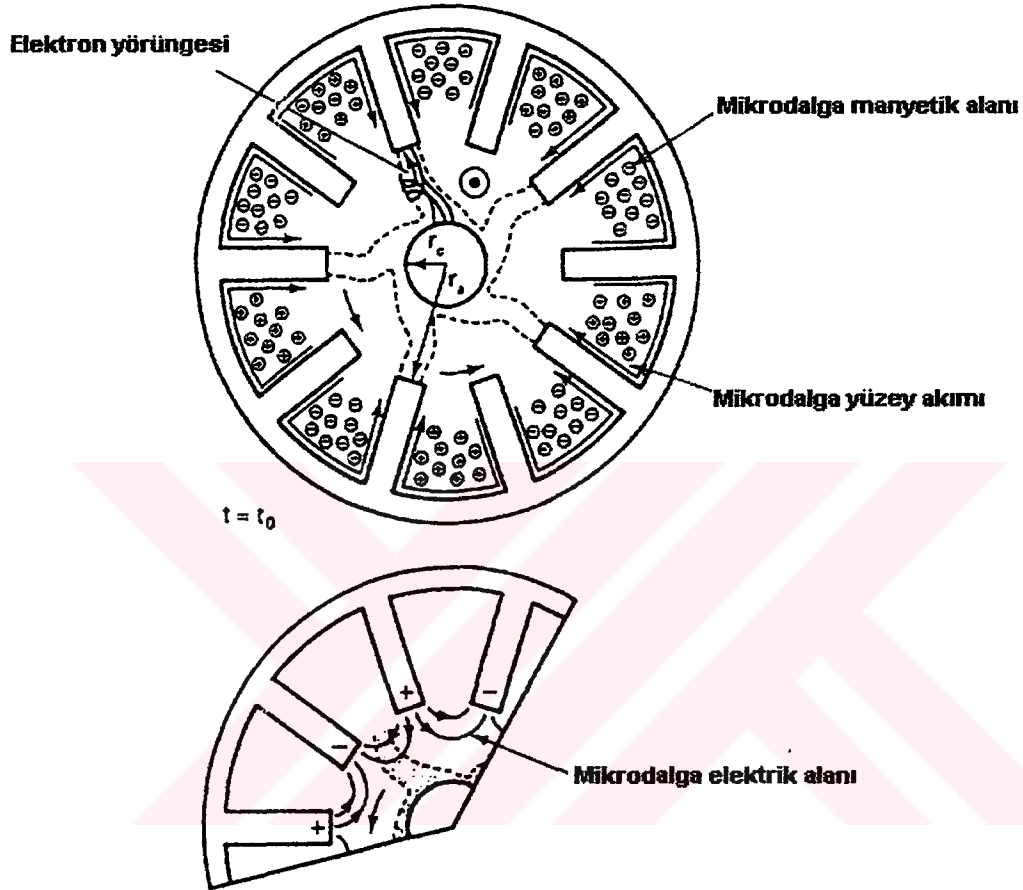
Magnetronun basit yapısı Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Yansıtıcı kavite, yüksek ısı iletkenliğine sahip anot ve bir çok kanattan ve elektron yayan silindirin merkez ekseninde konumlandırılmış katottan oluşmuştur. Ek olarak, manyetik devre her ikisi de demirden yapılmış kutup parçası ve boyunduruk tarafından oluşturulmuştur. Magnetronlar, kanatlar ve katot arasındaki etkileşim boşluğunda manyetik alan oluşturur [17].

Magnetron ayrıca, yansıtıcı kavitede depolanan mikrodalga enerjiyi verimli bir şekilde ortaya çıkaran çıkış ünitesi, telli güç boyunca geçen filtre devresiyle giriş devresine çizgi iletimli ses kaçağını önleyen ve anot kayıplarıyla yayılan ısıyı dağıtan soğutma devresi içermektedir. Katot tarafından etkileşim boşluğuna yayılan elektronlar, uygulanan elektrik ve manyetik alanların etkisi altında sürekli spiral hareketler yaparak anota ulaşır. Bu proseste, mikro-seviye yüksek-frekans elektrik alanıyla takım halindeki elektronların spiral hareketleri yansıtıcı içinde indüksiyonla, bir bulut oluşturmak üzere iletilir. Bu bulutun açısal hızı, yansıtıcı salınım frekansı ile senkronize olduğunda, salınım sabit tutulur [17].



Şekil 3.3: Magnetronun yapısı ve fonksiyonları [17]

Şekil 3.4 magnetron çalışmasını göstermektedir. Elektron bulutunun rotasyonları ve kavitede oluşan mikrodalga alan arasındaki aynı anda hareket etme eşitliği aşağıda verilmiştir [17].



Şekil 3.4. Magnetronun salınımının mekanizması [17]

$$t = t_0 + \frac{1}{4} \times \frac{1}{2.45 \times 10^9} \text{ (sn)} \quad (3.2)$$

$$V_a = \frac{1880(r_a^2 - r_c)^2}{N} \frac{(B - 21300)}{N} \quad (3.3)$$

V_a = anot voltajı (Volt)

λ = dalga boyu (cm)

N = anot tabakaların sayısı

r_a = anot çapı (cm)

r_c = katot çapı (cm)

B = manyetik alan kuvveti (Gauss)

Yukarıdaki eşitlik magnetron dizaynındaki temel ilişkilerden biridir [17].

Magnetron salınım verimi :

$$\eta_e = \left\{ 1 - \frac{1 + \frac{r_c}{r_a}}{\frac{2B}{B_0} - 1 + \frac{r_c}{r_a}} \right\} \times 100 \quad (3.4)$$

η_e = verim (%)

$$B_0 = \frac{42908}{\left(1 - \frac{r_c}{r_a} \right)} \text{ (Gauss)} \quad (3.5)$$

Magnetron, elektronların potansiyel enerjisini katottan manyetik alan yardımıyla mikrodalga enerjiye dönüştürdüğü için salınım verimi oldukça yüksektir. Mikrodalga fırında, magnetron kullanımının tipik karakteristikleri 2450 MHz, 840W mikrodalga çıkışı ve % 70 verimdir [17].

3.7 Mikrodalga Isıtmaya Etki Eden Faktörler

Mikrodalga enerji ile gıda maddelerinin ısıtılması, ısıtma ekipmanının ve ısıtılacak maddenin birçok özelliği tarafından etkilenir. Bu etkilerin her biri gıdaların mikrodalga enerji ile ısıtma uygulamalarında dikkate alınmalıdır [18].

3.7.1 Mikrodalga enerjinin frekansı

Haberleşmede kullanılan frekans bantlarıyla karışmaması için, endüstriyel, bilimsel ve tıp alanında kullanılan frekans bantları kanunlarla belirlenmiştir. Mikrodalga ısıtma için kullanılan frekans bandı, ev tipi fırınları (2450MHz, merkez dalgaboyu 12.2 cm) ve 970 ± 25 MHz'i (merkez dalgaboyu 32.8 cm) kapsayan 2450 ± 50 MHz'tir [19].

Mikrodalga enerjinin frekansı ve buna bağlı olarak değişen dalga boyu ısıtılacak maddenin işleme derinliğini doğrudan etkiler [18].

Örneğin, D₅₀, madde tarafından absorbe edilen başlangıçtaki enerjinin yarı yarıya azaldığı derinlik 40 °C'de 2450 MHz için yaklaşık 3 cm ve 915 MHz için yaklaşık 20 cm'dir [19].

$$D_0 = \frac{\lambda_0}{2\pi} \sqrt{\frac{2}{\epsilon'(\sqrt{1 + \tan^2 \delta} - 1)}} \quad (3.6)$$

λ_0 = Uzaydaki dalga boyu

ϵ' = Maddenin dielektrik sabiti

$\tan \delta$ = Maddenin kayıp tanjantı [19].

Isıtılacak maddenin boyutlarına göre seçilecek frekans da önemlidir. Genellikle, geniş maddeler için, örneğin dondurulmuş balıkların temperlenmesi gibi, 915 MHz frekansta çalışılmalı, daha küçük boyutlar için örneğin sosislerin pişirilmesi gibi, 2450 MHz yeterli olmaktadır. Mikrodalga sistemlerinde frekansın diğer bir önemi maddenin dielektrik özelliklerinin frekansla değişiminden kaynaklanmaktadır. Oda sıcaklığında saf su için kayıp faktörü 2450 MHz' de 915 MHz' dekinden 3 kez daha fazladır. Ancak frekansın bu etkisinin gıda sistemleri için daha az önemli olduğu düşünülmektedir. Bu daha çok gıdaların kimyasal yapılarına da bağlı olarak, diğer ısı mekanizmalarının da maddenin sıcaklığının yükselmesinde etkili olmasından kaynaklanmaktadır [18].

3.7.2 Gıda maddesinin elektrik iletkenliği

Dipolar rotasyona ek olarak, iyonik iletkenlik, mikrodalga sisteminde ısı üretilmesinde önemli rol oynar. Gıda maddelerinde bu özellik varolan tuz miktarı ile kontrol edilir. Tuz eklenmesi, ısınma hızını ve mikrodalga işleme derinliği etkisini artırır, bu faktör; gıdaların mikrodalga ile işlem görmesinin düşünöldüğü hallerde formölasyonlarda göz önünde bulundurulmalıdır [18].

3.7.3 Mikrodalga gücü ve ısıtma hızı

Birçok endüstriyel mikrodalga sistemi 5-100 kW arasında değişen mikrodalga gücünde çalışırlar. Güç akışının verilen kütle için yüksek olması, sıcaklığın hızla artmasına sebep olur. Bu gibi sistemlerde mikrodalga ısıtmanın hızı, güç çıkışının değişimi ile kontrol edilmektedir. Ancak, pişirme, fırınlama ve diğer bazı gıda ısıtma işlemlerinde başlangıçta yükselen ısı etkisiyle bazı reaksiyonların hızlanması sonucu oldukça kompleks fizikokimyasal olaylar ortaya çıkar. Bu reaksiyonlar normal koşullarda uygun sırada ve sürede meydana gelirler. Ancak mikrodalğanın hızlı ısıtması sonucu bu reaksiyonların oluşması için yeterli süre bulunmayabilir. Örneğin tavuk parçalarının pişirilmesinde kullanılan mikrodalga sisteminde sıcaklık 30 saniye gibi bir sürede geleneksel yöntemlerle pişirme sıcaklığına ulaşabilmektedir. Ama bu sürede etin gevşemesi sağlanamadığı için sonuçta ürün lastiksi bir yapıdadır ve yenilemez [18].

Bu konuda bir diğer örnek fırınlama işlemidir. Fırınlanmış bir üründe esas olan, ürün içerisinde uygun hava kabarcıklarının oluşmasıdır. Ancak ısının hızlı yükselmesiyle uygun bir kabarma sağlamak mümkün değildir. Bu nedenlerle fırınlanacak ürünler için daha düşük oranda ısıyı geliştirecek azaltılmış mikrodalga güçlerinde çalışması gerekmektedir. Mikrodalga gücü dolayısıyla ısıtmanın hızlı olmasının yarattığı bir diğer problem tek düze olmayan sıcaklık dağılımıdır. Bu kısmen çabuk ısınan kısımlara ısı transferinin düşük hızda gerçekleşmesinden, kısmen de ısıtılan maddenin şeklinden, örneğin köşeli bir gıda olmasından kaynaklanmaktadır [18].

3.7.4 Gıdanın spesifik ısısı

Maddenin ısı kapasitesi, C_p , m gram maddenin t_1 (°C) sıcaklığından, t_2 (°C) sıcaklığına ısıtılması için harcanması gereken ısı, Q olarak ifade edilirse, C_p aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir [18].

$$C_p = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)} \quad (3.7)$$

Bir maddenin spesifik ısısı, o maddenin ısı kapasitesinin 15 °C'deki suyun ısı kapasitesine oranıdır [19].

Dielektrik kayba ve zayıf mikrodalga absorblamaya rağmen düşük spesifik ısıya sahip madde mikrodalgalarla kolaylıkla ısıtılır, çünkü sıcaklığı yükseltmek için, birim ağırlık başına daha az miktar kalori gerekmektedir. Yağlar için spesifik ısı çok önemli bir özelliktir. Yağların bağıl dielektrik sabiti ($\epsilon' < 3$) ve kayıp faktörü ($\epsilon'' < 0.1$) suyunkinden ($\epsilon' = 80$ 20°C'de) çok daha küçük olmasına rağmen sudan daha hızlı ısınmaktadır. Çünkü ısı kapasitesi 2 kJ / kg °C, suyun ısı kapasitesinden (4.2 kJ / kg °C) daha azdır [19].

3.7.5 Gıdanın su içeriği

Su, genellikle mikrodalga enerjinin absorblanmasında esas etkindir. Yüksek su içeriği, gıdanın yüksek dielektrik kayıp faktörüne sahip olması, dolayısıyla daha iyi ısınması demektir. Ancak düşük su içeren gıdalar da mikrodalga ortamında iyi ısıtılabilirler, ki bu da spesifik ısıdaki azalmadan kaynaklanmaktadır. Mikrodalga ısıtma sırasında maddenin kurumasıyla daha nemli bölgelerin mikrodalga enerjiyi absorblamaları daha kolay olacaktır. Bu, özellikle kurutma işleminde önemli bir avantajdır [18].

Genel olarak;

- Nem içeriği yüksek olursa dielektrik sabiti yüksek olacaktır,
- Dielektrik kayıp faktörü, nem içeriği % 20 – 30 oluncaya kadar artış gösterir ve bazı durumlarda bu nem içeriğinden sonra azalma olabilir,

- c) Bir karışımın dielektrik sabiti (ϵ') karışımı oluşturan bileşenlerin dielektrik sabitleri arasında yer alır [18].

3.7.6 Gıda maddesinin fiziksel geometrisi

Ürünün fiziksel geometrisi de mikrodalga ısıtma üzerine etkilidir. Eğer ısıtılacak maddenin boyutu mikrodalga enerjinin dalga boyu veya daha önemlisi penetrasyon derinliğine göre fazlaysa tekdüze bir ısıtma yapabilmek oldukça zordur [18].

Diğer taraftan ısıtılacak gıdanın şekli ne kadar düzenli ise ısı dağılımı o kadar düzenli olacaktır. Kesin köşe ve açılar mikrodalga ısıtmada aşırı ısınan bölgelerdir. Bu nedenle yuvarlak şekilli gıdalar kare şekillerden daha tek düze ısınabilir, yumru şekiller en idealdir. Eğer gıda maddesinin şekli düzensiz ise gıdanın tümü ısınuncaya kadar özellikle ince olan kısımlarda yanmalar ya da aşırı ısınmalar olabilir [18].

3.7.7 Gıda maddesinin kütlesi

Genel olarak maddenin kütlesi büyüdükçe, sabit güçteki bir mikrodalga ekipmanında ısıtmak için gerekli süre uzayacaktır. Ancak ısıtmanın etkinliği genellikle kütledeki artışla artar. Örneğin bir patatesi pişirmek için gerekli süre 4 dak. ise iki patates için 7 dak., üç patates için 10 dak., olacaktır [18].

Isıtılacak toplam kütle açısından düşünülürse, istenen ısıtmayı sağlayabilmek için kütle ile mikrodalga gücün miktarı arasında doğrudan bir ilişki vardır. Toplam kütle küçük ise kesikli bir sistem amaç için uygundur. Ancak kütle büyüdükçe bantlı sistemlerin kullanımı daha verimlidir. Bu gibi sistemlerde ısıyı tekdüze bir şekilde sağlamak da mümkün olacaktır [18].

3.7.8 Gıdanın ısı iletkenliği

Isıl iletkenlik maddenin sıcaklık değişimine tepki olarak ısıyı transfer edebilme yeteneğidir ve mikrodalga ısıtmada dahi mikrodalga enerjisinin nüfuz edici yapısına karşın önemli rol oynamaktadır. Burada ısı iletkenlik önem kazanmaktadır, çünkü yoğunluğundan dolayı örneğin et yüzeyinde aşırı ısınma olurken, ekmekteki seyrek yapı aynı derecede ısı iletkenliğe bağlı olmayacaktır [20].

3.7.9 Gıdanın yoğunluğu

Bir ürünün yoğunluğu dielektrik sabit üzerine doğrudan etkilidir. Havanın dielektrik sabiti 1.0'dır ve endüstriyel ısıtma frekanslarında tamamen geçirgendir. Böylece yapısında boşluklar olan ve hava içeren bir maddenin dielektrik sabiti hemen hemen lineer olarak artacaktır [18].

Çok poroz maddeler, örneğin ekmek gibi, bünyelerinde hava içerdiklerinden iyi yalıtıkandılar ve geleneksel ısıtmada, fırında pişirme boyunca yoğunluklarındaki azalmayla beraber daha iyi yalıtkan hale gelirler. Böylece bu gıdaların içerisinde ısı transferi oldukça zor ve yavaştır. Ancak mikrodalga ısıtmada mikrodalgaların daha derine penetre olabilmesi, bu gibi gıdaların fırınlamaya göre 1/3 gibi bir sürede işlemini tamamlamasına neden olur. Bu nedenle mikrodalga ısıtmada, işlem süresince gıdanın yoğunluğunda meydana gelen bu değişimler de dikkate alınmalıdır [18].

3.7.10 Gıdanın sıcaklığı

Mikrodalga ısıtmada maddenin sıcaklığı bir çok yönden etkilidir.

1. Dielektrik kaybı sıcaklıkla maddeye de bağlı olarak artar veya azalır. Isıtma işlemi süresince maddenin sıcaklık ve nem içeriğinde değişimler olduğundan, buna bağlı olarak dielektrik özelliklerinde de önemli değişimler ortaya çıkar. Mikrodalga ısıtmada bu değişimlerin bilinmesi sistem dizaynı için önemlidir [18].
2. Mikrodalga ısıtma sırasında üründe faz değişimi oluyorsa bu husus dikkate alınmalıdır. Örneğin dondurulmuş maddenin ısıtma özellikleri üzerine etkisi, su ve buzun dielektrik özelliklerinin farklı olmasından dolayı önemlidir (Tablo 3.5). Su mikrodalga alanında oldukça absorbe edicidir ve iyi ısınır, buz ise geçirgendir ve ısıtılması zaman alır [18].
3. Gıda maddesinin başlangıç ısısı kontrol edilmeli ve bilinmelidir. Böylece mikrodalganın gücü veya ısıtmanın süresi tekdüze bir son sıcaklık için ayarlanabilir [18].

Tablo 3.5. 2450 MHz Mikrodalga Frekansında Su ve Buzun Dielektrik Özellikleri [18]

	Dielektrik sabiti (ϵ')	Kayıp tanjantı ($\tan \delta$)	Kayıp faktörü
Su (25 °C)	78	0.16	12.48
Buz	3.2	0.0009	0.0029

3.8 Gıdaların Mikrodalga İle Isıtılması

Magnetron tarafından üretilen mikrodalgalar, gıdalar tarafından absorblanır. Orta dipol moleküllerin dağılımı mikrodalga alanın moleküller arasında sürtünme yaratması, ürünün ısınmasına yol açar. Mikrodalga enerji, geleneksel yöntemlere göre gıdaların pişirilmesinde enerji ve zaman tasarrufu sağlar, bazı gıdalar tüketici tarafından talep edilir ve birçok gıda maddesi yüksek besleyici kalitededir. Mikroorganizmaların, mikrodalga enerjiyle pasif hale getirilmesi üretilen ısı sebebiyledir, ancak gıdalar mikrodalgalarla, geleneksel yöntemlere göre çok kısa sürede pişer ve ısıya çok daha kısa süreli maruz kalır ve gıda maddesinde daha fazla canlı mikroorganizma kalabilir [15].

3.9 Mikrodalgaların Maddelerle Etkileşimi

Mikrodalga enerjinin ısıtma proseslerinde maddeyle etkileşimlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için öncelikle mikrodalga alanının ısının bir çeşidi olmadığı, bir enerji formu olduğu bilinmelidir. Bunun sonucu olarak mikrodalga alanının maddeye ulaşmasından sonra bir veya daha fazla enerji transferi mekanizması ile ısı oluşur. Mikrodalga alanındaki bir maddenin ısıtılmasında maddenin dielektrik etkisi önemlidir. Bir ürünün dielektrik özellikleri, elektriksel enerjinin maddede depolanabilme (ϵ') ve kayıp faktörü olarak bilinen, ısı olarak elektriksel enerjinin dağılma kabiliyetlerinin ölçülmesi ile açıklanabilmektedir. Biyolojik bir maddede enerjinin absorpsiyonu bir anda gerçekleşir ve ürünün içsel enerjisine dönüşür. Maddenin mikrodalga absorpsiyon gücü şu temel denklemle gösterilmektedir [18].

$$P_v = k \times f \times E^2 \times \epsilon'' \quad (3.8)$$

Eşitlikte P_v , maddenin belli bir hacminde absorblanan güç; k , güç ve hacimle ilgili bir sabit; f , mikrodalga sistemin frekansı; E , elektrik alanının volt/birim uzunluk olarak kuvveti; ve ϵ'' maddenin dielektrik kayıp faktörüdür. Mikrodalga enerji alanındaki bir maddede yükselen sıcaklığın oranı ise aşağıdaki şekilde gösterilmektedir [18].

$$\frac{k \times f \times E^2 \times \epsilon''}{\rho \times C} \quad (3.9)$$

Eşitlikte ρ , maddenin yoğunluğu ve C , spesifik ısıdır. Mikrodalga ısıtmayı basit olarak gösteren denklemlerde frekans ve elektrik alanının kuvveti ısıtmada kullanılan mikrodalga sistemin özellikleri; dielektrik kayıp faktörü, yoğunluk ve spesifik ısı ise ısıtılan maddenin özellikleridir. Buradan da açıkça anlaşılabileceği gibi ısıtmayı yapan mikrodalga ekipmanı ile ısıtılacak madde arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Bu nedenle, mikrodalga ve madde etkileşimleri; mikrodalga sistemi ve ürün dizaynında mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır [18].

3.10 Gıda Endüstrisinde Mikrodalga Uygulamaları

Son yıllarda özellikle gelişmiş ülkelerde tüketicinin bilinçlenmesi ile yüksek kalitede ve üstün lezzetteki gıda ürünlerine olan istemin hızla artmasının yanı sıra, düşük işleme ve dağıtım maliyetleri ile, yüksek derecede güvenli ve uzun bir raf ömrü olan gıdaların üretimi önem kazanmaktadır. Mikrodalga ısıtma üzerine yapılan çalışmaların son yıllarda hız kazanması, özellikle mikrodalga enerjinin endüstride kullanılan diğer ısısal uygulamalardan tamamen farklı bir ısıtma mekanizması ile, işlem süresini kısaltması, gıdanın yüzeyinde aşırı bir ısınmayı engelleyen homojen ısı dağılımı, sadece gıdayı ısıtarak seçici bir ısıtma sağlaması ile paketli gıdaların ısıtılabilme olanağı, ekipmanların az yer kaplaması ve kolay temizlenebilmesi gibi sağladığı avantajlar nedeniyledir [16].

3.10.1 Pişirme operasyonları

3.10.1.1 Et pişirme

Geleneksel fırında yapılabilmesine rağmen et pişirme, kesin limitler içinde uygulamalarla başarıyla yapılacak bir işlemdir. Mikrodalgalar gıdayı kahverengileştirmez. İkili mikrodalga fırınlar dizaynda birleşmiş geleneksel pişirmeye de sahiptir, ancak diğer basit mikrodalga fırınlar genelde kabul edilebilir bir kahverengilik veren pürzola, biftek, soslar, köfte ve diğer gıdalara uygulanabilen kahverengileşme yada özel tabak önermektedirler [17].

3.10.1.2 Hafif ateşte kaynatma

Et, geleneksel yollarla daha iyi kaynatılabilmekte ve daha sonra gerektiğinde mikrodalgayla yeniden ısıtılabilir. Bununla birlikte, değişik güç kontrollerine sahip modeller, düşük ayar kontrollerini kullanarak pişme süresini uzatmak için kullanılabilir[17].

3.10.1.3 Fırında pişirme

İç ısıtma, ürün içinde istenen sıcaklığı çok kısa sürede verebilmektedir. Mikrodalgalar, kabuk elde etmek için havayla dıştan ısıtma yada infrared ile birleştirilebilir [17].

Bazı kekler, pasta ve ekmek karışımları çok kısa sürede, çok iyi bir şekilde pişirilmekte ancak kahverengileşme olmamakta ve genellikle fırın üreticilerinin kendi tarifleri en iyi sonucu vermektedir. İki enerjili fırınlar, ısıtma kaynağının dizaynındaki bileşimine bağlı olarak başarı göstermektedir [17].

3.10.1.4 Derin kızartma

Mikrodalga fırında derin kızartma mümkün değildir ve yüzey kızartma tavsiye edilmektedir. Sıcaklık kontrolü olmadığı için yağların aşırı ısınması mümkündür [17].

3.10.1.5 Buğulama ve kaynatma

Normal olarak buğulanabilen ve kaynatılabilen her gıda maddesi normal süresinden daha kısa sürede, çok az ek sıvı gerektirecek şekilde pişirilebilmektedir. Özellikle sebzeler ve balık iyi pişmektedir. Yumurtalar mikrodalgayla özel yollarla kaynatılabilmektedir, kabuk içinde oluşan buhar patlamasına neden olduğundan kabuklarıyla pişirilememektedir [17].

3.10.1.6 Sosların mikrodalgada hazırlanması

Soslar, hızla ve başarıyla yapılabilir, çünkü mikrodalgalar sıvıları çok hızlı kaynatır. Bir fincan hazır kahveden, az miktar reçele kadar her şey çok kısa sürede ısıtılabilir yada pişirilebilmektedir. Üreticilerin tarif kitaplarında çok değişik kombinasyonlar tavsiye edilmekte, birçok yöntem geleneksel yöntemlerden farklı olacağı için bu tariflere uyulmalıdır [17].

3.10.2 Eritme ve çözme

Çikolata, yağlar, jelatin ve jelli küp gıdalar normal süresine göre çok kısa sürede mükemmel olarak erimektedirler [16].

Temperleme işleminden farklı olarak buzun tamamen çözündürülmesi işleminin mikrodalga ortamına uygun olmadığı görülmüştür. Buz çözme işlemi sırasında donmuş ve çözölmüş kısımların dielektrik özelliklerindeki büyük farklar yüzünden, çok sıcak veya henüz ısınmamış bölgeler oluşmaktadır. Buzun dielektrik kayıp faktörü düşük olduğundan, mikrodalga ışınlarına karşı geçirgendir ve zor ısınır. Öte yandan çözönen kısımlardaki su ise, buza göre çok yüksek dielektrik kayıp faktörüne sahiptir ve çabuk ısınır. Isıtma süresi kontrol edilmezse çözönen kısımlar pişme sıcaklığına kadar ısınırken, buzlu bölgeler yeni ısınmaya başlar. Bu nedenlerle mikrodalgalarla buz çözöndürme işlemi yaygın kullanım alanı bulamamıştır [16].

3.10.3 Temperleme

Mikrodalga pişirme, doğrudan nem içeriğiyle orantılı olduğu için, mikrodalgalar üniform olmayan proses şartlarından gelen ürün içerisindeki nemi eşitleyebilir [22].

Birçok gıda dondurularak depolama süresi büyük oranda uzatılabilir. Doğal olarak, dondurulmuş gıdalar kullanılmadan önce ısıtılmalıdır. En başarılı endüstriyel mikrodalga gıda proseslerinden biri donmuş et ürünlerinin temperlenmesidir. Temperleme, donmuş gıdaların (-4°C) - (-2°C)'ye ısıtılması prosesidir. Temperleme, komple tavlama ile birleşik problemleri önler, buna karşılık ilave hazırlıkları, gıda katı olsa da kolay kesilme, ayıklanma vb. işlemleri kolay hale getirir [21].

Mikrodalga temperleme geleneksel yöntemlere göre daha hızlıdır ve daha sıhhi koşullarda soğuk odada ve gıdaları paketinden çıkartmadan yapılabilir. Sonuç olarak mikrodalga temperleme, gıdanın spesifik ısısının çok düşük olduğu (0,4'ten az) sıcaklık aralığında gerçekleştiği için, gıdanın depolama sıcaklığından (-24 °C), donma noktası altındaki sıcaklığa (-4 °C) getirebilmek için gerekli enerji bağıl olarak daha düşüktür. Donmuş gıdada çok düşük dielektrik kaybı olduğu için ısıtma ayrıca çok homojendir [19].

Mikrodalga uygulamasının en başarılı uygulama alanı olan temperlemedeki temel avantajlar şunlardır;

- Geleneksel yöntemle günler süren işlemin birkaç dakikada tamamlanması,
- Damlama kaybı olmaması ve çözünür maddelerin korunması,
- Isıtma süresinin mikrobiyolojik bozulma için gerekli süreden kısa olması nedeniyle mikrobiyal güvencenin yüksek olması,
- Mikrodalga ekipmanının az yer kaplaması ve işgücü azlığı,
- Enerji gereksiniminin çok az olması,
- Mikrodalgaya uygun ambalaj içinde işlem görebilmesi [16].

3.10.4 Tavlama

Mikrodalga fırınların bir kullanımı da donmuş gıdaların çok kısa sürede tavlama olmasıdır. Pişmiş gıdalar kullanılacağı ana kadar dondurucularda saklanmaya başlandığından beri, mikrodalgalarda bir iki dakika içinde minimum sorunla gıdalar tavlatabilmektedir [17].

3.10.5 Pastörizasyon ve sterilizasyon

Mikrodalga iyonize olan bir yayılım olmadığından mikroorganizmalar üzerindeki etkisi geleneksel yöntemlerdeki gibi sıcaklık ve zaman ilişkisine bağlıdır. Son yıllarda mikrodalga ile pastörizasyon konusunda dikkate değer çalışmalar yapılmıştır. Mikrodalga ile pastörizasyon et ve et ürünleri, tavuk, yumurta ve yumurta ürünleri, balık, kabuklu deniz ürünleri ve süt ürünlerinde denenmiş ve duysal, yapısal ve mikrobiyolojik kalitenin arttığı, raf ömrünün uzatılabildiği ve en önemlisi çok ekonomik ve hızlı olduğu bildirilmiştir. İlk ticari sterilizasyon ünitesi Belçika'da "P&T Gıda" tarafından kurulmuş ve hazır makarna ürünleri sterilizasyonunda kullanılmıştır. Mikrodalgaların sterilizasyonda kullanılmasının en önemli nedeni kısa sürede yüksek sıcaklık uygulamasına çok uygun olması ve tat, koku ve yapı gibi özelliklerin daha iyi korunmasıdır [16].

Ev tipi fırınların kullanımında mikroorganizma inaktivasyonunun kontrol imkanı olmadığından, işlem süresinin kısalığı problemlere yol açabilmektedir. Ürün, pastörizasyon veya sterilizasyon sıcaklığına gelmiş, hatta geçmiş olsa bile, süre çok kısa olduğunda mikroorganizmalar canlı kalabilmektedir. Bu nedenlerle, pastörizasyon ve sterilizasyonda dikkatli olunması ve mikrobiyolojik açıdan güvenilir ürün eldesi için mutlaka uygun güç ve süre optimizasyonu yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Bunu sağlamak amacıyla mikrodalga işlem güvence sürelerini gösteren indikatör etiketler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır [16].

Özetle, hayvansal ürünlerin mikrodalga ile işlenmesinde son ürün kalitesi ve mikrobiyolojik kalite açısından bir takım sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Günlük kullanımda (ev, restoran) bu tür sorunların ortaya çıkma olasılığı daha fazladır. Bu nedenlerle geleneksel yöntemlere karşı kayda değer bir üstünlük sağlanamamıştır [16].

3.11 Mikrodalga Isıtmanın Avantajları

1. Isıtma geleneksel yöntemlere göre daha hızlıdır. Mikrodalga ısıtmanın en önemli özelliği ısı üretiminin moleküler düzeyde başlaması ve bu sayede hem zamandan hem de enerjiden çok büyük oranda tasarruf sağlamasıdır,
2. Temizdir.

3. Mikrodalga fırınlar, geleneksel sistemlere göre daha az yer kaplar, kullanımı ve bakımı kolaydır,
4. Isıtma çevrimi hızlı olduğundan gıda maddelerinin depolamasında çok fazla depo alanı gerekmez,
5. Gıda daralması ve kayıplar daha azdır,
6. Özel ambalajlar kullanıldığı taktirde, ambalajlı gıdalara ısıtma işlemi uygulanabilir,
7. Mikrodalga ısıtma, istenen sonuca ulaşılabilmesi için diğer ısı transfer kaynaklarıyla kombine olarak kullanılabilir. (Örneğin dondurulmuş gıdaların mikrodalgada tavlansından yüzey soğutulması veya geleneksel yöntemlerle mikrodalga ısıtma sonrasında kahverengileşmenin sağlanması),
8. Mikrodalga ısıtmada, gıdayı çevreleyen hava ve fırın ısınmadığından ısıtma daha etkindir, zaman ve enerji kaybı olmamaktadır,
9. Mikrodalga enerjisinin ısıya dönüşüm verimi oldukça yüksektir. Geleneksel ısıtıcılarda % 7 – 14 arası değişen ısı verimi mikrodalga ekipmanlarda % 40'a kadar çıkmaktadır,
10. Mikrodalgalar içten ısıtma sağladığı için, sıcaklık dağılımı daha üniform gerçekleşebilir ve yüzeyin aşırı ısınması engellenir. Diğer taraftan mikrodalgaların absorpsiyonu elektromanyetik özelliklere bağlı olduğundan, bazı gıda komponentleri diğerlerine göre daha hızlı pişer. Bu çok bileşenli gıdalarda farklı sıcaklık profillerini engeller ve farklı tabaklar için kullanımda kolaylık sağlar,
11. Mikrodalga teknolojisi birçok yeni ürün geliştirilmesinde olanak sağlamıştır,
12. Pazar imkanı genişir [16, 19].

3.12 Mikrodalga Isıtmanın Dezavantajları

1. Sabit yatırım masrafları yüksektir; magnetronlar geleneksel ısıtma elemanlarına göre pahalıdır, bu yüzden sanayide kullanımı yavaş gelişmektedir,
2. Mikrodalgaların absorblanması elektromanyetik özelliklere bağlı olduğundan, çok bileşenli gıdalarda sıcaklık profili büyük oranda farklı olabilir. Ürün karakteristikleri, şekil ve boyuta bağlı olarak düzensiz pişme meydana gelebilir.

Keskin köşe ve kıyılarda aşırı pişme ortaya çıkar ve geniş parçalı gıda maddelerinin merkezinde pişme tam gerçekleşmeyebilir,

3. İnsan sağlığı açısından radyasyon sızıntısının önlenmesi gerektiğinden tamamen kapalı bir sistem olması zorunludur,
4. Mikrodalgalar gıda maddelerini kızartamaz, kahverengileştiremez ve gıda yüzeyini çatlatamaz,
5. Mikrodalga fırınlar, geleneksel fırınlara göre farklı emniyet tedbirleri gerektirir,
6. Mikrodalgaların teknolojileri daha karmaşıktır, bu da eğitimsiz insanlar için bakımda zorluk oluşturur,
7. Tekrar ısıtılması gereken ve mikrobiyolojik yönden hassas ürünlerde (et ve süt ürünleri gibi), işlem süresinin çok kısa olması nedeniyle yeterli ve güvenli mikrobiyal inaktivasyon sağlamak zor olabilmektedir. Mikrodalga ısıtma işlemde sıcak ve soğuk noktaların belli olmaması ve saptanmasının zor olması mikrobiyolojik kontrolü zorlaştırmaktadır,
8. Kullanılan kapların, ambalaj malzemelerinin mikrodalga ortamına uygun olması gerekmektedir. İletken maddeler mikrodalga etkisi ile ark oluşmasına neden olmakta ürün ve ekipmana hasar verebilmektedir. Cam, porselen, plastik, kağıt mikrodalga için uygun malzemeler olarak bilinmektedir [16, 19].

3.13 Mikrodalga Fırınlarda Güvenlik Standardı

Ekim 1971'den sonra üretilen bütün mikrodalga fırınlar, (FDA), Food and Drug Administration kurumunun zorunlu kıldığı radyasyon güvenlik standardına sahiptirler. Mikrodalga radyasyonun güvenlik limiti, fırın yüzeyinden 2 inç (5,08 cm) uzaklı için 5 miliwatt/cm²'dir. Bu limit, insanlara zarar verdiği bilinen miktarın çok altındadır. Ayrıca, fırından uzaklaşıldığında insana ulaşabilecek radyasyon miktarı büyük oranda azalmaktadır. Örneğin, mikrodalga fırının 50 cm uzağında duran birisi, 5 cm uzağında duran birisine 1/100 oranında daha az mikrodalga radyasyonuna maruz kalmaktadır [22].

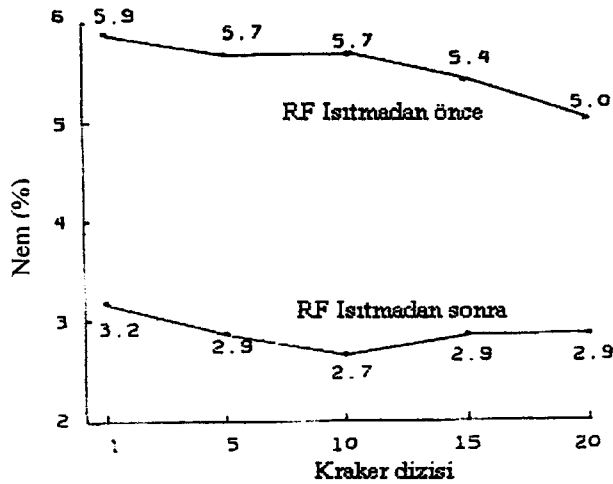
Standart ayrıca, tüm fırınlar için kapak mandalı serbest kaldığında ya da kapak açıldığında mikrodalga üretimini durdurmak için 2 adet birbirinden bağımsız emniyet sistemi olmasını zorunlu kılmaktadır. Buna ek olarak, denetleme sistemi emniyet sistemlerinden birisi ya da ikisi devre dışı kaldığında operasyona son vermektedir.

Bir çok fırında, kapı açıldıktan sonra gürültü yapmaya devam eden parça fanlardır. Gürültü mikrodalgaların üretiliyor olduğu anlamına gelmektedir. Mikrodalga üretimi sona erdikten sonra fırında herhangi bir radyasyon kalıntısı kalmamaktadır [22].

3.14 Mikrodalgayla Yapılmış Diğer Çalışmalar

Gıda alanında mikrodalga enejisinin en önemli uygulamalarından biri bisküvilerin pişirilmesi (kurutulması) olmuştur. Hollanda’da geliştirilen bu yöntem, pahalı bant fırınların içinden geçme zamanını azaltması, fırın üretkenliğinin artırılması yönünden önemlidir. Yüksek nem içeriğine sahip bisküviler, yüksek kayıp faktörü (ϵ'')’ne sahip olacağından, düşük nem seviyeli bisküvilere göre daha fazla ısı üretilir. Bu sebeple mikrodalga enerji, konvansiyonel enerjiyle yapılan kurutmada farklılık gösterir. Bu etki Şekil 3.5’te gösterilmiştir [5].

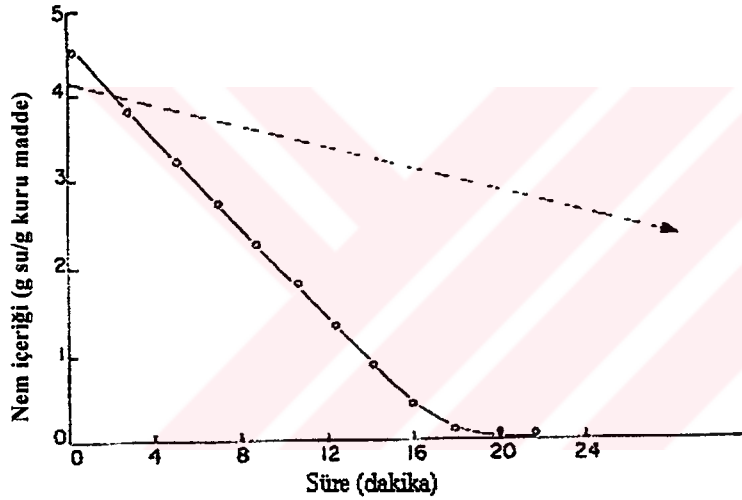
Ayrıca mikrodalga enerji, daha üniform nem dağılımına sahip bisküviler üretir. Diğer bütün kurutma yöntemlerinde evaporasyon için ısı enerjisi, yüzeye ısı uygulaması ve ısının henüz kurumuş kısımdan nemli iç kısma iletilmesiyle sağlanır. Mikrodalga enerjisiyle, enerji seçimli olarak, nemli kısımların ısıtılması ve kuru kısımların az enerji absorplamasıyla ısı enerjisine çevrilir [5].



Şekil 3.5: Mikrodalga (RF) ısıtmanın bisküvilerin nem oranı üzerindeki etkisi [5]

Bu çalışmada mikrodalga enerjisinin bisküvilerin pişmesi için gerekli süreyi, normal pişme süresinin 2/3'ü oranında azaltmıştır. Yeterli radyofrekans katkısıyla 1/3'ü oranına ulaşılabilir. Ayrıca nem içeriği, daha uzun raf ömrü için azaltılabilmektedir. Bu sistemde frekans, yaklaşık 35MHz'tir [5].

Mikrodalga kurutma sebzelere de uygulamıştır. Kurutmanın ilk aşamalarında mikrodalga enerjiye göre geleneksel yöntemlerin daha verimli olduğu, mikrodalga enerjisinin daha az enerji gereksiniminin olduğu kurutmanın diğer aşamalarında, maliyet bakımından daha avantajlıdır. Mikrodalga enerji uygulaması, kabuk oluşumu başlamadan önce yapılmalıdır. Böylece kuruma hızı artar ve tüm kuruma çevrimi azalır. Patates dilimlerinin mikrodalga ve sıcak hava ile kurutulmasında nem içeriği ile zaman arasındaki ilişki Şekil 3.6'da gösterilmiştir [5].



Şekil.3.6: Patates dilimlerinin mikrodalga ve sıcak hava ile kurutulmasının

karşılaştırılması:

(---) Sıcak hava ile kurutma

(o-o) Mikrodalgayla kurutma [5]

0,32 – 0,64 cm kalınlığında küçük patates dilimleri geleneksel kurutma teknikleriyle kolaylıkla kurutulur. Eğer boyut 1,27 cm'ye yükseltirse, kuruma süresi artar ve daha büyük parçalarda kabuk oluşmasına sebep olur, kabuk oluşması sebebiyle de rehidrasyon zorlaşır. Patates dilimlerinin % 45 nem içeriğine kadar kurutulduktan sonra mikrodalga uygulaması bu iki dezavantajı ortadan kaldırır ve oluşan açık porlu yapı kolay rehidrasyona imkan verir. Böylece mikrodalga enerjisinin uygulaması daha çabuk rehidrasyon ve daha iyi kalitede ürün vermektedir [5].

Gıda maddelerinin kurutulmasında kullanılan 1000 MHz mikrodalga enerji ve sıcak hava kombinasyonunun kullanılmasında patent alınmıştır. Bir diğer çalışmada meyve ve sebzelerde mikrodalga enerji kullanımı 25 kw, 915MHz mikrodalga tünel fırında uygulanmış ve elma dilimleriyle çalışılmıştır. Elmalar yüksek şeker içerikleri sebebiyle yanmaya karşı çok hassastır. Elma dilimleri mikrodalga alanda puf yapılarını korurlar, ancak soğuma esnasında puf yapılarında çökme eğilimi başlar. Bu problemleri çözmek için tünel mikrodalga fırını geliştirilmiştir. Amaç düşük sıcaklıkta kurutma sağlayabilmek ve puf yapı şartlarının korunmasıdır. Çalışma sonucunda elma dilimleri puf yapılarını korumuş ve son hacimleri, geleneksel yolla kurutulan elma dilimlerine göre 3,5 kat daha fazla olarak ölçülmüştür. Ortaya çıkan ürünün çerez olarak tüketilmesi öngörülmüştür [5].

Diğer bir çalışmada mikrodalgada kurutulmuş elma dilimlerini, geleneksel ve dondurarak kurutulmuş dilimlerle karşılaştırmışlardır. Mikrodalga enerji, son kurutma aşamalarında uygulanmıştır. Mikrodalga ürünü, genel olarak, havayla kurutulmuş ürüne göre daha iyi durumdadır ancak dondurularak kurutulmuş ürün en iyi sonucu vermiştir. Ayrıca granüler katıların mikrodalgada kurutulmasının geleneksel yöntemlerle karşılaştırılmasında, bağıl faydalar üzerine bir fizibilite çalışması gerçekleştirilmiş ve 915 MHz mikrodalga enerji uygulamasının ticari boyuttaki makarna kurutulması üzerinde çalışılmıştır [5].

Japon gıda endüstrisinde de mikrodalga enerji uygulamaları yapılmış ve 915 MHz'de benzer bir prosesle şehriye kurutulmuştur. Kullanılan cihaz karışık yol tip dalga sistemidir ve gerekli güç 5 magnetronla sağlanmış, saatte 600 kg şehriye % 30 nem içeriğinden % 13 nem içeriğine kadar kurutulmuştur. 80 °C sıcaklığındaki sıcak hava 105 m/dak olarak uygulanmıştır [5].

Bir başka çalışmada ise, tünel kurutucuda kurutulan muz örneklerinin son kurutması mikrodalga kurutucuda yapılmıştır. Mikrodalga kurutucuda 350 W, 490 W ve 700 W güç değerlerinde kurutma yapıldıktan sonra, kuruma hızı, rehidrasyon değerleri ve renk değişimleri karşılaştırılarak incelenmiştir. Yüksek güç değerlerinde mikrodalga kurutucuda kuruma hızı oldukça yüksektir. Tünel kurutucudan sonra kurutulması mikrodalga fırında tamamlanan muz örneklerinin kuruma hızı artarken kuruma süresinin azaldığı görülmüştür [23].

Elma ve mantar örneklerinin sıcak havayla ve düşük güçte mikrodalga enerjisiyle kombineli olarak sıcak havayla kurutulmasında hava hızı, mikrodalga gücü ve sıcaklık değişkenlerinin, rehidrasyon kapasitesi, kütle yoğunluğu ve renk gibi kalite parametrelerine etkisi incelenmiş ve düşük hava hızında üründe kararmalar tespit edilmiştir. Rehidrasyon kapasitesinin ise mikrodalga kurutma sonucunda sıcak hava kurutmasına göre % 20 – 25 daha iyi sonuç verdiği görülmüştür [24].

Diğer bir çalışmada ise küp şeklinde kesilmiş elmalar sıcak havayla kurutulmasından önce ilk aşamada 40 °C, 60 °C ve 80°C sıcaklıklarında 0,75 – 5 dak süresince yüksek yoğunlukta (20 w/g) mikrodalga enerjisine maruz bırakılmıştır, daha sonra ise 2 m/s hıza sahip hava ile kurutulmuştur. Ön mikrodalga uygulaması son ürün kalitesi üzerinde çok etkili sonuçlar vermiştir, örneğin, mikrodalga ön kurutma uygulanan elma örnekleri havayla kurutulanlara göre daha yüksek rehidrasyon kapasitesi göstermişler ve saklama ve taşımada çok iyi sonuçlar verebilecek daha sıkı ve sert bir yapıya sahip oldukları belirlenmiştir [25].

4. ELMANIN YAPISI ve ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada, çalışmanın yapıldığı aylarda da kolaylıkla bulunabilen yapısı ve özellikleri aşağıda anlatılan elma meyvesi kullanılmıştır.

Elmanın beslenmedeki önemi özellikle içindeki tuzlardan ve vitaminlerden ileri gelmektedir. Elmanın yapısında bulunan asitler, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve sodyum gibi maddelerle birleşerek bir takım tuzları meydana getirirler. Bu tuzların organik kısımları (organik asitler) kanda enerji sağlamak amacı ile okside oldukları zaman geride baz oluşturan elementler kalır ve böylece elma kandaki asit-baz dengesi üzerinde olumlu bir etki yapar. Elma meyvesinde bulunan başlıca asit, elma asitidir ve pH 3,00 – 4,5 arasında değişmektedir. Taze elmanın yaklaşık % 84'ünü su oluşturmakta ise de, bu oran türlere göre değişiklik göstermektedir [26].

Suda çözünmeyen kuru madde % 1,0 – 3,5, suda çözünen kuru madde % 8 – 18 arasındadır. Kuru maddenin önemli bölümünü karbonhidratlar oluşturmaktadır. Nişasta meyvelerde olgunluğa doğru ve olgunluk ilerledikçe şekerlere dönüşmektedir. Şekerlerden en çok leviloz, sonra sakkaroz, en son ve en az olarak dekstroza bulunmaktadır. Kuru madde içinde şekerlerden başka asitler, proteinler, yağlar, pektinler, madensel maddeler ve vitaminler bulunmaktadır [26].

Elma vitamince zengin meyvelerdendir, A ve C vitaminleri oldukça fazla miktarlarda bulunmaktadır. B vitamini ise oldukça azdır [26].

Elma meyvesinin 100 gramında 2 ila 10 mg arasında C vitamini bulunmaktadır, ayrıca % 0,14 – 1,15 oranında pektin maddesi bulunmaktadır. Elma meyvesinin 100 gramında bulunan mineral madde içerikleri ise Tablo 4.1'de gösterilmiştir [27].

Tablo 4.1 Elmanın 100 gramında bulunan mineral maddelerin miktarları [27]

Mineral	Miktar (mg)
Ca	6
Mg	6
K	116
Na	1
P	10
Cl	4
S	5
Fe	0,3
Mn	0,08
Cu	0,07

Tablo 4.2’te elma ve elma ürünlerinin bileşenlerinin ortalama değerleri verilmiştir [28].

Tablo 4.2 Elma ve elma ürünlerinin bileşenlerinin ortalama değerleri [28]

Ürün	Su (%)	Enerji (kcal/100g)	Protein (%)	Lipid (%)	Karbonhidrat (%)	Lif (%)	Kül (%)
Kabuklu taze elma	83,93	59	0,19	0,36	15,25	0,77	0,26
Kabuksuz taze elma	84,46	57	0,15	0,31	14,84	0,54	0,24
Konserve elma, tatlı	82,36	67	0,18	0,49	16,70	0,54	0,27
Kurutulmuş elma	3,00	346	1,32	0,58	93,53	4,09	1,57
Dondurulmuş elma	86,85	48	0,28	0,32	12,31	0,54	0,24
Konserve meyve suyu	87,93	47	0,06	0,11	11,68	0,21	0,22
Elma sosu, şekerli	88,35	43	0,17	0,05	11,29	0,53	0,15
Elma sosu, şekerli	79,58	76	0,18	0,18	19,91	0,46	0,14

Kurutulmuş elma başta Almanya, Hollanda, İsviçre, İsveç, İtalya, İngiltere, Fransa gibi ülkelere ihraç edilmektedir. Tablo 4.3’te yıllara göre ihracat miktarları ve ihracat

bedelleri gösterilmiştir [29].

Tablo 4.3 Yıllara göre kuru elma ihracat miktarları ve ihracat bedelleri [29]

Yıl	İhraç edilen kuru elma miktarı (kg)	Elde edilen gelir (\$)
2000	629.104	704.813
1999	1.370.199	1.584.342
1998	1.399.901	1.909.226
1997	1.383.276	2.082.663
1996	1.516.106	2.259.202
1995	1.152.924	2.178.035

Diğer taraftan Hollanda, Almanya, Bulgaristan, İsviçre gibi başlıca bazı ülkelerden az miktarda kurutulmuş elma ithalatı da yapılmaktadır. Tablo 4.4'te yıllara göre ithal edilen kuru elma miktarları ve ithalat bedelleri gösterilmiştir [29].

Tablo 4.4 Yıllara göre kuru elma ithal edilen kuru elma miktarları ve ithalat bedelleri [29]

Yıl	İthal edilen kuru elma miktarı (kg)	İthalat bedeli (\$)
1999	1.008	3.871
1998	7.636	6.895
1997	45.490	26.229
1996	112.321	50.051
1995	1.993	16.905

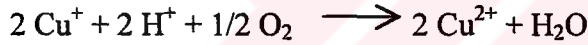
Yukarıdaki verilerden açıkça görüldüğü üzere elma kurusu dış ticaretimize konu olan kurutulmuş meyve kalemlerinden, ihracat potansiyeli ithalat potansiyelinden yüksek olan önemli bir kalemdir.

Soyulmuş ve dilimlenmiş elma, havanın oksijeninin etkisiyle enzimatik yolla çok çabuk kahverengileştiğinden, dilimlendikten hemen sonra çeşitli

konsantrasyonlardaki sitrik asit çözeltilerine batırılmış ve sitrik asit çözeltisinin kahverengileşme üzerine etkileri incelenmiştir.

4.1 Enzimatik Kahverengileşme

Zarar verilen bir çok dokuda kahverengileşme meydana gelir. Zarar verme zedelemek, kesmek, soymak, dondurmak veya hastalıkla olabilir. Meyve sebzenin zarar verilen kısmı hava varlığında çabuk kararır. Bu enzimli yükseltgenme sonucu olmaktadır. Fenol ve polifenollerin enzimlerle yükseltgenmesi enzimli kahverengileşmenin başlıca reaksiyonudur. Bu maddelerin yükseltgenmesini katalizleyen, enzimli kahverengileşmeden sorumlu enzimlerin adları standartlaştırılmamıştır. Bunlara “fenol oksidaz”, “polifenoloksidaz”, “fenolaz” ve “polifenolaz” adları verilmektedir. Bunlar prostetik grup olarak bakır taşırlar. Bitki ve hayvan dokularında yaygın olarak bulunurlar. Pirokateşin gibi polifenollerin, karşılığı olan kinona yükseltgenmesinde enzimin Cu^{++} şekli Cu^+ şekline indirgenir ve bu sonucu oksijenle yeniden yükseltgenir [30].



Substratlar yani enzimlerin etki ettikleri bileşikler ayrılmamışlardır. Fenolaz enzimleri için substrat olarak etki ettirilmek suretiyle deneyleri yapılmış, besin kimyası ve besin teknolojisi bakımından önemli doğal maddeler pirokateşin, 3,4-dihidroksi-fenialanin (DOPA) antosiyanidler, kafeik, klorogenik, gallik, protokateşuik (3,4-dihidroksi benzoik asid) asidle, floroglusin ve birçok flavoneller, tanenler, tirozin ve diğerleri yükseltgenmekle o – kinon türevleri verebilirler, bunların da polimerleşmesiyle, henüz iyice aydınlatılmamış yoldan kahverengi ve siyah pigmentleri verebilirler. Bu renkli reaksiyon ürünleri melanin veya flobanler adı altında toplanmaktadır. Yeni kesilmiş elma, şeftali, kayısı, muz, armut, incir, patates ve yeni sıkılmış elma, üzüm sularının esmerleşmesi bundan ötürüdür [30].

Böylece enzimli esmerleşme için üç faktör: oksijen, enzim, substrat gereklidir. Bunlardan biri eksik olunca enzimli esmerleşme olmaz. Bu şekilde vakum veya etkileşmez gaz atmosferinde oksijen bulamayınca, ısıtmak veya sülfitle kimyasal olarak veya pH 1 düşürmek suretiyle enzim etkinliği durdurulunca enzimli

esmerleşme yavaşlar veya durur. Bu amaçla, esmerleşmeyi geciktirmek için soyulmuş meyveler genellikle limon suyu ile örtülürler. Tanenler asitle açık renkli bileşikler verirler. Daha az asitli ananas suyu da aynı amaç için kullanılırlar [30].



5. MİKRODALGA FIRINDA ELMA KURUTULMASI

5.1 Materyal ve Metot

5.1.1 Elmaların hazırlanması

Deneylerde, marketten temin edilen Granny Smith cinsi yeşil elmalar kullanılmıştır. Elmalar kullanılıncaya kadar buzdolabında muhafaza edilmişlerdir. Kullanılacakları zaman ise kabukları soyulup, çekirdekleri çıkarıldıktan sonra Moulinette Universal Moulinex Marka mutfak tipi robotla;

- a) 3,5 – 4 mm kalınlığında dilimler halinde,
- b) Ortası çıkarılan elmalar 3,5 – 4 mm kalınlığında halkalar halinde,
- c) Yaklaşık 6 mm kenar uzunluğundaki küpler halinde doğranmıştır.

Elma örnekleri,

- a) damıtık suya
- b) kararmanın önüne geçebilmek için sitrik asit çözeltisine batırılmıştır. Örnekler süzgeç kağıdı üzerine alınarak, süzölmüş, tartılmış, daha sonra mikrodalga fırına alınmışlardır.

5.1.2 Sitrik asit çözeltilerinin hazırlanması

Elma parçaları (halka, küp, dilim) kararmalarının engellenmesi amacıyla kurutulmadan önce sitrik asit çözeltisine batırılmıştır. % 0,5, % 2, %4, ve %5 konsantrasyonlarında sitrik asit çözeltileri hazırlanmıştır.

5.1.3 Kurutma

5.1.3.1 Mikrodalga fırında kurutma

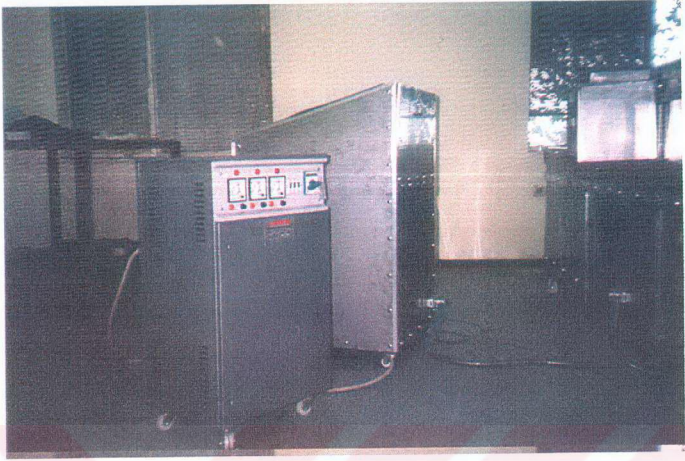
Şekil 5.1’de görülen ve deneylerimizde kullanılan mikrodalga fırın; İ.T.Ü. KOSGEB’de Makimsan Firması’nın tasarlayıp ürettiği protatip bir fırındır. Mikrodalga fırın, pizza ve sandviç ekmeğinin pişirilmesi için dizayn edilmiş olmasına rağmen mantar, baharat, soğan gibi değişik gıda maddelerinin de kurutulması için kullanılmıştır [22].



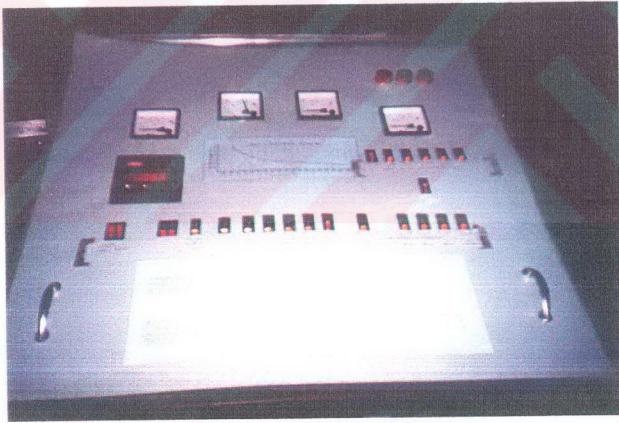
Şekil 5.1 : Deneylerde kullanılan mikrodalga fırını

Aynı mikrodalga fırında gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise havuç, yoğurt ve domates kurutulmasında tünel kurutucuda kurutma ve mikrodalga yöntemleri karşılaştırmalı olarak denenmiş ve aralarındaki farklar belirlenmiştir. Mikrodalga fırında 1 ve 2 kW olmak üzere iki farklı güçte çalışılmıştır [22].

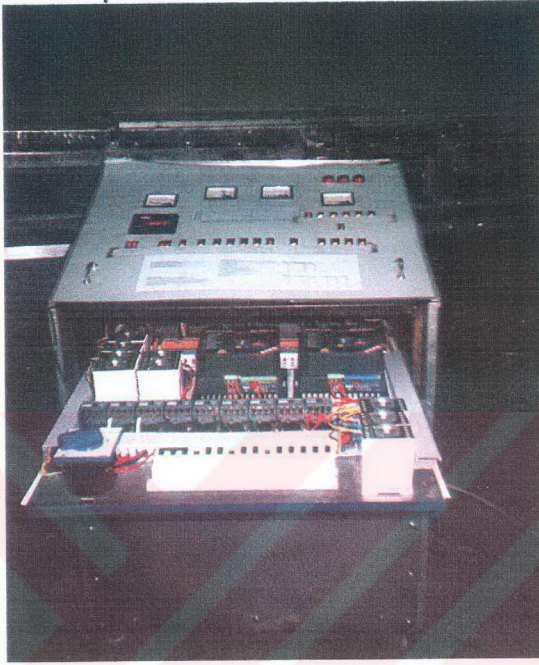
Mikrodalga fırın, Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te değişik açılardan görülen kontrol paneli vasıtasıyla kontrol edilmektedir. Kontrol paneli, açma, kapama, hava hızı ayarı, sıcaklık ayarı, bant hareketi (ileri, geri hareket), kızartma işlemi, jeneratörlerin seçimli çalıştırılması olmak üzere tüm fırın fonksiyonlarına kumanda etmektedir.



Şekil 5.2 : Mikrodalga fırının kontrol panelinin yandan görünüşü

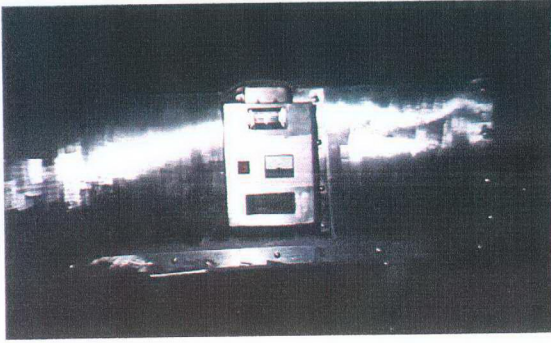


Şekil 5.3 : Mikrodalga fırının kontrol panelinin yakından görüntüsü



Şekil 5.4 : Mikrodalga fırının kontrol panelinin detaylı görünüşü

Tünel şeklinde üretilen ve sürekli beslemeli olarak tasarlanan fırın iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde pişirme, ikinci bölümde kızartma işlemi yapılmaktadır. Birinci bölümde dört kavite bulunmaktadır. Bu bölüme Şekil 5.5’de gösterilen mikrodalga jeneratörleri uygun şekilde yerleştirilmiştir. İkinci bölümde enfraruj bombaları vardır. Deneylerde mikrodalga fırının birinci bölümü kullanılmıştır.



Şekil 5.5 Mikrodalga jeneratörü

Deneylerde mikrodalga kurutmayı takiben, elma örneklerinin nem içeriğini mümkün olan en düşük seviyeye düşürebilmek amacıyla kurutma işlemine etüvde ve tünel kurutucuda devam edilmiştir.

5.1.3.2 Etüvde Kurutma

Mikrodalga fırında kurutulmuş elmaların bir kısmı 105 °C sıcaklığına ayarlanmış Electro – mag Marka etüvde kurutulmuş ve her 30 dakikada bir kurutma işlemi durdurularak tartım alınmıştır.

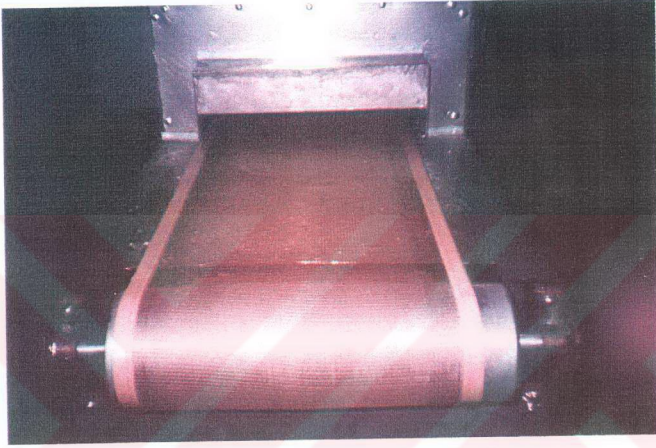
5.1.3.3 Tünel Kurutucuda Kurutma

Mikrodalga fırında kurutulmuş elmaların diğer bir kısmı ise 43°C sıcaklığında 1.07 m/san hava hızında Armfield Marka tünel kurutucuda kurutulmuş ve 30 dakikada bir işlem durdurulup elmalar tartılmıştır.

5.2 Deneylerde Kullanılan Mikrodalga Fırının Özellikleri

1. Mikrodalga fırın 302 cm boyunda, 53 cm genişliğinde ve 30 cm yüksekliğindedir.
2. Fırının bant genişliği 45 cm ve deneylerde kullanılan kavite genişliği ise 64 cm'dir.

3. Malzeme giriş ve çıkış ağız arası perde aralıkları 5 cm'dir.
4. Fırın 6 adet 1,1 kW'lık mikrodalga jeneratörle beslenmektedir.
5. Kurutulan maddelerin hareketini sağlayan bantlar teflondan yapılmıştır. Hızı ayarlanabilir. Şekil 4.6'da kurutulan maddelerin hareketini sağlayan bantlar gösterilmiştir.



Şekil 5.6 : Kurutulan maddelerin hareketini sağlayan bantlar

6. Fırın iç ısı 5 kW'lık bir rezistans ile temin edilmektedir. Sıcak hava veren iki fan vardır. İç ısı termostat ile ayarlanabilir. Gececek havanın miktar ve hızı, her iki fanın devrini değiştirerek ayarlanmaktadır.
7. Bant boşken, mikrodalga jeneratörlerinin çalışması zararlı olduğundan, fırın çalıştırılmaya başlanırken yapılacak ayar ile, kurutulacak malzeme bant üzerinde ilerlerken jeneratör otomatik olarak devreye girer.
8. Yüksek ısılara çıkılmasının mahzurlu olduğu haller için, mikrodalga jeneratörlerinin periyodik olarak çalışma-durma zamanları tespit edilmektedir.

5.2.1. Sistemin Çalıştırılması

1. Kumanda panosunun şalteri açılır ve voltaj kontrol edilir. Eğer 220 V' tan az ise regülatör devreye alınır.
2. Bant motoru düğmesine basılır.

3. Belirlenen fırında kalış süresi grafikten bulunur. Bu değerin hizasında % değerini 1'nolu AC sürücüsüne işlenir.
4. Fırın fanları düğmesine basılır.
5. Belirlenen fırın sıcaklığı dijital göstergeye işaretlenir.
6. Isıtıcı düğmesine basılır.
7. Belirlenen hava hızı miktarı Tablo 5.1'de bulunur ve bu değerin hizasında yazılı % değeri 2 no'lu AC sürücüsüne işlenir.
8. Hava sıcaklığının belirlenen değere gelmesi beklenir.
9. Belirlenen fırında kalış süresi, Tablo 5.2'de bulunur, karşısında yazılı 1., 2., 3.,ve 4. zaman röleleri belirlenir.
10. Kurutulacak tartılmış elmalar fırın bandına yerleştirilir ve bant ileri düğmesine basılır. Şekil 5.7'de mikrodalga fırın bandına yerleştirilmiş elma örnekleri görülmektedir.
11. Daha sonra sistem çalıştırılır.



Şekil 5.7 : Mikrodalga fırın bandına yerleştirilmiş elma örnekleri

Tablo 5.1 Fanların AC sürücü hızlarına göre verdiği hava miktarı (m/dak)

AC Sürücü %	Hava miktarı (lt/dak)	Hava hızı (m/dak)
100	13.500	84,9
90	12.000	75,5
80	15.100	66
70	9.000	56
60	7.500	47
50	6.000	37,5
40	4.500	28,3
30	3.000	18,8
20	1.500	9,3
10	750	4,5
5	375	2,35

Tablo 5.2 Bant hızlarına göre zaman röleleri

Fırında kalma süresi	AC sürücü %	1. zaman rölesi	2. zaman rölesi	3. zaman rölesi	4. zaman rölesi
16	10	95	165	240	240
14	12	81	140	200	200
12	14	70	120	175	175
10	17	58	100	145	145
8	20	45	80	120	120
6	26	35	60	90	90
4	40	25	40	60	60

5.3 Elmaların Nem Tayini

Deneylerde kullanılan elmaların nem tayini Elektro - mag markalı etüvde yapılmıştır. Kabukları soyulan elmalar dilimlenerek tartılmış ve darası alınmış saat camı üzerine konularak 105 °C sıcaklığındaki etüvde 4 saat bırakılmıştır. Bu süre sonunda etüvden

çıkarılan elma örnekleri tekrar tartılmış ve nem oranları ortalama % 85,62 olarak bulunmuştur.

5.4 Elmaların Nem İçeriğinin Hesaplanması

Kurutma deneylerinde kullanılan elmaların nem içeriği kuru madde esas alınarak aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [25].

$$X = \frac{g \text{ su}}{g \text{ kuru madde}}$$

X = nem içeriği

5.5 Elmaların Rehidrasyon Kapasiteleri

Kurutulmuş elmaların tartımları alınarak 20 ± 2 °C sıcaklığındaki saf suya daldırılmıştır. 5., 10., 15., 20., 25., 30. ve 35. dakikalarda sudan çıkarılan (küp, dilim ve halka) şeklindeki elmalar süzgeç kağıdı üzerine alınmış ve süzülmesi beklendikten sonra tekrar tartımları alınmıştır. Su alan elmaların aldığı suyun ağırlığının kuru elma ağırlığına oranlanmasıyla rehidrasyon oranı bulunmuştur [24].

5.6 Su Aktivitesi Tayini

Su aktivitesi, sistemdeki suyun buhar basıncının aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına oranı olarak ifade edilir. Su aktivitesi aşağıdaki eşitlikle ifade edilir [7].

$$a = ERH = \frac{P}{P^o}$$

Mikrodalga fırında kurutulmuş elmalar Protimeter markalı su aktivitesi cihazının haznesine yerleştirilerek yaklaşık 30 dakika beklenmiş ve cihazın göstergesinden su aktivitesi değeri yüzde olarak okunmuştur.

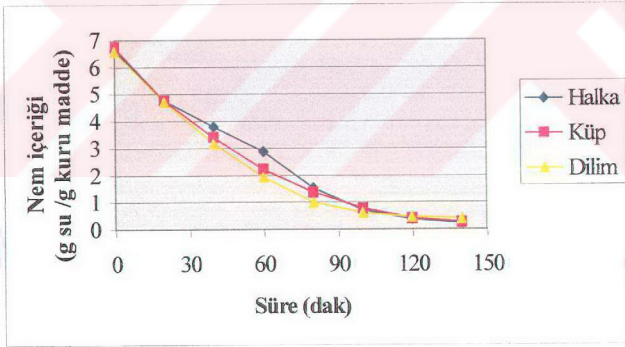
5.7 Mikrodalga Fırında Yapılan Kurutma Deneyleri

5.7.1 Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 5 sitrik asit çözeltisine ve damıtık suya batırılmış elma parçalarının kurutulması

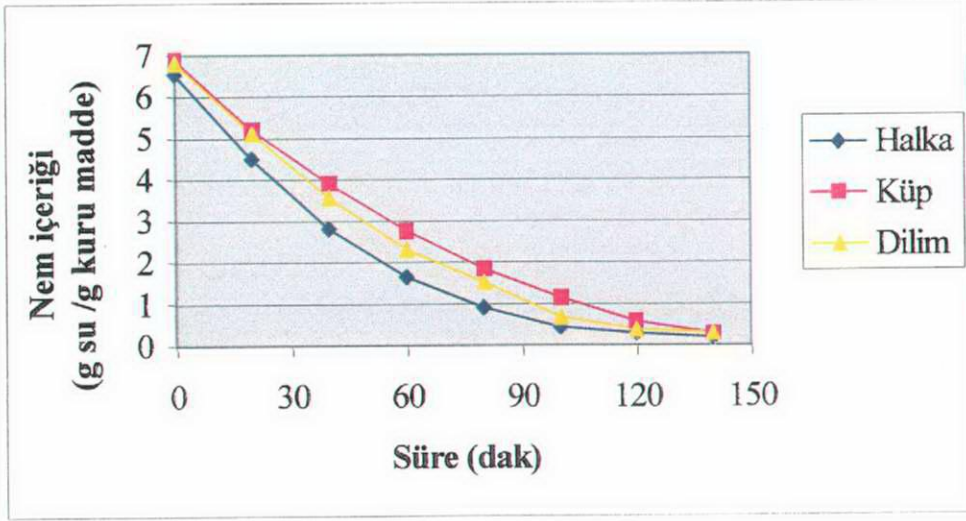
Bu deneyde kurutma işlemi esnasında; a) sitrik asit çözeltisine, b) damıtık suya batırıldıktan sonra kurutulan elma parçalarında meydana gelen esmerleşme incelenmiştir. Birinci aşamada, elmaların bir kısmı kabukları soyulup çekirdekleri çıkartıldıktan sonra kalınlığı 3,5 – 4 mm olan halka ve dilim şeklinde, diğer bir kısmı ise kenar uzunluğu yaklaşık 6 mm olan küpler şeklinde doğranmıştır. Halka, dilim ve küp şeklindeki elma parçalarının tartımları alınmış, daha sonra % 5'lik sitrik asit çözeltisine batırılmıştır. Sitrik asit çözeltisinden çıkarılan elmalar, süzgeç kağıdı üzerine alınmış ve süzülene kadar süzgeç kağıdı üzerinde bekletilmiştir. İkinci aşamada daha önce anlatıldığı gibi üç farklı şekilde (halka,dilim,küp) doğranan elma parçaları sitrik asit çözeltisi yerine damıtık suya batırılmış ve süzgeç kağıdı üzerinde bekletilerek süzölmüştür. Mikrodalga fırın sıcaklığı $55 (\pm 3)$ °C'ye ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanmış, suları süzölen % 5'lik sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçaları ve damıtık suya batırılmış elma parçaları mikrodalga fırın bantı üzerine yerleştirilmiş ve mikrodalga fırın çalıştırılmıştır. Şekil 5.8'de hazırlanan elmaların mikrodalga fırının bantına yerleştirilmesi görölmektedir. Her 20 dakikada bir fırın durdurulmuş ve elmalar dışarı alınarak tartım alınmıştır. Deney sonucunda elde edilen verilere ait Tablo A.1 Ek A'da verilmiştir. Bu değerlere ait kuruma eğrileri ise Şekil 5.9 ve 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.8: Hazırlanan elmaların mikrodalga fırın bandına yerleştirilmesi



Şekil 5.9 : Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri.

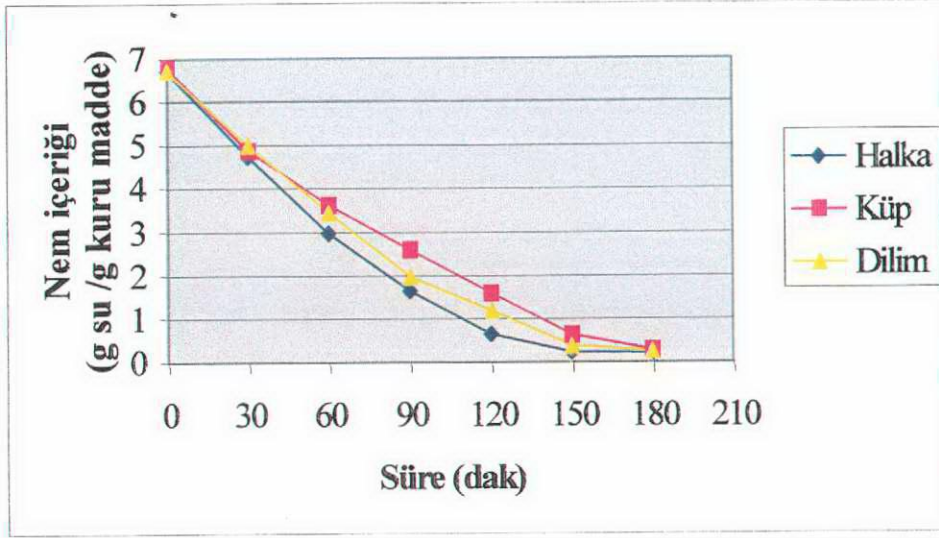


Şekil 5.10: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında damıtık suya batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri.

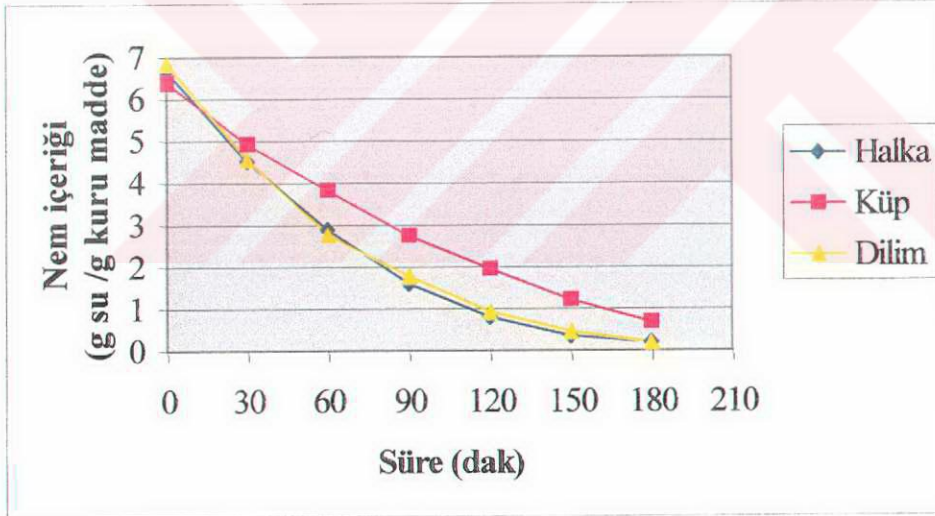
Damıtık su ve sitrik asitin renk üzerindeki etkisini incelemek için yapılan bu deneyde damıtık suya batırılarak kurutulan elma örneklerinde gözle görülür biçimde büyük ölçüde kararırma olduğundan sitrik asit ile çalışılmaya karar verilmiştir. Öte yandan % 5 konsantrasyonunda sitrik asit çözeltisine batırılan elma örneklerinde sitrik asitten dolayı rahatsız edici bir ekşi tat oluştuğundan daha düşük konsantrasyonda sitrik asit çözeltisiyle çalışılması uygun bulunmuştur.

5.7.2 Sıcaklığı 55 ± 3 °C'ye ayarlanan mikrodalga fırında % 0,5 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının 30,1 m/dak, 51,7 m/dak, 70,1 m/dak hava hızlarında kurutulması

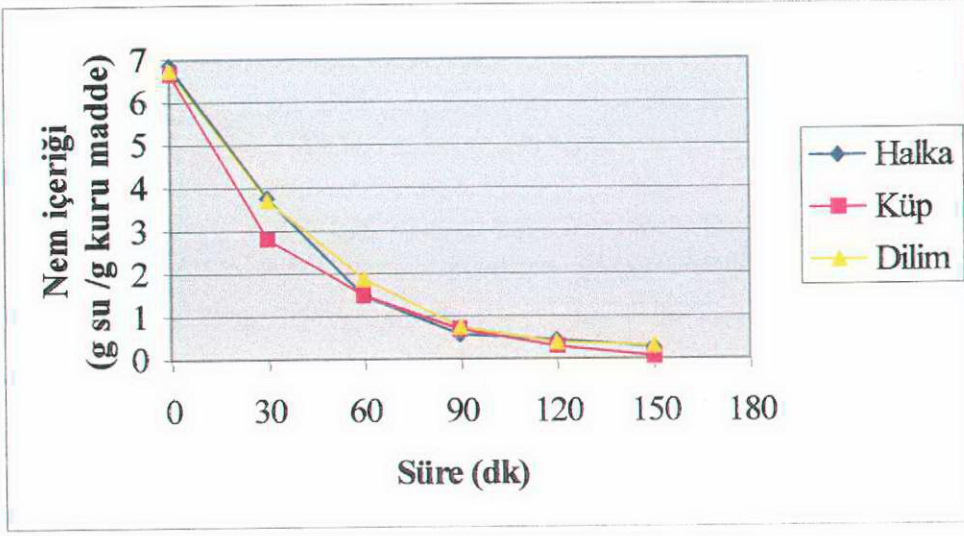
Bu deneyde % 0,5 sitrik asit konsantrasyonuna batırılan halka, dilim ve küp şeklindeki elma örnekleri 55 ± 3 °C sıcaklığına ayarlanan mikrodalga fırında sırasıyla, 30,1 m/dak, 51,7 m/dak ve 70,1 m/dak hava hızlarında kurutulmuş belirli aralıklarla fırın dışarısına çıkarılarak tartımları alınmıştır. Ek A'da Tablo A.2'de 30,1 m/dak, 51,7 m/dak ve 70,1 m/dak hava hızında mikrodalga fırında kurutulan elmaların zamana göre nem içeriği değerleri verilmiştir. Şekil 5.11, 5.12 ve 5.13 bu hava hızlarındaki elma örneklerinin kuruma eğrilerini göstermektedir.



Şekil 5.11: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 30,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 0,5 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri.



Şekil 5.12: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 0,5 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri.

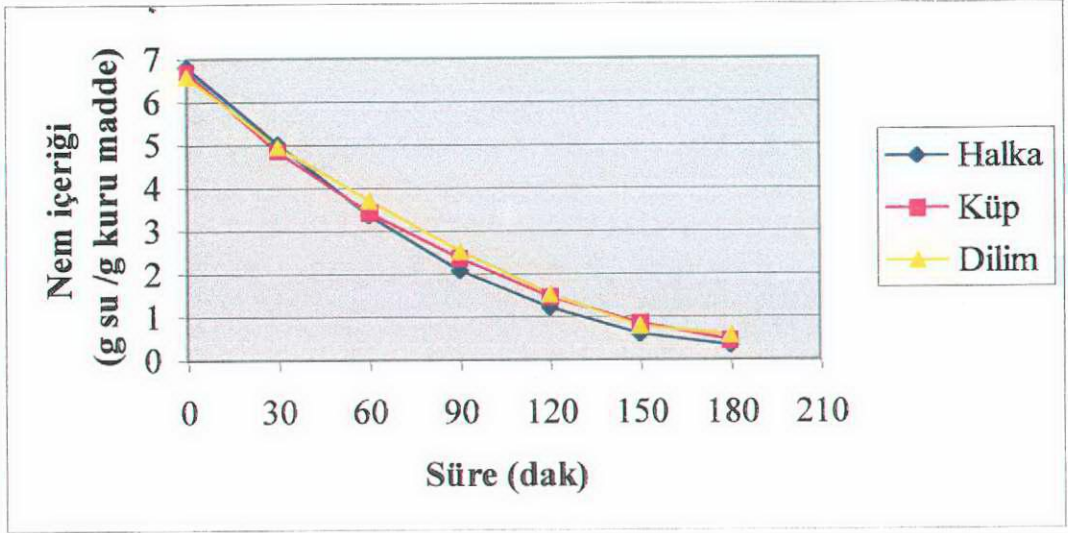


Şekil 5.13: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 0,5 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri.

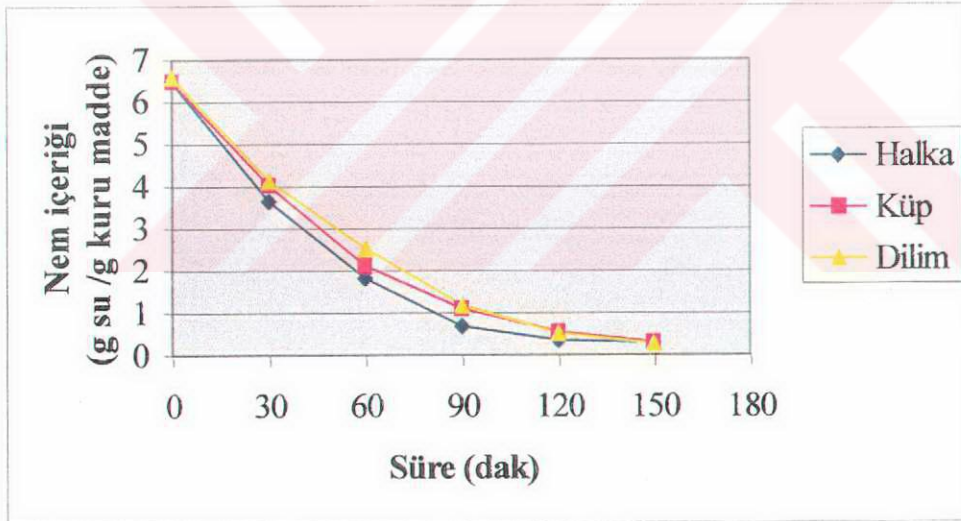
Bu deney serisinde 30,1 m/dak hava hızında en iyi kuruma sırasıyla halka, dilim ve küpte görülmüştür. 51,7 m/dak hava hızında halka ve dilim şeklindeki elma örnekleri yaklaşık olarak aynı kuruma eğrisi karakteristiklerini gösterirken, 70.1 m/dak hava hızında kurumanın başlangıcı dışında hemen hemen aynı kuruma eğrisine sahip olduğu görülmüştür.

5.7.3 Sıcaklığı 55 ± 3 °C'ye ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının 51,7 m/dak, 70,1 m/dak, 90,1 m/dak hava hızlarında kurutulması

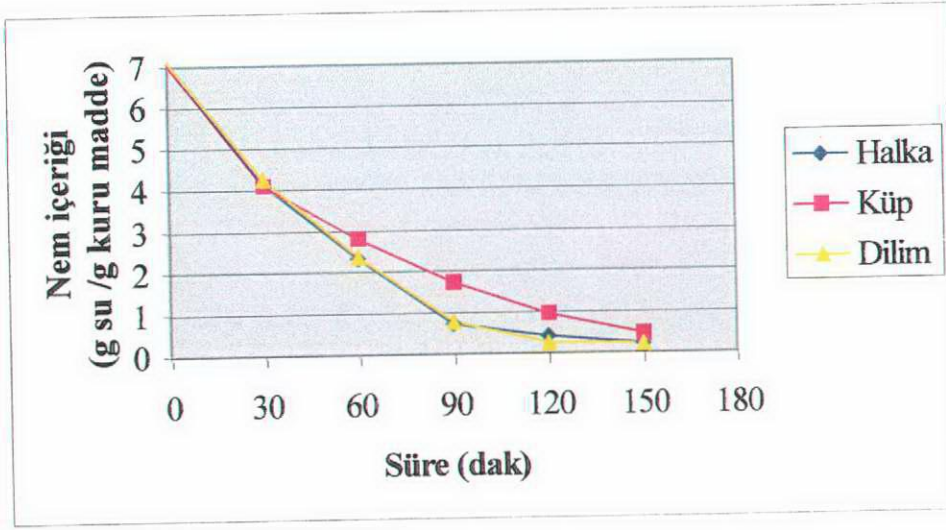
Yukarıda verilen deney serisinde 30,1 m/dak hava akım hızıyla kurutulan elmalarda mikrodalga fırından çıkışta rengin değişmeye başladığı görüldüğünden daha sonraki deneylerde bu hava akım hızıyla çalışılmamıştır. Bu deney serisinde mikrodalga fırın sıcaklığı 55 °C'de sabit tutulmuş, sitrik asit konsantrasyonu % 2 olarak seçilmiş ve 51,7 m/dak, 70,1 m/dak ve 90,1 m/dak hava hızlarında çalışılmıştır. Elma örneklerinin zamana göre nem içerikleri Ek A'da Tablo A.3'te kuruma eğrileri ise sırasıyla Şekil 5.14, 5.15 ve 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.14: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri.



Şekil 5.15: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri.

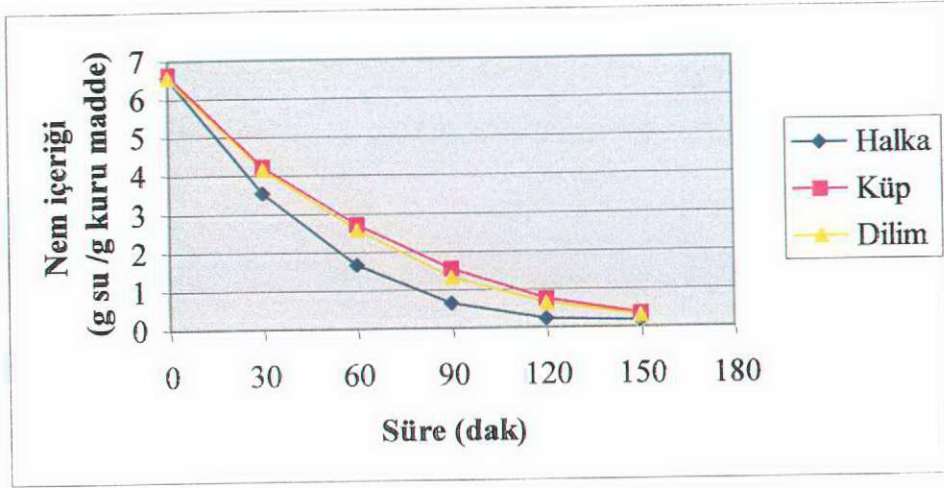


Şekil 5.16: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 90,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri.

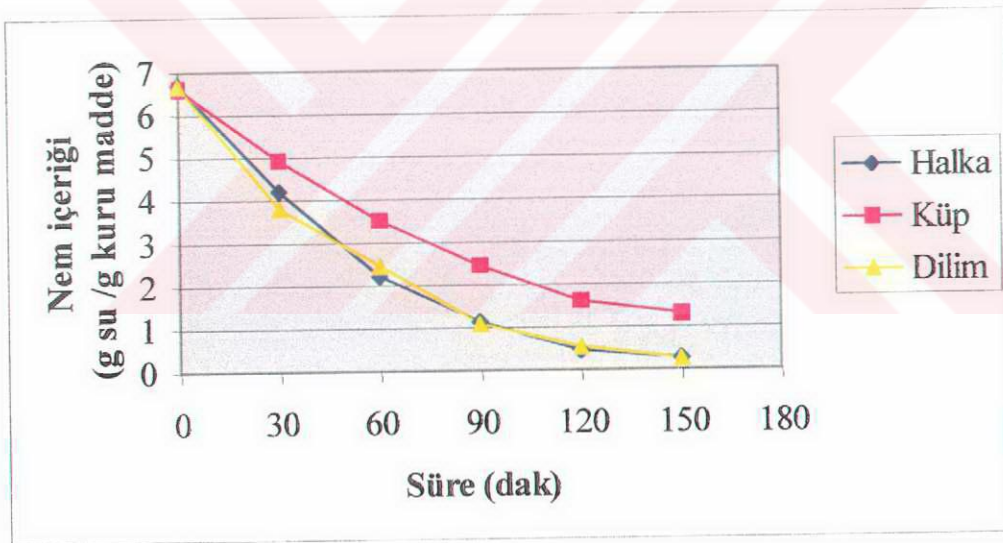
Deney sonucunda 51,7 m/dak, 70,1 m/dak hava hızında kurutulan elma örnekleri kuruma eğrileri bakımından değerlendirildiğinde halka şeklinde kesilmiş elma örneklerinin daha iyi kuruduğu dilim ve küp şekilli elma örneklerinin 90,1 m/dak hava hızı da dahil olmak üzere yaklaşık aynı eğriye sahip oldukları görülmüştür. 90,1 m/dak hava hızında küp şeklindeki elma örnekleri halka ve dilim şeklinde olanlarla karşılaştırıldığında daha geç kurumuştur.

5.7.4 Sıcaklığı 65 ± 3 °C'ye ayarlanan mikrodalga fırında % 2 ve % 4 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının 51,7 m/dak, hava hızında kurutulması

Bu deney serisinde farklı bir sıcaklık seçilmiştir. Hava akım hızı 51,7 m/dak'ya ve fırın sıcaklığı 65 ± 3 °C'ye ayarlanmıştır. Sitrik asit çözeltisi konsantrasyonu olarak iki farklı konsantrasyonunda kurutma yapılmıştır. % 2 ve % 4 sitrik asit konsantrasyonuna batırılmış elma örnekleri kurutulmuştur. Ek A'da Tablo A.4'te elma örneklerinin nem içerikleri ve Şekil 5.19 ve 5.20'de ise kuruma eğrileri görülmektedir.



Şekil 5.17: Sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri.



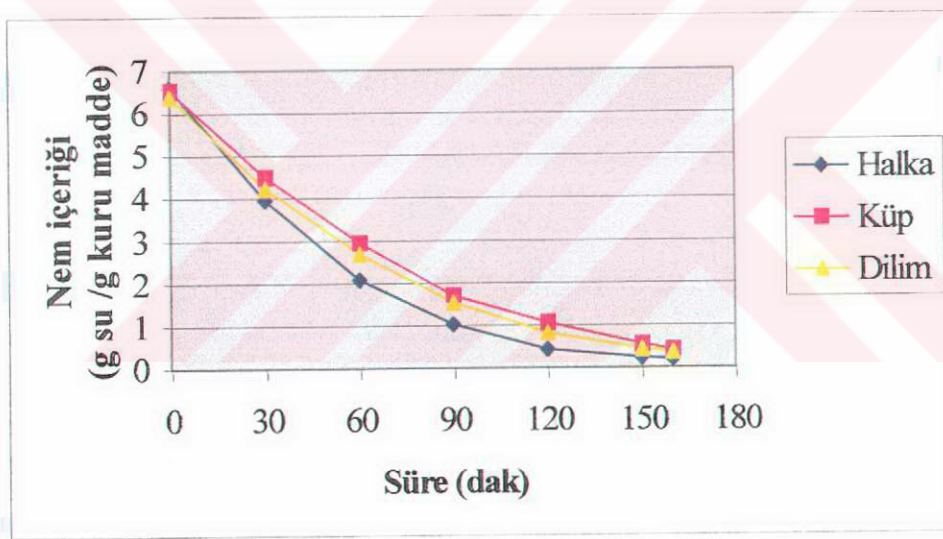
Şekil 5.18: Sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 4 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri.

% 2 sitrik asit konsantrasyonunda en hızlı kuruyan halka şeklinde olan elmalar olmuştur. Küp ve dilim şeklinde olanların kuruma eğrileri yaklaşık olarak benzer davranışı göstermiştir. % 4 sitrik asit konsantrasyonunda ise dilim ve halka şekilli elma örnekleri yaklaşık olarak benzer miktar ve hızda kuruma özelliği göstermiştir.

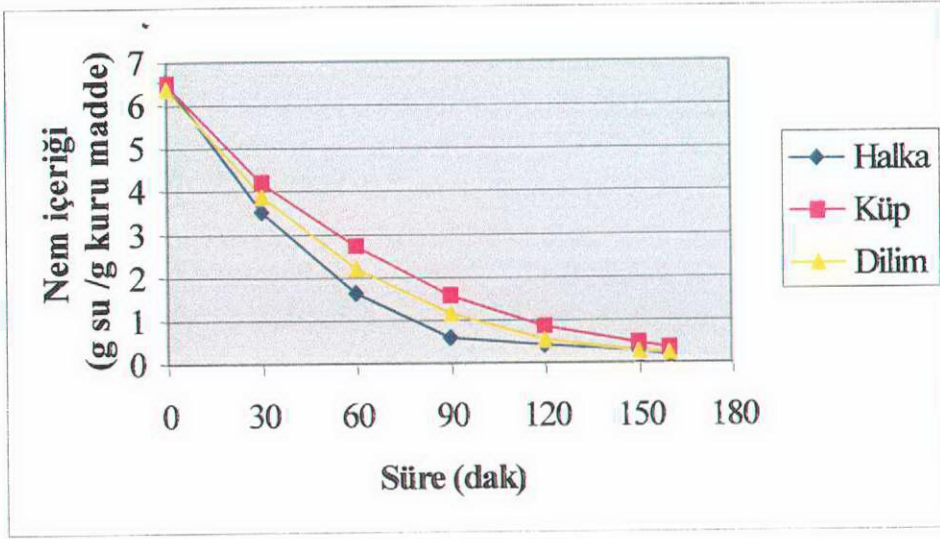
Küp şekilli örneklerin halka ve dilim şeklindeki elma örneklerine göre daha geç kuruduğu ve aynı süreye tabi tutulmalarına rağmen nem içeriği bakımından daha yüksek bir değerde kaldığı görülmüştür.

5.7.5 Sıcaklığı 65 ± 3 °C'ye ayarlanan mikrodalga fırında % 2 ve % 4 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının 70,1 m/dak hava hızında kurutulması

Bu deney serisinde mikrodalga fırın sıcaklığı 65 ± 3 °C'ye ve hava akım hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanmıştır. % 2 ve % 4 konsantrasyonunda sitrik asit çözeltisi ile çalışılmış ve sitrik asit konsantrasyonunun elma örnekleri üzerine etkisi incelenmiştir. Ek A'da Tablo A. 5'te elma örneklerinin zamana göre nem içerikleri verilmiştir, aşağıdaki Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'de ise kuruma eğrileri görülmektedir.



Şekil 5.19: Sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri.



Şekil 5.20: Sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 4 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri.

Bu deneyler sonucunda 65 ± 3 °C'de her iki sitrik asit konsantrasyonunda da elma örneklerinin çeşitli yerlerinde ve özellikle kenarlarında kavrulma olduğu gözlenmiştir. Renk bakımından % 2 ve % 4 sitrik asit konsantrasyonlarına batırılarak kurutulan elma örneklerinde önemli bir fark olmadığı görülmüştür.

5.8 Su Aktivitesi Deneyleri

Mikrodalga kurutma sonrasında, dilim ve küp şeklindeki elma örneklerinin su aktiviteleri Protimeter Marka'lı Su Aktivitesi Tayin Cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Elma örneklerinin tayin edilen su aktivitesi değerleri Tablo 5.3'te gösterilmiştir.

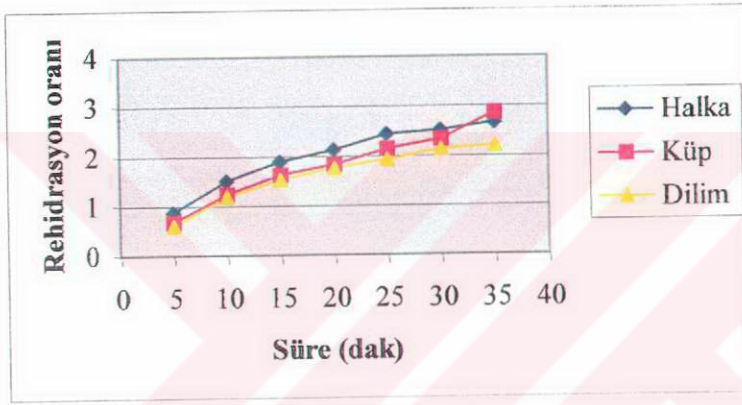
Tablo 5.3. Su aktivitesi deney sonuçları

Sıcaklık (°C)	Hava Hızı (m/dak)	Sitrik asit (%)	Su aktivitesi (Dilim şeklindeki elma örnekleri)	Su aktivitesi (Küp şeklindeki elma örnekleri)
55	30,1	0.5	0,58	0,62
55	51,7	0.5	0,68	---
55	70,1	0.5	0,54	0,58
55	51,7	2	0,71	---
55	70,1	2	0,57	0,61
55	90,1	2	0,59	---
55	51,7	5	0,60	0,62
65	51,7	2	0,59	---
65	70,1	2	0,63	0,69
65	51,7	4	0,58	---
65	70,1	4	0,57	0,64

Mikrodalga kurutma işleminden sonra, küp şeklinde olan elma örneklerinin deneylerden sonra 1 ay gibi kısa bir süre içerisinde küflendiği gözlenmiştir. Tablo 5.3'te su aktivitesi değeri olmayan küp şeklindeki elma örnekleri bozulan (küflen) örneklerdir. Küp şekilli örneklerde daha önceki deneylerin genelinde görüldüğü gibi kurutma işlemleri sonucunda nem içeriğinin yüksek değerlerde kaldığı görülmüştür. Su aktivitesi bakımından değerlendirme yapıldığında en iyi sonucu 55 ± 3 °C fırın sıcaklığında 70,1 m/dak hava hızında kurutulan % 2 ve % 0,5 sitrik asit çözeltilerine batırılmış örneklerin ve 65 ± 3 °C fırın sıcaklığında 51,7 m/dak hava hızında kurutulan % 4 sitrik asit çözeltisine batırılmış örneklerin verdiği görülmüştür.

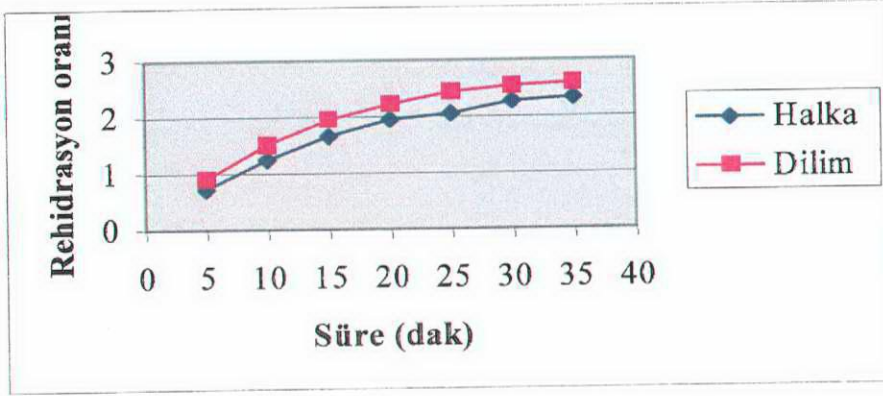
5.9 Rehidrasyon Deneyleri

Rehidrasyon deneyleri için; kurutulmuş elmalar tartımları alınarak 20 ± 2 °C sıcaklığındaki saf suya daldırılmıştır. 5.,10.,15.,50.,25.,30. ve 35. dakikalarda sudan çıkarılan (küp, dilim ve halka) şeklindeki elmalar süzgeç kağıdı üzerine alınmış ve süzülmesi beklendikten sonra tekrar tartımları alınmıştır. Su alan elmaların aldığı suyun ağırlığının kuru elma ağırlığına oranlanmasıyla rehidrasyon oranı bulunmuştur. Şekil 5.21’de Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak’ya ayarlanan mikrodalga fırında % 5 sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C’deki suda rehidrasyon eğrileri görülmektedir.



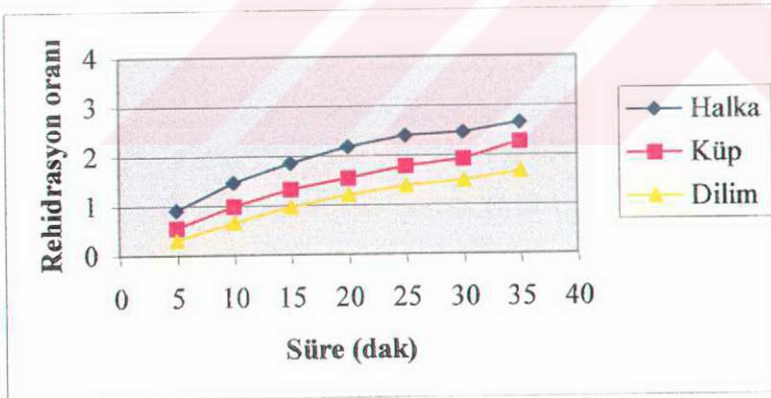
Şekil 5.21: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak’ya ayarlanan mikrodalga fırında % 5 sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C’deki suda rehidrasyon eğrileri

Şekil 5.22’de sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak’ya ayarlanan mikrodalga fırında damıtık suya batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C’deki suda rehidrasyon eğrileri görülmektedir.



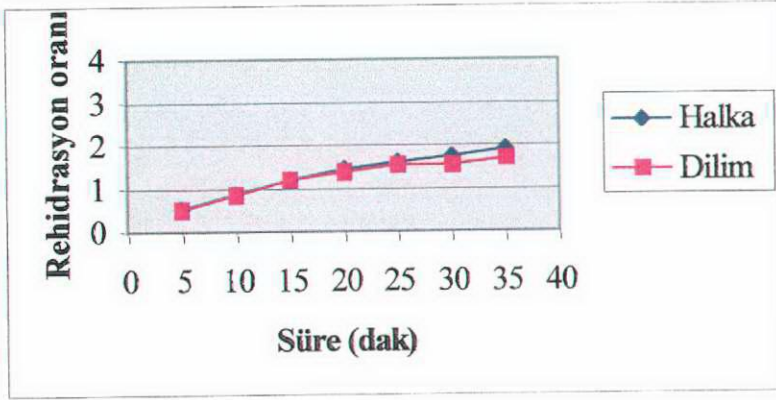
Şekil 5.22: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında damıtık suya batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri

Şekil 5.23'te Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 30,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 0,5 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri görülmektedir.



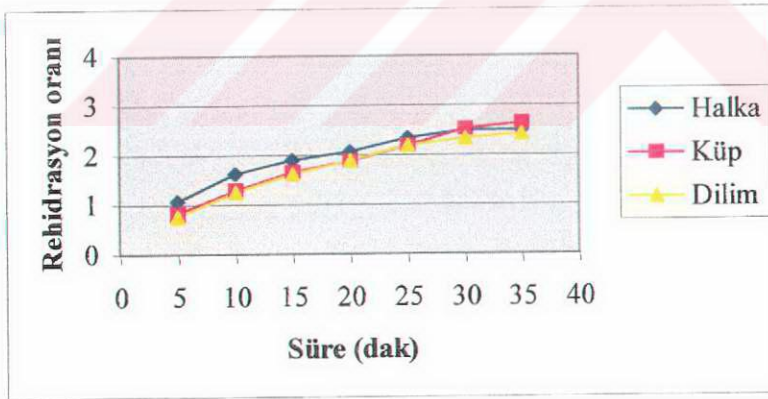
Şekil 5.23: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 30,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 0,5 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri

Şekil 5.24'te sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 0,5 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri görülmektedir.



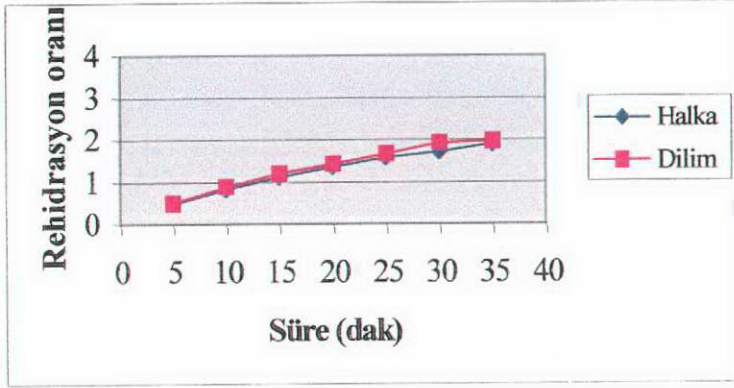
Şekil 5.24: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 0,5 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri

Şekil 5.25'te sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 0,5 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri



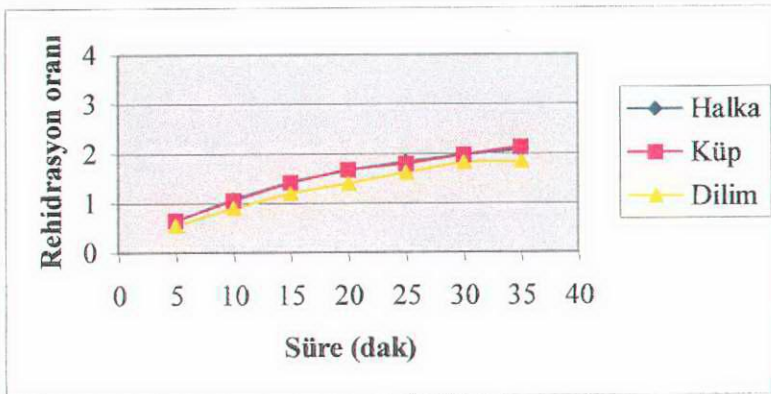
Şekil 5.25: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 0,5 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri

Şekil 5.26'da Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri verilmiştir.



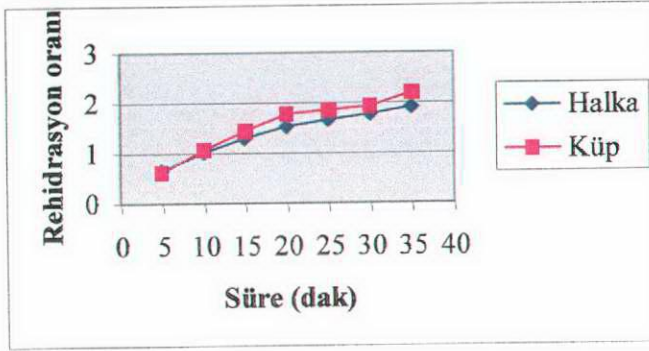
Şekil 5.26: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri

Şekil 5.27'de sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri görülmektedir.



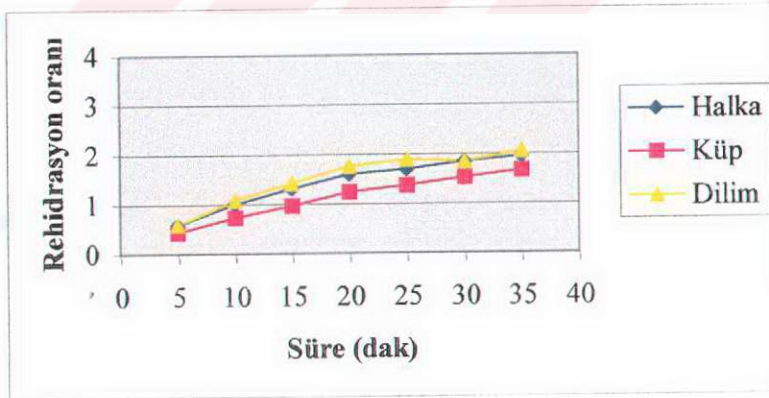
Şekil 5.27: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri

Şekil 5.28’de sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 90,1 m/dak’ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C’deki suda rehidrasyon eğrileri görülmektedir.



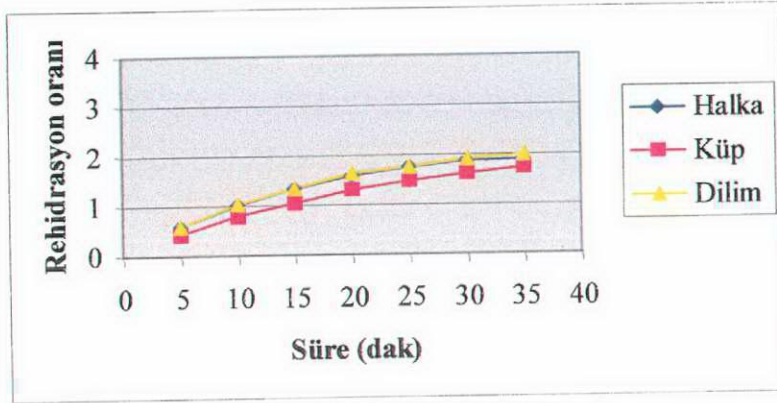
Şekil 5.28: Sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 90,1 m/dak’ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C’deki suda rehidrasyon eğrileri

Şekil 5.29’da sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak’ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C’deki suda rehidrasyon eğrileri görülmektedir.



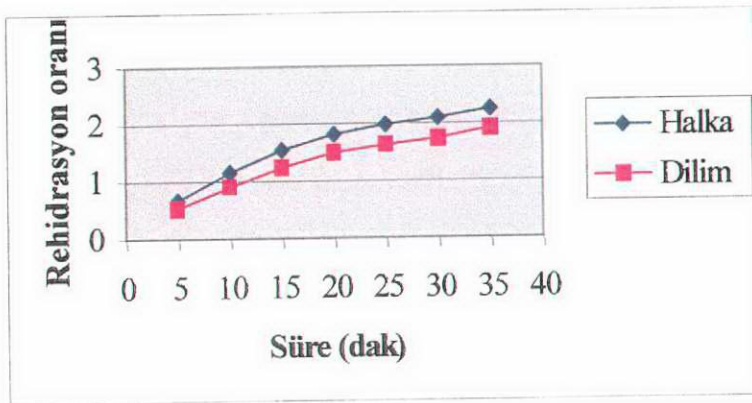
Şekil 5.29: Sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak’ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C’deki suda rehidrasyon eğrileri

Şekil 5.30'da sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 4 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri görülmektedir.



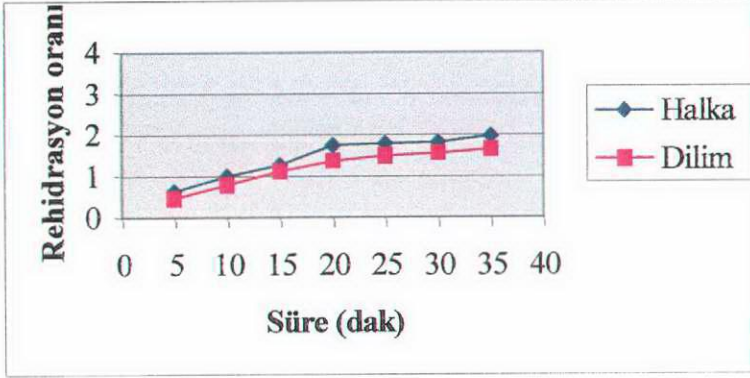
Şekil 5.30: Sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 4 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri

Şekil 5.31'de sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri görülmektedir.



Şekil 5.31: Sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C'deki suda rehidrasyon eğrileri

Şekil 5.32’de sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak’ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C’deki suda rehidrasyon eğrileri görülmektedir.



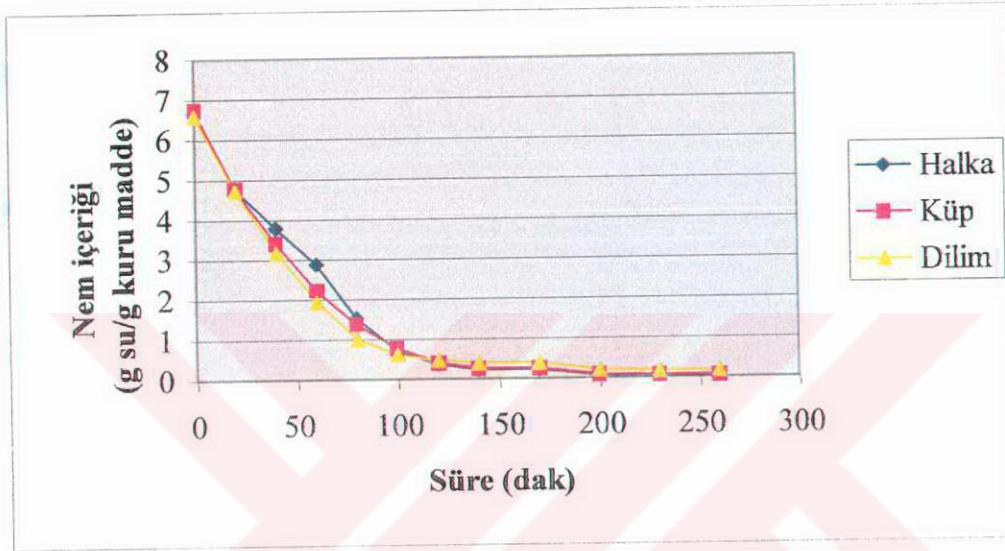
Şekil 5.32: Sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak’ya ayarlanan mikrodalga fırında % 2 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırıldıktan sonra kurutulmuş elma parçalarının 20 °C’deki suda rehidrasyon eğrileri

Yukarıda verilen rehidrasyon deneyleri sonucunda halka şeklinde olan elma örneklerinin deneylerin genelinde daha yüksek rehidrasyon kapasitesine sahip olduğu gözlenmiştir. Rehidrasyon kapasitesi bakımından tavsiye edilen şekil elma için halkadır. En iyi rehidrasyon kapasitesi 55 ± 3 °C fırın sıcaklığı, 51,7 m/dak ve 70,1 m/dak hava akım hızlarında kurutulan sırasıyla % 5 ve % 0,5 sitrik asit çözeltilerine batırılmış elma örneklerinin rehidrasyon kapasitelerinin diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

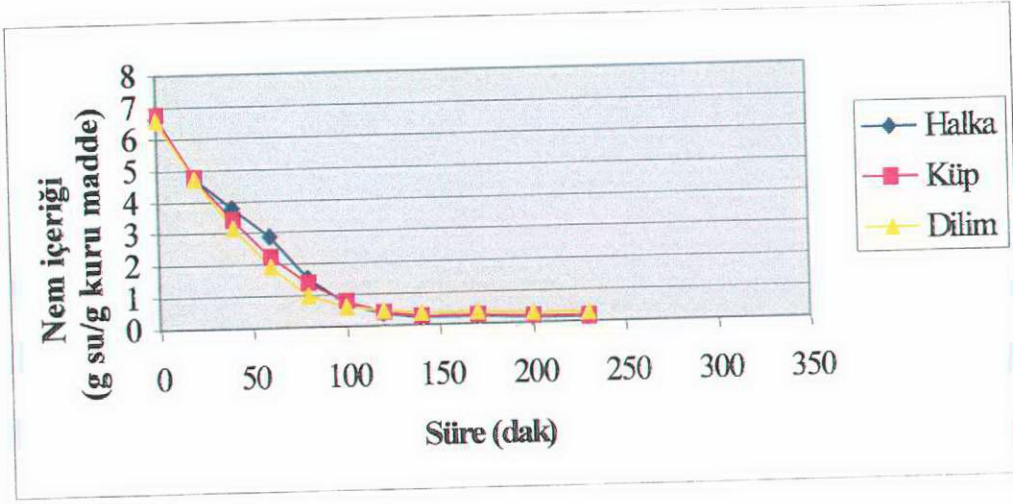
5.10 Mikrodalga Kurutma Sonrası Etüv ve Tünel Kurutucuda Son Kurutma Deneyleri

Bu çalışmada, elma örnekleri mikrodalga kurutucuda kurutulduktan sonra son kurutmaları etüv ve tünel kurutucuda yapılmıştır. Ek A’da Tablo A.6’da son kurutması etüvde ve tünel kurutucuda kurutulan elma parçalarının zamana göre nem içerikleri verilmiştir. Tablo A.6 örnek olarak verilmiştir, diğer deneyler için tablolar verilmemiştir.

İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında % 5'lik sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçaları kurutulmuş, daha sonra elma parçalarının bir kısmı tünel kurutucuda ve diğer bir kısmı ise etüvde kurutulmuştur. İkinci aşamada, etüvde kurutulan elma parçalarının kuruma eğrileri (140. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.) Şekil 5.33'te, tünel kurutucuda kurutulanların (170. dakikadan sonra tünel kurutucuda kurutma işlemine devam edilmiştir.) kuruma eğrileri ise Şekil 5.34'te gösterilmiştir.

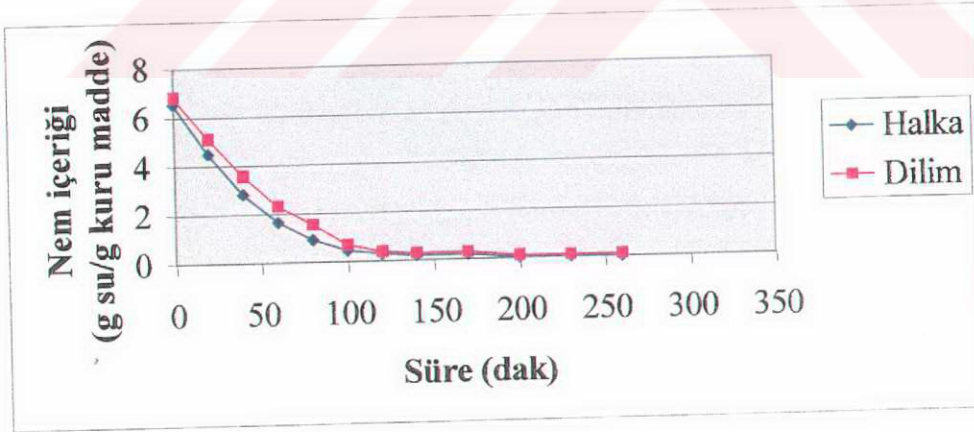


Şekil 5.33 : İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri. (140. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)



Şekil 5.34 : İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (170. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.)

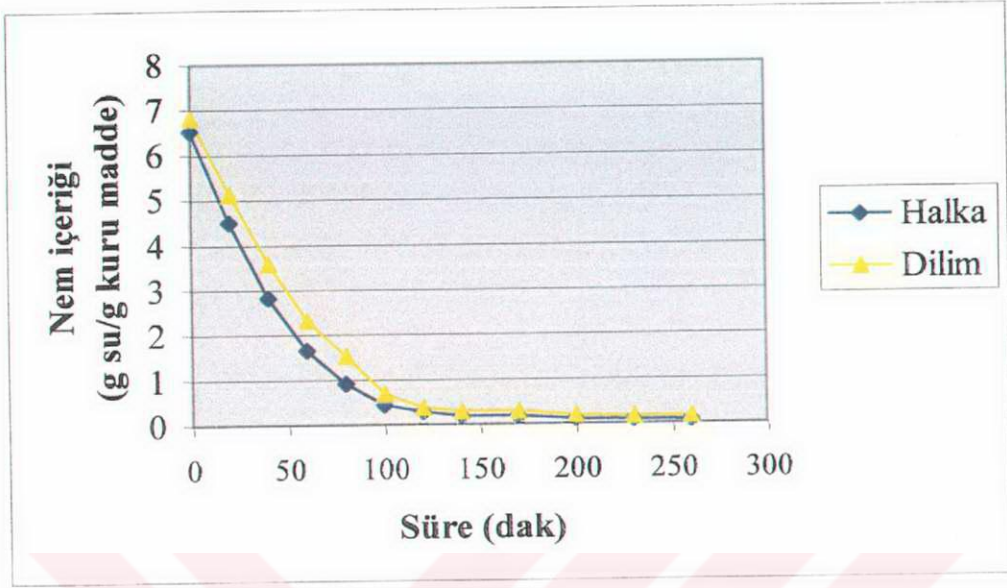
Şekil 5.35'te ilk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan damıtık suya batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (140. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.) gösterilmiştir.



Şekil 5.35: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan damıtık suya batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (140. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)

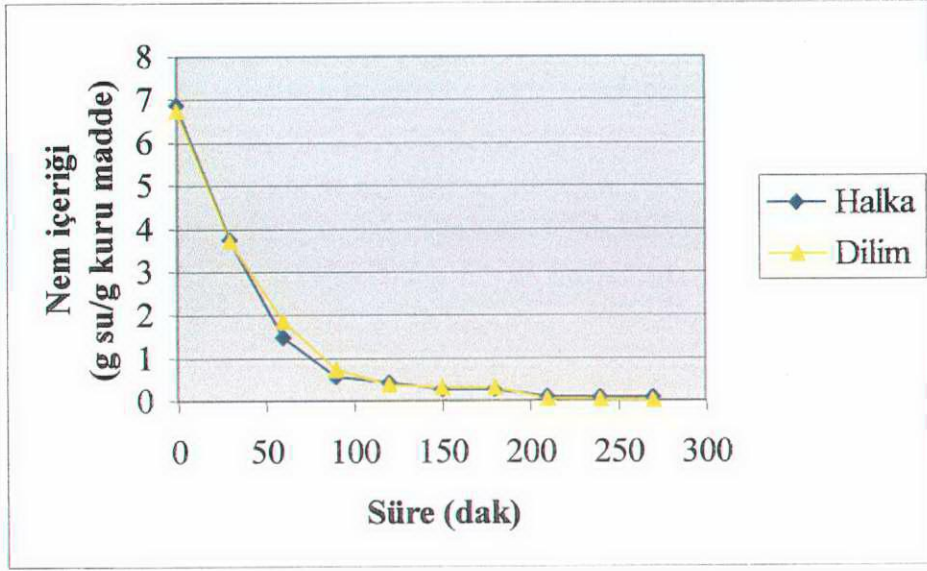
Şekil 5.36'da ise ilk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan damıtık suya

batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (140. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.) gösterilmiştir.



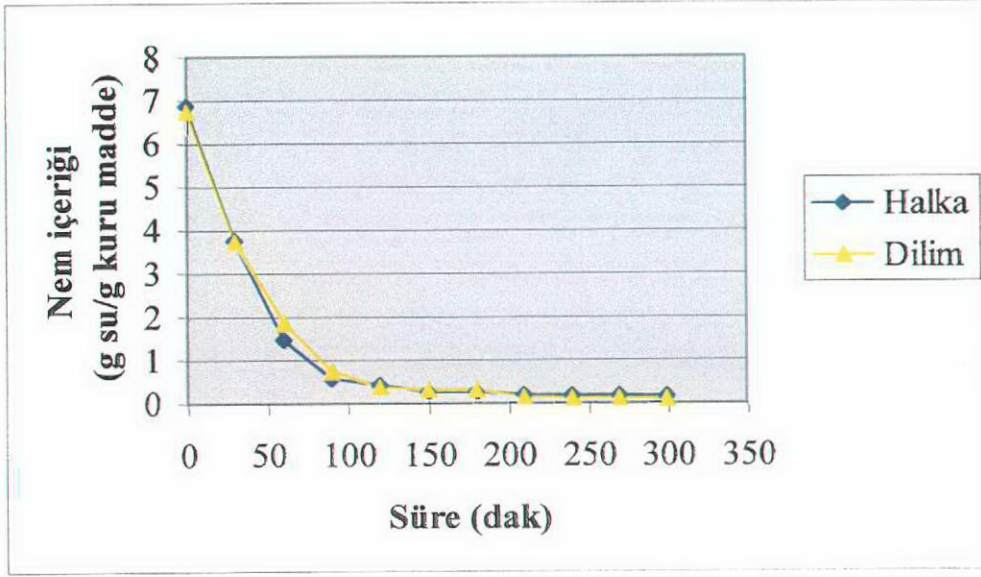
Şekil 5.36: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan damıtık suya batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (140. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)

Şekil 5.37'de ilk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.) gösterilmiştir.



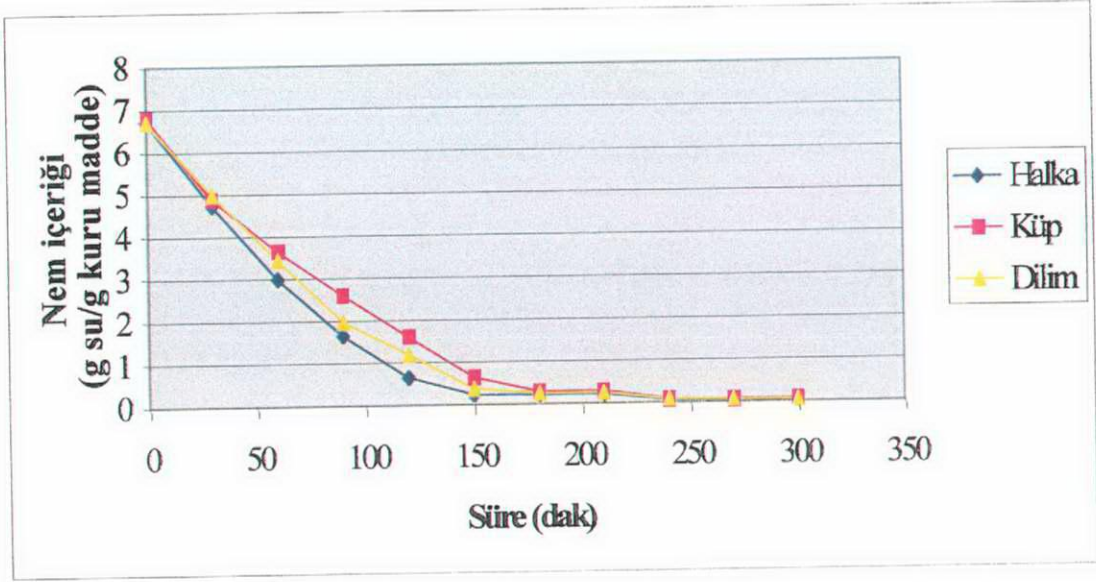
Şekil 5.37 : İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)

Şekil 5.38'de ilk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra tünel kurutucuda kurutma işlemine devam edilmiştir) gösterilmiştir.



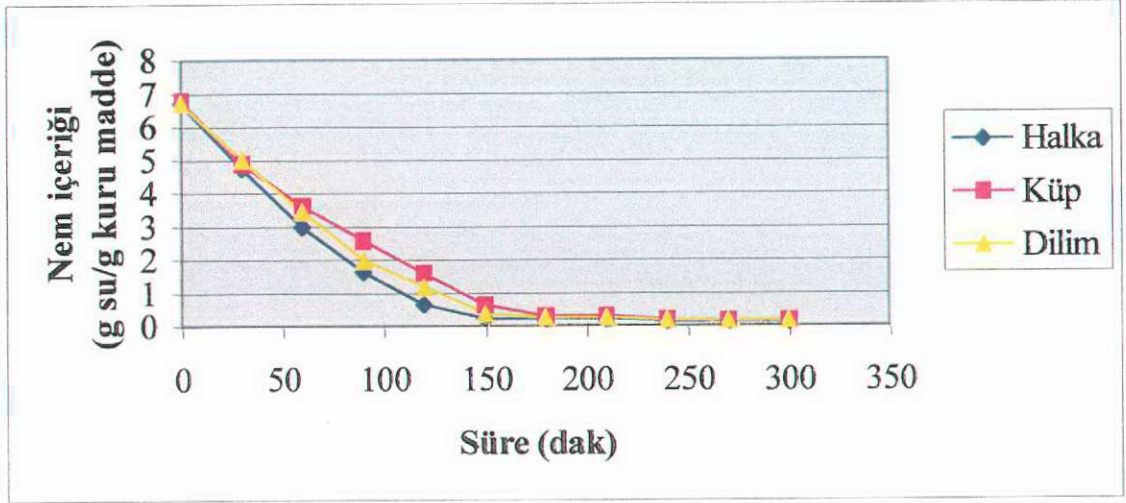
Şekil 5.38: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra tünel kurutucuda kurutma işlemine devam edilmiştir)

Şekil 5.39'da ilk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 30,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (180. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.) gösterilmiştir.



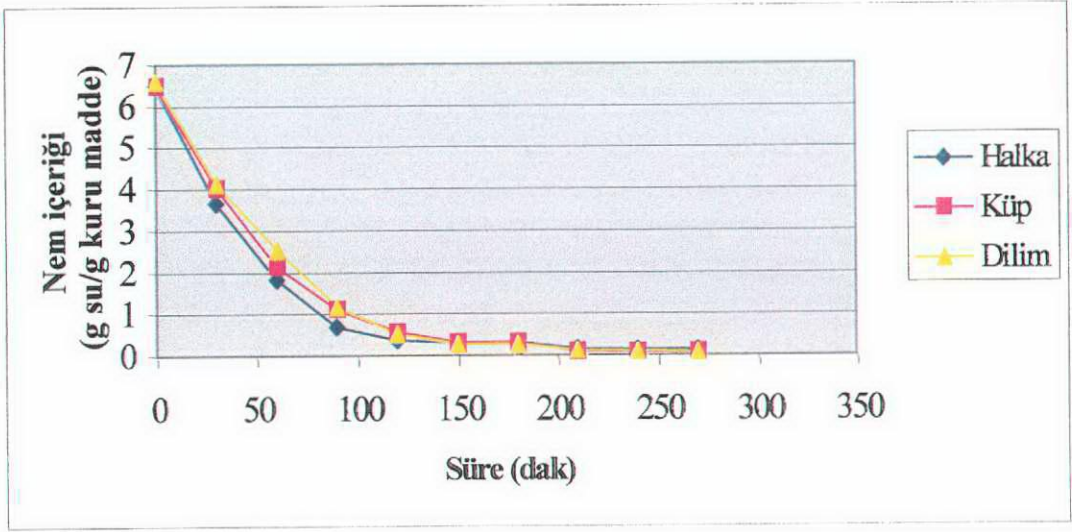
Şekil 5.39: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 30,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (180. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)

Şekil 5.40'ta ilk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 30,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının zamana göre kuruma eğrileri (180. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.) verilmiştir.



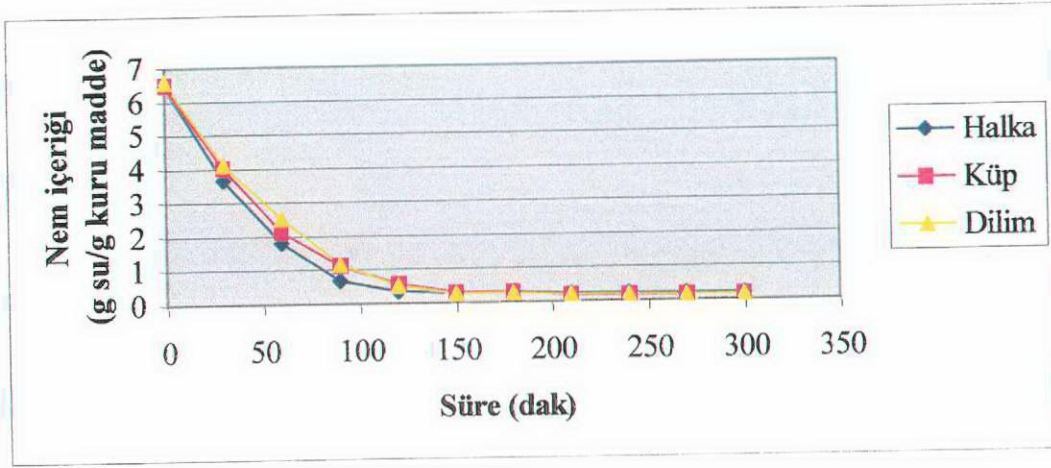
Şekil 5.40: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 30,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının nem içeriğinin zamana göre değişimi (180. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.)

Şekil 5.41'de ilk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan itibaren kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.) gösterilmiştir.



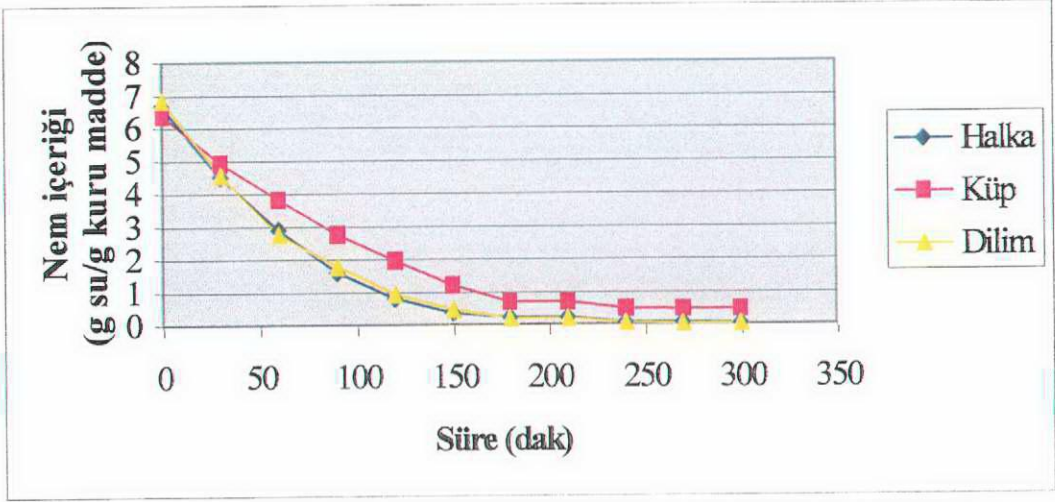
Şekil 5.41: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan itibaren kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)

Şekil 5.42'de ilk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.) verilmiştir.



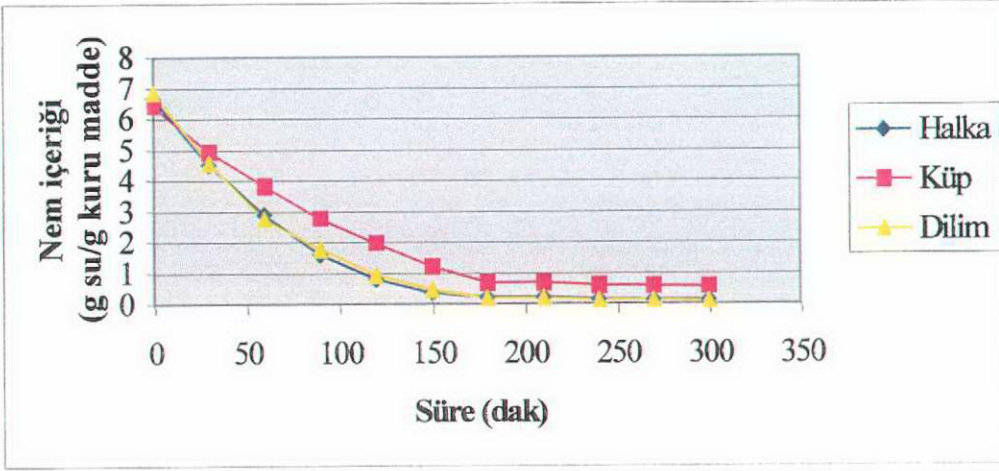
Şekil 5.42: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.)

Şekil 5.43'te ilk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (180. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.) gösterilmiştir.



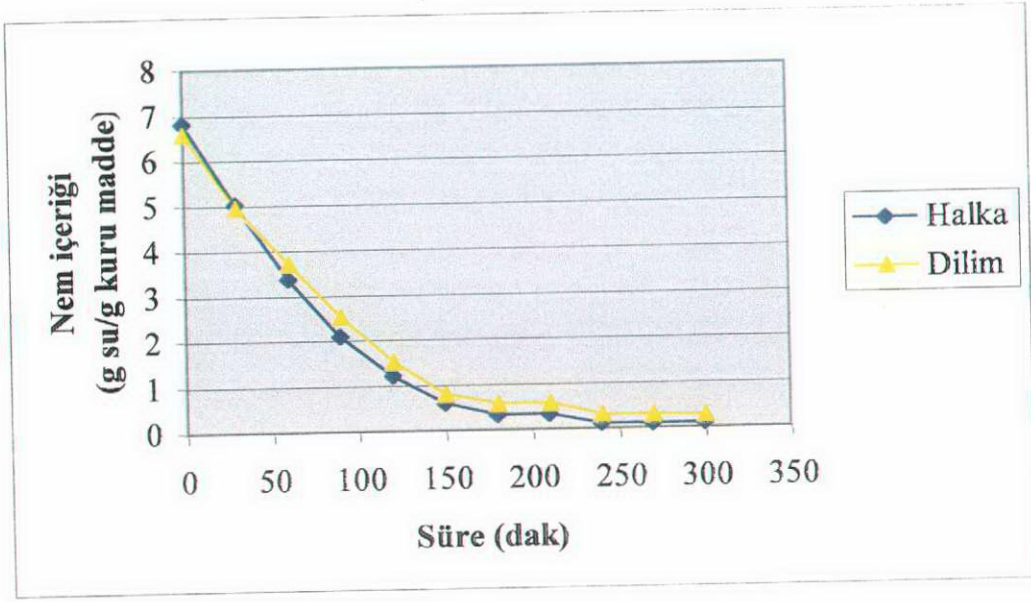
Şekil 5.43: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (180. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)

Şekil 5.44'te ilk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (180. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.) gösterilmiştir.



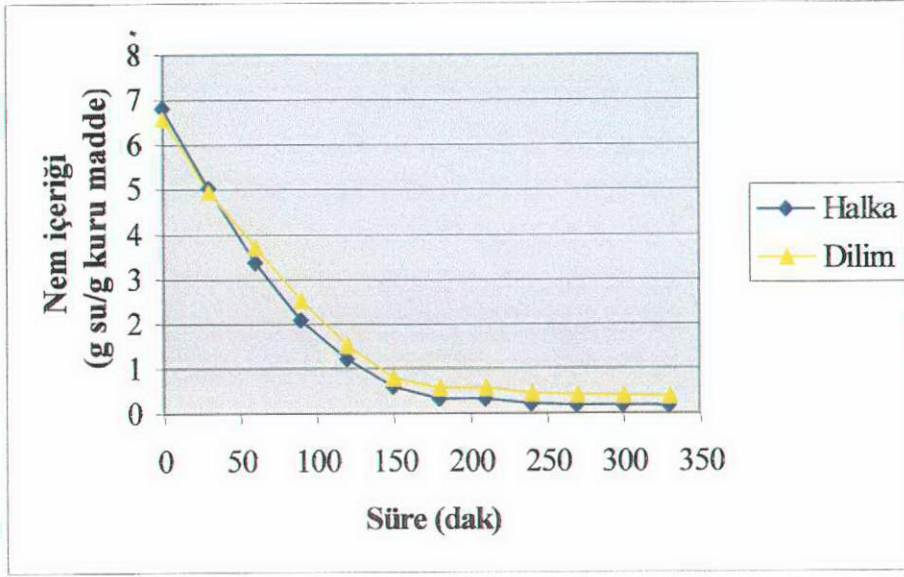
Şekil 5.44: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (180. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.)

Şekil 5.45'te ilk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (180. dakikadan itibaren kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir) gösterilmiştir.



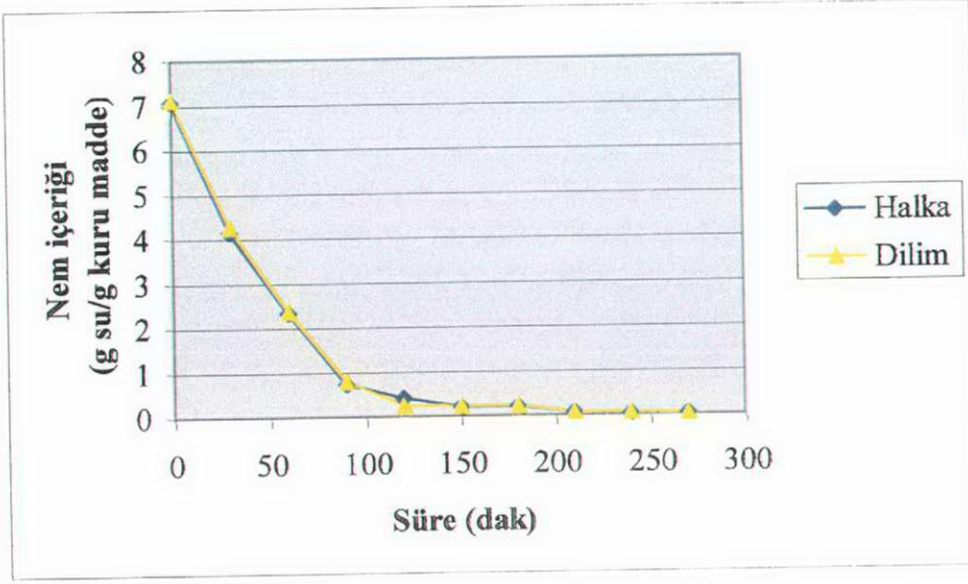
Şekil 5.45: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (180. dakikadan itibaren kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir)

Şekil 5.46'da ilk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (180. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.) verilmiştir.



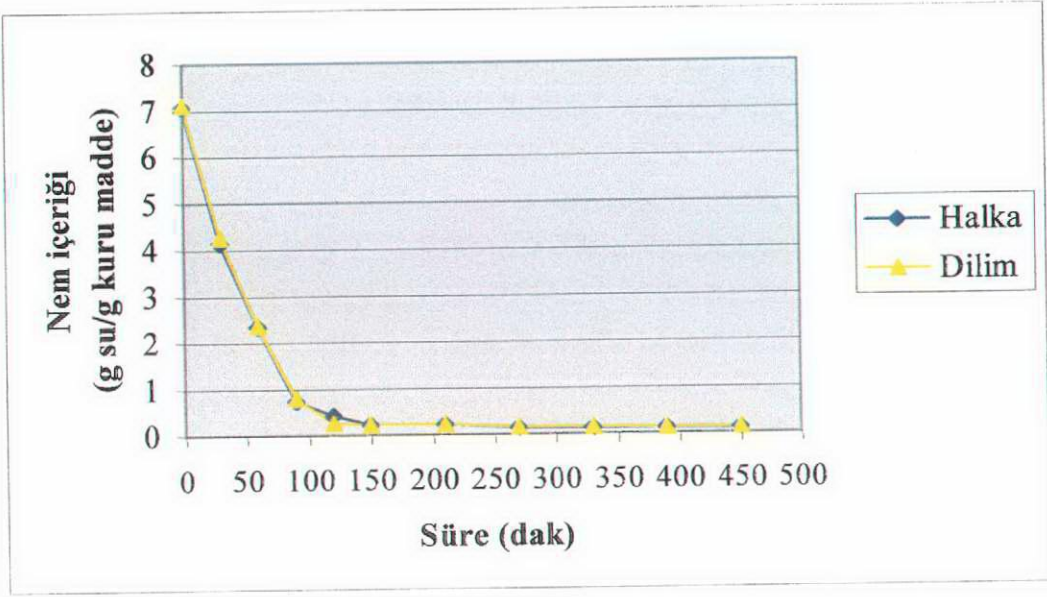
Şekil 5.46: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (180. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.)

Şekil 5.47'de ilk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir) gösterilmiştir.



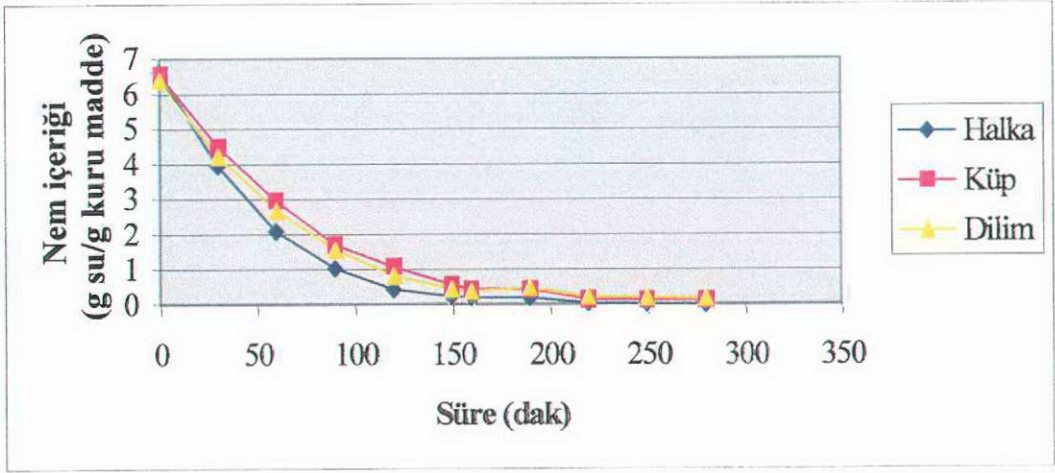
Şekil 5.47: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir)

Şekil 5.48'de ilk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.) verilmiştir.



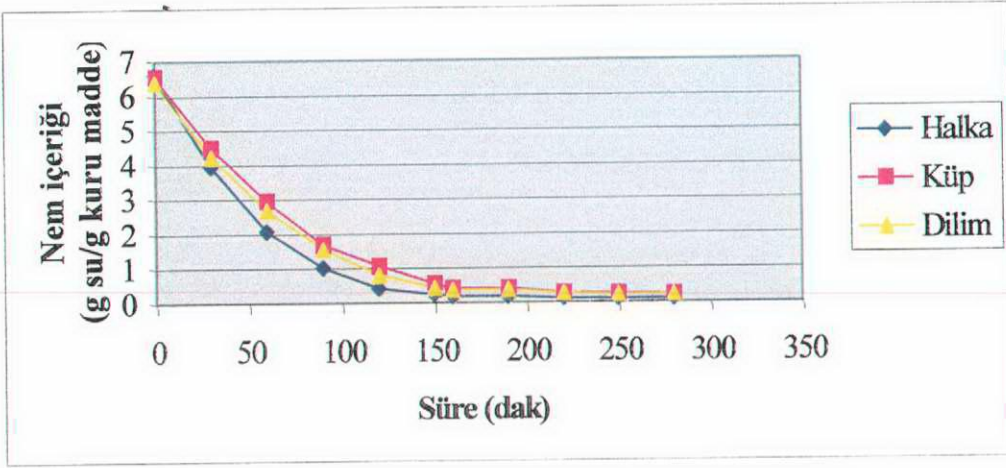
Şekil 5.48: İlk aşamada sıcaklığı 55 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.)

Şekil 5.49'da ilk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (160. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir) gösterilmiştir.



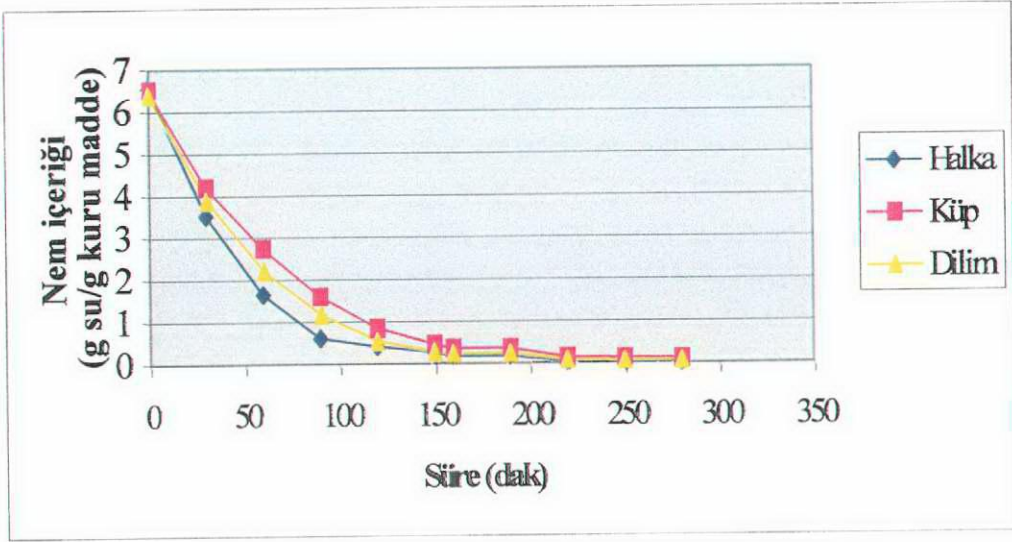
Şekil 5.49: İlk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (160. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir)

Şekil 5.50'de ilk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının zamana kuruma eğrileri (160. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.) gösterilmiştir.



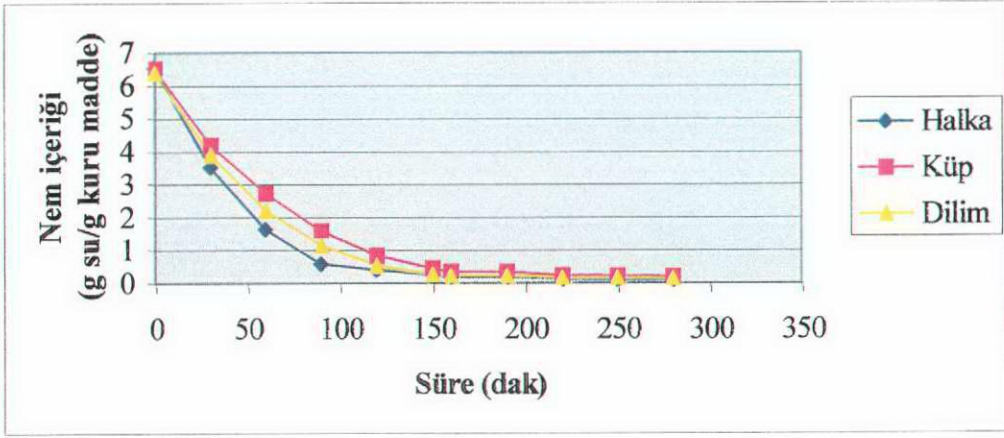
Şekil 5.50: İlk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının zamana kuruma eğrileri (160. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.)

Şekil 5.51'de ilk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 4 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (160. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.) gösterilmiştir.



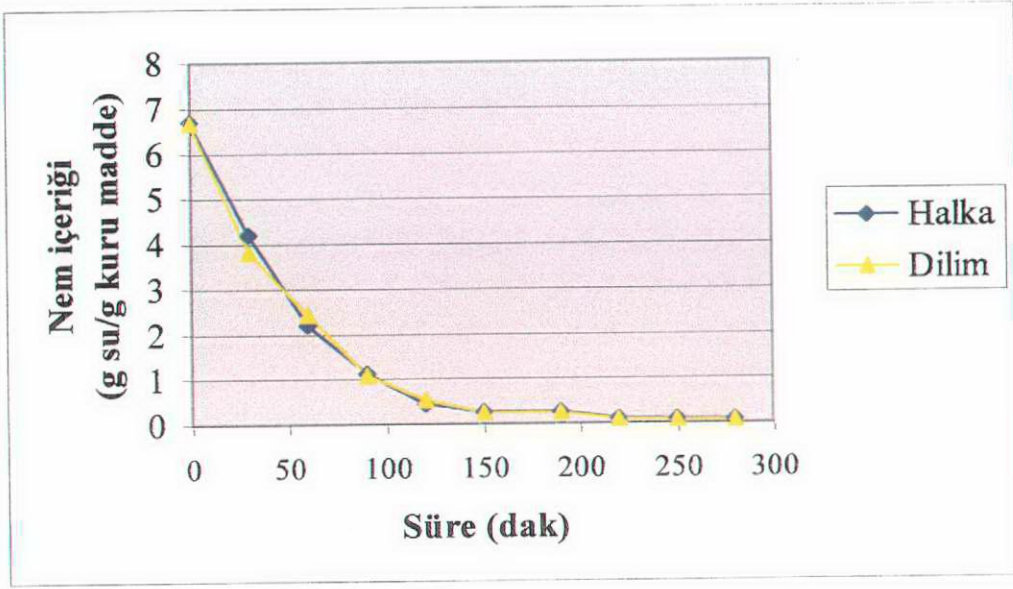
Şekil 5.51: İlk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 4 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (160. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)

Şekil 5.52'de ilk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 4 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (160. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.) gösterilmiştir.



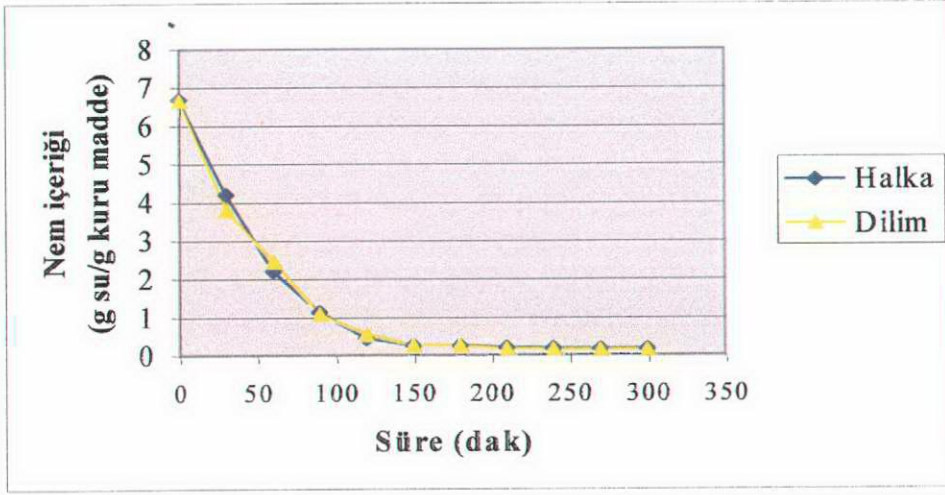
Şekil 5.52: İlk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 70,1 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 4 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (160. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.)

Şekil 5.53'te ilk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 4 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.) gösterilmiştir.



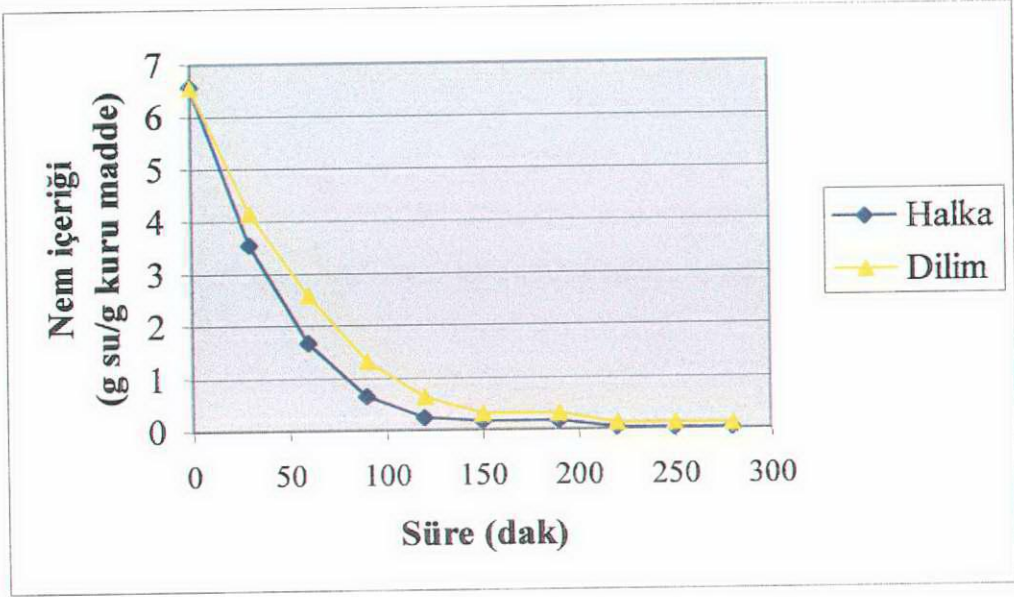
Şekil 5.53: İlk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 4 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)

Şekil5.54'te ilk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 4 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.) gösterilmiştir.



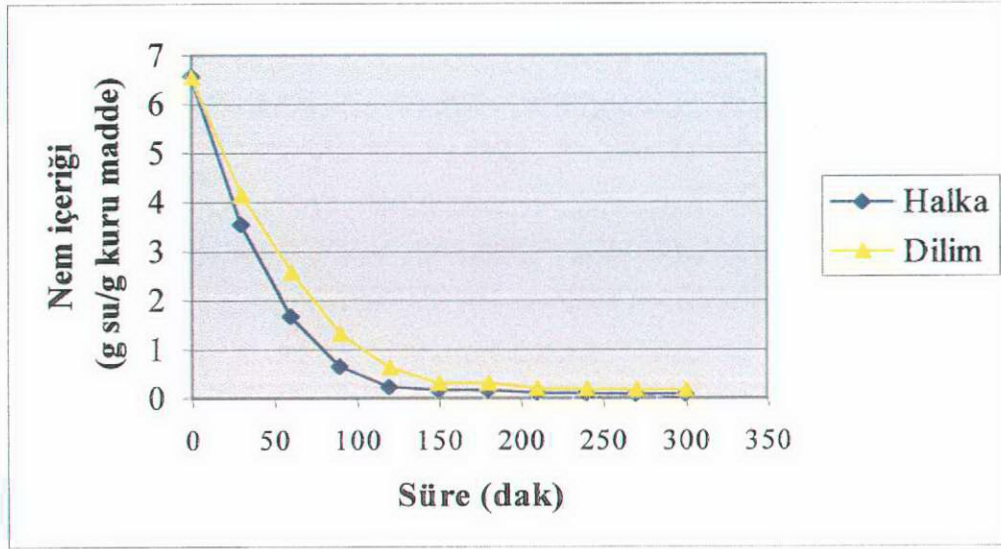
Şekil5.54: İlk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 4 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.)

Şekil 5.55'te ilk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.) verilmiştir.



Şekil 5.55: İlk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)

Şekil 5.56'da ilk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.)



Şekil 5.56: İlk aşamada sıcaklığı 65 ± 3 °C ve hava hızı 51,7 m/dak'ya ayarlanan mikrodalga fırında, ikinci aşamada tünel kurutucuda kurutulan % 2 sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının kuruma eğrileri (150. dakikadan sonra kurutma işlemine tünel kurutucuda devam edilmiştir.)

Tünel kurutucu ve etüvde yapılan son kurutma çalışmaların sonunda, etüvde daha kısa sürede kurumanın gerçekleştiği, ancak ürünün yanmaya başladığı ve üründe yanık bir tat olduğu anlaşılmıştır. Bu sebeple, son kurutma için tavsiye edilen tünel kurutmadır çünkü ürün yapısında ve tadında herhangi bir değişiklik olmadan düşük nem içeriği değerlerine ulaşılmıştır.

6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

1. Deneysel çalışma sonucunda elma örneklerinin, kurutma sonucundaki nem içerikleri, kuruma hızları ve görsel olarak renk açısından değerlendirildiğinde en iyi sonuca halka şeklindeki elma örnekleriyle ulaşıldığı görülmüştür.
2. Deneylerin genelinde farklı hava hızları ve farklı sitrik asit konsantrasyonlarıyla çalışılmasına rağmen aynı deney gruplarında bulunan küp şeklinde kesilmiş elmaların halka ve dilim şeklinde olanlara göre nem içerikleri kurutma deneyleri genelinde daha yüksek olduğu gözlenmiştir.
3. Deneyler sonrasında yaklaşık 1 ay kadar oda sıcaklığında altında saklanan elma örnekleri içerisinde küp şekilli elmaların renk değiştirdiği ve bozulduğu tespit edilmiştir, bozulma sebebinin yüksek nem içerikleri olduğu düşünülmektedir. Diğerlerinin kurutulmalarının üstünden 6 aydan fazla zaman geçmesine rağmen ilk hallerini korudukları gözlenmiştir.
4. İki farklı sıcaklıkta (55 ± 3 °C ve 65 ± 3 °C) yapılan çalışmalar sonucunda 65 °C hava sıcaklığında elma örneklerin çeşitli yerlerinde, uç ve keskin kısımların yanmaya başladığı tespit edilmiştir. Deneylerin yapıldığı mikrodalga fırın için 55 ± 3 °C çalışma sıcaklığı tavsiye edilmektedir.
5. Çalışma sonuçları hava hızı açısından değerlendirildiğinde $30,1$ m/dak hava hızının elma örneklerinin son nem içerikleri bakımından istenen sonuca ulaşılmasında yeterli olmadığı, $90,1$ m/dak hava hızında ise son ürünün pembeleşmeye başladığı görülmüştür. $51,7$ m/dak ve $70,1$ m/dak hava hızlarında yapılan çalışmalarda diğer iki hava hızına göre nem içerikleri açısından daha iyi sonuç alınmış ve bu örneklerde pembeleşmenin olmadığı gözlemlenmiştir.

6. Damıtık suyla yapılan deneyler sonucunda elma örneklerinde kararma olduğu, % 5 sitrik asit çözeltisinin örneklerde rahatsız edici ekşi bir tat oluşmuştur. % 2 ve % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılarak kurutulan elmalardan renk olarak % 2 konsantrasyonunda çalışılmış elmaların orijinal renklerine daha yakın bir renkte kuruduğu tespit edilmiştir.
7. Su aktivitesi testleri sonucunda küp şeklindeki elmaların rutubetlerinin yüksek değerlerde kaldığı ve kısa bir süre saklama sonucunda küflendiği görülmüştür. Sonuç olarak küp şeklinde olan elmaların mikrodalgayla, diğer iki şekle göre daha uzun süreli kurutulması gerektiği ortaya çıkmıştır.
8. Su aktivitesi bakımından değerlendirme yapıldığında en iyi sonucu 55 ± 3 °C fırın sıcaklığında 70.1 m/dak hava hızında kurutulan % 2 ve % 0,5 sitrik asit çözeltilerine batırılmış örneklerin ve 65 ± 3 °C fırın sıcaklığında 51,7 m/dak hava hızında kurutulan % 4 sitrik asit çözeltisine batırılmış örneklerin verdiği görülmüştür.
9. Rehidrasyon deneyleri sonucunda halka şeklinde olan elma örneklerinin deneylerin genelinde daha yüksek rehidrasyon kapasitesine sahip olduğu gözlenmiştir. Rehidrasyon kapasitesi bakımından tavsiye edilen şekil halkadır.
10. En iyi rehidrasyon kapasitesi 55 ± 3 °C fırın sıcaklığı, 51,7 m/dak ve 70,1 m/dak hava akım hızlarında kurutulan sırasıyla % 5 ve % 0,5 sitrik asit çözeltilerine batırılmış elma örneklerinin rehidrasyon kapasitelerinin diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.
11. Tünel kurutucu ve etüvde yapılan son kurutma çalışmalarında etüvde daha kısa sürede kurumanın gerçekleştiği ancak ürünün yanmaya başladığı ve üründe yanık bir tat oluştuğu anlaşılmıştır. Son kurutma için tavsiye edilen tünel kurutmadır çünkü ürün yapısında ve tadında herhangi bir değişiklik olmadan düşük nem içeriği değerlerine ulaşılmıştır.

12. Elmaların mikrodalga kurutulmasında, için $55\pm^{\circ}\text{C}$ fırın sıcaklığında, 70,1 m/dak hava hızında ve %2 sitrik asit çözeltisine batırılmış olan elmaların nem içeriği, su aktivitesi değeri, kuruma hızı ve renk bakımından en iyi sonucu vermiştir. Bu koşullar çalışılan mikrodalga fırında elma kurutulması için tavsiye edilmektedir.
13. Kaynaklarda elma kurutulmasından önce tünel kurutucuda kurutmayı takiben mikrodalga fırında kurutma yapılmış çalışmalara rastlanmaktadır [19]. Sadece bir çalışmada önce mikrodalga fırında ön kurutma daha sonra sıcak havayla kurutma yapılmıştır. Bizim çalışmamızda da mikrodalga fırın, etüv veya tünel kurutucu sırası kullanılmıştır. Çalışmamızda kullandığımız, geliştirilme aşamasındaki fırın için de önce kurutucu sonra mikrodalga fırın kullanılarak yapılacak çalışma sonuçları bizim çalışmamız ile kıyaslanarak fırın için geliştirme olanakları düşünülebilir.



KAYNAKLAR

- [1] www.muextension.missouri.edu/xplor/hesguide/foodnut/gh1562.htm
- [2] **Karel, M., Fennema, O. R. and Lund, D. B.**,1976, Part II. Physical Principles Of Food Preservation, Marcel Dekker, Inc., New York and Basel.
- [3] **Valentas, K. J.,Rotstein, E., Singh R. P.**, 1997. Handbook Of Food Engineering Practice, CRC Press, New York.
- [4] **Heldman, D. R., Singh, R. P.**, çev. Evranuz, Ö. ve Çataltaş İ., 1989. Gıda İşleme Mühendisliği, İnkılap Kitabevi, İstanbul.
- [5] **Decareau, V. R.**,1985. Microwaves In The Food Processing Industry, Academic Press, Inc., London.
- [6] **Toledo, R. T.**, 1991. Fundamentals of Food Process Engineering, Second Edition, Van Nostrand Reinhold, New York.
- [7] **Cemeroğlu, B. ve Acar, J.**, 1986. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Gıda Teknolojisi Derneği, Yayın No. 6, Ankara.
- [8] **Saldamlı, İ. ve E.**, 1990. Gıda Endüstrisi Makinaları, Birinci Baskı, Ankara.
- [9] www.ag.uiuc.edu/vista/html-pubs/DRYING/dryfood.html
- [10] **Banchero, J. T. ve Badger, W. L.**, çev. Çataltaş, İ.,1986. Kimya Mühendisliğine Giriş Ünit Operasyonlar, Üçüncü Baskı, İnkılap Kitabevi, İstanbul.

- [11] **Kyzlink, V.**, 1990. Principles Of Food Preservation, Elsevier, Sceince Publishing Co. Inc., New York.
- [12] **Brennan, J.G.**, 1976. Food Engineering Operations, Applied Science Publishers, London.
- [13] **Bouraoui, M.,Richard, P., and Fichtali, J.**, 1993. A Review of Moisture Content Determination In Foods Using Microwave Oven Drying, Food Research International, **26**, 49 – 57.
- [14] **Rahman, S.**, 1995. Food Properties Handbook, CRC Press, New York.
- [15] **Knutson, K. M., Marth, E. H. ve Wagner, M. K.**, 1987. Microwave Heating of Food, Leoensm.Wiss.u-Technol., **20**. 101-110.
- [16] **Şengül, Ö. ve Evranuz, Ö.**, 1994. Mikrodalga Uygulamasının Gıda Sanayiindeki Yeri, II. Gıda Mühendisliği Kongresi, 21 – 23 Eylül, Gaziantep.
- [17] **Platts, J.**,1991. Microwave Ovens, MC Print, London.
- [18] **Baysal, T., Yurdagel, Ü. ve Hepçimen A. Z.**, 1994. Gıda İşlemede Mikrodalga Enerji, V. Gıda Mühendisliği Kongre ve Sergisi 21 – 23 Eylül, Gaziantep.
- [19] **Rosenthal, I.**, 1992. Electromagnetic Radiations in Food Science, Springer Verlag, Berlin.
- [20] [www. devres.net](http://www.devres.net)
- [21] **Potter, N. N. and Hotchkiss, J. H.**, 1995. Food Science, Fifth Edition, Chapman and Hall, U.S.A.

- [22] **Akar, B., Bedel N.E, Yılmaz E. H.**, 2000. Gıdaların Kurutulmasında Sanayi Tipi Mikrodalga Fırının Kullanılması; Domates, Havuç ve Yoğurt Çalışmaları, Bitirme Ödevi, İ.T.Ü. Kimya Metalurji Fakültesi, İstanbul.
- [23] **Maskan, M.**, 2000. Microwave/Air and Microwave Finish Drying of Banana, *Journal of Food Engineering*, **44**, 71-78.
- [24] **Funebo, T and Ohlsson T.**, 1998. Microwave-assisted Air Dehydration of Apple and Mushroom, *Journal of Food Engineering*, **38**, 353-367.
- [25] **Funebo, T., Ahrne, L., Kidman, S., Langton, M. And Skjöldebrand C.**, 2000. Microwave Heat Treatment of Apple Before Deyhdration –Effects On Physical Properties and Microstructure, *Journal of Food Engineering*, **46**, 173-182.
- [26] **Benli, B.**, 1994. Elma Suyu Fabrikası Atık Posalarından Pektin Üretimi İçin Optimum Koşulların Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] **Cemeroğlu, B., Yemenicioğlu, A. ve Özkan, M.**, 2001. Meyve ve Sebzelerin Bileşimi Soğukta Depolanmaları, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları No: 24, Ankara.
- [28] **Downing, L.D.**, 1989. Processed Apple Products, New York State Agricultural Experiment Station, Cornell University, New York.
- [29] **T.C. BAŞBAKANLIK DEVLET İSTATİSTİK ENSTİTÜSÜ**, 2000. İstanbul Bölge Müdürlüğü, İstatistik Pozisyon Bazında İhracatın ve İthalatın Ülkelere Göre Dağılımı

[30] **Keskin, H.**, 1997. Besin Kimyası, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
5. Baskı, Cilt I, Güray Matbaacılık, İstanbul.



EK A

Tablo A.1. % 5 sitrik asit çözeltisine ve damıtık suya batırılıp mikrodalga fırında kurutulan elmaların nem içeriklerinin zamana göre değişimi

$T = 55 \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Hava hızı = 51,7 m/dak

$T = 55 \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Nem içeriği (g su/g kuru madde)					
	% 5 sitrik asit çöz.			Damıtık su		
Süre	Halka	Küp	Dilim	Halka	Küp	Dilim
0	6,66	6,75	6,59	6,54	6,89	6,82
20	4,77	4,76	4,7	4,5	5,2	5,11
40	3,79	3,41	3,16	2,82	3,9	3,56
60	2,87	2,22	1,92	1,65	2,76	2,31
80	1,53	1,37	0,99	0,91	1,85	1,52
100	0,71	0,77	0,6	0,45	1,15	0,68
120	0,37	0,4	0,46	0,29	0,57	0,37
140	0,23	0,26	0,38	0,19	0,26	0,28

Tablo A.2. % 0,5 sitrik asit çözeltisine batırılıp mikrodalga fırında kurutulan elmaların nem içeriklerinin zamana göre değişimi

T = 55±3 °C

Hava hızı = 30,1 m/dak, 51,7 m/dak, 70,1 m/dak

T =55 ±3°C	Nem içeriği (g su/g kuru madde)								
	30,1 m/dak			51,7 m/dak			70,1 m/dak		
Süre (dak)	Halka	Küp	Dilim	Halka	Küp	Dilim	Halka	Küp	Dilim
0	6,72	6,8	6,71	6,68	6,41	6,84	6,87	6,68	6,74
30	4,73	4,87	4,98	4,52	4,92	4,56	3,75	2,79	3,72
60	2,98	3,63	3,44	2,89	3,82	2,76	1,48	1,48	1,85
90	1,65	2,59	1,97	1,59	2,74	1,76	0,57	0,67	0,73
120	0,64	1,6	1,17	0,8	1,94	0,91	0,43	0,28	0,38
150	0,24	0,63	0,37	0,36	1,21	0,45	0,26	0,06	0,31
180	0,21	0,28	0,24	0,2	0,68	0,19			

Tablo A.3. % 2 sitrik asit çözeltisine batırılıp mikrodalga fırında kurutulan elmaların nem içeriklerinin zamana göre değişimi

T = 55±3 °C

Hava hızı = 51,7 m/dak , 70,1 m/dak, 90,1 m/dak

T =55 ±3°C	Nem içeriği (g su/g kuru madde)								
	51,7 m/dak			70,1 m/dak			90,1 m/dak		
Süre (dak)	Halka	Küp	Dilim	Halka	Küp	Dilim	Halka	Küp	Dilim
0	6,81	6,70	6,58	6,49	6,48	6,58	7,07	7,03	7,11
30	5,02	4,84	4,95	3,66	4,02	4,11	4,14	4,09	4,26
60	3,37	3,43	3,71	1,82	2,12	2,52	2,33	2,79	2,36
90	2,09	2,37	2,52	0,69	1,11	1,16	0,72	1,73	0,79
120	1,22	1,47	1,52	0,36	0,55	0,52	0,41	0,95	0,24
150	0,61	0,85	0,79	0,29	0,3	0,27	0,21	0,47	0,22
180	0,34	0,45	0,57						

Tablo A.4. % 2 ve % 4 sitrik asit çözeltisine batırılıp mikrodalga fırında kurutulan elmaların nem içeriklerinin zamana göre değişimi

$T = 65 \pm 3^\circ\text{C}$

Hava hızı = 51,7. m/dak

$T = 65 \pm 3^\circ\text{C}$	Nem içeriği (g su/g kuru madde)					
	% 2 sitrik asit çöz.			% 4 sitrik asit çöz.		
Süre	Halka	Küp	Dilim	Halka	Küp	Dilim
0	6,57	6,63	6,55	6,69	6,62	6,66
30	3,55	4,23	4,14	4,2	4,93	3,79
60	1,67	2,71	2,56	2,2	3,51	2,44
90	0,65	1,55	1,31	1,13	2,44	1,08
120	0,23	0,76	0,62	0,44	1,59	0,53
150	0,16	0,35	0,3	0,26	1,29	0,25

Tablo A.5. % 2 ve % 4 konsantrasyonundaki sitrik asit çözeltisine batırılıp mikrodalga fırında kurutulan elmaların nem içeriklerinin zamana göre değişimi

$T = 65 \pm 3^\circ\text{C}$

Hava hızı = 70,1 m/dak

$T = 65 \pm 3^\circ\text{C}$	Nem içeriği (g su/g kuru madde)					
	% 2 sitrik asit çöz.			% 4 sitrik asit çöz.		
Süre	Halka	Küp	Dilim	Halka	Küp	Dilim
0	6,61	6,54	6,39	6,56	6,5	6,39
30	3,95	4,49	4,22	3,52	4,19	3,88
60	2,07	2,95	2,67	1,65	2,73	2,2
90	1,02	1,69	1,54	0,61	1,59	1,16
120	0,44	1,06	0,81	0,41	0,85	0,54
150	0,24	0,55	0,44	0,27	0,46	0,27
160	0,19	0,42	0,37	0,18	0,35	0,23

Tablo A.6. İlk aşamada mikrodalga fırında, ikinci aşamada etüvde ve tünel kurutucuda kurutulan, % 5'lik sitrik asit çözeltisine batırılmış elma parçalarının nem içeriklerinin zamana göre değişimi (140. dakikadan sonra kurutma işlemine etüvde devam edilmiştir.)

T = 55±3 °C

Hava hızı = 51,7 m/dak

T =55 ±3°C	Nem içeriği (g su/g kuru madde)					
	Son kurutma etüvde			Son kurutma tünel kurutucuda		
	Süre	Halka	Küp	Dilim	Halka	Küp
0	6,66	6,75	6,59	6,66	6,75	6,59
20	4,77	4,76	4,7	4,77	4,76	4,7
40	3,79	3,41	3,16	3,79	3,41	3,16
60	2,87	2,22	1,92	2,87	2,22	1,92
80	1,53	1,37	0,99	1,53	1,37	0,99
100	0,71	0,77	0,6	0,71	0,77	0,6
120	0,37	0,4	0,46	0,37	0,4	0,46
140	0,23	0,26	0,38	0,23	0,26	0,38
170	0,23	0,26	0,38	0,23	0,26	0,38
200	0,06	0,08	0,19	0,15	0,19	0,29
230	0,04	0,06	0,17	0,14	0,17	0,27
260	0,03	0,05	0,16	0,13	0,17	0,27
				0,13	0,17	0,26

ÖZGEÇMİŞ

14 Ocak 1975 yılında İzmit'te doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini sırasıyla, Fevzi Çakmak İlkokulu, Özel Kocaeli Koleji ve İzmit Lisesi'nde tamamladıktan sonra, 1993 yılında, İ.T.Ü. Kimya - Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 1998 yılında, Kimya mühendisi olarak mezun oldu, aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans Eğitimi'ne başladı. 1998 yılında Tibet A.Ş. Firmasında Hammadde ve Yarımamül Kalite Kontrol Mühendisi olarak kısa bir süre çalıştıktan sonra, 1999 yılında girdiği NOVEL Dış Ticaret Firması'nda işe başladı. Halen aynı firmada Satış Mühendisi olarak halen çalışmaktadır.

