

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKRODALGA VE KURU HAVA YARDIMIYLA KURUTMA
YÖNTEMLERİNİN MEYVE PESTİLLERİNİN KURUMA SÜRELERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ayşe Sinem KARTAL (KANGALOĞLU)**

Anabilim Dalı : Gıda Mühendisliği

Programı : Gıda Mühendisliği

Ekim, 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKRODALGA VE KURU HAVA YARDIMIYLA KURUTMA
YÖNTEMLERİNİN MEYVE PESTİLLERİNİN KURUMA SÜRELERİNE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ayşe Sinem KARTAL (KANGALOĞLU)
(506061512)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Eylül 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 06 Ekim 2011

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Y. Onur DEVRES (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Ahmet SİRKECİOĞLU(İTÜ)

Yard. Doç. Dr. Filiz Altay (İTÜ)

Ekim, 2011

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yapılmasında emeği geçen herkese, yarım kalan çalışmamı tamamlama konusunda bana yol gösteren danışman hocama, yüksek lisans konusunda beni teşvik eden HT Gıda'ya, hayatın tamamında benden desteklerini esirgemeyen annem, babam, eşim ve kardeşlerime, beni bu tez çalışmasında yalnız bırakmayan biricik oğluma sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Eylül, 2011

Ayşe Sinem KARTAL (KANGALOĞLU)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Kurutma.....	3
2.1.1. Nem, Ortam nemi.....	4
2.1.2. Kurutma Kinetiği	6
2.1.3. Kurutmanın Termodinamiği.....	7
2.1.3.1. Isı transferi	8
2.1.3.2. Kütle transferi	8
2.1.4. Kurutma Sürelerini Etkileyen Faktörler.....	10
2.1.4.1. İç faktörler.....	10
2.1.4.2. Dış faktörler	12
2.1.5. Şekerli Ürünlerde Kurutma	13
2.2. Kurutucu Tipleri	13
2.2.1. Konvansiyonel Kurutucular	14
2.2.1.1. Güneş enerjili doğal kurutucular.....	14
2.2.1.2. Kabin tipi kurutucu	15
2.2.1.3. Tünel tipi kurutucu.....	15
2.2.1.4. Düşük sıcaklıklı fırın kurutucu	16
2.2.1.5. Bantlı kurutucu	16
2.2.1.6. Konveyörlü kurutucu	17
2.2.1.7. Akışkan yataklı kurutucu	17
2.2.1.8. Pnömatik kurutucu.....	18
2.2.1.9. Püskürtmeli kurutucu	18
2.2.1.10. Döner kurutucu	19

2.2.1.11.	İletimli (Temaslı) kurutucu	19
2.2.2.	Vakum Kurutucu	19
2.2.3.	Dondurarak Kurutma Yapan Kurutucu	20
2.2.4.	Ozmotik Kurutucu.....	20
2.2.5.	Morötesi Radyasyon Kurutucu.....	21
2.2.6.	Kızıl Ötesi Işınımlı Kurutucu	21
2.2.7.	Mikrodalga kurutucu	21
2.3.	Mikrodalga (Isıtma ve Kurutma).....	21
2.3.1.	Elektromanyetik Dalgalar	22
2.3.2.	Mikrodalga Isıtma	22
2.3.2.1.	Mikrodalga kullanım alanları, avantajları ve dezavantajları.....	23
2.3.2.2.	Mikrodalga ısıtmaya etki eden faktörler	24
2.3.3.	Mikrodalga Fırınlar	26
2.3.3.1.	Mikrodalga fırın bileşenler	27
2.3.3.2.	Mikrodalga fırın çeşitleri	28
3.	MATERYAL METOT.....	29
3.1.	Materyal.....	29
3.2.	Metot.....	30
3.2.1.	Önişlem	30
3.2.2.	Kurutma Metodu	33
3.2.3.	Düzenek.....	34
3.2.4.	Deneysel çalışmada kullanılan analiz yöntemi-nem tayini	36
3.2.4.1.	Vakumlu etüvde nem tayini	36
3.3.	Matematiksel Modelleme	37
4.	BULGULAR ve TARTIŞMA.....	39
5.	SONUÇLAR	47
EK. A.	Rety RNK 100 Nem alma cihazının teknik özellikleri.....	55
EK.B	ÇİLEKLİ PESTİLLERE AİT KURUMA EĞRİLERİ.....	57
EK.C	KAYISILI PESTİLLERE AİT KURUMA EĞRİLERİ.....	61
EK.D	ŞEFTALİLİ PESTİLLERE AİT KURUMA EĞRİLERİ.....	67
EK.E	DENEY VE YÜKSEK UYUMLU MODEL VERİLERİ.....	73
KAYNAKLAR.....		87
ÖZGEÇMİŞ		73

KISALTMALAR LİSTESİ

MR	: Nem kesri (kg/kg)
M_{su}	: Nem kütlesi
M_{km}	: Kuru madde kütlesi
M_{top}	: Maddenin toplam kütlesi
M.D.	: Mikrodalga

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Bazı gıda maddelerinin su buharının efektif difüzyon katsayıları	11
Çizelge 2.2: Havanın değişik sıcaklıklarda su buharı doymuluk oranları	12
Çizelge 2.3: Gıda proseslerinde mikrodalga uygulamalarına örnekler	23
Çizelge 3.1: Rety RNK 100 kurutma cihazı teknik özellikleri	35
Çizelge 3.2: Deneysel verilerin modellenmesinde kullanılan önemli kurutma modelleri	38
Çizelge 4.1: Gerçekleştirilen deney planı ve deney süresince İstanbul'daki nem değerleri	40
Çizelge 4.2: Model uyumluluğunu gösterir çizelge.....	44

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Adsorbsiyon desorbsiyon izotermine bir örnek	5
Şekil 2.2: Kurutma aşamalarını gösterir genel grafik.....	6
Şekil 2.3: Pasif güneş enerjili kurutucu	14
Şekil 2.4: Aktif Güneş enerjili kurutucuya fanlı tip örneği	14
Şekil 2.5: Paralel ve Çapraz Akışlı Kabin Tipi Kurutucu Şematik Gösterimleri	15
Şekil 2.6: Tünel tipi kurutucuya yüklenen kerevetlere ait görsel	16
Şekil 2.7: Akışkan yataklı kurutucu tipi şematik gösterimi.....	17
Şekil 2.8: Döner tip kurutucu	19
Şekil 2.9: Dalga boyları, elektromanyetik spektrum için verilmiş bir örnek.....	22
Şekil 2.10: Magnetronun şematik gösterimi.....	27
Şekil 3.1: Meyve püresi varilleri ve varil etiketlerine örnek şeftali püre konsantresi	29
Şekil 3.2: Deneme numunesi için aseptik ambalaj örneği.....	30
Şekil 3.3: Deneylerde kullanılan hammaddeye (herleye) önışlemin uygulandığı evaporatörün görünüşü	32
Şekil 3.4: Evaporatörün ürün ve ısıtma yağı sıcaklık ayarı gibi parametrelerinin gözlemlendiği ve müdahale edilebildiği kontrol panosu.....	32
Şekil 3.5: Şerit hale getirilmiş kurutmaya hazır herle	33
Şekil 3.6: Ortam nemi ve sıcaklığını gösterir higrometre.....	33
Şekil 3.7: Kabin tipi kurutuculara kuru hava sağlayan kurutma cihazı.....	34
Şekil 3.8: Kurutma odaları.....	34
Şekil 3.9: Deneylerde kullanılan havalandırma destekli ev tipi mikrodalga fırın	35
Şekil 4.1: 180W'da 10 dakika mikrodalga uygulaması sonucu çilekli pestilin nem miktarındaki değişimi gösterir grafik	40
Şekil 4.2: Çilekli pestilin mikrodalga uygulaması ile oluşan kuruma eğrileri	41
Şekil 4.3: Çilekli pestilin mikrodalga ve kurutma kabini uygulaması ile oluşan kuruma eğrileri	41
Şekil 4.4: Kayıslı pestilin mikrodalga uygulaması ile oluşan kuruma eğrileri.....	42
Şekil 4.5: Kayıslı pestilin mikrodalga ve kurutma kabini uygulaması ile oluşan kuruma eğrileri	42
Şekil 4.6: Şeftalili pestilin mikrodalga uygulaması ile oluşan kuruma eğrileri.....	43
Şekil 4.7: Şeftalili pestilin mikrodalga ve kurutma kabini uygulaması ile oluşan kuruma eğrileri	43

MİKRODALGA VE KURU HAVA YARDIMIYLA KURUTMA YÖNTEMLERİNİN MEYVE PESTİLLERİNİN KURUMA SÜRELERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Sağlıklı beslenme, günümüz dünyasında önemini giderek arttıran yaşam kalitemizi yükselten önemli bir ihtiyaçtır. Bu ihtiyaca cevap vermek dengeli beslenmeyi sağlamakla mümkündür. İşlenmiş ürünlerden uzak durmanın yanı sıra meyve tüketimini arttırmak da dengeli beslenmenin bir parçasıdır.

Günümüz şartlarında ihtiyaçların yanı sıra küresel gereklilikleri ve ekonomik nedenlerle maliyetleri de göz ardı etmeden proses koşulları oluşturulmalıdır. Bu çalışmada da sayılan her iki yöndeki ihtiyaçlara cevap vermek amacıyla tasarlanan; yüksek meyve içerikli, şekerli ürünlere ikame olarak tüketilebilecek pestilin işlem sürecinde mikrodalganın kabin tipi kurutucunun ve her iki kurutma cihazının etkinlikleri ve verimlilikleri deneysel olarak incelenmiştir. Deney için çilek, şeftali, kayısı ve elma meyvelerine ait püreler, elma ve üzüm suyu konsantreleriyle tatlandırılmış, nişasta, pektin, keçiyoynuzu zambaki gibi ajanlarla kıvamı artırılmıştır. Ön işlemle suyu %60 civarına getirilen kurutulmamış pestil hammaddesinin (herle) 10 g'ı için 90-180-360 ve 600 W enerji sarfiyatıyla mikrodalga fırında, %30 bağıl nemde çalışmaya ayarlanmış 2.6 m³'lük, ortamı RNK 100 ile kurutulan kabin tipi kurutucularla ve etkin kurutma sağlanırken son ürünün istenen tekstürde olmasını sağlamak için iki prosesin ortak kullanımıyla kurutulması deneylemiştir. Mikrodalga fırın çalışmalarında 90 W'lık enerji sarfiyatı etkinliğin gözlenmesi için olumlu veriler sağlamamıştır. 180 ve 360 W'lık çalışmalar kurutma zamanını %90 oranında azaltırken 600 W'lık çalışmada etki süresi ne kadar kısaltılırsa kısaltılsın yanma gözlemlendiğinden uygun değildir.

Mikrodalga kurutma sistemi enerji verimliliği ve işlem süresi açısından daha etkin gözükse de tek başına kullanımı son üründe beklenen tekstür ve duyu değerleri karşılamak için yeterli değildir. Ayrıca mikrodalgayla kurutulan ürünlerde son ürünlerdeki denge nem değeri istenen değerlerin altındadır. Daha düşük nem değerlerine ulaşılabilir olması kurutma etkinliği açısından olumlu gözükse de son ürünlerdeki denge nem değerinin daha düşük olması ürün maliyetlerini yükseltme açısından istenen bir durum değildir. Çalışma sonucunda özel olarak formülize edilmiş meyveli ürünlerin kurutulması için mikrodalga ve kabin tipi kurutucu sistemlerinin bir arada kullanılmasının işletme maliyetleri açısından daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır.

RESEARCH ABOUT DRYING TIME EFFICENCY OF MICROWAVE AND CABINET DRYER ON (FRUITY PRODUCT) DRIED FRUIT PULP

SUMMARY

Healthy diet, gradually increasing importance in today's world is a need to enhance our quality of life. To answer this need, it is possible to provide a balanced diet. Increase the consumption of fruit as well as decrease the consumption of processed meals, makes a balanced diet.

Global requirements of today's specialties, processing conditions should be established without ignoring the costs, economic reasons as well as consumer's requirements. Considered in this study is designed to respond to needs in both these two requirements, high fruit content, fruit pulp processing products instead of candy consumed in the process as a cabinet-type dryer and microwave drying device effectiveness and efficiency. Strawberry, peach, apricot and apple purees, sweetened with apple and grape juice concentrate, starch, pectin, locust bean gum, such as thickened agents are formulated to test. 10 gram dried fruit pulp raw material which is brought to around 60% of moisture is processed with 90-180-360 ve 600 W microwave, cabinet type dryers which is set to work to 30% relative humidity with RNK 100 for 2,6 m³. When to ensure an effective drying process it is tested to reach the desired texture of the final product. 90 W microwave oven works' for health monitoring of energy consumption efficiency has made no positive data. Studies at 180 and 360 W reduce drying time by 90%. Study at 600 W while how much is shortened duration of action (impression time) is not appropriate, as important role of combustion.

Microwave drying system in terms of energy efficiency and processing time may seem more efficient but use alone is not sufficient to meet the expected texture and sensory values of the final product. In addition, the final microwave dried products' equilibrium moisture value is under the desired values. Lower humidity levels to be accessible is a good result in terms of the effectiveness of drying, but the final product may seem a positive moisture balance to be lower than the value of product costs in terms of the upgrade is not a desirable situation. As a result, for drying the fruit products, which are specially formulated for this study, using a combination of microwave and cabinet type dryer was found more efficient about operation cost.

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle hayat tarzında büyük değişiklikler olan insanoğlu daha fazla işlenmiş ürünleri tüketerek, sağlığını olumsuz yönde etkileyen etmenlere daha fazla maruz kalmaktadır. Tarihinin büyük kısmında ihtiyacı olan, tüketeceği ürünü avlanma, tarım gibi aktivitelerle hareket ederek kazanmak zorunda olan, fakat son dönemlerde “kazanma” işini daha hareketsiz, genellikle masa başında yapan insanoğlunun metabolizması bu sürece bakış açısı kadar hızlı adapte olamamış ve bu da sağlık sorunlarını beraberinde getirmiştir. Ulaşabildiklerinin hepsinin yoğun olarak işlenmiş haliyle tüketilmesinin sağlığı için olumlu sonuçlar vermediğini zaman içinde gören insanoğlu, çağımızda yavaş yavaş daha doğal, daha az işlenmiş ürünleri tüketmeye böylece sağlığını korumaya çalışmaktadır.

Çalışmanın amacı, önceden formüle edilmiş meyve preparatlarının mikrodalga fırında, nem alma odalarında (kabin tipi kurutucularda) ve bu işlemlerin kombinasyonları ile kurutulmasının teorik ve deneysel olarak incelenmesidir. Çalışmanın kaynak araştırması kısmı; kurutmanın kinetik, süreç ve termodinamik yönden incelenmesiyle başlamıştır. İkinci bölümde kurutma aletlerinin (kurutucuların) tipleri incelenmiştir. İncelenen kurutucu tiplerinden çalışmanın esas konusu olan mikrodalga kurutucu üçüncü bölümde ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Elektromanyetik dalgalar, mikrodalga prensibi, mikrodalga ısıtma, kullanım alanları ve mikrodalga ısıtmaya etki eden faktörler incelendikten sonra, mikrodalga fırınların çeşitleri incelenmiştir.

Dördüncü bölümde deney düzeneği anlatıldıktan sonra, deneyin yapılışı konusundaki çalışmalar açıklanmış, sistemlere uygun modellerin seçimi konusunda çalışmalara yer verilmiştir. Son bölümde çalışmanın sonuçları verilmiş ve bu sonuçlar tartışılmıştır.

Kurutma sanayide birçok alanda kullanılmaktadır. Kurutmaya uzaklaştırılan su geri eklenmesi gerekse bile maddi açıdan işletmeye yük getirmediğinden ve depolama

nakliye gibi yan ücretlerin minimuma indirilmesi işletme maliyetlerini azaltacağından birçok endüstride kullanılmaktadır. Gıda endüstrisi bu alanlarından başında gelmekle beraber kimya, tekstil, vitrifiye, ziraat gibi alanlarda da kurutma önemini kaybetmemektedir.

Gıdada kurutmanın kullanılması endüstrileşmeden de önceye dayanmaktadır. Günümüzde ve bundan yüzyıllar önce de güneş enerjisinden faydalanarak yapılan kurutma, gıda saklamada büyük öncelikli olarak tercih edilmiştir.

Kurutmayı daha verimli hale getirecek teknolojik yenilikler sürekli takip edilerek bu alan mümkün olduğunca fazla genişletilmiştir. Mikrodalgayla kurutma da yeni teknolojiler arasında sayılabilecek teknolojik gelişmelerle kendini yenileyen araştırılmaya açık bir konudur.

Bu konuyla ilgili birçok ticari değer taşıyan meyve ve sebzenin kurutma çalışmaları yapılmıştır. Genelde akademik çalışmalar ayırık sistemler üzerine iken bu çalışmada birleştirilmiş kurutma sistemleri de çalışılmaya eklenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kurutma

Kurutma kimyasal, biyokimyasal ve gıda endüstrileri gibi süreçlerde çok önemli bir işlemdir. Temel amacı malzemeden suyun uzaklaştırılmasıdır. Kurutma yüzyıllardır gıda ürünlerinin korunması ve saklanması için kullanılan başlıca yöntemlerdendir. Tarımsal ürünler, gıda maddeleri, biyolojik preparatlar kurutma süreci boyunca sıcaklık, nem kesri gibi kurutma koşullarına karşı çok hassas davranış gösterirler [1-3].

Su aktivitesi, suyun buhar basıncının aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına bağlı olarak ölçüldüğü bir indekstir. Kimyasal reaksiyonlar ve mikrobiyolojik gelişim için gerekli serbest suyun ölçümüdür. Kurutmaya su aktivitesi istenmeyen değişimleri, gıda ürünlerinde özellikle mikrobiyolojik aktiviteleri engellemek için uygun şartlara çekilir [2].

Kurutma ısı ve kütle aktarımının birlikte gerçekleştiği bir işlemdir. Kurutmanın ortaya çıkardığı fiziksel ve bazen de biyokimyasal, kimyasal değişiklikler sebebiyle ısı ya da kütle aktarımı doğrusal olmayan grafikler çizerler.

Kurutma sürecinin temel hedefi ürün içindeki suyun (nem) uzaklaştırılmasıdır. Uzaklaştırma işlemi çeşitli yöntemlerle yapılabilir: ısı yayımlı, direkt, radyasyon, dielektrik, dondurarak, v.s. Kurutulacak ürünler yapıları gereği farklı özellikler gösterirler. Bu nedenle her ürünü aynı yöntemle kurutmak mümkün değildir. Örneğin kimi ürün mekanik işlemler olarak tanımlanan filtreleme, presleme, santrifüjleme, çökeltme, eleme gibi işlemlerle daha az enerjiyle suyundan ayrıştırılabilir. Kurutulacak ürün bu tip yöntemlere uygun değilse, genelde ürüne gaz akımı ile ısı transferi uygulanarak, buharlaştırma yolu ile kurutma sağlanır. Isı kaynağı olarak gaz akımından farklı alternatifler de kullanılabilir [3].

Transfer edilen ısı ürün içerisindeki nemin buharlaşmasına ve ortamdaki uzaklaştırılmasına harcanır.

2.1.1. Nem, Ortam nemi

Kurutma işleminde mutlak nem değil bağıl nem önemlidir. Katı içinde sıvı formda hapsedilmiş olarak bulunan neme havanın rutubet alma kabiliyeti yani bağıl nem denir ve bu nemin buhar basıncı saf suyunkinden daha azdır. Bağıl nemin katı içinde aşırı miktarda bulunması durumundaki fazla neme de bağıl olmayan nem adı verilir [4,5].

Bağıl nem, birim hacimde gerçekte mevcut olan su buharı miktarının (veya mutlak nem miktarı) aynı sıcaklıkta içerisine alabileceği mümkün olan en yüksek su buharı miktarına (veya doymuş nem miktarı) oranıdır [4].

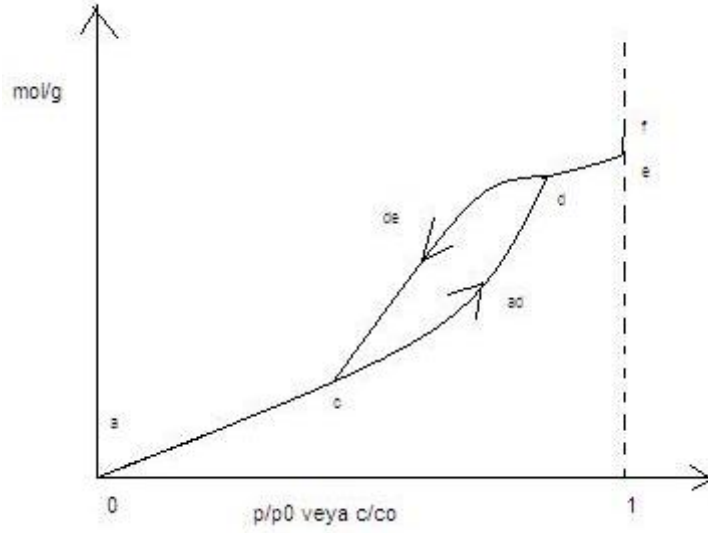
Havanın nem ile ilgili belirli özelliklerinden aşağıdaki şekilde faydalanılabilir.

1. Ürün aynı bağıl nem yüzdesine sahip sıcak havada soğuk havadan daha hızlı kurumaktadır. Çünkü sıcaklık yükselmesi ile havanın içine alabileceği su miktarı artmaktadır.
2. Havanın bağıl nemi %10 olduğu takdirde az rutubetli, %65 olduğu takdirde orta derecede rutubetli, %90 olduğu takdirde ise çok rutubetli olarak ifade edilmektedir. Bağıl nem yüzdeleri yardımı ile havanın ne derecede rutubet alabileceği hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Kuru havada malzeme çok hızlı kurumakta, buna karşılık rutubetli havada ise yavaş kurumaktadır. Kuru havanın kurutucu etkisi yüksek, rutubetli havanın ise düşüktür.
3. Belli miktarda hava ısıtıldığında bağıl nemi azalmaktadır. Hava soğutulduğunda bağıl nemi %100'e kadar çıkartılabilir. Daha fazla soğutma halinde ise içerisine alabileceğinden fazla olan su zerrecikler halinde yoğunlaşır [3, 5, 6].

Ortam nemi havada bulunan su buharı miktarıdır. Maddelerin denge halinde buldukları nem miktarları içinde buldukları ortamın nem miktarındaki değişimlerden etkilenir.

Sabit sıcaklıkta maddenin içinde bulunduğu havanın nem miktarının değiştirilmesiyle maddenin içerdiği nem miktarındaki değişimi gösteren eğriler sorbsiyon izotermi olarak adlandırılır. Sorbsiyon izotermi nem alma-

adsorbsiyon ve nem bırakma-desorbsiyon izotermi olarak iki farklı şekilde incelenir. Genelde maddelerin adsorbsiyon izotermi Şekil 2.1.'de de örneğinin görüldüğü gibi desorbsiyon izoterminden farklı yollar izler. Kurutma sistemleri incelenirken desorbsiyon izoterminden faydalanılması gerektiği unutulmamalıdır [7].



Şekil 2.1: Adsorbsiyon desorbsiyon izotermine bir örnek [8]

Maddenin taşıdığı suyun kuru maddeye oranı nem kesri olarak adlandırılır Nem kesri iki şekilde ifade edilebilir: kuru temel (2.1) ve yaş temel (2.2) :

kuru temel:

$$MR = M_{su} / M_{km} \quad (2.1)$$

yaş temel:

$$MR = M_{su} / M_{top} \quad (2.2)$$

Denklemlerde MR nem kesrini M_{su} su kütlelerini, M_{km} kuru madde kütlelerini ve M_{top} da toplam kütleleri ifade eder.

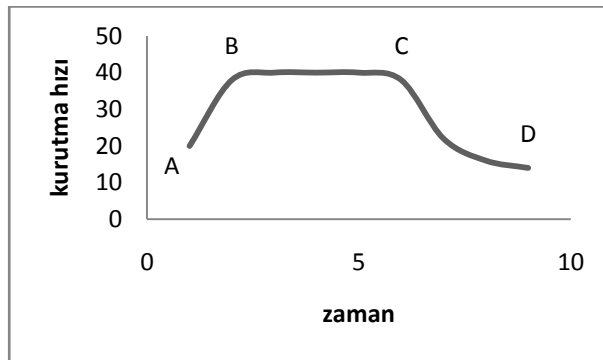
Maddeyi çevreleyen havadaki su buharı ile madde içerisindeki nemin denge durumuna gelmesi ile teorik olarak maddenin kurutulması sona erer. Bu denge durumundaki nem kesrine denge veya minimum nem kesri adı verilir. Konvansiyonel kurutma sırasında madde önce temas yüzeyinden buharlaşma ile suyunu havaya verir. Daha sonra bu yüzeyin doygunluğu azalır ve en sonunda maddenin iç bölgelerinden su kaybetmeye başlar [7].

2.1.2. Kurutma Kinetiği

Kurutulacak cisimdeki nemin geçişi; sıvı difüzyonu, buhar difüzyonu ve basınç farkıyla gerekleşiir. Bu genel durumların dışında dūřuk sıcaklık ve basınç değerlerinde yapılan çalışmalarda Knudsen Difüzyonu da oluşmaktadır. Kurutma süresince ısı ve kütle transferi bir arada gerekleşiir [9].

Kurutmanın üç aşamada gerekleşiği söylenebilir. Őekil 2. 2’de görüldüğü haliyle ilk aşamada (A-B) ürün ve üzerinden geçen hava arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle, havadan ürün yüzeyine taşınımla duyulur ısı akımı olur. Bu ısı, gizli ısıya dönüşerek yüzeyde buharlaşmayı sağlar. Bu aşamada enerjinin büyük çoğunluğu kurumada değil maddenin sıcaklığını arttırmak için kullanılır. İkinci aşamada ürün içindeki nem iç kısımlardan difüzyon veya kapiler kuvvetle yüzeye gelerek, yüzeyin doygun kalmasını sağlar, kurutma sabit hızla gerekleşiir (B-C). Kurutma yüzeyi sürekli olarak iç bölgelerden gelen nemle doygundur. Nem miktarı yüksekse kurutma bu Őekilde uzun süre devam eder. Bir süre sonra maddenin içinden yüzeye nakledilen nem miktarı kuruma yüzeyinde buharlaşan nem miktarından daha dūřuk bir seviyede kalır (C-D) Yüzey kuruduğundan, nemli iç yüzeyle arasında bir katman oluşur ve nemin maddeden uzaklaşmasını engeller. Maddenin su verebilme kabiliyeti, nem kesri oranının da dūřmesi ile havanın su alabilme kapasitesinden aşağıya dūřer ve dolayısıyla kurutma hızı azalır. Bu seviyedeki nem içeriğine kritik nem içeriği değeridir, kuruma yavaşlar ve azalan hızda kuruma aşamasına geçilir.

Azalan hızda kurutma aşaması kritik nem kesri ile başlar ve eđer kurutma süresince nem kesri bu kritik değere dūřmüyorsa, tüm kurutma sabit hız periyodunda gerekleşiir. Eđer kurutma başlangıcında maddenin nem kesri kritik nem kesrinin altında ise kurutma yalnızca azalan hız periyodunda gerekleşiir.



Şekil 2.2: Kurutma aşamalarını gösterir genel grafik

Sabit hızlı kuruma periyodunda kurumayı; kurutma havası sıcaklığı, hava hızı, nemi, akış yönü, basınç, ürünün fiziksel formu gibi özellikler belirler, ana mekanizma yüzey difüzyonudur. Kurutma hızının türevi kurutma debisini verir [10].

Tarımsal ürünler gibi biyolojik materyallerde sabit hız periyodu ya hiç görülmez, yada çok kısa bir evre olarak gözlemlenir [11].

Isı ve kütle aktarım katsayıları, kurutulacak maddenin yüzeyi, hava ve madde yüzeyi arasındaki sıcaklık ve nem kesri farklılıkları, maddenin öz ısısı, ısı iletkenliği, yoğunluğu; ısı geçirgenliği etkiler.

Isıl yayılım ("Thermal diffusivity") ise zamanın ve ürün derinliğinin fonksiyonu olarak sıcaklığın yükselmesiyle doğrudan ilintilidir.

2.1.3. Kurutmanın Termodinamiği

Kurumanın genel hatlarını göz önünde bulunduracak olursak, kurutmada denge nemine gelişe kadar desorbsiyon eğrilerinin çizdiği yollar üzerinden nem kaybedilir.

Suyun buhar basıncının sıcaklığa bağlı olarak değişimi termodinamik olarak Denklem 2. 3'teki gibi ifade edilebilir.

$$\log P = -\frac{\Delta H}{4,575T} + S \quad (2.3)$$

Denklem 2. 3'teki P indisi suyun buhar basıncını, H yoğun fazın buharlaşma ısısını ifade eder S ise integral sabiti için oluşturulmuş bir semboldür.

Bu eşitliğe göre; buharlaşma ısısı her zaman pozitif olacağından buhar basıncı sıcaklıkla eksponansiyel olarak doğru orantılıdır [12].

Termodinamiğin birinci kanununa göre sistem içinde enerji artışı sisteme verilen ısı ile sistemin çevreye yaptığı iş arasındaki farka eşit olur. Böylece verilen mikrodalga enerjisinin sistem içinde sebep olduğu enerji artışı sistem ısısını yükseltmede ve kurutmada kullanılacaktır.

$$5,563 \times 10^{-11} f E^2 \epsilon'' = \rho VCT + m_w h_{fg} \quad (2.4)$$

Denklem 2. 4'te f frekansı (Hz), E elektrik alan şiddetini(V/m), ϵ'' bağıl dielektrik kayıp faktörünü, m_w buharlaşan su miktarını (kg), h_{fg} buharlaşma gizli ısısını (J/kg) temsil eder [12].

2.1.3.1. Isı transferi

Sıcaklıkları farklı nesnelere arasında iletim, taşınım ya da ışınım yoluyla enerji aktarımı ısı transferi olarak adlandırılır. Taşınım ile ısı aktarımı moleküllerin kitleler halinde hareketinden kaynaklanır. İki farklı sıcaklıktaki yüzey arasında hareket halindeki akışkan bu hareketi sırasında taşınım oluşturur. İletimle ısı aktarımı; durgun ortamda gerçekleşir, temas halindeki moleküllerin kafes yapısındaki titreşimler sayesinde ısı bir sonraki moleküle taşınır. Işınım ise elektromanyetik dalgalar yardımıyla moleküllerin elektronik dizilimindeki değişiklik sebebiyle ısı aktarımı mümkündür [13].

2.1.3.2. Kütle transferi

$$N_a = \beta F(p_i - p_g) \quad (2.5)$$

N_a 'nın ıslak yüzeyden havaya buharlaşma debisini (kg/s), β 'nin ıslak yüzeyden havaya kütle transfer katsayısını temsil ettiği Denklem 2.5'te p_i fazların temas yüzeyinden su buharının kısmi basıncını, p_g de esas gaz kütlesi içinden su buharının kısmi basıncını temsil eder.

Fazların temas yüzeyinde kütle transferine karşı yüzey gerilimi oluşur fakat bu denklemlerde ihmal edilebilecek kadar az etkinlik gösterir. Böylece temas yüzeyindeki kısmi basınç yüzey sıcaklığındaki sıvı suyun buhar basıncına eşit kabul edilir.

Kurutma işleminde, kurutulacak madde üzerine ısı enerjisi aktararak suyun buharlaşması için gerekli latent buharlaşma ısısı sağlanır. Bu ısı aktarımı sonucu buharlaşan su, madde yüzeyinden kurutucu hava içine difüze olarak uzaklaşır. Böylece ısı aktarımı suyun maddeden buharlaşarak uzaklaşması şeklinde bir kütle aktarımına neden olur.

Kurutulacak maddenin içerdiği nem, maddenin yüzeyi üzerinde bir film katmanı olarak kabul edilirse, bu filmin buharlaşma hızı (dW/dt) ile ısı aktarım hızı (q) arasında ilişki,

$$dW/dt = q_s / \lambda \quad (2.6)$$

denklemini ile açıklanabilir.

Bu denklemde λ suyun gizli buharlaşma ısısını verir.

Kurutucu havanın sıcaklığı ile maddenin sıcaklığı arasındaki fark ne kadar fazla olursa ısı aktarım hızı (q) da o kadar fazla olur. Maddenin nem içeriği (H_m) ile havanın nem içeriği (H_h) arasındaki fark arttıkça kütle aktarım hızı da artar. Bu durumda kütle aktarım hızı ile nem arasındaki ilişki denklem 2. 7'deki gibidir.

$$dW/dt = -kA(H_m - H_h) \quad (2.7)$$

Kurutucu havanın verdiği ısının bir kısmı ile yukarıdaki denklemle gösterilen buharlaşma olurken, diğer kısmı, ürünün sıcaklığını artırmada kullanılır. Maddenin yüzeyindeki bu sıcaklık artışı bir noktaya kadar yani yaş hazne sıcaklığına ulaşıncaya kadar devam eder. Bunun için kurumanın başlangıcında geçen bu süreye ayarlanma süreci denir. Ürünün sıcaklığı sabit sıcaklığa - yani yaş termometre sıcaklığına - ulaşınca, daha önce de belirtildiği gibi kurutucu havadan gelen ısı buharlaşmada kullanılır [14].

Sabit hız süreci denilen kurumanın bu aşamasında, ısı aktarım hızı ile buharlaşma hız eşitlenir (Şekil 2.2 ve Denklem 2.8).

$$dW/dt = q/\lambda = kA(H_m - H_h) \quad (2.8)$$

Sabit kuruma hızı aşamasından sonra kuruma hızı azalmaya, ürün sıcaklığı artmaya başlar. Bu durum kuruma hızını, $H_m - H_h$ farkı ile orantılı olan, kurutulacak maddenin üzerindeki havanın buhar basıncı (P_m) ile kurutucu havanın içindeki kısmi buhar basıncı (P_h) arasındaki fark ($P_m - P_h$) belirler şeklinde de açıklanabilir (Denklem 2.8-2.9).

$$W/t = q/\lambda = k2A(P_m - P_h) \quad (2.9)$$

Sabit kurutma hızını etkileyen faktörler, ısı ve kütle aktarım katsayıları, kurutulacak maddenin yüzeyi, hava ve madde yüzeyi arasındaki sıcaklık ve nem kesri farklılıklarıdır [14].

Kritik nem içeriğine ulaşılan kadar olan sabit kuruma hızı, birim alandaki katı kütlede, zamana bağlı olarak nem içeriğindeki değişimiyle ifade edilir (2.10).

$$V_s = -\frac{MK}{A} \frac{dX}{dt} \quad (2.10)$$

Bu denklemden sabit hız bölgesinde geçen süre;

$$t_s = \frac{MK(X_1 - X_2)}{AV_s} \quad (2.10a)$$

Azalan hız bölgesinde hızın nemle doğru orantılı olduğu varsayımıyla

$$V = cX + k \quad (2.11)$$

$$C = \frac{V}{XK} \quad (2.11a)$$

$$\frac{V}{XK} X = - \frac{MK}{A} \frac{dX}{dt} \quad (2.11b)$$

$$\int_{ts}^t dt = \frac{MK}{A} \frac{XK}{V} \int_{XK}^X \frac{dX}{X} \quad (2.11c)$$

$$t - ts = \frac{MK}{A} \frac{XK}{V} \frac{\ln XK}{X} \quad (2.11d)$$

Sabit hız bölgesinde geçen süre denkleminde yerine koyulursa;

Kuruma zamanı

$$t = \frac{MK}{A \left(\frac{X1 - XK}{Vs} + \frac{XK}{V} \ln XK \right)} \quad (2.12)$$

olarak bulunur.

Maddenin öz ısı, ısı iletkenliği, yoğunluğu ısı geçirgenliği etkiler.

Isıl yayılım ise zamanın ve ürün derinliğinin fonksiyonu olarak sıcaklığın yükselmesiyle doğrudan ilintilidir.

Son periyotta maddenin su verebilmesi, içerdiği nem kesri oranının da düşmesi ile havanın su alabilme kapasitesinden aşağıya düşer ve dolayısıyla kurutma hızı azalır. Bu periyot kritik nem kesri ile başlar ve eğer kurutma süresince nem kesri bu kritik değere düşmüyorsa, tüm kurutma sabit hız periyodunda gerçekleşir. Eğer kurutma başlangıcında maddenin nem kesri kritik nem kesrinin altında ise kurutma yalnızca azalan hız periyodunda gerçekleşir [11-14].

2.1.4. Kurutma Sürelerini Etkileyen Faktörler

Kuruma süreleri kurutulan maddeyle ilgili olan iç faktörler ve maddeden bağımsız dış faktörler olarak iki ana başlık altında incelenebilmektedir [15].

2.1.4.1. İç faktörler

İç faktörlere geçirgenlik, gözeneklilik örnek verilebilir. Geçirgenlik gözenekliliğe bağlanan, bir katının akışa direncinin ölçüsü olarak tanımlanabilmektedir.

Gözeneklilik bir katının içindeki birbiriyle bağlı boşlukların hacminin toplam katı hacmine oranıdır. Boyutsuz bir niceliktir. Malzemenin su tutma ve iletme potansiyelini etkileyen bir parametredir. Boşluklu bir malzemenin ne kadar su içerebileceğinin bir göstergesidir [16].

Buhar difüzyonu da gözenekler yardımıyla açıklanabilecek bir kütle transferi mekanizmasıdır. Bu mekanizmayla su yüzeye doğru taşınır ve hava akımı ile de yüzeyden uzaklaşır. Hava ve su buharı arasındaki difüzyon katsayısı yardımıyla kütle aktarımı saptanabilir [17]

$$D = \frac{T^{1.75} \cdot 10^{-3} \sqrt{\left(\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2}\right)}}{P \left[(\sum_i V_{i1})^{1/3} + (\sum_i V_{i2})^{1/3} \right]^2} \quad (2.13)$$

Difüzyon katsayıları genel olarak bilindik iki çift arasında bulunmak isteniyorsa tablolar kullanılır bunun dışında hesaplanmasında T Kelvin cinsinden sıcaklık, M_n sırasıyla difüze olacak gazların molekül kütleleri ve $\sum_i V_{i1}$ hacim katsayıları yerlerine koyulduğunda yukarıdaki Denklem en çok %10 hata payıyla yanıt vermektedir. Difüzyon teorisi kurutulmuş katıda meydana gelen büzülme, yüzeyde sertleşme gibi fiziksel değişimleri dikkate almamaktadır. Hata payının bunun dışında da birçok sebebi vardır [20].

Çizelge 2.1: Bazı gıda maddelerinin su buharının efektif difüzyon katsayıları [21]

	T (°C)	Def (m ² /s)
Elma	66	6.40 · 10 ⁻⁹
Armut (dilim)	66	9.63 · 10 ⁻¹⁰
Kuru üzüm	25	4.17 · 10 ⁻¹¹
Havuç(küp)	40/60/80/100	6.75/12.1/17.9/24.1 · 10 ⁻¹¹
Elma	25	2.43 · 10 ⁻¹⁰
Patates	54/60/65.5/68.8	2.58/3.94/4.37/6.36 · 10 ⁻¹¹
Dana kıyması	25	3.07 · 10 ⁻¹¹

Maddenin ısı iletkenliği ısı geçişini etkileyerek buharlaşacak suya enerji verilmesinde etkin bir parametredir [22-24].

Madde bileşimindeki suyun bağlı ya da serbest olması etkin bir iç faktör olarak sayılabilmektedir. Kimyasal bağlarla bağlı olan suyun uzaklaştırılması çok zahmetli işlemler ve yüksek enerji gerektirirken serbest halde olan ya da sonradan ürüne eklenmiş kimyasal bir bağ içermeyen su ise daha kolay uzaklaştırılabilmektedir [23].

Uzaklaştırılacak suyun içinde var olan çözünmüş madde miktarı da yine buhar basıncını etkileyeceğinden (yüksek çözünür madde daha düşük buhar basıncı) kurutmayı etkileyen iç faktörler arasında sayılır [24].

Kurutma hızı da yüzey tabakasında değişiklik meydana getirip kurumayı yavaşlatabilir. Büzüşen, sertleşen ve bariyer oluşturan yüzeylerde kuruma daha zor olur [25].

2.1.4.2. Dış faktörler

Ortam sıcaklığı, buhar basıncı ve ürünün yüzey alanı genişliği gibi parametreler kurutma sürelerini etkileyen dış faktörler olarak sıralanabilir [26].

Aynı şartlar altında aynı ürünün kurutulması söz konusu olduğunda yüksek ortam sıcaklığında ısı geçişi ve kuruma hızı artar. Kuruma belirli bir süre devam ettirildiğinde cismin yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığına yaklaşır, kuruma iç kısımlara kayar ve bu aşamada önemli olan ortam sıcaklığından çok bir iç faktör olarak sayılabilecek maddenin ısı iletkenliğidir [23].

Çizelge 2.2: Havanın değişik sıcaklıklarda su buharı doymunluk oranları [23]

°C	g/m ³	°C	g/m ³
-10	2,3	50	82,7
0	4,9	60	130
10	9,4	70	197
20	17,2	80	290
30	30,2	90	419
40	51	100	590

Buhar basıncı cismin iç bölgelerindeki nemin kurutma yüzeyine ulaşma çabası olarak ortamın buhar basıncından yüksek olmalıdır ki buhar difüzyonu ortamdan cisme değil cisimden ortama doğru olsun.

Bunların dışında; cismin yüzey alanının fazla olması ısı geçişi ve buharlaşma için daha geniş bir alan oluşturacağından kurutma hızını arttıran bir parametredir.

Ürün kalınlıkları da mikrodalga ısıtma için önemli parametrelerdir. Kurutma süresinden çok kalitesini etkileyecek olan bu durumda, 2 mm'den daha kalın ürünlerin kurutulmasında suyun üründen uzaklaşması esnasında oluşan kabarcıklar ürün kalitesini olumsuz yönde etkileyeceğinden özellikle mikrodalgada kurutulmak istenen ürünlerin kalınlıkları 2mm'yi geçmemelidir [27].

2.1.5. Şekerli Ürünlerde Kurutma

Kurutma süreçleri, genellikle ürünleri arzu edilen formları bozmadan, besleyici değerlerini kaybetmeden var olan şartlardan daha kısa sürede kurutabilme amacıyla yüksek enerji maliyetleri ile karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanı sıra karamelizasyon gibi istenmeyen reaksiyonların oluşmasını önlemek için şekerli ürünlerden suyun uzaklaştırılması şekersiz ürünlere göre daha fazla dikkat gerektirir. Esmerleşme reaksiyonlarına sebep olmamak için yüksek sıcaklık uygulaması yapılmaz. Kurutma sürecinin enerji maliyetini minimize etmek, ürün kalitesini istenen seviyede tutmaya çalışmak ve arzu edilen nem kesri değerine en kısa sürede ulaşabilmek için öncelikle bir optimizasyon probleminin tanımlanması gerekmektedir.

Kurutmada optimum sıcaklık 60°C civarındadır. Daha yüksek sıcaklık gıdanın pişmesine sebep olur. Gıda maddesinin dış yüzeyi pişince nem dışarı kaçamaz ya da eğer sıcaklık çok yüksek ve ortam nemi çok düşük ise pişme olmasa da gıda yüzeyi sertleşir. Bu durum suyun gıdadan uzaklaştırılmasını zorlaştırır. Kabuk sertleşmesi, denilen bu durum sonucu düzgün bir kuruma sağlanamaz, yüksek su içeriği sebebiyle besin küflenir. Bu sebeple kuruma çabuklaştırma amacıyla sıcaklık aşırı yükseltilmemelidir.

2.2. Kurutucu Tipleri

Kurutucular saniyelerden aylara kadar uzanan çeşitli sürelerde, hassas ürünlerin hassas kurutmalarında kullanılan çok düşük kapasitelerden, hızlı kurutmalarda ihtiyaç duyulan yüksek kapasitelere kadar geniş aralıklarda çalışabilir. Ürünün kurutucu içindeki durumunun çeşitli hallerinde (durgun, hareketli, yüksek hızlı vb.), çeşitli basınç değerlerinde(vakumlu, yüksek basınçlı vs.) çalışan, istenildiği şekilde suyun uzaklaşması için ürüne gerekli enerjiyi çeşitli şekillerde sağlayan sistemlerdir.

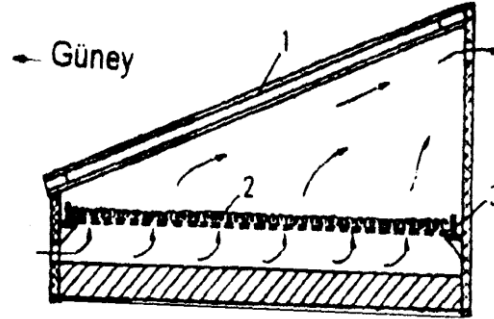
Çok uzun yıllardır süre gelen güneşte kurutma gibi 8-10 gün süren, ara işlem gerektiren, bulaşmadan ve kirden etkilenmeye açık olan iptidai kurutma şartlarının iyileştirilmesi amacıyla çeşitli denemeler yardımıyla bulunmuş birçok kurutma sistemi ve kurutucu tipi günümüzde halen kullanılmaktadır. Bunlardan konvansiyonel ve konvansiyonel olmayan birkaç kurutucu aşağıda sıralanacaktır [28].

2.2.1. Konvansiyonel Kurutucular

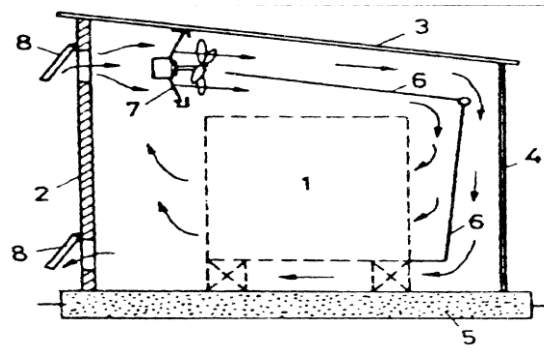
Geleneksel yöntemlerle kapalı bir alan dolusu hava bir kurutma işlemi için bir miktar nemi tutabilir. Uzaklaştırılmak istenen nem miktarı bunun üstündeyse geleneksel yöntemlerde ortam ısısını yükseltmek ya da ortamı havalandırarak nemli havanın dışarıdan gelen kontrolsüz havayla yer değiştirmesi sonucu oluşan farktan yararlanmak gibi alternatifler değerlendirilir. Çoğu proseste geleneksel yöntemlerden daha hızlı ve daha ekonomik kurutma yapılması gereklidir. Bu sebeple kurutulmak istenen ürüne göre birçok kurutucu tipi devreye girer.

2.2.1.1. Güneş enerjili doğal kurutucular

Bu tip kurutucular her hangi bir yardımcı enerji kaynağına gereksim göstermediği için rahatlıkla kırsal kesimlerde kullanılırlar. Bu kurutucular kendi aralarında aktif ve pasif kurutucular olmak üzere iki gruba ayrılabilir. **Pasif tiplere**, Şekil 2.3'te de örnek olarak görülebileceği gibi güneş kabinleri, çadır veya seraları, **aktif tiplere** ise güneş pilli bataryalar veya rüzgar enerjisi ile çalışan fana sahip olan kurutucu tiplerini gösterebiliriz (Şekil 2.4).



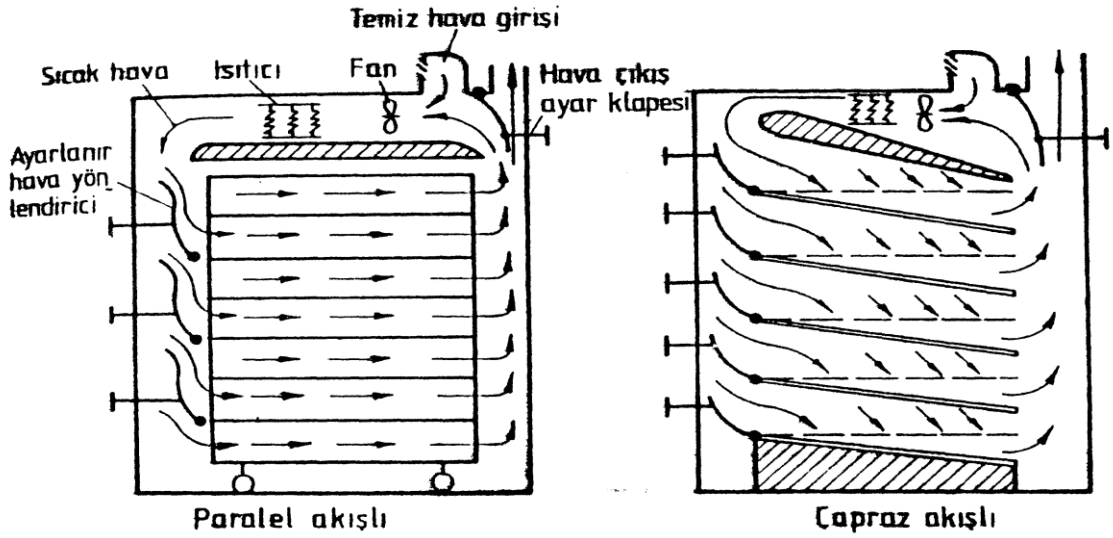
Şekil 2.3: Pasif güneş enerjili kurutucu [27]



Şekil 2.4: Aktif Güneş enerjili kurutucuya fanlı tip örneği [27]

2.2.1.2. Kabin tipi kurutucu

Kurutulacak ürün, tabanı delikli veya ızgaralı tepsilere serildikten sonra, kabin içindeki raflara yerleştirilir. Kuru hava bu odalara fan yardımıyla verilir. Raflar ve tepsilere havanın dolaşımını engelleyemeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Gıdaların yüzeyini dolaşan hava aldığı nemle birlikte dışarı atılır. İnsan faktörü göz önünde bulundurularak doldurma ve boşaltmalarda zamandan ve iş gücünden tasarruf etmek için arabalı sistem yapılabilir. Kabin tipi kurutucular, kurutma havasının, kabin içinde dolaşımı sırasında tepsilere göre izlediği akış yönü dikkate alınarak paralel ve çapraz akışlı olmak üzere farklı tiplerde tasarlanabilir (Şekil 2.5). Paralel akışlı kabin kurutucular hassas ürünler için kullanılır.



Şekil 2.5: Paralel ve Çapraz Akışlı Kabin Tipi Kurutucu Şematik Gösterimleri [27]

2.2.1.3. Tünel tipi kurutucu

Kabin tipi kurutucuların geliştirilmiş şekilleridir. Kabin tipi kurutuculardan en önemli farkı, kerevet (raf) istiflerden oluşan arabaların bir tünel boyunca raylar üzerinde hareket etmesidir. (Şekil 2. 6'da görüldüğü gibi) Ürün, kerevetler üzerinde üst üste dizilir ve bu kerevetler bir vagon içinde tünelin bir ucundan girer, diğer ucundan çıkıncaya kadar ters akım prensibine göre üflenen sıcak hava akımı ile kurutulur.

Tünel kurutma farklı boyutlarda ürünlerin aynı kurutma cihazı içerisinde kurutulmasına olanak sağlayan kurutma tiplerinden biridir. Tünel kurutma kanallarında sıcak havayı kurutma kanallarının içinde homojen olarak dağıtmak

amacı ile belirli açılarda dönen ve sayıları kurutmanın kapasitesine göre belirlenen sabit sirkülasyon fanları bulunmaktadır [28].



Şekil 2.6: Tünel tipi kurutucuya yüklenen kerevetlere ait görsel [29]

2.2.1.4. Düşük sıcaklıklı fırın kurutucu

Tuğladan yapılan bu fırınların çoğu, daire biçimindedir. Çapları 6 m kadar olan fırınlar, konik biçimi andırır. Kurutulacak ürün, fırının tabanına yayılır, 65°C'ı aşmayan sıcak hava vantilatörlerle fırın içinde dolaştırılır. Hava genellikle buhar dolu borularla ısıtılır. Bu fırınlar ahşap ya da betondan da yapılabilir kereste şerbetçiotu vs gibi açık havada kurutulan, hassas ürünlerin kurutma süresini belirli ölçülerde kısaltmak için uygun kurutuculardır.

2.2.1.5. Bantlı kurutucu

Bantlı kurutma sistemi kurutma ve soğutma işlemlerinde kullanılır. Diğer hareketli sistemlere nazaran ürünün şeklinin önemli olduğu kurutma işlemlerinde seçilen bir kurutucu tipidir. Şerit ve küp gibi belirli şekilli ürünlerin kurutulmasında bantlı kurutucu kullanmak gerekebilir. Sistem kurutulacak ürünün bant üzerinde hareket ederken sıcak hava ile temas etmesi sonucu ürünün suyunun uzaklaştırılması prensibiyle çalışır. Ürünler sürekli kurutucu içinde dolaştığından sabit kurutma sistemlerinden daha düzgün bir kuruma sağlanır. Bantlı kurutucularda birden çok bant olabileceği gibi banttın bantta düşmelerde problem yaşanan ürünlerde (kabuklu ürünler örn. domates) sistem tek bantlı olabilir. Basit olarak kuru ve sıcak hava giriş bölümü, nemli hava çıkış bölümü ve taşıyıcı banttın oluşur. Gıda maddelerindeki kullanımıyla genelde %80 nem içeriği oranlarından %10 nem içeriği oranlarına geçişi sağlayan basit sistemlerdendir [28].

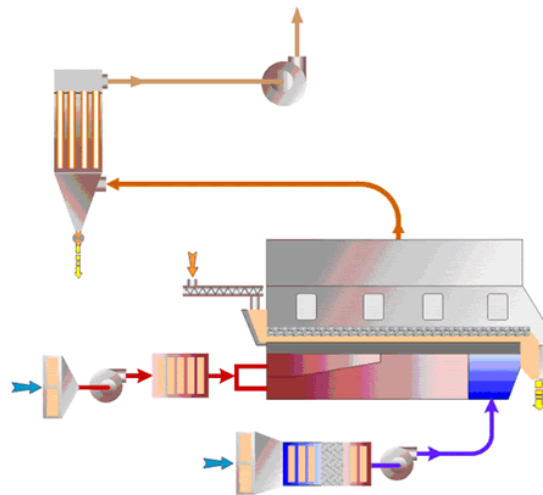
2.2.1.6. Konveyörlü kurutucu

Bantlı kurutucu sistemine üstünlükleri, konveyör kullanımıyla çeşitli şekildeki alanlarda en yüksek alan kullanım performansını yakalamasıdır kurutma sistemi olarak çok büyük değişiklik göstermezler konveyörler sayesinde çeşitli şekillerde alanda dolaşan ürün daha uniform bir şekilde kurur [29].

2.2.1.7. Akışkan yataklı kurutucu

Akışkan yataklı kurutucunun prensibi; havanın, ürün partikülleri arasından, ürüne etki eden yer çekimi kuvvetini yenecek kadar yüksek hızla zorlanarak, partikülleri havada askıda tutmasıdır. Ürün, kurutma işlemi süresince havada askıda kalmakta ve aynı zamanda yatay olarak hareket etmektedir. Islak (yüksek nemli) besleme yatağa yapılır. Kuru ürün ise alt kenardan alınır. Şekil 2.7’de bir akışkan yataklı kurutucunun parçaları gösterilmektedir.

Ufak parçacıklar alttan gönderilen gazın çıkıştaki kuru termometre sıcaklığına kadar ısıtılır. Eğer kuru üründe ufak parçacıklar varsa bu beslemeden ya da kırılmalardan dolayı olabilir, önemli miktarda katı çıkış gazı ile taşınabilir. Ürün kaybını engellemek için siklonlar ve filtreler kullanılır. Çıkan küçük parçacıkların geri kazanımı siklon ve filtreler sayesinde yapılır. Genel olarak, bu uygulama sonunda ürünün nem içeriği oldukça düzgün bir dağılım gösterir. Partikülleri havada askıda tutmayı sağlayan hava hızları, üründen ürüne özellikle de partikül büyüklüğüne ve ürün yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Genel olarak hava hızları 0,05 m/s ile 0,75 m/s arasında değişmektedir [30].



Şekil 2.7: Akışkan yataklı kurutucu tipi şematik gösterimi [30]

Kolayca akışkanlaştırılmayan ürünler için, tasarımda taşıyıcının titreşimli olması gibi değişikliklere gidilebilir. Böylece, havada parçacık süspansiyonunun oluşmasına ve hatta daha düşük hava hızlarının kullanımına olanak sağlanır.

Akışkan yatak kurutucular granül yapıli maddeler (parçacık büyüklüğü 1-2 mm) için uygundur. Hızlı ve üniform ısı transferi, kısa kurutma süresi, kurutma kontrolü, taban alanı küçüklüğü açısından avantajlıdır. Güç gereksinimi diğer kurutuculara göre azdır. Bu avantajlara rağmen ilk yatırım maliyetleri sebebiyle çok tercih edilen bir kurutucu çeşidi değildir.

2.2.1.8. Pnömatik kurutucu

Yüksek sıcaklık ve ürün tanecik yapısının fiziksel olarak değişmesinin problem oluşturmadığı durumlarda kullanılır. Kurutma bir kırıcı içerisinde ürünün mekanik ve pnömatik işleme kırılarak ve ardından kurutulacak ürünün boru içerisinde pnömatik taşınmasıyla sağlanmaktadır. Son ürün toz halindedir. Ürünün çok kısa bir sürede kurutulması sebebiyle yüksek sıcaklıkta ürünün içyapısı minimum zarara uğramaktadır. Çok kısa sürede yüksek sıcaklıktan geçirildiği için sterilizasyon amaçlı olarak da kullanılabilir [32].

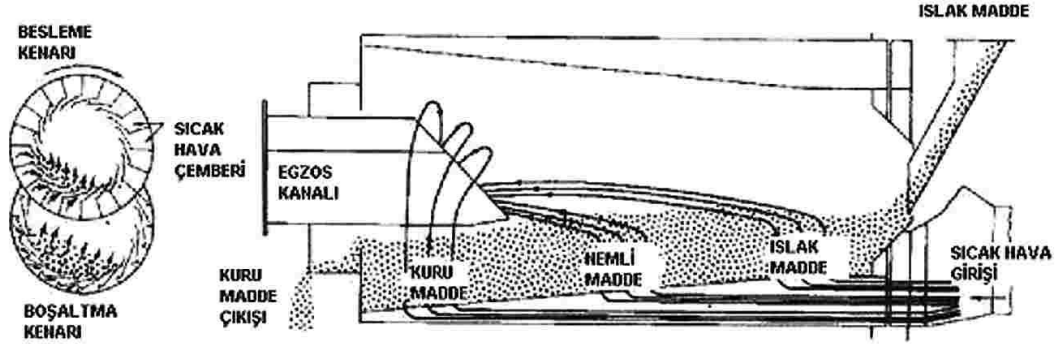
2.2.1.9. Püskürtmeli kurutucu

Püskürtmeli kurutucularda kurutulacak olan ürün, yüksek sıcaklıktaki akışkan içine (kurutma ortamı) pompalanarak fazla suyu uzaklaştırılır. Bu işlemde yüzey alanının artırılması kurutmanın etkinliğini arttıran ana etken olarak gözükmektedir. Ürün besleme, sıcak hava sistemi, atomlaştırıcı, toz ayrıştırma ve soğutma bölümleri püskürtmeli kurutucuların ana bölümlerini oluşturur. Filtre edilmiş hava 200°C'lere kadar ısıtılır. Atomize edilmiş (çok küçük zerrecikler haline getirilmiş) kurutulmak istenen ürün bu sıcak kurutma ortamına girerek hızlıca nemini kaybeder. Kuruyan parçacıklar genelde kurutma ortamının tabanına düşer ve buradan pnömatik sistemlerle soğutma ünitesine taşınır. Daha küçük zerrecikler kurutma ortamı içerisinde askıda kalabilirler bunlar da havanın dışarı verilmeden filtre edilmesiyle geri kazanılabilir.

Hızlı kurutma sayesinde son ürün kalitesi oldukça yüksektir. Son ürün olarak toz katı ürünlerin istendiği işlemlerde tercih edilir kurulum maliyeti yüksek bir sistemdir. Başlıca süt yumurta, bebek maması gibi hassas ürünlerin kurutulmasında kullanılır [31].

2.2.1.10. Döner kurutucu

Geniş çaplı uzun silindirik bir boru şeklinde olan kurutma ortamı ve ürünün boru içinde hareketini kolaylaştırmak için bu silindirik boruya gerekli açığı veren ayarlanabilen ayaklardan oluşan bir kurutucu sistemidir (Şekil 2.8). Kurutmayı yapacak kısımlar doğrudan veya dolaylı olarak ısıtılır, hava akışı paralel veya ters akımlı olarak uygulanabilir. Döner raflı kurutucuda hava, rafların altına verilir [27].



Şekil 2.8: Döner tip kurutucu [27]

2.2.1.11. İletimli (Temaslı) kurutucu

Isıtma gaz yardımıyla değil yüzey ısıtması olarak yapılır. Ürün ve ısıtma yüzeyi birbirine temas halindedir. Bu nedenle yanmayı önlemek için gerekli önlemlerin alınması gerekir. İnce katmanlı ürünlerin kurutulması için uygun sistemlerdir (kağıt gibi) yine de üniform kurutmanın gerçekleştirilmesi ve hızlı kurutma yapılması zor olan kurutucular olduğu için kullanımları sınırlıdır [26].

2.2.2. Vakum Kurutucu

Bu yöntemde kurutma bölgesindeki basınç normal atmosfer basıncının altında bir değere düşürülmüştür. Vakum ne kadar arttırılırsa o kadar düşük sıcaklıkta kurutma sağlanabilecektir. Bu yöntemle ısı değişimine karşı çok hassas olan gıdalar da kısa sürede besin kaybı yaşamadan kurutulabilir.

Bu çalışmaya konu olan, içeriğindeki şeker sebebiyle sıcaklığa hassas kabul edilebilecek kurutulmamış pestil karışımları (herle) da vakumlu kurutucularla önileşlem görmüştür [33].

2.2.3. Dondurarak Kurutma Yapan Kurutucu

Şoklama, hassas ürünlerin (eczacılık ürünleri, serumlar, bakteri ve virüs kültürleri, aşılarda, meyve suları, kahve ve çay esansları, sebzeler, deniz ürünleri, etler ve süt gibi) kurutulması için kullanılır. Malzeme önce dondurulur, sonra düşük sıcaklıklı bir yoğunlaştırıcı veya kimyasal kurutucuya bağılı yüksek vakum odasına yerleştirilir. Donmuş malzemeye ısı iletilir (genelde kızılötesi ışınım), uzaklaştırılmak istenen uçucu (genelde su) gaz haline gelir, yoğunlaşır veya kimyasal kurutucu ile soğutulur. Birçok dondurarak kurutma işlemleri, düşük basınç altında 40 ile -10°C sıcaklık aralığında gerçekleşir. Bu işlem pahalı ve yavaş olmasına rağmen, ısıya duyarlı malzemeler için oldukça uygundur [34].

2.2.4. Ozmotik Kurutucu

Ozmotik kurutma özellikle meyve ve sebze gibi ürünlerin, konsantre çözeltiler içinde sularının uzaklaştırılması işlemidir. Ozmotik kurutmada aynı anda üründen çözeltilere doğru olan su akışı, çözeltilerden ürüne (herhangi bir besin ögesi, koruyucu ya da duyuşsal kalite geliştiriciyi ürüne katmayı sağlamak için) çözünen aktarımı ve ürüne ait çözünenlerin çözeltilere geçmesi gibi üç farklı kütle aktarımı oluşur. Ürüne ait çözünenlerin çözeltilere geçmesi, su kaybı ve çözünen kazancının yanında nicelik bakımından çok az miktarlarda ise de, son ürünün bileşimi açısından önemlidir. Böylece ozmotik kurutmayla üründen su uzaklaştırılması ve çözünür kuru madde katılımı ile formülasyon etkisi sağlanabilir. Diğer taraftan en önemli sınırlama, üründeki nem miktarının belirli bir orana kadar düşürülebilmesidir. Bu nedenle ozmotik kurutma dondurma, pastörizasyon, kurutma ve konserveleme gibi işlemlerden önce bir ön işlem olarak kullanılmaktadır [35].

2.2.5. Morötesi Radyasyon Kurutucu

Elektromanyetik radyasyonun kullanıldığı kurutucudur. Yüksek yatırım maliyeti sebebiyle çok sık rastlanan bir kurutma tipi değildir. Monomer yapılı kaplamalar ve boyar maddelerin kurutulmasında etkin şekilde kullanılır [36].

2.2.6. Kızıl Ötesi Işınımlı Kurutucu

Isıl ışınım, kızılötesi lambalar, gaz ısıtmalı akkor yansıtıcılar, buhar ısıtmalı kaynaklar ve genelde elektrikle ısıtılmış yüzeyler ile sağlanır. Kızılötesi, sadece malzemenin yüzeyi ve etrafında etkilidir, bu sebeple ince katmanlı ürünler için uygundur [36].

2.2.7. Mikrodalga kurutucu

Mikrodalga kurutucular, uygulama için kontrol kolaylığı, ürün seçicilikleri, kısa kurutma zamanı gibi olumlu özellikleriyle verimli kurutuculardan biridir. Geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında “içten dışa doğru ısınma” sağladığı gibi yanlış bir kanı oluşmasının sebebi geleneksel yöntemlerdeki dıştan içe ısı aktarımı yerine mikrodalgayı absorblayan her noktada eş ısınma sağlanmasıdır. Verilen enerjinin tamamı sadece ürünü ısıtıp kurutmada kullanıldığı için verimlidir. Bunların yanında mikrodalganın ürün içine nüfus etme derinliği sınırlı olduğu ve bazı ürünlerde belirli noktalarda enerji toplanması sonucu yanma olduğu için her ürün mikrodalga kurutmaya uygundur denilemez [34, 36].

2.3. Mikrodalga (Isıtma ve Kurutma)

Mikrodalga sözcüğü elektromanyetik dalga boyunun 1 metreden kısa olduğu anlamına gelir. Mikrodalgalar genellikle 300 ila 300.000 MHz frekans aralığında olan elektromanyetik dalgalardır. Mutfak tipi olarak kullanılan mikrodalga fırınlarda 2450 MHz frekansları uygun ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu frekansın seçimi suyun rezonans frekansı değeri olmasıdır.

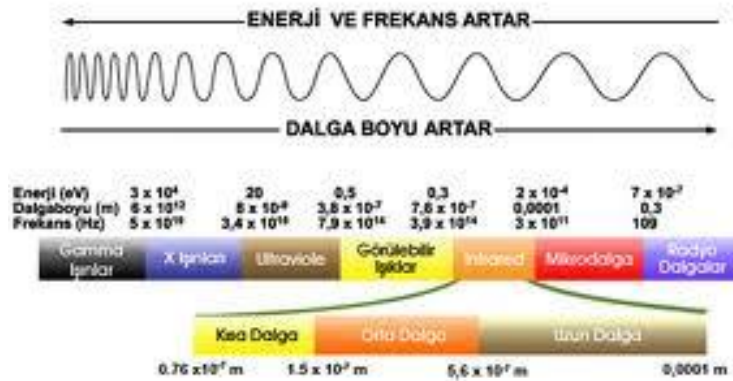
Mikrodalga günümüzde kullanılan kurutma tekniklerinin verimli yöntemlerinden biridir. Konvansiyonel sistemlere göre kurutma zamanının kısalığı ve kurutma etkinliğinin yüksekliği açısından daha etkin bir kurutma sistemidir. Uygun yüzey

alanı, mikrodalga yoğunluğu ve tatbikat süresiyle istenilen kuruluğa ulaşılması çok düşük miktarda enerjiyle gerçekleştirilebilir [37,38].

2.3.1. Elektromanyetik Dalgalar

Elektromanyetik dalgalar, dalga boyu ve frekansa bağlı olarak sınıflandırılır. Dalga boyu ve frekans birbirleriyle ters orantılı olan niceliklerdir. Frekans saniyedeki çevrim sayısı olarak tanımlanırken dalga boyu çevrimin uzunluğu olarak tanımlanır.

Dalga boylarına göre elektromanyetik dalgalar Şekil 2.9'da da görüldüğü gibi birçok alt başlık altında sıralanabilir. Bu dalgalardan gama ve x ışınları kimyasal bağları; mor ötesi, görünür ve kızıl ötesi dalgalar zayıf hidrojen bağlarını kırabilecek yeterli enerjiye sahiptir. Mikro dalgaların dalga boyu bu dalgalardan daha büyük olduğundan (daha küçük frekans değeri) kimyasal bağ kırabilecek enerjiye sahip değildir. Yani mikrodalgalar kimyasal bağ kıramaz. İyonizasyona sebep olur. İyonizasyon elektron iyonlarının kutuplaşmasıdır. Mikrodalga sayesinde uygulama alanı 2.45×10^9 kez titreşir. Dipol moleküller de mikrodalganın bu hızlı hareketine ayak uydurmaya çalışırken oluşan sürtünmeyle ısınır. Isınma sonucu kimyasal bağlar kırılır. Bağların kırılma sebebi doğrudan mikrodalga değil, mikrodalga sonucu oluşan ısıdır.



Şekil 2.9: Dalga boyları, elektromanyetik spektrum için verilmiş bir örnek [39]

2.3.2. Mikrodalga Isıtma

Mikrodalga ısıtmada enerji ürünün her noktasından üretildiği için geleneksel ısıtmadan farklıdır. Isıtılan numunenin sıcaklık nüvesi daha yüksektir. İçten üretilme

terimi mikrodalga için çok sık kullanılan bir tabir olmakla beraber ısının merkezden çevreye yayıldığı yanılığısına sebep olur fakat durum bundan farklıdır. Enerji maddenin her yerinde eşit olarak üretilir. Sıcaklık eşit dağılım gösterdiği için numunede termal gerilmeler azalmaktadır. Mikrodalga ısıtma ile elde edilen termal gradyentler, geleneksel ısıtma ile elde edilen termal gradyentlerin karşıtıdır [40, 41]

2.3.2.1. Mikrodalga kullanım alanları, avantajları ve dezavantajları

Mikrodalga ısıtma; temperleme, tavlama, sürekli pişirme, vakumlu kurutma, pastörizasyon, sterilizasyon işlemlerinde güvenle kullanılır. Çizelge 2.3’de araştırma çalışmalarının da yapıldığı örnek uygulamalar gözükmemektedir. İç bölgelerde kolay ısınma, vakumla kombine edildiğinde düşük ürün sıcaklığı, etkin ve yüksek kuruma, hızlı enerji dağılımı, az ürünle çalışabilme gibi teknolojik kurutmaların geneline yayılmış avantajların yanı sıra; nemli ürünün enerji absorblama derecesini ayarlaması, suda çözünen bileşen cinsinden daha düşük migrasyon gibi sadece mikrodalga kurutmaya has avantajları da vardır.

Çizelge 2. 3: Gıda proseslerinde mikrodalga uygulamalarına örnekler [41]

Uygulama	Frekans	Güç	Ürün
Temperleme	915	30-70	Kırmızı ve beyaz et
Kurutma (Vakum, Dondurarak)	915/2450	30-50	Makarna, soğan, çerez, meyve suları
Pastörizasyon Sterilizasyon	2450	10-30	Taze makarna, hazır yemek, ambalajlı gıda, süt, dilim ekmek
Ön ısıtma	915	50-240	Domuz pastırması, köfte, şarküteri, sardalye
Fırında pişirme	915	2-10	Ekmek, donut fermantasyonu

Mikrodalga enerjisinin kullanımı sayesinde iç üründe kaynama noktasına gelen suyun buhar basıncı suyun uzaklaşmasını kolaylaştırır. Bu da hızlı ve hacimli ısıtma sağlar.

Kısa kurutma zamanı, düşük enerji tüketimiyle kaliteli son ürün eldesi ve maliyette azalma gibi avantajların yanı sıra çalışmalarda sağlanan şartlara göre de mikrodalga kavitesinin homojen olmayan dağılımı sebebiyle ısının homojen olmayan dağılım sergilemesi, hızlı kütle transferi sebebiyle kalitede hasar, dokuda istenmeyen değişim, sönme gibi dezavantajlar da gözlemlenmiştir. son ürün sıcaklığını kontrol

etmede zorluklar, yüksek enerjide ark yapma gibi problemler de yine çalışma şartlarına bağlı olarak gözlemlenebilmektedir.

Burada sayılan ve benzer sebeplerle mikrodalganın tek başına kullanılmasından ziyade konvansiyonel yöntemlerle birlikte kullanılmasının daha verimli sonuçlar doğuracağı görülmüştür [1-9, 38-44].

Mikrodalga diğer birçok alan gibi gıda endüstrisinde de farklı ısı amaçlarıyla kullanılır. Bunların başlıcaları ve en kapsamlı olanları pişirme prosesleridir. Çözme, eritme, temperleme, tavlama ve pastörizasyon da yine mikrodalganın kullanıldığı alanlardandır [42-44].

2.3.2.2. Mikrodalga ısıtmaya etki eden faktörler

Mikrodalganın kendi içindeki değişik dalga boyları bile ürün içine nüfus etme oranını etkiler. 915 MHz'deki mikrodalgalar 2450 MHz'e oranla ürün içine daha çok nüfuz eder [45].

Mikrodalga enerji kaybının iki önemli mekanizması; iyonik iletim ve polar rotasyondur. Buna göre dielektrik sabiti ve dielektik kaybının oranı malzemenin harcama (tükenme) faktörünü verir.

Dielektrik sabiti, malzemenin mikrodalga enerjisinin iç kısmından geçmesi sırasında absorbe etme yeteneğinin bir ölçüsüdür. Kayıp faktörü ise giren mikrodalga enerjinin malzeme içerisinde ısı olarak tüketilmesiyle kaybolma miktarını vermektedir. Bu nedenle yüksek kayıp faktörlü bir malzeme mikrodalga enerjisiyle kolaylıkla ısıtılabilir. Yüksek dielektirik sabitli bir madde de mikrodalganın soğurulmadan çok derinlere nüfus edebildiği bir maddedir. Yani yüksek kayıp faktörlü malzeme mikrodalgayla etkin bir verimde ısıtılabilir, fakat et kalınlığı düşük olmalıdır, mikrodalga dielektirik sabiti yüksek maddelerde yüksek et kalınlığında bir numuneye uygulanabilir fakat ısıya dönüşme verimi düşüktür [46].

Mikrodalgalar bir yalıtkan maddeyi delip geçerken içeride oluşan elektrik alanları, boşta kalan elektron veya iyonların hareketine ya da ikiz kutup gibi dönen şarj komplekslerinin oluşumuna sebep olur. Sürtünme kuvveti ve yukarıda söylediğimiz hareketlerden dolayı oluşan güçler elektrik alanlarında kayba ve değişimlere neden olur. Bu tür kayıpların sonucunda hacimsel ısınma meydana gelir. Kolaylık olması için bütün kayıplar tek bir parametrede toplanmıştır.

Genellikle bu tür kayıpları tanımlamak için $\tan\delta$ kullanılır.

Kayıp faktörü $\tan\delta$; etkili izafi dielektrik kayıp faktörünün izafi dielektrik sabitine oranıdır (Denklem 2.14, 2.15).

$$\tan\delta = \frac{\epsilon_{eff}''}{\epsilon_{eff}'} \quad (2.14)$$

$$\tan\delta = \frac{\sigma}{\omega\epsilon_T} \quad (2.15)$$

Denklem 2.14'te ϵ_{eff} dielektrik kayıp faktörünü, ϵ_T malzemenin bağıl dielektrik sabitini tanımlar. Denklem 2.15'teki σ elektriksel iletkenliği gösterir [46].

Hacim birim başına absorbe etme gücü P (N/m^3) ile ifade edilen dielektrik ısıtma ve iletkenlik arasındaki ilişki aşağıdaki Denklem 2.16 ve ondan türetilmiş 2.17'de verilmiştir.

$$P = \int_V \sigma |E|^2 dv \quad (2.16)$$

$$P = \int_V 2\pi f \epsilon_T \tan\delta |E|^2 dv \quad (2.17)$$

Ev tipi mikrodalgalarda kullanılan 2450 MHz ve endüstriyel mikrodalgalarda kullanılan 915 MHz frekans düzeyleri mikrodalgaların etki derinliğini etkilemektedir. Mikrodalgalar 2450 MHz'de 10 cm'ye kadar, 915 MHz'de ise 30 cm' ye kadar etki derinliği oluşturabilmektedir [47].

Absorbe edilen gücün malzemenin 1/2'deki nüfuz etme derinliği D ; malzemenin absorbe etme gücünün nasıl çoğaltılacağını ve mikrodalganın nasıl nüfuz edebileceğini saptamaya yarayan bir parametredir (Denklem 2.18).

$$D = 3\lambda_0 / 8,686\pi \tan\delta \sqrt{(\epsilon_T / \epsilon_0)} \quad (2.18)$$

Absorbe etme gücü ve nüfuz etme derinliği verilen malzemenin hacimsel ısıtma davranışını etkiler. ϵ_T izafi dielektrik sabiti değeri elektrik alanında malzemenin kutuplaşmasının ölçülmesidir. Kayıp faktörü ($\tan\delta$) malzemeye bağlı olarak mikrodalga enerjinin kaybı veya absorpsiyonun ölçülmesidir. Isıtma sırasında kayıp faktörü ve izafi dielektrik sabiti (ϵ_T) sıcaklıkla değişir ve bunların değişim bilgisi işlem kontrolü için önemlidir. Kısacası; malzemenin mikrodalga ile ısıtılması, frekans ve sıcaklığa bağlı olan kayıp faktörü ve izafi dielektrik sabiti ilişkisiyle etkilidir.

Malzemenin absorbe ettiği mikrodalga enerjisi Denklem 2.19 ve 2.20'yle açıklanabilir.

$$\varepsilon = \varepsilon_1 - j\varepsilon_{11} \quad (2.19)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0(\varepsilon_{T1} - j\varepsilon_{eff11}) \quad (2.20)$$

Bir ürünün mikrodalga yardımıyla ısıtılabilmesi için mikrodalga enerjisini soğurması gerekir. Soğurma işlemini dipol rotasyonla gerçekleştirebilir: Hızla değişen elektrik alan içinde moleküller kendilerini elektrik alan çizgileri doğrultusunda yönlendirmeye çalışırlar. Hızla değişen elektrik alan çizgileri dipol momentleri rotasyon-vibrasyon durumuna ayarlar. Molekülün rezonans frekansı mikrodalga frekansına yaklaştıkça, mikrodalga alanından enerji soğurması daha yoğun olur.

Sadece dipol rotasyon değil iyonik iletkenlik de elektromanyetik alanda ısıtmaya sebep olabilmektedir. Bu da ortamda serbest iyonların varlığıyla gerçekleşir.

Sıcaklık, fiziksel özellikler, dalga boyu, dielektrik sabiti, polarite, viskozite, termal kapasitesi, iyon karakteri (İyonik bağ), konsantrasyon, elektrik yükü ve hareketlilik emilimi etkileyen faktörlerdir [48].

2.3.3. Mikrodalga Fırınlar

Mikrodalgada uygulanan güç, başlangıç nemi ve ürünün şekli etkinliği etkileyen değişkenlerdir. Kurutma süreçleri, genellikle ürünleri daha kısa sürede kurutabilmek için yüksek enerji ve bunun maliyetleri ile karşımıza çıkmaktadır. Ancak yüksek sıcaklıklarda özellikle biyolojik ürünlerin kurutulmasında ürün aktivitesi düşmektedir. Bunun gibi şekerli ürünlerden suyun uzaklaştırılması da şekerli ürünlere göre daha fazla dikkat gerektirir. Esmerleşme reaksiyonlarına sebep olmamak için yüksek sıcaklı uygulaması yapılmaz. Kurutma sürecinin enerji maliyetini minimize etmek, ürün kalitesini istenen seviyede tutmaya çalışmak ve arzu edilen nem kesri değerine en kısa sürede ulaşabilmek için öncelikle bir optimizasyon probleminin tanımlanması gerekmektedir. Seramik, kauçuk ve plastik endüstrilerinde özellikle vakumlu proseslerde mikrodalga enerjisinden çokça faydalanılır [40].

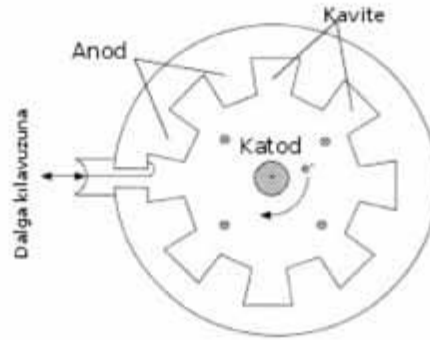
Kurutma işlemlerinde mikrodalga enerjisinden faydalanılırken, sıcak havanın etkinliği azaldığı için azalan kuruma hızı evresinde, tüm kuruma boyunca düşük

seviyelerde ve ürünü kuruma sıcaklığına hızlı bir şekilde çıkarmak için kurutmadan önce olmak üzere üç ana kullanım öne çıkmaktadır [6].

2.3.3.1. Mikrodalga fırın bileşenler

Mikrodalga fırınlar esas olarak üç ana bölümde incelenebilirler. Elektrik enerjisinden mikrodalga ürettiği magnetron, oluşturulan mikrodalga etkilemek istenen ürüne (fırın içine) iletildiği dalga kılavuzu ve aplikatör olarak da adlandırılan fırın içi boşluğu.

Mikrodalga fırınlarda enerji kaynağı olarak kullanılan magnetron delikli silindirik anot ve merkezdeki elektron yayıcı katottan oluşan iki ana bölümü olan bir osilatör tüpüdür. Anoda beslenen yüksek voltajdaki düşük doğru akım elektrik enerjisini mikrodalga enerjisine dönüştürür. Sürekli ve kesikli iki tip magnetron vardır. Fırınlarda genellikle sürekli tip magnetronlar kullanılır, kesikli magnetronlar radar uygulamalarında kullanılmaktadır. Verimi genellikle %70-90 civarındadır [6,41].



Şekil 2.10: Magnetronun şematik gösterimi

Elektromanyetik dalgalar aplikatöre dalga kılavuzları ile ya da koaksiyel kablo gibi iletim hatları iletilirler. Mikrodalga uygulamalarında da yüksek frekanslarda daha düşük kayıp veren dalga kılavuzları tercih edilir. Dalga kılavuzları içi boş iletken, dikdörtgen veya silindirik şeklindeki yapılardır [42].

Aplikatörler alan durumlarına göre yakın-alan, tekli-mod ve çoklu-mod olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Yakın-alan aplikatörlerinde, aplikatöre gelen mikrodalgalar antenden geçerek direk olarak ısıtılacak gıdanın üzerine gönderilir. Tekli-mod aplikatörlerinin çalıştığı frekansta sadece tek bir rezonans frekansı olur. Malzemenin

hacmi ve dielektrik kayıp faktörü oldukça küçük olması gerektiğinden, bu tip aplikatörlerin gıda endüstrisinde kullanımları oldukça sınırlıdır.

Gıda ısıtma uygulamalarında kullanılan aplikatörlerin büyük çoğunluğu daha büyük malzemeleri işlemek için çoklu-mod tipindedir, boyutları teklimod aplikatörlere göre daha büyüktür. Aplikatör içinde elektrik alanın tek düze olabilmesi için karıştırıcı (“mod stirrer”) kullanılır [6,42].

2.3.3.2. Mikrodalga fırın çeşitleri

Mikrodalga fırınlar ortamdaki serbest mikrodalgaların canlı sağlığına olumsuz etkileri sebebiyle kapalı sistemleri tercih edilen cihazlardır. Kapalı sistemlerde çalışma gerekliliği ve sürekli uygulanan mikrodalga enerjisinin son üründe istenmeyen sonuçlar doğurması gibi sebeplerle mikrodalga fırınlar genellikle kesikli çalışan sistemlerde çeşitlenmiştir. Konvansiyonel sistemlerle birleştirilen, mikrodalga ve kızıl ötesi ışınımın bir arada kullanıldığı, fırın ortamına vakum uygulamasının yapıldığı çeşitlemeler akademik çalışmalarda kullanılmıştır. Endüstriyel anlamda uygulanabilir proseslerde genellikle sürekli sistemlerin tercih edilmesi mikrodalganın endüstride kullanım alanının kısıtlamış gibi görünse de kesikli sistemlerin yanı sıra tam otomatik sistemler ve özellikle mikrodalga fırınların sürekli sistemlere kaçak yapmayacak şekilde adaptasyonu, mikrodalgaların çeşitlenmesine de olanak tanımaktadır. Böylece çeşitlenmede ana başlık olarak kesikli ve sürekli sistem mikrodalga fırınlar gösterilebilir.

3. MATERYAL METOT

3.1. Materyal

Çalışmalarda kullanılan meyve hammaddeleri Erzincan ve Mersin yörelerinde bulunan fabrikalar aracılığıyla Mersin, Nevşehir yörelerinden elde edilen çilek, kayısı, şeftali ve elma püreleri ve yine aynı fabrikalardan ve Mersin ve Tarsus yörelerinden elde edilen üzüm ve elma suyu konsantreleridir. Meyve hammaddelerine ek olarak modifiye edilmiş nişasta, maltodekstrin, turunç pektini, keçiyoynuzu zıncı, limon suyu konsantresi, doğala özdeş aroma bulunmaktadır.

Meyve püreleri meyvenin ayıklama, yıkama, eleme, presleme gibi mekanik ve uygun ve kaliteli briks değerine getirmek için uygulanan ısıtma işlemleri ve aseptik dolma teknikleriyle meyve püresi üreten fabrikalarda üretilir. Kullanılan meyve pürelerinden ısıtma işlemi renk değişimine hassas cevap veren çilek püresi dışında şeftali, elma ve kayısı püreleri su uzaklaştırma maliyetlerinin azalması için konsantre edilmiş olarak şeftali için 20-22 briks, kayısı için 32 briks, elma için 25 briks dolaylarında meyvesine has değerlerde, 200 ve 210 kg'lık aseptik ambalajlarda varil içinde, ortam şartlarında kapalı kasa araçlarla fabrikasından İstanbul'a taşınarak tedarik edilir (Şekil 3.1, 3.2).

Ürünün tatlandırılması için meyve sularının şekersiz tatlandırılmasında da kullanılan elma ve üzüm suyu konsantreleri kullanılmıştır. Yüksek briks değerleri (65-72 Briks) sebebiyle tam aseptik doluma gerek görülmeyen bu tip meyve suyu konsantreleri de 260-280 kg'lık variller halinde aynı koşullarda tedarik edilmiştir.



Şekil 3. 1: Meyve püresi varilleri ve varil etiketlerine örnek şeftali püre konsantresi



Şekil 3. 2: Deneme numunesi için aseptik ambalaj örneği

3.2. Metot

Bu çalışmada kurutma mikrodalga fırında, kuru hava odalarında ve iki sistemin ortak kullanımını olmak üzere üç farklı tipte, 3 farklı meyve çeşidine yapılmıştır. (3x2²x3).

3.2.1. Önışlem

Aseptik ürünler dışındaki meyveli hammaddeler kullanım öncesi derin dondurucuda -18°C'de muhafaza edilmişlerdir.

Nışasta ve turunç pektini ürünün suyunun tamamen uzaklaşmasını engelleyerek, belirli oranda tutar. Bu sayede tüketici için yemeyi kolaylaştıracak, ağızda hoş bir his bırakacak nem değerinde, ayrıca nişasta içeriğiyle amilazla parçalanarak daha tatlı bir ürün hissi verecek şekilde tat olarak da ürünü güzelleştirecek bir yapıya bürünmesine sebep olur. Keçiboynuzu zıncı da yine nişasta gibi kıvam arttırma ve jelleştirme işlemini pekiştirmek ve kendisine has özellikler vermek için formülasyona eklenmiştir. Meyvenin içeriğindeki su ve evaporasyon süresince arttırılan sıcaklığın etkisiyle, nişasta içeriğindeki polimerler suya bağlanırlar. Su, nişastanın içine nüfuz ettikçe genel polimer yapısının düzeni bozulmaya başlar, granüllü bölgeler küçülür ve amorflaşır. Suyla etkileşen amiloz, nişasta tanesinden dışarı sızar. Böylece su emip şişen nişasta jelleşir. Jelatinizasyon sırasında asit kullanarak polimerler parçalandığında boyları kısalır. Böylece hidroliz edilmiş

nişasta ısınırken daha az genişleyip daha az su emer, dolayısıyla soğuduğunda da su salmaz.

Formüldeki hidroliz edilmiş nişasta örneği olarak maltodekstrin de ağızda yumuşaklık hissi verir, kristalleşmeyi engeller ve kolay sindirimiyle ürüne olumlu bir özellik katar. Ürün içindeki aromaların homojen ve etkin şekilde özelliklerini göstermesi maltodekstrin yardımıyla daha da kolaylaşır.

Yine nişasta gibi su tutma özelliğinden faydalanmak için kullanılan keçiyoynuzu zamkı, zamklar arasından meyveli yumuşak şeker örneklerinde kullanılmak için en uygun olanlarından biridir hacminin elli katı kadar su tutabilir. Tatta bozulma yapmadan ürüne yumuşaklık hissi verir. Ayrıca ürünün sonradan su bırakmasını da engeller.

Asitliğin artırılması nişasta eklenmesiyle yumuşayan meyve tadını artırır. Bu nedenle ürüne limon suyu konsantresi eklenerek ürünün asitliği artırılır. Üründe kullanılan limon suyu konsantresi *citrus* limon çeşitlerinin yenebilir, olgun ve sağlam meyvelerinden elde edilen, fermente olmamış fiziksel yöntemlerle elde edilen bir hammaddedir. Şeker içeriği yüksek olan bu ürün de suyu uzaklaştırılmış bir hammadde olmasına rağmen son ürünün kurummasına olumlu etkisi yoktur.

Meyve pürelerinin elde edilmesi sırasında ısı ve diğer işlemler sebebiyle uçucu komponentlerin büyük kısmı uzaklaşır. Aromanın geri kazanılması proses koşulları sırasında kaybedilmeden saklanmasından daha ekonomik olduğu için formülasyonda ısı işlem sonrası tekrar ekleme suretiyle son üründe bulunur.

Jelleşme ajanı olarak kullanılan pektin ve keçiyoynuzu gamının etkilerini göstermesi için belirli ön işlemlerin uygulanması öngörülür. Su ve şekerle yapılan bu ön işlemler formülasyonda her iki bileşende kullanılmadığı için bunları ikame eden ürünlerle uygulanır. Bu sebeple kuru hammaddelere püreden önce elma ve üzüm suyu konsantreleriyle yüksek devirli karıştırıcıda muamele edilir. Karıştırma işlemi tüm bileşenlerin ürün içinde homojen dağılmasını sağlayacak fakat nişastaların parçalanmasına sebep olmayacak kadar kısa ve ısı etki uygulanmadan yapılır. Üzüm ve elma suyu konsantreleriyle macun haline gelen nişastalı karışım bekletilmeden meyve püreleriyle karıştırılır. Karışım vakumlu evaporatörde suyundan uzaklaştırılır.

Tüm çalışmalarda kullanılan örneklere ön işlemler olarak vakumlu sistemle su uzaklaştırılması (evaporasyon) uygulanmıştır. Uygulama sırasında Örnek Makine

firmanın üretimi olan, 500 m³ lük iç hacimli, çift cidarlı, yağlı sistemle ısıtılan Şekil 3.4'te de gösterilen kontrol panosuyla idare edilen vakumlu evaporatörü kullanılmıştır (Şekil 3.3). Vakumlu evaporasyon işlemi -760 mmHg basınç ve 63°C sıcaklık hedeflenerek 450 kg için ön ısınma süresi dışında 6 saat işlem süresi esas alınarak yapılmıştır.



Şekil 3. 3: Deneylede kullanılan hammaddeye (herleye) önişlemin uygulandığı evaporatörün görünüşü



Şekil 3. 4: Evaporatörün ürün ve ısıtma yağı sıcaklık ayarı gibi parametrelerinin gözlemlendiği ve müdahale edilebildiği kontrol panosu

Vakumlu evaporasyon sonrası sıcaklığı 40°C'nin altına inen ürüne kaybettiği aroma duyuşal testler sonucu en uygun bulunan oranda eklenmiştir. %70 ve 55 nem değeri aralığına gelen herle (karışım), standart sıcaklıkta beslemenin sağlanması için buzdolabında bekletilmiştir. Serilmeden önce oda sıcaklığına getirilen herleler, 3

mm'lik kalınlıklar oluşturacak şekilde mikrodalgaya uygun pişirme kâğıtlarına şeritler halinde serilmiştir (şekil 3. 5).



Şekil 3. 5: Şerit hale getirilmiş kurutmaya hazır herle

Ortam řartlarının deneyin hassasiyetini etkileme ihtimalini en dūřuk seviyede tutmak için aynı öniřlemin tek seferde uygulandıęı hammaddelerle, karřılařtırılan tūm kurutma sistemlerinin denemeleri yapılmıřtır. Paralel rnekler için aynı öniřlem farklı zamanlarda gerçekleřtirilmesi dūřunūlerek iřlemler gerçekleřtirilmiřtir. Tūm denemelerin yapıldıęı gūnler, ortam nemi ve sıcaklıęı izlenip not edilmiřtir (řekil 3.6).



Şekil 3.6: Ortam nemi ve sıcaklığını gösterir higrometre

3.2.2. Kurutma metodu

Bu çalışmada mikrodalga uygulamasıyla kurutma, mikrodalga sonrası kabin tipi kurutucu yardımıyla kurutma ve sadece kabin tipi kurutucuyla kurutma işlemleri deneylenmiştir.

3.2.3. Düzenek

Deneylerde kullanılan kuru hava odaları (kabin tipi kurutucular) 1,25x1,10x2,00 m boyutlarında, teknik özellikleri Çizelge 3.1’de ve detaylarıyla Ek-1’de verilen Rety RNK 100 (Şekil 3.7) kurutma cihazları ile kuru hava beslenen kapalı sistemlerdir (Şekil 3.8).



Şekil 3.7: Kabin tipi kurutuculara kuru hava sağlayan kurutma cihazı



Şekil 3. 8: Kurutma odaları

Çizelge 3. 1: Rety RNK 100 kurutma cihazı teknik özellikleri [23]

Nem çalışma aralığı	% 35-% 100 rh
Maksimum nem alma performansı	30l/Gün
30°C / %80 bağıl nemde günlük nem alma performansı	26l/Gün
Genel amaçlı nem alma için uygun mahal büyüklüğü	100m ³
Hava debisi	190m ³ /h
Derinlik	274 mm
Genişlik	390 mm
Yükseklik	612 mm
Nem kontrol	Mekanik

Mikrodalga fırın ise 2450 MHz frekansında 90-600 W arasında değişken sürekli güç sağlayabilen Bosh marka HMT84G421 model mikrodalga fırınıdır(Şekil 3. 9). Fırın özellikleri de Çizelge 3. 2’de verilmiştir.



Şekil 3. 9: Deneylede kullanılan havalandırma destekli ev tipi mikrodalga fırın

Mikrodalğanın homojen uygulamaya olanak tanımaması gibi sorunlar artı havalandırma ve döner tablayla aşılmaya çalışılmıştır. Denei düzeneğine beslenen

hammadeler ve deneylerden elde edilen ürünler vakumlu etüvde metal kurutma kapları içinde 10 g'lık numunelerin etüv öncesi ve -760 mmHg ve 65°C sıcaklıkta kurutma sabit tartıma gelinceye kadar devam ettirilen işlem sonrası tartımları alınarak nem içerikleri hesaplanmış, verilere kaydedilmiştir.

Vakumlu etüv sonuçlarıyla, deney sırasında alınan tartım sonuçları benzer değerler verdiği için tartım oranlamaları üzerinden çalışmaya devam edilmiştir.

Mikrodalga fırının veriminin tayin edilmesi için fırın içine içme suyu koyulmuş ve belirli hacmin sıcaklık artışı gözlemlenmiştir. Fırın verimi denklem 3.1 ve 3.2 yardımı ile hesaplanabilir.

$$E = P/\rho \quad (3.1)$$

$$P = (m_w \Delta T)/(14,4 t) \quad (3.2)$$

Denklemlerde P absorbe edilen güç (kW) , m_w ürünlerdeki su miktarı, ΔT sıcaklık artışı, t uygulama süresi olarak alınır.

3.2.4. Deneysel çalışmada kullanılan analiz yöntemi-nem tayini

Nem tayini birçok alan ve üründe olduğu gibi gıda işlemlerinde ve analizlerinde de en fazla kullanılan temel analizlerden biridir.

Nem tayini üç alt başlıkta incelenebilir:

Etüvde nem tayini,

Vakumlu etüvde nem tayini,

Toluen ile damıtma yöntemiyle nem tayini.

Çalışma için nem değerleri AOAC 925.45 şekerli üründe nem tayini tanımına uygun olarak vakumlu etüvde -1 bar (760mmHg) 65°C sabit tartıma gelene kadar yapılan ölçümlerle tayin edilmiştir.

3.2.4.1. Vakumlu etüvde nem tayini

Nemi tayin edilecek ürüne ait homojen hale getirilmiş örnek vakumlu etüvde 70°C sıcaklık ve 800 mmHg basınçta içeriğindeki ayrıştırılabilen suyun tamamından uzaklaştırılarak sabit tartıma getirilir. Deney süresince vakum pompası, vakumlu etüv, kurutma kabı, analitik terazi, desikatör gibi laboratuvar araç gereçleri kullanılır.

Süreç olarak ele almak gerekirse;

- Nem tayininde kullanacağımız kapaklı kurutma kabı 70°C'ta -400-1000 mmHg basınçta vakumlu etüvde kurutulur.
- Desikatörde soğutulur ve dara olarak birinci tartım alınır (m1).
- Örnek homojen hale getirilerek kurutma kabına ince bir tabaka halinde alınır, kabın kapağı kapatılır ve ikinci tartım alınır (m2).
- Analiz örneğinin bulunduğu kap kapağı açık şekilde vakumlu etüve yerleştirilir.
- Etüvün kapağı kapatılır ve vakum -800 mmHg' ya ayarlanır.
- 70°C' da 4–6 saat kurutma işlemine devam edilir.
- Sürenin sonunda vakum pompası durdurularak vakum boşaltılır. Vakumlu etüv uygun hale geldiğinde açılır, numuneler içinden alınır.
- Kurutma kabının kapağı kapalı olarak desikatöre yerleştirilir.
- Desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulur ve tekrar tartılır (m3).
- Deney en az iki tekrarlı olarak yapılmalıdır [24].

Hesaplama

Nem oranı ağırlık yüzdesi olarak aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\%nem = \frac{m2-m3}{m2-m1} \times 100 \quad (3.3)$$

Hesaplama yönteminden de anlaşılacağı gibi nem tayini ağırlık farkına bağlı olarak hesaplanır. Deneysel verilerin fazlalığı, analiz süresinin uzunluğu ve numunelerin analiz yapılarına kadar uygun şartlarda saklanma zorluğu sebebiyle, deney uygulaması yapılan numunelerden tek sürece tabi ürünlerden sadece biri vakumlu etüvle nem tayinine alınmış ve diğer sonuçlar oranlama yöntemiyle bulunmuştur. Bu varsayımın geçerliliği yapılan deneylerle doğrulanmıştır.

3.3. Matematiksel Modelleme

Kurutma süreçleri genel olarak doğrusal olmayan süreçlerdir ve bu süreçleri modellemek de oldukça karmaşık ve zordur. Modelleme, modellenecek sistemi tamamen tanımlayacak bir matematiksel denklemler sisteminin oluşturulması temeline dayanır [25]

Kurutma ince tabaka modelleriyle tanımlanabilir. İnce tabaka modelleri teorik, yarı teorik ve empirik olabilir. Teorik modellere göre nem transferi difüzyon benzeri dahili mekanizmalar tarafından kontrol edilir. Yarı teorik ve empirik modeller ise hava hızı ve sıcaklığı gibi dış faktörleri de içerirler. Tüm kurutma süreçleri ile ilgili genel bir matematiksel model olmadığı gibi, çoğu kurutma modellemeleri de özel parametreler içermektedir [26].

Özellikle daha önce yapılmış olan çalışmalarda mikrodalga fırınlarda kurutma denklemlerini en iyi şekilde modellediği görülen ince tabaka modellerinden Page, Logaritmik model ve Midilli, Küçük vd. ait modeller bu çalışmada da kurutma eğrilerinin modellenmesi için uygun görülmüştür (Çizelge 3. 2).

Çizelge 3. 2: Deneysel verilerin modellenmesinde kullanılan önemli kurutma modelleri

Model	Matematiksel ifade
Lewis	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-k_t t^n)$
Logaritmik	$MR = a. \exp(-k. t) + c$
Henderson Pabis	$MR = a. \exp(-k. t)$
Midilli Küçük vd	$MR = a. \exp(-k_t t^n) + b$

Denklemlerde MR olarak tanımlanan nem kesri Denklem 3.4'deki gibi hesaplanmıştır.

$$MR = \frac{M_t - M_{denge}}{M_0 - M_{denge}} \quad (3.4)$$

t' ler zamanı temsil ederken, a, b, c, k, k_t ve n kurutma modellerinin sabitleridir. Model sabitleri deneysel verilerin istatistikî analizi SPSS programı yardımıyla yapılması sonucu bulunmuştur. Model uygunluklarının test edilmesi için varyans analizi yapılmış, korelasyon katsayıları (R²) ve %95 güven aralığında k sabitlerinin alt ve üst limit aralıkları karşılaştırılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında meyveli ürüne kurutma işlemi mikrodalga güç kaynaklı bir kurutma fırını ve kurutucu yardımıyla yapılmıştır. Mikrodalga kurutmanın etkinliği meyve bazlı şekerli ürünlerin kurutulmasında deneylenmiştir. Bu tip bir ürünün seçilmesinde daha doğal ürünlerle beslenmesi gerektiği bilinci oluşan tüketicinin meyve bazlı ürünlere yönelmesiyle oluşacak açığı dolduracak ürün gerekliliği öngörüsü ve şekerli ürünlerin sıcaklığa diğer ürünlerden daha hassas olması yol gösterici olmuştur.

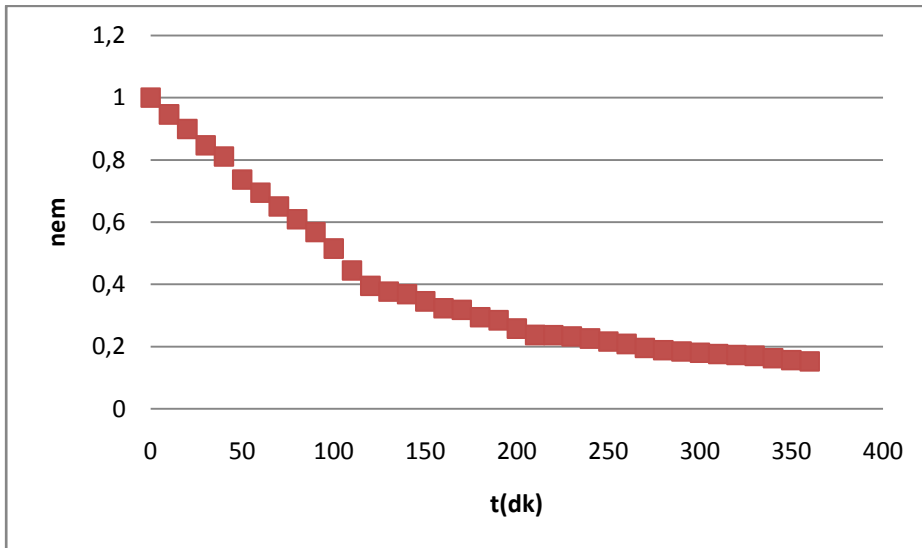
Seçilen meyvesine has standart önışlem uygulanan ürünler, iki tekrarlı olarak mikrodalga fırın ve kabin tipi kurutucularda ayırık prosesler olarak ve önce mikrodalga fırın ardından kabin tipi kurutucuda ardışık prosesler olarak gözlemlenmiştir.

Çalışmanın ilk haftasında deneylenmek üzere çilek meyveli karışım, uygulanan ön işleme %60 nem değerine getirilmiştir. Bu hafta için meteoroloji işleri genel müdürlüğünden alınan İstanbul için nisbi nem değerleri, sırasıyla en yüksek, en düşük ve ortalama olarak %100 %32 ve %67 şeklindedir. Bu çalışmada da tüm meyvelere ait çalışmalarda olduğu gibi mikrodalgayla kurutma çalışma şartları %45 ve 60 bağıl nem değerlerinde tutulmuştur. Kabin tipi kurutucu için kurutucu içi şartları girişte yüksek nemde ürün kabin içi havayı etkilediğinden başlangıçta %60 civarında da olsa genelde %35- 40 bağıl nem arasında tutulmuştur. Çizelge 4. 1'de çalışma süresince İstanbul'daki nem değerleri verilmiştir.

Çizelge 4. 1: Gerçekleştirilen deney planı ve deney süresince İstanbul'daki nem değerleri

Tarih	Çalışılan meyve	En yüksek nem	En düşük nem	Ortalama nem	Ortam nemi
1. hafta	Çilek	100	32	67	48
2.hafta	Şeftali-Kayısı	99	27	64	45
3. hafta	Çilek	100	43	73	46
4. hafta	Şeftali-Kayısı	100	37	74	46
5.hafta	Elma	100	28	68	44

%60 nem değerine getirilen herleler çizelgede gösterilen nem değerlerindeki şartlarda standart et kalınlıklı (3mm) şeritler haline getirilip, deneylerin mikrodalga kısmı için 10 g 'lık tartılan ürünler 90, 180, 360, 600 W'ta 10 dak., 1 dak., 10 sn. sürelerle kurutulmuştur. Şekil 4.1'de 180W'ta 10 dakikaya ayarlanmış şekilde çilekli pestile mikrodalga uygulaması sonucu oluşan kuruma grafiği gösterilmektedir. Diğer anlamlı sonuçlar veren koşullarda oluşan grafikler de çilek için Ek-B'de, kayısı için Ek-C' de ve şeftali için Ek-D'de detaylandırılmıştır.

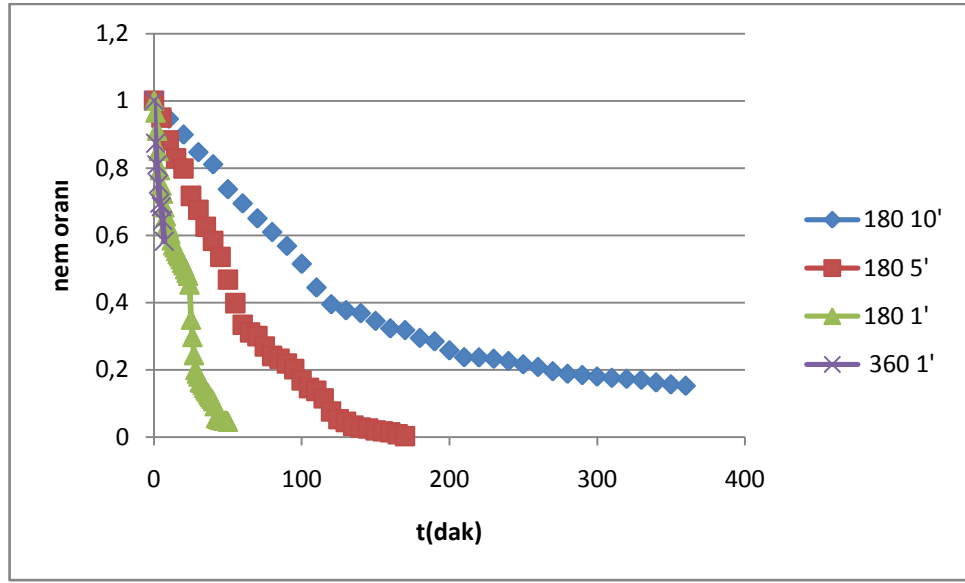


Şekil 4. 1: 180W'ta 10 dakika mikrodalga uygulaması sonucu çilekli pestilin nem miktarındaki değişimi gösterir grafik

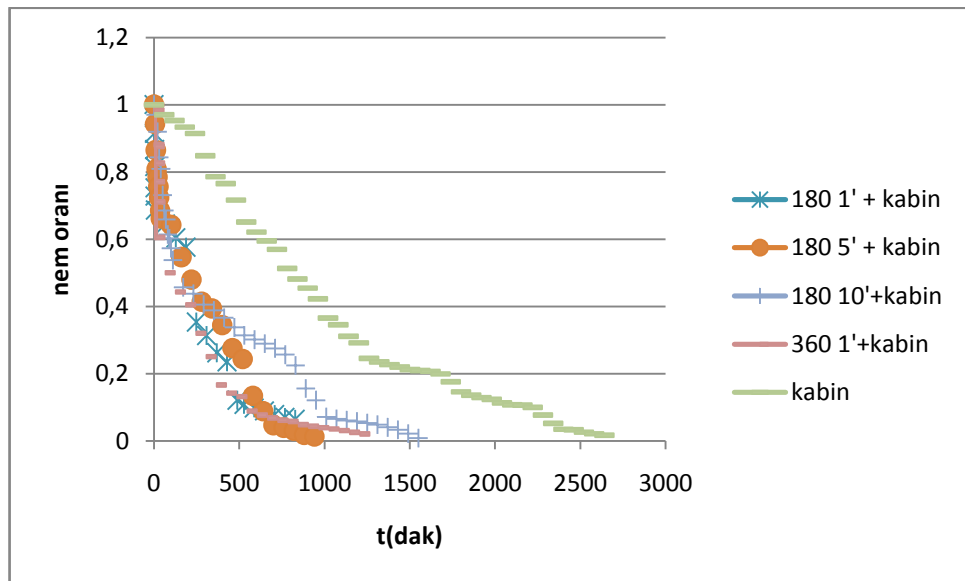
Kabin tipi kurutucular istenmeyen hızlı kurutmanın sonucunda kabuk oluşmasını engellemek için dolu kurutucuda, serilmeden kaynaklanan farklılıkların deneyi etkilemesini önlemek için saat başı tartımı alınan tek bir şeritle yapılmıştır.

Kombine sistem, ürünün mikrodalganın azalan hızda kurutma aşamasına geçtiği nem değerlerinde kabin tipi kurutucuya geçeceği şekilde tasarlanmıştır.

Çilekli pestil için sadece mikrodalga uygulamasıyla alınan sonuçlar Şekil 4.2'de, yine çilekli pestil için mikrodalga sonrası kurutma kabini uygulaması sonucu alınan sonuçlar Şekil 4.3'te verilmiştir.

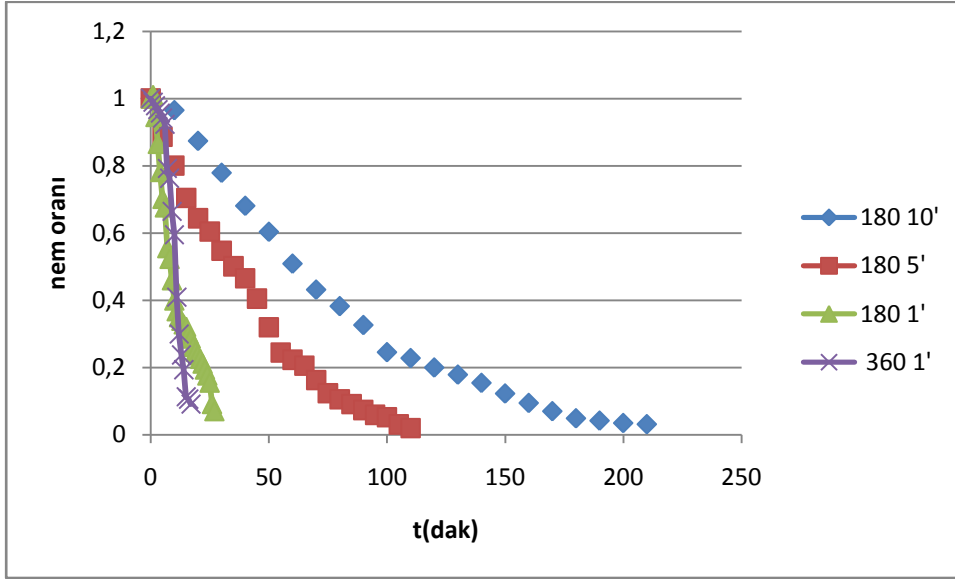


Şekil 4. 2: Çilekli pestilin mikrodalga uygulaması ile oluşan kuruma eğrileri

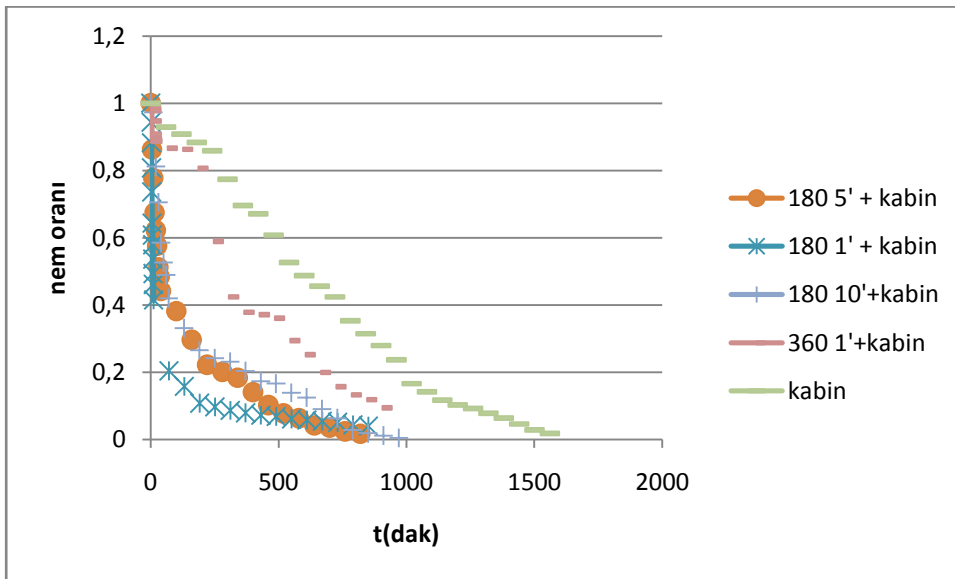


Şekil 4. 3: Çilekli pestilin mikrodalga ve kurutma kabini uygulaması ile oluşan kuruma eğrileri

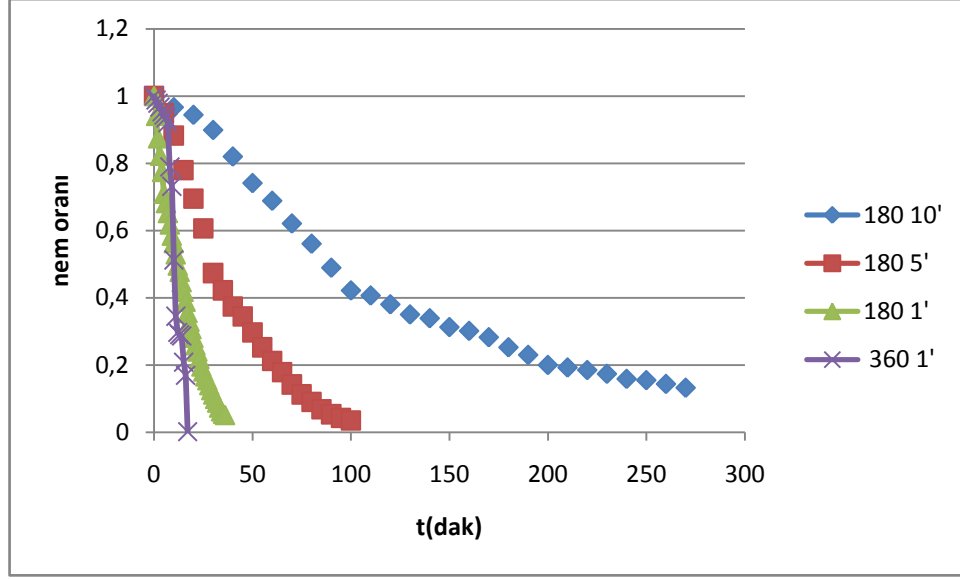
Kayıslı ve şeftalili pestillere ait kuruma eğrilerinin sadece mikrodalga ve mikrodalga sonrası kurutma kabini şartlarında karşılaştırılmaları da sırasıyla kayısı için Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te şeftali için Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmiştir.



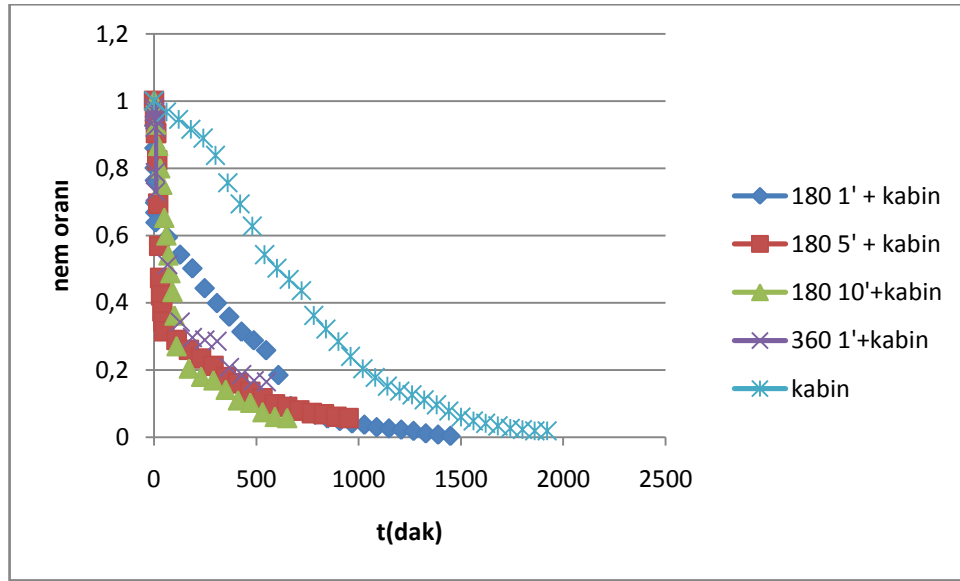
Şekil 4. 4: Kayıslı pestilin mikrodalga uygulaması ile oluşan kuruma eğrileri



Şekil 4. 5: Kayıslı pestilin mikrodalga ve kurutma kabini uygulaması ile oluşan kuruma eğrileri



Şekil 4. 6: Şeftalili pestilin mikrodalga uygulaması ile oluşan kuruma eğrileri



Şekil 4. 7: Şeftalili pestilin mikrodalga ve kurutma kabini uygulaması ile oluşan kuruma eğrileri

Pestillerin kurutma eğrilerinin Lewis, Page, Logaritmik, Henderson Pabis ve Midilli Küçük modellerine uygunluğu ayrı ayrı denenmiştir. Modellerin uyumluluk sonuçları Çizelge 4. 2’de verilmiştir.

Çizelge 4. 2: Model uyumluluğunu gösterir çizelge

Meyve türü	Uygulama	En uygun model
Çilek	180 W 10 dak m.d.	Henderson Pabis
Çilek	180 W 5 dak m.d.	Page
Çilek	180 W 1 dak m.d.	Henderson Pabis
Çilek	360 W 1 dak m.d.	Henderson Pabis
Çilek	180 W 1 dak m.d.+kabin	Log
Çilek	180 W 5 dak m.d.+kabin	Log
Çilek	180 W 10 dak m.d.+kabin	Log
Çilek	360 W 1 dak m.d.+kabin	Log
Çilek	Kabin	Page
Kayısı	180 W 10 dak m.d.	Page
Kayısı	180 W 5 dak m.d.	Lewis
Kayısı	180 W 1 dak m.d.	Midilli Küçük
Kayısı	360 W 1 dak m.d.	Midilli Küçük
Kayısı	180 W 1 dak m.d.+kabin	Henderson Pabis
Kayısı	180 W 5 dak m.d.+kabin	Log
Kayısı	180 W 10 dak m.d.+kabin	Page
Kayısı	360 W 1 dak m.d.+kabin	Midilli Küçük
Kayısı	Kabin	Midilli Küçük
Şeftali	180 W 10 dak m.d.	Midilli Küçük
Şeftali	180 W 5 dak m.d.	Page
Şeftali	180 W 1 dak m.d.	Henderson Pabis
Şeftali	360 W 1 dak m.d.	Midilli Küçük
Şeftali	180 W 1 dak m.d.+kabin	Log
Şeftali	180 W 5 dak m.d.+kabin	Page
Şeftali	180 W 10 dak m.d.+kabin	Page
Şeftali	360 W 1 dak m.d.+kabin	Midilli Küçük
Şeftali	Kabin	Page

Genelde logaritmik modelin, en fazla uyum sağlayan model olarak deneylenen kurutma sistemlerini en iyi şekilde modellediği görülmüştür.

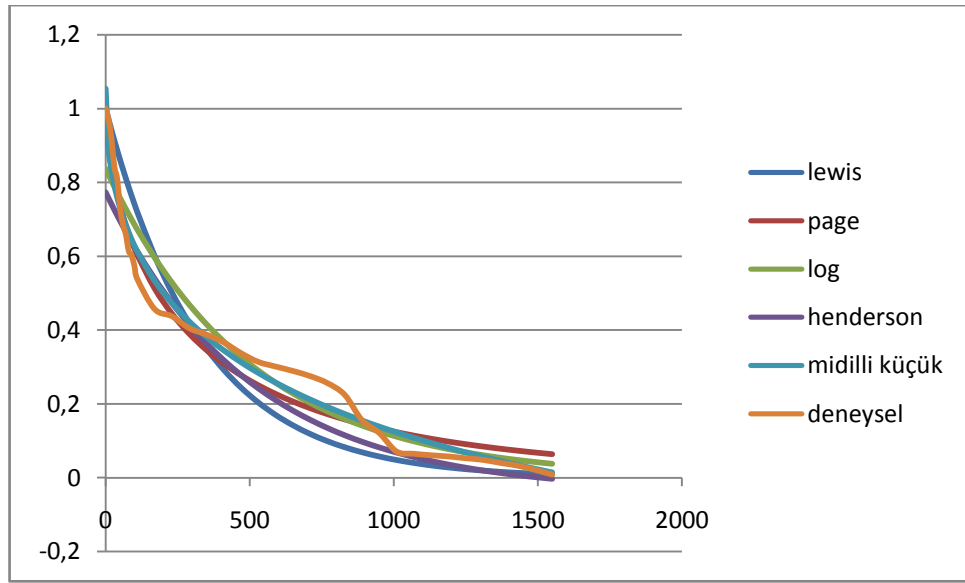
Çilekli pestillerin mikrodalga yardımıyla kurutulmasını en iyi şekilde modelleyen modelin Henderson Pabis modeli olduğu görülmüştür. Mikrodalga ardından kabin tipi kurutucuyla yapılan kurutma çalışmalarını modellemede logaritmik modelin uyumluluk sağladığı görülmüştür. Sadece kabin tipi kurutucu yardımıyla yapılan kurutma çalışmalarında Page modelinin en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

Kayısı pestillerin mikrodalga ile kurutulmasının modellemesinde en fazla uyum sağlayan modelin Lewis olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra Page ve logaritmik modellerinde yine en yüksek uyumu verdiği deney sonuçları görülmüştür. Uyumluluk denemelerinin birbirine yakın yüksek hassasiyette sonuç verdiği de göz önünde bulundurulduğunda, bu farklılık çok büyük önem taşımamaktadır.

Kayıslı pestillerin mikrodalga ardından kabin tipi kurutucuyla kurutulması çalışmalarında ise Logaritmik model en fazla uyum yakalanan sonucu vermiştir. Yine Page ve Henderson Pabis modelleri de uyumluluk yakalanan sonuçlar arasındadır.

Şeftalili pestilin kurutulması denemelerinde en iyi uyumun Page modelinde bulunduğu görülmüştür.

Her uygulamaya ait model denemelerinin deneysel verilerle uyumluluğunun test sonuçları grafik üstünde de gösterilmiştir. Bu gösterim Şekil 4.8'de örneklendirilmiştir. Anlamlı her uygulamaya ait grafikler Ek- E'de verilmiştir.



Şekil 4.8: Çilekli pestilin 180 W 10 dakika mikrodalga uygulaması ardından kabin tipi kurutucuda kurutma uygulamasının model uygunluğunu gösterir grafik

5. SONUÇLAR

Şekerli ürünler ısıtıl işlemleri sırasında hassas olunması gereken yüksek ısıya duyarlı ürünlerdir. Bu nedenle, bu çalışmada yüksek enerji uygulaması kurutma tekniğinin yanı sıra kurutulacak ürün için de uygun değildir. Mikrodalga ile kurutma, enerji verimliliği açısından kabin tipi kurutuculardan daha verimli olsa da kurutulması istenen son ürünün kalitesi kurutma sisteminin seçiminde önemli olduğundan mikrodalga fırınların tek başına kullanımının şeker oranı arttırılmış (koyulaştırılmış) meyveli karışımların kurutulması için uygun sistemler olmadığı anlaşılmıştır. Mikrodalga sonucu kurutulan ürün işlem sırasında suyundan daha çabuk uzaklaştırılıyor olduğu için (daha hızlı dehidrasyon) rehidrasyon oranı ve hızı da yüksek olmuştur bu da ürünün işlem sonrası çok kısa sürede nem alması sonucu kalitede düşüşe sebep olmuştur. Suyun üründen uzaklaşmak için yüklendiği yoğun enerji sebebiyle kurutma yüzeyi deformasyona uğramıştır. Farklı meyve çeşitlerinin formülasyonlarındaki nişasta, pektin, gum gibi su tutucuların oranı birbirine yakın olduğundan kuruma oranlarını etkilemediği, çilekli, kayısı ve şeftalili formüllerin kuruma sürelerinin ve oranlarının benzer olduğu gözlemlenmiştir.

Ön işlem sürelerindeki farklılıklar ve koşullar kurutmaya giren ürünün nem miktarını değiştirdiğinden, işlem süresini ve son ürünün kalitesini mikrodalga fırınla kurutmada da kabin tipi kurutucularla kurutmada da etkilemektedir. Bu çalışmada ön işlem değişkenler arasında sayılmadığı için vakum sonrası yüksek kuru madde miktarıyla kurutucuya verilmesi kurutucu verimini olumlu etkilese de toplam kurutmanın verimi konusundaki etkisi bilinmemektedir.

Endüstride mikrodalga fırınların seçimi söz konusu olduğunda; işlem maliyetlerini azaltmak için mikrodalga fırınlar kabin tipi kurutuculara kıyasla daha verimli çalıştıklarından işlem yardımcısı olarak seçilebilir. Bu seçimde ilk yatırım maliyetleri de göz önünde bulundurulmalı ve işletme maliyetlerindeki azalmanın ilk yatırım maliyetlerindeki artışı ne kadar zamanda amorti edeceği, bu oranın yeterli olup olmayacağı göz önüne alınmalıdır.

İşlem maliyetlerini aşağı çekmek kurutma gibi uzun ve karmaşık süreçlerde çok değişkenli proses sorunlarıdır. Son ürün kalitesi her üründe olduğu gibi meyveli ürünlerde de önemlidir. İyi kalitede bir son ürün elde etmek için işlem maliyeti yüksek olsa da belirli sistemlerin seçimi gerekebilir.

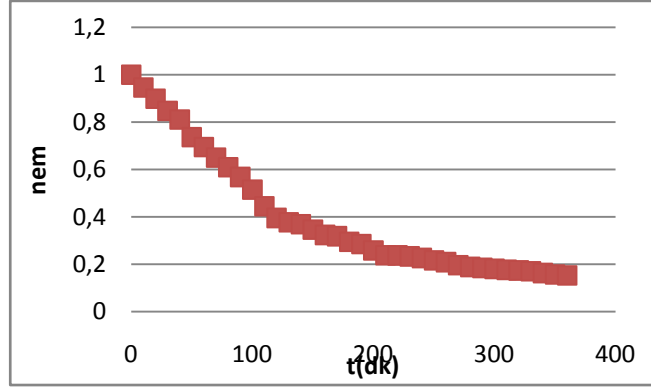
Literatürdeki araştırmaların da desteklediği gibi bu çalışmada da mikrodalga fırınlarda yapılan kurutma denemelerinde ısıtma oranının ısı geçirgenlik ya da yüzey sıcaklığından etkilenmediği ve gerekli zamanın da konvansiyonel tekniklere göre (çoğu zaman) %1 civarında olduğu görülmüştür. Sıcak havayla kurutmada verimin düşük, kurutma zamanının uzun olmasına rağmen mikrodalgaya uygun olmayan ürünler için bu tip kurutma yapan kurutucular gerekliliklerini sürdürmektedirler.

Bu çalışmada da teknolojik yeniliklerin günümüzde daha da önemli hale gelen enerjinin verimli kullanılması konusunda ne kadar başarılı olduğu bir kez daha gözlemlenmiştir ve tüketici beklentilerini değiştirmeden uygulanabilirliği deneylemiştir.

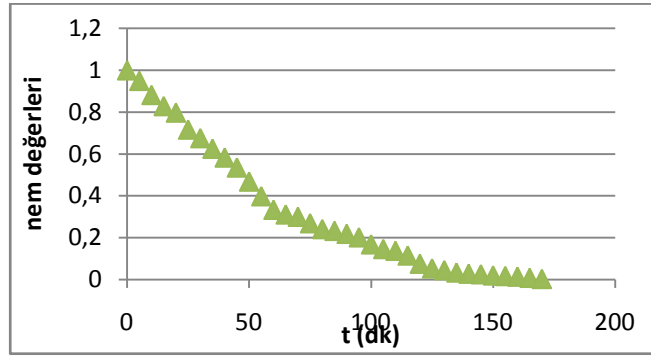
EK-A:**Çizelge A.1:** Rety RNK 100 Nem alma cihazının teknik özellikleri

Nem çalışma aralığı	%35-%100 rh
Maksimum nem alma performansı	30l/gün
30°C / %80 bağıl nemde günlük nem alma performansı	26 l/gün
Genel amaçlı nem alma için uygun mahal büyüklüğü	100 m ³
Hava debisi	190 m ³ /h
Derinlik	274 mm
Genişlik	390 mm
Yükseklik	612 mm
Nem kontrol	Mekanik

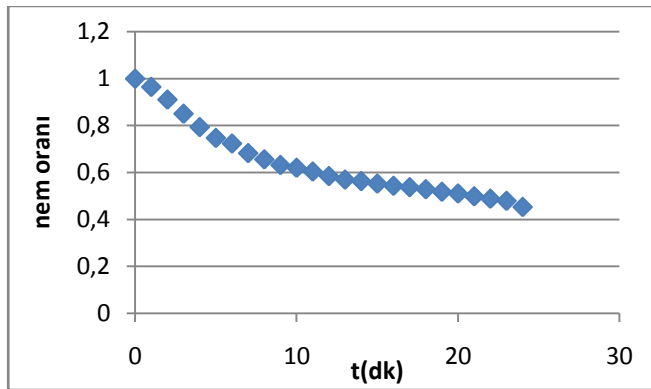
EK- B



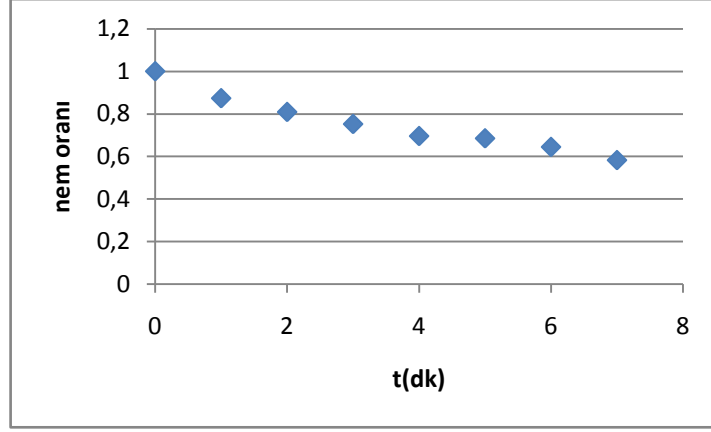
Şekil B. 1: 180W/10g'da 10 dk'lık MD uygulamasında çilekli pestilin kurutma eğrisi



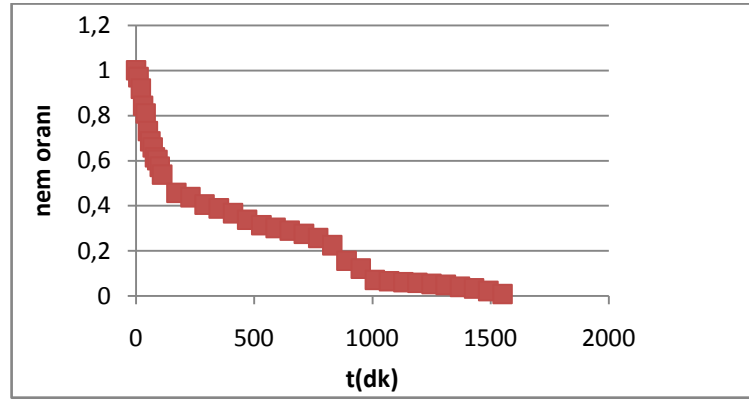
Şekil B. 2: 180 W/10g'da 5dk'lık MD uygulamasında çilekli pestilin kurutma eğrisi



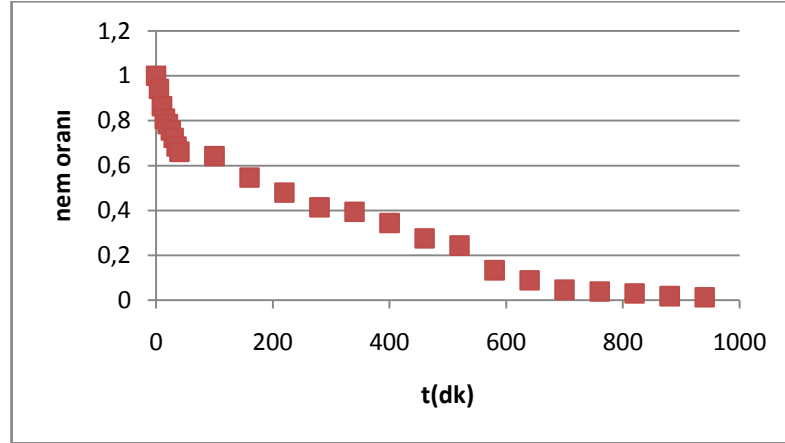
Şekil B. 3: 180W/10g 1 dk'lık MD uygulamasında çilekli pestilin kurutma eğrisi



Şekil B.4: 360W/10g 1 dk'lık MD uygulamasında çilekli pestilin kurutma eğrisi



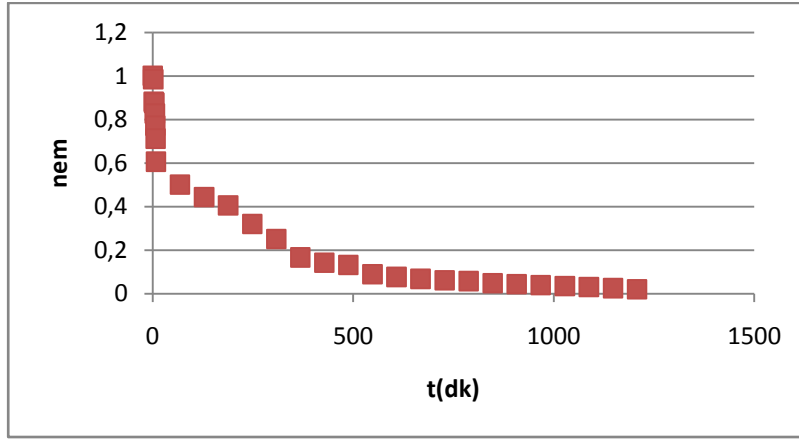
Şekil B.5: 180 W/10 g 10 dk'lık MD ardından kurutma kabini uygulamasıyla çilekli pestilin kurutma eğrisi



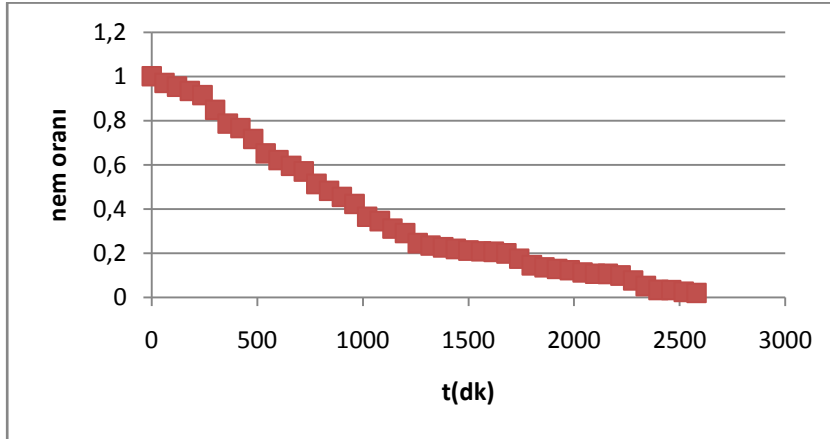
Şekil B.6: 180 W/10 g 5 dk'lık MD ardından kurutma kabini uygulamasıyla çilekli pestilin kurutma eğrisi



Şekil B.7: 180 W/10 g 1 dk'lık MD ardından kurutma kabini uygulamasıyla çilekli pestilin kurutma eğrisi

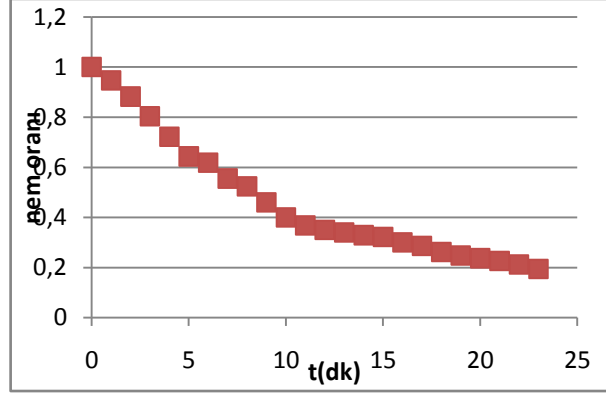


Şekil B.8: 360 W/10 g 1 dk'lık MD ardından kurutma kabini uygulamasıyla çilekli pestilin kurutma eğrisi

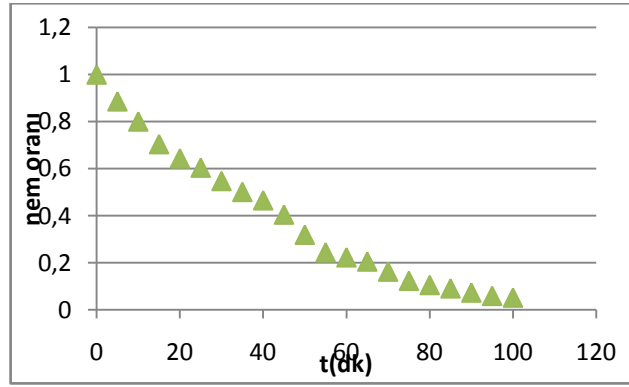


Şekil B. 9: kabin tipi kurutucuda çilekli pestilin kurutma eğrisi

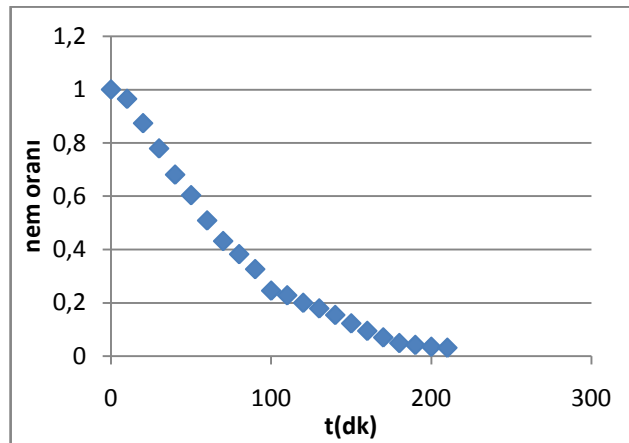
EK- C



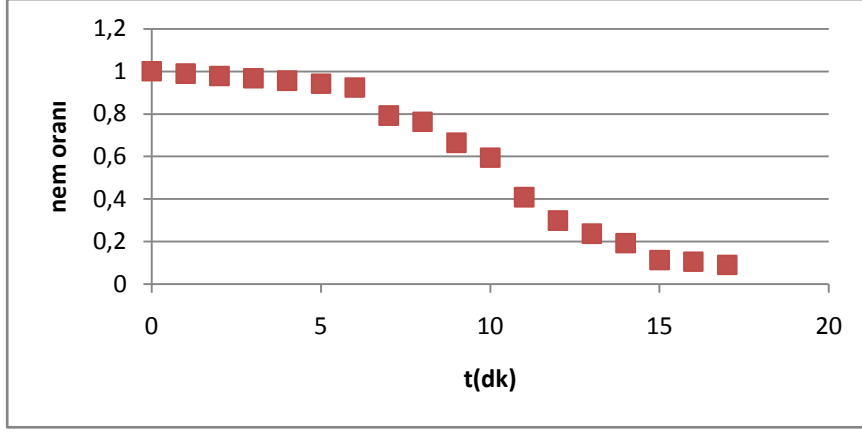
Şekil C. 1: 180W/10g'da 1 dk'lık MD uygulamasında kayısılı pestilin kurutma eğrisi



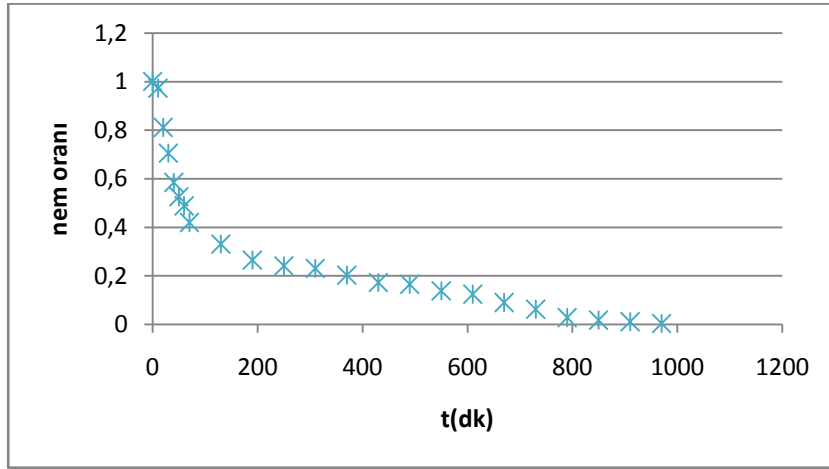
Şekil C. 2: 180 W/10g'da 5dk'lık MD uygulamasında kayısılı pestilin kurutma eğrisi



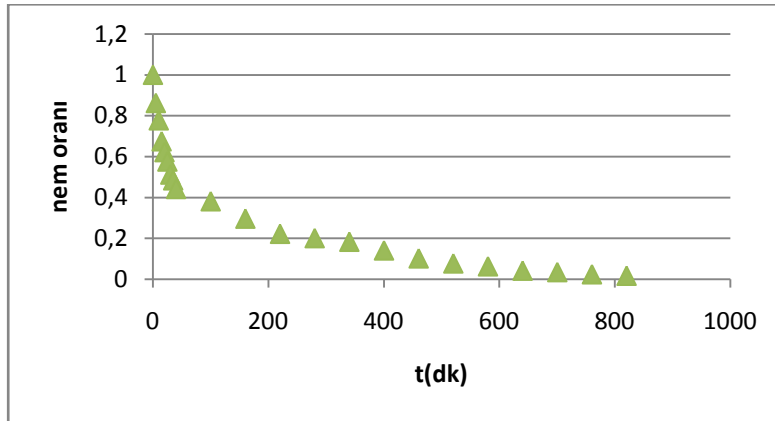
Şekil C. 3: 180W/10g 10 dk'lık MD uygulamasında kayısılı pestilin kurutma eğrisi



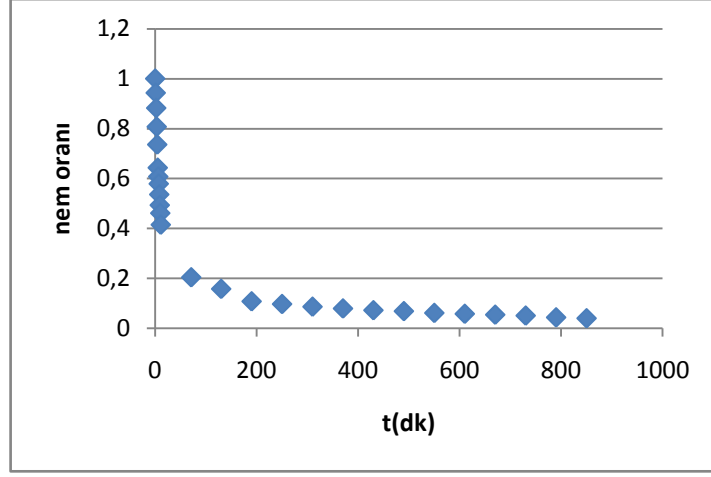
Şekil C.4: 360W/10g 1 dk'lık MD uygulamasında kayısılı pestilin kurutma eğrisi



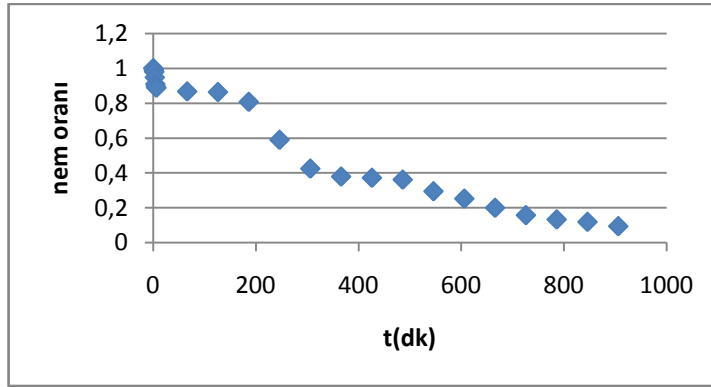
Şekil C.5: 180 W/10 g 10 dk'lık MD ardından kurutma kabini uygulamasıyla kayısılı pestilin kurutma eğrisi



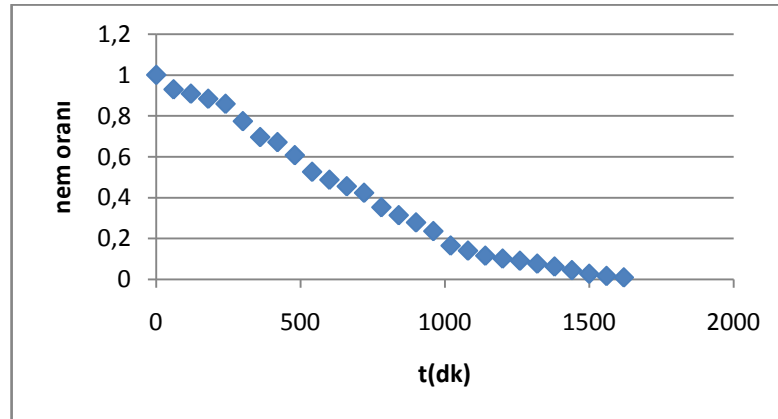
Şekil C.6: 180 W/10 g 5 dk'lık MD ardından kurutma kabini uygulamasıyla kayısılı pestilin kurutma eğrisi



Şekil C.7: 180 W/10 g 1 dk'lık MD ardından kurutma kabini uygulamasıyla kayıslı pestilin kurutma eğrisi

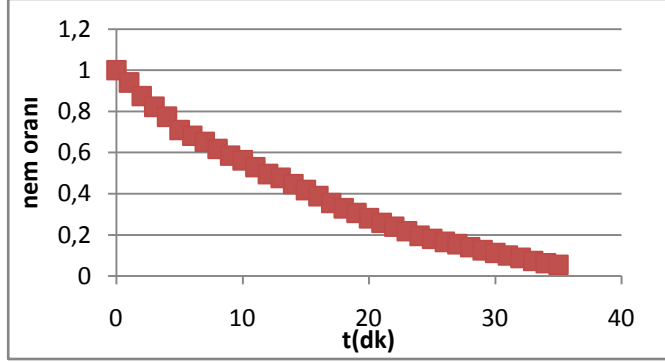


Şekil C.8: 360 W/10 g 1 dk'lık MD ardından kurutma kabini uygulamasıyla kayıslı pestilin kurutma eğrisi

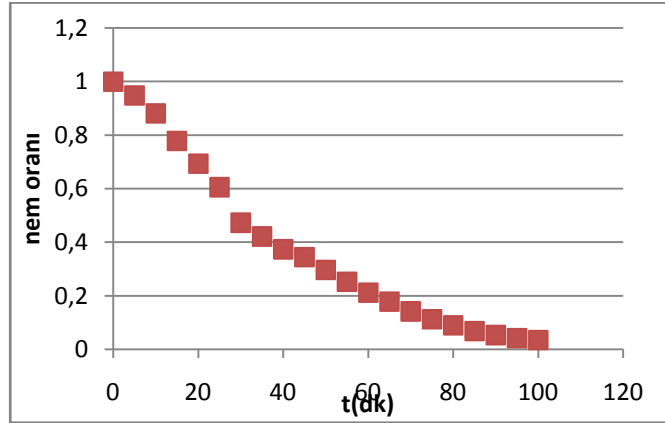


Şekil C. 9: kabin tipi kurutucuda kayıslı pestilin kurutma eğrisi

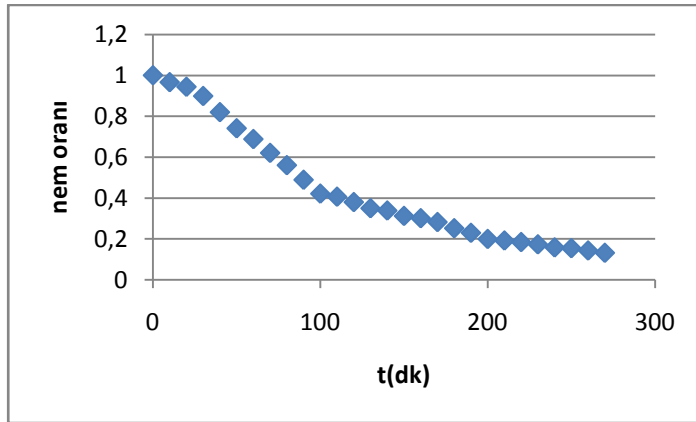
EK- D



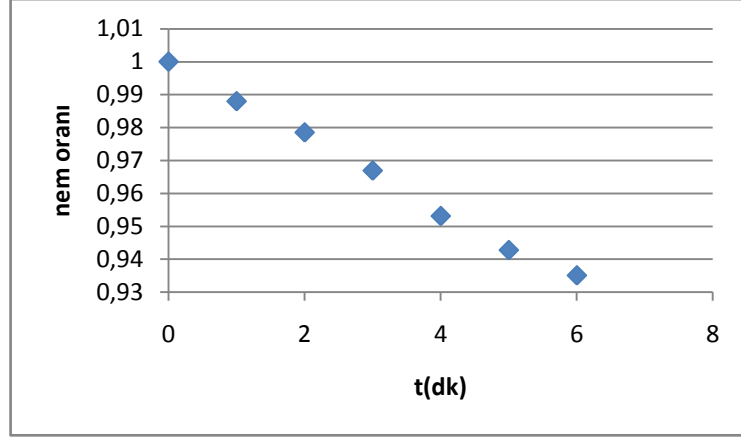
Şekil D. 1: 180W/10g'da 1 dk'lık MD uygulamasında şeftalili pestilin kurutma eğrisi



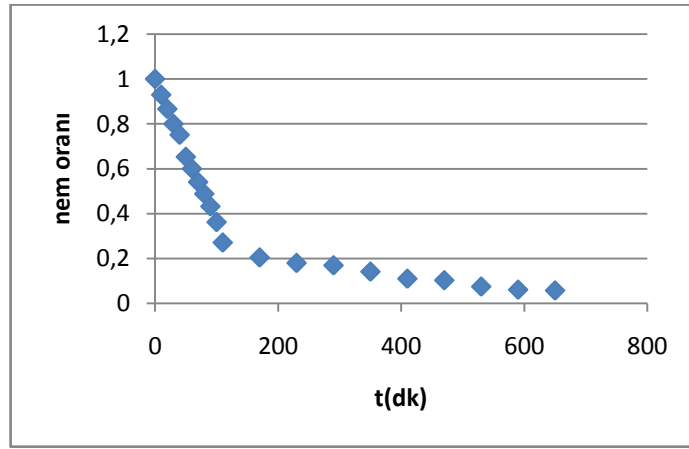
Şekil D. 2: 180 W/10g'da 5dk'lık MD uygulamasında şeftalili pestilin kurutma eğrisi



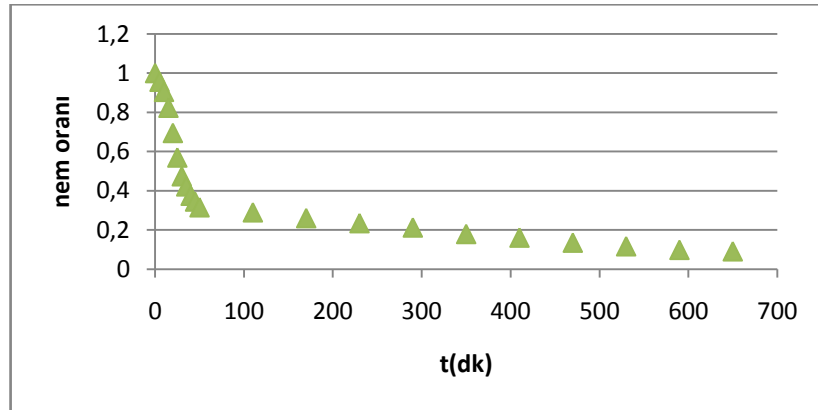
Şekil D. 3: 180W/10g 10 dk'lık MD uygulamasında şeftalili pestilin kurutma eğrisi



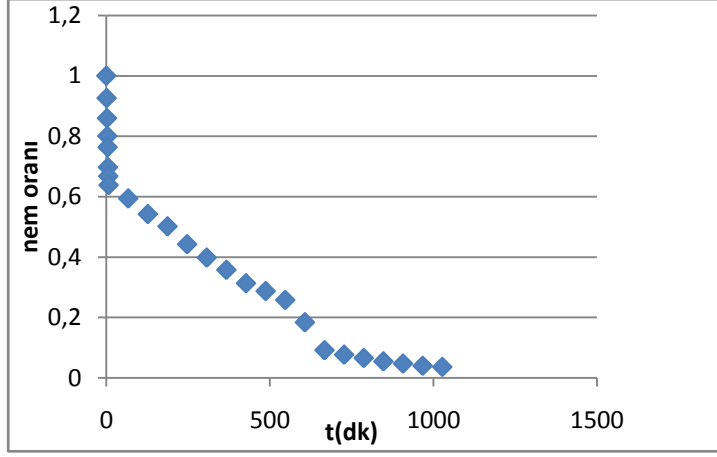
Şekil D.4: 360W/10g 1 dk'lık MD uygulamasında şeftalili pestilin kurutma eğrisi



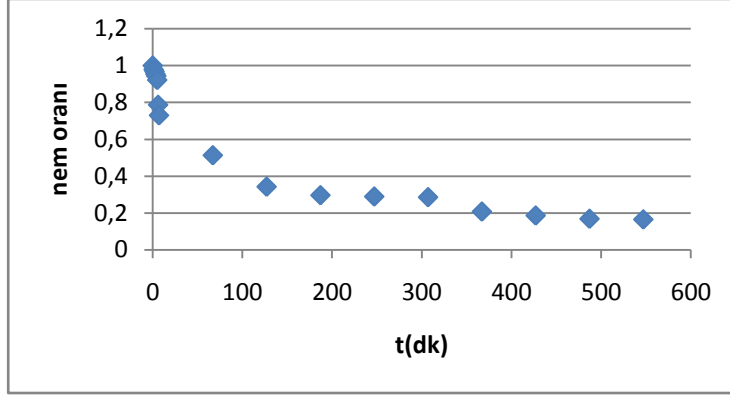
Şekil D.5: 180 W/10 g 10 dk'lık MD ardından kurutma kabini uygulamasıyla şeftalili pestilin kurutma eğrisi



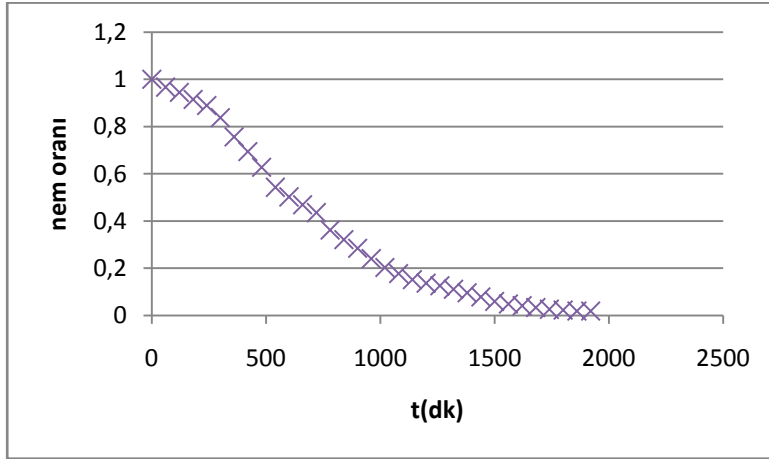
Şekil D.6: 180 W/10 g 5 dk'lık MD ardından kurutma kabini uygulamasıyla şeftalili pestilin kurutma eğrisi



Şekil D.7: 180 W/10 g 1 dk'lık MD ardından kurutma kabini uygulamasıyla şeftalili pestilin kurutma eğrisi

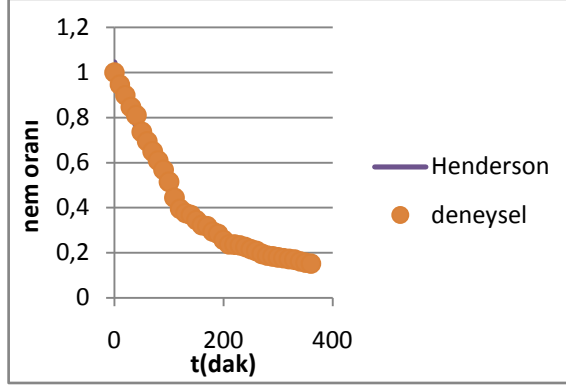


Şekil D.8: 360 W/10 g 1 dk'lık MD ardından kurutma kabini uygulamasıyla şeftalili pestilin kurutma eğrisi

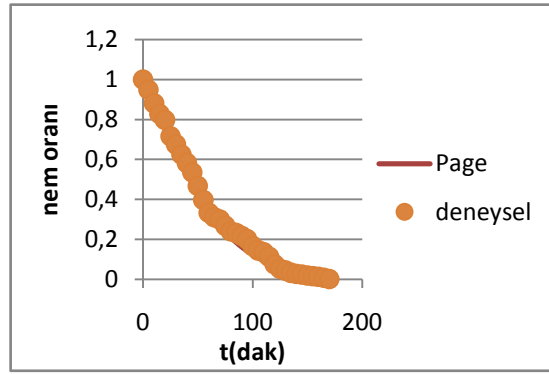


Şekil D.9: Kabin tipi kurutucuda şeftalili pestilin kurutma eğrisi

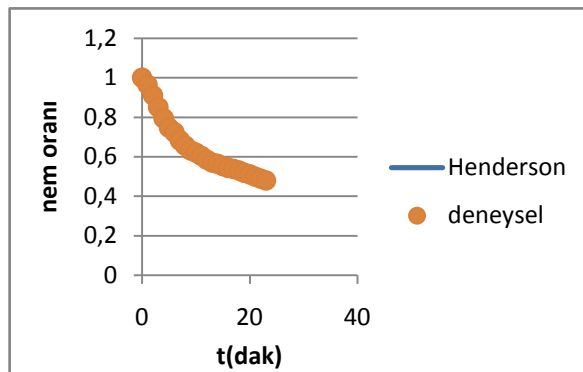
EK- E



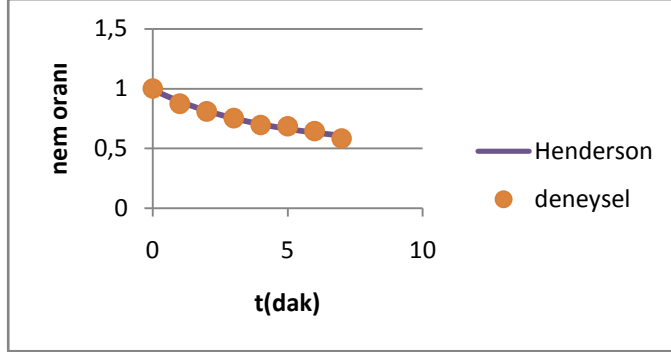
Şekil E. 1: Çilekli pestil için 180W/10g'da 10 dak'lık MD uygulaması deneysel ve model verileri



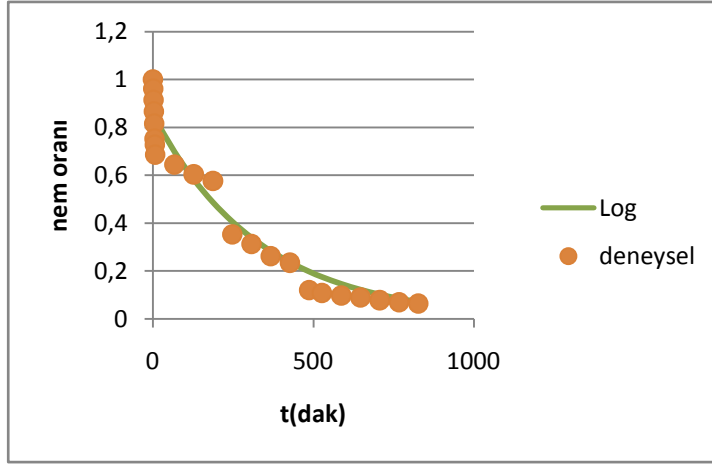
Şekil E. 2: Çilekli pestil için 180W/10 g'da 5 dak'lık MD uygulaması deneysel ve model verileri



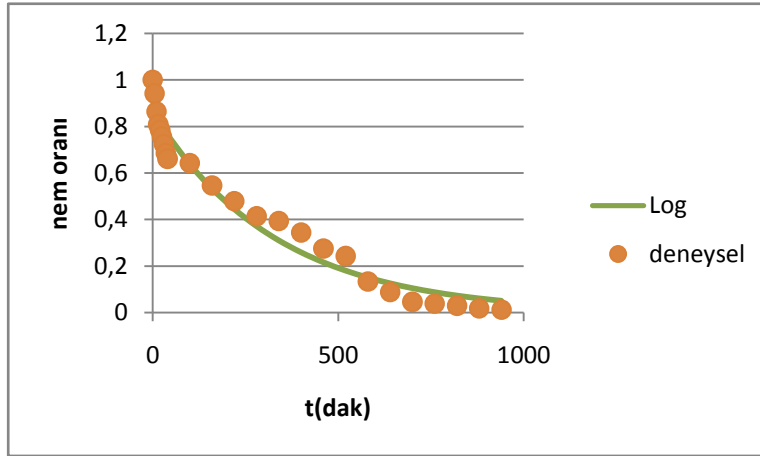
Şekil E. 3: Çilekli pestil için 180W/10 g'da 1 dak'lık MD uygulaması deneysel ve model verileri



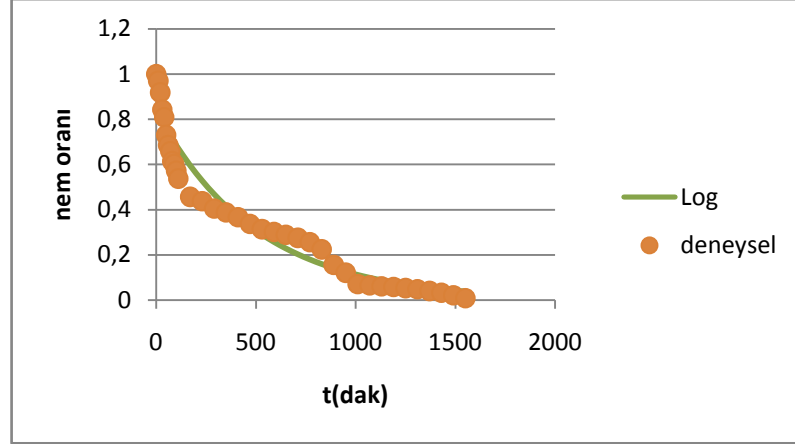
Şekil E.4: Çilekli pestil için 360W/10 g'da 1 dak'lık MD uygulaması deneysel ve model verileri



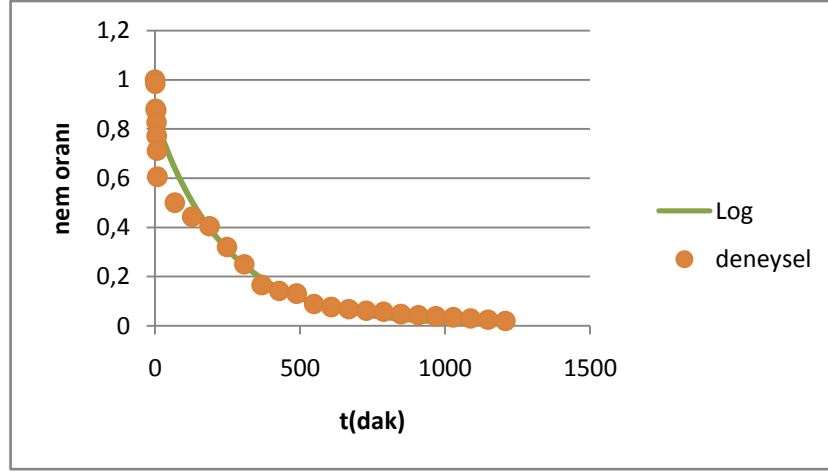
Şekil E. 5: Çilekli pestil için 180W/10 g'da 1 dak'lık MD ve ardından kabin tipi kurutucu uygulaması deneysel ve model verileri



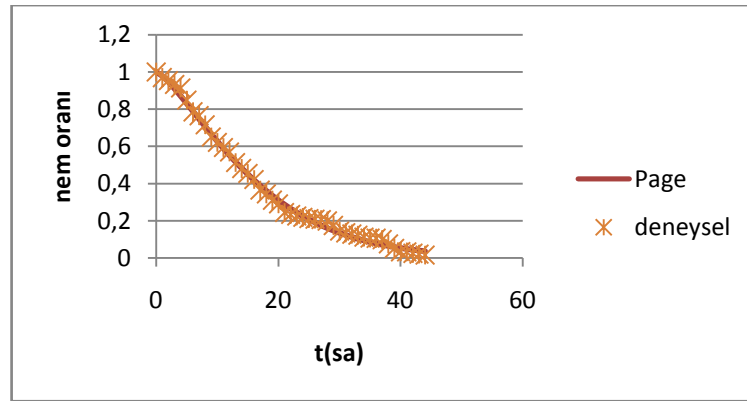
Şekil E. 6: Çilekli pestil için 180W/10 g'da 5 dak'lık MD uygulaması ve ardından kabin tipi kurutucu deneysel ve model verileri



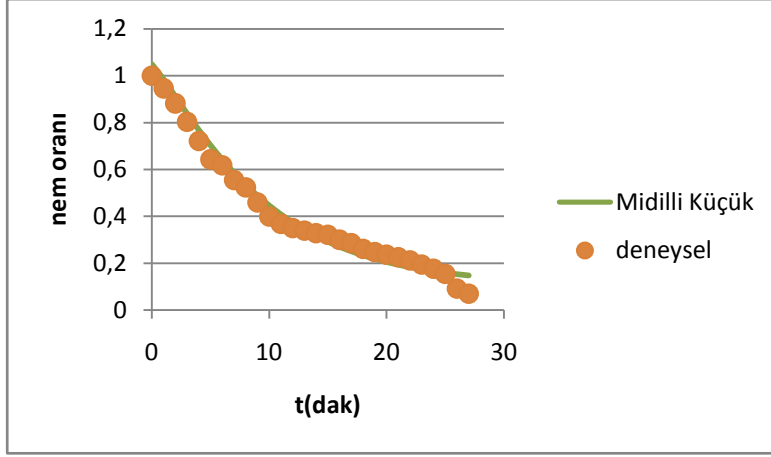
Şekil E. 7: Çilekli pestil için 180W/10 g'da 10 dak'lık MD ardından kabin tipi kurutucu uygulaması deneysel ve model verileri



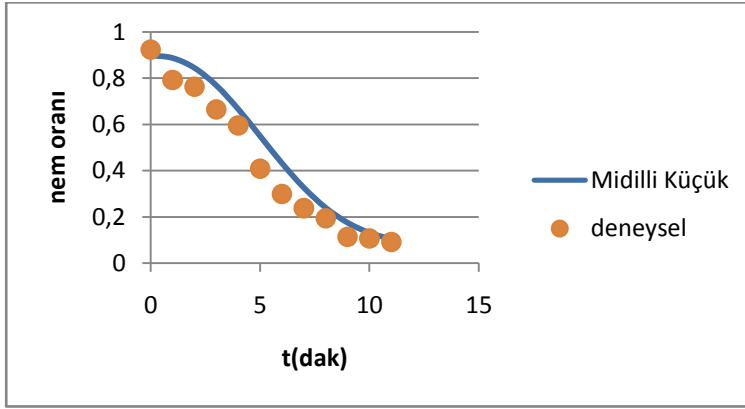
Şekil E. 8: Çilekli pestil için 360W/10 g'da 1 dak'lık MD ardından kabin tipi kurutucu uygulaması deneysel ve model verileri



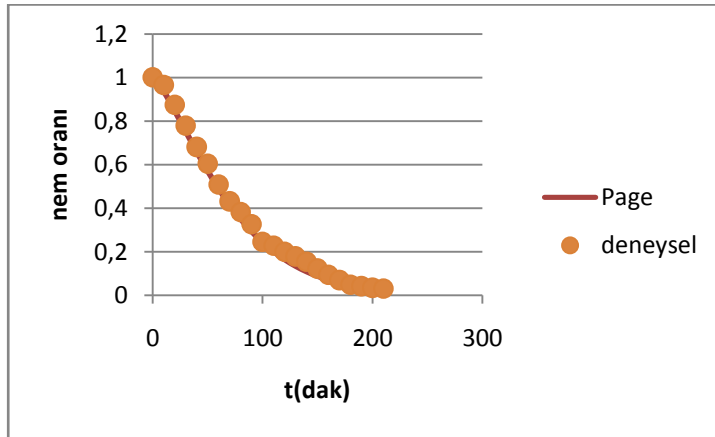
Şekil E. 9: Çilekli pestil için kabin tipi kurutucu uygulaması deneysel ve model verileri



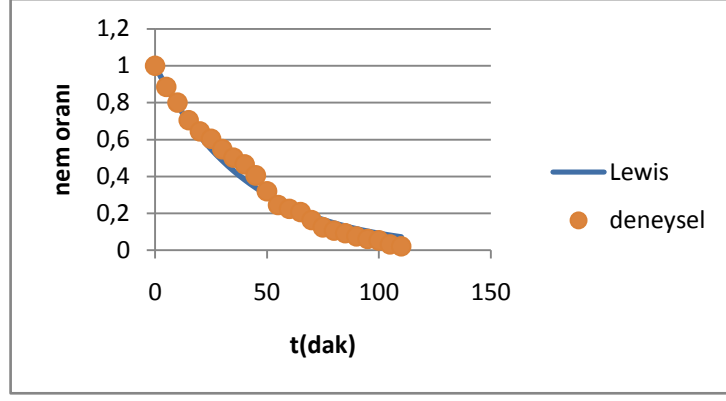
Şekil E.10: Kayıslı pestil için 180 W/10g'da 1dak'lık MD uygulaması deneysel ve model verileri



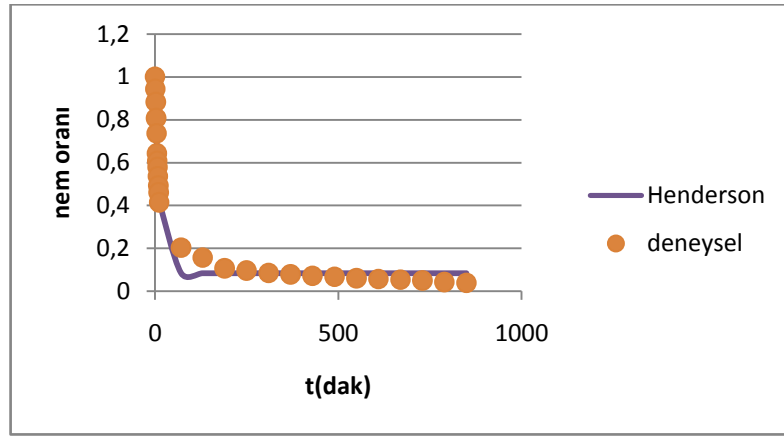
Şekil E.11: Kayıslı pestil için 360 W/10g'da 1dak'lık MD uygulaması deneysel ve model verileri



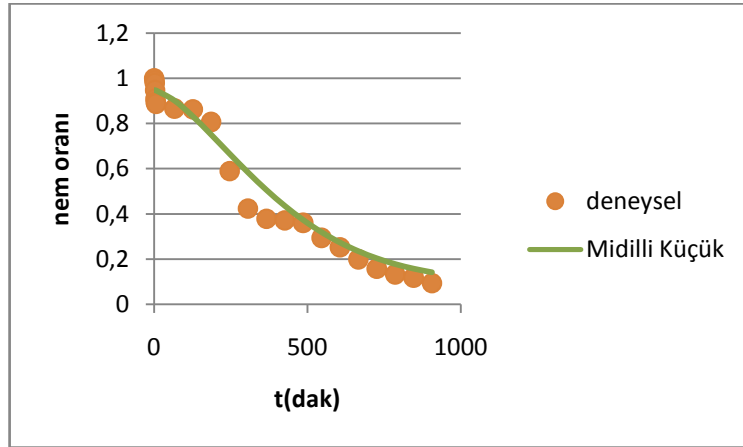
Şekil E.12: Kayıslı pestil için 180 W/10g'da 10dak'lık MD uygulaması deneysel ve model verileri



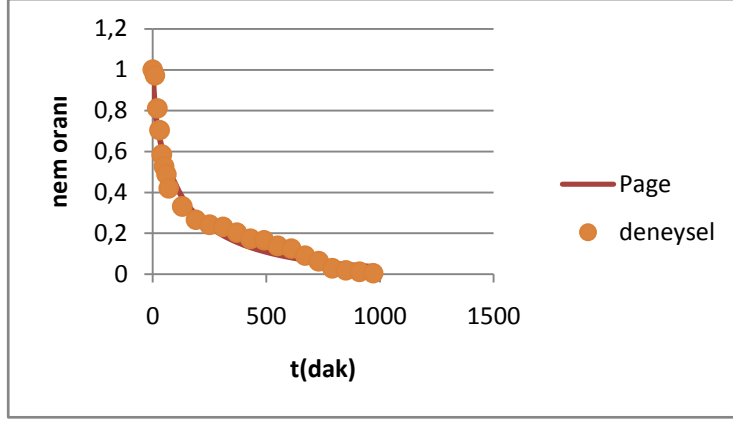
Şekil E.13: Kayıslı pestil için 180 W/10g'da 5dak'lık MD uygulaması deneysel ve model verileri



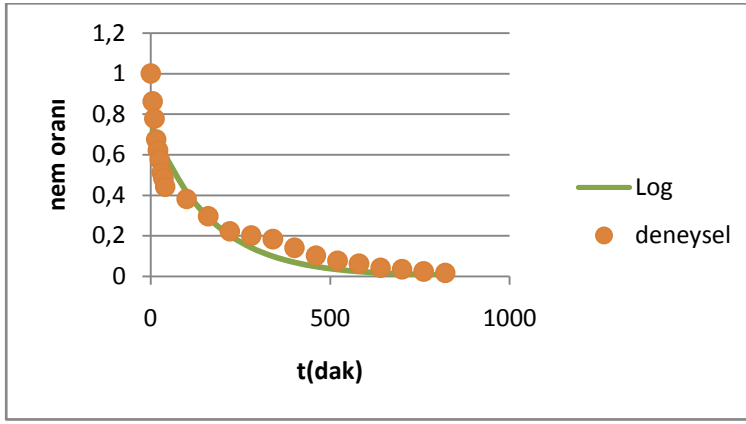
Şekil E.14: Kayıslı pestil için 180 W/10g'da 1dak'lık MD ve ardından kabin tipi kurutucu uygulaması deneysel ve model verileri



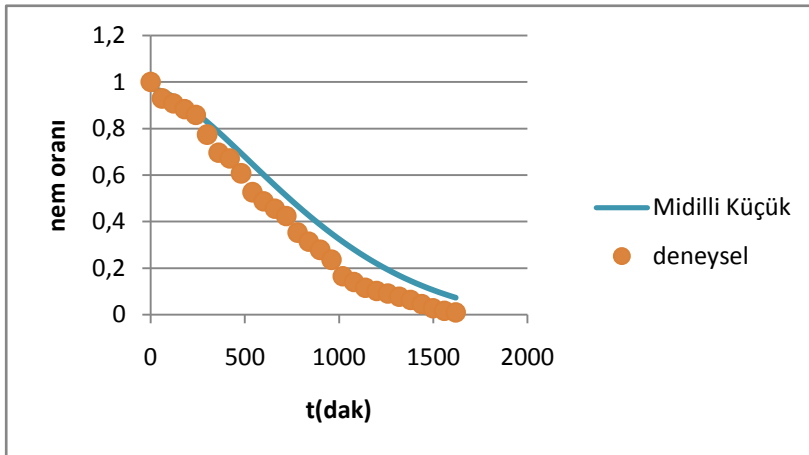
Şekil E.15: Kayıslı pestil için 360 W/10g'da 1dak'lık MD ve ardından kabin tipi kurutucu uygulaması deneysel ve model verileri



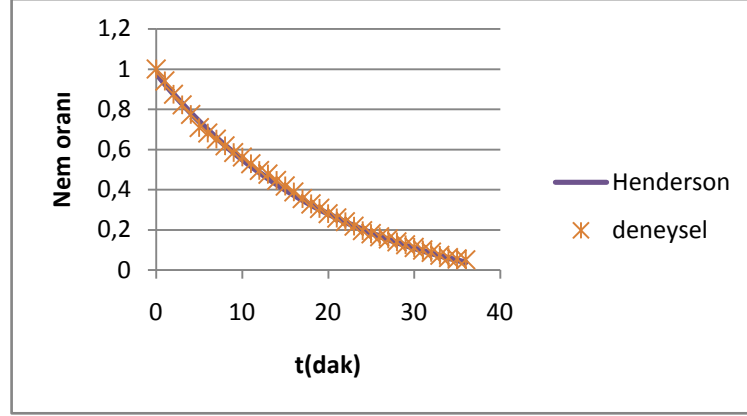
Şekil E.16: Kayıslı pestil için 180W/10g'da 10dak'lık MD ve ardından kabin tipi kurutucu uygulaması deneysel ve model verileri



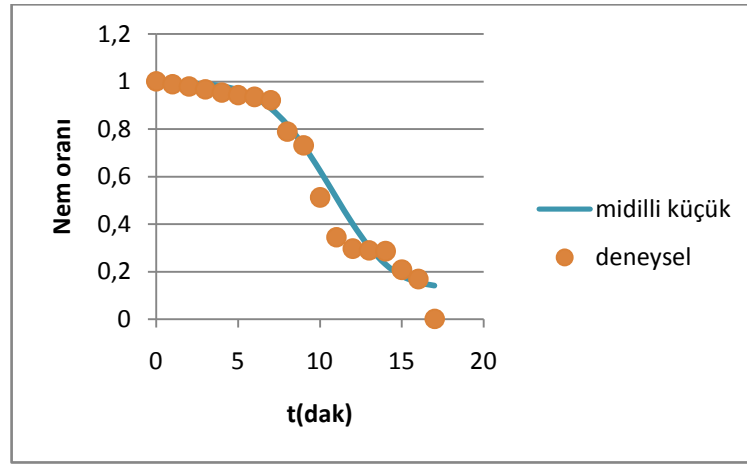
Şekil E.17: Kayıslı pestil için 180 W/10g'da 5dak'lık MD ve ardından kabin tipi kurutucu uygulaması deneysel ve model verileri



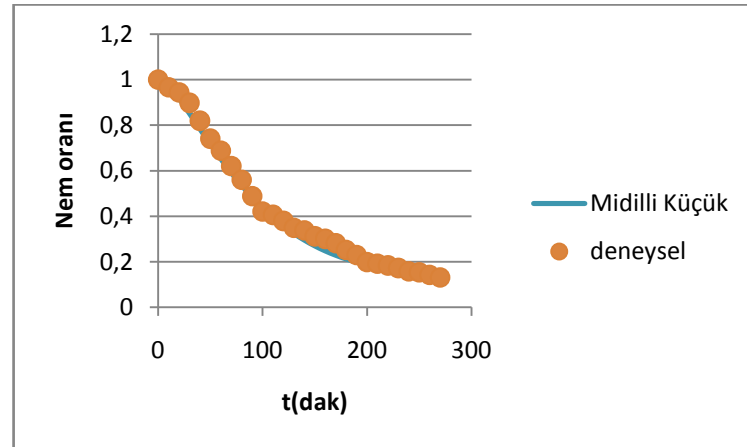
Şekil E.18: Kayıslı pestil için kabin tipi kurutucu uygulaması deneysel ve model verileri



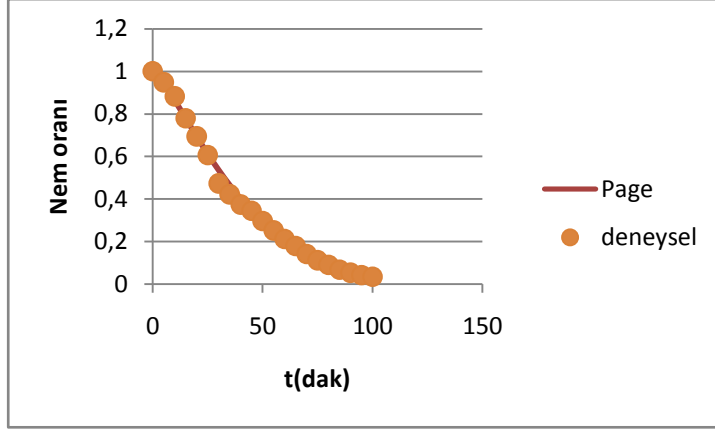
Şekil E.19: Şeftalili pestil için 180 W/10g'da 1dak'lık MD uygulaması deneysel ve model verileri



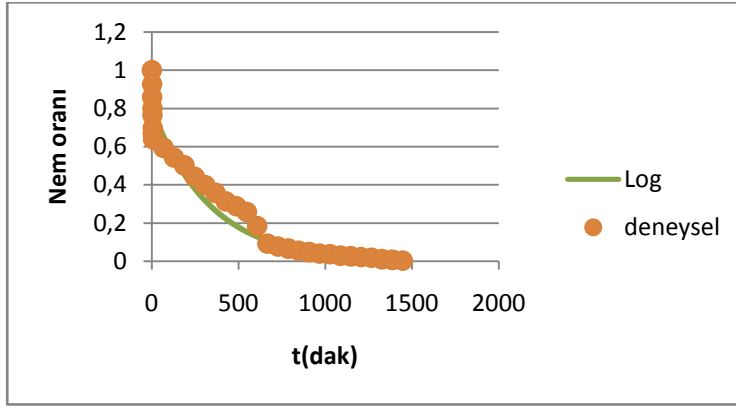
Şekil E.20: Şeftalili pestil için 360 W/10g'da 1dak'lık MD uygulaması deneysel ve model verileri



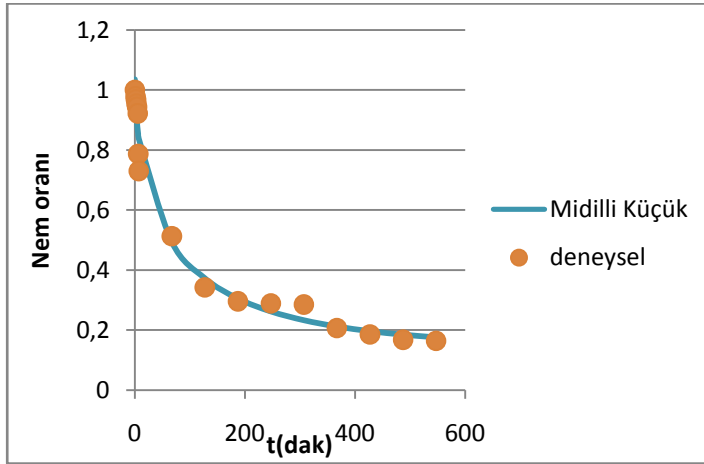
Şekil E.21: Şeftalili pestil için 180 W/10g'da 10dak'lık MD uygulaması deneysel ve model verileri



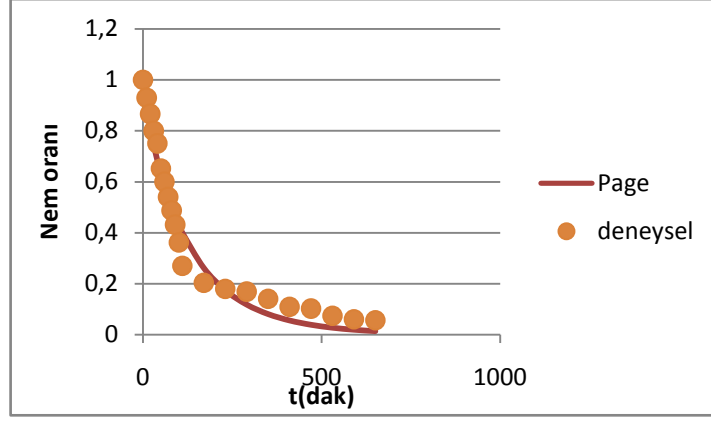
Şekil E.22: Şeftalili pestil için 180 W/10g'da 5dak'lık MD uygulaması deneysel ve model verileri



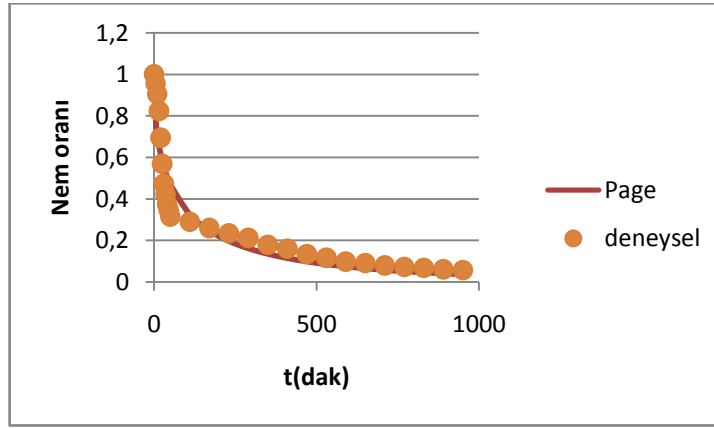
Şekil E.23: Şeftalili pestil için 180W/10g'da 1dak'lık MD ve ardından kabin tipi kurutucu uygulaması deneysel ve model verileri



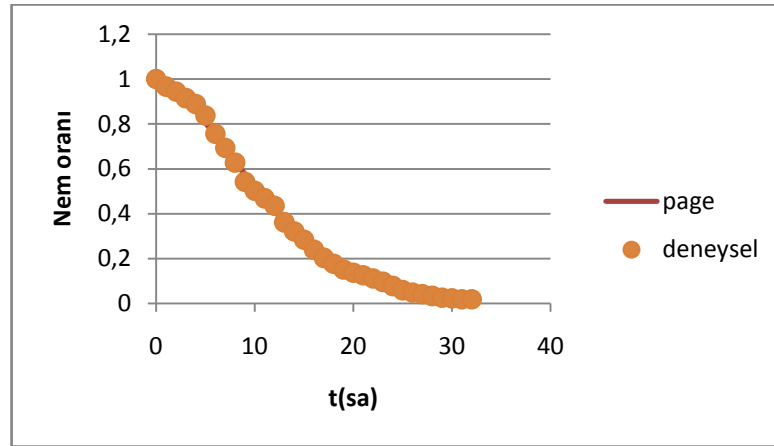
Şekil E.24: Şeftalili pestil için 360W/10g'da 1dak'lık MD ve ardından kabin tipi kurutucu uygulaması deneysel ve model verileri



Şekil E.25: Şeftalili pestil için 180W/10g'da 10dak'lık MD ve ardından kabin tipi kurutucu uygulaması deneysel ve model verileri



Şekil E.26: Şeftalili pestil için 180W/10g'da 5dak'lık MD ve ardından kabin tipi kurutucu uygulaması deneysel ve model verileri



Şekil E.27: Şeftalili pestil için kabin tipi kurutucu uygulaması deneysel ve model verileri

KAYNAKLAR

- [1] **Barbosa-Canovas, G.V. ve Vega-Mercado, H.**, 1996, Dehydration of Foods, Eds. Barbosa- Canovas, G.V.
- [2] **Zhao F, Yin Y, Lu WW.**, 2002, Preparation and histological evaluation of biomimetic three-dimensional hydroxyapatite/chitosan–gelatin network composite scaffolds, *Biomaterials* 23:3227–34.
- [3] **Pinelo, M., Sineiro, J., and Nunez, M.J.**, 2005, Mass transfer during continuous solid–liquid extraction of antioxidants from grape byproducts. *Journal of Food Engineering*, 77, 57–63.
- [4] **Köni M.**, 2007, Fermentasyon Ürünleri Kurutma Proseslerinin Matematiksel Modellenmesi ve Kontrolü, Doktora tezi, Kocaeli Üni., Kocaeli
- [5] **Ramaswamy, H.S. ve Marcott, M.**, 2006, Food Dehydration, in *Food Processing: Principles and Applications*, Eds. Ramaswamy, H.S. ve Marcott, M.
- [6] Anon, http://cygm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/gida/moduller/gidalarda_nemvetoplam_kuru_madde.pdf, 19 Nisan 2011
- [7] **World Health Organization**, 1990, Diet, nutrition, and the prevention of chronic diseases, Report of a WHO Study Group, WHO Technical Report Series, Geneva, 797. (Strumillo and Kudra 1986).
- [8] Anon, w3.balikesir.edu.tr/~ozkan/ads/adsorpsiyon01.pps, 19 Nisan 2011
- [9] <http://www.etyemezlermakina.com.tr/NemSite/Nem/Urunler/RNK-100.aspx>
- [10] **McCabe, W., Smith, J. and Harriott P.**, 2004. *Unit Operations of Chemical Engineering*, McGraw Hill.
- [11] **Hebbar, H.U., Vishwanathan, K.H. ve Ramesh, M.N.**, 2004, Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*, 65, 557-563.
- [12] **Bingöl G.**, 2008, the effects of different pretreatments on drying rate and color kinetics of convective and microwave assisted convective drying of thompson seedless grapes, doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi
- [13] **Yüksel N., Avcı A.**, 2010, Gözenekli Malzemelerin Etken Isıl İletkenlikleri Üzerine Mevcut Çalışmalar, *Gazi Üni Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 25, No:2 331 346

- [14] **Datta, A.K. ve George, J.P.**,2002, Development and validation of heat and mass transfer models for freeze-drying of vegetable slices. JournaTaylor & Francis Group, LLC., Florida of Food Engineering, 52(1), 89-93.
- [15] **Bingöl G.**,2010, Gıda İşlemede Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri, İstanbul Sanayi Odası, Kısaltılmış Doktora Tezi, 2010/4
- [16] **Toptaş M.**, 1993
- [17] **Scaman, C. H., Durance, T. D.**, 2005, Combined microwave vacuum drying. In Emerging technologies for food processing, 507–530
- [18] <http://www1.gantep.edu.tr/~dalgi/gunes.htm>, 15 Nisan 2011
- [19] **Kaensup W., Wongwises S.**, 2004, Combined microwave/fluidised bed drying of fresh peppercorns. Drying Technology, 22, 779–794
- [20] http://www.misindustry.com/pdf/130101_tr.pdf, 12 Nisan 2011
- [21] **Kardum J P., Sander A., Skansi D.**, 2001, Comparison of convective, vacuum, and microwave drying chlorpropamide. Drying Technology, 19, 167–183
- [22] **Sharma G., Prasad S.**, 2004, Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying. Journal of Food Engineering, 65, 609–617
- [23] **Yaldiz, O.; Ertekin, C.**, 2001, Thin layer solar drying of some vegetables. Drying Technology 19, 583–596.
- [24] **Ertekin, C.; Yaldiz, O.**, 2004, Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer-drying model. Journal of Food Engineering 2004, 63, 349–359.
- [25] **Vega-Mercado H; Gongora-Nieto M M; Barbosa-Canovas G V**, 2001, Advances in dehydration of foods. Journal of Food Engineering, 49, 271–289
- [26] **Prabhanjan, D.G.; Ramaswamy, H.S.; Raghavan, G.S.V.**, 1995 Microwaveassisted convective air-drying of thin layer carrots. Journal of Food Engineering, 25, 283–293.
- [27] **Zhang M, Tang J, Mujumdar A S; Wang S**, 2006, Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. Trends in Food Science & Technology, 17, 634–641
- [28] **Basunia, M.A.; Abe, T.**,2001, Thin layer solar drying characteristics of rough rice under natural convection. Journal of Food Engineering, 47, 295–301.

- [29] **Sunjka P. S. , Raghavan G. S. V. ,** 2008, Microwave /vacuum Drying of Cranberries, American Journal of Food Tech 3., 100-108
- [30] **Yaldiz, O. , Ertekin, C., Uzun, H.I.,**2001, Mathematical modeling of thin layer solar drying of Sultana grapes. Energy - An International Journal, 26, 457–465.
- [31] **Togrul H. ,** 2005, Simple modeling of infrared drying of fresh apple slices. Journal of Food Engineering 71, 311–323
- [32] **Souraki A. B. , Mowla D.,** 2008, Experimental and theoretical investigation of drying behaviour of garlic in an inert medium fluidized bed assisted by microwave, Journal of Food Engineering 88, 438–449
- [33] **Arslan D., Özcan M. M.,** 2008, Evaluation of drying methods with respect to drying kinetics, mineral content and colour characteristics of rosemary leaves, Energy Conversion and Management 49, 1258–1264
- [34] **Won K. H., Jonathan C, Kim H. E.,** 2004, Hydroxyapatite and gelatin composite foams processed via novel freeze-drying and crosslinking for use as temporary hard tissue scaffolds. J Biomed Mater Res; 72:136–45
- [35] **Doymaz, I.** 2004, Convective air-drying characteristics of thin layer carrots. Journal of Food Engineering, 61 (3), 359–364.
- [36] **Drouzas, A. E., Tsami, E., & Saravacos, G. D. ,**1999, Microwave/vacuum drying of model fruit gels. Journal of Food Engineering, 39(2), 117–122.
- [37] **Durance TD, Wang JH.,** 2002, Energy consumption, density and rehydration rate of vacuum microwave and hot air convection dehydrated tomatoes. J Food Sci; 67 6,2212.
- [38] **Konak Ü. İ., Certel M., Helhel S.,** 2009, Gıda Sanayisinde Mikrodalga Uygulamaları, Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 4, No: 3, 20-31
- [39] http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi137/d137_5256.pdf, 15 Nisan 2011
- [40] **Togrul, I.T., Pehlivan, D.,** 2003, Modeling of thin layer drying kinetics of single apricot. Journal of Food Engineering, 58, 23–32
- [41] **Afzal, T.M., Abe, T.,** 2000, Simulation of moisture changes in barley during far infrared radiation drying. Computers and Electronics in Agriculture, 26 (2), 137–145.
- [42] <http://www.kimyaevi.org/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFF679A66406202CCB0AFA4D30516C5690F>, 21 Mart 2011
- [43] **Scaman CH, Durance TD,**2005, Combined microwave vacuum drying. Emerging technologies for food processing. London: Elsevier;507–30 Chapter 19

- [44] **Fasina, O., Ajibola, O., Tyler, R.**, 1999, Thermodynamics of moisture sorption in winged bean seed and gari. Journal of Food Process Engineering, 22, 405- 418
- [45] **Erginkaya Z, Aksan E.** 2002, Gıdalarda Isıl İşlem Uygulamasında Mikrodalga Kullanımı, 11/02, 75-79
- [46] <http://www.belgeler.com/blg/21f6/gunes-enerjili-polen-kurutma-isleminin-matematik-modellemesi-ve-termodinamik-analizi-mathematical-modeling-and-thermodynamic-analysis-of-solar-drying-process-of-pollen>, 21 Mart 2011
- [47] **Ganesaphillia M. ve ark,** 2008, An Empirical Model for the Estimation of Moisture Ratio During Microwave Drying of Plaster of Paris, drying Technology, 26, 963-978
- [48] Anon, 18 Mart 2010, <http://www.cpii.com/docs/related/2/Mag%20tech%20art.pdf>

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad	: Ayşe Sinem KARTAL (KANGALOĞLU)
Doğum Yeri ve Tarihi	: İstanbul 29.04.1984
İkamet Adresi	: Yüzyıl Mah. Fetih Cad. 87/2 Sok. No:6 D.5 Bağcılar İSTANBUL
Lise	: Adile Mermerci Anadolu Lisesi (2000-2002)
Lisans	: İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği (2002-2006)
Ön lisans	: Anadolu Üniversitesi Dış Ticaret (2004-2006)
Yüksek Lisans	: İstanbul Teknik Üniversitesi Gıda Mühendisliği (2007- 2011)
Yabancı Dil	: İngilizce (iyi) Almanca (alt orta)
İş Deneyimi	: HT Gıda San. İç ve Dış Tic. Ltd. Şti. Ar Ge Kalite Sorumlusu (Aralık 2006- Haziran 2011) HT GIDA ACL Sandviç Sorumlu Yönetici (2007-2008) Göktürk Baharat (Mayıs-Temmuz 2006) Kalite Kontrol Mühendisi Real Kimyasal Değerler (Şubat-Mayıs 2006) Ar Ge Mühendisi