

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Beyza ÖZTÜRK ERDEM

**HİCAZ NARI (*Punica granatum* L.) TANELERİNİN
KIZILÖTESİ, MİKRODALGA ve KONVEKTİF KURUTMA
YÖNTEMLERİYLE KURUTULMASI**

**TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

ADANA-2018

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HİCAZ NARI (*Punica granatum L.*) TANELERİNİN KIZILÖTESİ,
MİKRODALGA ve KONVEKTİF KURUTMA YÖNTEMLERİYLE
KURUTULMASI**

Beyza ÖZTÜRK ERDEM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TARIM MAKİNALARI ve TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

Bu Tez / /2018 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN
DANIŞMAN

.....
Doç. Dr. Asiye AKYILDIZ
ÜYE

.....
Dr. Öğr. Üyesi Cengiz KARACA
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Tarım Makineleri Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HİCAZ NARI (*Punica granatum L.*) TANELERİNİN KIZILÖTESİ, MİKRODALGA ve KONVEKTİF KURUTMA YÖNTEMLERİYLE KURUTULMASI

Beyza ÖZTÜRK ERDEM

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN
Yıl: 2018, Sayfa: 75
Jüri : Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN
: Doç. Dr. Asiye AKYILDIZ
: Dr. Öğr. Üyesi Cengiz KARACA

Bu çalışmada Hicaz nar taneleri farklı kurutma yöntemleri kullanılarak kurutulmuştur. Kurutma yöntemleri arasında geleneksel kurutma yöntemini temsilen sıcak hava ile kurutma yöntemi seçilmiştir. Yeni gelişen kurutma teknolojileri içerisinde mikrodalga enerji ve kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutma yöntemleri de seçilerek kurutma karakteristikleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında 50 ve 90 °C' de sıcak hava ve kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutma denemeleri gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga enerji ile kurutma denemelerinde ise 180, 360, 540 ve 720 W güç seçenekleri belirlenmiştir. Kurutulan ürünlerin renk parametreleri ölçülmüştür.

Tek tabaka halinde kurutulan ürünlerin kuruma davranışlarını tahmin etmek için 9 farklı matematiksel model kullanılmıştır. Çalışılan modellerin regresyon analiz sonuçları, sıcak hava, mikrodalga ve kızılötesi ışınım enerjisi ile elde edilen verilere Midilli ve Henderson & Pabis modelinin en iyi uygunluk gösterdiğini belirtmiştir.

Kurutma denemelerinde, 50 °C sıcak hava ve kızılötesi ışınımında kurutma işlemleri sırasıyla 6526 ve 3109 dakikada gerçekleşirken, 90 °C sıcaklıkta ise sırasıyla 571 ve 76 dakikada gerçekleşmiştir. Mikrodalga kurutma denemeleri ise en yüksek ve en düşük güç seviyelerinde (720-180 W) sırasıyla 14 ve 56 dakikada gerçekleşmiştir.

Kurutulmuş Hicaz nar tanelerinin ve taze nar tanelerinin renk parametreleri Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi kullanılarak kıyaslanmıştır. 90 °C kızılötesi ışınım enerjisi ve 180 W mikrodalga güç seviyesinde kurutulan nar tanelerinin $L^*a^*b^*$ değerleri taze nar taneleriyle benzerlik göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Hicaz nar taneleri, Sıcak hava, Mikrodalga, Kızılötesi ışınım enerjisi, Kurutma, Matematiksel modelleme.

ABSTRACT

MSc. THESIS

DRYING of HICAZ POMEGRANATE (*Punica granatum L.*) ARILS by INFRARED, MICROWAVE and CONVECTIVE METHODS

Beyza ÖZTÜRK ERDEM

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL MACHINERY and
TECHNOLOGIES ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN
Year: 2018, Pages: 75
Jury : Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN
: Doç. Dr. Asiye AKYILDIZ
: Dr. Cengiz KARACA

In this study, Hicaz pomegranate arils were dried by different drying methods. Among the drying methods, the hot air drying method has been chosen to represent the traditional drying method. Microwave energy and infrared radiation energy were also selected from the newly developed drying technologies and drying characteristics were determined. In the scope of the study, drying experiments were carried out with hot air and infrared radiation energy at 50 and 90 °C. Experiments with microwave energy drying were made with 180, 360, 540 and 720 W power options. The color parameters of the dried products are measured.

9 different mathematical models were used to estimate the drying behavior of thin- layer dried products. Results of regression analysis of the studied models indicated that Midilli and Henderson & Pabis models exhibit the best fit to data obtained for hot air, microwave and infrared radiation drying.

In the drying experiments, drying at 50 °C hot air and infrared radiation was carried out in 6526 and 3109 minutes, respectively, whereas drying at 90 °C was carried out in 571 and 76 minutes, respectively. Microwave drying experiments were carried out at the highest and lowest power levels (720-180 W) in 14 and 56 minutes, respectively.

Color parameter values of dried and fresh Hicaz pomegranate arils were compared using the Duncan Multiple Comparison Test. $L^*a^*b^*$ values of dried pomegranate arils at 90 °C infrared power and 180 W microwave output power were similar to fresh ones.

Keywords: Hicaz pomegranate arils, Hot air, Microwave, Infrared radiation energy, Drying, Mathematical modeling.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Nar bilinen en eski meyve türlerinden birisidir. Bulunan ilk meyve fosilleri birkaç milyon yıl öncesine aittir. M.Ö. 5.000 yıl öncesinden itibaren yazılı kaynaklarda, taş, oyma ve kabartmalarda nar motiflerine rastlanmaktadır (Bayram, 2007). Narın anavatanı çeşitli kaynaklarda; Güney Batı Asya, Güney Asya, İran, Yakındoğu, Orta Doğu, Güney Kafkasya, Afganistan ve Anadolu gibi farklı bölgeler olarak gösterilmiştir.

Dünyada yaklaşık 2 milyon ton nar üretilmektedir. En fazla nar tüketen ülkelerin genel olarak önemli üretici ülkeler olduğu görülmektedir. Öte yandan Türkiye’ de nar üretimi yıldan yıla önemli oranda artmakta olup 2010-2017 yılları arasında yaklaşık iki buçuk kat kadar bir artış göstermiştir . 2010 yılı verilerine göre 12.110 ağaçtan toplam 208.502 ton verim alınırken, 2017 yılı istatistiklerine göre 16.783 ağaçtan toplam 502.606 ton verim alınmıştır.

Bu çalışma kapsamında Türkiye’ de yaygın olarak üretilen nar meyvesi taneleri katma değeri yüksek ürün elde etmek amacıyla farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuştur. Hicaz nar çeşidinden elde edilen nar taneleri kızılötesi, konvektif ve mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutularak kurutma parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen denemelere ait veriler 9 farklı matematiksel model kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bu sayede nar tanelerinin tek tabaka halinde kurutulmasında en iyi uyumu gösteren kurutma modeli belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında, 2014 yılında Tarsus’ ta yetiştirilen ve hasat edilen Hicaz nar çeşidi nar kullanılmıştır. Hicaz nar çeşidi, geççi mayhoş narlar arasında en küçük meyvelere sahip olan çeşittir. Verimlilik açısından en yüksek değerlere sahiptir. Meyve kütlesi ortalama 350 g, meyve eni ortalama 91 mm’ dir. Meyve kabuk rengi sarı zemin üzerine % 95 kırmızıdır. Daneler koyu kırmızı renkte ve 100 danesinin ortalama kütlesi 26,1 g’ dır. Çekirdekleri serttir. Suda çözünebilir kuru madde içeriği diğer çeşitlere göre oldukça yüksektir.

Hicaz nar çeşidinden elde edilen nar taneleri ince tabaka halinde bölümümüzde bulunan etüvde kurutulmuştur. Denemelerin kızılötesi ışınlam, sıcak hava ve mikrodalga yöntemi ile yapılması planlanmıştır. Kızılötesi ve sıcak hava ile kurutma yönteminde kurutma sıcaklıkları 50 ve 90 °C seçilmiştir. Mikrodalga ile kurutma yönteminde ise, 180, 360, 540 ve 720 W olmak üzere 4 farklı güç düzeyinde çalışılmıştır. Denemeler esnasında kurutma parametrelerinden ürün giriş nemi, ürün çıkış nemi, kuruma süresi ve kuru ve yaş ürünlerin renk skalasına bağlı olarak $L^*a^*b^*$ değerleri saptanmıştır. Kurutma verileri tek tabaka kurutma modelleri ile kıyaslanarak belirleyicilik katsayıları ve tahmini hata oranlarına bakılarak en uygun matematiksel model belirlenmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde sıcak hava ile yapılan kurutma denemelerinde, taze nar tanelerinin 50 ve 90 °C' de sırasıyla 6526 ve 571 dakika sürede kurdukları belirlenmiştir. Kızılötesi ışınlama ile kurutulan ürünlerin 79-3109 dakika arasında değişen sürelerde kurdukları belirlenmiş olup kuruma sürelerinin sıcak hava ile kurutma yöntemine göre daha kısa olduğu gözlemlenmiştir.

Mikrodalga kurutma denemelerinde ise taze nar tanelerinin 14-56 dakika arasında değişen sürelerde kurdukları belirlenmiştir. 90 °C kızılötesi ışınlam ve 180 W mikrodalga enerji ile kurutma yöntemlerinde elde edilen ürünlerin $L^*a^*b^*$ değerleri taze nar tanelerinin $L^*a^*b^*$ değerleri ile benzerlik göstermiştir.

Tek tabaka halinde kurutulan ürünlerin kuruma davranışlarını tahmin etmek için kullanılan matematiksel modellerin içerisinde Midilli ve Henderson & Pabis modelleri en uygun modeller olmuştur.

50 °C' de kızılötesi ışınlam enerjisi ile yapılan kurutma denemelerinde Henderson & Pabis modeli en iyi uygunluğu sağlarken, 50 °C sıcak hava ve 90 °C sıcak hava ve kızılötesi ışınlam enerjisi ile kurutma yöntemlerinde Midilli modeli en uygun model olmuştur. Henderson & Pabis modeli için R^2 değeri 0.98' den büyük, Midilli modeli için R^2 değeri 0,9918-0,9989 değerleri arasındadır. Mikrodalga enerjisi ile kurutma işleminde de Midilli modeli en iyi tahmini vermiştir. Midilli modelinin R^2 değerleri 0,9769-0,9998 değerleri arasındadır.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, çalışma imkânı sağlayan ve çalışmamın her aşamasında bana destek olan danışman hocam sayın Prof. Dr. Serdar ÖZTEKİN' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezime yaptıkları katkılardan dolayı değerli hocalarım sayın Doç. Dr. Asiye AKYILDIZ ve Doktor Öğretim Üyesi Cengiz KARACA' ya teşekkür ederim.

Bilgi deneyimleriyle bana her zaman yardım eden sevgili hocam ve aynı zamanda sevgili eşim Dr. Tunahan ERDEM' e teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca yardımlarını esirgemeyen sevgili hocam Dr. Elçin YEŞİLOĞLU CEVHER' e şükranlarımı sunarım.

Her zaman yanımda olup beni cesaretlendiren, bana inanan ve güvenen babam Abdullah ÖZTÜRK, annem Fatma ÖZTÜRK ve kardeşim Elanur ÖZTÜRK' e çok teşekkür ederim.

Tez dönemim boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Adana' daki ailem sevgili Nazım AYDÖNER ve Handan AYDÖNER' e en derin şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ.....	I
ABSTRACT	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Nar Üretimi	1
1.2. Nardan Elde Edilen Katma Değerli Ürünler ve Mekanizasyon Olanakları ..	5
1.3. Kurutma Kavramı, Temel Değişkenler ve Yöntemler	8
1.3.1. Kurutma	8
1.3.2. Temel Kurutma Değişkenleri.....	9
1.3.3. Kurutma Yöntemleri	12
1.3.3.1. Konvektif Kurutma	13
1.3.3.2. Dielektrik Kurutma	15
1.3.3.3. Kızılötesi Işınım Enerjisi ile Kurutma	17
1.4. Çalışmanın Amacı.....	18
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	19
2.1. Nar ve Nar Tanelerinin Ayıklanması ile İlgili Çalışmalar	19
2.2. Nar Tanelerinin Kurutulması ile İlgili Çalışmalar	20
3. MATERYAL VE METOD	29
3.1. Materyal	29
3.1.1. Kullanılan Alet ve Ekipmanlar	30
3.2. Metod.....	33
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37

4.1. Sıcak Hava ve Kızılötesi Işınım Enerjisi ile Kurutma	37
4.2. Mikrodalga Enerjisi ile Kurutma	41
4.3. Renk Parametrelerinin Değerlendirilmesi.....	45
4.4. Matematiksel Modelleme ve İstatistiksel Analiz Sonuçları.....	52
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	75



ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. 2008 Yılı Verilerine Göre Dünyada Nar Üretimi ve İhracaatı	2
Çizelge 1.2. Türkiye’de 2010-2017 Yılları Arasında Nar Üretim Miktarı	3
Çizelge 1.3. Türkiye’de 2010-2017 Yılı Nar Üretiminde Önemli İller.....	3
Çizelge 1.4. Kurutucuların Sınıflandırılması.....	15
Çizelge 3.1. Nar tanelerinin kuruma eğrilerine uygulanan matematiksel modeller.....	35
Çizelge 4.1. Sıcak hava ile kurutmaya ilişkin sonuçlar	37
Çizelge 4.2. Kızılötesi ışınlam enerjisi ile kurutmaya ilişkin sonuçlar	38
Çizelge 4.3. Mikrodalga enerjisi ile kurutmaya ilişkin sonuçlar	42
Çizelge 4.4. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan nar tanelerinin $L*a*b*$ değerleri.....	46
Çizelge 4.5. $L*a*b*$ değerlerine ait istatistiksel analiz sonuçları.....	47
Çizelge 4.6. Matematiksel modellemelere ait istatistiksel analiz sonuçları	54
Çizelge 4.7. Mikrodalga enerji ile kurutma denemelerine ait matematiksel modellemelerin istatistiksel analiz sonuçları	56
Çizelge 4.8. Sıcak hava ile kurutma denemelerine ait model katsayıları	57
Çizelge 4.9. Kızılötesi ışınlam enerjisi ile kurutma denemelerine ait model katsayıları	57
Çizelge 4.10. Mikrodalga kurutma denemelerine ait model katsayıları.....	58



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1.	Nar tüketim yöntemleri	6
Şekil 1.2.	Ayrılmış nar taneleri ve kabukları	7
Şekil 1.3.	Nar taneleme makinası.....	7
Şekil 1.4.	Parmaklı batörlü silindirik ayırma eleği.....	8
Şekil 1.5.	Bazı önemli kurutma değişkenleri	11
Şekil 1.6.	Elektromanyetik spektrum	16
Şekil 3.1.	Hicaznar çeşidine ait nar meyvesi ve taneleri	29
Şekil 3.2.	Vakumlu etüv.....	30
Şekil 3.3.	Mikrodalga fırın.....	31
Şekil 3.4.	Hassas terazi.....	31
Şekil 3.5.	Nem ölçer cihazı	32
Şekil 3.6.	Renk ölçüm cihazı.....	33
Şekil 3.7.	L*a*b* renk uzayının şematik görünümü.....	36
Şekil 4.1.	50 °C' de sıcak hava ve kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutulan örneklerle ait nem oranı değerleri	38
Şekil 4.2.	50 °C' de sıcak hava ve kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutulan örneklerle ait ürün nem değerleri	39
Şekil 4.3.	90 °C' de sıcak hava ve kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutulan örneklerle ait nem oranı değerleri	40
Şekil 4.4.	90 °C' de sıcak hava ve kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutulan örneklerle ait ürün nem değerleri	41
Şekil 4.5.	Mikrodalga enerjisi ile kurutulan örneklerle ait nem oranı değerleri	43
Şekil 4.6.	Mikrodalga enerjisi ile kurutulan örneklerle ait ürün nem değerleri	44
Şekil 4.7.	Sıcak hava ve kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutulan denemelerine ait örneklerin ortalama L* değerleri	48

Şekil 4.8.	Mikrodalga enerji ile kurutma denemelerine ait örneklerin ortalama L^* değerleri.....	48
Şekil 4.9.	Sıcak hava ve kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutma yöntemlerine ait örneklerin ortalama a^* değerleri	49
Şekil 4.10.	Mikrodalga enerji ile kurutma denemelerine ait örneklerin ortalama a^* değerleri.....	50
Şekil 4.11.	Sıcak hava ve kızılötesi kurutma yöntemlerine ait örneklerin ortalama b^* değerleri	51
Şekil 4.12.	Mikrodalga enerji ile kurutma denemelerine ait örneklerin ortalama b^* değerleri	51
Şekil 4.13.	50 °C sıcak hava ile kurutma denemelerine ait deneysel ve tahmini değerlerin karşılaştırılması.....	59
Şekil 4.14.	50 °C kızılötesi enerji ile kurutma denemelerine ait deneysel ve tahmini değerlerin karşılaştırılması.....	59
Şekil 4.15.	90 °C sıcak hava ile kurutma denemelerine ait deneysel ve tahmini değerlerin karşılaştırılması.....	60
Şekil 4.16.	90 °C kızılötesi enerji ile kurutma denemelerine ait deneysel ve tahmini değerlerin karşılaştırılması.....	60
Şekil 4.17.	180 W güç seviyesi ile mikrodalga kurutma denemelerine ait deneysel ve tahmini değerlerin karşılaştırılması.....	61
Şekil 4.18.	360 W güç seviyesi ile mikrodalga kurutma denemelerine ait deneysel ve tahmini değerlerin karşılaştırılması.....	61
Şekil 4.19.	540 W güç seviyesi ile mikrodalga kurutma denemelerine ait deneysel ve tahmini değerlerin karşılaştırılması.....	62
Şekil 4.20.	720 W güç seviyesi ile mikrodalga kurutma denemelerine ait deneysel ve tahmini değerlerin karşılaştırılması.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a, b, c, k, n	: Modellerdeki katsayılar (birimsiz)
NO	: Nem oranı (birimsiz)
MC	: Nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)
M_t	: Herhangi bir t anındaki su miktarı (kg su/ kg kuru madde)
M_0	: Başlangıçtaki nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)
M_e	: Denge anındaki nem içeriği (kg su/ kg kuru madde)
y.b	: Yaş baza göre nem içeriği, (%)
k.b.	: Kuru baza göre nem içeriği, (%)
M_{km}	: Üründeki kuru madde miktarı (kg)
a*	: Rengin kırmızılığı (+) ya da yeşilliği (-), boyutsuz
b*	: Rengin sarılığı (+) ya da maviliği (-), boyutsuz
L*	: Parlaklık, boyutsuz
SHK	: Sıcak hava ile kurutma
KIK	: Kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutma
R^2	: Regresyon katsayısı
Adj R^2	: Düzeltilmiş regresyon katsayısı
SEE	: Tahmini hata oranı



1. GİRİŞ

1.1. Nar Üretimi

Nar bilinen en eski meyve türlerinden birisidir. Bulunan ilk meyve fosilleri birkaç milyon yıl öncesine aittir. M.Ö. 5.000 yıl öncesinden itibaren yazılı kaynaklarda, taş, oyma ve kabartmalarda nar motiflerine rastlanmaktadır (Bayram, 2007).

Nar, *Lythraceae* familyasından içinde küçük çekirdekler ve meyve gövdesini oluşturan yüzlerce tanecikten oluşmuş, ılıman iklimlerde yetişen, çok yıllık çalı formunda bir bitki olup çok kuvvetli bir kök sistemine sahiptir. Kırmızı renkli çiçekler açan, iki ile beş metre boylarında, çiçekleri kısmen sapsız, tek tek ve birkaçı bir arada bulunan bir ağacı vardır. Meyveleri çok tohumlu ve etlidir. Meyvenin yenilen kısmı tohumlarının etli ve bol öz sulu olan kabuğudur. Tatlı, mayhoş ve ekşi olmak üzere farklı tatlarda çeşitleri vardır. Nar C vitamini, demir ve potasyum yönünden zengin bir meyvedir (Çeltikçi, 2008).

Narın anavatanı çeşitli kaynaklarda; Güney Batı Asya, Güney Asya, İran, Yakınoğu, Orta Doğu, Güney Kafkasya, Afganistan ve Anadolu gibi farklı bölgeler olarak gösterilmiştir. Ancak bu ülkeler birbirinden çok uzak yerler değildir ve Asya kıtasının belirli bir kısmını kapsamaktadır. Genel olarak Suriye, İran, Irak, Afganistan ve Anadolu'da yabani nar ormanları bulunmaktadır (Yılmaz ve Özgüven, 2003).

Narın içerisinde bulunan çeşitli besin maddeleri üretim ve tüketimin artmasında büyük rol oynamaktadır. Ayrıca çeşitli iklim ve toprak koşullarında yetişebilmesi, çoğaltımı ve bakımının kolay, birim alandan yüksek verim alınması, her yıl düzenli meyve vermesi, iç ve dış pazarda iyi fiyat bulması, uzun süre ağaçta kalabilen, taşıma ve depolamaya çok uygun bir meyve olması nedeniyle nar üretimi artmaktadır (Uysal, 2011).

Dünyada yaklaşık 2 milyon ton nar üretilmektedir. En fazla nar tüketen ülkelerin genel olarak önemli üretici ülkeler olduğu görülmektedir. Üretimin en

fazla yapıldığı ülkeler; Hindistan, İran, Türkiye, Irak, ABD, Azerbaycan ve İspanya'dır (Çizelge 1.1). Fakat üretimin fazla olmasına rağmen bu ülkelerde ihracat miktarları oldukça düşüktür.

Çizelge 1.1. 2008 Yılı Verilerine Göre Dünyada Nar Üretimi ve İhracatı (Uysal, 2011)

ÜLKELER	ÜRETİM (ton)	İHRACAT (ton)
Hindistan	1.140.000	35.000
İran	705.000	60.000
Türkiye	127.760	12.000
ABD	110.000	17.000
Irak	80.000	-
İspanya	40.000	15.000
Tunus	25.000	-
Afganistan	24.000	-
İsrail	17.000	4.000
Azerbaycan	65.000	-
Mısır	43.000	-
Özbekistan	35.000	-
TOPLAM	2.411.760	-

Türkiye' de nar üretimi yıldan yıla önemli oranda artmakta olup 2010-2017 yılları arasında yaklaşık iki buçuk kat kadar bir artış göstermiştir (Çizelge 1.2). 2010 yılı verilerine göre 12.110 ağaçtan toplam 208.502 ton verim alınırken, 2017 yılı istatistiklerine göre 16.783 ağaçtan toplam 502.606 ton verim alınmıştır (TÜİK, 2018).

Çizelge 1.2. Türkiye’de 2010-2017 Yılları Arasında Nar Üretim Miktarı (TÜİK, 2018)

Yıl	Üretim(ton)	Meyve veren ağaç sayısı (bin)	Meyve vermeyen ağaç sayısı (bin)	Verim (kg/meyve veren ağaç)
2010	208.502	6.431	5.679	32
2011	217.572	7.881	6.432	28
2012	315.150	10.011	5.789	31
2013	383.085	11.086	5.089	35
2014	397.335	11.755	6.033	34
2015	445.750	13.310	4.072	33
2016	465.200	13.858	3.481	34
2017	502.606	13.661	3.122	37

Nar üretiminin illere göre üretim miktarı incelendiğinde, Antalya 2017 yılı itibarıyla 113.040 tonluk üretimle birinci sırada yer almaktadır (Çizelge 1.3).

Çizelge 1.3. Türkiye’de 2010-2017 Yılı Nar Üretiminde Önemli İller (TÜİK, 2018)

	Nar Üretim Miktarı – Ton					
	Adana	Antalya	Denizli	Hatay	Mersin	Muğla
2010	14.636	79.112	13.667	9.351	17.440	26.051
2011	16.891	82.933	12.568	13.548	12.297	24.305
2012	26.200	104.421	28.182	15.543	25.227	47.067
2013	34.098	104.815	34.618	18.429	30.370	66.703
2014	39.740	108.786	23.363	22.155	35.015	68.347
2015	39.715	107.237	45.594	20.769	61.919	65.748
2016	44.861	111.041	44.751	20.430	66.595	73.183
2017	47.698	113.040	45.616	27.460	72.152	8.403

Nar meyvesi kabuk, tane ve çekirdek olmak üzere üç farklı bölümden oluşur. Nardan ve nar tanelerinden elde edilen başka bir ürün narın öz suyudur. Meyvenin kimyasal bileşenleri; çeşit, yetiştirildiği bölge, iklim, olgunluk, yetiştirme teknikleri ve depolama koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Narın içeriğinde bulunan organik asit, mineral, fenolik bileşen, şeker ve vitaminlerde meydana gelen çeşitli değişimler yıllarca birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir. Nar meyvesinin toplam kütesinin % 50' si kabuktur. Geriye kalan (kabuk dışında) yenilebilir kısmının % 80' i tane, % 20' si ise çekirdekten oluşmaktadır. Nar tanelerinin % 85' i su, % 10' u şeker (başlıca fruktoz ve glikoz), % 1,5' i pektin ve geriye kalan kısmı ise organik asit ve biyoaktif bileşiklerden oluşmaktadır. Nar çekirdekleri yağ açısından önemli bir kaynaktır ve nar çekirdeği % 12-20 arasında yağ içermektedir (Horuz, 2011).

Narın antioksidan etkiye sahip olması nedeniyle birçok hastalığın tedavisinde kullanılması, ekonomik getirisinin diğer meyvelere göre daha fazla olması ve kullanım alanının çeşitlenmesi nar yetiştiriciliğine olan talebi artırmıştır. Türkiye'de özellikle 2000' li yıllardan itibaren narla ilgili çok önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Nar üretiminde büyük artışlar sağlanırken, gıda endüstrisinde de nar kaynaklı çeşitli ürünler üretilmeye başlanmıştır. Nar meyvesinin kullanım şekilleri arasında suyu, ekşisi, şarabı, likörü, reçeli, kapsülü, çekirdeği ve tozu sayılabilir. En fazla taze olarak tüketilmesinin yanında meyve suyu ve diğer içeceklerde katkı olarak kullanılmaktadır. İshal ve dizanteriyi iyileştirici, özel serinletici etkisiyle ateşli hastalıklarda ateş düşürücü, şeker ve kolesterol düşürücü, kalbi koruyucu ve bağırsak sistemini güçlendirici etkisiyle tıbbi bir bitki olarak da kullanılmaktadır. Nar kabukları % 28-30 oranında tanen içerdiğinden kumaş ve deri boyamacılığında kullanım alanı bulmuştur. Narlardan pektin elde edildiği gibi, kabukları ve çiçeklerinden mürekkep ve boya elde edilmektedir (Şahin, 2004).

Nar ekşisi yemeklere lezzet vermek amacıyla kullanıldığı gibi sulandırılarak şurup olarak da tüketilmektedir. Son yıllarda sağlık açısından yararlı

olduğu düşüncesinin ardından nar, ABD’ de kapsül haline getirilmiş ve Türkiye’ de de satılmaya başlanmıştır (Çeltikçi, 2008).

Nar çekirdeklerinden bitkisel yağ ve hayvan yemleri için besin unu elde edilmektedir. Son zamanlarda nar taneleri, diğer meyvelerin yanı sıra paketlenip değerlendirilmekte ve uygun koşullarda dondurma tekniği ile paketlenerek Ortadoğu ülkelerine ihraç edilmektedir. Hindistan’ da ise, nar tanelerinin kurutulmasıyla elde edilen ürüne ‘anardana’ ismi verilmiş ve özel yemeklerde lezzeti artırmak için asitlendirici olarak kullanılmıştır (Horuz, 2011).

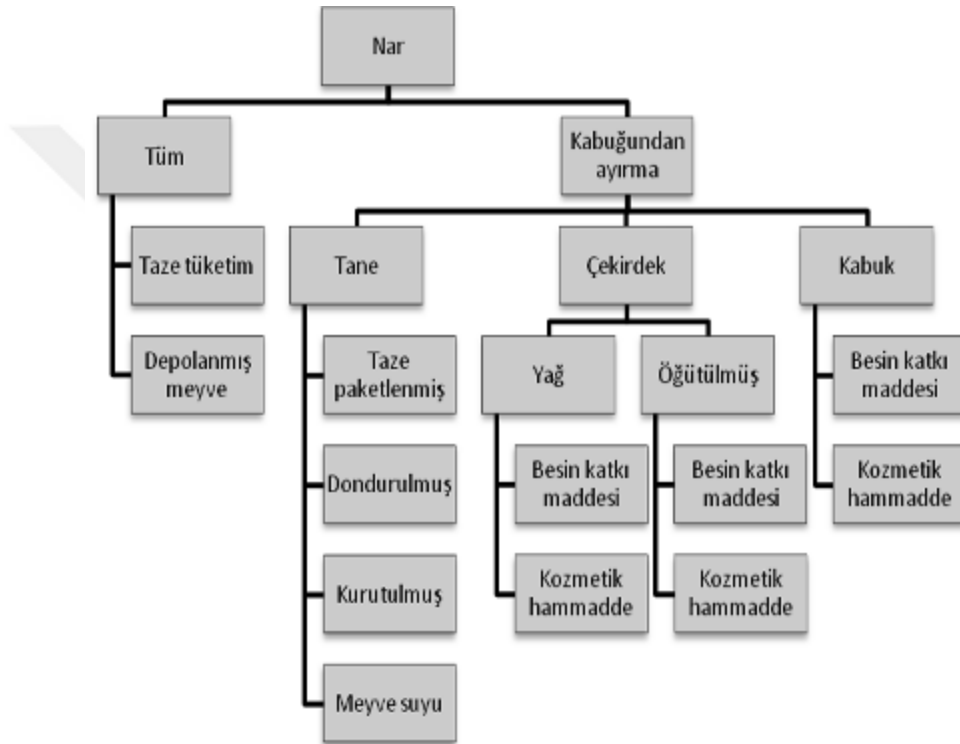
Kurutularak ve şoklama yoluyla muhafaza edilebilen nar taneleri pasta yapımında ve süslemesinde ayrıca Avrupa’ nın bazı bölgelerinde çorba ve sosların yapımında kullanılır olmuştur (Çeltikçi, 2008).

Günümüzde kurutulmuş ve temizlenmiş nar taneleri Türkiye’ den ihraç edilmektedir (Vardin ve Abbasoğlu, 2004).

1.2. Nardan Elde Edilen Katma Değerli Ürünler ve Mekanizasyon Olanakları

Nar, farklı katma değerli ürün elde edilebilen bir meyvedir (Şekil 1.1). Narın bilinen değerlendirme tarzı, derimden sonra tüm meyvenin taze veya depolanarak pazara sunulmasıdır. Nar tanelerinin kabuğundan ayrılması ile tane dışında, çekirdek ve kabuk gibi iki farklı atık ürün elde edilir (Şekil 1.2). Son yıllarda nar üretimindeki artışa paralel olarak meyvenin tüm tüketimi yanında, kabuğundan ayrılmış tanelerin tüketimine ilişkin pazarın giderek arttığı bilinmektedir. Bu nedenle ortaya çıkan iki önemli atık olan nar çekirdeği ve kabuğunun değerlendirilmesi ekonomik öneme sahip bir konu olmuştur. Bu önemi nedeniyle nar tanelerinin kabuğundan ayrılması, tanelerin, çekirdeğin ve kabukların değerlendirilmesi ile ilgili araştırmalar giderek artmaktadır (L’opez-Rubira ve ark., 2005; Singh ve ark., 2007; Khazaeia ve ark. 2008; Parashar ve ark. 2009; Blasko ve ark., 2009; Eikania ve ark., 2012; Calep, 2013; Immanuel ve ark., 2014). Piyasanın artan talebi nedeniyle nar tanelerinin kabuğundan ayrılması için hem yerli, hem de yabancı imalatçılar tarafından mekanizasyon uygulamaları

geliştirilmektedir. Nar tanelerinin kabuğundan ayrılmasına dönük sistem seçiminde, yerli üretim makinaların küçük kapasiteli KOBİ tarzı işletme büyüklüklerine daha uygun olduğu bilinmektedir. Küçük kapasiteli nar kabuğunu tanelerinden ayırma makinaları piyasada nar taneleme makinası olarak tanınmaktadır (Şekil 1.3).



Şekil 1.1. Nar tüketim yöntemleri



Şekil 1.2. Ayrılmış nar taneleri ve kabukları

Bu makine, önceden yıkanmış narların iletilerek, parçalanmasının sağlandığı besleme helezonu ve besleme helezonundan gelen parçalanmış narların kabuğundan ayrıldığı parmaklı batörlü silindirik ayırma eleği olmak üzere iki ana üniteden oluşur.



Şekil 1.3. Nar taneleme makinası

Tanesinden ayrılacak narlar bir tank içinde yıkandıktan sonra bantlı götürücü ile taneleme makinasına iletilir. Taneleme makinasının besleme helezonuna dökülen meyveler helezon açılımı yönünde ilerlerken sıkışma nedeniyle maruz kaldığı ezme kuvvetinden dolayı farklı büyüklükte dilimler halinde parçalanmaktadır. Bu sistem ülkemizde üzüm salkımlarının sıkılarak, üzüm suyu üretiminde kullanılmaktadır. Nar taneleme makinasının besleme helezonu içinde parçalanan narlar helezonun bulunduğu silindirik hazne sonunda belli bir kütleyle ulaştığında, buradaki kapağın kapalı kalmasını sağlayan yay kuvvetini yenerek, kapağın açılmasını sağlar ve nar ayırma eleğine dökülür. Parmaklı batörlü silindirik eleğin sert plastikten yapılmış sabit batör parmakları parçalanmış narlara vurarak tanelerin kabuktan ayrılmasını sağlar (Şekil 1.4). Tanelerinden ayrılmış kabuklar silindirik elek uzunluğu boyunca taşınarak, elek sonunda dışarı alınır. Elekten geçen taneler ise alt kısımda toplanır. Nar taneleme makinasının farklı tasarımlarının olduğu bilinmekle birlikte, imalatçılar henüz yeni olan bu sistemlerin çalışma prensiplerini ticari gerekçelerle kamuoyuna açıklamamaktadır.



Şekil 1.4. Parmaklı batörlü silindirik ayırma eleği

1.3. Kurutma Kavramı, Temel Değişkenler ve Yöntemler

1.3.1. Kurutma

Kurutma biyolojik materyalin bünyesinde bulunan suyun çeşitli yöntemlerle uzaklaştırılmasıdır. Kurutma esas olarak enzimatik değişimi ve mikrobiyal etkinliği sınırlandırmak amacıyla ürün neminin azaltılarak, ürünün raf ömrünün

arttırılmasını sağlar. Ürünün ulaşması hedeflenen nem düzeyi, ilgili standartlar veya alıcı kuruluşlar tarafından belirlenir. Kurutulmuş sebze ve meyvelerin sahip olması gereken bazı temel özellikler şunlardır:

- Ü Alıcı kuruluş veya ilgili standartlar tarafından dikte edilen ürünün nihai nemi, ortam sıcaklığı ve oransal nemine bağlı olarak belirlenen denge nemi gözetilerek, güvenli depolama nemine kadar düşürülmüş olması gerekir.
- Ü Üründe etken madde, renk ve aroma bileşenleri olabildiğince taze ürüne yakın olmalı ve depolama süresi boyunca değişmemelidir.
- Ü Üründeki mikrobiyal bulaşıklık, depolama zararlılarının popülasyon yoğunluğu ve gelişim evreleri ile yabancı madde miktarı ilgili standartlara uygun olmalıdır.
- Ü Üründe hasat sonrası depolama evresinde pestisit vb. herhangi bir kimyasal kullanılmamalıdır.
- Ü Ürünün sınıflandırılmasında, depolanmasında ve paketlenmesinde nitelik ve nicelik kaybına neden olabilecek uygulamalardan kaçınılmalıdır (Martinov ve ark., 2007).

1.3.2. Temel Kurutma Değişkenleri

Kurutmaya etkili olan değişkenler Şekil 1.5' te özetle tanımlanmıştır. Hem kuramsal, hem de uygulamadaki önemi nedeniyle ürün nemi konusuna aşağıda kısaca değinilmiştir.

Kurutma tekniği açısından tarım ürünlerinde bulunan nem “bağlı nem”, “bağsız nem” ve “serbest nem” olmak üzere üç bölümde incelenir (Yağcıoğlu, 1999). Bir de materyalin içinde bulunduğu sıcaklık ve oransal neme bağlı olarak bulunduğu nem vardır ki bu “denge nemi” olarak adlandırılır. Denge konumunda ortam sıcaklığı ve nemi değişmediği takdirde ürün nemi değişmez. Ürünün dengeye ulaştığı konumdaki nemine Ürün Denge Nemi (ÜDN) denir. Denge konumunda belirli sıcaklıkta havanın sahip olduğu bağıl neme “denge bağıl nemi”

denir. Belirli bir ortam sıcaklığında ürün denge nemi ile oransal nem arasındaki ilişki sorbsiyon izotermi olarak bilinir. Materyalin en küçük denge nemi (çevre havası bağıl nemi % 0) ve en büyük denge nemi (çevre havası bağıl nemi % 100) arasındaki nemine “bağıl nem”, bulunulan koşullardaki nem ile en yüksek denge nemi arasındaki neme “serbest nem”, en yüksek denge neminden daha fazla olan neme de “bağımsız nem” adı verilir (Yağcıoğlu, 1999). Öte yandan materyale kılcal kuvvetlerle bağıl su “absorbe su” olarak adlandırılıp, serbest suyun özelliklerini gösterir. Biyolojik materyale moleküler kuvvetlerle bağıl olan su ise “adsorbe su” olarak bilinir ve uzaklaştırılması daha güçtür. Materyalin nem düzeyinin sorbsiyon yoluyla artışı “adsorbsiyon”, azalışı ise “desorbsiyon” olarak tanımlanır.



Şekil 1.5. Bazı önemli kurutma değişkenleri

Tarım ürünlerinde nem ölçümü yaş ve kuru baza göre yapılır. Yaş baza göre ürün nemi daha çok gıda endüstrisinde kullanılır. Kuru baza göre ürün nemi ise bilimsel çalışmalarda tercih edilir. Yaş ve kuru baza göre ürün nemleri aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$X_{y.b.} = M_{su} / (M_{su} + M_{km}) \quad (1.1)$$

$$X_{k.b.} = M_{su} / M_{km} \quad (1.2)$$

Burada;

$X_{y.b.}$: 1 kg yaş materyaldeki nem miktarı (kg/kg)

$X_{k.b.}$: 1 kg kuru madde başına kg nem miktarı (kg/kg)

M_{su} : Üründeki nem miktarı (kg)

M_{km} : Üründeki kuru madde miktarı (kg)

Yaş ve kuru baz arasındaki ilişkiyi aşağıdaki denklem ifade etmektedir.

$$X_{k.b.} = X_{y.b.}/1 - X_{y.b.} \quad (1.3)$$

1.3.3. Kurutma Yöntemleri

Sofralık tüketim dışında kalan sebze ve meyveleri kurutmanın en ucuz ve kolay yolu derimi yapılan ürünü güneşte veya gölgede, uygun raflar üzerine ince tabaka halinde sererek kendiliğinden kurumaya terk etmektir. İş verimi yüksek hasat makineleri ile kütleli hasat yapılan sebze ve meyvelerin doğal olarak kurumaya bırakılması, hem kurutma için gereksinim duyulan alanın fazla olması, hem de pazar taleplerinin hızlı karşılanması zorunluluğu nedeniyle ticari uygulamalar için çözüm olmayabilir. Hasat dönemindeki yüksek hava sıcaklığı ve oransal nem, yetiştirme döneminden kaynaklanan mikrobiyal bulaşıklığın ve tarla/depolama zararlılarının hızla artmasına da neden olabilir. Bu nedenle ticari üretimi yapılan sebze ve meyvelerin kütleli olarak kurutulması için yapay kurutma yöntemlerinden yararlanılması gerekir.

Bilindiği üzere kurutma amacıyla ortamdaki ısıya veya üründen ortama aktarılan ısı iletim, taşınım ve ışınım olmak üzere 3 farklı mekanizma ile gerçekleşmektedir. Enerjinin veya kütlenin (nemin) ürüne/üründen transfer mekanizmasına göre temas, taşınım, ışınım, dondurma, ozmotik dehidrasyon yöntemleri uygulamada kullanılan yöntemlerdir. Tüm bu yöntemlere ve sanayideki özel isteklere bağlı olarak literatürde 400' ün üzerinde kurutucu tipi bildirilmiş ve bunlardan 50' si ticari olarak uygulanmıştır (Mujumdar, 2000).

Yapay ürün kurutma yöntemi hem yatırım, hem de işletme giderleri açısından ciddi bir maliyet oluşturduğu için dikkatlice planlanması gereken bir işlemdir. Aksi halde ürünün kurutma giderleri, ham madde değerini aşabilir. Mujumdar'dan (2000) yararlanılarak düzenlenen ve ürün kurutma açısından önemli temel kriterleri dikkate alındığında kurutucu sınıflandırması Çizelge 1.4' de görülmektedir. Uygulamada en sık rastlanan kurutma yöntemleri aşağıda özetlenmiştir.

1.3.3.1. Konvektif Kurutma

Bu sistemde sıcaklığı yükseltip nemi azaltılarak doyma kapasitesi artırılmış dış ortam havası, zorlanmış konveksiyonla sabit (raflı kurutucu) ya da hareketli (bantlı kurutucu) halde bulunan nemli materyalin üzerine yönlendirilir. Ürün iç kısmı ve çevre atmosfer arasındaki buhar basıncı farkı, materyal iç kısmında bulunan nemin dış ortama transferini sağlar ve ürün denge nemine ulaşılır. Kurutma ortamında üründeki nemi alarak doymun hale gelen hava yine zorlanmış konveksiyonla dış ortama iletilir. Konvektif kurutma yöntemi atmosferik basınç ya da vakum koşullarında uygulanır.

Konvektif kurutma sistemleri içinde en yaygın kullanılan sistemler sıcak havalı kurutuculardır. Sıcak havalı kurutucularda kurutma havası sıcaklığının komuta ve kontrolü ürünün nihai kalitesine etki eden en önemli faktördür. Sıcak havalı kurutucular ürünün kurutucu içindeki konumuna göre yığın halindeki ürünü kurutan (batch), yarı sürekli (semi-continuous) ve sürekli (continuous) sistemler olmak üzere üç grupta incelenir (Öztekin ve Martinov, 2013).

Yığın halindeki ürünü kurutan sistemlerde kurutucu bir kez ürünle doldurulur ve kuruma gerçekleşikten sonra sistem boşaltılarak, bir sonraki ürün yüklenecek kurutmaya devam edilir. Yığın halindeki ürünü kurutan sistemler genellikle çiçek ve yaprağından yararlanılan tıbbi ve aromatik bitkilerin kurutulmasında kullanılır. Güç düzeyi 50-400 kW arasında olan bu kurutucularda üründen buharlaştırılan 1 kg su için 5-15 kJ enerjiye gereksinim duyulur (Öztekin

ve Martinov, 2013). Yıgın kurutucuların en önemli olumsuzluğu enerji tüketimlerinin yüksek olmasıdır. Bu olumsuzluğu gidermek için ilk kurutma evresini izleyen dönemde kurutma havası yeniden dolaşıma tabi tutulur.

Yarı sürekli kurutma sistemleri genellikle üst üste raflar şeklinde tasarlandığı için en altta sıcak hava ile ilk karşılaşan raf önce kurur. Doğal olarak ilk kuruyan bu raftaki ürün kurutucu dışına çıkartılır, üstteki raflar bir asansör sistemi ile boşalan ilk rafın yerine yerleştirilir. En üstteki boş rafa yeniden taze ürün yüklenir. Bu kurutucuların güç düzeyi 100-1.000 kW arasında olup, taze materyalden 1 kg suyun buharlaştırılması için gerekli ısı enerji 4,5-8 MJ ' dir. Bu kurutucuların yatırımının ekonomik olması için yılda en az 3-4 ay kullanılması gerekir (Öztek ve Martinov, 2013).

Sürekli kurutucularda sistemin bir yanından sürekli taze ürün girişi ve diğer yandan kuru ürün çıkışı olur. Bantlı kurutucular olarak da piyasada tanınan bu kurutucular pek çok sebze ve meyve türünün kurutulması amacıyla kullanılır. Bantlı kurutucularda bant sayısı üst üste olmak üzere arttırılabilir. Bu sistemlerin güç düzeyi 0,7-3 MW olup, 1 kg yaş materyalin kurutulması için 4,5-5,5 MJ enerjiye gereksinim duyarlar (Öztek ve Martinov, 2013).

Hem taşınım hem de iletim ısı transferi koşullarında uygulanabilen vakum kurutma özellikle sıcaklık yükselmesine duyarlı ürünlerde kullanılır. Bu yöntemde suyun kaynama noktası sıcaklığı düşürülerek, kurumanın düşük sıcaklıkta gerçekleşmesi sağlanır. Son yıllarda vakum kurutmayı dielektrik ve kızılötesi ışımla kurutma yöntemleri ile kombine eden sistemler de uygulamada kullanılmaktadır. Vakum kurutma yöntemi yüksek ilk yatırım bedeli nedeniyle daha çok yüksek katma değerli ürünlerin kurutulmasında tercih edilir.

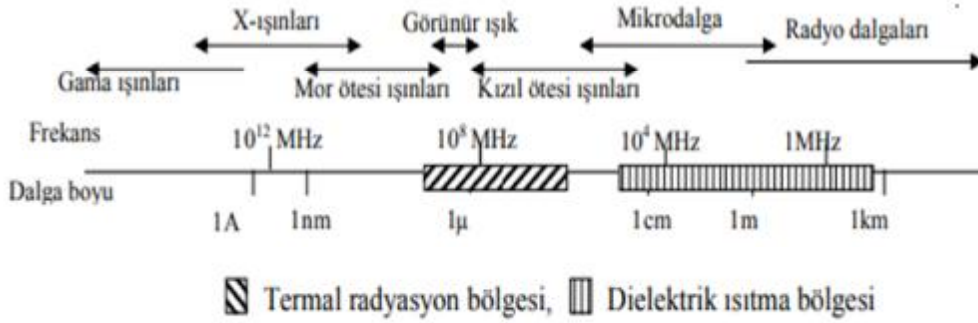
Çizelge 1.4. Kurutucuların Sınıflandırılması (Mujumdar, 2000)

Sınıflandırma Kriteri	Kurutucu tipi
Çalışma şekli	Sürekli, kesikli
Kurutulan ürünün yapısı	Katı dane, granül, cips, levha, toz, sıvı, yarı katı (salça vb.)
Kurutulan ürünün kökeni	Tarla bitkileri, bahçe bitkileri (sebze-meyve)
Ürünün kurutucu içindeki konumu	Sabit, bant üzerinde hareketli, çalkalanmış, titreşime tabi tutulmuş, birleştirilmiş, parçalanmış, akışkan yatak
Ürünle hava akımının karşılaşma şekli	Dik akışlı, ters yönde akışlı, eş yönde akışlı, karışık akışlı
Kullanılan enerji kaynağı	Fosil yakıtlı, yenilenebilir enerji kaynaklı
Isı transfer şekli	Taşınım, iletim, ışınlama, elektromanyetik alan, kombine ısı transferi
Isı verme sıklığı	Sürekli, kesikli
Çalışma basıncı	Atmosferik, vakum, yüksek basınç
Kurutucu akışkanın tipi	Sıcak hava, kızgın buhar, hafif gazlar
Kurutma sıcaklığı	Düşük (<100 °C) ve yüksek sıcaklıklı (>100 °C)
Ürün ile havanın karşılaşma şekli	Paralel akışlı, karşı akışlı, karışık akışlı
Kuruma süresi	Kısa (< 1 min), orta (1-30 min), uzun (> 30 min)

1.3.3.2. Dielektrik Kurutma

Elektromanyetik dalgalar ile aktarılan enerjiye ışınlama adı verilir (Uslu ve Certel, 2006). Elektromanyetik ışınlama ısıtma mor ötesi, görünür ışık ve kızılötesi ışınlarını içerisine alan ısı ışınlama bölgesinde veya mikrodalga ve radyo dalgalarını içerisine alan dielektrik ısıtma bölgesinde yapılabilir (Şekil 1.6). Elektromanyetik spektrumda frekansları 100 Hz ile 300 MHz arasında değişen dalgalara radyo

dalgaları, frekansları 300 MHz ile 300 GHz arasında değişen dalgalara da mikro dalgalar denilmektedir. Mikrodalgalar veya yüksek frekanslı radyo dalgaları kullanılarak ürünün neminin alınarak, ortamdan uzaklaştırılmasına dielektrik kurutma denir. Endüstride mikrodalga fırın ve kurutucularda kullanılan dalgaların, radar dalgaları ile karışmaması için 915 MHz ve 2450 MHz olmak üzere iki farklı frekans belirlenmiştir. Ancak mikrodalga ışıınımdan yararlanan kurutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılan frekans 2450 MHz' dir. Isıtma veya kurutma amacıyla kullanılan mikrodalga ışınlar ürün tarafından yutulur, yansıtılır veya hiçbir değişikliğe uğramadan yoluna devam eder. Mikrodalga ışıınımda, kurutulan ürün tarafından yutulduğu zaman mikrodalga ışıınımda pozitif ve negatif merkezlerinin yön değiştirmelerine paralel olarak, üründe bulunan polar su molekülleri yön değiştirirler. Saniyede milyonlarca kez oluşan bu hareket sonucu moleküller sürtünme ısıyı açığa çıkar ve madde ısınır. Bu ısınma ile nemin buharlaşması, buhar basıncının artması ile üründen çevreye kütle transferi gerçekleşir. Buhar ortamdan uzaklaştırılarak ürünün kuruması sağlanır.



Şekil 1.6. Elektromanyetik spektrum (Uslu ve Certel, 2006)

Mikrodalga kurutma sistemleri uygulamada konvektif ve kızılötesi kurutma teknikleriyle birlikte kullanılmaktadır. Ürün bazında ciddi AR-GE yatırımına gereksinim duyan mikrodalga kurutma sistemleri yerli imalatçılar tarafından ya hiç kullanılmamakta, ya da deneme-yanılma yöntemiyle

kullanılmaktadır. AR-GE yatırımı yapan yurt dışındaki imalatçı kuruluşlar ise hem ilk yatırım bedelinin, hem de servis-destek hizmetlerinin pahalı olması nedeniyle ülkemizdeki işletmeler açısından tercih edilmemektedir.

1.3.3.3. Kızılötesi Işınım Enerjisi ile Kurutma

Bu yöntemde kurutma için gerekli ısı enerjisi elektromanyetik spektrumun kızılötesi (infrared) bölgesinde yer alan ışınlarla iletilir. Bu nedenle bu ısıtıcılar kızılötesi ısıtıcılar olarak adlandırılır. Kızılötesi ışınım elektromanyetik spektrum içinde kısa, orta ve uzun dalga boylu olmak üzere üç kısımda incelenir. Kızılötesi ışınım üreteçleri aşağıda olduğu gibi sınıflandırılabilir (Skjöldebrand, 2001):

- Gaz ısıtım üreteçler (uzun dalga boyu)
- Elektrik ısıtım üreteçler
 - Silindirik ve düz metalik ısıtıcılar (uzun dalga boyu)
 - Seramik ısıtıcı (uzun dalga boyu)
 - Quartz tüp ısıtıcı (orta ve kısa dalga boyu)
 - Halojen tüp ısıtıcı (kısa dalga boyu)

Mikrodalga veya radyo dalgalarıyla gerçekleşen enerji transferine benzer şekilde, kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutmada da elektromanyetik dalgalar ışın kaynağından doğrudan ürün yüzeyine aktarılır (Toğrul, 2005). Bu sayede enerji ortam havasını ısıtmadan ürüne aktarılır. Bu özellik, ışınım ile yapılan kurutmada enerji kullanım etkinliğini artırır. Buna ilaveten materyal içinde kısa sürede sağlanan hızlı sıcaklık yükselmesi kurutmada enerji tüketiminde ciddi tasarruf sağlar. Sıcaklığın materyal içinde homojen dağılımı nihai ürün kalitesini de artırır (Sharma ve ark., 2005; Dostie ve ark., 1989; Mongpreneet ve ark., 2002; Navari ve ark., 1992).

Kızılötesi ısıtma sistemlerinde enerji kaynağı olarak gaz ve elektrik kullanılmaktadır. Kızılötesi ışınım enerji etkinliğini uygun tasarımla % 80-90' a çıkarmak mümkündür (Sandu, 1986). Oysa bu oran mikrodalga kurutma sistemlerinde bile % 70 civarındadır. Kızılötesi kurutma endüstriyel olarak epoksi ve reçine dolgu öncesi mermer, mozaik ve çimento dolgululu ürünlerin kurutulmasında kullanılmaktadır. Kızılötesi kurutmanın başlıca üstünlükleri şöyle sıralanabilir:

- Kurutma süresi kısa,
- Alternatif enerji kaynağı,
- Yüksek enerji verimliliğine sahip,
- Kurutma sırasında ürün sıcaklık dağılımı düzgün,
- İşlem parametrelerinin kolay kontrol edilebilir ve yer tasarrufu sağlar (Abe ve Afzal, 1997; Afzal ve Abe, 1998; Afzal ve Abe, 2000; Toğrul, 2006, Samadi ve Loghmanieh, 2013).

1.4. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma kapsamında Türkiye' de yaygın olarak üretilen nar meyvesi taneleri farklı kurutma yöntemleri ile kurutulmuştur. Hicaz nar çeşidinden elde edilen nar taneleri kızılötesi, konvektif ve mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutularak kurutma parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen denemelere ait veriler 9 farklı matematiksel model kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bu sayede nar tanelerinin tek tabaka halinde kurutulmasında en iyi uyumu gösteren kurutma modeli belirlenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Nar ve Nar Tanelerinin Ayıklanması ile İlgili Çalışmalar

Kingsly ve ark. (2006), % 6-18,13 nem aralığında kurutulan nar tohumlarının fiziksel özelliklerine bağlı nem miktarlarını belirlemişlerdir. Boyut ve kütle sırasıyla 3,5 mm' den 4,4 mm' ye ve 28,98 g' dan 32,58 g' a yükselirken, bu örneklerin nem içeriği % 6 ile % 18,13 olarak bildirilmiştir. Nem içeriğindeki artışa bağlı olarak azalan gözeneklilik dikkate alındığında; birim hacim ağırlığı, yoğunluk ve yığın açısı artmıştır. Aynı nem artışı için yığın açısı 26,46 °' dan 32,13 °' ye ulaşmıştır. Kontrplak yüzeyin, galvanize edilmiş demir yüzeye göre daha çok sürtünme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Nem içeriğindeki artış ile birlikte nar tohumlarının sertliği azalmıştır.

Singh ve ark. (2007), nar meyvesinin kurutulmuş tanelerinin yemeklerde asitlik düzenleyici olarak ve ilaç yapımında kullanıldığını bildirmişlerdir. Nar tanelerinin kolay ayrılabilmesini sağlamak için, meyveler üç farklı uygulamaya maruz bırakılmıştır. Bu uygulamaların; kumda fırınlama, sıcak suya batırma ve soğuk suda bekletme yöntemleri olduğunu açıklamışlardır. Meyvelerin sıcak suda bekletilmesi nar tanelerinin ayrılması sırasında 2 dakikalık bir zaman kazancı sağlamıştır. Kumla fırınlama uygulaması sırasında yüksek sıcaklıktan dolayı, meyveden ayrılan nar tanelerinin ve kurutulmuş nar tanelerinin (anardana) kalitesinde düşüslere yol açtığı belirtilmiştir. Kurutulmuş nar tanelerinde renk, kimyasal bileşen ve kalite yönünden en uygun işlemin 2 dakikalık sıcak suda bekletme uygulaması olduğu ifade edilmiştir.

Immanuel ve ark. (2014), nar tanelerinin genellikle elle vurma yöntemiyle çıkarıldığını belirtmişlerdir. Tanelerin çıkarılması işleminin meyve üzerine uygulanan vurma kuvveti ile sağlandığını ve bu işlemin uzun zaman aldığını ve yeterince temiz olmadığını söylemişlerdir. Narların elle ayıklanması işlemi, hem tanelerin direkt olarak tüketilmesi hem de meyve suyu yapımında kullanılması için yapılmaktadır. Ayıklama işlemleri sırasında bu zorlukların üstesinden gelmek ve

bu yöntemden kaynaklanan mikrobiyal bulaşıklığı önlemek amacıyla bir makine tasarlamışlardır. Bu tasarım ile ayıklama işlemleri sırasında insan eli dokunmadan temiz ve yüksek verimli bir şekilde nar tanelerinin ayrılmasının mümkün olduğunu bildirmişlerdir. Bu yöntemin % 75 verimle çalıştığını ve ayıklama sırasında çok az nar tanesinin zedelenmeye uğradığını rapor etmişlerdir. Sonuç olarak nar tanelerini ayıklamak için tasarlanan makinenin meyve suyu satılan yerlerde ve otellerde büyük ölçüde kullanışlı ve ayıklanan tanelerin oranının maksimum olabileceğini belirtmişlerdir.

2.2. Nar Tanelerinin Kurutulması ile İlgili Çalışmalar

Kingsly ve Singh (2007), nar tanelerinin kurutma kinetiklerinin incelendiği çalışmada, tanelerin tek tabaka halinde 50, 55 ve 60 °C sıcaklıklarda kurutma kabinlerinde konvektif kurutma gerçekleştirilmiştir. Başlangıç nem oranı kuru baza göre % 271,80 olan nar tanelerinin istenilen nem oranı olan % 8,70 'e getirilmesi için gerekli olan ısıtma işlemleri sırasıyla 50 °C sıcaklıkta 11 saat, 55 °C sıcaklıkta 9 saat ve 60 °C sıcaklıkta 6 saat süreyle uygulanmıştır. Kuruma sıcaklığının artmasıyla beklendiği üzere kuruma zamanı azalmıştır. Verilerden elde edilen kuruma eğrilerini tek tabakalı kurutma modelinin değerlendirilmesi için kullanılan farklı matematiksel modellere uyarlamışlardır. Page modeli diğer modellerle kıyaslandığında nar tanelerinin kurutulması için daha uygun sonuçları vermiştir.

Motevali ve ark. (2010), nar tanelerinin kurutulmasında matematiksel modeller ve sinir ağları yöntemlerinin tahmini değerlerin kıyaslanması üzerine çalışmışlardır. 10 farklı yarı teorik ve deneysel modeller, nar tanelerinin tek tabaka halinde kurutulmasında en iyi modelin seçilmesi ve değerlendirilmesi için deneysel verilere uygulanmıştır. Deneyler 6 farklı sıcaklık düzeyinde (45, 50, 55, 60, 65 ve 70 °C) ve 3 farklı hava hızı seviyesinde (0,5; 1 ve 1,5 m/s) gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga ön kurutma uygulaması örneklerde kullanılmış ve sonuçlar ön kurutma işlemi yapılmayan örneklerle kıyaslanmıştır. Matematiksel modellerin regresyon analizleri, verilerin en iyi Midilli modeline uygunluk sağladığını göstermiştir.

Regresyon katsayısı (R^2) ve tahminin standart hatası (RMSE) değerlerine bakıldığında, tanelerinin kurutulması sonucunda nar tanelerinin nem oranı tahmini, matematiksel modelleme çalışmalarına oranla sinir ağı modellemelerinde daha iyi sonuç vermiştir.

Doymaz (2011), çalışmasında nar tanelerinin kurutma karakteristiklerini 50-70 °C sıcaklık aralığındaki konvektif kurutmada incelemiştir. Kurutma havası sıcaklığında meydana gelen artışın kuruma süresinde azalmaya neden olduğunu belirtmiştir. Kuruma oranı sıcaklık artışına bağlı olarak belirlenmiş dolayısıyla toplam kuruma süresi azalmıştır. Kullanılan modellerin uyum derecesi, regresyon katsayısı (R^2), ortalama bağıl hata yüzdesi (P), azaltılmış khi-kare (X^2) ve hataların ortalamasının karekökü (RMSE) kullanılarak değerlendirilmiştir. Midilli modeli diğer modellerle kıyaslandığında, bu modelin deneysel kurutma verileri için daha uygun olduğu görülmüştür. Fick' in ikinci difüzyon kuralına göre hesaplanan nemin difüzyon katsayısı $9,447 \times 10^{-10}$ m/s² den $3,481 \times 10^{-10}$ m/s² ye ulaşmıştır. Nemin yayılımı için aktivasyon enerjisi 60,34 kJ/mol olarak belirlenmiştir.

Minaei ve ark. (2011), çalışmalarında aktivasyon enerjisinin kurutma yöntemlerine etkisini, etkin nem difüzyonunu ve nar tanelerinin nem oranını incelemiştir. Konvektif kurutmanın yanı sıra mikrodalga enerji, vakum altında sıcak hava ile kurutma ve kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutma yöntemleri kullanılarak ekşi nar tanelerinin tek tabaka kurutulmasını gerçekleştirmişlerdir. Kurutma yöntemlerinin sonuçları; kuruma oranı, etkin nem dağılımı ve aktivasyon enerjisi üzerinde değerlendirilmiştir. Mikrodalga ön kurutma işleminin kuruma oranı ve etkin nem difüzyonunu artırdığı ve aktivasyon enerjisini azalttığı gözlemlenmiştir. Mikrodalga giriş gücü 200 W, hava hızı 1,5 m/s ve kuruma sıcaklığı 70 °C iken; en yüksek kuruma oranı 0,965 g/min ve en yüksek etkin nem dağılımı $7,709 \times 10^{-10}$ m²/s olarak elde edilirken, 45 °C sıcaklıkta ve 0,5 m/s hava hızında en düşük kuruma oranı 0,082 g/min ve en düşük etkin nem dağılımı $0,856 \times 10^{-10}$ olarak bulunmuştur. Nar tanelerinin etkin difüzyon katsayısı vakum, mikrodalga ve kızılötesi kurutucular için sırasıyla $6,77 \times 10^{-10}$ - $52,5 \times 10^{-10}$; $3,43 \times 10^{-10}$

$29,19 \times 10^{-10}$ ve $4 \times 10^{-10} - 32 \times 10^{-10}$ değerleri arasında farklılık göstermiştir. Aktivasyon enerjisi vakum kurutucular için 52,83 kJ iken mikrodalga kurutucular için 23,563 W/g bulunmuştur. Mikrodalga kurutucular için aktivasyon enerjisi Arrhenius eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Farklı kurutucular için kapsamlı bir karşılaştırmada, kuruma oranı, etkin nem difüzyonu ve aktivasyon enerjisi göz önüne alınarak mikrodalga ön işlem ile konvektif kurutulan nar tanelerinin en iyi performansı verdiği açıklanmıştır.

Motevali ve ark. (2011), çalışmalarında sıcak hava ile kurutma, mikrodalga ön işlem uygulamalı konvektif kurutma, mikrodalga kurutma, vakum kurutma ve kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutma gibi çeşitli kurutma yöntemlerini kullanarak enerji tüketimini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Testler çeşitli koşullar altında nar taneleri kullanılarak yapılmıştır. Konvektif kurutmada, 6 farklı sıcaklık seviyesi (45, 50, 55, 60, 65 ve 70 °C) ve 3 farklı hava hızı seviyesi (0,5; 1 ve 1,5 m/s) seçilmiş ve ön işlem uygulamaları, 20 dakika ön uygulamalı mikrodalga kurutma 100 W' de ve 10 dakika ön uygulamalı mikrodalga kurutma 200 W' de gerçekleştirilmiştir. Denemeler mikrodalga kurutma yönteminde 100, 200 ve 300 W güç seviyelerinde; vakum kurutmada 5 farklı sıcaklık düzeyinde (50, 60, 70, 80 ve 90 °C' de) ve 250 kPa basınç altında yapılmıştır. Kızılötesi kurutma için 4 farklı hava hızı seviyesi (0,3; 0,5; 0,7 ve 1 m/s), 3 farklı aydınlatma seviyesi (0,22; 0,31 ve 0,49 W/m²) seçilmiştir. Deneme sonuçları, nar tanelerinin kurutulmasındaki en düşük ve en yüksek enerji tüketiminin sırasıyla mikrodalga kurutma ve vakum kurutma ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Mikrodalga ön işlem uygulamalı sıcak havalı kurutucular, konvektif kurutucuların aksine kuruma süresini ve enerji tüketimini azaltmıştır. Kızılötesi kurutma yönteminde ise kuruma süresi, artan enerji tüketimine yol açan hava hızı ile birlikte artmıştır.

Pongtong ve ark. (2011), çalışmalarında 55-75 °C sıcaklık aralığında nar tanelerinin vakum kurutma karakteristiklerini tanımlayan en iyi modeli belirlemeyi amaçlamışlardır. Belirtilen sıcaklık aralığında 6,5 ile 13,5 saat içerisinde sürekli kurutma sırasında nar tanelerinin vakum kurutucularda yığın halinde kurutularak

başlangıç nemini kuru baza göre % 464,02' den % 6,18' e düşürmüşlerdir. Kuruma oranı, sıcaklık ve kuruma zamanının artışıyla artmıştır. Nar tanelerinin vakumlu kurutulması için bilinen yarı teorik ve deneysel modellerden beş tanesini kullanmışlardır. Yarı deneysel Midilli modelinin nar tanelerinin kuruma davranışlarını tahmin etmek için uygun bir model olduğunu belirlemişlerdir. Çünkü bu modelin yüksek regresyon katsayısı (R^2), en küçük khi-kare (X^2) ve en düşük hataların ortalama karekökünü (RMSE) verdiğini söylemişlerdir. Belirlenen sıcaklık aralığında difüzyon katsayısı $1,25 \times 10^{-10}$ m/s² den $2,91 \times 10^{-10}$ m/s² ye ulaşmıştır. Difüzyona bağlı sıcaklık Arrhenius modeliyle belirlenmiştir. Kurutma sırasında nem difüzyonunun aktivasyon enerjisini 40,46 kJ/mol olarak bulmuştur.

Doymaz (2012a), nar çekirdeklerinin farklı kızılötesi güç seviyelerinde kuruma hızlarına olan etkisini incelemiştir. Nar tohumları 83, 104, 125 ve 146 W kızılötesi güç seviyelerinde kurutulmuştur. Güç seviyelerinin kuruma oranı ve kuruma süresini etkilediği gözlemlenmiştir. Kızılötesi güç seviyesi 83 W' den 146 W' ye geldiğinde kuruma süresi 150 dakikadan 60 dakikaya düşmüştür. Kurutma çalışmalarından elde edilen deneysel veriler, nar tohumlarının kuruma hızlarını değerlendirmek için 10 tane matematiksel modellemeye uyarlanmıştır. Page, Midilli ve Weibull modelleri diğer modellere kıyasla daha iyi tahminleri vermiştir ve nar tohumlarının kuruma hızlarını tatmin edici bir şekilde tahmin etmiştir. Etkin yayılım $1,96$ ve $6,29 \times 10^{-11}$ m²/s değerleri arasında değişim göstermiştir ve kızılötesi ışıma enerjisinden önemli ölçüde etkilenmiştir.

Doymaz (2012b), nar tanelerinin kurutma karakteristiklerini araştırdığı çalışmada, nar tanelerinin tek tabaka kurutma karakteristiklerini 55, 65 ve 75 °C' de incelemiş ve tek tabaka kurutma modellerini kurutma verilerine uyarlamak için kullanmıştır. Kuruma havası sıcaklığındaki artış kuruma süresindeki azalma ile sonuçlanmıştır. Kurutma karakteristiklerini tahmin etmek için 5 farklı tek tabaka kurutma modeli kullanılmıştır. Midilli modeli diğer modellerle kıyaslandığında deneysel kurutma verilerine daha iyi uygunluk göstermiştir. Etkin nem dağılımı Fick' in ikinci kuralı kullanılarak hesaplanmış ve $9,373 \times 10^{-11}$ m/s² ve $3,429 \times 10^{-10}$

m/s² değerleri arasında değişkenlik göstermiştir. Nem difüzyon değerleri artan hava sıcaklığı ile artış göstermiştir. Nem difüzyonunun sıcaklıkla olan ilişkisi Arrhenius eşitliği ile tanımlanmıştır. Aktivasyon enerjilerinin kontrolü ve önceden işleme tabi tutulmuş örnekler sırasıyla 49,7 ve 40,1 kJ/mol olarak belirlenmiştir.

Minaei ve ark. (2012), iki çeşit narın kuruma davranışları ile birlikte nar tanelerinin nem kaybı ve difüzyon katsayısı üzerindeki kuruma koşullarını çalışmışlardır. Vakum ve mikrodalga kurutucularda kurutulan tatlı ve mayhoş nar tanelerinin aktivasyon enerjisinin hesaplanmasının yanı sıra, uygun matematiksel kurutma modeli uygulamışlardır. Çalışılan modelin regresyon analizlerinin sonuçları, vakum ve mikrodalga kurutma için elde edilen verilerin Midilli ve Page eşitliklerinin en uygun modeller olduğunu göstermiştir. Nar tanelerinin difüzyon katsayısı aralığı, vakum ve mikrodalga kurutucuları için sırasıyla $0,74 \times 10^{-10}$ - $52,5 \times 10^{-10}$ m²/s ve $3,43 \times 10^{-10}$ - $32,05 \times 10^{-10}$ m²/s olarak tahmin edilmiştir. Aktivasyon enerjileri, tatlı ve mayhoş nar çeşitleri için mikrodalga kurutucularda 17,22 ve 23,83 kJ olarak hesaplanırken, vakum kurutucular için 52,27 ve 52,83 kJ olarak hesaplanmıştır.

Motevali ve Minaei (2012), çalışmalarında mikrodalga ön işlem uygulamalı tek tabaka kurutulan nar tanelerinin enerji ve ekserji analizlerini rapor etmişlerdir. Ön işlem uygulamalı mikrodalga kurutma 100 W' de 20 dakika, 200 W' de 10 dakika sürmüştür. Konvektif kurutma kontrol değerlendirilmesi için gerçekleştirilmiştir. Denemeler 3 farklı sıcaklık seviyesinde (50, 60 ve 70 °C) ve 3 farklı hava hızlarında (0,5; 1 ve 1,5 m/s) yapılmıştır. Sonuçlar, enerji kullanımı ve enerji kullanım oranının kuruma süresiyle artarken, ekserji verimliliğinin kuruma süresiyle azaldığını göstermiştir. Enerji kullanımı ve kuruma süresi, nar tanelerinin mikrodalga ön kurutma uygulamasıyla birlikte büyük ölçüde azalmıştır. Enerji kaybının ve ekserji verimliliğinin minimum değerleri, 200 W gücünde mikrodalga ön kurutma uygulamasında bulunmuştur.

Calin-Sanchez ve ark. (2013), çalışmalarında nar tanelerini ve kabuğunu dondurarak kurutma, konvektif kurutma, vakum-mikrodalga kurutma ve konvektif

ön kurutma ve vakum-mikrodalga son kurutma yöntemleri ile kurularak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada kalite parametreleri; şeker, aminoasit, antioksidan içeriği ve elajik asit, toplam polifenol ve antioksidan etkinliği belirlenmiştir. Nar tanelerinin ve kabuğunun kuruma davranışları farklı olmasına karşın, çalışılan tüm parametrelerde kurutma yöntemine bağlı olarak bir azalma tespit edilmiştir. Nar taneleri için vakum-mikrodalga kurutma yöntemi en iyi yöntem olarak belirlenirken, nar kabuğu için dondurarak kurutma ve konvektif kurutma yöntemi kullanılmıştır. Nar tanelerinin ve kabuğunun konvektif ön kurutma ve vakum-mikrodalga son kurutma yöntemiyle kurutulmasının uygun olduğu kanaati bildirilmiştir. Uygun kurutma tekniğinin seçilmesiyle tüketicilere arz edilebilecek yüksek kaliteli kurutulmuş tanelerin elde edilebileceği belirtilmiştir. Uygun yöntemle kurutulmuş nar tanelerinin früktoz, fitik asit, antioksidan içerik, toplam polifenol, yüksek antioksidan kapasitesi, renk, tatlılık, ekşilik ve taze nar aroması gibi özelliklere sahip olabileceğini bildirmişlerdir. Ayrıca yüksek antioksidan kapasitesine sahip kurutulmuş nar kabuğunun hammadde potansiyeli vurgulanmıştır.

Alaei ve Chayjan (2014), nar tanelerinin kızılötesi enerji ve vakum kurutma yöntemiyle kurutulmasını modelledikleri çalışmada 2, 20, 40, 60 kPa basınç ve 60, 70, 80 ve 90 °C kurutma sıcaklıklarını denemişlerdir. Araştırmada ürün nem kaybı, difüzyon katsayısı, aktivasyon enerjisi, büzülme, renk değişimi, enerji tüketimi tespit edilmiştir. 2 kPa mutlak basınç ve 60 °C kurutma havası sıcaklığında difüzyon $3,07 \times 10^{-10}$ - $1,14 \times 10^{-9}$ m²/s, aktivasyon enerjisi 30,80-37,48 kJ/mol, büzülme % 71,46 olarak bulunmuştur. Enerji tüketimi 0,206-2,072 kWh olarak verilmiştir.

Başlar ve ark. (2014), çalışmalarında nar tanelerinin kurutma kinetikleri, bazı biyoaktif bileşiklerin degradasyon hızları ve kurutma işlemleri süresince renk değişim değerlerini araştırmışlardır. Kurutma işlemleri basınçlı hava dolaşımında 55, 65 ve 75 °C' de gerçekleştirilmiştir. Kuruma süreleri sırasıyla 1020, 520 ve 330 dakika olarak hesaplanmıştır. Etkin nem dağılım değerleri $5,39 \times 10^{-11}$ m/s²

ve $1,70 \times 10^{-10}$ m/s² arasında dağılım göstermiştir ve sıcaklık artışına bağlı olarak artmıştır. 6 farklı tek tabaka kurutma modeli uygulamada değerlendirilmiştir. Biyoaktif bileşiklerin degradasyon oranı yüksek sıcaklıklarda artış göstermiştir, fakat kurutmadan sonra arta kalan fenolik, antosiyanin ve flavonoid bileşik miktarlarının 75 °C' de kurutulan örneklerde yüksek olduğu görülmüştür. 75 °C' de kurutulan nar tanelerinde antioksidan kapasitesi değerinin en yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Kurutma işlemlerinden sonra nar tanelerinin L* değerleri azalırken a* değerleri artmıştır.

Calin-Sanchez ve ark. (2014), çalışmalarında nar tanelerinin ve kabuğunun ayrılması işlemlerinde konvektif kurutma, vakum-mikrodalga kurutma ve konvektif ön kurutma ile kombine edilmiş vakum-mikrodalga son kurutma boyunca kurutma kinetiklerini ve enerji gereksinimlerini değerlendirmişlerdir. Konvektif ve vakum-mikrodalga kurutmanın kurutma kinetikleri 7 temel kurutma modeli kullanılarak tanımlanmıştır fakat vakum mikrodalga son kurutma sadece Henderson & Pabis eşitlikleriyle modellenmiştir. Nar kabuğunun, nar tanelerinin sahip olduğu yüksek gözeneklilik ve düşük şeker içeriği nedeniyle daha az kuruma süresine ihtiyaç duyduğu bildirilmiştir. Hava sıcaklığı ve mikrodalga giriş gücündeki artış, kuruma zamanı ve enerji tüketimini azaltmıştır. Vakum-mikrodalga kurutma yönteminin konvektif kurutma yöntemine göre daha az enerji gerektirdiği belirtilmiştir. Konvektif kurutma yönteminde enerji tüketimi, kendisiyle kombine edilen vakum-mikrodalga kurutma yöntemiyle azaltılabilmektedir. Bu azalma vakum mikrodalga son kurutma önce uygulandığında çok daha fazla artmıştır. Ürün kurutma endüstrisinde vakum mikrodalga kurutma ve konvektif ön kurutma ile kombine edilen vakum mikrodalga son kurutma, nar tanelerinin ve kabuğunun işlenmesi sırasında hem kuruma süresini hem de enerji tüketimini azaltan iyi bir seçenek olmuştur. Böylece gıda endüstrisi kurutma işlemlerini optimize edebilmektedir.

Dak ve Pareek (2014), çalışmalarında mikrodalga-vakum kurutma yöntemiyle nar tanelerinin etkin nem dağılımını incelemişlerdir. Mikrodalga-

vakum kurutma tekniği kullanılarak nar tanelerinin kurutulması işlemlerinde 25-95 W değerleri arasında mikrodalga gücü, 25-195 mm Hg değerleri arasında vakum basıncı ve 65-235 g değerleri arasında örnek kütleleri kullanılmıştır. Etkin nem dağılımı $5,18 \times 10^{-11}$ m/s² ile $6,58 \times 10^{-10}$ m/s² değerleri arasında değişkenlik göstermiştir. Etkin nem dağılımı değerlerinin (D_{eff}) mikrodalga gücünün artmasıyla ya da örnek kütlelerinin azalmasıyla arttığı görülmüştür ve vakum basıncı göz ardı edilmiştir. Üçüncü dereceden polinomial bağlantının, etkin nem dağılımı ile nem içeriği arasında ilişkili olduğu görülmüştür. Çok değişkenli polinomial modeller, mikrodalga-vakum kurutma parametrelerinin bir fonksiyonu olarak etkin nem dağılımını tahmin etmek için geliştirilmiştir.

Karaaslan ve ark. (2014), kurutma kinetiğinde sıcaklığın etkisini ve nar taneleri içerisinde yer alan bitkisel gıdaların ısı bozunumlarını araştırmışlardır. Nar taneleri iki gruba ayrılmıştır ve örneklerin yarısı sıcak suda 80 °C sıcaklıkta 2 dakika bekletilerek ön işleme tabi tutulmuştur. Kurutma işlemi vakum kurutucuda 55, 65 ve 75 °C sıcaklıkta yapılmıştır. En hızlı kurutma, örnekler ön işleme tabi tutulduktan sonra 75 °C sıcaklıkta gerçekleşmiştir. En yüksek antosiyanin-fenolik içeriği ve antioksidant kapasitesi 55 °C sıcaklıkta kurutulmuş nar tanelerinde gözlemlenmiştir. Kurutma eğrilerinin tahmin edilmesi için 7 farklı kurutma modeli kullanılmış ve Arrhenius ve Eyring-Polanyi eşitlikleri bitkisel gıdaların bozunum kinetiklerini tahmin etmek için seçilmiştir. Kurutma sırasında ön işleme tabi tutulan örneklerde aktivasyon enerjisi 24,26 kJ/mol, işlenmemiş ürünlerde 31,54 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Difüzyon katsayıları $1,43 \times 10^{-10}$ ' dan $6,03 \times 10^{-9}$ m²/s' ye ulaşmıştır.

Nikbakht ve ark. (2014), çalışmalarında mikrodalga uygulama ile tek tabaka halinde kurutulmuş ekşi nar tanelerinin enerji ve ekserji analizlerini incelemiştir. Kurutma parametrelerinin değerlendirilmesi için 3 farklı sıcaklık düzeyi (50, 60 ve 70 °C) ve hava hızı (0,5; 1 ve 1,5 m/s) test edilmiştir. Enerji kullanımı ve enerji kullanım oranı kuruma süresi ile artarken ekserji verimliliği azalmıştır. Konvektif kurutmaya yardımcı mikrodalga ön kurutma uygulaması,

azalan enerji kullanımı ve kuruma süresi ile sonuçlanmıştır. En düşük ekserji kaybı ve ekserji verimliliği de mikrodalga ön kurutma uygulaması ile elde edilmiştir. Yapay sinir ağları (ANN), kurutma öncesi koşullar ile ilgili olan enerji ve ekserji kriterlerinin belirlenmesinde makul bir şekilde yerine getirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kurutma parametrelerinin tahmin edilmesi için geriye yayımlı deneme algoritmasının uygun olduğunu göstermiştir. Kurutma sonrası parametreler tahmin yüzey tepki yöntemi (RSM) ile de hesaplanmıştır. Kurutma öncesi parametrelere dayalı regresyon katsayısı (R^2) değerleri hem ANN hem de RSM modelleri için elde edilmiştir.

Horuz ve Maskan (2015), çalışmalarında nar tanelerinin sıcak hava ve mikrodalga yöntemiyle kurutulmasında materyalin kuruma davranışı, büzülme, yeniden su alma kapasitesi, hacim ağırlığı ve renk değişimini incelemişlerdir. Konvektif kurutmada 50, 60, 70 °C hava sıcaklığı ve 1 m/s hava hızı seçilmiştir. Mikrodalga güç seviyesi olarak da 210, 350, 490 W seçilmiştir. Yapılan çalışmada her iki yöntem içinde en uygun kurutma modelinin Page eşitliği olduğu belirtilmiştir. Beklendiği üzere, sıcaklık ve mikrodalga güç artışı kuruma süresini kısaltmıştır. Kuruma oranının mikrodalga yönteminde, konvektif kurutmadan 5 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Konvektif yöntemle kurutulmuş örneklerde büzülmenin mikrodalga ile kurutulmuş örneklere göre daha fazla olduğu görülmüştür. Kurutulmuş nar tanelerinin yeniden su alma kapasitesi yönünden istatistiksel yönden farklı olmadığı belirlenmiştir. Konvektif yöntemle kurutulmuş örneklerin özgül kütlesi mikrodalga yöntemiyle kurutulmuş örneklere kıyasla daha fazla bulunmuştur.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Bu çalışmada, 2014 yılında Tarsus' ta yetiştirilen ve hasat edilen Hicaz nar çeşidi nar kullanılmıştır (Şekil 3.1). Hicaz nar çeşidi, geççi mayhoş narlar arasında en küçük meyvelere sahip olan çeşittir. Verimlilik açısından en yüksek değerlere sahiptir. Meyve kütlesi ortalama 350 g, meyve eni ortalama 91 mm' dir. Meyve kabuk rengi sarı zemin üzerine % 95 kırmızıdır. Daneler koyu kırmızı renkte ve 100 danesinin ortalama kütlesi 26,1 g' dır. Çekirdekleri serttir. Suda çözünebilir kuru madde içeriği diğer çeşitlere göre oldukça yüksektir. Akdeniz Bölgesinin sahil ve geçit yörelerinde yetiştirme koşulları uygundur (Onur, 1983). Hicaz nar çeşidinin raf ömrü uzun, depolama süresi çok yüksektir. En uzun süre muhafaza edilen çeşitler arasında yer almaktadır. Adi koşullarda bile plastik torbalar içinde 3 ay kadar muhafaza edilebilmektedir (Yılmaz, 2007).



Şekil 3.1. Hicaznar çeşidine ait nar meyvesi ve taneleri

3.1.1. Kullanılan Alet ve Ekipmanlar

Medcenter marka VD 55 model vakumlu etüv: Kurutma işlemlerinin yapıldığı vakumlu etüv 400x320x480 mm iç ebatlarında ve paslanmaz çelikten imal edilmiş ve 50 Hz frekansta 220 VAC şebeke geriliminde çalışmakta ve 0,4 °C duyarlılıktadır (Şekil 3.2). Etüv PLC kontrollü olup, 200 °C' ye kadar çalışabilmektedir. En yüksek vakum değeri 5 mbar olup, 100 °C' ye 65 dakika içerisinde ulaşabilmektedir. Denemelerde vakum uygulanmamıştır. Fırın içerisine kızılötesi ışınım yayan 8 adet Philips marka halojen lambalar ilave edilmiştir. Halojen lambalar Elimko marka bir PLC ile kontrol edilmektedir. Ürün sıcaklığı bir adet sıcaklık ölçer vasıtasıyla ölçülmektedir. Otomatik tartım için ise 0,01 gram hassasiyetli yük ölçer monte edilmiştir. Yük ölçerin düzgün çalışabilmesi için yük ölçerin her iki plakası bakır borularla sarılarak oluşturulmuş soğutma sistemi ve bu sistemin üzerinde bulunan izolasyon malzemeleri ile sıcaklıktan etkilenmesi engellenmiştir.



Şekil 3.2. Vakumlu etüv

Mikrodalga fırın: Denemelerde mutfak tipi mikrodalga fırın kullanılmıştır (Şekil 3.3). Fırın 2450 MHz' de 900 W güçte çalıştırılabilmekte ve mikrodalga çalışma süresi harici kontrol ünitesi ile değiştirilmektedir. Fırın boyutları; 215x340x350 mm olup fırın içerisinde bir de fan bulunmaktadır.



Şekil 3.3. Mikrodalga fırın

Hassas Terazi: Nar tanelerinin kurutulması sırasında örneklerin tartıldığı hassas terazi Sartorius marka GM 1502 MODEL olup, $\pm 0,01$ g duyarlılıkta ve maksimum 1.500 g' a kadar tartım yapabilmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Hassas terazi

Nem Ölçer Cihazı: Ürün nem içerikleri ayrıca Ohaus MB45 nem ölçer cihazı ile her deneme öncesi ve sonrasında kontrol edilmiştir (Şekil 3.5). Nem ölçüm cihazı, 50 Hz frekansta ve 220 VAC şebeke geriliminde çalışmakta olup, 50-

200 °C sıcaklık aralığında ölçüm yapılabilmektedir. Cihaz 90 mm' lik bir ölçüm kabına sahip olup 190x150x350 mm boyutlarında ve 0,001 g duyarlılıkta ölçüm yapabilmekte ve bu değerlerin zamana bağlı fonksiyonlarını ve standart sapmalarını hesaplayarak kaydedebilmektedir. Nem tayini, katı madde tayini, nem geri kazanım tayini yapılabilmektedir.



Şekil 3.5. Nem ölçer cihazı

Renk Ölçer: Fiziksel ölçümlerin yapıldığı denemelerde Minolta marka CR 100 sayısal renk ölçer cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.6). Cihaz 0 ile 40 °C arasında çalışabilmektedir. Çapı 8 mm olan bir alanı ölçebilmekte ve yapılan ölçümlerde CIELAB, XYZ, Yxy ve L*a*b* değerlerini vermektedir.



Şekil 3.6. Renk ölçüm cihazı

3.2. Metod

Bu çalışmada Hicaz nar çeşidinden elde edilen nar taneleri ince tabaka halinde bölümümüzde bulunan etüvde kurutulmuştur. Denemelerin kızılötesi ışınım, sıcak hava ve mikrodalga yöntemi ile yapılması planlanmıştır. Kızılötesi ve sıcak hava ile kurutma yönteminde kurutma sıcaklıkları 50 ve 90 °C seçilmiştir. Mikrodalga ile kurutma yönteminde ise, 180, 360, 540 ve 720 W olmak üzere 4 farklı güç düzeyinde çalışılmıştır. Denemeler istatistiksel değerlendirme amacıyla 3 tekerrürlü yapılmıştır. Denemeler sırasında ürünün kuruma davranışı incelenerek kurutma parametreleri belirlenmiştir. Bu bağlamda ürün giriş nemi, ürün çıkış nemi, kuruma süresi ve kuru ve yaş ürünlerin renk skalasına bağlı olarak $L^*a^*b^*$ değerleri saptanmıştır. Ürün giriş nemi ve çıkış nemi hem yaş baza göre hem de kuru baza göre aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$X_{y.b.} = M_{su} / (M_{su} + M_{km}) \quad (3.1)$$

$$X_{k.b.} = M_{su} / M_{km} \quad (3.2)$$

Burada;

$X_{y.b.}$: 1 kg yaş materyaldeki nem miktarı (kg/kg)

$X_{k.b.}$: 1 kg kuru madde başına kg nem miktarı (kg/kg)

M_{su} : Üründeki nem miktarı (kg)

M_{km} : Üründeki kuru madde miktarı (kg)

Matematiksel Modeller :_Nar tanelerine ait kurutma verilerinden elde edilen kuruma eğrileri, 9 farklı tek tabaka kurutma modeli kullanılarak regresyon analizi yapılmıştır. Deneysel verilerden yararlanarak nem içeriği ile kuruma süresi arasında bir ilişki sağlanması amacı ile toplam 9 denklem istatistiksel olarak kıyaslanmıştır. Bu modeller sırasıyla; Difüzyon Yaklaşımı, Henderson ve Pabis, İki Terimli Üssel, Logaritmik, Midilli, Newton, Page, Verma ve Wang ve Singh Eşitlik Modelleri' dir. Kullanılan matematiksel modellerin eşitlikleri Çizelge 3.1' de verilmiştir. Kurutma sonrasında elde edilen verilerin istatistiksel analizleri SigmaPlot 14.0 programı kullanılarak yapılmıştır. Regresyon katsayısı (R^2), kuruma eğrilerinin yorumlanmasında ve uygun modelin seçilmesinde birincil ölçüt olarak alınmıştır. Düzeltilmiş R^2 (Adj R^2) ve tahminin standart hatası (SEE) gibi diğer istatistik parametreler de modellere olan uygunluğu değerlendirmek için kullanılmıştır.

Tahminin standart hatası, ampirik ve deneysel değerler arasındaki sapmayı gösterir. Bu değer in sifıra yakın olması arzu edilir (Kocayiğit, 2010).

Nar tanelerinin nem oranları aşağıdaki eşitlik kullanarak hesaplanmıştır.

$$NO = \frac{M_t - Me}{M_0 - Me} \quad (3.3)$$

Burada;

NO: nem oranı,

M_t : herhangi bir t anındaki nem içeriği,

M_0 : başlangıçtaki nem içeriği,

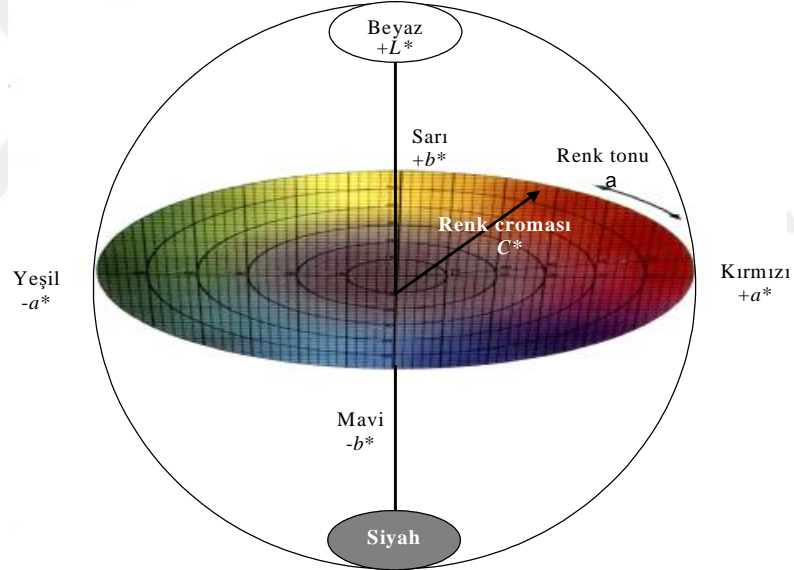
M_e : denge nemi' dir. (Karaaslan ve Erdem, 2014; Maskan, 2000; Ertekin ve Yıldız, 2004).

MC, ürün nem içeriğini ifade eder ve yaş veya kuru baza göre ifade edilir.

Çizelge 3.1. Nar tanelerinin kuruma eğrilerine uygulanan matematiksel modeller

No	Model	Model Eşitliği	Referans
1	Difüzyon Yaklaşımı	$MC=a \exp(-kt)+(1-a) \exp(-kbt)$	Minaei et al., 2012; Yıldız and Ertekin, 2001
2	Henderson ve Pabis	$MC=a \exp(-kt)$	Kingsly and Singh, 2007; Henderson and Pabis 1961, Chhinnman, 1984
3	İki Terimli Üssel	$MC=a \exp(-kt)+(1-a) \exp(-kat)$	Doymaz, 2011, Babalis et al., 2006
4	Logaritmik	$MC= a \exp(-kt) + c$	Pongtong et al., 2011
5	Midilli	$MC= a \exp(-kt^n)+bt$	Menges and Ertekin, 2005
6	Newton	$MC= \exp(-kt)$	Lewis, 1921
7	Page	$MC= \exp(-kt^n)$	Agrawal and Singh, 1977
8	Verma	$MC=a \exp(-kt)+(1-a) \exp(-gt)$	Minaei et al., 2012; Verma et al., 1985
9	Wang ve Singh	$MC= 1+at+bt^2$	Karaaslan and Erdem, 2014; Wang and Singh, 1978

Renk Ölçümü: Ürün renk ölçümleri, Minolta C-100 marka renk ölçer cihazının C konumunda $L^*a^*b^*$ uygulamasında yapılmıştır (Şekil 3.7). Cihazın kalibrasyonunda Minolta beyaz renk standardı kullanılmıştır. L^* rengin parlaklığında meydana gelen değişimleri göstermektedir. L^* değeri 100' e yaklaştıkça maksimum değerini almakta ve bu renge gönderilen ışığın %100' ünün yansımaya esasına dayanmaktadır. a^* değeri yeşilden kırmızıya, b^* değeri ise maviden sarıya renk değişimini göstermektedir. a^* ' nin pozitif değerleri kırmızı, negatif değerleri yeşil rengi; b^* ' nin ise pozitif değerleri sarı, negatif değerleri mavi rengi göstermektedir. Değerlerin artan biçimde negatif veya pozitif olmaları rengin koyulaşması anlamına gelmektedir.



Şekil 3.7. $L^*a^*b^*$ renk uzayının şematik görünümü (Soysal, 2000)

İstatistiksel Analizler: Mikrodalga, kızılötesi ve konvektif kurutma yöntemleriyle kurutulmuş nar taneleri ile taze nar tanelerine ait renk parametreleri ölçülmüştür. Elde edilen veriler SPSS 20.0 programı kullanılarak One-Way Anova yöntemi ile analiz edilmiştir. Gruplara ait alt sınıflama işlemi ise Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Sıcak Hava ve Kızılötesi Işınım Enerjisi ile Kurutma

Sıcak hava ve kızılötesi ışınlama enerjisi ile kurutma işlemleri, daha önceki çalışmalar göz önünde bulundurularak 2 farklı sıcaklık düzeyinde; 50 ve 90 °C' de gerçekleştirilmiştir. Kingsly ve Singh (2007) yaptıkları çalışmada taze nar tanelerini 50, 55 ve 60 °C sıcaklıklarda kurutma kabinlerinde konvektif kurutma yöntemiyle kurutmuşlardır. Alaei ve Chayjan (2014), nar tanelerinin kızılötesi vakum kombinasyonu ile kurutma yöntemiyle kurutulmasını modelledikleri çalışmada 60, 70, 80 ve 90 °C kurutma sıcaklıklarını denemişlerdir. Bu yüzden bu çalışmada en düşük 50 °C ve en yüksek 90 °C sıcaklık düzeyi seçilmiştir. Sıcak hava ve kızılötesi ışınlama ile kurutulan ürünlerin kuruma süreleri, ürün giriş ve çıkış nemleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Sıcak hava ile kurutmaya ilişkin sonuçlar

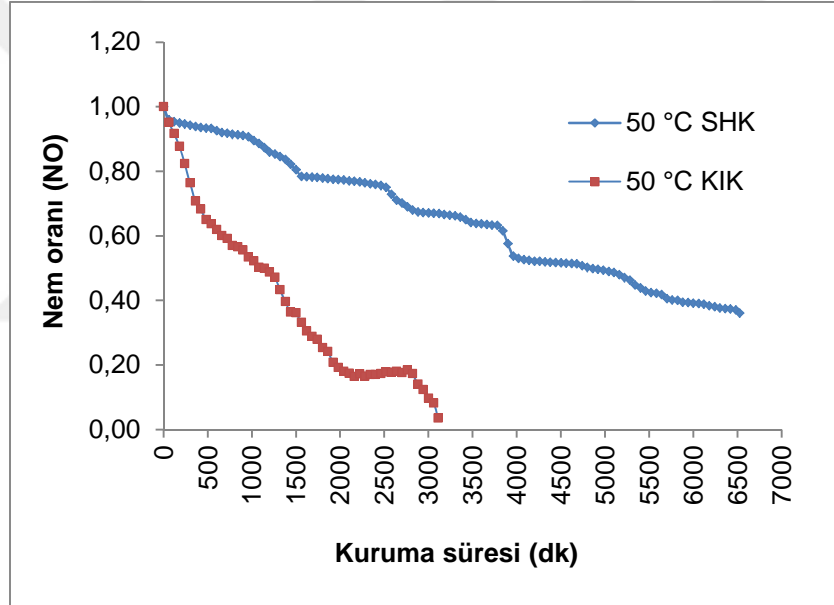
Hava sıcaklığı (°C)	Ürün giriş nemi (%, y.b.)	Ürün çıkış nemi (%, y.b.)	Kurutma süresi (dk)
50	74,56	51,34	6526
90	73,21	9,39	571

Buna göre sıcak hava ile yapılan kurutmada, taze nar tanelerinin 50 ve 90 °C' de sırasıyla 6526 ve 571 dakika sürede kurudukları belirlenmiştir. Kızılötesi ışınlama ile kurutulan ürünlerin 79-3109 dakika arasında değişen sürelerde kurudukları belirlenmiş olup kuruma sürelerinin sıcak hava ile kurutma yöntemine göre daha kısa olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle 90 °C' de kızılötesi ışınlama ile kurutma süresi atmosferik sıcak havaya göre 8 kat daha kısa bir sürede gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.2. Kızılötesi ışınlam enerjisi ile kurutmaya ilişkin sonuçlar

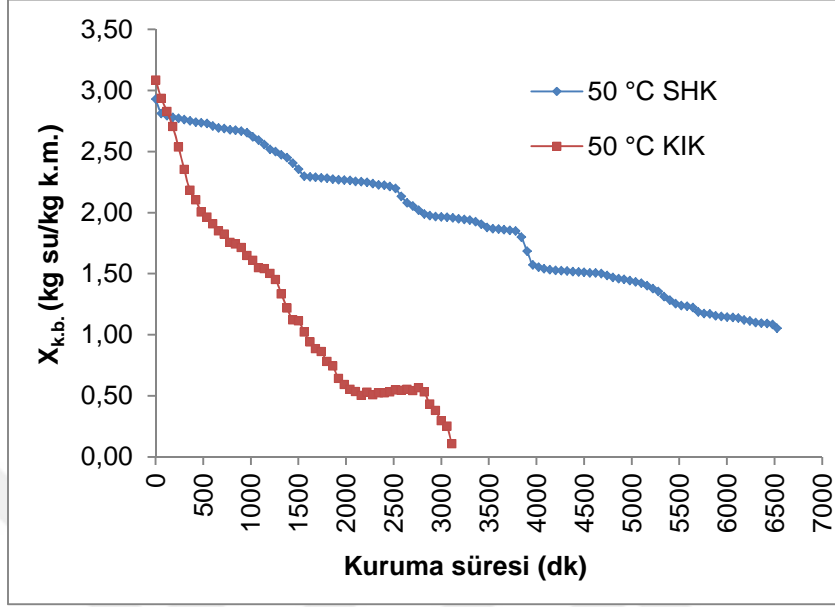
Hava sıcaklığı (°C)	Ürün giriş nemi (%, y.b.)	Ürün çıkış nemi (%, y.b.)	Kuruma süresi (dk)
50	75,52	9,82	3109
90	74,35	8,61	76

50 ve 90 °C’ de sıcak hava ve kızılötesi ışınlam enerjisi ile yapılan kurutma denemelerine ait nem oranı ve ürün nem değerleri Şekil 4.1; 4.2; 4.3 ve 4.4’ de verilmiştir.



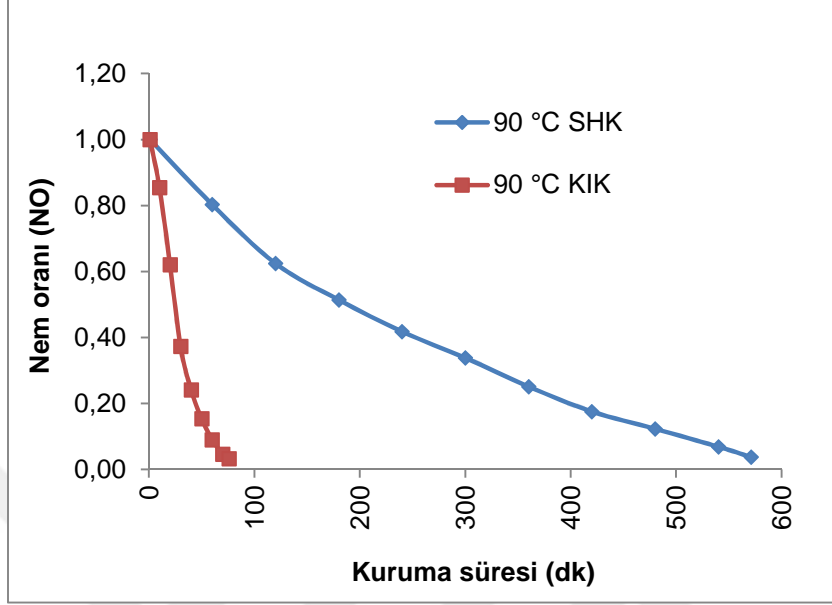
Şekil 4.1. 50 °C’ de sıcak hava ve kızılötesi ışınlam enerjisi ile kurutulan örneklere ait nem oranı değerleri

50 °C’ de sıcak hava ve kızılötesi ışınlam enerjisi ile yapılan kurutma denemelerinde kuruma süresi arttıkça nem oranı giderek azalmıştır. Aynı kurutma havası sıcaklığında, kızılötesi ışınlam ile yapılan kurutma işlemi, sıcak hava ile kurutma işlemine göre yaklaşık 2 kat daha kısa sürede gerçekleşmiştir.



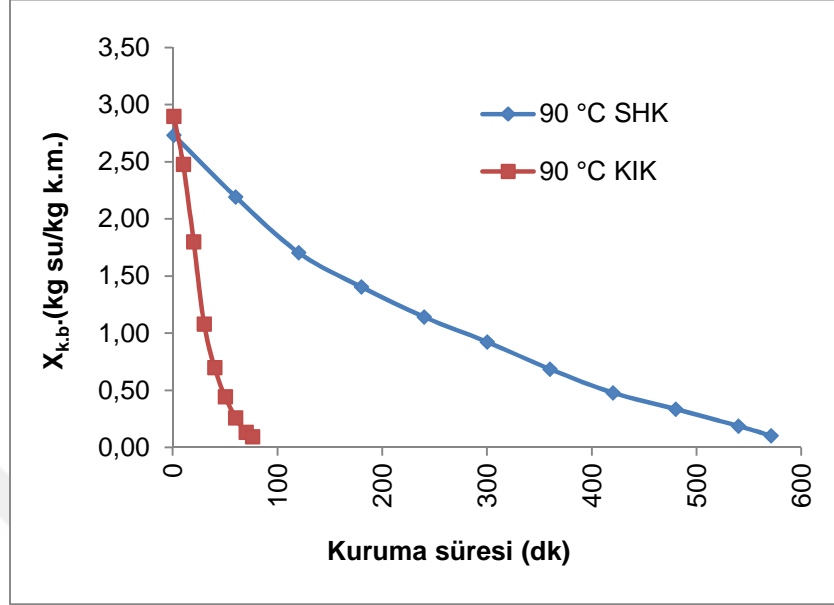
Şekil 4.2. 50 °C’ de sıcak hava ve kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutulan örneklere ait ürün nem değerleri

50 °C’ de sıcak hava ve kızılötesi ışınım enerjisi ile yapılan kurutma denemelerinde başlangıçta % 74,56 ve % 75,52 olan ürün nem değerleri kuruma süresinin artmasıyla azalmıştır. Sıcak hava ile yapılan denemelerde ürün çıkış nemi ile ortam nemi % 51,34’ de dengelenmiştir.



Şekil 4.3. 90 °C’ de sıcak hava ve kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutulan örneklere ait nem oranı değerleri

90 °C’ de sıcak hava ve kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutulan ürünlerin nem oranı beklenildiği gibi kuruma süresinin artması ile azalmıştır. Nar tanelerinin kuruması azalan hız periyodunda gerçekleşmiştir. Kızılötesi ışınım ile kurutma yönteminde kuruma süresinin, hızlı nem kaybı nedeniyle, sıcak hava ile kurutma yöntemine göre daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4. 90 °C’ de sıcak hava ve kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutulan örneklere ait ürün nem değerleri

90 °C’ de sıcak hava ve kızılötesi ışınım enerjisi ile yapılan kurutma denemelerinde kuruma süresi arttıkça ürün nemi katlanarak azalmıştır. Aynı kurutma havası sıcaklığında, sıcak hava ile yapılan kurutma işlemi 571 dakika sürerken bu işlem kızılötesi kurutma yöntemiyle 76 dakikada gerçekleşmiştir.

Başka bir deyişle; kızılötesi ışınım ile kurutma işlemi, sıcak hava ile kurutma işlemine göre neredeyse 8 kat daha kısa sürede gerçekleşmiştir.

4.2. Mikrodalga Enerjisi ile Kurutma

Mikrodalga enerjisi ile kurutma işlemleri 4 farklı güç kademesinde; 180 W, 360 W, 540 W ve 720 W ‘ de gerçekleşmiştir. Horuz ve Maskan’ ın (2015) nar tanelerini sıcak hava ve mikrodalga yöntemiyle kuruttukları çalışmada, mikrodalga güç seviyesi olarak 210 W, 350 W ve 490 W seçilmiştir. Minaei ve arkadaşları (2012) nar tanelerini mikrodalga yöntemi ile 100 W, 200 W ve 300 W güç

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA Beyza ÖZTÜRK ERDEM

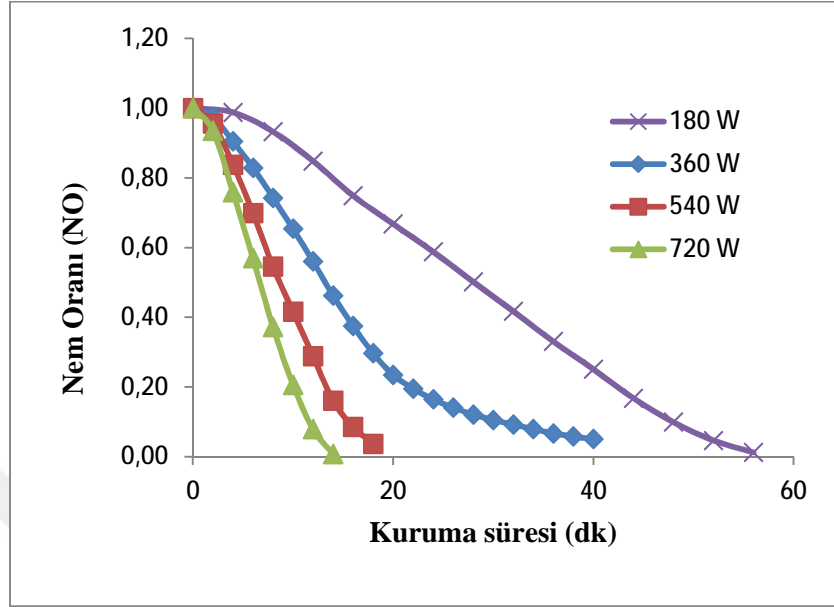
seviyesinde kurutmuşlardır. Mikrodalga enerjisi ile kurutulan ürünlerin kuruma süreleri, ürün giriş ve çıkış nem değerleri Çizelge 4.3' te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Mikrodalga enerjisi ile kurutmaya ilişkin sonuçlar

Mikrodalga güç kademesi	Ürün giriş nemi	Ürün çıkış nemi	Kuruma süresi
(W)	(%)	(%)	(dk)
180	74,43	3,44	56
360	75,63	13,56	40
540	73,42	10,29	18
720	76,45	2,48	14

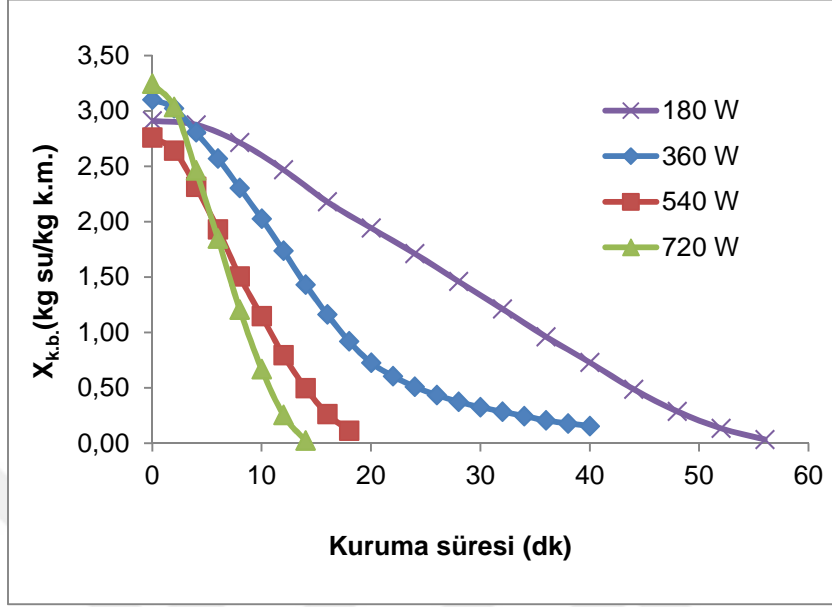
Buna göre taze tar tanelerinin 14-56 dakika arasında değişen sürelerde kurdukları belirlenmiştir. Beklenildiği üzere kuruma süresi mikrodalga gücünün artmasıyla azalmıştır. Mikrodalga enerjisi ile kurutma yönteminde en yüksek kuruma hızı 720 W güç düzeyinde sağlanmıştır.

Mikrodalga enerjisi ile farklı güç seviyelerinde gerçekleştirilen kurutma denemelerine ait nem oranı ve ürün nem değerleri Şekil 4.5 ve 4.6' da verilmiştir.



Şekil 4.5. Mikrodalga enerjisi ile kurutulan örneklere ait nem oranı değerleri

Mikrodalga enerjisi ile kurutma denemelerinde nem oranı, mikrodalga güç düzeyinin artmasıyla azalmıştır. Artan mikrodalga güç seviyesi beklenildiği üzere kuruma süresini kısaltmıştır.



Şekil 4.6. Mikrodalga enerjisi ile kurutulan örneklere ait ürün nem değerleri

Mikrodalga ile yapılan kurutma denemelerinde mikrodalga güç seviyesi arttıkça ürünler daha kısa sürede kurumuştur. Nar tanelerinin nem içeriği mikrodalga güç seviyesinin artmasıyla azalmıştır. 180–360 W ve 540–720 W güç seviyelerinde kuruma sürelerinin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Bu araştırmada uygulanan kurutma yöntemlerinin sonuçlarına göre; sıcak hava ile yapılan kurutma denemelerinde en kısa kuruma süresine 9,5 saat ile 90 °C’ de ve kızılötesi ışınım enerjisi ile yapılan kurutma denemelerinde ise en kısa kuruma süresine 1,2 saat ile 90 °C’de ulaşılmıştır. Mikrodalga enerjisi ile yapılan kurutma denemelerinde en kısa kurutma süresi 14 dakika ile 720 W’ de gerçekleşmiştir.

4.3. Renk Parametrelerinin Değerlendirilmesi

Ürün rengi tüketici tercihlerini ve ürünlerin kalitesini belirleyen en önemli parametrelerden biridir. Renk parametreleri; kurutma yöntemleri, ürün yığın yoğunluğu, dilim veya partikül boyutları, ön işleme, kurutma sıcaklığı ve kuruma sürelerinden etkilenmektedir.

Renk parametreleri kurutma öncesi ve kurutma sonrasında ölçülerek nar tanelerinin renk değerleri üzerinde kurutma yöntemlerinin etkisi belirlenmiştir. Sıcak hava, kızılötesi ve mikrodalga enerji yöntemleriyle kurutulan ve taze nar tanelerine ait $L^*a^*b^*$ değerleri Şekil 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12' de verilmiştir.

Renk parametre değerleri One-Way Anova yöntemi kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiş ($p<0,05$) ve gruplar arasındaki fark önemli bulunmuştur (Çizelge 4.5). Alt gruplara ait sınıflama işlemi Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi kullanılarak yapılmıştır.

L^* değerleri ürünün parlaklığını göstermektedir. Kurutma sıcaklığının artmasıyla birlikte sıcak hava (SHK) ve kızılötesi (KIK) ışınlama ile kurutulan nar tanelerine ait L^* değerlerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 4.7). 50 °C kızılötesi ışınlama enerjisi ile kurutma denemelerinde L^* değerleri 26,18 ile en yüksek değere ulaşmıştır. Bununla birlikte 90 °C kızılötesi ışınlama enerjisi ile kurutma işlemi dışında, diğer koşullarda kurutulan ürünlerle taze nar taneleri arasında istatistiksel olarak ($p<0,05$) önemli bir fark bulunmamıştır (Çizelge 4.4).

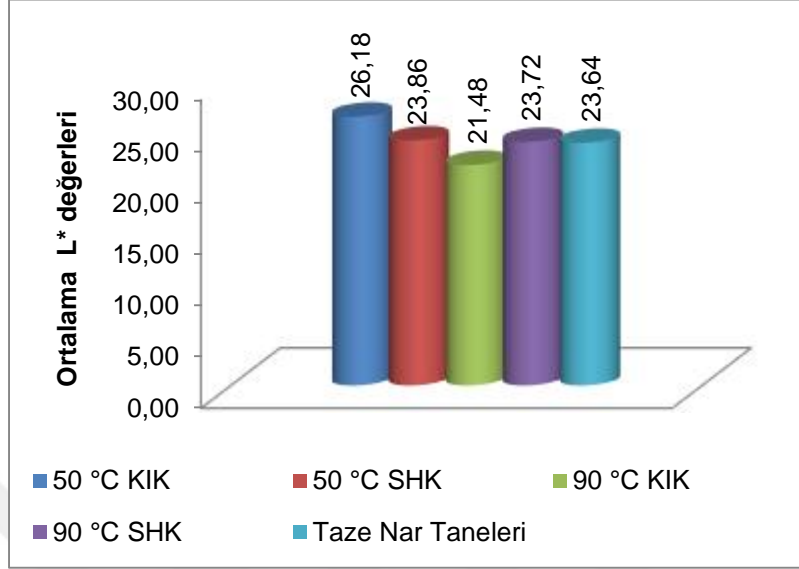
Mikrodalga enerji ile 180, 360 ve 720 W güç seviyelerinde kurutulan nar tanelerine ait L^* değerleri ile kurutulmamış örneklerin L^* değerleri arasında da istatistiksel olarak ($p<0,05$) önemli bir fark bulunmamıştır (Çizelge 4.4, Şekil 4.8).

Çizelge 4.4. Farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan nar tanelerinin L*a*b* değerleri

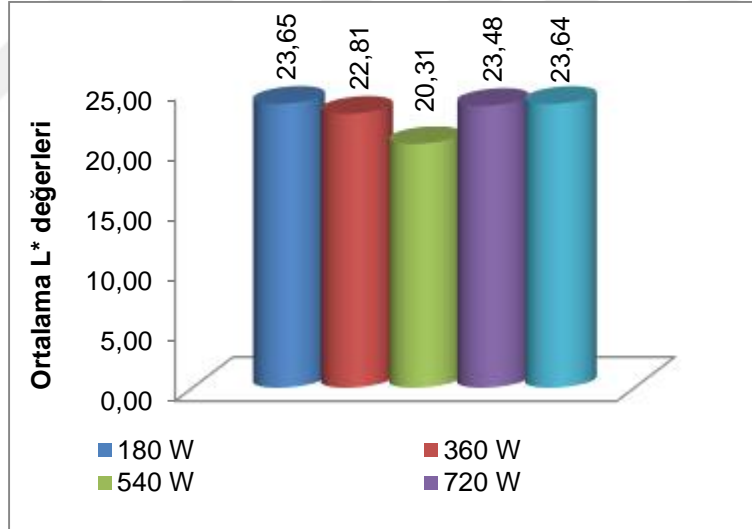
Renk Parametreleri	Sıcak Hava ile Kurutma		Kızılötesi Kurutma		Mikrodalga Kurutma				
	Taze	50 °C	90 °C	50 °C	90 °C	180 W	360 W	540 W	720 W
L* (parlaklık)	23,6367 ^b	23,8633 ^b	23,7233 ^b	26,1833 ^c	21,4833 ^{ab}	23,6367 ^b	22,8133 ^b	20,3067 ^a	23,4767 ^b
a* (kırmızı)	14,7900 ^{bc}	13,9200 ^{ab}	12,6833 ^{ab}	12,1933 ^a	13,7800 ^{ab}	16,4433 ^{bc}	14,2767 ^{ab}	13,3467 ^{ab}	13,9467 ^{ab}
b* (yeşil)	10,8533 ^{cd}	10,3667 ^{bc}	13,4567 ^e	11,9433 ^d	10,5833 ^c	11,4533 ^{cd}	9,3033 ^{ab}	8,5800 ^a	8,8900 ^a

Çizelge 4.5. L*a*b* değerlerine ait istatistiksel analiz sonuçları

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
b	Between Groups	584,937	8	73,117	12,875	,000
	Within Groups	1482,170	261	5,679		
	Total	2067,107	269			
a	Between Groups	363,299	8	45,412	3,328	,001
	Within Groups	3561,900	261	13,647		
	Total	3925,199	269			
L	Between Groups	646,092	8	80,761	4,678	,000
	Within Groups	4506,238	261	17,265		
	Total	5152,330	269			



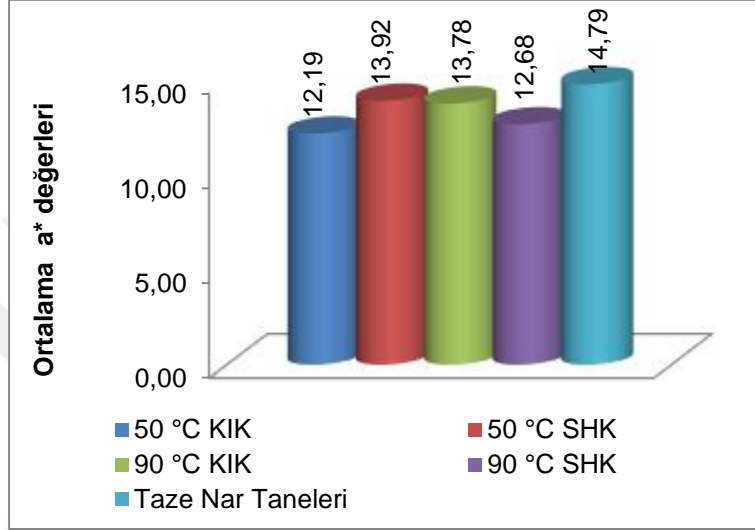
Şekil 4.7. Sıcak hava ve kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutulan denemelerine ait örneklerin ortalama L* değerleri



Şekil 4.8. Mikrodalga enerji ile kurutma denemelerine ait örneklerin ortalama L* değerleri

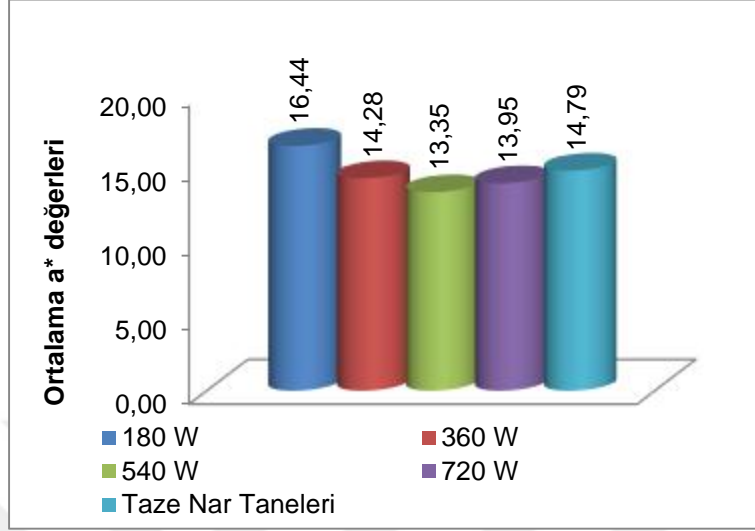
Sıcak hava ve kızılötesi ışınım ile kurutulan ürünler ile taze nar tanelerine ait a* değerleri Şekil 4.9' da verilmiştir. a* değerleri artan oranda kırmızılık ve

kahverengileşmeyi ifade etmektedir. 50 °C kızılötesi ışıma enerjisi haricinde diğer koşullarda kurutulan tanelerine ait a* değerleri arasında istatistiksel olarak ($p<0,05$) önemli bir fark bulunmamıştır (Çizelge 4.4).



Şekil 4.9. Sıcak hava ve kızılötesi ışıma enerjisi ile kurutma yöntemlerine ait örneklerin ortalama a* değerleri

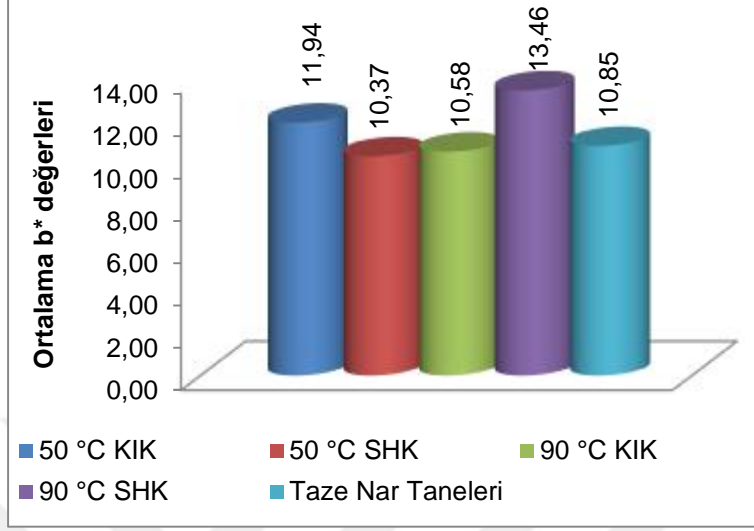
Mikrodalga enerjisi ile kurutulan nar tanelerinin a* değerleri ile taze nar taneleri arasında istatistiksel olarak ($p<0,05$) önemli bir fark bulunmamıştır (Çizelge 4.4). Özellikle 180 W güç seviyesinde kurutulan ürünlerle taze nar taneleri aynı gruba düşmüştür.



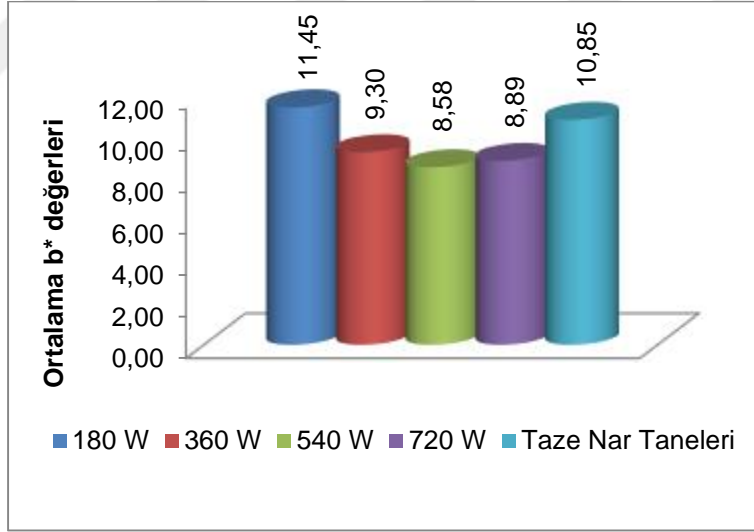
Şekil 4.10. Mikrodalga enerji ile kurutma denemelerine ait örneklerin ortalama a* değerleri

90 °C sıcak hava ile kurutulan tanelerin b* değerleri diğer koşullarda kurutulan nar tanelerinin b* değerleriyle kıyaslandığında istatistiksel olarak farklı gruplara düşmüştür (Çizelge 4.4). Diğer koşullarda (50 °C SHK, 50 °C KIK, 90 °C KIK) b* değerleri arasında istatistiksel olarak ($p < 0,05$) önemli bir fark bulunmamıştır.

Mikrodalga ile kurutulan ürünlerin b* değerleri kıyaslandığında taze nar taneleri ile 180 W güç düzeyinde kurutulan ürünlerin b* değerleri aynı gruba düşmüştür. Bununla birlikte diğer güç seviyelerinde kurutulan ürünlerin b* değerleri ile taze nar tanelerinin b* değerleri arasında istatistiksel olarak ($p < 0,05$) fark önemli bulunmuştur.



Şekil 4.11. Sıcak hava ve kızılötesi kurutma yöntemlerine ait örneklerin ortalama b* değerleri



Şekil 4.12. Mikrodalga enerji ile kurutma denemelerine ait örneklerin ortalama b* değerleri

L*a*b* değerlerinin kuruma süresi ve kuruma sıcaklığına bağlı olarak değişim gösterdiği daha önceki çalışmalarda da bildirilmiştir (Başlar ve ark., 2014; Bchir ve ark., 2012 ve Vega-Galvez ve ark., 2009). Yapılan denemelerde elde edilen sonuçlar daha önceki yapılan çalışmalarla uyumluluk göstermektedir. Sıcak hava ve kızılötesi ışınım enerjisi uygulamasında kuruma süresi ve sıcaklığın artmasıyla renk parametreleri de değişiklik göstermiştir. Mikrodalga uygulamada ise en düşük güç seviyesinde değişimin sınırlı kaldığı ve taze nar tanelerinin renk parametreleriyle benzerlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durumun başlıca sebepleri en düşük güç seviyesinde ürün iç sıcaklığının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Oysa 360, 540 ve 720 W mikrodalga güç seviyelerinde renk parametrelerinin taze nar tanelerinden ayrıldığı görülmektedir.

4.4. Matematiksel Modelleme ve İstatistiksel Analiz Sonuçları

Sıcak hava ve kızılötesi ışınım yöntemi ile 50 ve 90 °C' de nar tanelerinin kurutulması sonucu elde edilen verilerin 9 farklı kurutma modelindeki analizleri Çizelge 4.6' da verilmiştir.

Non-linear regresyon analizleri, nar tanelerinin sıcak hava ve kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutulması sonucu en uygun matematiksel modellemeyi belirlemek için kullanılmıştır. Nar tanelerinin tek tabaka kurutulması sonucu verilerin yorumlanmasında regresyon katsayısı (R^2) ve düzeltilmiş R^2 (Adj R^2) değeri en yüksek, tahmini hata oranı (SEE) değeri en düşük bulunan model en iyi model olarak tanımlanmıştır. Yani farklı kuruma sıcaklıklarındaki kuruma eğrilerinin farklı matematiksel modellere uyumu yüksek R^2 ve düşük SEE' ye dayanmaktadır.

Bir denklemin uygunluğu tespitinde yüksek R^2 , düşük SEE değerlerine bakılır (Sarsavadia ve ark., 1999). Regresyon katsayısı (R^2), ürünlerin kuruma eğrilerini tanımlayan en iyi eşitliği belirlemek için ana kriter olarak seçilmiştir. Tahminin standart hatası (SEE), model ile elde edilen tahmini değerler ile deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Yapılan istatistik değerlendirmelere

göre Henderson & Pabis ve Midilli modeli nar tanelerinin kuruma davranışlarına en iyi uyumu göstermiştir.

50 °C’ de kızılötesi ışınlı enerji ile yapılan kurutma denemelerinde Henderson & Pabis modeli en iyi uygunluğu sağlarken, 50 °C sıcak hava ve 90 °C sıcak hava ve kızılötesi ışınlı enerji ile kurutma yönteminde Midilli modeli en uygun model olmuştur. Henderson & Pabis modeli için R² değeri 0,98’ den büyük, Midilli modeli için R² değeri 0,9918-0,9989 değerleri arasındadır. Elde edilen bulgulara göre, Henderson & Pabis ve Midilli modelinin, diğer modellere göre daha iyi sonuçları verdikleri ve nar tanelerinin kurutma karakteristiklerini açıklamada en uygun model oldukları söylenebilir. Doymaz (2011) ve (2012), Motevali ve ark. (2010) ve Pongtong (2011) çalışmalarında Midilli modelinin; Calin-Sanchez ve ark. (2014), çalışmalarında Henderson & Pabis modelinin deneysel verilere en iyi uyum sağlayan model olduğunu belirtmişlerdir.

Çizelge 4.6. Matematiksel modellemelere ait istatistiksel analiz sonuçları

No	50 °C						90 °C					
	Kızılötesi ışınlm			Sıcak hava			Kızılötesi ışınlm			Sıcak Hava		
	R ²	Adj R ²	SEE(±)	R ²	Adj R ²	SEE(±)	R ²	Adj R ²	SEE(±)	R ²	Adj R ²	SEE(±)
1	0,9809	0,9808	0,1054	0,9816	0,9815	0,0741	0,9963	0,9950	0,0741	0,9905	0,9901	0,0732
2	0,9896	0,9895	0,0219	0,9824	0,9822	0,0737	0,9771	0,9738	0,1704	0,9904	0,9902	0,073
3	0,7842	0,7835	0,3541	0,5490	0,5484	0,3662	0,8995	0,8852	0,3566	0,805	0,8016	0,3282
4	0,9817	0,9816	0,1032	0,9913	0,9912	0,051	0,9893	0,9857	0,126	0,997	0,9969	0,0408
5	0,9818	0,9817	0,1031	0,9918	0,9918	0,0493	0,9989	0,9983	0,0438	0,9984	0,9983	0,0301
6	NAN	NAN	NAN	NAN	NAN	NAN	0,1448	0,1448	0,9733	0,1042	0,1042	0,6973
7	0,2313	0,2288	0,6684	0,3933	0,3924	0,4248	0,4446	0,3652	0,8385	0,2732	0,2602	0,6337
8	0,9809	0,9808	0,1054	0,9816	0,9815	0,0741	0,9963	0,995	0,0741	0,9905	0,9901	0,732
9	0,2837	0,2814	0,6452	NAN	NAN	NAN	0,3195	0,2223	0,9282	0,4129	0,4024	0,5695

Mikrodalga ile farklı güç seviyelerinde kurutulan nar tanelerine ait kurutma verileri de 9 farklı matematiksel modelde çalışılmış ve istatistiksel analizlerin sonuçları Çizelge 4.7' de verilmiştir.

Deneme sonuçlarına göre, mikrodalga kurutma işleminde Midilli modeli nar tanelerinin kurutma karakteristiklerini tanımlayan en iyi model olmuştur. Çünkü Midilli modeli diğer modellere kıyasla en yüksek R^2 ve en düşük SEE değerlerine sahiptir. Midilli modelinin R^2 değerleri 0,9769 – 0,9998; SEE değerleri 0,0206-0,1686 değerleri arasındadır. Bundan dolayı Midilli modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuçları verdiği ve nar tanelerinin kuruma davranışlarını daha iyi açıkladığı varsayılabilir. Minaei ve ark. (2012), çalışmalarında nar tanelerinin kurutulmasında en uygun modelin Midilli olduğunu açıklamışlardır.

Çizelge 4.7. Mikrodalga enerji ile kurutma denemelerine ait matematiksel modellemelerin istatistiksel analiz sonuçları

No	180 W			360 W			540 W			720 W		
	R ²	Adj R ²	SEE(±)	R ²	Adj R ²	SEE(±)	R ²	Adj R ²	SEE(±)	R ²	Adj R ²	SEE(±)
1	0,7206	0,674	0,58	0,791	0,7678	0,5016	0,5429	0,4123	0,6939	0,5989	0,4384	0,8554
2	0,9237	0,9178	0,2913	0,9711	0,9696	0,1815	0,9319	0,9233	0,2723	0,9072	0,8918	0,3755
3	0,7206	0,6991	0,5573	0,7885	0,7773	0,4912	0,5418	0,4845	0,6499	0,5829	0,5134	0,7962
4	0,9943	0,9933	0,829	0,9816	0,9796	0,1488	0,9386	0,9211	0,2542	0,9875	0,9825	0,1511
5	0,9993	0,9991	0,0312	0,9993	0,9992	0,03	0,9769	0,9653	0,1686	0,9998	0,9997	0,0206
6	NAN	NAN	NAN	0,051	0,51	1,0141	NAN	NAN	NAN	NAN	NAN	NAN
7	NAN	NAN	NAN	0,168	0,1242	0,9742	NAN	NAN	NAN	0,1001	-0,0499	1,1695
8	0,7206	0,674	0,58	0,791	0,7678	0,5016	0,6346	0,5302	0,6742	0,5989	0,4384	0,8554
9	0,3486	0,2985	0,8509	0,2616	0,2228	0,9177	0,3071	0,2205	0,8684	0,3355	0,2247	1,005

50 ve 90 °C’ de sıcak hava ile kurutma işlemleri sonucu elde edilen veriler istatistik olarak analiz edilmiş ve en iyi uygunluğu gösteren Midilli modeline ait katsayılar Çizelge 4.8.’ de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Sıcak hava ile kurutma denemelerine ait model katsayıları

Kurutma sıcaklığı (°C)	Model	Model katsayıları	R ²	Adj R ²	SEE(±)
50	Midilli	a= 2,8298 b= -2,2461e ⁻⁵ k= 1,3100e ⁻⁵ n= 1,2646	0,9918	0,9918	0,0493
90	Midilli	a= 2,8100 b= -0,0009 k= 0,0086 n= 0,8078	0,9984	0,9983	0,0301

Kızılötesi ışınm enerjisi ile 50 ve 90 °C’de kurutulan nar tanelerinin ürün nem değerleri istatistik olarak analiz edilmiş ve en iyi uygunluğu gösteren Henderson & Pabis ve Midilli modellerine ait model katsayıları Çizelge 4.9’ da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Kızılötesi ışınm enerjisi ile kurutma denemelerine ait model katsayıları

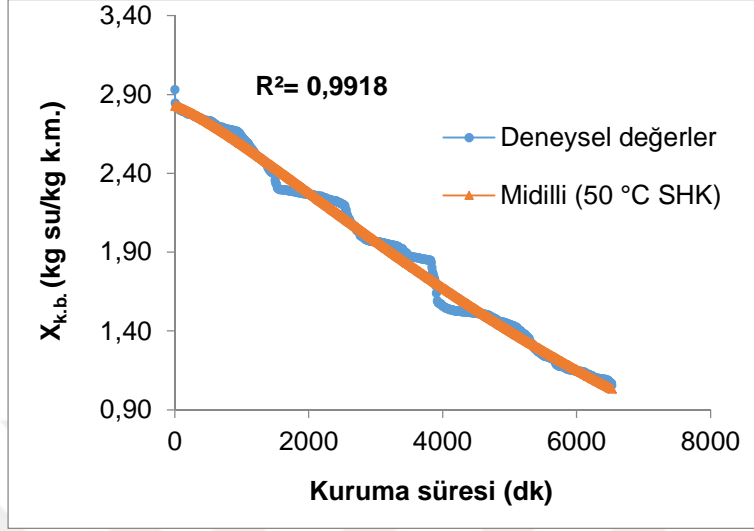
Kurutma sıcaklığı (°C)	Model	Model katsayıları	R ²	Adj R ²	SEE(±)
50	Henderson & Pabis	a= 3,1048 k= 8,6504e ⁻⁵	0,9896	0,9895	0,0219
90	Midilli	a= 2,9266 b= 0,0008 k= 0,0052 n= 1,5326	0,9989	0,9983	0,0438

Mikrodalga enerjisi ile farklı güç seviyelerinde kurutulan nar tanelerine ait veriler 9 farklı kurutma modelinde analiz edilmiş ve en yüksek R^2 ve en düşük SEE değerlerini veren Midilli modeline ilişkin model katsayıları Çizelge 4.10' da verilmiştir.

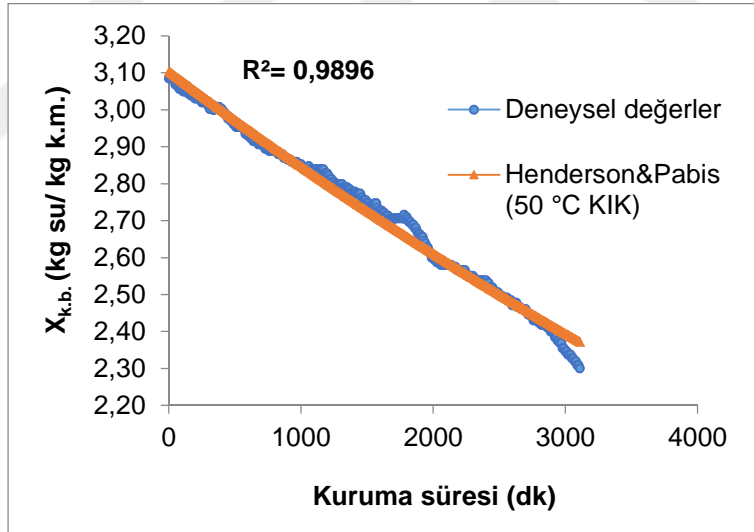
Çizelge 4.10. Mikrodalga kurutma denemelerine ait model katsayıları

Güç seviyesi (W)	Model	Model katsayıları	R^2	Adj R^2	SEE(\pm)
180	Midilli	a= 2,9415 b= -0,0088 k= 0,0020 n= 1,6817	0,9993	0,9991	0,0312
360	Midilli	a= 3,1000 b= 0,0045 k= 0,0091 n= 1,7052	0,9993	0,9992	0,0300
540	Midilli	a= 2,7056 b= 0,0281 k= 0,0088 n= 2,1501	0,9769	0,9653	0,1686
720	Midilli	a= 2,8941 b= -0,0200 k= 0,0170 n= 1,9097	0,9998	0,9997	0,0206

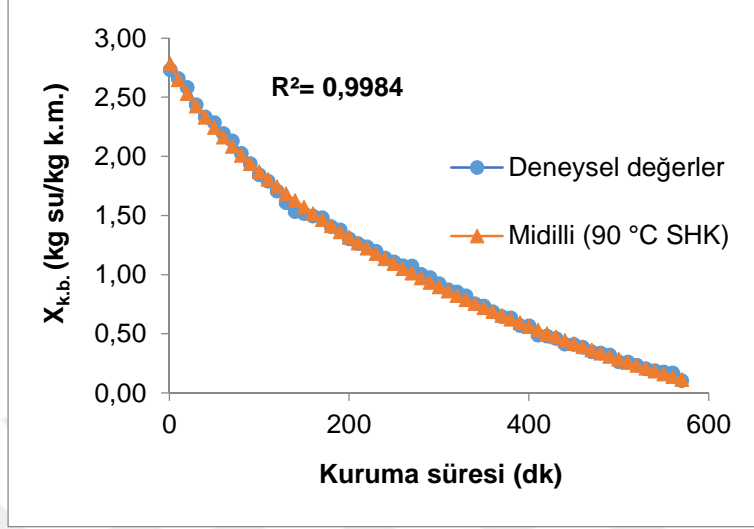
Matematiksel modellemeler sonucu elde edilen tahmini değerler ile deneysel değerler karşılaştırmalı olarak tüm koşullar için (50 °C ve 90 °C sıcak hava ve kızılötesi ışınım enerjisi, mikrodalga enerji güç seviyeleri; 180, 360, 540, 720 W) grafiksel olarak verilmiştir (Şekil 4.13-Şekil 4.20).



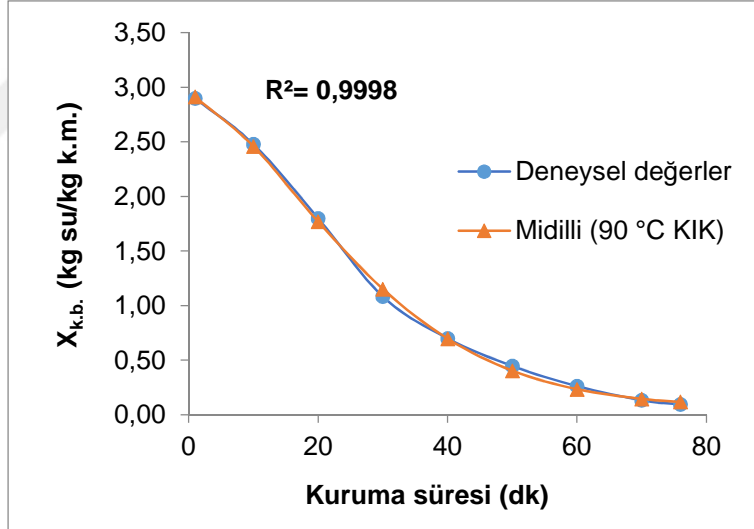
Şekil 4.13. 50 °C sıcak hava ile kurutma denemelerine ait deneysel ve tahmini değerlerin karşılaştırılması



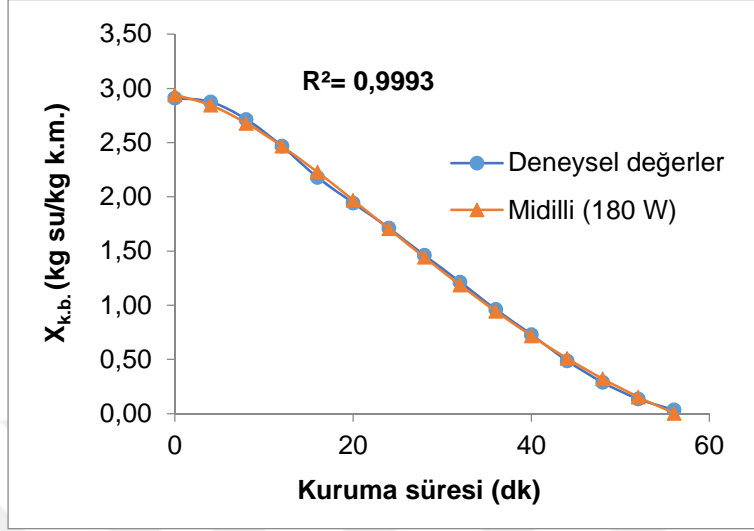
Şekil 4.14. 50 °C kızılötesi enerji ile kurutma denemelerine ait deneysel ve tahmini değerlerin karşılaştırılması



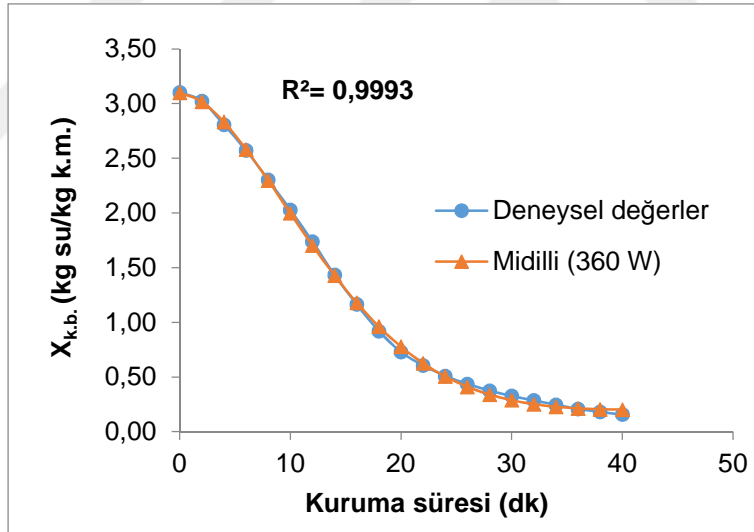
Şekil 4.15. 90 °C sıcak hava ile kurutma denemelerine ait deneysel ve tahmini değerlerin karşılaştırılması



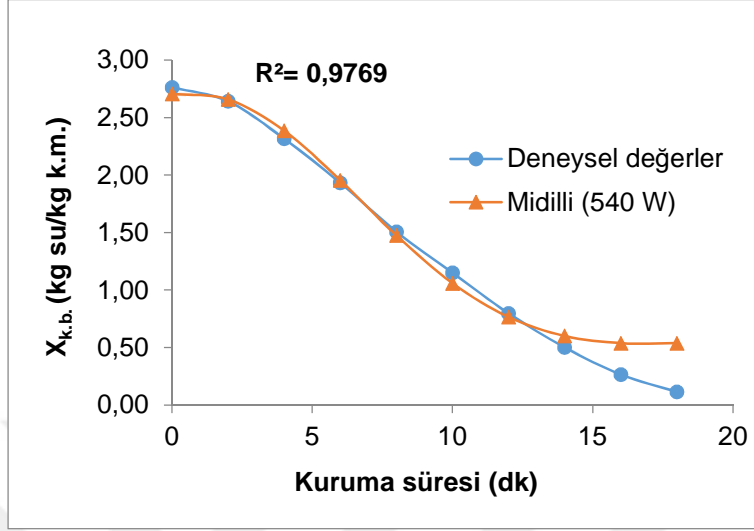
Şekil 4.16. 90 °C kızılötesi enerji ile kurutma denemelerine ait deneysel ve tahmini değerlerin karşılaştırılması



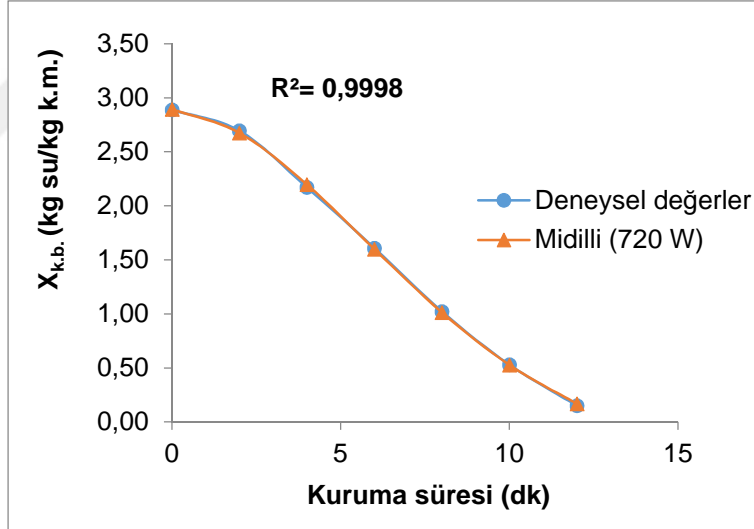
Şekil 4.17. 180 W güç seviyesi ile mikrodalga kurutma denemelerine ait deneysel ve tahmini değerlerin karşılaştırılması



Şekil 4.18. 360 W güç seviyesi ile mikrodalga kurutma denemelerine ait deneysel ve tahmini değerlerin karşılaştırılması



Şekil 4.19. 540 W güç seviyesi ile mikrodalga kurutma denemelerine ait deneysel ve tahmini değerlerin karşılaştırılması



Şekil 4.20. 720 W güç seviyesi ile mikrodalga kurutma denemelerine ait deneysel ve tahmini değerlerin karşılaştırılması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA Beyza ÖZTÖRK ERDEM

Nar tanelerinin farklı kurutma yöntemleriyle kurutulması sonucunda elde edilen ürün nem değerlerinin deneysel ve tahmini değerleri, Henderson & Pabis (50 °C KIK) ve Midilli (50 °C SHK, 90 °C SHK, 90 °C KIK, 180 W, 360 W, 540 W, 720 W) model eşitliklerinde kurutma eğrileri açısından benzerlik göstermiştir.





5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türkiye’ de nar üretimi yıldan yıla önemli oranda artmakta olup 2010-2017 yılları arasında yaklaşık iki buçuk kat kadar bir artış görülmektedir. Nar tanelerinin taze olarak tüketilmesinin yanı sıra kurutularak farklı endüstri kollarında kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır. Bu nedenle nar tanelerinin kurutma parametrelerinin optimizasyonu önem arz etmektedir.

Bu çalışma kapsamında nar taneleri sıcak hava, mikrodalga ve kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutulmuştur. Sıcak hava ve kızılötesi ışınım enerjisi ile kurutma yönteminde kurutma sıcaklığı olarak 50 ve 90 °C seçilmiştir. Mikrodalga enerji ile kurutma denemelerinde ise 180, 360, 540, 720 W güç seviyeleri seçilmiştir.

Ürünlerin kalite parametrelerini etkileyen en önemli iki etken kurutma sıcaklığı ve kuruma süresidir. Sıcak hava ile yapılan kurutma denemeleri beklenildiği gibi diğer kuruma yöntemlerine göre oldukça uzun sürmüştür. 50 °C’de kurutma işlemi 6526 dakikada % 51 neme inerek denge nemine ulaşmıştır. 90 °C’ de ise 571 dakikada % 9 neme ulaşarak kuruma gerçekleşmiştir. Buna karşın kızılötesi ışınım enerjisi ile yapılan denemelerde kuruma süresi 50 °C’ de yaklaşık 2 kat, 90 °C’ de ise yaklaşık 8 kat azalmıştır.

Mikrodalga enerji ile gerçekleştirilen denemelerde ise beklenildiği üzere mikrodalga güç seviyesi arttıkça kuruma süresi kısalmıştır. Kuruma işlemleri, en düşük güç seviyesi olan 180 W’ de 56 dakika; en yüksek güç seviyesi olan 720 W’ de ise 14 dakika olarak gerçekleşmiştir.

Renk, ürün kalite parametrelerini belirleyen önemli unsurlardan biridir. Kurutulmuş nar tanelerinin renk parametreleri ölçülerek taze nar taneleriyle kıyaslanmıştır. En iyi kurutma yönteminde renk değerlerinin taze nar tanelerinin renk değerleriyle yakınlık göstermesi beklenir. 90 °C kızılötesi ışınım ve 180 W mikrodalga enerji ile kurutma yöntemlerinde elde edilen ürünlerin $L^*a^*b^*$ değerleri taze nar tanelerinin $L^*a^*b^*$ değerleri ile benzerlik göstermiştir. Bununla

birlikte 50 °C sıcak hava ile kurutulan nar tanelerinin $L^*a^*b^*$ değerleri de taze nar tanelerinin $L^*a^*b^*$ değerleriyle benzerlik göstermiştir fakat %51,34 nem düzeyinde denge nemine ulaştığı için değerlendirme dışı bırakılmıştır.

Tek tabaka halinde kurutulan ürünlerin kuruma davranışlarını tahmin etmek için kullanılan matematiksel modellerin içerisinde Midilli ve Henderson & Pabis modelleri en uygun modeller olmuştur.

50 °C’ de kızılötesi ışıma enerjisi ile yapılan kurutma denemelerinde Henderson & Pabis modeli en iyi uygunluğu sağlarken, 50 °C sıcak hava ve 90 °C sıcak hava ve kızılötesi ışıma enerjisi ile kurutma yöntemlerinde Midilli modeli en uygun model olmuştur. Henderson & Pabis modeli için R^2 değeri 0.98’ den büyük, Midilli modeli için R^2 değeri 0,9918-0,9989 değerleri arasındadır.

Mikrodalga enerjisi ile kurutma işleminde de Midilli modeli en iyi tahmini vermiştir. Midilli modelinin R^2 değerleri 0,9769-0,9998 değerleri arasındadır.

Daha önce yapılan çalışmalarda da kuruma süresi ve kuruma sıcaklığının ürün kalite parametrelerine olan etkisi belirtilmiştir. Nar tanelerinin kalite parametrelerini korumak için kuruma süresini en aza indiren uygulamaların en iyi olduğu saptanmıştır. Bu nedenle nar tanelerinin kurutulmasında 90 °C kızılötesi ışıma enerjisi ve 180 W mikrodalga uygulamalarının en iyi kurutma yöntemleri olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abe, T., Afzal, T.M., 1997. Thin-Layer Infrared Radiation Drying of Rough Rice. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 67:289-297.
- Afzal, T.M., Abe T., 1998. Diffusion in Potato During Far Infrared Radiation Drying. *Journal of Food Engineering*, 37(4):353-365.
- , 2000. Simulation of Moisture Changes in Barley During Far Infrared Radiation Drying. *Computers and Electronics in Agriculture*, 26(2):137-145.
- Agrawal, Y.C., Singh, R.P., 1977. Thin Layer Drying Studies on Short Grain Rough Rice. ASAE, Paper No 3531. St. Joseph MI: ASAE.
- Alaei, B., Chayjan, R.A., 2014. Drying Characteristics of Pomegranate Arils Under Near Infrared-Vacuum Conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(5):469-475.
- Babalís, S.J., Papanicolaou, E., Kyriakis, N., Belessiotis, V.G., 2006. Evaluation of Thin-Layer Drying Models for Describing Drying Kinetics of Figs (*Ficus carica*). *Journal of Food Engineering*, 75:205-214.
- Bchir, B., Besbes, S., Karoui, R., Attia, H., Paquot, M., Blecker, C., 2012. Effect of Air-Drying Conditions on Physico-Chemical Properties of Osmotically Pre-treated Pomegranate Seeds. *Food Bioprocess Technology*, 5:1852-1840.
- Blasco, J., Cubero, S., Gómez-Sanchís, J., Mira, P., Molto E., 2009. Development of A Machine for The Automatic Sorting of Pomegranate (*Punica granatum*) Arils Based on Computer Vision. *Journal of Food Engineering*, 90(1):27–34.
- Başlar, M., Karasu, S., Kiliçli, M., Us, A.A., Sağdıç, O., 2014. Degradation Kinetics of Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Pomegranate Arils during the Drying Process. *International Journal of Food Engineering*, 10(4):839-848.

- Bayram, E., 2007. Değişik Ambalaj Tiplerinin Hicaznar Çeşidinin Soğukta Muhafazası Üzerine Etkileri. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 53s. (Yüksek Lisans Tezi).
- Calep, O.J., 2013. Modified Atmosphere Packaging of Pomegranate Arils. Stellenbosch University, In the Department of Food Science, Faculty of AgriSciences, South Africa, 204s.
- Chhinnman, M.S., 1984. Evaluation of Selected Mathematical Models for Describing Thin Layer Drying of In-Shell Pecans. Transactions of the ASAE, 27:610-615.
- Calin-Sanchez, A., Figiel, A., Hernandez, F., Melgarejo P., Lech, K., Carbonell-Barrachina, A.A., 2013. Chemical Composition, Antioxidant Capacity, and Sensory Quality of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Arils and Rind as Affected by Drying Method. Food Bioprocess Technology, 6:1644-1654.
- Calin-Sanchez, A., Figiel, A., Szarycz, M., Lech, K., Nuncio-Jauregui, N., Carbonell Barrachina, A.A., 2014. Drying Kinetics and Energy Consumption in the Dehydration of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Arils and Rind. Food Bioprocess Technology, 7:2071-2083.
- Çeltikçi, N.P, 2008. Türkiye Ekonomisinde Nar ve Nar Türevleri. Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya, 113s. (Yüksek Lisans Tezi).
- Dak, M., Pareek, N.K., 2014. Effective Moisture Diffusivity of Pomegranate Arils Under Going Microwave-Vacuum Drying. Journal of Food Engineering, 122:117-121.
- Dostie, M., Seguin, J. N., Maure, D., Ton-That, Q.A., Chatingy, R., 1989. Preliminary Measurements on the Drying of Thick Porous Material by Combinations of Intermittent Infrared and Continuous Convection Heating. In A. S. Mujumdar & M. A. Roques (Eds.), Drying 89. New York: Hemisphere.

- Doymaz, İ., 2011. Drying of Pomegranate Arils and Selection of a Suitable Drying Model. *Food Biophysics*, 6:461-467.
- , 2012a. Drying of Pomegranate Seeds Using Infrared Radiation. *Food Sci. Biotechnol.*, 21(5):1269-1275.
- , 2012b. Prediction of Drying Characteristics of Pomegranate Arils. *Food Anal. Methods*, 5:841-848.
- Eikania, M.H., Golmohammada, F., Homamib, S.S., 2012. Extraction of Pomegranate (*Punica granatum L.*) Seed Oil Using Superheated Hexane. *Food and Bioproducts Processing*, 90:32–36.
- Ertekin, C., Yıldız, O., 2004. Drying of Eggplant and Selection of a Suitable Thin Layer Drying Model. *Journal of Food Engineering*, 63: 349-359.
- Henderson, S.M., & Pabis, S., 1961. Grain Drying Theory. II: Temperature Effects on Drying Coefficients. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6:169-174.
- Horuz, E., 2011. Pomegranate Aril Drying and Juice Powder Production. Gaziantep University Food Engineering, Gaziantep, 121s. (Master Science of Thesis).
- Horuz, E., Maskan, M., 2015. Hot Air and Microwave Drying of Pomegranate (*Punica granatum L.*) Arils. *J Food Sci. Technology*, 52(1):285-293.
- Immanuel, A., Manikandan, M., Mohamed Sadiq, I., Sridhar, R., Velmurugan, K., 2014. Design and Fabrication Of Pomegranate Aril (PULP) Extractor. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(1):1218-1221.
- Khazaeia, J., Ekrami-Rad, N., Safa, M., Nosrati, S.Z., 2008. Effect of Air-Jet Impingement Parameters on the Extraction of Pomegranate Arils. *Biosystems Engineering*, 100:214-226.

- Karaaslan, M., Yılmaz, F.M., Cesur, Ö., Vardin, H., İkinci, A., Dalgıç, A.C., 2014. Drying Kinetics and Termal Degradation of Phenolic Compounds and Anthocyanins in Pomegranate Arils Dried Under Vacuum Conditions. *International Journal of Food Science and Technology*, 49:595-605.
- Karaaslan, S., Erdem, T., 2014. Mathematical Modelling of Orange Slices during Microwave, Convection, Combined Microwave and Convection Drying. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 1(2):143-149.
- Kingsly, A.R.P., Singh D.B., Manikantan, M.R., Jain, R.K., 2006. Moisture Dependent Pyhsical Properties of Dried Pomegranate Seeds (Anardana). *Journal of Food Engineering*, 75:492-496.
- Kingsly, A.R.P., Singh, D.B., 2007. Drying Kinetics of Pomegranate Arils. *Journal of Food Engineering*, 79:741-744.
- Kocayığit, F., 2010. Bazı Sebzelerin Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 107s. (Yüksek Lisans Tezi).
- Lewis W.K., 1921. The Rate of Drying of Solid Materials. *Industrial Engineering Chemistry*, 13:427-432.
- L'opez-Rubira, V., Conesa, A., Allende, A., Artés, F., 2005. Shelf Life and Overall Quality of Minimally Processed Pomegranate Arils Modified Atmosphere Packaged and Treated with UV-C. *Postharvest Biology and Technology*, 37:174–185.
- Martinov, M., Oztekin, S., Müller, J., 2007. Drying. In: Oztekin S., Martinov M. (eds): *Medicinal and Aromatic Crops, Harvesting, Drying, and Processing*. Haworth Food & Agricultural Products Press, Binghamton:85–129.
- Maskan, M., 2000. Microwave/Air and Microwave Finish Drying of Banana. *Journal of Food Engineering*, 44:71-78.
- Menges, H.O., Ertekin, C., 2005. Mathematical Modeling of Thin Layer Drying of Golden Apples. *Journal of Food Engineering*, 77:119-125.

- Minaei, S., Motevali, A., Najafi, G., Seyedi, S.R.M., 2011. Influence of Drying Methods on Activation Energy, Effective Moisture Diffusion and Drying Rate of Pomegranate Arils (*Punica Granatum*). *Australian Journal of Crop Science*, 6(4):584-591.
- Minaei, S., Motevali, A., Ahmadi, E., Azizi, M.H., 2012. Mathematical Models of Drying Pomegranate Arils in Vacuum and Microwave Dryers. *J. Agr. Sci. Tech.*, 14:311-352.
- Mongpreneet, S., Abe, T., Tsurusaki, T., 2002. Accelerated Drying of Welsh Onion by Far Infrared Radiation Under Vacuum Conditions. *Journal of Food Engineering*, 55(2):147–156.
- Motevali, A., Minaei, S., Khoshtagaza, M.H., Kazemi, M., Nikbakht, A.M., 2010. Drying of Pomegranate Arils: Comparison of Predictions from Mathematical Models and Neural Networks. *International Journal of Food Engineering*, 6(3):1-17.
- Motevali, A., Minaei, S., Khoshtagaza, M.H., 2011. Evaluation of Energy Consumption in Different Drying Methods. *Energy Conversion and Management*, 52:1192-1199.
- Motevali, A., Minaei, S., 2012. Effects of Microwave Pretreatment on the Energy and Exergy Utilization in Thin-Layer Drying of Sour Pomegranate Arils. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, 18(1):63-72.
- Mujumdar, A.S., 2000. Classification and Selection of Industrial Dryers. Chapter Two, pp. 23-36.
- Navari, P., Andrieu, J., Gevaudan, A., 1992. Studies on Infrared and Convective Drying of Non Hygroscopic Solids. In A. S. Mujumdar (Ed.), *Drying 92*, pp. 685–694.
- Nikbakht, M.A., Motevali, A., Minaei, S., 2014. Energy ve Exergy Investigation of Mikrowave Assisted Thin-Layer Drying of Pomagranate Arils Using Artifical Neural Networks and Response Surface Methodology. *Journal of the Saudi Society Agricultural Sciences*, 13:81-91.

- Onur, C., 1983. Akdeniz Bölgesi Narlarının Seleksiyonu. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 121 s. (Doktora Tezi).
- Öztekin, S., Martinov, M., 2013. Medicinal and Aromatic Crop Drying. Steward Postharvest Review, 2(3):1-5.
- Parashar, A., Gupta, S.K., Kumar, A., 2009. Studies on Separation Techniques of Pomegranate Seeds and Their Effect on Quality of Anardana. African Journal of Biochemistry Research, 3(10):340-343.
- Pongtong, K., Assawarachan, R., Noomhorm, A., 2011. Mathematical Models for Vacuum Drying Characteristics of Pomegranate Arils. Journal of Food Science and Engineering, 1:11-19.
- Samadi, S.H., Loghmanieh, I., 2013. Evaluation of Energy Aspects of Apple Drying in the Hot-Air and Infrared Dryers. Energy Research Journal, 4(1):30-38.
- Sandu, C., 1986. Infrared Radiative Drying in Food Engineering: A Process Analysis. Biotechnology Progress, 2(3):109-119.
- Sarsavadia, P.N., Sawhney, R.L., Pangavhane, D.R., Singh, S.P., 1999. Drying Behaviour of Brined Onion Slices. Journal of Food Engineering, 40:219-226.
- Sharma, G.P., Verma, R.C., Pathare, P.B., 2005. Thin-Layer Infrared Radiation Drying of Onion Slices. Journal of Food Engineering, 67(3):361-366.
- Singh, D.B., Kingsly, A.R.P., Jain, R.K., 2007. Studies on Separation Techniques of Pomegranate Arils and Their Effect on Quality of Anardana. Journal of Food Engineering, 79:671-674.
- Skjöldebrand, C., 2001. Infrared Heating. In Thermal Technologies in Food Processing. Cambridge: Woodhead Publishing, 208-228.
- Soysal, Y., 2000. İşletme Ölçeğinde Çeşitli Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Kurutulmasına Yönelik Bir Araştırma. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 123 s. (Doktora Tezi).

- Şahin, A., 2004. Antalya Bölgesi'nde Yetiştirilen Hicaznar (*Punica granatum cv. Hicaznar*) Üzerinde Biyolojik Araştırmalar. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 42s. (Yüksek Lisans Tezi).
- Toğrul, H., 2005. Simple Modeling of Infrared Drying of Fresh Apple Slices. *Journal of Food Engineering*, 71:311-323.
- ,2006. Suitable Drying Model for Infrared Drying of Carrot. *Journal of Food Engineering*, 77:610-619.
- TÜİK, 2018. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>
- Uslu M.K., Certel, M., 2006. Dielektrik Isıtma ve Gıda İşlemede Kullanımı. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (3):61-69.
- Uysal, A., 2011. Hasat Sonrası Nar Meyvelerinde *Botrytis cinerea Pers.*: Fr.'e Karşı Bazı Fungisitlerin Etkinliği Üzerine Araştırmalar. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 52s. (Yüksek Lisans Tezi).
- Vardin, H., Abbasoğlu, M., 2004. Nar Eksisi ve Narın Diğer Değerlendirilme Olanakları. *Geleneksel Gıdalar Sempozyumu*, 165-169.
- Vega-Galvez, A., Di Scala, K., Rodriquez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., Lopez, J., 2009. Effect of Air-Drying Temperature on Physico-Chemical Properties, Antioxidant Capacity, Colour and Total Phenolic Content of Red Pepper (*Capsium annuum*, L. Var, Hungarion). *Food Chemistry*, 117:647-53.
- Verma, L.R., Bucklin, R.A., Endan, J.B., Wratten, F.T., 1985. Effects on Drying Air Parameters on Rice Drying Models. *Transactions ASAE*, 28:296-301.
- Wang, C.Y., Singh, R.P., 1978. A Single Layer Drying Equation For Rough Rice. *ASAE Paper No: 78-3001*.
- Yağcıoğlu, A., 1999. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 348s.
- Yaldiz, O. and Ertekin, C., 2001. Thin Layer Solar Drying of Some Vegetables. *Drying Tech.*, 19:583-596.

Yılmaz, C., Özgüven, A.I., 2003. Narda (*Punica granatum* L.) Meyve Çatlaması.
Alatarım, 2(2):4-9.

Yılmaz, C., 2007. Nar. Hasad Yayıncılık, İstanbul, 190s.



ÖZGEÇMİŞ

6 Temmuz 1988 tarihinde Giresun’ da doğdu. İlkokulu Mehmet Akif Ersoy İlkokulu’ nda ve liseyi Giresun Lisesi’ nde tamamladıktan sonra, 2007 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi’ nde lisans öğrenimine başladı. 2011 yılında Tarım Makinaları Bölümü’ nden mezun oldu. 2014 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı’ nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen aynı anabilim dalında eğitimine devam etmektedir.