

KESİKLİ MİKRODALGA YÖNTEMİYLE ŞEFTALİ VE
NEKTARİNİN KURUTULMASINDA KURUTMA
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Emre VERAL



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KESİKLİ MİKRODALGA YÖNTEMİYLE ŞEFTALİ VE NEKTARİNİN
KURUTULMASINDA KURUTMA PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Emre VERAL
0000-0003-3803-7071

Doç. Dr. Nazmi İZLİ
0000-0002-2084-4660
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

TEZ ONAYI

Emre VERAL tarafından hazırlanan “Kesikli Mikrodalga Yöntemiyle Şeftali Ve Nektarinin Kurutulmasında Kurutma Parametrelerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Nazmi İZLİ
0000-0002-2084-4660

Başkan : Doç. Dr. Nazmi İZLİ
0000-0002-2084-4660
Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. İlknur ALİBAŞ
0000-0002-1898-8390
Bursa Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. Osman GÖKDOĞAN
0000-0002-4933-7144
Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi,
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

..../..../...

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

08/10/2019

Emre VERAL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KESİKLİ MİKRODALGA YÖNTEMİYLE ŞEFTALİ VE NEKTARİNİN KURUTULMASINDA KURUTMA PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Emre VERAL

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nazmi İZLİ

Bu çalışmanın amacı şeftali ve nektarin örneklerinin kurutma karakteristikleri, rehidrasyon oranı ve renk özellikleri üzerine kesikli mikrodalga kurutma yönteminin etkisini belirlemektir. Kurutma işlemlerinde en uygun ince tabaka kurutma modelini seçmek için, Henderson ve Pabis, Newton, Page, Logaritmik, Wang ve Singh, Midilli ve ark. modelleri deneysel verilere uygulanmıştır. İncelenen kurutma modellerinde, deneylerin çoğunda Midilli ve ark. modeli şeftali ve nektarinlerin kurutma davranışlarının tanımlanmasında en iyi model olarak seçilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, artan mikrodalga kesiklik oranı daha uzun kurutma süresine neden olmuştur. Şeftali örneklerinde en yüksek rehidrasyon oranı değeri (4,295) 3 mm kalınlığında ve mikrodalga kesiklilik oranı 3 (PR=3) kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerinde belirlenirken, nektarin örneklerinde en yüksek rehidrasyon oranı değeri (3,803) 3 mm kalınlığında ve mikrodalga kesiklilik oranı 3 (PR=4) kurutma koşullarında kurutulan nektarin örneklerinde belirlenmiştir. Kurutma işlemleri sonucunda şeftali ve nektarin ürünlerinin parlaklık (L^*) ve sarılık (b^*) değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Sonuç olarak, kesikli mikrodalga teknolojisi, şeftali ve nektarin örnekleri için uygun alternatif bir kurutma yöntemi olarak kullanılabilceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kesikli mikrodalga, kurutma, ince tabaka, rehidrasyon, renk
2019, vii + 48 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

DETERMINATION OF DRYING PARAMETERS IN DRYING OF PEACH AND
NECTARINE BY PULSED MICROWAVE METHOD

Emre VERAL

Bursa Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystem Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nazmi IZLI

The aim of this study was to determine the effect of pulsed microwave drying method on the drying characteristics, rehydration ratio and colour properties of peaches and nectarines. To select the most appropriate thin-layer drying model for drying treatments, Henderson and Pabis, Newton, Page, Logarithmic, Wang and Singh, Midilli and et al. models were fitted to the the experimental results. Among the drying models investigated, the Midilli et al. model was mostly found to be the best model for describing the drying behavior of peach and nektarin samples. The results showed that increasing the microwave pulsed ratio caused longer drying times. While the highest rehydration ratio value (4,295) in peach samples were seen in 3 mm thick samples which are pulsed ratio (PR=3) application, the highest rehydration ratio value (3,803) in nektarin samples were found 3 mm thick samples which were pulsed ratio (PR=4) application. As a result of drying process, lightness (L^*) and yellowness (b^*) values of peach and nektarin products decreased. Consequently, the pulsed microwave method could be used as a alternative drying method for peach and nektarin samples.

Keywords: Pulsed microwave, drying, thin layer, rehydration, colour
2019, vii + 48 pages.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca, tecrübeleri ve bilgisiyle bana destek olan başta danışmanım Doç. Dr. Nazmi İZLİ'ye, tez jüri üyeleri Doç. Dr. İlknur ALİBAŞ ve Doç. Dr. Osman GÖKDOĞAN ile çalışmalarım esnasında yardımcı olan Dr. Onur TAŐKIN ve Arş. Gör. Ahmet POLAT'a en içten teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca annem Hatice VERAL, babam Atilla VERAL'a ve ablam Özge VERAL'a teőekkürlerimi sunarım.

Emre VERAL
08/10/2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
2.1. Kuruma evreleri	6
2.1.1. Isınma evresi	6
2.1.2. Sabit hızla kuruma evresi	6
2.1.3. Azalan hızla kuruma evresi	7
2.2. Mikrodalga teknolojisi	7
2.2.1. Mikrodalga kurutma yöntemi.....	8
2.2.2. Mikrodalga kullanım alanları	8
2.3. Önceki çalışmalar.....	9
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	14
3.1. Materyal	14
3.2. Yöntem.....	15
3.2.1. Kurutma yöntemi	15
3.2.2. Mikrodalga güç ölçümü	16
3.2.3. Nem içeriğinin hesaplanması	17
3.2.4. Nem oranının hesaplanması	17
3.2.5. Kuruma hızının hesaplanması	17
3.2.6. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellenmesi	18
3.2.7. Rehidrasyon oranının belirlenmesi	18
3.2.8. Renk değerlerinin belirlenmesi ve hesaplanması	19
3.2.9. İstatiksel değerlendirme	19
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	21
4.1. Şeftali kurutma	21
4.1.1. Şeftali ürününün nem içeriği değişimi	21
4.1.2. Şeftali ürününün kuruma hızı değişimi	22
4.1.3. Şeftali ürününün kuruma eğrilerinin modellenmesi.....	23
4.1.4. Şeftali ürününün rehidrasyon oranının değişimi	29
4.1.5. Şeftali ürününün renk analizi sonuçları.....	29
4.2. Nektarin kurutma	31
4.2.1. Nektarin ürününün nem içeriği değişimi.....	31
4.2.2. Nektarin ürününün kuruma hızı değişimi	32
4.2.3. Nektarin ürününün kuruma eğrilerinin modellenmesi	34
4.2.4. Nektarin ürününün rehidrasyon oranının değişimi	40
4.2.5. Nektarin ürününün renk analizi sonuçları	41
5. SONUÇ.....	43
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	48

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
R^2	: Belirtme katsayısı
dk	: Dakika
$MR_{exp, i}$: Deneysel nem oranı
g	: Gram
RMSE	: Hataların karelerinin karekök ortalaması
M_t	: Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su.g kuru madde ⁻¹)
a	: Katsayı (birimsiz)
b	: Katsayı (birimsiz)
c	: Katsayı (birimsiz)
n	: Katsayı (birimsiz)
χ^2	: Ki-kare
t	: Kuruma zamanı (dakika)
k	: Kinetik sabit (dak ⁻¹)
mm	: Milimetre
MR	: Nem oranı (birimsiz)
a^*	: Rengin yeşilliği (-) ya da kırmızılığı (+)
b^*	: Rengin maviliği (-) ya da sarılığı (+)
L^*	: Parlaklık
s	: Saniye
°C	: Santigrat derece
cm	: Santimetre
T	: Sıcaklık (°C)
M_{t+dt}	: $t+dt$ anındaki nem içeriği (g su.g kuru madde ⁻¹)
$MR_{pre,i}$: Tahmin edilen nem oranı
ΔE	: Toplam renk değişimi

Kısaltmalar **Açıklama**

TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
PR	: Kesiklilik Oranı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Modifiye edilmiş kesikli mikrodalga fırının genel görünüşü.....	14
Şekil 3.2. Renk ölçüm cihazının genel görünüşü.....	19
Şekil 4.1. Farklı dilim kalınlıkları (a) 3 mm ve b) 5 mm) ve kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi.....	22
Şekil 4.2. Farklı dilim kalınlıkları (a) 3 mm ve b) 5 mm) ve kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi.....	23
Şekil 4.3. Farklı dilim kalınlıkları (a) 3 mm ve b) 5 mm) ve kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması.....	27
Şekil 4.4. Farklı dilim kalınlıkları (a) 3 mm ve b) 5 mm) ve kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması	28
Şekil 4.5. Farklı kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerinin rehidrasyon oranı sonuçları.....	29
Şekil 4.6. Farklı dilim kalınlıkları (a) 3 mm ve b) 5 mm) ve kurutma koşullarında kurutulan nektarin örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi.....	32
Şekil 4.7. Farklı dilim kalınlıkları (a) 3 mm ve b) 5 mm) ve kurutma koşullarında kurutulan nektarin örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi.....	33
Şekil 4.8. Farklı kurutma koşullarında kurutulan 3 mm kalınlığındaki nektarin örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modellerin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması.....	37
Şekil 4.9. Farklı kurutma koşullarında kurutulan 5 mm kalınlığındaki nektarin örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması	38
Şekil 4.10. Farklı kurutma koşullarında kurutulan 3 mm kalınlığındaki nektarin örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modellerin (a) Midilli ve ark., b) Wang ve Singh ve c) Logaritmik) nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması	39
Şekil 4.11. Farklı kurutma koşullarında kurutulan 5 mm kalınlığındaki nektarin örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması	40
Şekil 4.12. Farklı kurutma koşullarında kurutulan nektarin örneklerinin rehidrasyon oranı sonuçları.....	41

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Yıllara göre Türkiye'nin şeftali/nektarin üretimi.....	4
Çizelge 1.2. Ülkelere göre şeftali/nektarin üretimi.....	4
Çizelge 1.3. Yıllara göre Türkiye'nin şeftali ihracatı.....	5
Çizelge 3.1. Modifiye edilmiş kesikli mikrodalga fırının teknik özellikleri.....	15
Çizelge 3.2. Modelleme için kullanılan ince tabaka kurutma modelleri.....	18
Çizelge 4.1. Farklı kurutma koşullarında kurutulan 3 mm kalınlığındaki şeftali örneklerinin kurutulmasında kullanılan modellerin istatistiksel analiz sonuçları.....	25
Çizelge 4.2. Farklı kurutma koşullarında kurutulan 5 mm kalınlığındaki şeftali örneklerinin kurutulmasında kullanılan modellerin istatistiksel analiz sonuçları.....	26
Çizelge 4.3. Farklı kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerinin renk değerleri.....	30
Çizelge 4.4. Farklı kurutma koşullarında kurutulan 3 mm kalınlığındaki nektarin örneklerinin kurutulmasında kullanılan modellerin istatistiksel analiz sonuçları.....	35
Çizelge 4.5. Farklı kurutma koşullarında kurutulan 5 mm kalınlığındaki nektarin örneklerinin kurutulmasında kullanılan modellerin istatistiksel analiz sonuçları.....	36
Çizelge 4.6. Farklı dilim kalınlıklarında kurutma koşullarında kurutulan nektarin örneklerinin renk değerleri.....	42

1. GİRİŞ

Tarımsal ürünlerin kurutularak saklanması ilk çağlardan beri uygulanan ve insanların doğadan öğrendiği en eski muhafaza yöntemlerinden biridir. Ürünlerin içerisindeki nemin belirli bir sınır değere kadar buharlaştırılması kurutmayı tanımlamaktadır. Tarımsal ürünlerin kurutulmasının amacı; ürünün depolama süresi içerisinde bozulmadan daha uzun süre saklanmasını sağlamaktır. Ürünlerin bozulmasına sebep olan etmenler ise ortam sıcaklığı, ürün nemi, zararlı mikroorganizmalar ve oksijen miktarı olarak sıralanmaktadır (Karaaslan ve Erdem 2009).

Eski zamanlardan bu yana tarımsal ürünler güneş enerjisi ile açık ortamlarda kurutulmaktadır. Ancak, bu yöntem ile ürünler toz, toprak ve hayvanların etkisi altında kalmaktadır ve kurutma kontrolsüz koşullarda gerçekleşmektedir. Geleneksel kurutma sistemleri ise çok yer kaplamakta ve enerji maliyetleri yüksek olmaktadır. Ayrıca, kurutma işlemi gerçekleşirken ısı ürünün dışından iç kısmına doğru nüfuz ettiği için ürünün kuruması uzun sürmektedir. Mikrodalga yöntemi ile gerçekleşen kurutmada, ısı ürünün içerisine doğrudan nüfuz etmektedir. Bunun sonucunda geleneksel kurutma sistemlerine göre kurutma işlemi daha kısa sürede tamamlanmaktadır. Diğer bir deyişle, mikrodalga yöntemi ile kurutmada ısı transferi içten dışa doğru gerçekleşmektedir. Isıtmanın etkisi geleneksel kurutma yöntemlerinden daha hızlı ve uniform olmasıyla birlikte ısı verimi de daha yüksek olmaktadır.

Mikrodalga yöntemiyle kurutmada ürün içerisindeki su molekülleri polarize edilerek hızla hareket etmeleri sağlanmaktadır ve ortaya çıkan moleküllerin sürtünmesi sonucunda ısı enerjisi oluşmaktadır. Kuruma sırasında su molekülleri doğrudan ısınıp buharlaşmaktadır. Mikrodalga kurutma yönteminde ısı doğrudan ürünün üzerinde üretildiği için ısınma ürünün yüzeyinden değil her noktasından başlamaktadır. Mikrodalga yöntemi kullanıldığında ürünün iç kısımlarına yüksek ısı iletimi, düşük enerji tüketimi, hijyen ve kolay işlem kontrolü gibi avantajlar sağlanmaktadır (Maskan 2000). Ancak, mikrodalga kurutma yönteminin materyallerin üzerinde tekstürel zararlar oluşturması ve düzensiz ısı dağılımı sağlamanın yanı sıra yüksek yatırım maliyeti gibi olumsuz sonuçları da bulunmaktadır (Zhang ve ark. 2006). Bu olumsuz etkilerin en aza indirilmesi için kesikli mikrodalga yöntemiyle kurutma alternatif bir yöntem olarak

uygulanmaktadır. Kesikli mikrodalga yönteminde kurutma yapılırken magnetronun sürekli açık kalmamasıyla ürünün sürekli mikrodalgaya maruz tutulmaması sonucu sıcaklık yükselmelerinin daha kontrollü gerçekleşmesi sağlanmaktadır. Bunun sonucunda daha kaliteli ürün ortaya çıkmaktadır (Yongsawatdigul ve Gunasekaran, 1996; Gunasekaran, 1999).

Bu çalışmanın amacı; şeftali ve nektarin meyvelerinin kesikli mikrodalga yöntemi kullanılarak kurutma karakteristiklerinin saptanması, kurutulan örneklerden deneysel olarak belirlenen nem verileriyle uygulanan 6 farklı ince tabaka kurutma modeliyle tahmini olarak belirlenen nem oranı verilerinin karşılaştırılması ve kurutulan ürünlerin renk ile rehidrasyon değerlerinin incelenerek kalite parametrelerinin ortaya konulmasıdır.

Şeftali *Rosaceae* familyasından olup, *Prunoidea* alt familyasına ait olan *Prunus* cinsindedir. Ana vatanı Çin ve Doğu Asya olan şeftali kültürü 4000 yıl öncesine dayanmaktadır.

Şeftali içerisinde başlıca 3 form bulunmaktadır. Bunlar;

- a) domates şeftalisi
- b) tüylü şeftali
- c) tüysüz şeftali (nektarin)

Birinci grupta yer alan şeftalinin şeklinin basık olması ve diğer iki gruptakilerin tüylü ve tüysüz olmaları ölçüt oluşturmaktadır. Şeftali farklı iklimsel koşullara kolayca uyum sağlayabilmektedir. Ancak, kışın düşük sıcaklıklar ve ilkbaharda oluşan geç donlar üretimi sınırlayan faktörlerdir.

Şeftali; potasyum, A, C vitaminleri içeriği zengin ve düşük kalorili bir meyvedir. İşleme sanayide hammadde olarak kullanılan şeftali sofralık olarak tüketilmektedir. Şurup içinde konserve yapılabildiği gibi meyve suyu konsantresi ve pulp olarak işlenebilmektedir. Aynı zamanda reçel ve marmelat yapımında da kullanılmaktadır.

Şeftali ekolojik koşulları sayesinde Türkiye’de bir çok yerde yetiştirme fırsatı olan bir meyvedir. Ekonomik anlamda ülkemizde şeftali üretimi 1960’lı yıllara kadar Bursa

başta olmak üzere Marmara bölgesinde yoğunlaşmıştır. Şehirlerdeki nüfus birikimi ve yurtiçi ulaşım olanaklarının artması sayesinde Ege ve Akdeniz bölgelerinde üretim hızla artmıştır. TÜİK (2016) verilerine göre 674 136 ton şeftali üretimi gerçekleşmiştir. İller bazında en çok şeftali üretimi Mersin ilinde üretilmektedir. Türkiye’de şeftali ihtiyacının yarısını Mersin, Çanakkale, Bursa ve İzmir illeri karşılamaktadır.

Nektarin kültürü ise günümüz tarihinden 2000 yıl öncesine kadar dayanmaktadır (Shoemaker 1959). ABD/Kaliforniya’da nektarinler uzun zamandır bilinmektedir. Eski nektarin çeşitlerinde meyvelerin nazik yapısı, renginin cazip olmaması ve taşımaya olan dayanıksızlığı yüzünden nektarin yetiştiriciliği uzun süre yöresel olarak yapılmıştır. Yirminci yüzyılın ikinci yarısından itibaren özellikle ABD’de gerçekleşen seleksiyon ve melezleme çalışmaları sayesinde birçok sarı etli, işlemeye ve taşımaya dayanıklı, verimi yüksek ve eski çeşitlerine kıyasla daha iri meyveli nektarin çeşitleri meyve yetiştiriciliğine sunulmuş ve Dünya’da nektarin yetiştiriciliği yayılmaya başlamıştır. Dünya'nın beş kıtası üzerinde bulunan bazı bölgelerde nektarin yetiştiriciliği devam etmektedir (Angiboust 1974).

Ülkemizin bulunduğu coğrafi konum ve sahip olduğu farklı iklim özellikleri, bir çok meyve türlerinin yayılma alanı ve gen merkezi olmasına ve çeşitli ekolojik şartlara uygun meyve türlerinin yetişmesini sağlamaktadır (Ülkümen 1973; Özbek 1977).

Ülkemizin Güney Marmara bölümü nektarin üretiminin yoğun olduğu alanların başında gelmektedir. Bu alanlar İzmit körfezi ve çevresi, Yalova, Çanakkale, Balıkesir, Adapazarı illerinde yer almaktadır. Ülkemizdeki nektarin üretiminin %41’ini bu alanlar karşılamaktadır. Akdeniz kıyıları boyunca uzanan alüvyal ovalar ve vadi tabanları üretimde ikinci yoğun bölgeyi oluşturur. Bu alanlar ise Silifke, Çukurova ve Tarsus ovalarıdır. Türkiye’deki üretimin %29’da bu ovalarda gerçekleşir. Ege bölümünde Gediz, Küçük ve Büyük Menderes ovaları üçüncü yoğun bölgeyi oluşturur. Bu alanlardaki üretim Türkiye’deki üretimin %22’sine karşılık gelmektedir (Durmuş ve Yiğit 2003).

Çizelge 1.1. Yıllara göre Türkiye'nin şeftali/nektarin üretimi

Yıllar	Ağaç Sayısı (bin)		Üretim (ton)
	Meyve veren	Meyve vermeyen	
1990	10524	1535	350 000
1995	10655	1920	340 000
2000	12260	2210	430 000
2005	13900	2588	510 000
2010	14364	3065	539 403
2011	13447	2261	545 902
2012	14181	3537	611 165
2013	14546	3683	637 543
2014	15149	3420	608 513
2015	16338	3280	642 727
2016	16647	3574	674 136

Çizelge 1.2. Ülkelere göre şeftali/nektarin üretimi

Ülkeler	Üretim Alanı (ha)	Üretim (ton)
Çin	726068	12 423 700
İspanya	86118	1 573 640
İtalya	74478	1 379 428
Yunanistan	50270	962 580
ABD	50602	959 983
Türkiye	44070	608 513
İran	24408	575 457
Şili	18137	355 634

Çizelge 1.1'de ülkemizde 1990-2016 yılları arasında şeftali ve nektarin ürünün ağaç sayısı ve üretimine (ton) ait veriler yer almaktadır (Anonim 2019a). Çizelge 1.2'de 2014 yılına ait ülkelere göre şeftali ve nektarin ürünün üretim alanı ve üretimine ait veriler gösterilmektedir (Anonim 2019b).

Çizelge 1.3. Yıllara göre Türkiye'nin şeftali ihracatı

Yıllar	Miktar (ton)	Değer (Amerikan doları)
2000	14470	3 792 938
2005	37492	19 362 911
2010	35158	24 140 327
2011	26654	17 298 503
2012	33685	20 701 495
2013	21994	17 056 278
2014	24904	22 527 725
2015	26016	19 143 314
2016	28020	13 773 884

Çizelge 1.3'de ülkemizde 2000-2016 yılları arasında şeftali ihracatının miktarı ve bu ihracattan elde edilen değer dolar olarak verilmiştir (Anonim 2019c).

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kuruma evreleri

Ürünlerin kurutulmasında 3 karakteristik evre bulunmaktadır.

2.1.1. Isınma evresi

Materyalin sıcaklığının hızla yükseldiği kurumanın başlangıcında gözlemlenen ısınma evresidir. Kuruma hızı giderek artarken ısınma evresinin sonunda en yüksek değerine ulaşmaktadır. Kurutma ortamının sıcaklığıyla kurutulacak ürünün sıcaklığı dengeye gelene kadar ısınma evresi devam etmektedir. Isınma evresi çok kısa sürdüğü için tüm kurutma sürelerine göre çoğu zaman dikkate alınmaz (Yağcıoğlu 1999, Arıcı 2006).

2.1.2. Sabit hızla kuruma evresi

Bu evre ısınma evresi sona erdiğinde başlamaktadır. Bu evrede, kurutulacak ürünün yüzeyi ince bir su tabakasıyla kaplıdır ve ilk olarak su tabakası buharlaşmaya başlamaktadır. Bu buharlaşma ürünün özelliklerine göre gerçekleşmeyip, dış hava koşullarının etkisiyle belirlenmektedir. Nem materyalin yüzeyinden buharlaşan suyla aynı davranışı göstererek buharlaşmaktadır. Yüzeyde bulunan serbest su tabakası sabit bir kuruma hızıyla buharlaşır. Buharlaşma gerçekleşirken sürekli olarak hücre aralarındaki hava boşluklarının meydana getirdiği kılcal borularla beslenmektedir. Başka bir ifadeyle, sabit hızla kuruma evresi süresince, suyun ürün yüzeyine iletim hızıyla yüzeyden buharlaşan suyun hızı eşittir (Yağcıoğlu 1999, Mengeş 2005).

Sabit hızla kuruma evresi süresince, materyalden yüzeye doğru bir nem taşınması söz konusudur. Materyalin iç katmanlarındaki nem miktarı azalmaktadır. Böylece, kurumakta olan materyalin yüzeyinden birim zamanda buharlaşarak ayrılan suyla aynı miktarda su, artık iç kısımdan yüzeye doğru taşınamaz. Bu durum sonucunda, materyalin yüzeyinin tamamen serbest suyla kaplı olduğu gözlenmemektedir. Materyalin sahip olduğu nem düzeyine birinci kritik nem denir. Kuruma eğrilerinde bu durumu belirleyen noktaysa birinci kritik nokta denilmektedir (Yağcıoğlu 1999, Arıcı 2006).

2.1.3. Azalan hızla kuruma evresi

Bu evrede, birim zaman aralıklarında buharlaşan nem miktarının bir önceki zaman dilimine göre azalma göstermesi sebebiyle, azalan hızla kurutma evresi olarak adlandırılmaktadır.

Bu evre kendi içerisinde, iki kısımda gerçekleşmektedir. Materyalin yüzeyindeki su filmi kaybolurken, kuruma hızı ıslak alan miktarıyla orantılı olarak azalmaktadır. Bu evreye birinci azalan kurutma evresi olarak adlandırılmaktadır. Bu evrenin sonunda, suyun materyalin iç kısmından yüzeye doğru gerçekleşen iletim hızı, yüzeyde meydana gelen buharlaşma hızından küçüktür. Bu yüzden materyalin yüzeyinin tamamen ince su tabakasıyla kaplanmaz. Bu andan itibaren kuruma hızı daha da azalmakta ve bu noktadan itibaren ikinci azalan kuruma evresi gözlemlenmektedir. Bu evrenin sonunda materyalle çevre sıcaklığı eşittir. Azalan hızda kuruma evresi gerçekleşirken, kuruma hızının doğrusallıktan sapmaya başladığı noktaya, ikinci kritik nokta denilmekte ve materyalin bu noktadaki değerine ikinci kritik nem olarak adlandırılmaktadır.

2.2. Mikrodalga teknolojisi

Mikrodalga ışınları nükleer ve iyonize değildir. TV ve FM radyo dalgaları gibi elektromanyetik dalgalar şeklinde ilerleyen bir enerjidir. Dalga boyu, dalganın maksimumları arasında oluşan mesafedir. Mikrodalga ışınların boyları 1 nm ile 1 m arasında olduğu bilinmektedir. Frekans, elektromanyetik dalganın belirli bir süre ve belirli bir noktadaki titreşim sayısıdır. Frekans Hertz (Hz) cinsinden ölçülür. Frekansla dalga boyu ise ters orantılıdır. Frekans azalırken dalga boyu artar. Mikrodalga ışınımlarının frekansları ise 300 MHz ile 300 GHz arasındadır. Mikrodalga ısıtma ve kurutma uygulamalarında 14, 27-56, 12-40, 68-896, 915 ve 2450 MHz frekans değerleri kullanılabilir (Yağcıoğlu 1999). Gıda sanayisinde, 915 MHz frekanslı mikrodalga fırınlar kullanılırken, ev tipi fırınlarda 2450 MHz kullanılmaktadır. Mikrodalgada enerji transferi, dielektrik ısıtma yoluyla gerçekleşmektedir (Çelen 2010).

Mikrodalga fırınları, gerekli olan voltajı üretmek için şebekeden alınan elektrik enerjisini kullanarak magnetronun çalışmasını sağlayacak güç ünitesi, mikrodalga üreten bir magnetron, üretilen mikrodalğanın fırın içine ulaşmasını sağlayan bir dalga

kılavuzu ve fırın boşluğundan oluşmaktadır. Yayılan mikrodalga ışınlarının fırın içine düzgün dağılabilmesi için karıştırıcı (difüzör) ve fan bileşenleri vardır.

2.2.1. Mikrodalga kurutma yöntemi

Mikrodalgayla kurutma işleminde, kurutulacak ürüne gönderilen mikrodalga ışınlar ürünün içindeki su molekülleri tarafından emilmektedir. Ürüne mikrodalga ışınlar gönderilmeden önce su moleküllerindeki negatif ve pozitif yükler rastgele dağılmış durumdadır. Ancak, mikrodalga ışınlarını emen moleküller, bu mikrodalgaların elektrik alanına göre dizilmektedirler ve elektrik alan sayesinde milyonlarca kez salınırlar ve gıda içindeki molekülleri uyararak konumlarını değiştirmektedirler. Kurutulacak ürünün ısınması ise hızlı molekül salınımları sayesinde gerçekleşmektedir. Bu yöntem sayesinde ısı doğrudan kurutulacak ürünün içinde oluşmaktadır. Kurutulacak ürünün içindeki su molekülleri, diğer ısıtma işlemi yapılan yöntemlerden çok daha çabuk ısınmakta ve kurutulacak üründen uzaklaşmaktadır (Doymaz ve ark. 2003).

Mikrodalga enerjisiyle gerçekleşen kurutma, geleneksel kurutma uygulamalarından belirgin şekilde farklıdır. Konvansiyonel kurutmada sıcak yüzeyle daha soğuk olan iç kısım arasındaki sıcaklık farkı yüzünden ısının materyalin yüzeyinden iç kısımlara doğru kademeli olarak iletimi gerçekleşmektedir. Mikrodalgayla kurutmadaysa elektromanyetik alan materyali bir bütün olarak etkilemekte ve materyal içerisindeki su moleküllerinin saniyede milyonlarca kez titreşmesini gerçekleştirmektedir. Bu titreşim ve enerji materyalin içindeki nemi hızla buharlaştırmaktadır (Eren ve ark. 2005, Karaaslan ve Erdem 2009).

2.2.2. Mikrodalganın kullanım alanları

Mikrodalga enerjisi günümüzde, dondurulmuş ürünlerin çözündürülmesinde, kek ve reçellerde küf azaltılmasında, pişirme, kavurma, pastörizasyon, sterilizasyon, haşlama ve kurutma işlemlerinde kullanılmaktadır (Decerau 1992, Dadalı 2007). Mikrodalganın endüstride kullanım alanları ise gıda, kimya, tekstil, mobilya-kereste, seramik ve diğer olarak sıralanmaktadır.

2.3. Önceki çalışmalar

Gunasekaran (1990) yüksek nemli mısırları kurutmak için laboratuvar tipi mikrodalga fırın kullanmıştır. Mikrodalga fırını 250 W mikrodalga gücünde hem kesikli hemde sürekli mikrodalga uygulamasıyla çalıştırmıştır. Kesikli mikrodalga uygulamasında farklı sürelerde fırın çalıştırılıp kapatılmıştır. Ürünlerin toplam kuruma süresi beklenildiği gibi sürekli mikrodalga uygulamasında kesikli mikrodalga uygulamasına göre azalmıştır. Elde ettiği deneysel sonuçlara göre mikrodalga fırınının 10 s çalıştırılıp 75 s kapatılmasının en uygun enerji tüketimini sağladığını bildirmiştir.

Yongsawatdigul ve Gunasekaran (1996) kızılıcığın mikrodalga-vakum yöntemi ile kurutulmasında kesikli mikrodalga uygulamasının sürekli mikrodalga uygulamasına oranla daha fazla enerji kazanımı sağladığını bildirmişlerdir. Denemelerini son nem içeriği %15 olana kadar sürdürmüşlerdir. Çalışmalarında kesikli ve sürekli modda çalışan laboratuvar ölçekli mikrodalga-vakum fırın kullanmışlardır. Sürekli modda 250-500 W güçleri ve 5,33 ve 10,56 kPa vakum basınçlarını uygulamışlardır. Kesikli modda 250 W gücünde açık kalma sürelerini 30 ve 60 s, kapalı kalma sürelerini 60, 90, 150 s ve basınç seviyelerini ise 5,33 ve 10,67 kPa olarak seçmişlerdir. Sürekli ve kesikli mikrodalga kurutmada düşük basıncın kurutma verimini artırdığını belirlemişlerdir. Kesikli mikrodalga kurutmada açık kalma süresinin kısa ve kapalı kalma süresinin uzun olduğu koşullarda kurutma veriminin arttığını tespit etmişlerdir. En iyi kurutma verimine 30 s açık ve 150 s kapalı kurutma koşullarında ulaşmışlardır.

Yang ve Gunasekaran (2001) silindirik agar jel örnekleri üzerinde kesikli ve sürekli mikrodalga uygulamalarının sıcaklık profillerini incelemişlerdir. Tüm deneyler için 3 dakikalık toplam mikrodalga uygulama süresini kullanmışlardır. Numune sıcaklığını iç sıcaklık profilini ısıtma süresinin bir fonksiyonu olarak deneysel olarak belirlemek için ürünün çeşitli derinliklerinde ölçmüşlerdir. Sürekli mikrodalga uygulaması sırasında numunenin merkezinde lokal bir sıcak nokta gözlemişlerdir. Mikrodalga ısıtma sırasında numune içindeki sıcaklık profillerini tahmin etmek için sonlu farklar modelini kullanılmışlardır. Tahmini sıcaklık profilleri ile deneysel değerlerin uyum içinde olduklarını bildirmişlerdir.

Beaudry ve ark. (2003) ozmotik olarak ön kurutma yapılan kızılıcığı mikrodalga-konvektif kombinasyonu kullanarak kurutmuşlardır. Mikrodalga fırında güç yoğunluğunu (0,75, 1, 1,25 W/g) kesikli olarak (30 s açık-30 s kapalı ve 30 s açık-60 s kapalı) uygulamasıyla ürün kalitesi ve özgül enerji tüketimi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Kesikli mikrodalga ile kurutma yapıldığında mikrodalga uygulama süresi ve güç yoğunluğunun sistemin özgül enerji tüketimine önemli derecede etki ettiğini saptamışlardır. 0,75 W/g güç yoğunluğunda kesikli mikrodalga (30 s açık 60 s kapalı) kurutma uygulamasının ürün kalitesi ve özgül enerji tüketimi (9,0 MJ/kg) üzerine en uygun sonucu verdiğini belirlemişlerdir. Elde edilen ürünün kalitesinin dondurularak kurutma yöntemiyle elde edilen ürünle eşdeğer olduğunu bulmuşlardır.

Gunasekaran ve Yang (2007a) mikrodalga yöntemi ile ısıtılan %2 agar jelin sıcaklık değerlerini araştırmışlardır. Kesikli ve sürekli mikrodalga uygulamaları ile denemelerini gerçekleştirmişlerdir. Isıtma süreleri 1, 2, 3 dakika ve örnek büyüklüklerini 3,5 ila 4 cm yarıçapında olacak şekilde yapmışlardır. Kesikli mikrodalga uygulamasının aynı deney koşulları altında sürekli mikrodalga uygulamasına kıyasla daha iyi bir sıcaklık dağılımı ile sonuçlandığı belirtilmiştir. Sonuç olarak sıcaklık homejenliğinin kritik olduğu durumlarda kesikli mikrodalga uygulamasının sürekli mikrodalga uygulamasına tercih edilmesi gerektiğini bulmuşlardır. Aynı boyuttaki numunelere aynı seviyede absorbe edilmiş mikrodalga gücü verildiğinde, kesikli mikrodalga uygulamasının sürekli mikrodalga uygulamasına kıyasla daha iyi sıcaklık dağılımı ile sonuçlandığını bildirmişlerdir.

Gunasekaran ve Yang (2007b) kesikli mikrodalga uygulamasının ısıtma optimizasyonu sağlamak amacıyla denemeler gerçekleştirmişlerdir. Patates püresinin nem içeriğini %82,7 olarak belirlemişlerdir ve ısıtmayı optimize etmek için simülasyon modellerini kullanmışlardır. Örnek yarıçaplarını 2,4 2,8 ve 3,2 cm olarak belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, 2,4 ve 2,8 yarıçapındaki numunelerin düzgün ve verimli bir şekilde ısıtıldığını bildirmişlerdir.

Doymaz (2014) farklı kızılötesi güç seviyelerinin şeftali dilimlerindeki kurutma kinetiğine olan etkisini araştırmıştır. Şeftali dilimlerini 0,5 cm kalınlığında kurutmuştur.

Kurutma için 83, 125, 167 ve 209 W güç seviyelerini kullanmıştır. Şeftali dilimlerinin kızılötesi güçten etkilendiğini gözlemlemiştir. Etkin nem difüzyon katsayısının $1,68 \times 10^{-10}$ ile $1,68 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında olduğunu belirlemiştir. Aktivasyon enerjisini ise 4,49 kW/kg olarak hesaplamıştır.

Sharifian ve ark. (2012) yapmış oldukları çalışmalarında mikrodalganın güç yoğunluğunun ve kesiklilik oranının incir meyvenin kuruma davranışı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deneyler sırasında, numunelerin ağırlıklarını ve sıcaklıklarını düzenli aralıklarla (10 s) kaydetmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, ürünlerin kuruma süresinin 1,5 ila 4'lük kesiklilik oranı altında yaklaşık %200 arttığını bildirmişlerdir. Buna karşın, kuruma süresi, 0,5 ila 2,5 W/g mikrodalga güç yoğunluğunda, yaklaşık %500 azaldığını saptamışlardır. Ayrıca, 11 farklı ince tabaka kurutma modelini, incir meyvesinin nem değişiminin araştırılması için analiz etmişlerdir. Bu matematiksel modellerin performansını istatistiksel kriterlere göre karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, Kuadratik ve Logaritmik modelleri incirin kurutma kinetiklerini en uygun olarak açıklayan modeller olarak belirlemişlerdir. Ayrıca, mikrodalga güç yoğunluğu arttıkça numune sıcaklığının da arttığını ve ürün neminin daha hızlı uzaklaştığını, kesiklilik oranının artmasının ise üründeki kütle transferini azalttığını bildirmişlerdir.

Doymaz (2014) bir kabin kurutucu kullanarak sitrik asit önışlem uygulanan şeftali dilimlerinin kurutma özelliklerini incelemiştir. Deneylerde 5 mm kalınlığında şeftali dilimlerine farklı sıcaklıklar (45, 55, 65 ve 75 °C) ve 2 m/s hava hızı uygulamıştır. Etkin nem difüzyon katsayısını $1,94 \times 10^{-10}$ ve $8,49 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında bulmuştur. Aktivasyon enerjisi değerlerini ise 36,82 ve 37,12 kJ/mol olarak hesaplamıştır.

Zhu ve Shen (2014) sıcak hava kurutma sıcaklığının şeftali dilimlerine olan etkilerini incelemek için laboratuvar tipi bir konvektif kurutucu kullanmışlardır. Elde ettikleri deneysel verileri Page modelinin en uygun şekilde tanımladığını tespit etmişlerdir. Etkin nem difüzyon katsayısını $5,6083 \times 10^{-10}$ ila $1,3388 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında, aktivasyon enerjisini ise 42,53 kJ/mol olarak hesaplamışlardır. Wang ve Singh modelinin ise farklı hava hızı kurutma denemeleri için deneysel verileri tanımlamada en uygun model

olduğunu bulmuşlardır. Etkin nem difüzyon katsayısını $6,6626 \times 10^{-10}$ ile $1,1350 \times 10^{-9}$ m²/s arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Denemeler sonucunda kullanılan en uygun şeftali kalınlıklarını 0,002 m ve 0,004 m olarak seçmişlerdir.

Meetha ve ark. (2016) kesikli mikrodalga destekli sıcak havalı kurutucuda hindistan cevizinin kurutulması üzerine çalışma yapmışlardır. Kesikli mikrodalga (30 s) destekli sıcak hava (45 °C) kurutucuda 0,5 kW, 1 kW ve 1,455 kW'lık güç seviyelerinin renk değerleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Renk ölçüm cihazı kullanılarak yapılan ölçümleri taze numuneler ile kıyaslamışlardır. Uyguladıkları mikrodalga güç seviyesi arttıkça örneklerin renginin karardıklarını tespit etmişlerdir. Ayrıca hindistan cevizi içerisindeki ana lezzet bileşiği olan Miristisin'i analiz etmişlerdir.

Pieniazek ve Messina (2017) dondurarak kurutulmuş şeftali çerezinin kalite parametrelerini belirlemişlerdir. Şeftalilerin mevsimlik ve raf ömürleri kısa olduğu için kalitelerini korumak için hızlı bir şekilde işlenmeleri gerekir. Dondurarak kurutmanın depo ömrüne, tüketimini artırmak ve meyve israfını azaltmak için depolanan şeftalilerin kalite parametreleri üzerindeki etkisini değerlendirmektir. Numuneler 16 gün boyunca saklandı ve her dört günlük aralıkta örneklendi ve dondurularak kurutuldu. Taramalı elektron mikroskobu, doku ve renk parametreleri görüntü analiz teknikleri ve fizikokimyasal parametreler konvansiyonel analiz ile uygulanarak mikro yapı yapılmıştır. İstatistiksel farklılıklar ($p < 0.05$), renk ve dokudan (depolanmış ve dondurularak kurutulmuş rehidre edilmiş numuneler) ve su aktivitesi ve gözenekliliği (dondurularak kurutulmuş numuneler) elde edilmiştir. Sonuçlar, 12 günlük depolama ve dondurmadan sonra, kurutulmuş şeftali atıştırmalıklarının, yüksek miktarda gözenekle daha düşük gözenek büyüklüğü gösterdiğini ve bu da daha sert bir numuneye yol açan rehidrasyon işlemini etkilediğini ortaya koydu. Renk daha koyu bir meyveye neden olacak şekilde etkilenmiştir. Bu araştırma, görüntü analiz tekniklerini uygulayarak kaliteye hızlı bir yaklaşım getirmekte ve raf ömrünü ve yağsız aperiatif şeftali tüketimini arttırmada ve meyve israfını azaltmada fayda sağlayacaktır.

Golisz ve ark. (2013) bu çalışmada şeftalinin konveksiyonel kurutma işlemi incelenmiştir. Kurutma deneyleri, 50, 60, 70 °C sıcaklıklarda ve hava hızları: 1 ve 1,2 m/s'de yapıldı. Sonuçlar grafikler üzerinde grafiksel olarak gösterilmiştir. Kurutma

havası sıcaklığındaki artış kuruma süresini kısalttı. Şeftali kurutma işleminde kullanılan kritik nem içeriği tanımlanmamıştır. Teorik modelin tam doğrulanması, ampirik doğrulama, analogik doğrulama dışında bir uygulama yapılmasını ve modeldeki fiziksel nümerik katsayıların yorumlanmasını gerektirir, bu nedenle çalışmanın sürdürülmesi gerekmektedir.

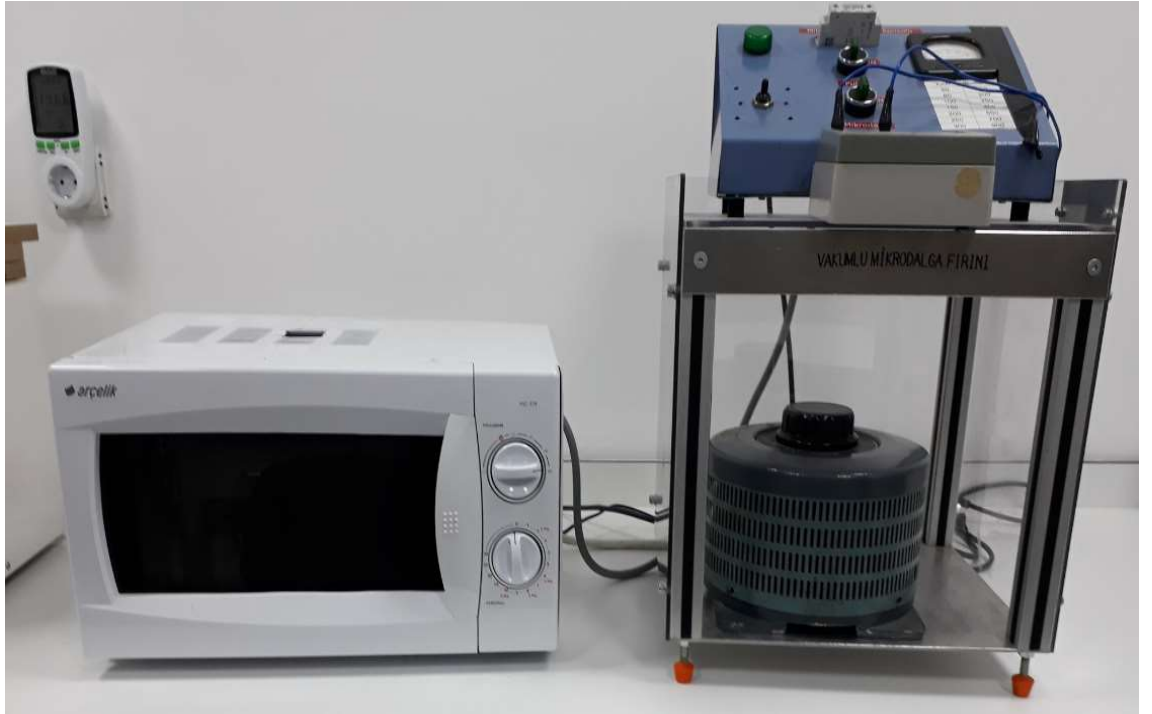
Kingsly ve ark. (2007) bu çalışmada, şeftali dilimlerinin kurutma davranışında ön işlemlerin (potasyum meta bisülfid ve askorbik asit) ve kurutma havası sıcaklığının 55 ve 65 °C etkisi araştırılmıştır. Ön işlemden geçirilmiş örnekler daha yüksek kuruma oranına sahiptir. Uygun bir kurutma eğrisi seçmek için, deneysel verilere altı ince katmanlı kurutma modeli eklendi. Logaritmik model en iyi korelasyon katsayısı değerleri olan şeftali dilimlerinin kurutma davranışını en iyi şekilde tanımlamıştır. Ön işlemden geçirilmiş numunelerin etkin nem verimliliği, ön işlemden geçirilmemiş numunelerden daha yüksektir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Taze şeftali ve nektarin meyveleri yerel bir marketten alınmıştır. Örnekler çalışmalar bitene kadar $4\pm 0,5$ °C koşullarında saklanmıştır (Soysal 2004).

Kurutma deneyleri modifiye edilmiş fırında gerçekleştirilmiştir. Kurutma sisteminin genel görünüşü Şekil 3.1’de verilmiştir. Ayrıca, Çizelge 3.1’de modifiye edilmiş kesikli mikrodalga fırının teknik özellikleri yer almaktadır.



Şekil 3.1. Modifiye edilmiş kesikli mikrodalga fırının genel görünüşü

Çizelge 3.1. Modifiye edilmiş kesikli mikrodalga fırının teknik özellikleri

Özellikler	Değerler
Yükseklik	262 mm
Genişlik	452 mm
Derinlik	325 mm
Fırın Hacmi	20 L
Güç	1200 W
Net Ağırlık	10,5 kg

3.2.Yöntem

3.2.1. Kurutma yöntemi

Kurutma işlemi için seçilen meyveler özel bir dilimleyici (Börner, Almanya) yardımıyla 3 ve 5 mm olmak üzere iki farklı dilim kalınlığına getirilmiştir. Şeftali ve nektarin örneklerinin başlangıçtaki nem seviyeleri kuru bazda (k.b.) sırasıyla 8,39 (g su.g kuru madde⁻¹) ve 6,50 (g su.g kuru madde⁻¹) olduğu etüvde 24 saat süre ile nemli 105 °C’de kurutularak belirlenmiştir.

Şeftali ve nektarin meyvelerinin kurutulması amacıyla kesikli mikrodalga kurutma yöntemi kullanılmıştır. Şeftali ve nektarin meyvelerini için uygun olan mikrodalga gücün belirlenmesi için ön deneyler yapılmıştır. Bu denemeler sonucunda, kurutma deneyleri 140 W mikrodalga gücünde gerçekleşmiştir. Şeftali ve nektarin meyveleri için yapılan ön deneylerde ürün kalınlığı 3 ve 5 mm olarak seçilmiştir. Şeftali ve nektarin meyvelerine uygulanan farklı kesiklilik oranları ise aşağıdaki eşitlik yardımıyla tespit edilmiştir:

$$PR = \frac{t_{açık} + t_{kapalı}}{t_{kapalı}} \quad (3.1)$$

Burada kullanılan PR (kesiklilik oranı), $t_{açık}$ ve $t_{kapalı}$ bir çevrimdeki mikrodalga güç uygulamasıdır (Gunasekaran, 1999).

Şeftali için yapılan deneylerde kesiklilik oranı;

PR=1 (sürekli açık)

PR=1,2 (50 s açık, 10 s kapalı)

PR=1,5 (40 s açık, 20 s kapalı)

PR=2 (30 s açık, 30 s kapalı)

PR=3 (20 s açık, 40 s kapalı)

Nektarin için kesiklilik oranı;

PR=1 (sürekli açık)

PR=1,3 (45 s açık, 15 s kapalı)

PR=2 (30 s açık, 30 s kapalı)

PR=4 (15 s açık, 45 s kapalı) olarak belirlenmiştir.

3.2.2. Mikrodalga güç ölçümü

Mikrodalğanın güç ölçümünün hesaplanabilmesi için Uluslararası Mikrodalga Güç Enstitüsü 2 litre testi kullanılmıştır (Buffle, 1993). Mikrodalga fırın içerisine, 2000±5 ml saf su bulunan 2 adet 1 litrelik cam kap yerleştirilmiş ve belirli güçlerle çalıştırılmıştır (3 tekrür). Cam kap içerisindeki bulunan saf su ısıtmadan önce 20±2 °C sıcaklığa getirilmiştir. Mikrodalga fırın 2 dakika 2 saniye çalıştırılmış ve cam kaplar içerisindeki su zaman geçirilmeden ölçülmüştür. Aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak mikrodalga kurutma sisteminin güçleri belirtilmiştir;

$$P_m = \frac{mc_p(\Delta T1 + \Delta T2)}{2\Delta T} \quad (3.2)$$

P_m = Ortalama çıkış gücü

$\Delta T1$ ve $\Delta T2$ = İki beherde de bulunan saf suda meydana gelen sıcaklık değişimleri (°C)

Δt = Mikrodalga uygulama süresi (s)

c_p = Suyun özgül ısısı (J/kg°C)

m = Toplam su kütlesi (kg)

3.2.3. Nem içeriğinin hesaplanması

Aşağıda verilen Eşitlik 3.3 ile deneysel sonuçların herhangi bir t anındaki nem içeriği değerleri hesaplanmıştır.

$$M_t = \frac{m - KM}{KM} \quad (3.3)$$

M_t : Herhangi bir t anındaki nem içeriği (g su.g kuru madde⁻¹)

m : Numunenin ağırlığı (g)

KM : Numunenin içerdiği kuru madde miktarı (g)

olarak tanımlanmıştır.

3.2.4. Nem oranının hesaplanması

Modellemede kullanılan boyutsuz nem oranı (MR) Eşitlik 3.4 kullanılarak belirlenmiştir (Kipcak 2017).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad (3.4)$$

M_e : Denge anındaki nem içeriği (g su. g kuru madde⁻¹)

M_o : Başlangıçtaki nem içeriği (g su. g kuru madde⁻¹)

olarak tanımlanmıştır.

3.2.5. Kuruma hızının hesaplanması

Kuruma hızı (KH), aşağıdaki Eşitlik 3.5 kullanılarak bulunmuştur (Kipcak 2017).

$$KH = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (3.5)$$

dt : Kuruma zamanı (dakika)

M_{t+dt} : $t+dt$ anındaki nem içeriği (g su.g kuru madde⁻¹)
olarak tanımlanmıştır.

3.2.6. Kuruma eğrilerinin matematiksel modellenmesi

Çizelge 3.2’de şeftali ve nektarin kurutulmasında modelleme için kullanılan 6 adet ince tabaka kurutma modeli verilmiştir.

Çizelge 3.2. Modelleme için kullanılan ince tabaka kurutma modelleri

No	Model adı	Model	Referans
1	Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Westerman ve ark. (1973)
2	Newton	$MR = \exp(-kt)$	Ayensu (1997)
3	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Agrawal ve Singh (1977)
4	Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$	Yağcıoğlu ve ark. (1999)
5	Wang ve Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang ve Singh (1978)
6	Midilli ve ark.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli ve ark. (2002)

3.2.7. Rehidrasyon oranının belirlenmesi

Kurutulmuş ürünün tekrar nemlendirildiğinde göstermiş olduğu su tutma kapasitesi rehidrasyon olarak tanımlanır. Rehidrasyon değerlerinin belirlenebilmesi için kurutulmuş şeftali ve nektarin örnekleri (10 ± 0.1 g), 14 saat boyunca 20 °C’de damıtılmış su içine, 1:50 katı/sıvı oranında olacak şekilde yerleştirilmiştir (Vega-Gálvez ve ark. 2009). Ardından şeftali ve nektarin örnekleri çıkarılarak bir elektronik dijital terazi (Shimadzu, Japonya) kullanılarak tartılmıştır. Her uygulama için bu işlem üç tekerrür halinde tekrar edilmiştir. Sonunda, rehidrasyon oranı (R) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Sunjka ve ark. 2008). Burada M_1 ve M_2 sırasıyla rehidrasyondan önce ve sonra numune ağırlıkları olarak gösterilmiştir.

$$R = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \quad (3.6)$$

3.2.8. Renk değerlerinin belirlenmesi ve hesaplanması

Şeftali ve nektarin örneklerinin renk değerleri bir renk ölçüm cihazı (Hunter Lab, ABD) kullanılarak belirlenmiştir. L^* , a^* ve b^* 'nin sırasıyla parlaklık, yeşil/kırmızı ve mavi/sarı kromatik bileşenleri temsil ettiği bir renk sistemi kullanılmıştır. Taze şeftali ve nektarin örnekleri için renk parametreleri L_0^* , a_0^* ve b_0^* olarak kaydedilmiştir. Deneyler yapılırken, renk ölçümlerinin her birinden önce, standart bir beyaz ve siyah plaka vasıtasıyla kalibre edilmiştir. Ayrıca, toplam renk farklılıkları (ΔE) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Tian ve ark. 2016, Zhao ve ark. 2017).

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (3.7)$$



Şekil 3.2. Renk ölçüm cihazının genel görünüşü

3.2.9. İstatiksel değerlendirme

Yapılan tez çalışmasının modelleme uygulamaları için MATLAB (MathWorks Inc., Natick, MA) paket programı kullanılmıştır. Ayrıca elde edilen verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde JMP (Versiyon 7, ABD) paket programı kullanılarak varyans analizi ile karşılaştırma testi yapılmıştır. Veriler %5 önem seviyesinde analiz edilmiştir. En iyi modelin belirlenmesinde belirtme katsayısı (R^2), hataların karelerinin karekök ortalaması ($RMSE$, Eşitlik 3.8) ve ki-kare (χ^2 , Eşitlik 3.9) istatistiksel kriterleri uygulanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{I=1}^n (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N}} \quad (3.8)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{I=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \quad (3.9)$$

$MR_{pre,i}$, i . tahmin edilen nem oranı, $MR_{exp,i}$, i . deneysel nem oranı, N gözlemlenen deneysel veri adedi ve z modelde yer alan bağımsız değişken sayısı olarak kullanılmıştır.

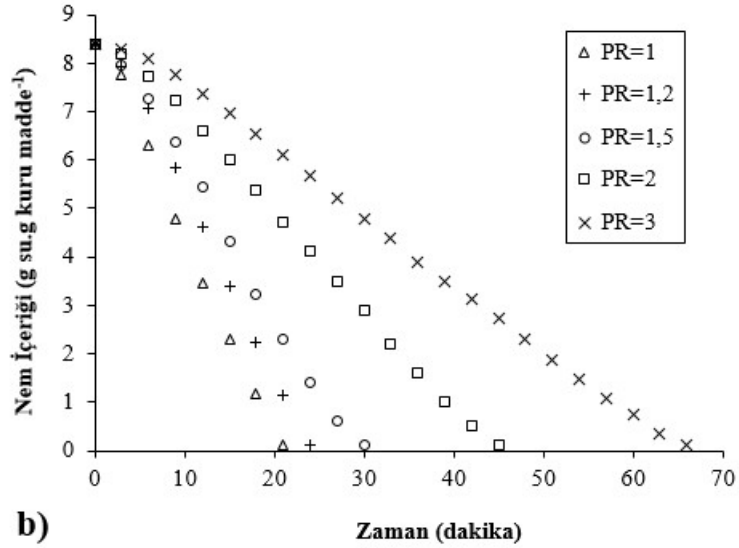
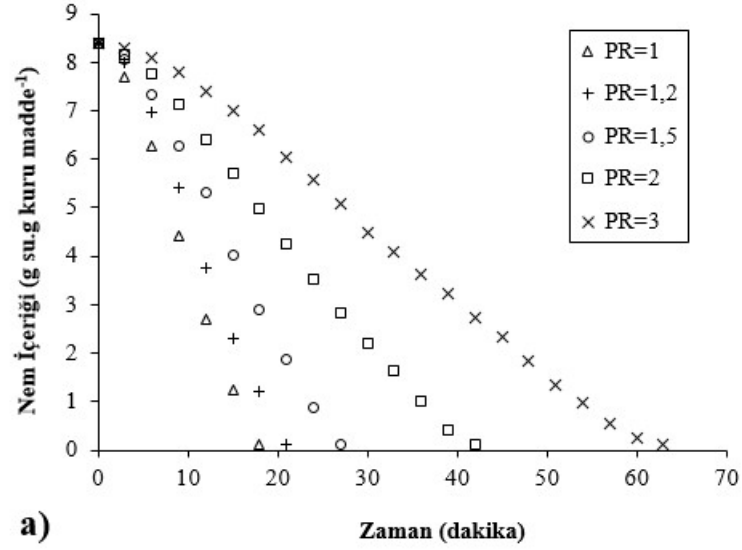
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Şeftali kurutma

4.1.1. Şeftali ürününün nem içeriği değişimi

140 W gücünde farklı koşullarda kurutulan şeftali örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi Şekil 4.1’de sunulmuştur. 3 mm dilim kalınlığındaki şeftali örnekleri için toplam kurutma süreleri PR=1, PR=1,2, PR=1,5, PR=2 ve PR=3 kurutma koşullarında sırasıyla 18, 21, 27, 42 ve 63 dakika olarak Şekil 4.1’de belirlenmiştir. Dilim kalınlığı 5 mm olan şeftali örnekleri için ise PR=1, PR=1,2, PR=1,5, PR=2 ve PR=3 kurutma koşullarında sırasıyla 21, 24, 30, 45 ve 66 dakika toplam kuruma süreleri tespit edilmiştir. Tüm sonuçlar toplam kuruma süresi bakımından ele alındığında, beklenildiği gibi en kısa toplam kuruma süresi (18 dakika) 3 mm kalınlıktaki şeftali örneklerinin PR=1 kurutma koşullarında kurutulması ile elde edilirken, en uzun süre (66 dakika) 5 mm kalınlığındaki şeftali örneklerinin PR=3 kurutma koşullarında elde edilmiştir.

Farklı kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerin kurutulmasında uygulanan kesiklilik oranının artması ürünlerin toplam kuruma süresini uzatırken, kuruma hızını ise azaltmıştır. Yapılan deneylerde ürünlerin dilim kalınlıklarına göre karşılaştırması yapıldığında, 3 mm dilim kalınlığındaki şeftali örneklerinden kurutma işlemiyle birlikte nemin üründen uzaklaşması süreci, 5 mm dilim kalınlığındaki şeftali örneklerine göre daha hızlı gerçekleşmiştir. Bu durum daha önce yapılan çalışmalarda mikrodalga PR değeri azaldıkça ürünün toplam kuruma süresi azalır şeklinde açıklanmıştır (Gunasekaran, 1990; Gunasekaran, 1999). Şeftali örneklerinin kuruma sonuçları daha önce gerçekleşen çeşitli gıdaların kurutulması çalışmalarının sonuçlarıyla benzerlik göstermiştir (Doymaz 2014, Zhu ve Shen 2014).

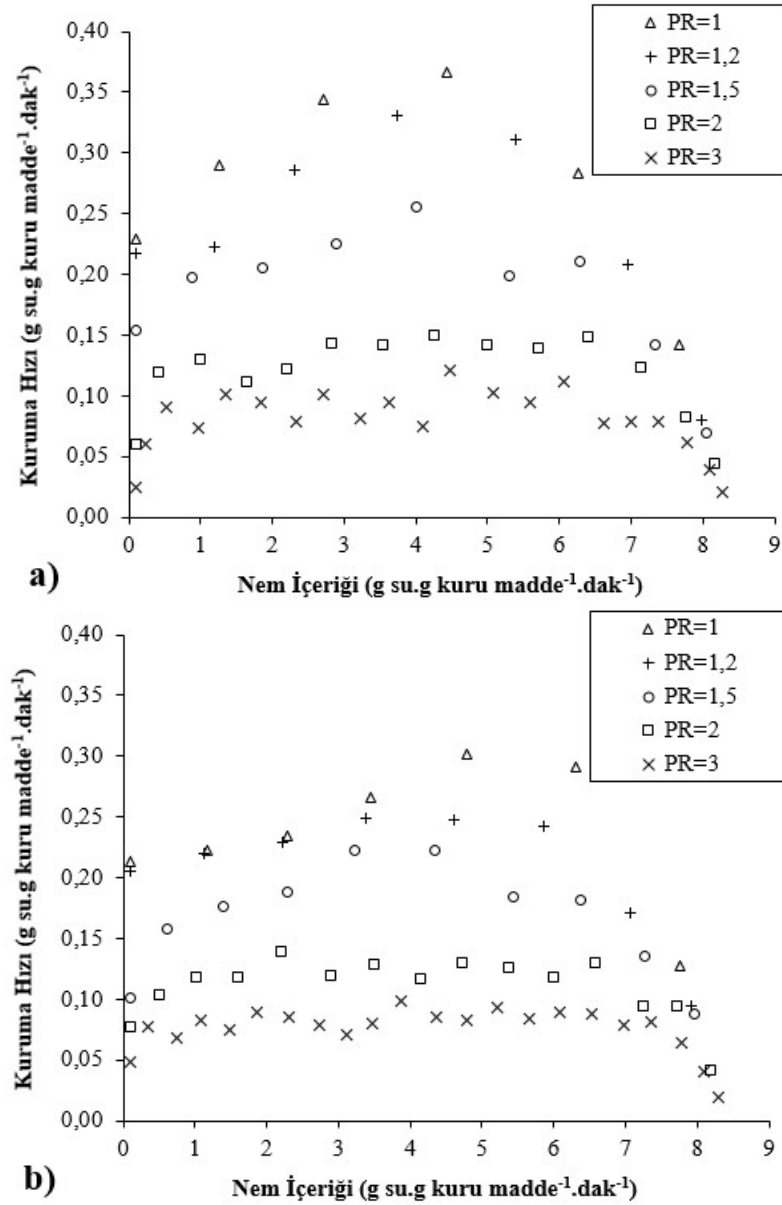


Şekil 4.1. Farklı dilim kalınlıkları (a) 3 mm ve b) 5 mm) ve kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi

4.1.2. Şeftali ürününün kuruma hızı değişimi

Kurutulan şeftali örneklerinin kuruma hızlarının zamanla değişimi Şekil 4.2’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, şeftali örneklerinin kuruma hızlarının zamanla değişiminin kurutma koşullarına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Kesikli mikrodalgayla gerçekleşen kurutma uygulamalarında karakteristik kuruma hızı eğrileri değerlendirildiğinde (Şekil 4.2), tüm kurutma koşulları için genel olarak kısa bir ısınma evresinden sonra kuruma hızı en yüksek değere çıkmıştır. Bu sonuçlarla daha önce

yapılmış olan çalışmalarda elde edilen sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğu görülmektedir (Dadalı 2007, Doymaz 2014).



Şekil 4.2. Farklı dilim kalınlıkları (a) 3 mm ve b) 5 mm) ve kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi

4.1.3. Şeftali ürününün kuruma eğrilerinin modellenmesi

Farklı kurutma şartları altında gözlemlenen nem içeriği değerlerinin nem oranı değerlerine çevrilmesiyle elde edilen bu değerlerin uygunluğunun çeşitli ince tabaka kurutma modelleriyle analiz edilmesi daha faydalı olabilmektedir (Akpınar 2006).

Şeftali örneklerinin kurutulmasında nem oranı değerlerinin tahmin edilmesi için kullanılan 6 farklı ince tabaka kurutma modeli Çizelge 3.2’de numaralandırılarak verilmiştir.

Bu bölümde şeftali örneklerinin kesikli mikrodalga kurutma yöntemiyle ile kurutulmasında belirlenen nem oranı verilerinin kuruma zamanları ile değişimi modellenmiş ve bu modellere ait kurutma katsayıları, R^2 , RMSE ve χ^2 istatistiksel parametrelerinin sonuçları çizelgeler halinde sunulmuştur (Çizelge 4.1-4.2). En düşük RMSE ve χ^2 değerleri ile en yüksek R^2 değerine sahip olan eşitlik veri serilerini temsil eden değerler uygun model olarak değerlendirilmiştir.

3 mm dilim kalınlığına sahip şeftali örneklerinden farklı kurutma koşullarında belirlenen nem oranı verilerinin zamanla değişimini istatistiksel parametrelere göre en iyi tanımlayan modelin 6 numaralı Midilli ve ark. modeli olduğu Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, 3 mm dilim kalınlığındaki şeftali örneklerinin PR=1, PR=1,2, PR=1,5, PR=2 ve PR=3 kurutma koşullarından elde edilen verilerin 6 numaralı Midilli ve ark. modeli ile modellenmesinden sırasıyla $R^2=0,9999$, RMSE=0,0043 ve $\chi^2=0,2292 \times 10^{-4}$; $R^2=0,9994$, RMSE=0,0094 ve $\chi^2=0,9639 \times 10^{-4}$; $R^2=0,9968$, RMSE=0,0205 ve $\chi^2=4,2652 \times 10^{-4}$; $R^2=0,9992$, RMSE=0,0099 ve $\chi^2=1,0362 \times 10^{-4}$ ve $R^2=0,9986$, RMSE=0,0128 ve $\chi^2=1,3406 \times 10^{-4}$ istatistiksel değerleri elde edilmiştir.

5 mm dilim kalınlığına sahip şeftali örneklerinin farklı kurutma koşullarından belirlenen nem oranı verilerinin zamanla değişimini istatistiksel parametrelere göre en iyi tanımlayan yine 6 numaralı Midilli ve ark. modeli olduğu Çizelge 4.2’de görülmektedir. Bu modele göre 5 mm dilim kalınlığındaki şeftali örneklerinin PR=1, PR=1,2, PR=1,5, PR=2 ve PR=3 kurutma koşullarından elde edilen verilerin modellenmesinde sırasıyla $R^2=0,9996$, RMSE=0,0074 ve $\chi^2=0,5868 \times 10^{-4}$; $R^2=0,9985$, RMSE=0,0139 ve $\chi^2=2,0414 \times 10^{-4}$; $R^2=0,9996$, RMSE=0,0070 ve $\chi^2=0,4332 \times 10^{-4}$; $R^2=0,9989$, RMSE=0,0112 ve $\chi^2=1,3626 \times 10^{-4}$ ve $R^2=0,9996$, RMSE=0,0063 $\chi^2=0,2484 \times 10^{-4}$ değerleri belirlenmiştir.

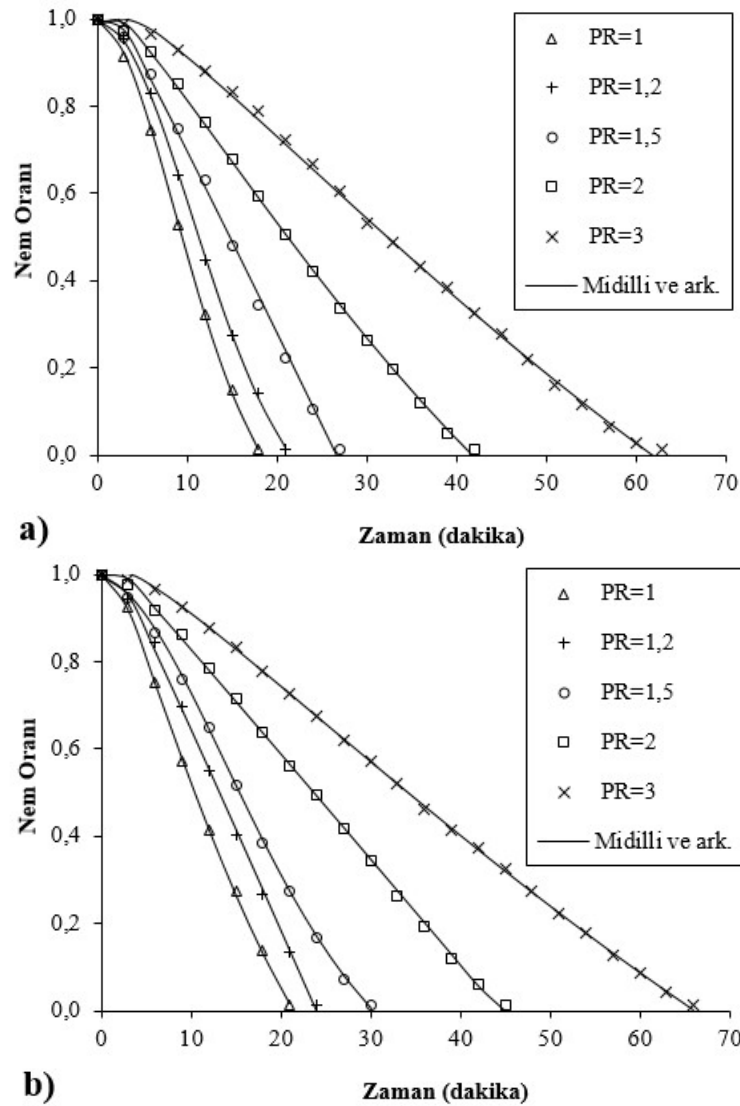
Çizelge 4.1. Farklı kurutma koşullarında kurutulan 3 mm kalınlığındaki şeftali örneklerinin kurutulmasında kullanılan modellerin istatistiksel analiz sonuçları

No	PR=1				PR=1,2				PR=1,5			
	Katsayılar	R ²	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$	Katsayılar	R ²	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$	Katsayılar	R ²	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$
1	a= 1,116 k= 0,09965	0,8809	0,1322	141,2485	a=1,135 k=0,08387	0,8771	0,1319	142,2578	a=1,141 k=0,06555	0,8878	0,1207	143,4593
2	k= 0,08881	0,8782	0,1337	171,9013	k=0,07317	0,8652	0,1381	189,7698	k=0,0566	0,8686	0,1307	168,3667
3	k= 0,005808 n= 2,146	0,9956	0,0254	6,7098	k=0,003301 n=2,219	0,9962	0,0230	4,4368	k=0,002269 n=2,153	0,9941	0,0277	7,2085
4	a=110,7 k=0,0005231 c=-109,7	0,9843	0,0479	19,1644	a=179,4 k=0,0002725 c=-178,4	0,9795	0,0538	29,6410	a=218,8 k=0,0001717 c=-217,7	0,9842	0,0453	18,5218
5	a=-0,04436 b=-0,0007031	0,9869	0,0438	17,6920	a=-0,03417 b=-0,0007096	0,9850	0,0461	23,0546	a=-0,0267 b=-0,0004295	0,9905	0,0352	12,5030
6	a=1,001 k=0,007513 n=1,926 b=-0,007107	0,9999	0,0043	0,2292	a=1,004 k=0,004417 n=2,009 b=-0,005631	0,9994	0,0094	0,9639	a=0,1833 k=-0,0814 n=0,1833 b=-0,04363	0,9968	0,0205	4,2652
No	PR=2				PR=3							
	Katsayılar	R ²	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$	Katsayılar	R ²	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$				
1	a=1,147 k=0,04513	0,9174	0,0984	80,9156	a=1,169 k=0,03015	0,9145	0,0989	80,34				
2	k=0,03878	0,8914	0,1129	129,4855	k=0,02528	0,8784	0,1178	138,9641				
3	k=0,001997 n=1,93	0,9940	0,0266	6,5002	k=0,0006835 n=2,003	0,9938	0,0265	6,9423				
4	a=73,73 k=0,0003465 c=-72,68	0,9951	0,0240	4,7682	a=108,1 k=0,0001573 c=-107,1	0,9939	0,0264	5,7942				
5	a=-0,02113 b=-0,00008	0,9925	0,0298	9,9137	a=-0,01306 b=-0,00005	0,9913	0,0316	9,8984				
6	a=0,9951 k=-0,0875 n=0,6654 b=-0,06796	0,9992	0,0099	1,0362	a=0,9898 k=-0,07223 n=0,6452 b=-0,04496	0,9986	0,0128	1,3406				

Çizelge 4.2. Farklı kurutma koşullarında kurutulan 5 mm kalınlığındaki şeftali örneklerinin kurutulmasında kullanılan modellerin istatistiksel analiz sonuçları

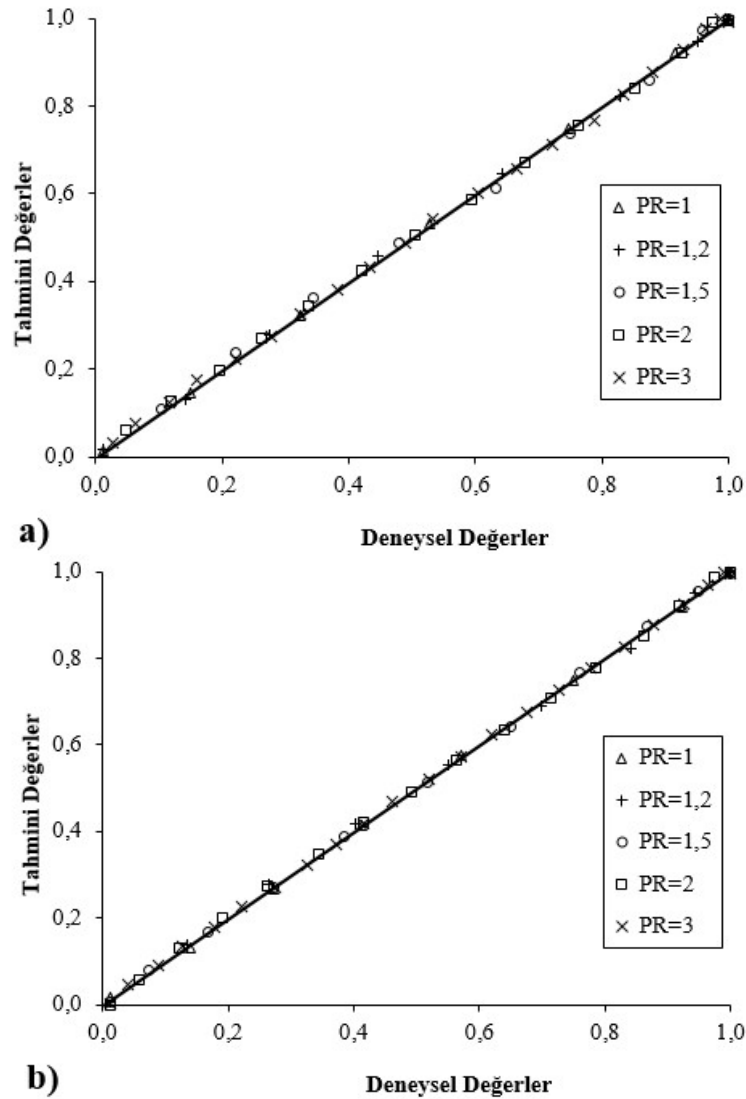
No	PR=1			PR=1,2				PR=1,5				
	Katsayılar	R ²	RMSE	χ ² (10 ⁻⁴)	Katsayılar	R ²	RMSE	χ ² (10 ⁻⁴)	Katsayılar	R ²	RMSE	χ ² (10 ⁻⁴)
1	a=0,9163 k=0,08875	0,9163	0,1051	108,19	a=1,125 k=0,07196	0,892	0,1174	136,7893	a=1,138 k=0,06255	0,9021	0,1119	101,0362
2	k=0,07965	0,9089	0,1096	121,0196	k=0,06304	0,8788	0,1244	156,5023	k=0,05442	0,8833	0,1222	145,2935
3	k=0,00966 n=1,843 a=12,06	0,9931	0,0301	8,7418	k=0,003693 n=2,058 a=252	0,9920	0,0320	9,3091	k=0,002754 n=2,042 a=138,2	0,9947	0,0261	6,7609
4	k=0,004278 c=-11,02	0,9939	0,0285	6,5207	k=0,0001624 c=-251	0,9851	0,0436	19,4727	k=0,0002547 c=-137,2	0,9905	0,0349	9,7094
5	a=-0,04573 b=-0,0001082 a=1,001	0,9929	0,0307	10,1805	a=1,878 b=-0,0004886 a=0,9999	0,9939	0,0279	8,7247	a=-0,02868 b=-0,0002002 a=0,9951	0,9896	0,0365	12,6539
6	k=-0,1427 n=0,6748 b=-0,1443	0,9996	0,0074	0,5868	k=-0,07244 n=0,2063 b=-0,04791	0,9985	0,0139	2,0414	k=0,003636 n=1,839 b=-0,004853	0,9996	0,0070	0,4332
No	PR=2			PR=3								
	Katsayılar	R ²	RMSE	χ ² (10 ⁻⁴)	Katsayılar	R ²	RMSE	χ ² (10 ⁻⁴)				
1	a=1,145 k=0,04082	0,9161	0,09732	78,7215	a=1,158 k=0,02813	0,9249	0,0898	65,3202				
2	k=0,03499	0,8894	0,1117	123,6751	k=0,02378	0,8915	0,1078	115,1004				
3	k=0,001706 n=1,923 a=97,62	0,9915	0,0310	9,6081	k=0,0009261 n=1,89 a=100,4	0,9931	0,0273	7,5753				
4	k=0,0002377 c=-96,59	0,9961	0,0209	81,0662	k=0,0001585 c=-99,36	0,9968	0,0185	2,2728				
5	a=-0,0185 b=-0,00009 a=1,003	0,9952	0,0234	5,2057	a=-0,0128 b=-0,00004 a=0,9948	0,9944	0,0245	5,7006				
6	k=-0,05413 n=0,09868 b=-0,02439	0,9989	0,0112	1,3626	k=-0,05616 n=0,6747 b=-0,03888	0,9996	0,0063	0,2484				

Farklı dilim kalınlıklarına sahip şeftali örneklerinin kurutulmasında uygulanan tüm kurutma şartlarından deneysel olarak belirlenen nem oranı değerleri ile bu değerleri 6 farklı ince tabaka kurutma modeli arasında en iyi açıklayan model olan Midilli ve ark. modelinden sağlanan tahmini nem oranı verilerinin zamanla değişimi Şekil 4.3'de görülmektedir. Deneysel olarak belirlenen değerlerle Midilli ve ark. modelinden sağlanan tahmini değerlerin birbirine oldukça yakın oldukları Şekil 4.3'de görüldüğü gibi belirlenmiştir.



Şekil 4.3. Farklı dilim kalınlıkları (a) 3 mm ve b) 5 mm) ve kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması

Farklı dilim kalınlıklarına sahip şeftali örneklerinin kurutulmasında uygulanan tüm kurutma şartları için Midilli ve ark. modelinden sağlanan tahmini nem oranı verileri ile deneysel olarak belirlenen nem oranı verilerinin karşılaştırılması Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, 45° açıyla çizilmiş olan bir çizginin etrafında verilerin toplandığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Midilli ve ark. modeli şeftali örneklerinin kurutma sonuçlarını 6 farklı ince tabaka kurutma modeli arasında en uygun olarak tanımlamaktadır.

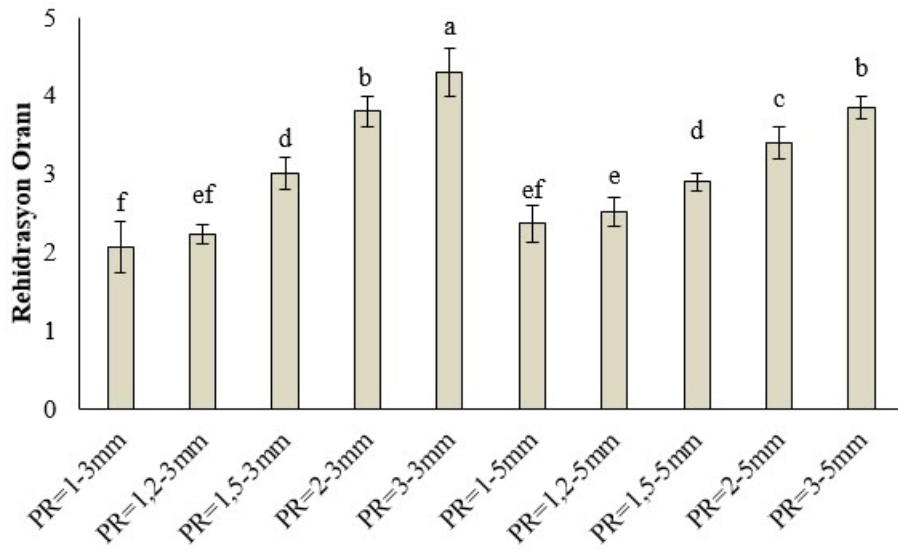


Şekil 4.4. Farklı dilim kalınlıkları (a) 3 mm ve b) 5 mm) ve kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması

Farklı araştırmacılar daha önce yapmış oldukları çalışmalarında kullanmış oldukları farklı ince tabaka kurutma modelleri arasında en uygun model olarak Midilli ve ark. modelini belirlemişlerdir (Akpınar 2006, McMinn 2006). Bu durum şeftali örneklerinin farklı kurutma koşulları altında kurutularak modellenmesi çalışmasından sağlanan sonuçlarla literatürdeki sonuçların uyum içerisinde olduğunu ortaya koymuştur.

4.1.4. şeftali ürününün rehidrasyon oranının değışimi

Farklı kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerinin rehidrasyon oranı sonuçları Şekil 4.5’de verilmiştir. En yüksek rehidrasyon oranı değerin (4,295) 3 mm dilim kalınlığında ve PR=3 kurutma koşullarında kurutulmuş şeftali örneklerinden elde edildiği Şekil 4.5’de görülmektedir ($p < 0,05$). En yüksek rehidrasyon oranı değerin en yakın rehidrasyon oranı değeri ise 3 mm dilim kalınlığında PR=2 kurutma koşullarında ve 5 mm dilim kalınlığında PR=3 kurutma koşullarında kurutulmuş şeftali örneklerinden elde edilmiştir. Rehidrasyon oranı kurutulmuş ürünler için önemli bir kalite değerlendirme endeksidir (Roknul Azam ve ark. 2019).



Şekil 4.5. Farklı kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerinin rehidrasyon oranı sonuçları

4.1.5 şeftali ürününün renk analizi sonuçları

Gıdalarda en önemli kalite kriterlerinden biride renktir. Gıdanın renginde gerçekleşen olumsuz değışim, pazarlanabilme şansının azalmasına ve kalite düzeyinin düşmesine neden olmaktadır (Doymaz ve Pala, 2001). Taze ve farklı kurutma koşullarında

kurutulmuş şeftali örneklerinin renk parametreleri (L^* , a^* , b^* ve ΔE) Çizelge 4.3’de verilmiştir. Beklenildiği gibi en yüksek L^* (64,326) ve b^* (56,318) değerleriyle en düşük a^* (12,204) değeri taze şeftali örneklerinden elde edilmiştir ($p<0,05$). Sonuçlar incelendiğinde taze şeftali örneklerinde L^* (parlaklık) değeri 64,326 iken, 5 mm dilim kalınlığında PR=1 kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerinde bu değer 42,432 değerine kadar düştüğü görülmektedir. Taze şeftali örneklerinin L^* değerine en yakın değer (61,714) 3 mm dilim kalınlığında PR=2 kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerinden elde edilmiştir. Şeftali örneklerinin a^* (yeşillik/kırmızılık) değerleri incelendiğinde en yüksek (23,876) a^* değeri 5 mm dilim kalınlığında PR=1,5 kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerinden elde edilmiştir. Kurutma işlemiyle taze örneklere göre kurutulmuş şeftali örneklerinin L^* değerinde olduğu gibi b^* (sarılık/mavilik) değerlerinde de bir düşüş meydana gelmiştir ($p<0,05$). Taze şeftali örneklerinin b^* değerine en yakın değer (54,522) 5 mm dilim kalınlığında PR=1,5 kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerinde tespit edilmiştir. En düşük b^* değeri (33,638) ise 5 mm dilim kalınlığında PR=1,2 kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerinde görülmüştür. Örneklerin L^* , a^* ve b^* değerlerinin belirlenmesiyle toplam renk değişimi (ΔE) hesaplanmıştır. Kurutulmuş şeftali örneklerinin ΔE değerleri 35,322 ile 18,699 arasında değişiklik göstermiştir.

Çizelge 4.3. Farklı kurutma koşullarında kurutulan şeftali örneklerinin renk değerleri

Kurutma Yöntemi	Renk Parametreleri			
	L^*	a^*	b^*	ΔE
Taze	64,326(0,210) ^a	12,204(0,026) ⁱ	56,318(0,107) ^a	-
PR=1-3mm	45,068(1,499) ^h	17,134(0,079) ^c	39,394(0,142) ^g	30,888(1,053) ^c
PR=1,2-3mm	48,378(0,464) ^g	15,952(0,136) ^e	35,318(0,114) ^h	28,697(0,283) ^d
PR=1,5-3mm	56,856(0,337) ^e	13,338(0,133) ^g	43,048(0,094) ^f	19,790(0,206) ^g
PR=2-3mm	61,714(0,191) ^b	12,486(0,055) ^h	52,762(0,391) ^c	18,699(0,183) ^h
PR=3-3mm	57,308(0,575) ^e	16,706(0,115) ^d	46,080(0,361) ^e	22,469(0,166) ^f
PR=1-5mm	42,432(0,119) ⁱ	19,436(0,158) ^b	34,676(0,333) ⁱ	35,322(1,139) ^a
PR=1,2-5mm	45,686(0,229) ^h	15,978(0,135) ^e	33,638(0,393) ^j	31,148(0,212) ^{bc}
PR=1,5-5mm	54,738(0,108) ^f	23,876(0,304) ^a	54,522(0,192) ^b	31,630(0,124) ^b
PR=2-5mm	58,258(1,188) ^d	17,194(0,150) ^c	52,906(0,152) ^c	23,978(0,153) ^c
PR=3-5mm	59,798(0,538) ^c	15,040(0,336) ^f	47,774(0,295) ^d	20,097(0,265) ^g

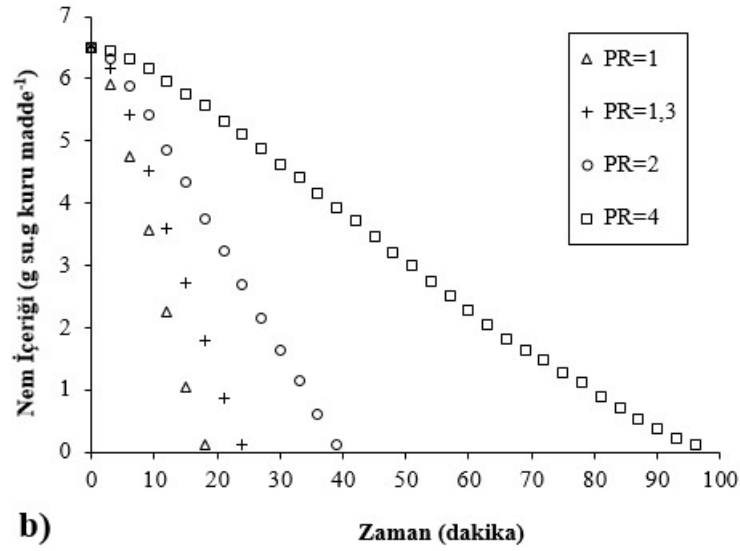
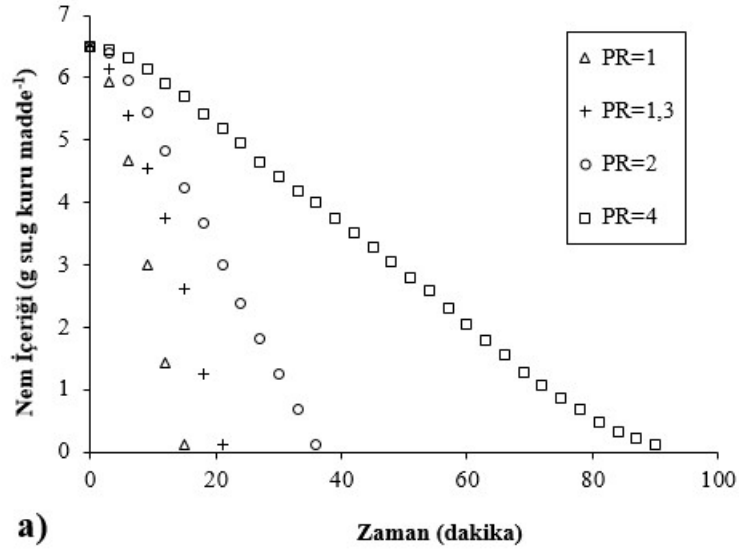
Her bir renk parametresi sütunun istatistiği ayrı ayrı uygulanmıştır ve aynı sütunda farklı harfler taşıyan ortalamalar arasındaki farklılıklar önemlidir ($p<0,05$).

4.2. Nektarin kurutma

4.2.1. Nektarin ürününün nem içeriği değişimi

Farklı dilim kalınlığında ve kurutma koşulları altında kurutulan nektarin örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi Şekil 4.6'da gösterilmiştir. 3 mm dilim kalınlığındaki nektarin örnekleri için toplam kurutma süreleri PR=1, PR=1,3, PR=2 ve PR=4 kurutma koşullarında sırasıyla 15, 21, 36 ve 90 dakika olarak Şekil 4.6'da görüldüğü gibi belirlenmiştir. Dilim kalınlığı 5 mm olan nektarin örnekleri için ise yine PR=1, PR=1,3, PR=2 ve PR=4 kurutma koşullarında sırasıyla 18, 24, 39 ve 96 toplam kuruma süreleri tespit edilmiştir. Tüm sonuçlar toplam kuruma süresi bakımından ele alındığında, beklenildiği gibi en kısa toplam kuruma süresi (15 dakika) 3 mm kalınlıktaki nektarin örneklerinin PR=1 kurutma koşullarında kurutulması ile elde edilirken, en uzun süre (96 dakika) 5 mm kalınlığındaki nektarin örneklerinin PR=4 kurutma koşullarında elde edilmiştir.

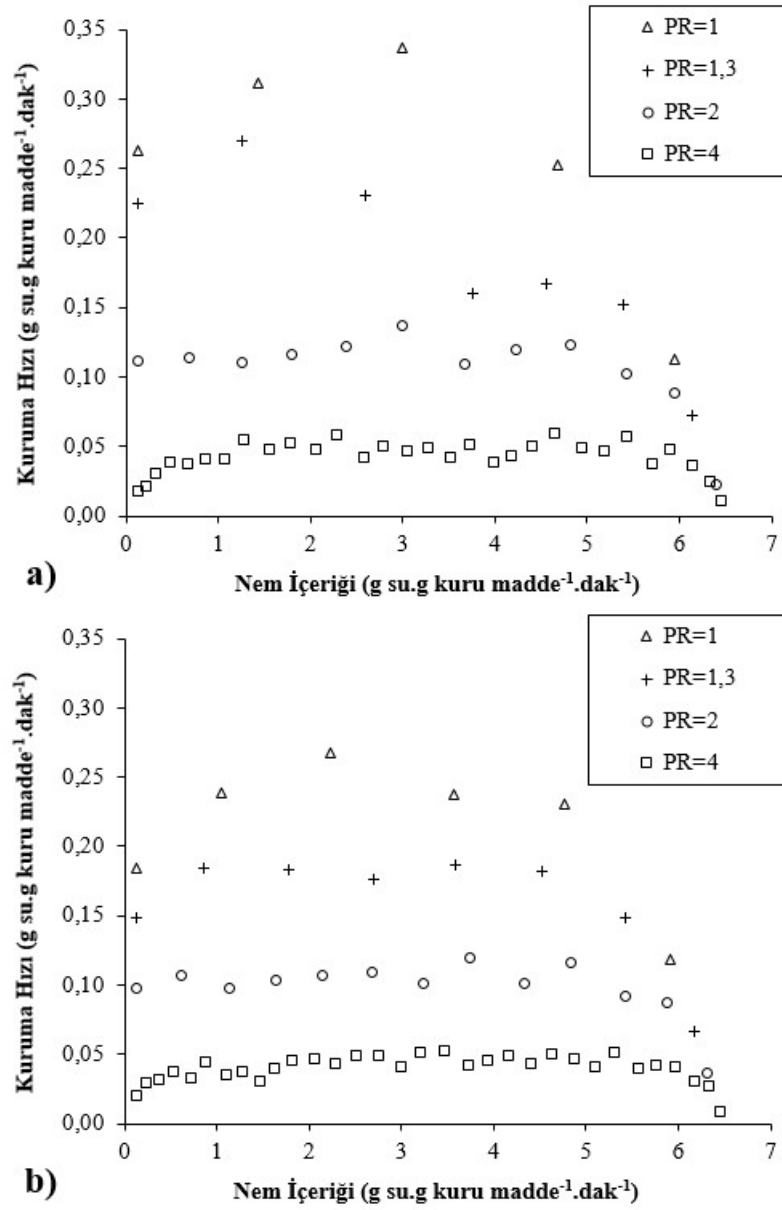
Nektarin örneklerin farklı kurutma koşullarında kurutulmasında uygulanan kesiklilik oranının artması ürünlerin toplam kuruma süresini uzatırken, kuruma hızını ise azaltmıştır. Yapılan deneylerde ürünlerin dilim kalınlıklarına göre karşılaştırması yapıldığında, 3 mm dilim kalınlığındaki nektarin örneklerinden kurutma işlemiyle birlikte nemin üründen uzaklaşması süreci, 5 mm dilim kalınlığındaki nektarin örneklerine göre daha hızlı gerçekleşmiştir. Bu durum daha önce yapılan çalışmalarda mikrodalga kesiklilik oranı değeri azaldıkça ürünün toplam kuruma süresi azalır şeklinde açıklanmıştır (Gunasekaran, 1999). Nektarin örneklerinin kuruma sonuçları daha önce gerçekleşen çeşitli gıdaların kurutulması çalışmalarının sonuçlarıyla benzerlik göstermiştir (Beaudry ve ark. 2003, Gunhan ve ark. 2005, Akpınar ve ark. 2006).



Şekil 4.6. Farklı dilim kalınlıkları (a) 3 mm ve b) 5 mm) ve kurutma koşullarında kurutulan nektarin örneklerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi

4.2.2. Nektarin ürününün kuruma hızı değişimi

Kurutulan nektarin örneklerinin kuruma hızlarının zamanla değişimi Şekil 4.7’de verilmiştir. Sonuçlarda görüldüğü gibi, nektarin örneklerinin kuruma hızlarının zamanla değişiminin kurutma koşullarına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Kesikli mikrodalgayla gerçekleşen nektarin kurutma uygulamalarında karakteristik kuruma hızı eğrileri (Şekil 4.7); sonuçları değerlendirildiğinde, genel olarak kısa bir ısınma evresinden sonra nektarin örneklerinin kuruma hızlarının en yüksek değerlere çıktıkları görülmektedir. Elde edilen sonuçlar, literatürde bulunan sonuçlar ile benzerlik içerisindedir (Dadalı 2007, Chayjan ve ark. 2011, Doymaz 2014).



Şekil 4.7. Farklı dilim kalınlıkları (a) 3 mm ve b) 5 mm) ve kurutma koşullarında kurutulan nektarin örneklerinin kuruma hızlarının nem içerikleriyle değişimi

4.2.3. Nektarin ürününün kuruma eğrilerinin modellenmesi

Nektarin örneklerinin farklı kurutma şartları altında kurutulmasında belirlenen nem oranı verilerinin kuruma zamanları ile değişimi 6 farklı ince tabaka kurutma modeli ile incelenmiştir. Kullanılan modellere ait katsayılar, R^2 , RMSE ve χ^2 istatistiksel parametrelerinin sonuçları çizelgeler halinde sunulmuştur (Çizelge 4.4-4.5).

3 mm dilim kalınlığına sahip nektarin örneklerinden farklı kurutma koşullarında belirlenen nem oranı verilerinin zamanla değişimini istatistiksel parametrelere göre en iyi tanımlayan modellerin PR=1 ve PR=2 kurutma koşullarında 6 numaralı Midilli ve ark. modeli olduğu görülürken, PR=1,3 kurutma koşulunda 5 numaralı Wang ve Singh modeli ve PR=4 kurutma koşulunda is 4 numaralı Logaritmik modeli olduğu Çizelge 4.4'de görülmektedir.

5 mm dilim kalınlığına sahip nektarin örneklerinin farklı kurutma koşullarından sağlanan nem oranı verilerinin zamanla değişimini istatistiksel parametrelere göre en iyi açıklayan 6 numaralı Midilli ve ark. modeli olduğu Çizelge 4.5'de görülmektedir. Bu modelden elde edilen sonuçlara göre, 5 mm dilim kalınlığındaki nektarin örneklerinin PR=1, PR=1,3, PR=2 ve PR=4 kurutma koşullarından elde edilen verilerin modellenmesinde sırasıyla $R^2=0,9995$, RMSE=0,0085 ve $\chi^2=0,5682 \times 10^{-4}$; $R^2=0,9986$, RMSE=0,0131 ve $\chi^2=1,0613 \times 10^{-4}$; $R^2=0,9995$, RMSE=0,0073 ve $\chi^2=0,4732 \times 10^{-4}$ ve $R^2=0,9999$, RMSE=0,0037 ve $\chi^2=0,1430 \times 10^{-4}$ değerleri belirlenmiştir.

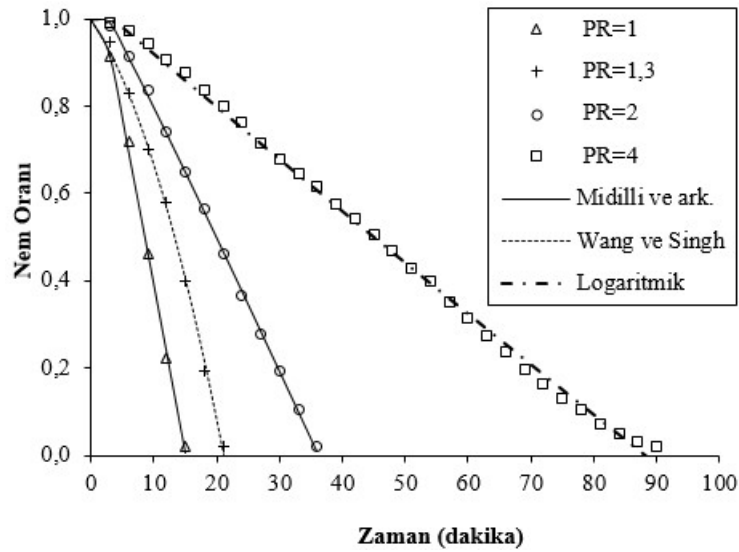
Çizelge 4.4. Farklı kurutma koşullarında kurutulan 3 mm kalınlığındaki nektarin örneklerinin kurutulmasında kullanılan modellerin istatistiksel analiz sonuçları

No	PR=1				PR=1,3			
	Katsayılar	R ²	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$	Katsayılar	R ²	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$
1	a=1,11 k=0,1091	0,8494	0,1512	200,7722	a=1,125 k=0,07196	0,8459	0,1398	167,3253
2	k=0,09743	0,8574	0,1471	219,3896	k=0,0624	0,8381	0,1433	202,4952
3	k=0,00479 n=2,339 a=216,8	0,9937	0,0310	9,4025	k=0,001814 n=2,35 a=301,9	0,9800	0,0504	25,8148
4	k=0,0003053 c=-215,8	0,9695	0,0680	42,4244	k=0,0001431 c=-300,9	0,9476	0,0815	63,7591
5	a=-0,04013 b=-0,001812 a=1	0,9898	0,0393	15,9746	a=-0,02077 b=-0,001271 a=1,01	0,9978	0,0168	2,1648
6	k=-0,1234 n=0,157 b=-0,08007	0,9960	0,0247	5,3996	k=-0,09697 n=0,5276 b=-0,07593	0,9915	0,0328	10,5956
No	PR=2				PR=4			
	Katsayılar	R ²	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$	Katsayılar	R ²	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$
1	a=1,146 k=0,04753	0,9059	0,1037	87,7549	a=1,154 k=0,0216	0,9312	0,0848	60,0366
2	k=0,0405	0,8783	0,1180	138,7346	k=0,01838	0,9001	0,1022	104,3075
3	k=0,001773 n=2,015 a=202,4	0,9930	0,0283	8,2320	k=0,0007441 n=1,815 a=13,98	0,9912	0,0304	8,8756
4	k=0,000135 c=-201,3	0,9881	0,0368	12,1489	k=0,0008805 c=-12,94	0,9974	0,0165	1,9709
5	a=-0,01959 b=-0,0002334 a=0,9997	0,9937	0,0268	6,9338	a=-0,01048 b=-0,00001 a=1,035	0,9952	0,0224	5,1389
6	k=-0,06416 n=0,2493 b=-0,03219	0,9992	0,0097	0,6757	k=-0,1 n=0,1 b=-0,01184	0,9972	0,0172	2,4374

Çizelge 4.5. Farklı kurutma koşullarında kurutulan 5 mm kalınlığındaki nektarin örneklerinin kurutulmasında kullanılan modellerin istatistiksel analiz sonuçları

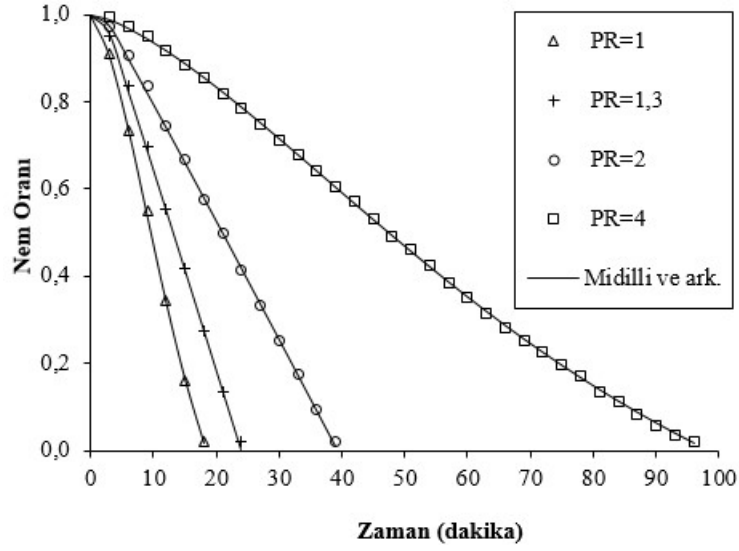
No	PR=1				PR=1,3			
	Katsayılar	R ²	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$	Katsayılar	R ²	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$
1	a=1,108 k=0,09733	0,8884	0,1249	133,7685	a=1,128 k=0,07155	0,8917	0,1176	110,5028
2	k=0,08722	0,8867	0,1258	159,1274	k=0,06245	0,8772	0,1252	151,8701
3	k=0,007054 n=2,052	0,9928	0,0317	10,4679	k=0,003537 n=2,07	0,9923	0,0313	10,4298
4	a=144,4 k=0,0003884 c=-143,4	0,9882	0,0406	14,4649	a=242,2 k=0,0001688 c=-241,2	0,9842	0,0450	17,2568
5	a=-0,04422 b=-0,0006622	0,9920	0,0334	10,5076	a=-0,02996 b=-0,0005097	0,9932	0,0295	7,5963
6	a=1 k=0,008929 n=1,786 b=-0,01073	0,9995	0,0085	0,5682	a=1 k=-0,0814 n=0,1413 b=-0,04719	0,9986	0,0131	1,0613
No	PR=2				PR=4			
	Katsayılar	R ²	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$	Katsayılar	R ²	RMSE	$\chi^2(10^{-4})$
1	a=1,133 k=0,04487	0,9175	0,0950	74,2197	a=1,156 k=0,02014	0,9367	0,0806	53,6186
2	k=0,03881	0,8945	0,1074	114,8594	k=0,01708	0,9040	0,0993	98,3626
3	k=0,002407 n=1,883	0,9912	0,0310	9,2330	k=0,0006854 n=1,804	0,9951	0,0225	5,5725
4	a=115,4 k=0,000222 c=-114,4	0,9954	0,0224	4,3835	a=7,225 k=0,001651 c=-6,176	0,9971	0,0174	1,7580
5	a=-0,02052 b=-0,0001331	0,9966	0,0194	4,1648	a=-0,009928 b=-0,000007	0,9940	0,0248	5,7146
6	a=0,9999 k=-0,0468 n=0,1937 b=-0,02794	0,9995	0,0073	0,4732	a=1,003 k=0,001279 n=1,557 b=-0,002028	0,9999	0,0037	0,1430

3 mm dilim kalınlıklarına sahip nektarin örneklerinin kurutulmasında uygulanan tüm kurutma şartlarından deneysel olarak belirlenen nem oranı değerleri ile bu değerleri 6 farklı ince tabaka kurutma modeli arasında en iyi tanımlayan modeller olan Midilli ve ark., Wang ve Singh ve Logaritmik modellerinden elde edilen tahmini nem oranı değerlerinin zamanla değişimi Şekil 4.8’de gösterilmektedir. Deneysel belirlenen değerlerle Midilli ve ark., Wang ve Singh ve Logaritmik modellerinden sağlanan tahmini değerlerin birbirine oldukça yakın oldukları Şekil 4.8’de görüldüğü gibi belirlenmiştir.



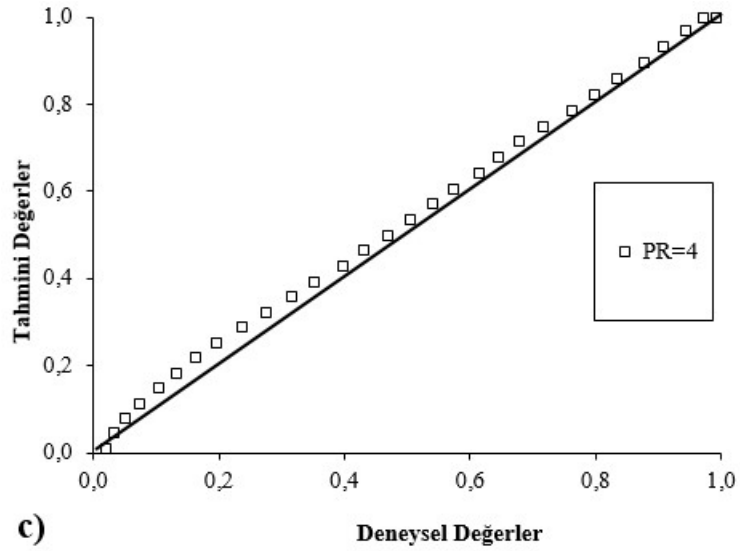
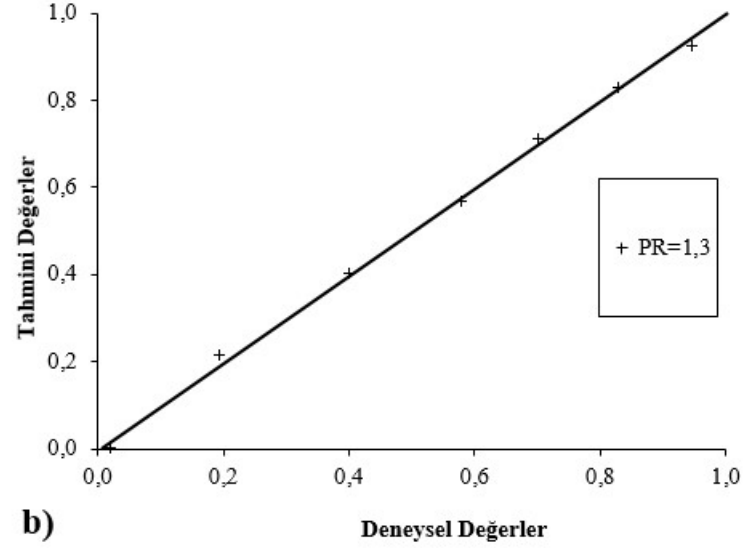
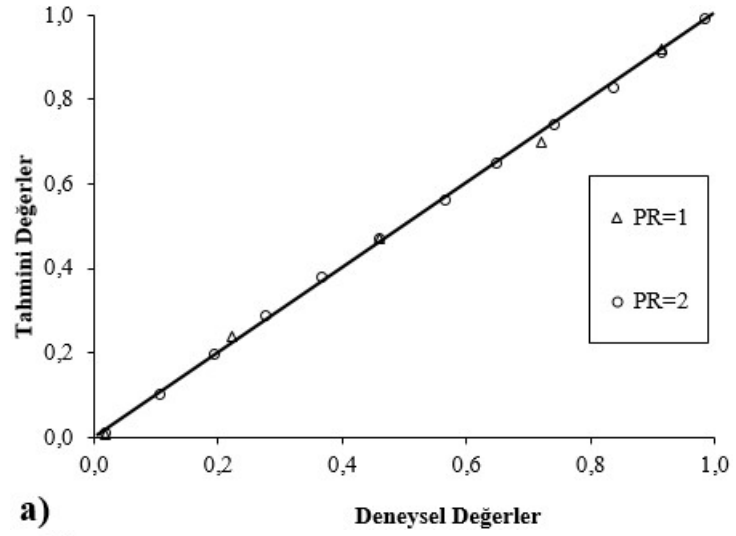
Şekil 4.8. Farklı kurutma koşullarında kurutulmuş 3 mm kalınlığındaki nektarin örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modellerin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması

5 mm dilim kalınlığına sahip nektarin örneklerinin kurutulmasında uygulanan tüm kurutma şartlarından deneysel olarak belirlenen nem oranı değerleri ile bu değerleri 6 farklı ince tabaka kurutma modeli arasında en iyi açıklayan model olan Midilli ve ark. modelinden sağlanan tahmini nem oranı verilerinin zamanla değişimi Şekil 4.9’da gösterilmektedir. Deneysel olarak elde edilen değerlerle Midilli ve ark. modelinden elde edilen tahmini değerlerin birbirine oldukça yakın oldukları Şekil 4.9’da tespit edilmiştir. Daha önce gerçekleştirilen çalışmalarda farklı araştırmacıların yapmış oldukları kurutma çalışmalarının ince tabaka kurutma modelleriyle modellenmesinde en uygun model olarak Midilli ve ark modelini belirlemişlerdir (Ertekin ve Yıldız 2004, Mundada ve ark. 2010).



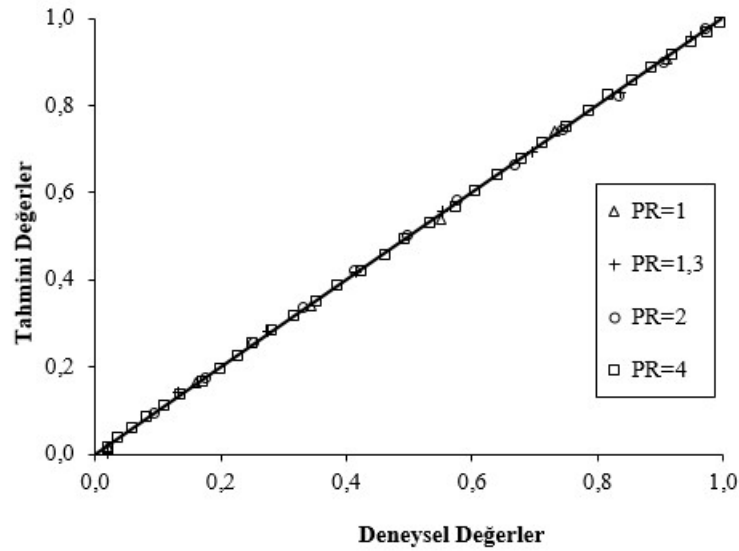
Şekil 4.9. Farklı kurutma koşullarında kurutulmuş 5 mm kalınlığındaki nektarin örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması

3 mm dilim kalınlığına sahip nektarin örneklerinin kurutulmasında uygulanan tüm kurutma şartları için Midilli ve ark., Wang ve Singh ve Logaritmik modellerinden sağlanan tahmini nem oranı verileri ile deneysel olarak belirlenen nem oranı verilerinin karşılaştırılması Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, 45° açıyla çizilmiş olan bir çizginin etrafında verilerin toplandığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, PR=1 ve PR=2 kurutma koşullarında 6 numaralı Midilli ve ark. modeli, PR=1,3 kurutma koşulunda 5 numaralı Wang ve Singh modeli ve PR=4 kurutma koşulunda is 4 numaralı Logaritmik modeli nektarin örneklerinin kurutma sonuçlarını 6 farklı ince tabaka kurutma modeli arasında en uygun olarak tanımlamaktadırlar.



Şekil 4.10. Farklı kurutma koşullarında kurutulmuş 3 mm kalınlığındaki nektarin örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modellerin (a) Midilli ve ark., b) Wang ve Singh ve c) Logaritmik) nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması

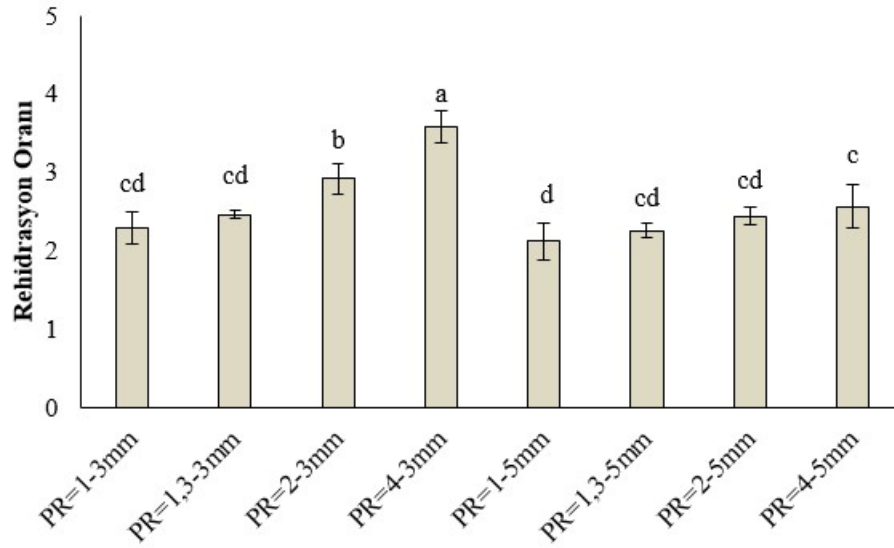
5 mm dilim kalınlığına sahip nektarin örneklerinin kurutulmasında uygulanan tüm kurutma şartları için Midilli ve ark. modelinden sağlanan tahmini nem oranı verileri ile deneysel belirlenen nem oranı verilerinin karşılaştırılması Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, 45° açıyla çizilmiş olan bir çizginin etrafında verilerin toplandığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Midilli ve ark. modeli nektarin örneklerinin kurutma sonuçlarını 6 farklı ince tabaka kurutma modeli arasında en uygun olarak tanımlamaktadır.



Şekil 4.11. Farklı kurutma koşullarında kurutulmuş nektarin örneklerinin deneysel nem oranı sonuçları ile en uygun modelin nem oranı sonuçlarının karşılaştırılması

4.2.4. Nektarin ürününün rehidrasyon oranının değişimi

Farklı kurutma koşullarında kurutulmuş nektarin örneklerinin rehidrasyon oranı sonuçları Şekil 4.12’de verilmiştir. En yüksek rehidrasyon oranı değerinin (3,803) 3 mm dilim kalınlığında ve PR=4 kurutma koşullarında kurutulmuş nektarin örneklerinden elde edildiği görülmektedir ($p < 0,05$). En yüksek değere en yakın rehidrasyon oranı değeri ise 3 mm dilim kalınlığında PR=2 kurutma koşullarındaki örneklerinden elde edilmiştir. Mikrodalga yöntemi ile kurutulmuş örneklerin yeniden su tutabilme özelliklerinin belirgin bir şekilde fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulguya dayanarak, mikrodalga yöntemiyle kurutulmuş gıdaların kalitesini olumlu yönde etkilediğini söylemek mümkündür (Kutlu ve İşçi 2016).



Şekil 4.12. Farklı kurutma koşullarında kurutulan nektarin örneklerinin rehidasyon oranı sonuçları

4.2.5 Nektarin ürününün renk analizi sonuçları

Taze ve farklı kurutma koşullarında kurutulmuş nektarin örneklerinin renk parametreleri (L^* , a^* , b^* ve ΔE) Çizelge 4.6'da verilmiştir. En yüksek L^* (63,434) ve b^* (49,366) değerleriyle en düşük a^* (10,452) değeri taze nektarin örneklerinden elde edilmiştir ($p < 0,05$). Sonuçlar incelendiğinde, L^* (parlaklık) değerinin 3 mm dilim kalınlığında PR=1 kurutma koşullarında kurutulan nektarin örneklerinde 37,872 değerine kadar düştüğü görülmektedir. Taze nektarin örneklerinin L^* değerine en yakın değer (61,644) 5 mm dilim kalınlığında PR=4 kurutma koşullarında kurutulan nektarin örneklerinden elde edilmiştir. Nektarin örneklerinin a^* (yeşillik/kırmızılık) değerleri incelendiğinde taze nektarin örneklerine en yakın a^* değeri (11,696) 5 mm dilim kalınlığında PR=4 kurutma koşullarında kurutulan nektarin örneklerinden elde edilmiştir. Kurutma işlemiyle taze örneklere göre kurutulmuş nektarin örneklerinin b^* (sarılık/mavilik) değerlerinde de bir düşüş meydana gelmiştir ($p < 0,05$). Taze nektarin örneklerinin b^* değerine en yakın değer (48,896) 3 mm dilim kalınlığında PR=4 kurutma koşullarında kurutulan nektarin örneklerinde tespit edilmiştir. En düşük b^* değeri (30,514) ise 3 mm dilim kalınlığında PR=1 kurutma koşullarında kurutulan nektarin örneklerinde görülmüştür. Kurutulmuş nektarin örneklerinin ΔE değerleri 36,954 ile 16,403 arasında değişiklik göstermiştir. Ayrıca, örneklerin ΔE değerlerinde kurutma şartlarına bağlı olarak istatistiksel açıdan farklılık görülmüştür ($p < 0,05$).

Çizelge 4.6. Farklı dilim kalınlıklarında ve kurutma koşullarında kurutulan nektarin örneklerinin renk değerleri

Kurutma Yöntemi	Renk Parametreleri			
	L^*	a^*	b^*	ΔE
Taze	63,434(0,137) ^a	10,452(0,103) ^g	49,366(0,123) ^a	-
PR=1-3mm	37,872(0,533) ⁱ	13,442(0,699) ^c	30,514(0,748) ⁱ	36,954(0,463) ^a
PR=1,3-3mm	45,202(0,862) ^g	12,028(0,147) ^e	36,582(0,359) ^g	28,338(0,471) ^c
PR=2-3mm	51,842(0,164) ^e	14,772(0,266) ^a	43,334(0,294) ^d	24,001(0,395) ^e
PR=4-3mm	57,618(0,648) ^c	12,918(0,178) ^d	48,896(0,324) ^b	19,514(0,358) ^g
PR=1-5mm	42,748(0,242) ^h	14,820(0,136) ^a	33,216(0,640) ^h	32,806(0,373) ^b
PR=1,3-5mm	47,044(0,151) ^f	13,748(0,147) ^b	40,816(0,252) ^f	27,011(0,141) ^d
PR=2-5mm	53,746(0,161) ^d	14,750(0,158) ^a	42,406(0,141) ^e	22,812(0,193) ^f
PR=4-5mm	61,644(0,140) ^b	11,696(0,320) ^f	47,994(0,123) ^c	16,403(0,266) ^h

Her bir renk parametresi sütunun istatistiği ayrı ayrı uygulanmıştır ve aynı sütunda farklı harfler taşıyan ortalamalar arasındaki farklılıklar önemlidir ($p < 0,05$).

5. SONUÇ

Şeftali ve nektarin meyvelerinin kesikli mikrodalga yöntemiyle kurutulmasında kurutma kinetikleri belirlenmiştir. Deneysel olarak belirlenen nem oranı verileri ile 6 farklı ince tabaka kurutma modeliyle tahmini olarak sağlanan nem oranı değerleri karşılaştırılmış ve deneysel sonuçları istatistiksel parametrelere göre en iyi tanımlayan kurutma modelleri belirlenmiştir. Ayrıca kurutulan ürünlerin renk ve rehidrasyon oranı değişimleri saptanmıştır.

Farklı kurutma koşullarında kesikli mikrodalga yöntemiyle kurutulan şeftali ve nektarin örneklerinde uygulanan mikrodalga kesiklilik oranı arttıkça ürünlerin toplam kuruma sürelerinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, deneylerde uygulanan farklı kalınlıklardaki örneklerin kurutulmasında dilim kalınlığının artması ürünlerin toplam kuruma süresini uzatmıştır. Yüksek nem seviyesine sahip şeftali ve nektarin ürünlerinin kuruma hızlarının düşük nem seviyesinde gerçekleşen kuruma hızlarından daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin ise ürünlerin kurutulma sürecinin ilk anlarında ürün yüzeyinde bulunan suyun daha fazla mikrodalga enerjisini absorbe etmesi şeklinde açıklanmıştır. Ürünlerden su uzaklaştıkça mikrodalga enerjisinin ürün tarafından emilimi azalmıştır.

Kesikli mikrodalga kurutma yöntemi uygulanarak farklı kurutma koşullarında kurutulan şeftali ve nektarin ürünlerinin nem içeriklerinin zamanla değişimi ve kuruma hızlarının nem içerikleri ile değişimi farklı şekillerle görsel olarak sunulmuştur. Ayrıca, kurutulan ürünlerin kuruma eğrileri Henderson ve Pabis, Newton, Page, Logaritmik, Wang ve Singh ve Midilli ve ark. ince tabaka kurutma modelleriyle modellendirilmiştir. Bu modellere ait kurutma katsayıları, R^2 , RMSE ve χ^2 istatistiksel parametrelerinden faydalanılarak analiz edilmiş, en iyi modellerle deneysel veriler şekilsel olarak gösterilmiş ve sonuçlar çizelgeler halinde sunulmuştur. Şeftali ürünü için sonuçlar analiz edildiğinde, literatürde bulunan ve çalışmada uygulanan modeller arasında farklı kurutma koşulları için Midilli ve ark. modeli en iyi sonuçları sağlamıştır. Nektarin ürünü için modelleme sonuçları analiz edildiğinde, 3 mm dilim kalınlığına sahip nektarin örneklerinin kurutulmasında PR=1 ve PR=2 kurutma koşullarında Midilli ve ark. modeli, PR=1,3 kurutma koşulunda Wang ve Singh modeli ve PR=4 kurutma

koşulunda ise 4 numaralı Logaritmik modeli 6 farklı ince tabaka kurutma modeli arasında en uygun model olarak bulunmuştur. 5 mm dilim kalınlığına sahip nektarin örneklerinin kurutulmasında uygulanan tüm kurutma şartlarında ise Midilli ve ark. modeli en uygun model olarak belirlenmiştir.

Kesikli mikrodalga kurutma yöntemi uygulanarak farklı kesiklilik oranı ve farklı kalınlıklarda kurutulmuş şeftali ve nektarin örnekleri ile kurutulmamış taze şeftali ve nektarin örneklerinin renk analizi sonuçları incelenmiştir. Şeftali ve nektarin örneklerinin en yüksek L^* ve b^* değerleriyle en düşük a^* değerleri taze şeftali ve nektarin örneklerinden elde edilmiştir.

Kesikli mikrodalga kurutma yöntemi uygulanarak farklı kurutma koşullarında kurutulan şeftali ve nektarin ürünlerinin rehidrasyon oranı değerleri incelenmiştir. Kurutulmuş şeftali örnekleri için en iyi rehidrasyon oranı 3 mm kalınlıkta ve PR=3 kurutma koşullarında kurutulan örneklerde tespit edilirken, kurutulmuş nektarin örneklerinde ise en iyi rehidrasyon oranı değeri 3 mm kalınlıkta ve PR=4 kurutma koşullarında kurutulan örneklerde tespit edilmiştir.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında ülkemiz ve dünya için önemli tarımsal ürünler şeftali ve nektarin ürünlerinin kesikli mikrodalga kurutma yöntemiyle kurutulmasında kurutma kinetikleri ve parametreleri belirlenmiştir. Genel olarak kesikli mikrodalgayla kurutma yönteminin şeftali ve nektarin ürünlerin yanı sıra diğer ürünler için alternatif bir kurutma yöntemi olabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Agrawal, Y.C., Singh, R.P. 1977.** Thin layer drying studies on short grain rough rice. *ASAE*, No: 3531, St. Joseph MI.
- Akpınar, E.K. 2006.** Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. *Journal of Food Engineering*, 73: 75-84002E
- Akpınar, E. K., Bicer, Y., & Cetinkaya, F. (2006).** Modelling of thin layer drying of parsley leaves in a convective dryer and under open sun. *Journal of food engineering*, 75(3), 308-315.
- Angiboust, A. (1974).** Nectarines et brugnon, une culture d'un interet certain mais de la competence d'arboriculteurs qualifies. *Arboriculture fruitiere*.
- Anonim, 2019a.** Türkiye İstatistik Kurumu Verileri. <http://www.tuik.gov.tr>. (Erişim tarihi: 02.07.2019).
- Anonim, 2019b.** Food And Agricultural Organization of the United Nations. <http://www.fao.gov>. (Erişim tarihi: 02.07.2019).
- Anonim, 2019c.** Türkiye İstatistik Kurumu Verileri. <http://www.tuik.gov.tr>. (Erişim tarihi: 02.07.2019).
- Arıcı, R.Ç. 2006.** Mantarın (*Agaricus bisporus*) kontrollü şartlar altında kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Konya.
- Ayensu, A. 1997.** Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar Energy*, 59(4-6): 121-126
- Beaudry, C., Raghavan, G. S. V., Rennie, T. J., 2003.** Microwave finish drying of osmotically dehydrated cranberries. *Drying Technology*, 21 (9): 1797-1810.
- Buffler, C. R., 1993.** Microwave cooking and processing. *Engineering Fundamentals for the Food Scientist*. Avi Book, 6, 39, 54. New York, USA.
- Chayjan, R. A., Parian, J. A., Esna-Ashari, M. 2011.** Modeling of moisture diffusivity, activation energy and specific energy consumption of high moisture corn in a fixed and fluidized bed convective dryer. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(1): 28-40.
- Çelen, S. 2010.** Mikrodalga ve vakum kurutucuda bazı gıda ürünlerinin kurutulması ve modellenmesi. *Doktora Tezi*, TÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne.
- Dadalı, G. 2007.** Bamyaya ve ıspanağın mikrodalga tekniği kullanılarak kurutulması, doku ve renk özelliklerinin incelenmesi ve modellenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, FBE Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Decareau, V.R. 1992.** Microwave science and technology. *Encyclopaedia of Food Science and Technology*, 3: 1772-1778.
- Doymaz, I. 2014.** Suitability of thin-layer drying models for infrared drying of peach slices. *Journal of food processing and preservation*, 38(6), 2232-2239.
- Doymaz, İ., & Pala, M. (2001).** Daldırma çözeltisi kullanımının biber kuruma sürelerine etkisinin incelenmesi. *Sigma*, 44-50.
- Doymaz, İ., Tuğrul, N., Pala, M. 2003.** Maydanozun kurutma karakteristiklerinin incelenmesi. *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, 3: 1-8.
- Durmuş, E., & Yiğit, A. (2003).** Türkiye'nin meyve üretim yöreleri. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi (Fırat University Journal Of Social Science)*, 13(2), 23-54.

- Eren, Ö., Soysal, Y., Öztekin, S., Doğantan, Z.S. 2005.** Mikrodalga sistemi ile donatılmış bir bantlı kurutucuda maydanoz kurutulması. III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı, 2-4 Mayıs, 2005, Antalya.
- Ertekin, C., Yaldiz, O. 2004.** Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering*, 63: 349-359.
- Golisiz, E., Jaros, M., & Kalicka, M. (2013).** Analysis of convectional drying process of peach. *Technical Sciences/University of Warmia and Mazury in Olsztyn*.
- Gunasekaran, S. 1990.** Grain drying using continuous and pulsed microwave energy. *Drying Technology*, 8(5), 1039-1047.
- Gunasekaran, S. 1999.** Pulsed microwave-vacuum drying of food materials. *Drying Technology*, 17(3), 395-412.
- Gunasekaran, S., & Yang, H. W. 2007a.** Effect of experimental parameters on temperature distribution during continuous and pulsed microwave heating. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1452-1456.
- Gunasekaran, S., & Yang, H. W. 2007b.** Optimization of pulsed microwave heating. *Journal of food engineering*, 78(4), 1457-1462.
- Gunhan, T., Demir, V., Hancioglu, E., & Hepbasli, A. (2005).** Mathematical modelling of drying of bay leaves. *Energy Conversion and Management*, 46(11-12), 1667-1679.
- Karaaslan, S.N., Erdem, T. 2009.** Semizotunun mikrodalga ile kuruma incelenmesi ve uygun kuruma modelinin belirlenmesi. 25. Tarımsal Mekanizasyon Kongresi, 01-03 Ekim, Isparta.
- Kingsly, R. P., Goyal, R. K., Manikantan, M. R., & Ilyas, S. M. (2007).** Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behaviour of peach slice. *International journal of food science & technology*, 42(1), 65-69.
- Kipcak, A. S. 2017.** Microwave drying kinetics of mussels (*Mytilus edulis*). *Research on Chemical Intermediates* 43(3): 1429-1445.
- Kutlu, N., & İşci, A. (2016).** Farklı kurutma yöntemlerinin patlıcanın kurutma karakteristikleri üzerine etkisi ve kurutmanın matematiksel modellenmesi. *Akademik Gıda*, 14(1), 21-27.
- Maskan, M. 2000.** Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, 44: 71-78.
- McMinn, W.A.M. 2006.** Thin-layer modelling of the convective, microwave, microwave-convective and microwave-vacuum drying of lactose powder. *Journal of Food Engineering*, 72: 113-123.
- Meetha, J. N., Muhammadali, P., Joy, M. I., Mahendran, R., & Santhakumaran, A. 2016.** Pulsed microwave assisted hot air drying of nutmeg mace for better colour retention. *J Spices and Aromat Crops*, 25(1), 84-87.
- Mengeş, G. 2005.** Patatesin farklı kurutma şartlarındaki kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Konya.
- Midilli A., Kucuk, H., Yapar, Z. 2002.** A new model for single layer drying. *Drying Technology*, 20(7): 1503-1513.
- Mundada, M., Hathan, B.S., Maske, S. 2010.** Convective dehydration kinetics of osmotically pretreated pomegranate arils. *Biosystems Engineering*, 107: 307-316.
- Özbek, S., 1977.** Genel Meyvecilik. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi. Yayınları 111, Ders Kitabı 6.

- Pieniasek, F., & Messina, V. (2017).** Quality parameters of freeze-dried peach snack. *British Food Journal*, 119(12), 2959-2968.
- Roknul Azam, S. M., Zhang, M., Law, C. L., & Mujumdar, A. S. (2019).** Effects of drying methods on quality attributes of peach (*Prunus persica*) leather. *Drying Technology*, 37(3), 341-351.
- Sharifian, F., Motlagh, A. M., & Nikbakht, A. M. (2012).** Pulsed microwave drying kinetics of fig fruit ('*Ficus carica*'L.). *Australian Journal of Crop Science*, 6(10), 1441.
- Shoemaker, J. S. and B. J. E. Teskey, 1959.** Tree Fruit Production. John Willey and Sons Inc., New York.
- Soysal, Y. 2004.** Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems Engineering*, 89: 167-173.
- Sunjka, P. S., Orsat, V., Raghavan, G. S. V. 2008.** Microwave/vacuum drying of cranberries (*Vaccinium macrocarpon*). *American Journal of Food Technology* 3(2): 100-108.
- Tian, Y., Zhao, Y., Huang, J., Zeng, H., Zheng, B. 2016.** Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms. *Food Chemistry*, 197: 714-722.
- Ülkümen, L. (1973).** Bağ-bahçe ziraatı.
- Vega-Gálvez, A., Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J., & Perez-Won, M. 2009.** Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117(4), 647-653.
- Wang, C.Y., Singh, R.P. 1978.** A single layer drying equation for rough rice. ASAE Paper No: 78-3001, ASAE, St. Joseph, MI.
- Westerman, P.W., White, G.M., Ross, I.J. 1973.** Relative humidity effect on the high temperature drying of shelled corn. *Transactions of the ASAE*, 16: 1136-1139.
- Yağcıoğlu, A. 1999.** Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği. Ege Üniveristesi, Ziraat Fakültesi Yayınları No:536, Bornova, İzmir. s. 121-248.
- Yagcioglu, A., Degirmencioglu, A., Cagatay, F. 1999.** Drying characteristics of laurel leaves under different drying conditions. In Proceedings of the 7th international congress on agricultural mechanization and energy, 26-27, May, Adana, Turkey.
- Yang, H. W., & Gunasekaran, S. (2001).** Temperature profiles in a cylindrical model food during pulsed microwave heating. *Journal of Food Science*, 66(7), 998-1004.
- Yongsawatdigul, J., & Gunasekaran, S. 1996.** Microwave-vacuum drying of cranberries: Part I. Energy use and efficiency. *Journal of Food Processing and Preservation*, 20(2), 121-143.
- Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A., Wang, S. 2006.** Trends in microwave related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*, 17: 524-534.
- Zhu, A., & Shen, X. 2014.** The model and mass transfer characteristics of convection drying of peach slices. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 72, 345-351.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emre VERAL
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa 07.11.1991
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Özel Tunçsiper Anadolu Lisesi
Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem
Mühendisliği
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem
Mühendisliği

İletişim (e-posta) : emreveral100@gmail.com

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

TEZ ÇOĞALTMA VE ELEKTRONİK YAYIMLAMA İZİN FORMU

Yazar Adı Soyadı	Emre VERAL
Tez Adı	KESİKLİ MİKRODALGA YÖNTEMİYLE ŞEFTALİ VE NEKTARİNİN KURUTULMASINDA KURUTMA PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ
Enstitü	BUÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Biyosistem Mühendisliği
Tez Türü	Yüksek Lisans
Tez Danışman(lar)ı	Doç. Dr. Nazmi İZLİ
Çoğaltma (Fotokopi Çekim) izni	<input type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input type="checkbox"/> Tezimin sadece içindekiler, özet, kaynakça ve içeriğinin % 10 bölümünün fotokopi çekilmesine izin veriyorum <input checked="" type="checkbox"/> Tezimden fotokopi çekilmesine izin vermiyorum
Yayımlama izni	<input checked="" type="checkbox"/> Tezimin elektronik ortamda yayımlanmasına izin Veriyorum

Hazırlamış olduğum tezimin belirttiğim hususlar dikkate alınarak, fikri mülkiyet haklarım saklı kalmak üzere Uludağ Üniversitesi Kütüphane ve Dokümantasyon Daire Başkanlığı tarafından hizmete sunulmasına izin verdiğimi beyan ederim.

Tarih : 08.10.2019

İmza : 