



**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**M KRODALGA İLE KURUTULAN HAVUÇLARIN KURUMA  
ÖZELLİKLERİNİN VE KALİTE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

**MEHMET FATİH ARIKAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Antakya/HATAY**  
**KASIM-2009**

**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**M KRODALGA İLE KURUTULAN HAVUÇLARIN KURUMA  
ÖZELLİKLERİNİN VE KALİTE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

**MEHMET FATİH ARIKAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Doç. Dr. Zehra AYHAN ve Doç. Dr. Yurtsever SOYSAL danışmanlığı altında hazırlanan bu tez 20/11/2009 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oylarıyla kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Zehra AYHAN  
Başkan

Doç. Dr. Yurtsever SOYSAL  
Üye

Prof. Dr. Gülüm UMNU  
Üye

Doç. Dr. Mehmet ARSLAN  
Üye

Yrd. Doç. Dr. Okan E. TÜRK  
Üye

Bu tez Enstitümüz Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

**Kod No:**

Prof. Dr. Bünyamin YILDIZ  
Enstitü Müdürü V.

Bu çalışmada TÜBİTAK (Proje No: 105O547) ve MKÜ BAP (Proje No: 08 M 1503) tarafından desteklenmiştir.

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

## Ç İNDEK İLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
S İMGELER VE KISALTMALAR D İZ İNİ .....	V
Ç İZELGELER D İZ İNİ .....	VI
EK İLLER D İZ İNİ .....	VII
1. G İRİ .....	1
2. ÖNCEK ÇALI MALAR.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	11
3.1. Materyal .....	11
3.1.1. Kurutma Materyali .....	11
3.1.2. Mikrodalga-Konvektif Havalı Kurutma Deney Düzeni .....	11
3.2. Yöntem.....	14
3.2.1. Kurutma Denemelerinin Düzenlenmesi.....	14
3.2.2. Mikrodalga Güç Ölçümü.....	15
3.2.3. Özgül Enerji Tüketiminin Belirlenmesi .....	16
3.2.4. Ürün Renk Parametrelerinin Belirlenmesi .....	16
3.2.5. Ürün Tekstür Özelliklerinin Belirlenmesi.....	17
3.2.6. Duyusal Analiz.....	18
3.2.7. -Karoten Analizi.....	19
3.2.8. Kuruma E rilerinin Modellenmesi .....	20
3.2.9. İstatistiksel Analiz.....	21
4. ARA İTİRMA BULGULARI VE TARTI MA .....	22
4.1. Ürün Kuruma E rilerinin De erlendirilmesi .....	22
4.2. Özgül Enerji Tüketiminin De erlendirilmesi.....	34
4.3. Ürün Renk Özelliklerinin De erlendirilmesi .....	36
4.4. Ürün Tekstür Özelliklerinin De erlendirilmesi .....	41
4.5. Ürün Duyusal Özelliklerinin De erlendirilmesi .....	45
4.6. -Karoten Çerinin De erlendirilmesi .....	50
4.7. Ürün Kuruma E rilerinin Modellenmesi .....	52

5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	55
KAYNAKLAR .....	59
TE EK KÜR .....	64
ÖZGEÇM .....	65
EKLER .....	66
EK 1. Duyusal De ğerlendirme Formu .....	66

## ÖZET

**MİKRODALGA İLE KURUTULAN HAVUÇLARIN KURUMA  
ÖZELLİKLERİNİN VE KALİTE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

Bu çalışmada havuç kurutulmasında ürün kuruma kinetiği, birim kuru ürün başına enerji tüketimi ve kuru ürün kalitesi bakımlarından en uygun kurutma koşullarının belirlenmesi için çeşitli mikrodalga-konvektif kurutma uygulamalarının etkinlikleri geleneksel konvektif kurutma yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Ürün kalite parametreleri olarak renk ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  koordinatları), tekstürel özellikler ve duyu nitelikler (genel görünüm, renk, tekstür ve genel ürün beğenisi) incelenmiştir. Taze ve kurutulmuş ürünlerin içerdiği beta karoten miktarları araştırılmış, havuçların kuruma kinetiklerinin matematiksel modellenmesi belirlenmiştir. Mikrodalga kurutma denemeleri çeşitli mikrodalga çıkış güçlerinde (590.29 W ve 670.37 W) yapılmış olup, kurutulmuş ürüne hem sürekli hem de kesikli moda mikrodalga enerjisi uygulanmıştır.

İncelenen kurutma uygulamaları arasında sürekli mikrodalga-konvektif havayla kurutma yönteminin en düşük kurutma süresi ve özgül enerji tüketimi değerlerine sahip olduğu, ancak bu kurutma yöntemiyle iyi kalitede kuru ürün elde edilemediği belirlenmiştir. Diğer taraftan, kesikli mikrodalga-konvektif havayla kurutma uygulamalarında geleneksel konvektif havayla kurutma yöntemine benzer ya da daha iyi kalitede kuru ürün elde edilmiştir. Kurutma koşullarına bağlı olarak deri mekle birlikte, konvektif havayla kurutmaya kıyasla kesikli mikrodalga-konvektif havayla kurutma uygulamalarında kurutma süresinin %80.82-94.38 oranlarında daha kısa olduğu saptanmıştır. Ayrıca, düşük sıcaklıkta ve yüksek mikrodalga çıkış gücünde yapılan kesikli mikrodalga-konvektif havayla kurutma uygulamalarında özgül enerji tüketiminin diğer kesikli uygulamalara göre daha az olduğu belirlenmiştir. Ancak, kurutma uygulamalarında elde edilen ürün kalitesi mikrodalga çıkış gücü, kesiklilik oranı ve kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Araştırma sonuçlarına göre 670.37 W mikrodalga çıkış gücünde, 3.0 kesiklilik oranında ve çevre havası sıcaklığında kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutulmasının ürün kurutma süresi ve özgül enerji tüketiminde konvektif havayla kurutmaya kıyasla önemli oranda kazanç sağladığı belirlenmiş olup, bu kombinasyonların fiziksel (renk ve tekstür) ve duyu nitelikler bakımından yüksek kalitede kuru ürün üretiminde en uygun kurutma yöntemleri olduğu saptanmıştır. İncelenen kurutma modelleri arasında Page modelinin, kurutulmuş ürünlerde deneysel kurutma kinetiği verilerini makul bir seviyede ifade etmeye yeteneğine sahip olduğu saptanmıştır.

Sonuç olarak, daha iyi ve kararlı kurutma koşulları sağladığı için yüksek kalitede kuru ürün üretilmesinde, düşük hava sıcaklıklarında, nispeten uzun güç kesme süreleriyle yapılan kesikli mikrodalga-konvektif havayla kurutma yönteminin tercih edilmesi önerilmektedir.

2009, 66 sayfa

**Anahtar Kelimeler:** Mikrodalga, Kurutma, Özgül Enerji Tüketimi, Modelleme, Renk, Tekstür, -Karoten, Havuç

## ABSTRACT

**DRYING CHARACTERISTICS AND QUALITY  
PARAMETERS OF MICROWAVE DRIED CARROTS**

In this research, effectiveness of various microwave–convective drying treatments of carrot was compared with convective air drying to determine the most favourable drying treatments in terms of drying kinetics, specific energy consumption and dried product quality. Quality parameters were colour ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  coordinates), textural characteristics, and sensory properties (visual appearance, colour, texture and overall acceptance). The contents of beta-carotene in fresh and dried products have been investigated and the mathematical modeling of the drying kinetics of carrots was determined. The microwave drying treatments were applied both in the intermittent and continuous modes at several microwave output powers (590.29 and 670.37 W).

The continuous microwave–convective drying had the lowest drying time and specific energy consumption, among the drying treatments, but it resulted in poor product quality while intermittent microwave–convective drying gave good product quality compared with convective air drying. Depending on the drying conditions, intermittent microwave-convective drying reduced the convective drying time by 80.82-94.38%. Moreover, the intermittent microwave–convective drying conducted at lower drying air temperature and higher microwave power level resulted in lower specific energy consumption compared to other intermittent combinations. However, quality of the dried products differed among drying treatments depending on the microwave power level, pulse ratio and drying air temperature. Based on the results of this study, the intermittent microwave convective drying at ambient temperature with a pulse ratio of 3.0 at 670.37 W for carrot provided considerable savings in drying time and specific energy consumption when compared to convective air drying and judged as optimum drying methods to produce high quality product with better physical (colour and texture) and sensory attributes. Among the drying models proposed, Page model gave a reasonable fit for dried products and drying conditions applied.

In conclusion, the intermittent microwave–convective drying conducted at lower drying air temperature with relatively long power-off time resulted in a more stable and gentle drying process, and could be preferred as drying method to produce high quality products.

2009, 66 pages

**Keywords:** Microwave, Drying, Specific Energy Consumption, Modeling, Colour, Texture, -Carotene, Carrot

**S İMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

DM	Kuru Madde
İMPI	Uluslararası Mikrodalga Güç Enstitüsü
MD	Mikrodalga
MR	Nem Oranı
PID	Orantılı İntegral Türetme
PLC	Programlanabilir Lojik Kontrolör
PR	Kesiklilik Oranı
$\bar{R}^2$	Belirtme Katsayısı
RSS	Kalanların Kareleri Toplamı
SEE	Tahminin Standart Hatası
TPA	Tekstür Profil Analizi

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Kuruma emirlerinin modellenmesinde kullanılan matematiksel emirlikler.....	21
Çizelge 4.1. Kurutma yöntemlerinin özgül enerji tüketimi bakımından kararlaştırılması (n=3) *	35
Çizelge 4.2. Taze ve kurutulmuş nanes çeydi havuç örneklerinde ölçülen renk parametreleri (n=12) **	39
Çizelge 4.3. Kurutulan ürünlerde ölçülen tekstür parametreleri (n=15) *	42
Çizelge 4.4. Farklı kurutma yöntemlerinin nanes çeydi havuçta duyuşal niteliklere etkisi (n=10) *	47
Çizelge 4.5. Taze ve kurutulmuş nanes çeydi havuç örneklerinde elde edilen beta karoten de erleri (n=3) *	51



## EK LLER D Z N

	<b>Sayfa</b>
ekil 3.1. Mikrodalga-konvektif havalı kurutma deney düzene i .....	11
ekil 3.2. PLC kontrol ünitesi ematik ekran görüntüsü.....	14
ekil 3.3. Tekstür Profil Analizinin (TPA) grafiksel gösterimi; F1 (Sertlik- Hardness): ilk sıkı tırma periyodunda meydana gelen pik kırılma kuvveti (N), F2 (Kırılgenlık-Fracturability): ilk sıkı tırma periyodunda meydana gelen ilk önemli kırılma kuvveti (N) .....	18
ekil 4.1. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=1.0, PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (20°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün neminin zamana ba lı olarak de i imi (P=590.29 W) .....	22
ekil 4.2. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (65°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün neminin zamana ba lı olarak de i imi (P=590.29 W).....	23
ekil 4.3. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (70°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün neminin zamana ba lı olarak de i imi (P=590.29 W).....	23
ekil 4.4. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (75°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün neminin zamana ba lı olarak de i imi (P=590.29 W).....	24
ekil 4.5. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=1.0, PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (20°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün neminin zamana ba lı olarak de i imi (P=670.37 W) .....	24
ekil 4.6. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (65°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün neminin zamana ba lı olarak de i imi (P=670.37 W).....	25
ekil 4.7. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (70°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün neminin zamana ba lı olarak de i imi (P=670.37 W).....	25

## VIII

ekil 4.8. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (75°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün neminin zamana ba lı olarak de i imi (P=670.37 W).....	26
ekil 4.9. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=1.0, PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (20°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün nemine ba lı olarak kuruma hızının de i imi (P=590.29 W).....	28
ekil 4.10. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (65°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün nemine ba lı olarak kuruma hızının de i imi (P=590.29 W).....	29
ekil 4.11. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (70°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün nemine ba lı olarak kuruma hızının de i imi (P=590.29 W).....	29
ekil 4.12. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (75°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün nemine ba lı olarak kuruma hızının de i imi (P=590.29 W).....	30
ekil 4.14. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (65°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün nemine ba lı olarak kuruma hızının de i imi (P=670.37 W).....	31
ekil 4.15. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (70°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün nemine ba lı olarak kuruma hızının de i imi (P=670.37 W).....	31
ekil 4.16. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (75°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün nemine ba lı olarak kuruma hızının de i imi (P=670.37 W).....	32
ekil 4.17. Nantes çe idi havucun konvektif hava ile kurutulmasında ürün neminin zamana ba lı olarak de i imi.....	33
ekil 4.18. Nantes çe idi havucun konvektif hava ile kurutulmasında ürün nemine ba lı olarak kuruma hızının de i imi.....	33
ekil 4.19. Taze ve kurutulmuş havuçlarda ürün renginin de i imi (a, P=670.37 W, PR=1.0+20°C; b, 70°C'de konvektif hava ile kurutma; c, Taze ürün; d, P=670.37 W, PR=2.0+70°C) .....	38

- ekil 4.20. Nantes çeyidi havucun sürekli ve kesikli-mikrodalga konvektif hava ve konvektif hava ile kurutulmasında bütün kuruma kinetiği verilerine ilişkin istatistiksel hata parametrelerinin matematiksel modeller bazında değerlendirilmesi .....53
- ekil 4.21. Nantes çeyidi havucun kurutulmasında veri serilerine ilişkin deneysel nem oranları ile Page modeli ile tahmin edilen nem oranlarının değerlendirilmesi (a, sürekli ve kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma; b, konvektif hava ile kurutma) .....54

## 1. G R

nsanların kullandı ı en eski muhafaza yöntemlerinden biri olan kurutma, güne ı nları yardımıyla gıdalarda bulunan suyun uzakla tırılmasıdır. Fakat çok farklı iklim ko ullarından dolayı kurutmanın tam anlamıyla her türlü gıda maddesinde ve istenen zamanda gerçekte tirilememesi yapay kurutma metotlarının gereklili ini ortaya çıkarmı tır. Mikrodalga ile yapılan kurutma, geleneksel kurutma yöntemlerine kıyasla sa lıklı ve daha kaliteli ürün elde edilmesini sa lamaktadır (Koç, 2001).

Sıcak havalı konvektif kurutma sistemleri ile kar ıla tırıldı nda mikrodalga kurutma sistemleri, ürün kalitesinde bozulma olmadan, kurutma süresini önemli ölçüde kısaltabilmektedir. Geleneksel kurutma yöntemlerinde sıcak yüzey ile daha so uk olan iç kısım arasındaki sıcaklık farkından dolayı ısının materyalin yüzeyinden iç kısımlarına do ru kademeli olarak iletimi söz konusudur. Bu durumda önce kurutulan maddenin yüzeyi daha sonra iç kısımları kurumakta ve dı yüzeyde olu an sert tabaka büzülmeye yol açarak ısı ve nem transferini engellemektedir. Geleneksel sıcak havalı konvektif kurutucularda sıkça kar ıla ılan bu istenmeyen etki nedeniyle özellikle kurutma i leminin son a amalarında üründe kalan 1/3'lük nemin uzakla tırılması için gereken süre toplam kurutma süresinin 2/3'üne kadar çıkabilmektedir (Al-Duri ve McIntyre, 1992).

Mikrodalga ile kurutmada ise elektromanyetik alan materyali bir bütün olarak etkiledi inden geleneksel kurutma yöntemlerinden farklı olarak, do rudan materyal bünyesindeki su molekülleri hedef alınarak seçici bir ısıtma yapılmaktadır (Drouzas ve ark., 1999; Gunasekaran, 1999; Moreno ve ark., 2000; Torringa ve ark., 2001; Nindo ve ark., 2003; Beaudry ve ark., 2003; Venkatesh ve Raghavan, 2004; Raghavan ve ark., 2004). Bu yöntemde ısı do rudan materyal içerisinde olu makta, materyal içindeki su kısa bir süreçte ısıtılarak buharla makta ve nem transferi içten dı a do ru olmaktadır. Böylelikle geleneksel yöntemlerdeki ısı transferi sorunu mikrodalga ile kurutmada ortadan kalkmaktadır. Kurutma ortamındaki mevcut donanımlar ısıtılmadı ndan kurutma süresi kısaltmakta, tesis yer gereksinimi geleneksel sistemlerin %20 – %35'i kadar olmakta ve yüksek kurutma etkinli i elde edilmektedir (Wang ve ark., 2004).

Meyve ve sebzelerin kurutulmasında en yaygın olarak kullanılan yöntem konvektif sıcak hava ile kurutma tekni idir. Bu yöntemin en önemli sakıncaları enerji

tüketiminin ve kurutma sıcaklığının yüksek, kurutma süresinin uzun ve kurutma etkinliğinin düşük olmasıdır. Ayrıca, kurutulan ürünün uzun süre yüksek sıcaklığa maruz bırakılması nedeniyle elde edilen kuru ürünlerin fiziksel özelliklerinde ve duyu kalitelerinde de önemli oranda kayıplar meydana gelmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, Hatay yöresinde yaygın olarak üretimi yapılan *Nantes* çeşidi havucun kesikli ve sürekli mikrodalga kurutma tekniği ile kurutulması araştırılmıştır. Bu yöntemde kurutulan ürün periyodik olarak kısa sürelerde mikrodalga enerjisine maruz bırakıldıktan sonra ürün içindeki nem ve sıcaklığın yeniden değerlendirilmiştir. Böylelikle sürekli mikrodalga uygulaması sırasında görülen aşırı sıcaklık yükselmeleri önlenerek mikrodalga enerjisinin ısı ve kütle transferinde daha etkin ve dengeli bir şekilde kullanılması yoluyla enerji ekonomisi sağlanması ve daha kaliteli kuru ürün elde edilmesi amaçlanmıştır.

## 2. ÖNCEK ÇALI MALAR

Günümüze de in yapılan çok sayıda ara tırmada mikrodalga kurutma tekni inin meyve ve sebzeler gibi yüksek oranda nem içeren ürünlerde ba arıyla uygulandı ı bildirilmektedir. Bu ara tırmalara ürün bazında örnek olarak patates (Bouraout ve ark., 1994), elma (Funebo ve Ohlsson, 1998), mantar (Torrington ve ark., 2001), havuç (Litvin ve ark., 1998), muz (Maskan, 2000), sarımsak (Sharma ve Prasad, 2001), ku konmaz (Nindo ve ark., 2003), maydanoz (Soysal, 2004) verilebilir. Ancak bu çalı maların önemli bir bölümü ne yazık ki ara tırma düzeyinde kalmı i letme ölçe inde kullanıma uyarlanmamı tır (Nijhuis ve ark., 1998). Tarımsal ürünlerin kurutulmasında mikrodalga tekni inin büyük ölçekte uygulanması a amasına henüz gelinebilmi olup, yeterince yaygın olarak kullanılmamaktadır (Raghavan ve ark., 2004). Bu teknolojinin yaygınla masının önündeki en büyük engel, bu alanda yapılan çalı malarda sistemin enerji kullanım verimlili ine ili kin analizlerin yer almaması ve mikrodalga kurutma sistemlerinin nispeten yüksek ilk yatırım maliyetleridir (Nijhuis ve ark., 1998; Raghavan ve ark., 2004; Changrue ve ark., 2004). Mikrodalga kurutma sistemlerinde enerji kullanım verimlili inin artırılması amacıyla çe itli stratejiler geli tirilmi tir (Gunasekaran, 1999; Kaensup ve ark., 2002; Beaudry ve ark., 2003; Raghavan ve ark., 2004). Bunlar, mikrodalga ile geleneksel kurutma sistemlerinin kombine edilmesi, vakum altında mikrodalga uygulaması, kurutma i lemi sırasında mikrodalga enerjisinin sürekli olarak verilmesi yerine kesikli (pulsed/intermittent) olarak uygulanmasıdır.

Son dönemde yapılan ara tırmalarda, mikrodalga–sıcak hava ile kurutma, mikrodalga–dondurarak kurutma, mikrodalga–vakum altında kurutma, ozmotik ön i lem-mikrodalga-sıcak hava ile kurutma gibi mikrodalga enerjisi ile di er kurutma yöntem/sistemlerinin bir arada kullanılması ve uygulanmasıyla gerek kurutulan ürün kalitesinde gerekse enerji kullanım verimlili inde önemli oranda iyile me sa landı ı bildirilmektedir (Nijhuis ve ark., 1998).

Ancak mikrodalga ile geleneksel kurutma sistemlerinin kombinasyonunu konu alan çalı malarda kurutma i lemi sırasında kurutulan materyal sürekli olarak mikrodalga enerjisine maruz bırakıldı ından üründe a ırı sıcaklık yükselmeleri ve bununla ili kili olarak önemli kalite kayıpları meydana gelmi tir. Kurutulan ürünün a ırı ısınmasını önleyerek kaliteyi yükseltmek ve mikrodalga uygulama süresini kısaltarak enerji

ekonomisi sağlamak amacıyla vakum altında mikrodalga kurutma çalımları yapılmıştır. Bu yöntemle iyi kalitede kuru ürün elde edilebilmesine karşın, vakum uygulaması için ek donanım kullanılması sistemin ilk yatırım ve işletme giderlerini önemli oranda arttırmakta, bantlı sistemlere uyarlanarak sürekli kurutma yapılmasını ve işletme ölçerinde kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle tam bu noktada bir yandan kurutma sistemi ilk yatırım ve işletme giderlerini azaltmak diğer yandan da yüksek kalitede kuru ürün üretmek amacıyla mikrodalga enerjisinin materyale kesikli (pulsed/intermittent) olarak uygulanması fikri ortaya atılmıştır (Gunasekaran, 1999).

Kurutma işletiminde enerjinin kesikli uygulaması yeni bir fikir olmayıp, bu alandaki ilk çalımlar 1933 yılına kadar uzanmaktadır (Gunasekaran, 1999). Yapılan çalımlarda enerjinin kesikli uygulanmasının kurutma sistemi enerjik etkinliğini ve kurutulan ürün kalitesini önemli oranda iyileştirdiği bildirilmektedir (Carabin, 1990; Farkas ve Rendik, 1997).

Mikrodalga enerjisinin sürekli uygulanması durumunda kurutulan materyal sıcaklığının çok hızlı bir şekilde yükselmesi sonucu materyalin kenar ve köşelerinde yanıklar oluşması ve yüzeyde sertleşme görülmesi oldukça sık karşılaşılan bir durumdur. Mikrodalga kurutmada materyal içerisindeki tekdüze olmayan nem ve sıcaklık dağılımından kaynaklanan bu istenmeyen etkiler, mikrodalga enerjisinin kesikli olarak uygulanması yoluyla giderilebilmekte ve mikrodalga enerjisinin ısı ve kütle transferinde daha etkin ve dengeli olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Kesikli mikrodalga uygulamasında magnetronun kapalı olduğu sürelerde ürün dinlendirilerek mikrodalgaya maruz kalma süresi azaltılmakta, ürün içerisindeki nem ve sıcaklığının yeniden dağılımı sağlanarak materyal içerisindeki aşırı sıcaklık yükselmeleri önlenmekte ve çok daha kaliteli kuru ürün elde edilmektedir (Yongsawatdigul ve Gunasekaran, 1996a; Gunasekaran, 1999).

Sürekli mikrodalga enerjisi ile kurutma uygulamasında kurutma süresi kesikli uygulamaya göre daha kısa olmasına karşın, bu yöntemde magnetronun kurutma işletimi sırasında sürekli olarak devrede olması toplam enerji tüketimini arttırmaktadır. Yapılan araştırmalarda genel olarak kesikli uygulamada mikrodalga güç uygulama süresi (magnetronun toplam açık kaldığı süre) ne kadar azaltılırsa enerji kullanım verimliliği ve kuru ürün kalitesinin de o ölçüde iyileştirdiği bildirilmektedir (Gunasekaran, 1990; Gunasekaran, 1999).

Shivhare ve ark. (1992) kesikli mikrodalga uygulaması ile mısır kurutulmasında sürekli mikrodalga uygulaması ile karılaştırıldığında toplam kurutma süresinin arttığını, ancak buna karşılık kurutulan ürün kalitesinin iyileştini ve toplam mikrodalga uygulama süresinin azaltılmasıyla sistemin enerji tüketiminin azaldığını rapor etmiştir.

Yongsawatdigul ve Gunasekaran (1996a) kıvılcığın vakum altında mikrodalga ile kurutulmasında kesikli mikrodalga uygulamasında enerji etkinliğinin sürekli mikrodalga uygulamasına göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmada 250 W mikrodalga çıkış gücündeki mikrodalga kurutma sisteminin 30 s mikrodalga enerjisi uygulaması ve 150 s bekleme evrinde kesikli olarak çalıştırılması ile özgül enerji tüketimi bakımından en uygun sonucu verdiğini belirtilmiştir. Bu koşullarda rapor edilen ortalama özgül enerji tüketimi de 2.66 MJ kg<sup>-1</sup> [H<sub>2</sub>O] gibi oldukça düşük bir değer olup, geleneksel sıcak havalı kurutma sistemine göre özgül enerji tüketiminde %40 - %60, sürekli mikrodalga uygulamasına göre (4.90 MJ kg<sup>-1</sup> [H<sub>2</sub>O]) ise %46 düzeyinde bir azalma sağlanmıştır. Aynı araştırmacılar diğer bir çalışmada geleneksel sıcak hava ile kurutma ile karşılaştırıldığında vakum altında mikrodalga uygulaması ile kurutulan kıvılcığın renginin sıcak hava ile kurutma yöntemine göre daha kırmızı, tekstürünün daha yumuşak olduğunu bildirmişlerdir (Yongsawatdigul ve Gunasekaran, 1996b).

Beaudry ve ark. (2003) ozmotik olarak ön kurutma yapılan kıvılcığın son kurutma aşamasında mikrodalga - sıcak havalı konvektif kurutma kombinasyonu kullanılmışlar ve 750 W mikrodalga çıkış gücünde çeşitli mikrodalga güç yoğunluklarının (0.75, 1.0, 1.25 W/g) farklı sürelerde kesikli olarak (30 s açık / 30 s kapalı ve 30 s açık / 60 s kapalı) uygulanması durumunda ürün kalitesi ve özgül enerji tüketiminin değerlendirilmesini incelemiştir. Araştırmada kesikli mikrodalga uygulama durumunda mikrodalga uygulama süresi ve mikrodalga güç yoğunluğunun her ikisinin birden sistemin özgül enerji tüketimi üzerinde önemli derecede etkili olduğunu saptanmıştır. Araştırmacılar 0.75 W/g mikrodalga güç yoğunluğu ile 30 s mikrodalga uygulaması ve 60 s bekleme evrinde kesikli mikrodalga uygulamasının gerek kurutulan ürün kalitesi gerekse özgül enerji tüketimi bakımından (9.0 MJ kg<sup>-1</sup> [H<sub>2</sub>O]) en uygun sonucu verdiğini bildirmişlerdir. Çalışmada elde edilen kuru ürün kalitesinin dondurarak kurutma yöntemiyle elde edilen ürüne eşit olduğunu belirtilmiştir.



Mikrodalga kurutma i lemi sırasında, kurutulan ürün sıcaklığı yüksek kalitede kuru ürün elde etmede anahtar bir rol oynamaktadır (Changrue ve ark., 2004). Optimum ürün sıcaklığına ulaşabilmesi için mikrodalga enerjisinin sürekli uygulanması yerine kesikli uygulanması ve enerji ekonomisi bakımından mikrodalga – sıcak havalı konvektif kurutma sistemlerinin kombine edilmesi ve kesikli uygulamaya ilişkin optimal çalışma parametrelerinin belirlenmesi son dönemde bu alanda yapılan çalışmalarda önemle vurgulanmaktadır (Venkatachalapathy, 1998; Gunasekaran, 1999; Beaudry ve ark., 2003; Sunjka ve ark., 2004).

Lin ve ark. (1998)'nin yaptığı çalışmada vakum mikrodalga yöntemiyle kurutulan havuçların fiziksel özellikleri, besin değerleri ve duyu kabul edilebilirliği, geleneksel sıcak hava kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Vakum mikrodalgayla kurutulan havuçların kurutma potansiyeli, besin değeri, renk ve tekstürel özellikleri sıcak havayla kurutulan havuçlara kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir. Nem oranı %91,4 olan halı havuçlar vakum mikrodalga kurutma yöntemiyle 33 dakikada %10 nem düzeyine kurutulurken sıcak hava kurutma yöntemiyle 8 saat, dondurarak kurutma yöntemiyle 72 saatte kurutulmuştur. Diğer yöntemlere kıyasla vakum mikrodalga kurutma yöntemi, havuçların C vitaminini daha iyi muhafaza ettiği uygulama olarak belirtilmiştir. Halı havuçların içerdiği C vitamininin yaklaşık %79'unu vakum mikrodalga kurutmayla muhafaza edildiği belirtilmiştir. Kurutma süresince toplam ve -karoten kaybı havayla kurutulan örneklerde %19.2 olurken, vakum mikrodalgayla kurutulan örneklerde bu kayıp %3.2 olarak belirlenmiştir. Dondurarak kurutmada ise ve -karoten miktarında önemli bir farklılık görülmemiştir. Vakum mikrodalgayla kurutulan havuçlar tekdüze, dolgun tekstür yapısına sahip olduğundan dolayı panelistler tarafından tercih edilmiş ve çerez tipi ürünlerin geliştirilmesinde bu yöntemin kullanılabileceği belirtilmiştir.

Krokida ve Maroulis (1999)'in yaptığı çalışmada mikrodalga, vakum-mikrodalga ve sıcak havayla kurutulan elma, muz, havuç ve patatesin yoğunluk, gözeneklilik, renk ve viskoelastik davranışı gibi bazı kalite özellikleri araştırılmıştır. Materyalin yapısal özellikleri kurutulmuş ürünün kalitesinin tanımlanmasında önemli olup bu çalışmada yapısal özelliklerin yoğunluğu, katı yoğunluğu, yoğunluk, gözeneklilik, gözenek çapı, spesifik hacim gibi özelliklerle tanımlanmıştır. Geleneksel sıcak hava kurutma i lemi  $70 \pm 0.2$  °C ve yaklaşık %7 ba ıl nemde, hava kurutucusunda

gerçekle tirilmi tir. Ürünler 15 mmHg atmosferik basınçlı mikrodalga ve vakum-mikrodalga fırınlarında 1.5 dakika kurutulduktan sonra hava kurutucusunda kurutulmu tur. Mikrodalga ve vakum-mikrodalgayla kurutulan havuç ve patateslerin geleneksel kurutmaya göre daha dü ük yı in yo unlu una sahip oldu u görülmü tür. Mikrodalga ve vakum-mikrodalgayla kurutulan ürünlerin gözeneklili i sıcak havayla kurutulan örneklerden daha yüksek oldu u ve mikrodalgayla kurutmanın toplam gözeneklili i artırdı ı belirlenmi tir. Tekstürel özellikler, ürün kalitesinin belirlenmesinde en önemli parametre olup materyalin viskoelastik davranı mın belirlenmesinde mekanik testlerle belirlenmi tir. Geleneksel kurutmaya kıyasla mikrodalga ve vakum-mikrodalga kurutmanın maksimum gerilim ve maksimum kuvvet de erini azalttı ı belirlenmi tir. Vakum-mikrodalgayla kurutulan materyalin elastikiyetinin en yüksek oldu u, sıcak havayla kurutulan ürünlerin elastikiyetinin ise en dü ük oldu u görülmü tür. Ürünün renk özelli i L, a, b de erleriyle belirlenmi olup kurutma yöntemlerinin parlaklı a etkisinin olmadı ı belirtilmi tir. Materyalin kuruma süresince renk de i imi sadece yüzeyden su buharla ması yoluyla olmayıp enzimatik esmerleme, enzimatik olmayan esmerleme ve karamelizasyon reaksiyonlarından da meydana gelebilece i belirtilmi tir. Mikrodalga ve özellikle vakum-mikrodalga kurutmanın ürünlerin renginin bozulmasını engelledi i görülmü tür. Mikrodalga kurutmaya kar ı geleneksel kurutmaya kırmızılık-sarılık de erinde daha kuvvetli de i imlerin meydana geldi i ifade edilmi tir.

Baysal ve ark. (2003)'nın yaptı ı çalı mada mikrodalga kurutma ve infrared kurutma yöntemlerinin havuç ve sarımsak kalitesine etkisi geleneksel sıcak hava kurutmaya kar ıla tırılmi tir. Sıcak havayla kurutulan havuç örneklerinin kuruma oranı 120 dakikaya kadar 1 kg H<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>h de erinde sabit kalmı tir. Mikrodalga ve infrared kurutmada ise ilk 20 dakika boyunca kurutma oranında hızlı bir artı görülmü tür. İlk 20 dakikada havuç örneklerinde kuruma oranları mikrodalga kurutmada 1 kg H<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>h'den 2 kg H<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>h de erine yükselirken, bu oran infrared kurutmada 2 kg H<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>h'den 4 kg H<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>h de erine çıkmı tir. Bu sürelerden sonra kuruma oranının süre sonuna kadar lineer bir azalı gösterdi i görülmü tür. Mikrodalgayla kurutulan havuç örneklerinin kuru madde miktarı di er yöntemlerle kurutulan örneklerden daha yüksek bulunmu ancak infrared kurutma ile sıcak havayla kurutulan örneklerin kuru madde miktarları arasında önemli bir fark bulunmamı tir. Sıcak hava yöntemiyle

kurutulan örneklerin b de eri dı ında havuç örneklerinin L, a, b de erlerinde herhangi bir farklılık bulunmamı tır. Sıcak havayla kurutulan havuç örneklerinin toplam renk de eri ve renk iddetinin taze ürüne çok yakın oldu u görülmü tür. En yüksek kurutma kapasitesi 8.95 g H<sub>2</sub>O/g kuru madde oranıyla infrared kurutma yöntemiyle elde edilen örneklerde görülmü olup, bu oran mikrodalga ile kurutmada 8.38 g H<sub>2</sub>O/g kuru madde ve sıcak havayla kurutmada 7.96 g H<sub>2</sub>O/g kuru madde olarak bulunmu tur. Sarımsaklarda en yüksek kuru madde miktarı sıcak havayla kurutulan örneklerden elde edilmi , en dü ük kuru madde miktarı ise infrared kurutma uygulanan örneklerde bulunmu tur. En yüksek L de eri sıcak havayla kurutulan sarımsak örneklerinde görülmü olup, taze materyal ile arasında fark görülmemi tir. nfrared ile kurutulan sarımsak örneklerinin a ve b de erlerinin di er yöntemlerden daha yüksek oldu u bulunmu tur. En yüksek rehidrasyon kapasitesi sıcak havayla kurutma yönteminde elde edilmi tir (2.21 g H<sub>2</sub>O/g kuru madde). Sonuç olarak havuç ve sarımsakların genel görünü ünde kurutma metotlarının etkileri istatistiki olarak farklı bulunmamı tır. Ancak rengin önemli bir parametre kabul edildi i çalı malarda rengin muhafaza edilmesinde infrared kurutma tekni inin yerine sıcak hava kurutma veya mikrodalga kurutma yöntemlerinin kullanılabilce i belirtilmi tir.

umnu ve ark. (2005)'nın yaptı ı çalı mada havuçların kalitesine ve kurutma oranına mikrodalga ile kurutmanın etkisi, halojen lamba-mikrodalga kombinasyonu ile kurutmanın etkisi ve sıcak havayla kurutmanın etkisi kar ıla tırılmı tır. Havuçlar, sıcak havayla 0,47kg nem/kg kuru madde de erine kurutulduktan sonra mikrodalga ve halojen lamba-mikrodalga kurutma kombinasyonu uygulanmı tır. Sadece mikrodalgayla kurutmaya kıyasla mikrodalga ile halojen lamba kombinasyonu ile yapılan kurutmada havuçların daha hızlı kurutuldu u gözlemlenmi tir. Halojen lamba-mikrodalga kombinasyonu ile kurutulan ürünlerin kuruma süresinin, yüksek mikrodalga gücü ile kurutulan ürünlerin kuruma süresine çok yakın oldu u tespit edilmi tir. Halojen lamba-mikrodalga kombinasyonu ile kurutma ve yüksek mikrodalga gücü ile yapılan kurutmaların, sıcak havayla kurutmaya oranla kurutma süresini %98 civarında kısalttı ı gözlemlenmi tir. Elde edilen sonuçlara göre mikrodalga gücü arttıkça L\* de eri de artmı ve havuçların daha açık renkli oldu u belirlenmi tir. Halojen lamba-mikrodalga kombinasyonu ve yüksek mikrodalga gücünde kurutulan havuçların a\* ve b\* de erleri birbirine yakın bulunmu tur. Mikrodalga ve halojen lamba-mikrodalga

kombinasyonu ile kurutulmuş havuçların kurutma oranı sıcak havayla kurutmaya oranla daha yüksek bulunmuş ve renk kaybının daha az olduğu belirlenmiştir. Bu yöntemlerin hazır çorba ve çerez endüstrisinde kullanılan havuçların kurutulmasında kullanılabileceği ifade edilmiştir. Ayrıca halojen lamba-mikrodalga kombinasyonu uygulamasının çok düşük nem miktarı istenen ürünlerde kullanılabileceği tavsiye edilmiştir.

Stepien (2008)'in yaptığı çalışmada vakum-mikrodalga kurutmanın, halama ve osmotik kurutmaya elde edilen kurutulmuş havuçların basınç karşı direnci, kesme direnci ve gerilimi azaltma işlemine karşı etkisi araştırılmıştır. Taze, halanmış, osmotik basınçla kurutulmuş ve kurutma işlemi öncesi herhangi bir uygulamaya tabi tutulmayan örnekler bu araştırma kapsamında test edilmiştir. Kurutma sırasında 4-10 kPa basınç uygulanırken mikrodalganın magnetron gücü 480W olarak ayarlanmıştır. Örnekler denge nem oranına kadar kurutulmuştur. Havuçlar 95°C'de suda 3 dakika tutularak halanmıştır. Osmotik kurutmada ise havuçlar 24 saat %5 NaCl solüsyonuna tabi tutulmuştur. Böylece nem oranının %88'den %79'a düşüldüğü görülmüştür. Ön uygulamaların her tekrarında halama sıvısının hacminin veya osmotik kurutma solüsyonunun hacminin taze materyalin hacmiyle aynı oranda olduğu belirlenmiştir. Vakum-mikrodalga kurutma uygulaması sonucunda kurutulmuş ürünlerin nem oranının %3.2-3.8 civarında olduğu belirlenmiştir. En düşük nem miktarı kurutma işlemi öncesi herhangi bir uygulamaya tabi tutulmayan havuçlarda görülürken, osmotik kurutma uygulamasıyla elde edilen kuru materyalin en yüksek nem oranına sahip olduğu görülmüştür. Halama işlemiyle kuru materyalin basınç karşı direncinin, uygulama öncesi işlem görmeyen havuçların direncine göre yaklaşık iki kat artırdığı belirlenmiştir. Osmotik kurutmanın ise uygulama öncesi işlem görmeyen yöntemle kıyasla ürünün basınç karşı direncini yarıya indirmiştir. Osmotik kurutma ön uygulama yapılmayan materyale göre kesme gücünü %40 artırmış, taze ürünün halanması ile kurutulmuş ürünlerin kesme gücü ise mikrodalga kurutma işlemi görmemiş ürünün kesme gücünün üçte biri olduğu belirlenmiştir. Gerilimi azaltma işlemi be element içeren Maxwell modelleme yöntemiyle hesaplanmıştır. Bu modellemenin temeli reolojik modeldeki viskoz elementlerin elastikiyet modülü ve dinamik viskozite katsayısının hesaplanmasıdır. En yüksek gerilim 55 kPa basınçla kurutma işlemi öncesi halanan havuçlarda görülmüştür. Kurutma işlemi öncesi herhangi bir uygulama yapılmayan

havuçların kurutulmasıyla elde edilen ürünlerde gerilim 40 kPa olurken en dü k gerilim vakum-mikrodalga kurutmada önce osmotik kurutma uygulanan havuçlarda görülmü tür (20 kPa). Sonuçta kurutma öncesi ha lama i lemi uygulanan ürünlerin daha elastik ve yenilirken uzun süre i nenebilir özellikte oldu u, depolama ve ta ıma süresince daha dayanıklı oldu u belirtilmi tir. Vakum-mikrodalga kurutma i leminden önce osmotik kurutma uygulanan havuçların kırılğan yapıda oldu u görülmü depolamada zorluk ekilece i ve tüketiminin sınırlı olaca ı ifade edilmi tir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

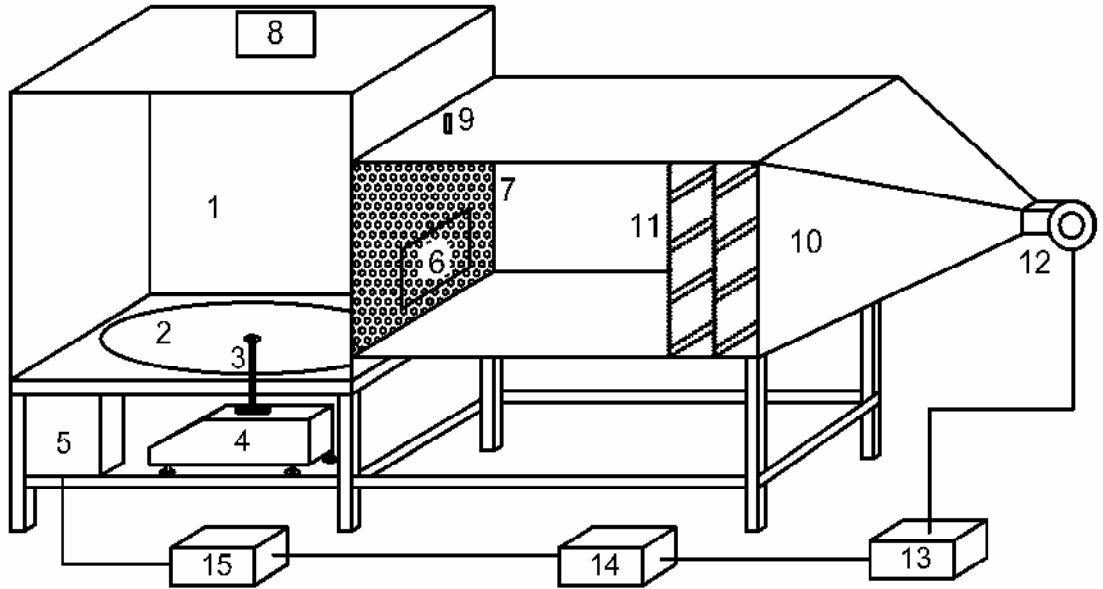
#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Kurutma Materyali

Kurutma denemelerinde Kırıkhan/Hatay'dan sa lanan Nantes çe idi havuç kullanılmı tır. Havuçlar so utma dolabında  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ 'de denemeye alınıncaya kadar muhafaza edilmi tir. Denemelerde kullanılan havuçların ürün nem içeri i  $9.71\text{--}10.54\text{ kg [H}_2\text{O] kg}^{-1}\text{[DM]}$  arasında de i mektedir.

##### 3.1.2. Mikrodalga-Konvektif Havalı Kurutma Deney Düzene i

Proje kapsamında yapılan ön denemelerin 11'inde ara tırmada kullanılan kurutma deney düzene inde yapılan tasarım de i ikli a a ıda verilmi tir. Kurutma deney düzene i modifiye edilmi bir mikrodalga fırın (Beko MD 1593), fan, ısıtma sistemi, sürekli tartım sistemi, kontrol sistemi ve güç ölçüm sisteminden olu maktadır ( ekil 3.1.).



ekil 3.1. Mikrodalga-konvektif havalı kurutma deney düzene i

Düzenek Kısımları :

- 1- Kurutma odası
- 2- Döner cam tepsi
- 3- Tepsi döndürme aparatı
- 4- Hasas terazi
- 5- PID kontrol ünitesi ve Solid State Role (Katı Durum Rolü)
- 6- Sıcak hava giri açıklığı
- 7- Difüzör
- 8- Nemli hava çıkışı açıklığı
- 9- Pt100 sıcaklık sensörü
- 10- Hava kanalı
- 11- Elektrikli ısıtıcılar
- 12- Radyal fan
- 13- Dimmer (Kademersiz hava hızı ayarı için)
- 14- Dijital Wattmetre
- 15- PLC kontrol ünitesi (Mikrodalga için).

Ematik görünümü ekil 3.1'de verilen kurutma deney düzenine i mikrodalga çıkışı güçleri farklı (597.29 W ve 697.37 W), di er bütün özellikleri aynı olacak ekilde iki adet olarak imal edilmiştir. Kurutma deney düzeneklerinde kurutma odası olarak kullanılan mikrodalga fırınların iç ölçüleri  $34.5 \times 33.5 \times 22.0 \text{ cm}^3$ 'tür. Kurutma odası arka yüzünün alt kısmında  $10 \times 8 \text{ cm}^2$  ölçülerinde bir hava giri açıklığı, yan yüzeyin üst kısmında ise yine aynı ölçülerde bir nemli hava çıkışı açıklığı bulunmaktadır. Sistemdeki olası mikrodalga kaçaklarını minimum düzeyde tutmak için anılan yüzeylerde açılan hava giri ve çıkışı açıklıkları 1 mm çapında deliklerden oluşmaktadır.

Kurutma odası arka kısmında yer alan hava ısıtma bölümü ile ısıtılan havanın kurutma odasına gönderilmesinde kullanılan aksiyal fan sökülerek bu kısımda tasarım değişikliği yapılmıştır. Sistemde sıcak hava üretilmesi ve ısıtılan havanın kurutma odasına gönderilmesinde ölçüleri  $56 \times 34 \times 24 \text{ cm}$  olan 1 mm kalınlığında galvanizli sacdan imal edilen ve 2.5 mm kalınlığında cam yünü ile ısı izolasyonu sağlanan bir hava kanalı ve  $180 \text{ m}^3/\text{h}$  hava debisine sahip, 100 W'lık bir radyal fan kullanılmıştır. Hava kanalı içerisine hava akımına dik yönde 2 adet 1200 W gücünde rezistans (ısıtma ünitesi) yerleştirilmiştir. Hava kanalı içerisine yerleştirilen delik çapı 1 mm olan bir

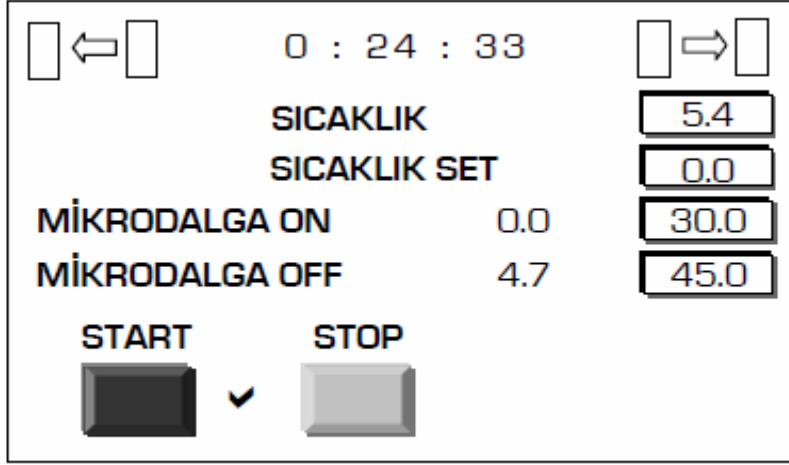
difüzör ile hem kanaldaki hava akımı laminer hale getirilmi hem de kurutma odasından hava kanalına olası mikrodalga kaçakları önlenerek kanal içinde bulunan Pt100 sıcaklık sensörünün hatalı ölçüm yapması engellenmi tir. Sistemde kullanılan fanın debisi/hava hızı bir dimmer (elektrik devrelerinde gerilimi belirli sınırlar içinde ayarlamaya yarayan bir direnç elemanı) vasıtasıyla kademesiz olarak ayarlanabilmektedir.

Radyal fan ile emilen dı ortam havası kanal içerisinden geçerken elektrikli ısıtıcılar ile ayarlanan sıcaklık de erlerine kadar ısıtılarak kurutma odasına verilmektedir. Hava kanalı içerisindeki hava sıcaklı mın istenilen de erlerde ayarlanabilmesi için PLC on-off kontrol sisteminden vazgeçilmi olup, bunun yerine bir Üniversal giri li PID (Orantılı ntegral Türetme) proses kontrol cihazı ve bir Solid State Role'den olu an kontrol ünitesi kullanılmı tır. Solid State Rolelerde devrenin açılıp kapatılmasında kontak yerine yarı iletkenler (transistörler) kullanılmaktadır. Bu da kontakların normal rölelere oranla çok daha hızlı açılıp kapanmasını sa layarak daha hassas sıcaklık kontrolüne olanak vermektedir. Sistemde kullanılan PID kontrol cihazında Oransal ntegral Türevsel Kontrol parametreleri sistem tarafından otomatik olarak ayarlandı ı için hava hızına ba lı olarak istenilen sıcaklık de erinden/set de erinden  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ – $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  sapma ile sıcaklık kontrolü sa lanmı tır.

Kurutma i lemi sırasında üründen uzakla tırılan nem kütlesinin sürekli olarak ölçülmesinde bir hassas terazi (Sartorius marka, 0.01 g duyarlıkta, 3200 g tartım kapasitesine sahip) kullanılmı tır. Kurutma i lemi sırasında sürekli olarak tartım yapabilmek için mikrodalga cam tepsisinin üzerine yerle tirildi i aparat çıkartılarak, bunun yerine alüminyum malzemedden imal edilmi bir aparat kullanılmı tır. mal edilen bu aparatın üst kısmı mikrodalga cam tepsisinin üzerine oturaca ı silindirik ekilli bir yapı, alt bölümü ise mikrodalga fırının alt kısmına yerle tirilen hassas terazi üzerindeki platforma sabitlenen tepsi döndürme motoruna ba lanmı uzunca bir çubuk eklindedir. Böylelikle, cam tepsi üzerine yerle tirilen üründen buharla an nem kütlesi sürekli olarak ölçülebilmektedir.

Kurutma i leminde mikrodalga enerjisinin kesikli olarak ürüne uygulanabilmesi için mikrodalga üretcinin çalı ma ve durma süreleri PLC kontrol ünitesinin dokunmatik ekranı vasıtasıyla istenilen sürelerde ayarlanabilmektedir ( ekil 3.2.).





ekil 3.2. PLC kontrol ünitesi ematik ekran görüntüsü

Kurutma i lemi sırasında sistemin enerji tüketimi bir dijital Wattmetre kullanılarak ölçülmü tür. Mikrodalga enerjisinin tekdüze olarak kurutulan ürüne uygulanabilmesi ve homojen bir kurutma elde edilebilmesi için denemeler sırasında cam tepsi 5 devir/dakika hızında sürekli olarak döndürülmü tür. Kurutma sistemi fanı ve cam tepsi PLC kontrol ünitesi vasıtasıyla istenildi i zaman çalı tırılıp durdurulabilmektedir.

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Kurutma Denemelerinin Düzenlenmesi

Kurutma denemeleri öncesinde havuç için uygun kurutma formunun belirlenebilmesi için bir seri ön deneme yapılmı tır. Ön denemelerde silindirik olarak 5 mm kalınlı ında dilimlenmi , silindirik olarak rendelenmi , püre ekinde rendelenmi ve silindirik olarak 5 mm kalınlı ında dilimlenmi ve 94°C suda 7 dakika ha lanmı , havuçlar sıcak hava ve mikrodalga-konvektif hava ile kurutulmu tür. Ürün kuruma kineti i, renk kalitesi ve tekstürel özellikler bakımından ön i lemsiz püre ekinde kurutulan havuçların en iyi sonucu verdi i belirlenmi tir. Her kurutma denemesi öncesinde kurutulacak havuçlar +4°C'de tutulan so utucudan çıkartılarak çe me suyu ile yıkandıktan sonra oda sıcaklı ına gelinceye kadar bekletilmi tir (1-2 saat). Havuçlar dı kabukları soyulup eritler halinde rendelendikten sonra denemeye alınmı tır.

Denemeler klima ile ortam havası 20°C'ye ayarlanmı laboratuarda gerçekte tirilmi tir. Denemeler 300 g taze rendelenmi havuç materyali ile 2.0±0.2 m/s hava hızında yürütülmü , 0.13 kg [H<sub>2</sub>O] kg<sup>-1</sup>[DM] ürün nemine ula ılıncaya kadar denemelere devam edilmi tir. Uygulanan mikrodalga enerjisinin materyal tarafından tekdüze olarak absorbe edilebilmesi için kurutulan ürün döner cam tepsi üzerine tekdüze olarak yerle tirilmi olup, denemeler 3 tekrarlı olarak yapılmı tır. Kurutma i lemi sırasında kurutulan materyal kütlesi mikrodalga-konvektif hava ile kurutma denemelerinde 5 dakikada bir, konvektif hava ile kurutma denemelerinde ise 30 dakikada bir periyodik olarak tartılmı tır. Mikrodalga-konvektif hava ile kurutma denemelerinde kesiklilik oranının ifade edilmesinde e itlik 3.1. kullanılmı olup, 590.29 W ve 670.37 W mikrodalga çıkı güçlerine sahip mikrodalga-konvektif havalı kurutma deney düzenekleri gerçekte tirilen denemelere ili kin deneme planı a a ıda verilmi tir;

- PR=1.0 Sürekli on + (20°C)
- PR=2.0 15 s on, 15 s off + (20°C, 65°C, 70°C, 75°C)
- PR=3.0 15 s on, 30 s off + (20°C, 65°C, 70°C, 75°C)
- PR=4.0 15 s on, 45 s off + (20°C, 65°C, 70°C, 75°C)
- Konvektif hava ile kurutma (65°C, 70°C, 75°C)

$$PR = \frac{t_{on} + t_{off}}{t_{on}} \quad (3.1)$$

Burada; PR: Kesiklilik Oranı,  $t_{on}$  ve  $t_{off}$  bir çevrimdeki mikrodalga güç uygulama ve güç kesme süreleri (s)'dir.

### 3.2.2. Mikrodalga Güç Ölçümü

Mikrodalga güç ölçümünde Uluslararası Mikrodalga Güç Enstitüsü (IMPI) 2 Litre testi kullanılmı tır (Buffler, 1993). Mikrodalga fırın içine, içinde 2000±5 g saf su bulunan 2 adet 1'er litrelik cam kap (beher) yerle tirilmi olup, fırın maksimum (%100) güçte çalı tırılmı tır. Cam kaplar içerisine konulan saf suyun ısıtma öncesi sıcaklı ı 20±2 °C olacak ekilde ayarlanmı tır. Cam kaplar mikrodalga fırının merkezine yan yana gelecek ekilde yerle tirilmi lerdir. Mikrodalga fırın 2 dakika 2 saniye çalı tırılmı ve cam kaplar içerisinde bulunan suyun sıcaklıkları zaman geçirmeden ayrı ayrı ölçülmü tür. Her iki kurutma düzene inde de bu güç ölçüm testi üçer kez tekrarlanmı

ve a a ıda verilen e itlik kullanılarak kurutma sistemlerinin mikrodalga ıkı güçleri belirlenmi tir;

$$P_m = \frac{mc_p (T_1 + T_2)}{2\Delta t} \quad (3.2.)$$

Burada;

- $P_m$  ortalama mikrodalga ıkı gücü (W),
- $T_1$  ve  $T_2$  her iki beherde bulunan saf suda meydana gelen sıcaklık yükselmeleri ( $^{\circ}\text{C}$ ),
- $m$  toplam su kütlesi (kg),
- $c_p$  suyun özgül ısısı ( $\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$ ),
- $t$  mikrodalga uygulama süresi (s)'dir.

Havuç kurutma denemelerinde kurutma sistemlerinin ortalama mikrodalga ıkı gücü sırasıyla  $590.29 \pm 5.93$  W ve  $670.37 \pm 5.28$  W olarak belirlenmi tir.

### 3.2.3. Özgül Enerji Tüketiminin Belirlenmesi

Özgül enerji tüketimi birim kütleli suyu buharla tırmak için gerekli olan enerjinin bir ölçüsü olup a a ıdaki e itlik kullanılarak hesaplanmı tır (3.3.).

$$Q_s = \frac{Q_t}{m_w} \quad (3.3.)$$

Burada;

- $Q_s$  özgül enerji tüketimi ( $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}[\text{H}_2\text{O}]$ ),
- $Q_t$  - kurutma i leminde kullanılan enerji: mikrodalga jeneratörü, fan, döner cam tepsi motoru, iç ortam aydınlatması ile ölçüm ve kontrol donanımları tarafından harcanılan elektrik enerjileri toplamıdır (MJ),
- $m_w$  üründen uzakla tırılan nem kütlesi ( $\text{kg} [\text{H}_2\text{O}]$ )'dir.

### 3.2.4. Ürün Renk Parametrelerinin Belirlenmesi

Rendelenmi taze havuç ile mikrodalgada kurutulan havuçların renk de erlerinin belirlenmesi amacıyla her bir denemede kullanılan ürünlerde 12 tekrarlı olarak renk

ölçümleri yapılmı tır. Ürün renk parametreleri Minolta CR-400 (Minolta, Osaka, Japonya) model renk ölçüm cihazı ile belirlenmi tır. Ölçümler cihazın C konumunda  $L^*$   $a^*$   $b^*$  modunda yapılmı tır. De erlendirmede, CIE tarafından 1976 yılında geli tirilen  $L^*$   $a^*$   $b^*$  renk skalası kullanılmı tır.  $L^*$   $a^*$   $b^*$  renk skalasında;

- $L^*$  eksenini parlaklık de erini vermekte olup, ölçülen renge göre 0 ile 100 arasında de i en de erler alabilmektedir.
- $a^*$  de eri pozitif de er aldı ında ölçülen renk kırmızı, negatif de er aldı ında ise ye il olmaktadır.
- Aynı ekilde  $b^*$  de eri pozitif de er aldı ında ölçülen renk sarı, negatif de er aldı ında ise mavi olmaktadır.
- $E^*$  de eri tüm kuru ürünlerde ölçülen  $L^*$   $a^*$   $b^*$  de erleri ile taze ürünün  $L^*$   $a^*$   $b^*$  de erleri arasındaki fark olup a a ıdaki e itlikle hesaplanmı tır.

$$E^* = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (3.4.)$$

Burada;

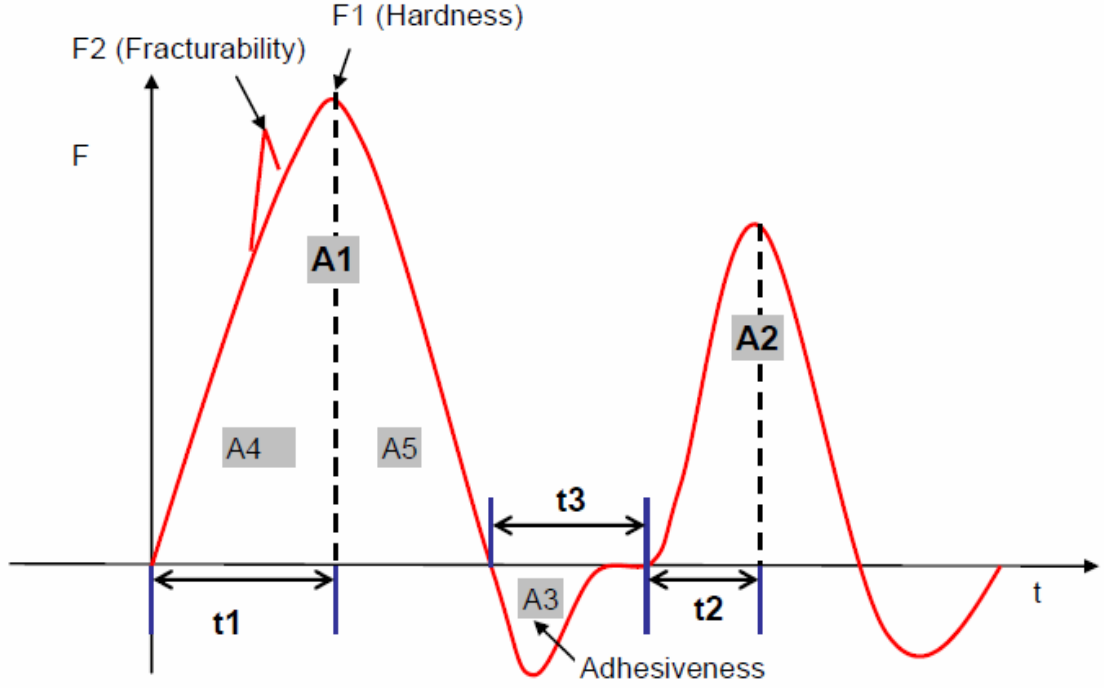
$E^*$ ; Taze ürün rengi ile kuru ürünlerin renk de erleri arasındaki farktır.

$L_0^*$ ,  $a_0^*$ ,  $b_0^*$ ; Taze ürünün renk de eridir.

$L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ; Kuru ürünlerin renk de erleridir.

### 3.2.5. Ürün Tekstür Özelliklerinin Belirlenmesi

Kurutulan Nantes çe idi havucun tekstür özelliklerinin belirlenmesinde Tekstür Profil Analizi (TPA) yöntemi kullanılmı tır. TPA analizi çapı 6 cm olan silindirik metal kap içine konulmu 2.0 g rendelenmi kuru havuç örneklerinde 4 cm'lik silindirik prob kullanılarak tekstür analiz cihazı TA-XT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, ngiltere) ile yapılmı tır. Sertlik, gevreklik, elastiklik, sakızimsılık ve çi nenebilirlik de erleri ölçülmü tür. Tekstür ölçümü için kullanılan cihaz parametreleri öyledir; ön test test hızı  $4 \text{ mms}^{-1}$ , test hızı  $2 \text{ mms}^{-1}$ , son test hızı  $2 \text{ mms}^{-1}$ , ilk nüfuz etme derinli i 4 mm, ikinci nüfuz etme derinli i 4 mm, baskılama tipi–auto, baskılama kuvveti 0.05 N, yük hücresi 30 kg (çözünürlük 0.1 g).



ekil 3.3. Tekstür Profil Analizinin (TPA) grafiksel gösterimi; F1 (Sertlik-Hardness): ilk sıkı tırma periyodunda meydana gelen pik kırılma kuvveti (N), F2 (Kırılgnalık-Fracturability): ilk sıkı tırma periyodunda meydana gelen ilk önemli kırılma kuvveti (N), (Szczeniak, 2002)

### 3.2.6. Duyusal Analiz

Kurutulan Nantes ç e idi havucun duyuusal özelliklerinden renk (görünü ve be eni), tekstür (doku ve be eni), genel görünü kalitesi ve genel ürün be eni derecesinin de erlendirilmesinde 9 noktalı hedonik (be eni) skala kullanılmı tır. Renk (be eni), tekstür (be eni), genel görünü kalitesi ve genel ürün be eni derecesinde bu skalada 1 hiç be enmedim, 5 orta, 9 çok be endim olarak ifade edilmi tir. Tekstür (doku) özelli inde 1 az gevrek, 5 kabul edilebilir, 9 çok gevrek; renk özelli inde 1 mat turuncu, 5 kabul edilebilir, 9 parlak turuncu renk olarak ifade edilmi tir (EK 1).

Havuç örneklerinin duyuusal analizlerinde on ki ilik panelist grubu yer almı tır. Her bir oturumda 6 örnek duyuusal olarak de erlendirilmi tir. Örnekler 3 rakamlı rastgele sayılarla kodlanmı ve sıralama etkisini azaltmak için her paneliste farklı sıralama ile sunulmu tur.

### 3.2.7. -Karoten Analizi

Taze havuçların ve farklı kurutma uygulamaları ile elde edilen kurutulmuş ürünlerin karoten miktarı 452 nm absorptans değerinde spektrofotometrik yöntemle belirlenmiştir (Prakash ve ark., 2004).

- Saf beta karotenden 0.0025 gr tartılıp petrol eterle 25 ml'ye tamamlanarak stok çözelti hazırlanmıştır.
- Hassas terazide 0.1 gr kurutulmuş havuç tartılıp 25 ml aseton:petrol eter (3:7) karışımı ile havanda karıştırılmış ve havan kolu ile havuç kalıntısı renksiz hale gelinceye kadar iyice parçalanmıştır.
- Örnek filtre kağıdından geçirilerek havuç kalıntısından ayrılmıştır ve kalıntı renksiz hale gelinceye kadar aseton:petrol eter karışımı ile ekstrakte edilmiştir.
- Filtratlar ayırma hunisinde birleştirilip 50 ml distile su eklenmiş ve bir dakika çalkalandıktan sonra su fazı atılmış, petrol eter fazındaki suyu uzaklaştırmak için 0.5 gr Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> eklenmiştir.
- Petrol eter fazı filtre kağıdından geçirilerek 50 ml'lik balonjojeye aktarılmış ve hacim 50 ml'ye tamamlanmıştır.
- Her iki küvete petrol eter konularak absorptans sıfırlanmış ve dıştaki kuartz küvete ekstrakte edilen örnekten 2 ml konularak 452 nm'de absorptans değeri okunmuştur.
- Analizler her bir örnek için üç tekerrürlü olarak yapılmıştır.
- Sonuçlar mg/g kuru bazda hesaplanmıştır.

Elde edilen absorptans değerlerinden yararlanılarak örneklerde bulunan toplam karoten içeriği (mg/100g) aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (Cemeroğlu, 2007).

$$\text{Toplam Karoten Miktarı (mg/100g)} = \frac{(A)(S_f)}{\epsilon} \quad (3.5.)$$

Burada;

A ; Ekstraktta, absorpsiyon maksimumunda saptanmış olan absorptans değeridir.

S<sub>f</sub>; Seyreltme faktörü

; Ekstinksiyon katsayısı: Bu değer toplam karotenoidlerin %1'lik çözeltisinin 1 cm ışık yolu olduğu zaman, maksimum absorptans dalga boyundaki absorptans değeridir.

### 3.2.8. Kuruma E rilerinin Modellenmesi

En uygun kurutma modelinin belirlenebilmesi için deneysel olarak elde edilen kuruma e rileri 11 farklı matematiksel e itlik kullanılarak modellenmiştir (Çizelge 3.1). Model çalışmaları ürün denge nemi ( $M_e$ ) de eri sıfır olarak alınmıştır. Böylelikle, ürün nem oranı e itli i ( $MR=(M-M_e)/M_0-M_e$ )  $MR = M/M_0$  e klinde basitleştirilmiştir (Maskan, 2000; Soysal ve ark., 2006). Matematiksel modelleme çalışmaları Sigma Plot 10.0 paket programı kullanılmıştır. En iyi modelin belirlenmesinde kullanılan kriterler, kalanların kareleri toplamı (RSS, E itlik 3.6.), tahminin standart hatası (SEE, E itlik 3.7.) ve düzeltilmiş belirtme katsayısı ( $\bar{R}^2$ )'dir.

$$RSS = \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \quad (3.6.)$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - 2}} \quad (3.7.)$$

$$\bar{R}^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{N - 1}{N - k - 1} \quad (3.8.)$$

Burada;

$MR_{exp,i}$ ,  $i$ . Deneysel nem oranı,  $MR_{pre,i}$ ,  $i$ . Tahmin edilen nem oranı,  $N$  gözlemlenen deneysel veri adedi,  $\bar{R}^2$  Belirtme katsayısı,  $k$  modelde yer alan bağımsız de i ken sayısıdır.

Çizelge 3.1. Kuruma e rilerinin modellenmesinde kullanılan matematiksel e itlikler

No	Model	Adı	Kaynaklar
1	$MR = \exp(-kt)$	Newton	Lui ve Bakker-Arkema, 1997
2	$MR = \exp(-kt^n)$	Page	Diamente ve Munro, 1993
3	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson ve Pabis	Pal ve Chakraverty, 1997
4	$MR = a \exp(-kt) + b$	Logaritmik	Ya cıoglu ve ark., 1999
5	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli ve ark.	Midilli ve ark., 2002
6	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang ve Singh	Wang ve Singh, 1978
7	$MR = b/(1 + a \exp(kt))$	Lojistik	Jain ve Pathare, 2004
8	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-k_1t)$	ki terimli	Henderson, 1974
9	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-bt)$	Verma ve ark.	Verma ve ark., 1985
10	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-kat)$	ki terimli üssel	Yaldız ve Ertekin, 2001
11	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-kbt)$	Difüzyon yakla ımı	Yaldız ve Ertekin, 2001

MR, nem oranı (boyutsuz); k ve  $k_1$  kuruma katsayıları,  $\text{min}^{-1}$ ; n, üs (boyutsuz); t, zaman,  $\text{min}^{-1}$ ; a ve b, model katsayıları (boyutsuz)

### 3.2.9. istatistiksel Analiz

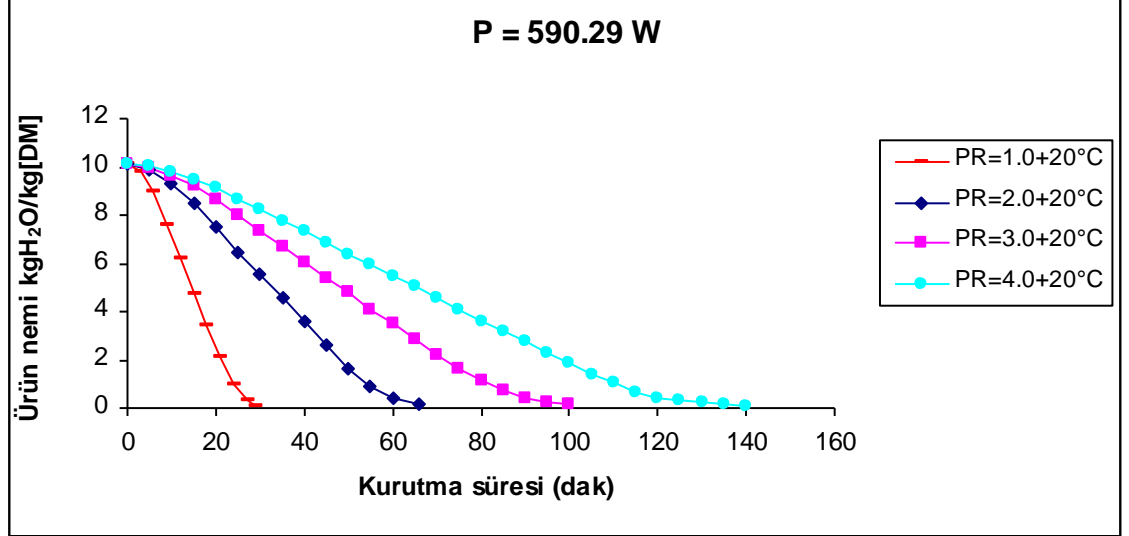
Ara tırmada elde edilen verilerin istatistiksel olarak de erlendirilmesinde SPSS paket programı kullanılarak varyans analizi, tesadüf parselleri faktöriyel deneme desenine ( $3 \times 6 \times 6$ ) göre analiz edilmi ve Tukey çoklu kar ıla tırma testi yapılmı tır. Veriler %5 önem seviyesinde analiz edilmi tir.



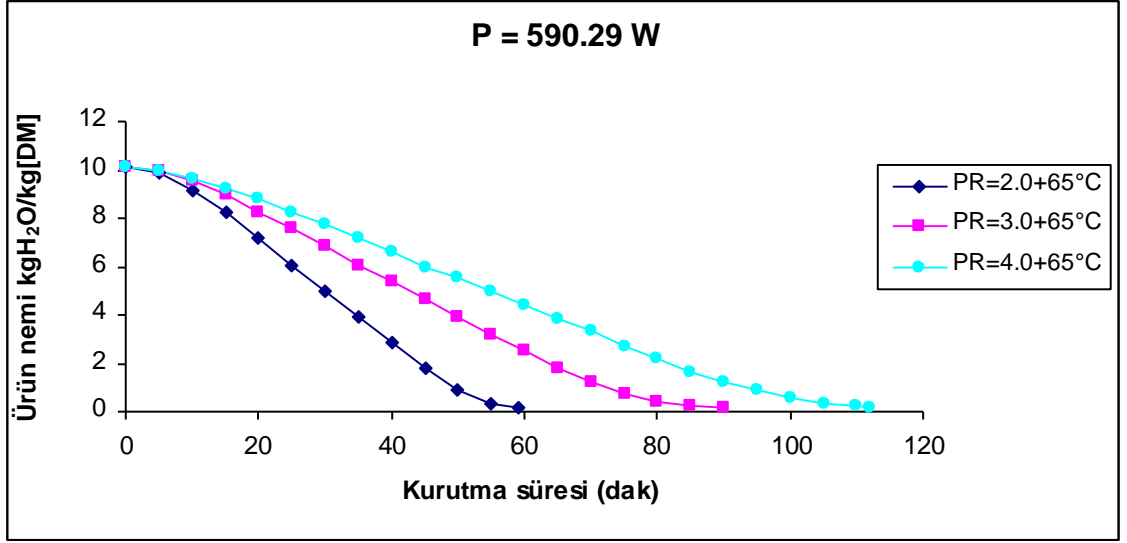
#### 4. ARA TIRMA BULGULARI VE TARTI MA

##### 4.1. Ürün Kuruma E rilerinin De erlendirilmesi

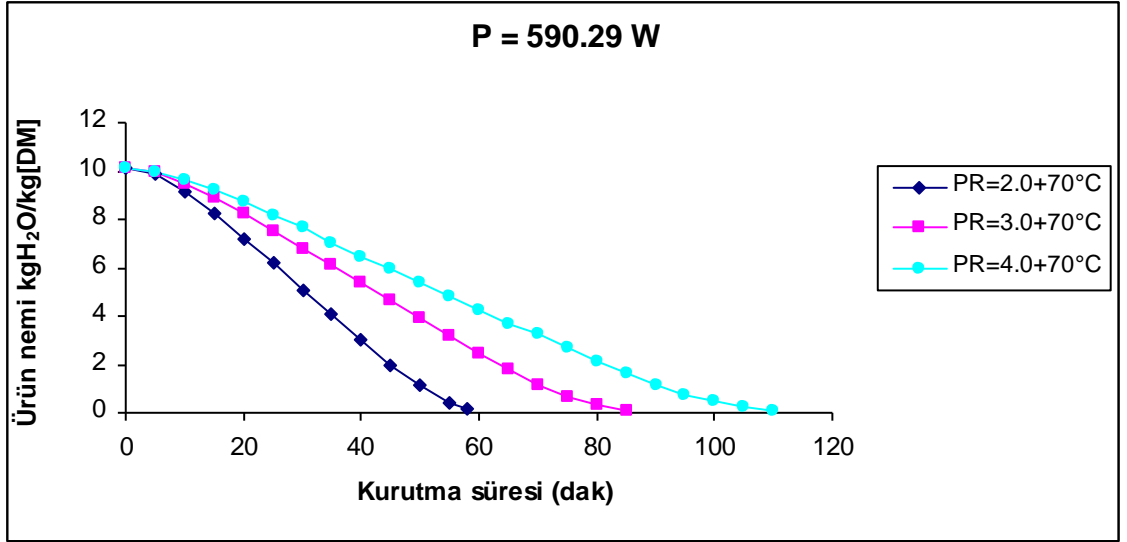
Kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamasında azalan mikrodalga kesiklilik oranı (PR) ve artan konvektif hava sıcaklığına bağlı olarak kuruma süresi kısalmakta kuruma hızı ise artmaktadır [ ekil 4.1. – 4.16.]. Ayrıca, sürekli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamasında uygulanan mikrodalga çıkı gücünün 590.29 W'tan 670.37 W'a yükseltilmesi ürün kuruma süresinde %20.7 azalma, ortalama kuruma hızında ise 1.24 kat artış sağlamaktadır. Ürün kuruma davranışına bakıldığında, genel olarak ilk 2 dakikalık ısınma evresinden sonra kuruma hızı 5.0–4.0 kg [H<sub>2</sub>O].kg<sup>-1</sup>[DM] nem içeriğinde en yüksek seviyeye ulaştıktan sonra azalan hızlı kuruma evresi görülmü olup, bu kuruma evresinde ürün kuruma hızı keskin bir düşüş trendi izlemiştir ( ekil 4.9. ve ekil 4.10.).



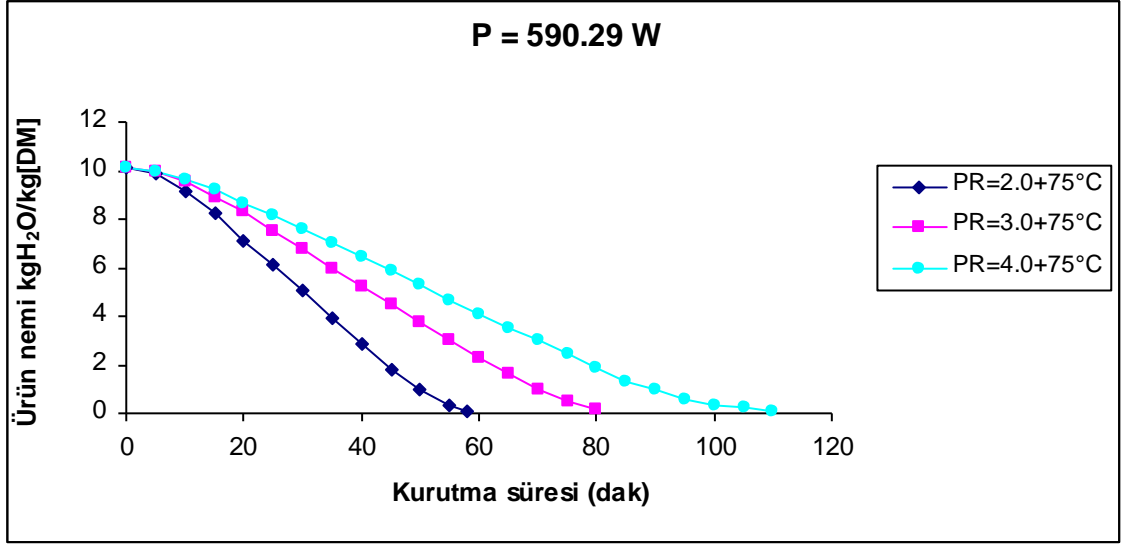
ekil 4.1. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=1.0, PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (20°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün neminin zamana bağlı olarak değişimi (P=590.29 W)



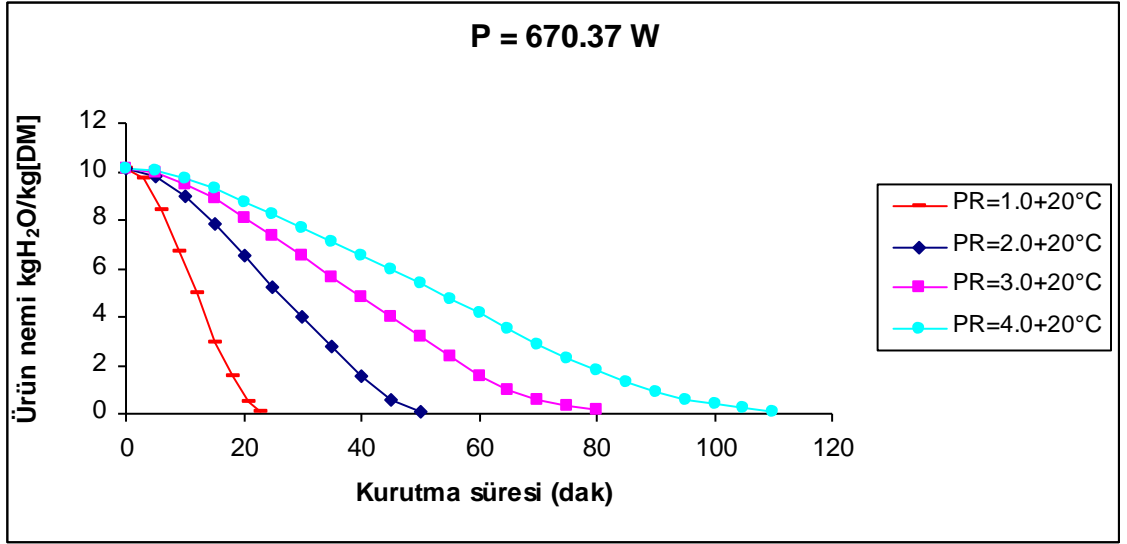
ekil 4.2. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (65°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün neminin zamana ba lı olarak de i i mi (P=590.29 W)



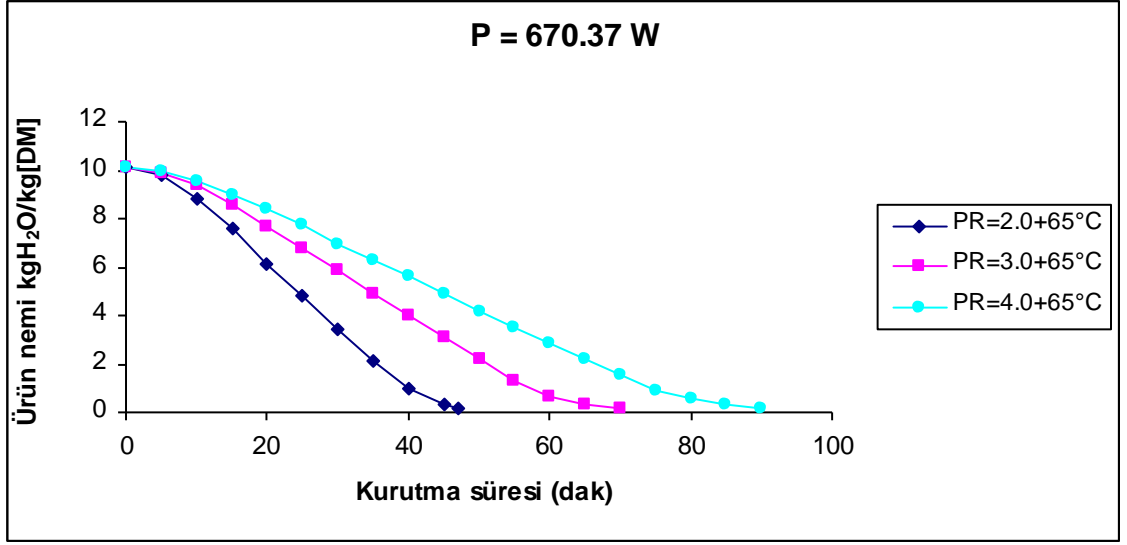
ekil 4.3. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (70°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün neminin zamana ba lı olarak de i i mi (P=590.29 W)



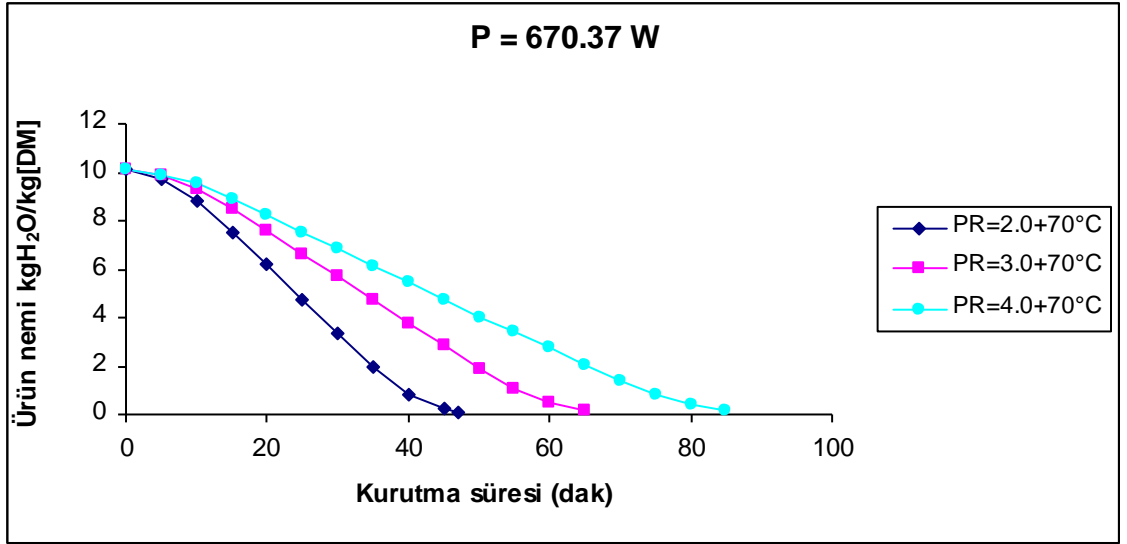
ekil 4.4. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (75°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün neminin zamana ba lı olarak de i imi (P=590.29 W)



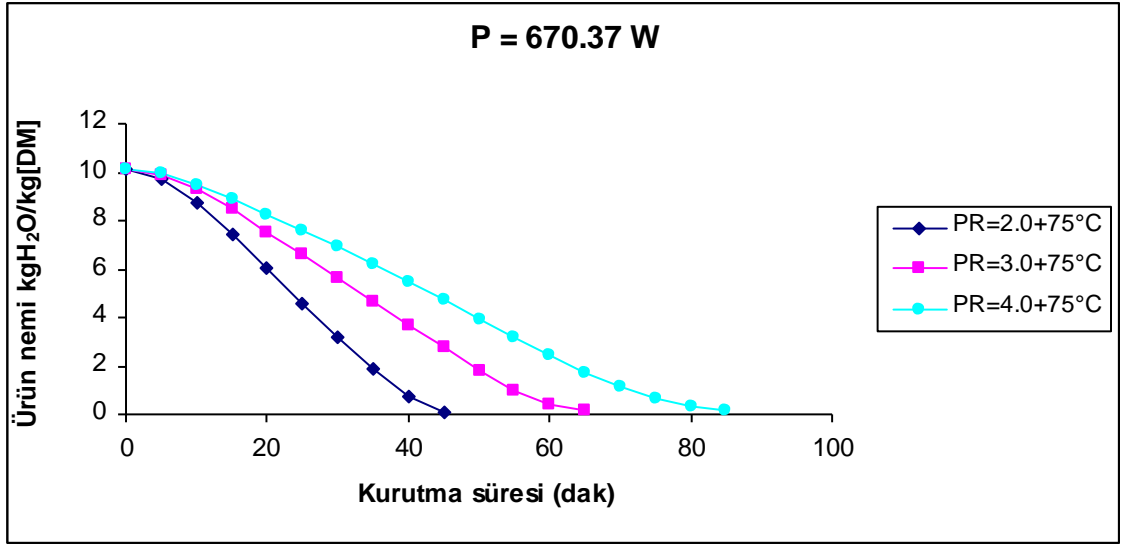
ekil 4.5. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=1.0, PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (20°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün neminin zamana ba lı olarak de i imi (P=670.37 W)



ekil 4.6. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (65°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün neminin zamana ba lı olarak de i i mi (P=670.37 W)



ekil 4.7. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (70°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün neminin zamana ba lı olarak de i i mi (P=670.37 W)



ekil 4.8. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (75°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün neminin zamana ba lı olarak de i imi (P=670.37 W)

Kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında havucun 0.13 kgH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup> [DM] ürün nemine ulaşması için gerekli süre, uygulanan mikrodalga çıkı gücü, PR ve kurutma havası sıcaklığına ba lı olarak 45–140 dakika arasında de imektedir [ ekil 4.1. – 4.7.]. Uygulanan mikrodalga çıkı gücü ve kurutma havası sıcaklığı arttıkça kuruma süresi kısalmakta, kuruma hızı ise artmaktadır. Genel olarak PR arttıkça kuruma süresi artmı , aynı PR de erinde kurutma havası sıcaklığı arttıkça kuruma süresi de azalmı tır.

Kurutma ko ullarına ba lı olarak de imekle birlikte, sürekli mikrodalga-konvektif hava (PR=1.0+20°C) ile kurutma uygulamasında kurutma süresi, kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarına kıyasla %35.56–%83.57 daha kısa, ortalama kuruma hızı ise 1.52–5.94 kat daha yüksektir [ ekil 4.1. – 4.16.]. Ayrıca, kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında, di er kurutma ko ulları sabit kalmak ko uluyla, mikrodalga çıkı gücünü 590.29 W'tan 670.37 W'a yükseltmekle ürün kuruma süresinde %20.34 ile %24.24 arasında de i en oranlarda azalma, ortalama kuruma hızında ise %22.56-%30.67 artışa lanmı tır.

Kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarına ili kin karakteristik kuruma hızı e rileri de erlendirildi inde [ ekil 4.9. – 4.16.]; genel olarak kısa bir ısınma evresinden sonra kuruma hızı en yüksek de erine ulaşmı tır. Bu

maksimum kuruma hızı de erinden sonra nispeten uzun bir sabit hızlı kuruma evresi görülmü tür. Sabit hızlı kuruma evresinin ardından keskin bir dü ü ile ba layan azalan hızlı kuruma evresi görülmü tür. Mikrodalga kesiklilik oranı arttıkça, kurutma i lemi sırasında kurutulan ürün nem ve sıcaklı ının homojen hale gelmesi için yeterli süre oldu u için yüksek kesiklilik oranlarında sabit hızlı kuruma evreleri hem daha uzun olup, hem de daha açık bir ekilde görülmektedir.

Madamba ve ark. (1996) biyolojik ürünlerin hemen hemen tamamında kurutma i leminin azalan hızlı kuruma evresinde gerçekleşti ini bildirmi lerdir. Ancak, sabit hızlı kuruma evresi kurutulan ürün bünyesindeki nemin kapılar kuvvetler yoluyla etkili bir ekilde dı ortama transfer edildi ini gösterdi inden büyük önem arz etmektedir (Perré ve May, 2007). Birçok çalı mada yüksek nem içeri ine sahip çe itli ürünlerin kurutulması sırasında sabit hızlı kuruma evresinin görüldü ü rapor edilmi tir. Örne in patates, (Saravacos ve Charm, 1962; May ve Perré, 2002; Bondaruk ve ark., 2007; Perré ve May, 2007), havuç (Saravacos ve Charm, 1962; May ve Perré, 2002; Baysal ve ark., 2003), so an, armut, eftali, üzüm (Saravacos ve Charm, 1962), elma (Saravacos ve Charm, 1962; Jung ve ark., 1986; Contreas ve ark., 2008), avokado (May ve Perré, 2002), kırmızı biber (Turhan ve ark., 1997; Kaensup ve ark., 2002; Tunde-Akintunde ve ark., 2005), ilaç yapımında kullanılan ürünler (McMinn ve ark., 2005), dilim portakal (Diaz ve ark., 2003), muz (Mowlah ve ark., 1983; Mousa ve Farid, 2002), çilek (Contreas ve ark., 2008), maydanoz (Soysal, 2004; Soysal ve ark., 2006) gibi ürünlerin konvektif hava, mikrodalga-konvektif hava, vakum-mikrodalga ile kurutma gibi çe itli yöntemlerle kurutma i lemleri sırasında sabit hızlı kuruma evresinin görüldü ü rapor edilmi tir.

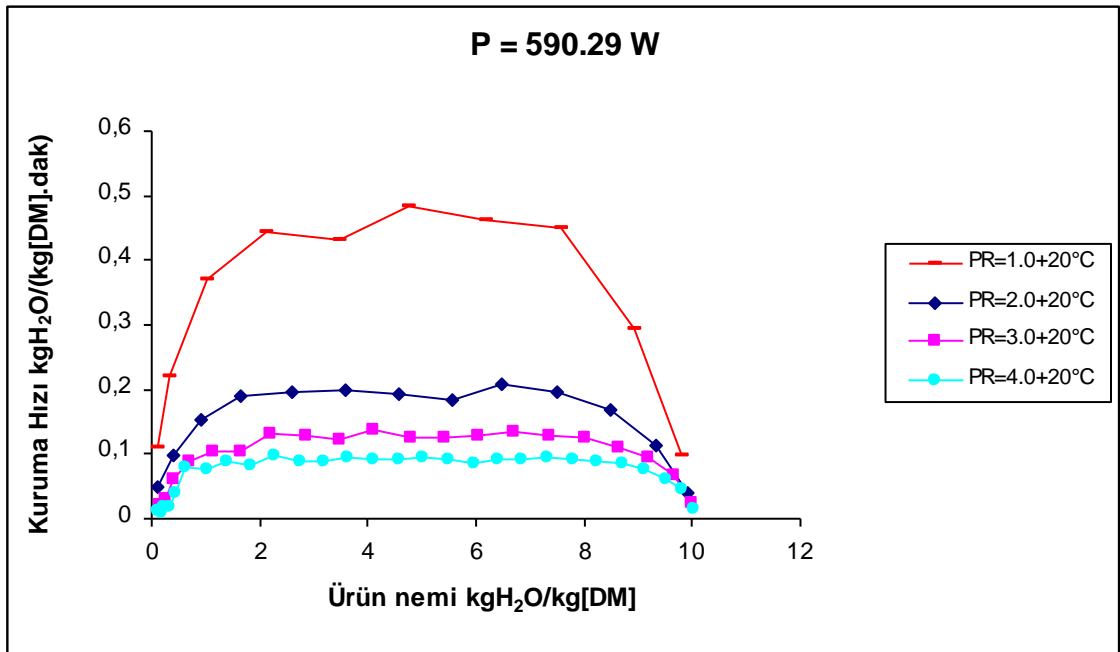
Changrue (2006) ozmotik ön i lem uygulanarak (%50 oranında kurutulmu ) sürekli ve kesikli vakum-mikrodalga ile kurutulan havuç ve çilekte sabit hızlı kuruma evresinin görülmedi ini, buna kar ılık ozmotik ön i lem uygulanmadan kurutulan çilek ve havuçta kesikli ve sürekli mikrodalga ile kurutmada sabit hızlı kuruma evrelerinin görüldü ünü bildirmi tir.

May ve Perre (2002) konvektif hava ile havuç kurutulmasında  $1.5 \text{ kgH}_2\text{O.kg}^{-1}$  [DM] ürün nemine kadar olan süreçte oldukça uzun bir sabit hızlı kuruma evresi gözlemlendi ini bildirmi lerdir.

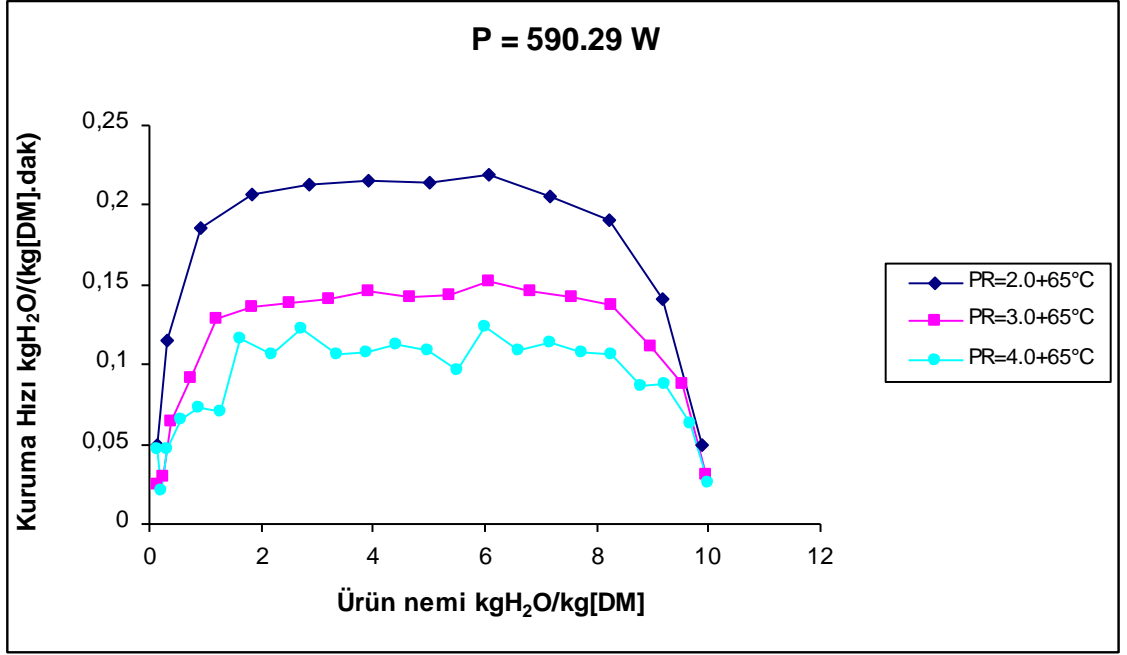
Cui ve ark. (2004a) mikrodalga-vakum kurutma tekni i ile 3-5 mm arasında de i en dilim kalınlıklarında havuç kurutma sırasında kurutma i leminin  $2.0 \text{ kgH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} [\text{DM}]$  ürün nemine kadar sabit hızlı kuruma evresinde gerçekleştiğini saptamışlardır.

Cui ve ark. (2005) sürekli ve kesikli mikrodalga uygulamasıyla vakum altında çeşitli dilim kalınlıklarında (4, 8 ve 10 mm) havuç kurutmuşlardır. Araştırmada 8 mm'den daha az kalınlıktaki havuçların kurutulması sırasında ürün yüzeyi ile ürün merkez sıcaklığının aynı olduğunu, ürün içinde tekdüze bir sıcaklık dağılımı olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar, 8 mm ve daha az kalınlıktaki havuçların kurutulması sırasında ısınma, sabit hızlı kuruma ve azalan hızlı kuruma evrelerinin görüldüğünü, sabit hızlı kuruma evresinin  $2.0 \text{ kgH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} [\text{DM}]$  ürün nemine kadar devam ettiğini, bu evre sırasında ürün sıcaklığının da sabit kaldığını rapor etmişlerdir.

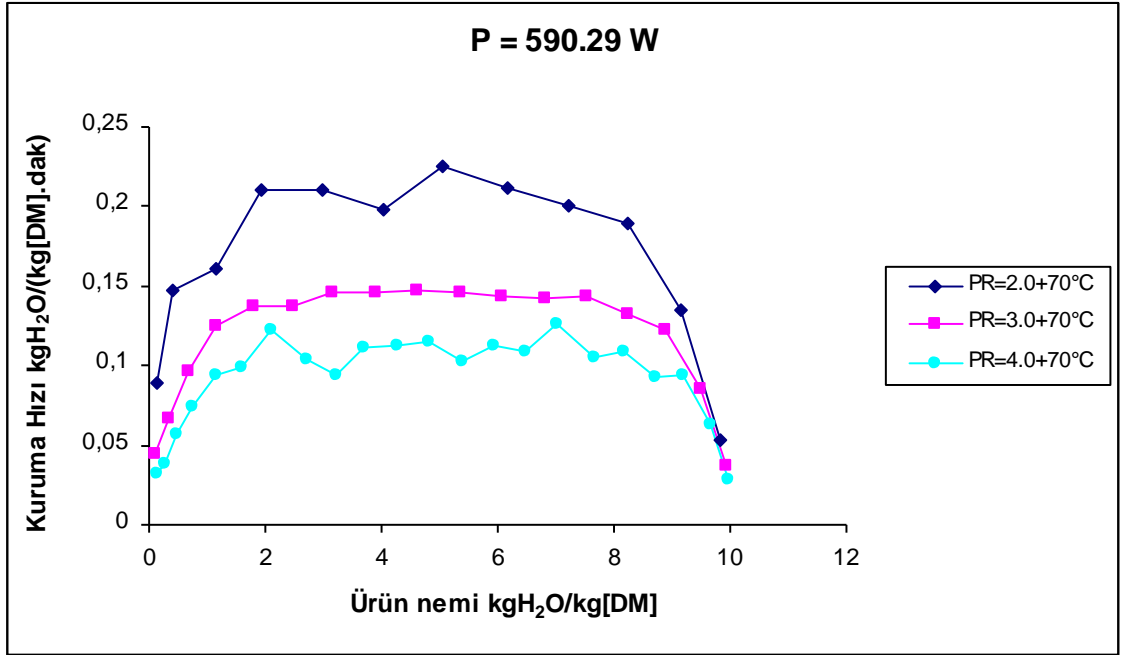
Bu araştırmada kesikli mikrodalga-konvektif hava ile püre ekinde rendelenmiş havuçların kurutulması sırasında kısa bir ısınma evresinin ardından yaklaşık  $1.5 - 2.0 \text{ kgH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} [\text{DM}]$  ürün nemine kadar olan süreçte gözlemlenen sabit hızlı kuruma evresi toplam kurutma süresinin  $3/5$ 'i kadar uzunlukta olup, yukarıda verilen çalışmalarıyla sonuçlarıyla büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.



ekil 4.9. Nantes çeşidi havucun kesikli mikrodalga (PR=1.0, PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (20°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün nemine bağlı olarak kuruma hızının değişimi (P=590.29 W)

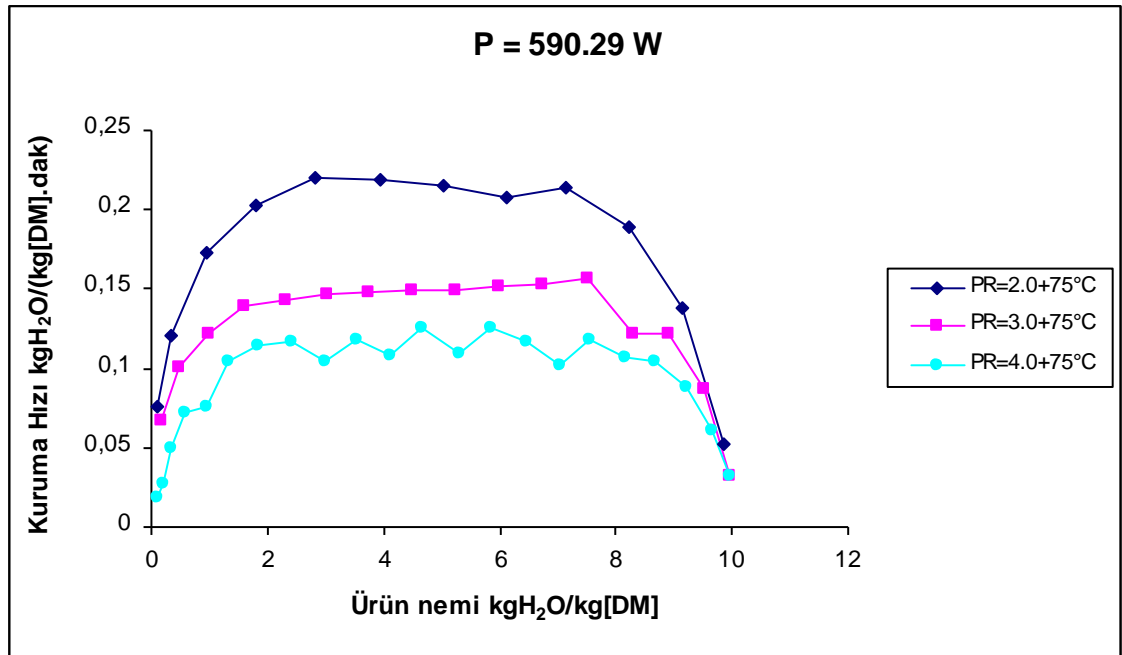


ekil 4.10. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (65°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün nemine ba lı olarak kuruma hızının de i imi (P=590.29 W)

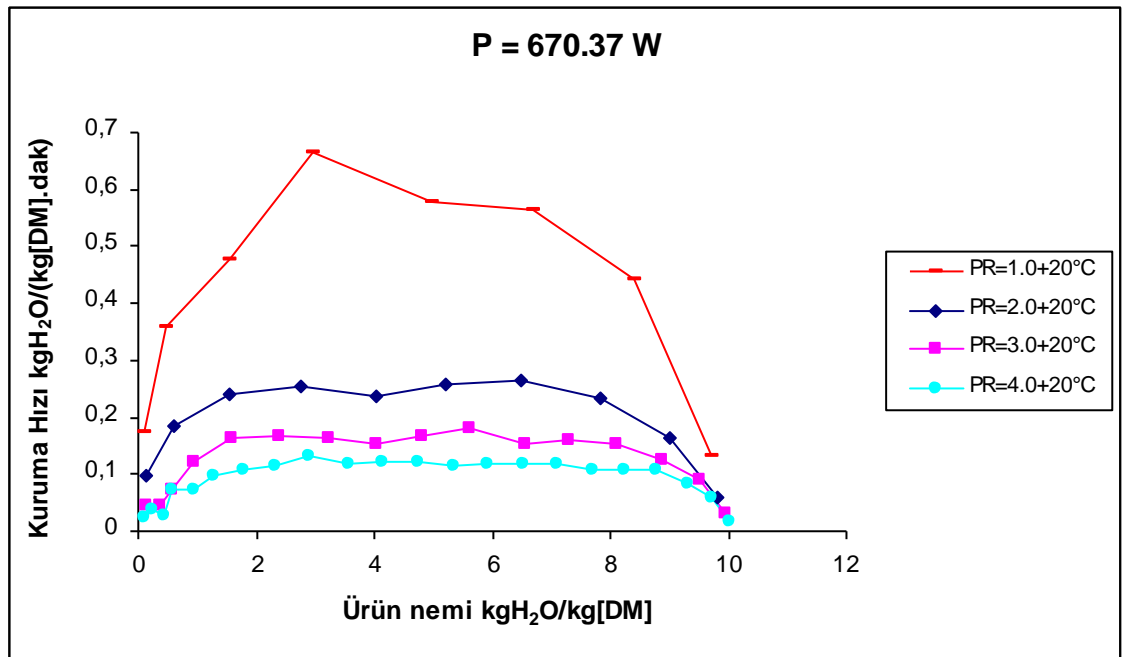


ekil 4.11. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (70°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün nemine ba lı olarak kuruma hızının de i imi (P=590.29 W)

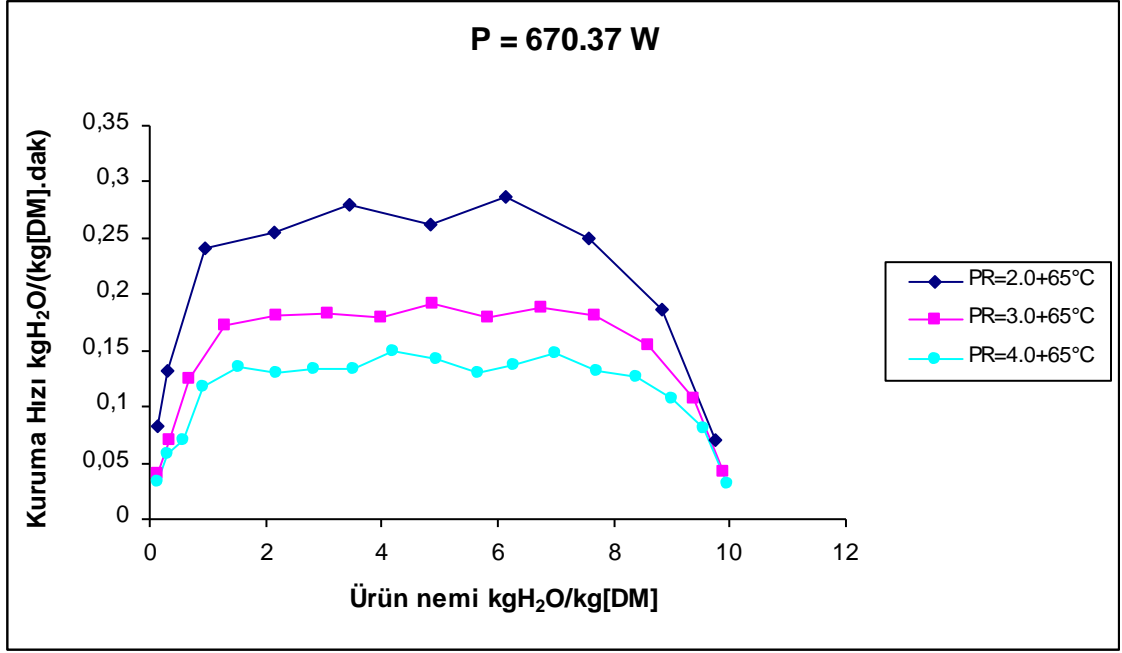




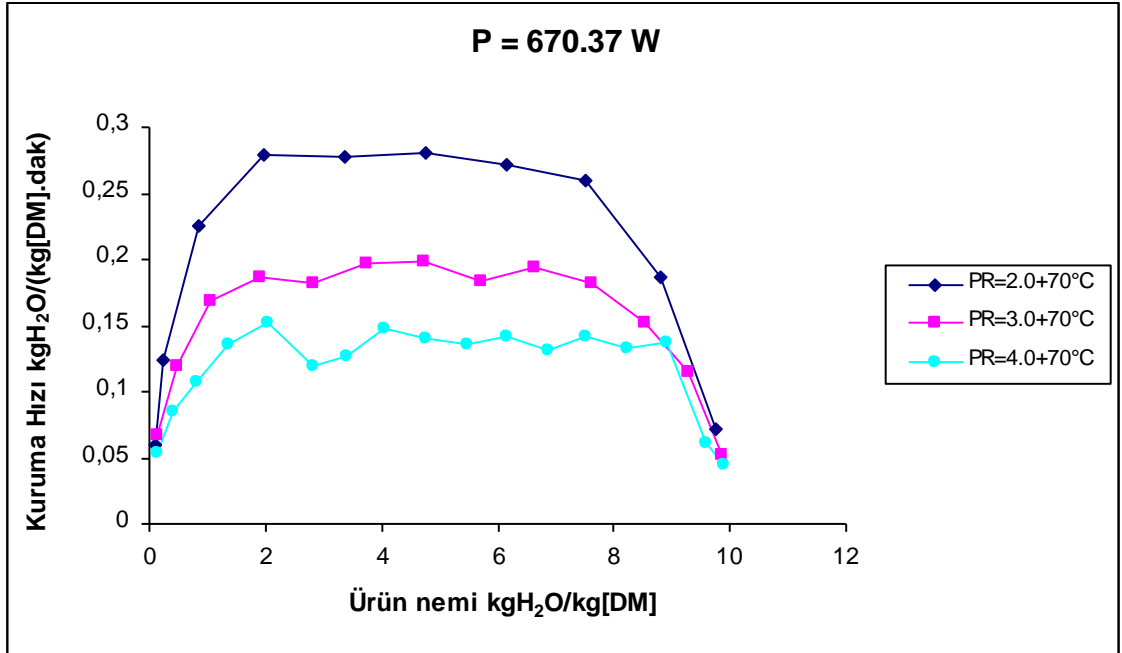
ekil 4.12. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (75°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün nemine ba lı olarak kuruma hızının de i imi (P=590.29 W)



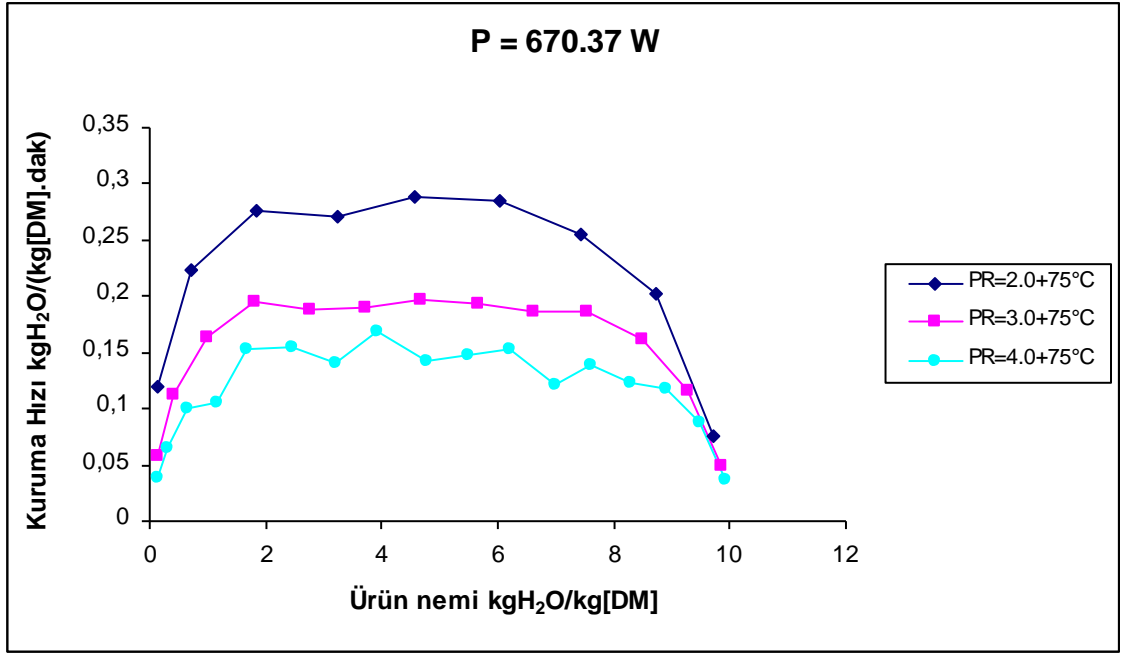
ekil 4.13. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=1.0, PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (20°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün nemine ba lı olarak kuruma hızının de i imi (P=670.37 W)



ekil 4.14. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (65°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün nemine ba lı olarak kuruma hızının de i i mi (P=670.37 W)

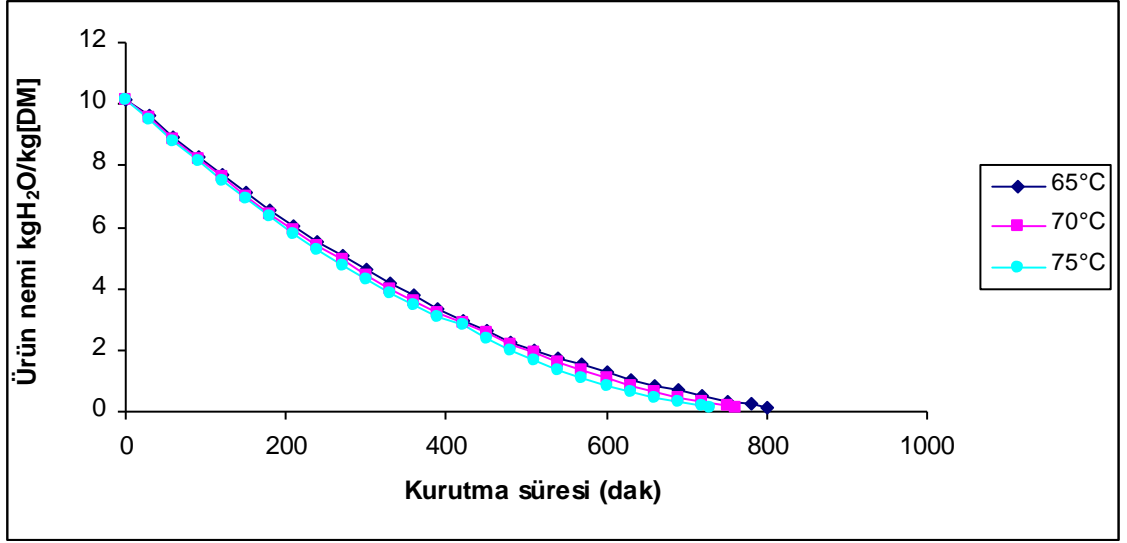


ekil 4.15. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (70°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün nemine ba lı olarak kuruma hızının de i i mi (P=670.37 W)

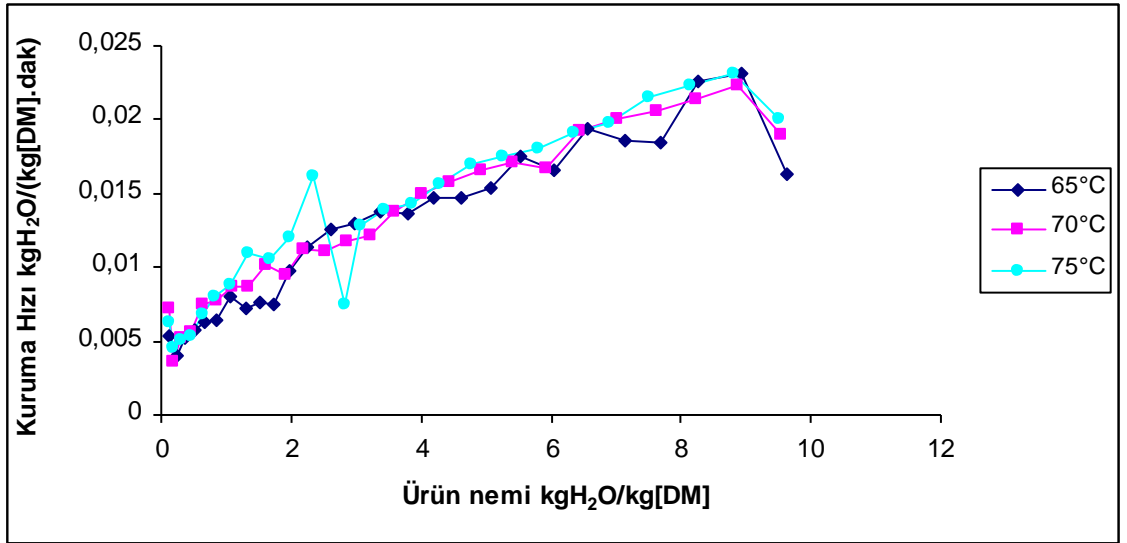


ekil 4.16. Nantes çe idi havucun kesikli mikrodalga (PR=2.0, PR=3.0, PR=4.0) + konvektif hava (75°C) kombinasyonu ile kurutulmasında ürün nemine ba lı olarak kuruma hızının de i imi (P=670.37 W)

Konvektif hava ile kurutma uygulamalarında havucun 0.13 kgH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup> [DM] ürün nemine ulaşması için gerekli süre, uygulanan mikrodalga çıkı gücüne ba lı olarak, 730–800 dakika arasında de i mektedir ( ekil 4.17.). Uygulanan kurutma havası sıcaklı ı arttıkça kuruma süresi kısalmakta kuruma hızı ise artmaktadır. Kurutma havası sıcaklı mın 65°C'den 75°C'ye yükseltilmesi ile ürün kuruma süresinde %8.75 azalma, ortalama ürün kuruma hızında ise %8.87 artı sa lanmaktadır ( ekil 4.17, ekil 4.18). Konvektif hava ile kurutmada kısa bir ısınma evresinin ardından kuruma hızı maksimum de ere ula mı izleyen süreçte kurutma i lemi azalan hızlı kuruma evresinde gerçekte mi tir ( ekil 4.18).



ekil 4.17. Nantes çe idi havucun konvektif hava ile kurutulmasında ürün neminin zamana ba lı olarak de i i mi



ekil 4.18. Nantes çe idi havucun konvektif hava ile kurutulmasında ürün nemine ba lı olarak kuruma hızınının de i i mi

Uygulanan kurutma havası sıcaklı ı, PR ve mikrodalga çıkı gücüne ba lı olarak de i mekle birlikte, havucun  $0.13 \text{ kgH}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1} [\text{DM}]$  ürün nemine ulaşması için gerekli süre sürekli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında konvektif hava ile kurutma uygulamalarına göre %96.03–%97.13 daha kısadır. Diğer taraftan, sürekli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarına ili kin ortalama kuruma hızı

de erlerinin konvektif hava ile kurutma uygulamalarından 24.94–34.19 kat daha yüksek oldu u belirlenmi tir.

Benzer ekilde, uygulanan kurutma ko ullarına ba lı olarak de i mekle birlikte, havucun  $0.13 \text{ kgH}_2\text{O.kg}^{-1} [\text{DM}]$  ürün nemine ulaşması için gerekli sürenin kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında konvektif hava ile kurutma uygulamalarına göre %80.82 ile %94.38 arasında de i en oranlarda daha kısa oldu u saptanmı tır. Kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarına ili kin ortalama kuruma hızı de erlerinin konvektif hava ile kurutma uygulamalarından 5.29–17.90 kat daha yüksek oldu u belirlenmi tir.

Prabhanjan ve ark. (1995) konvektif hava ile kurutmaya kıyasla mikrodalga ile kurutmanın ürün kurutma süresinde %25-%90 oranında azalma sa ladı nı, uygulanan mikrodalga çıkı gücü azaldıkça ürün kalitesinin arttı nı bildirmi lerdir.

#### 4.2. Özgül Enerji Tüketiminin De erlendirilmesi

Çizelge 4.1’de Nantes çe idi havucun kurutulmasında kurutma uygulamalarına ili kin özgül enerji tüketimi de erleri verilmi tir. Genel olarak kurutma i leminde uygulanan mikrodalga çıkı gücü arttıkça özgül enerji tüketimi de erlerinde belirgin bir azalma oldu u görülmektedir. Sürekli ve kesikli mikrodalga-konvektif hava ile  $20^\circ\text{C}$  sıcaklıkta, sırasıyla 1.0, 2.0, 3.0 ve 4.0 kesiklilik oranlarında yapılan kurutma uygulamalarında di er uygulamalara göre en dü ük özgül enerji tüketimi de erleri elde edilmi tir (Çizelge 4.1). Aynı kesiklilik oranı (PR) ve kurutma hava sıcaklı nda, mikrodalga çıkı gücünün  $590.29 \text{ W}$ ’tan  $670.37 \text{ W}$ ’a yükseltilmesi durumunda  $\text{PR}=1.0+20^\circ\text{C}$ , uygulamaları dı nda, di er mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında özgül enerji tüketiminde istatistiksel olarak önemli oranda azalmalar oldu u belirlenmi tir ( $p < 0.05$ ). Tulasidas ve ark., (1995), sıcak havalı konvektif kurutucu ile üzüm kurutulmasında sistemin özgül enerji tüketim de erinin  $81.15 - 90.35 \text{ MJ kg}^{-1} [\text{H}_2\text{O}]$  oldu unu, aynı ko ullarda konvektif kurutma sistemine mikrodalga entegrasyonu ile bu de erin kurutma ko ullarına ba lı olarak  $7.11$  ile  $24.32 \text{ MJ kg}^{-1} [\text{H}_2\text{O}]$  seviyelerine kadar azaltılabilece ini bildirmi lerdir.

Çizelge 4.1. Kurutma yöntemlerinin özgül enerji tüketimi bakımından karşılaştırılması (n=3)

Kurutma Uygulamaları		Kurutma Hava Sıcaklığı (°C)	Özgül Enerji Tüketimi (MJ.kg <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O)	
			590.29 W	670.37 W
Mikrodalga Kesiklilik Oranı	1.0	20	7.76±0.109abc	6.60±0.041a
	2.0	20	8.78±0.112cd	7.25±0.075ab
	3.0	20	9.85±0.239de	8.24±0.07bc
	4.0	20	10.45±0.090ef	8.82±0.056cd
	2.0	65	13.93±0.119hi	11.29±0.060fg
	2.0	70	14.26±0.094hij	11.67±0.079fg
	2.0	75	15.30±0.069jkl	11.99±0.113g
	3.0	65	16.69±0.236lmn	13.45±0.089h
	3.0	70	16.91±0.201mno	14.20±0.206hij
	3.0	75	18.18±0.065o	14.82±0.121ijk
	4.0	65	21.15±0.322p	15.67±0.222klm
	4.0	70	21.35±0.106p	16.51±0.093lmn
	4.0	75	22.09±0.071p	17.55±0.294no
Konvektif Hava	-	65	79.36±1.891r	
	-	70	90.82±1.001s	
	-	75	105.26±0.300t	

\* Tukey testi: Aynı sütunda, aynı harflerle gösterilen uygulamalar arasında fark yoktur (p>0.05).

Konvektif hava ile kurutma uygulamaları en yüksek, 670.37 W mikrodalga çıkı gücünde yapılan PR=1.0+20°C uygulaması en dü ük özgül enerji tüketimi de erlerine sahiptir. Konvektif hava ile kurutma uygulamalarında kurutma havası sıcaklı ı arttıkça özgül enerji tüketimi de erleri de önemli oranda artmaktadır (p 0.05) Genel olarak mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında kurutma havası sıcaklı ı ve PR arttıkça özgül enerji tüketiminde kademeli bir artı oldu u görülmektedir (Çizelge 4.1.). Kurutma havası sıcaklı ının 20°C'den 65°C'ye yükseltilmesi özgül enerji tüketimi de erlerinde önemli artı lara neden olmaktadır (p 0.05).

Kurutma ko ullarına ba lı olarak de i mekle birlikte, sürekli ve kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamaları konvektif hava ile kurutma uygulamalarına göre sırasıyla 10.23-15.94 ve 3.59-14.51 kat daha enerji etkin uygulamalardır.

### 4.3. Ürün Renk Özelliklerinin De erlendirilmesi

Taze ürün ve kurutulan ürünlerde ölçülen renk parametreleri Çizelge 4.2'de verilmi tir. Kurutulan bütün ürünlerde renk parlaklı ı taze ürün renk parlaklı ı de erinden önemli oranda yüksek bulunmu tur (p 0.05). Konvektif hava ile kurutulan ürünlerde ürün renk kırmızılı ı de erleri taze ürüne kıyasla önemli derecede arttı , (p 0.05), renk sarılı ında ise önemli bir azalma görülmemi tir (p>0.05).

Sürekli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında kurutulan üründe yanmalar meydana gelmi olup ( ekil 4.19a), bu durum ürün renk kırmızılı ı ( $a^*$ ) ve renk sarılı ı ( $b^*$ ) de erlerinde önemli derecede azalmalara (p 0.05) neden olmu , bu uygulama ile kırmızımsı gri renkte ürün elde edilmi tir (Çizelge 4.2.).

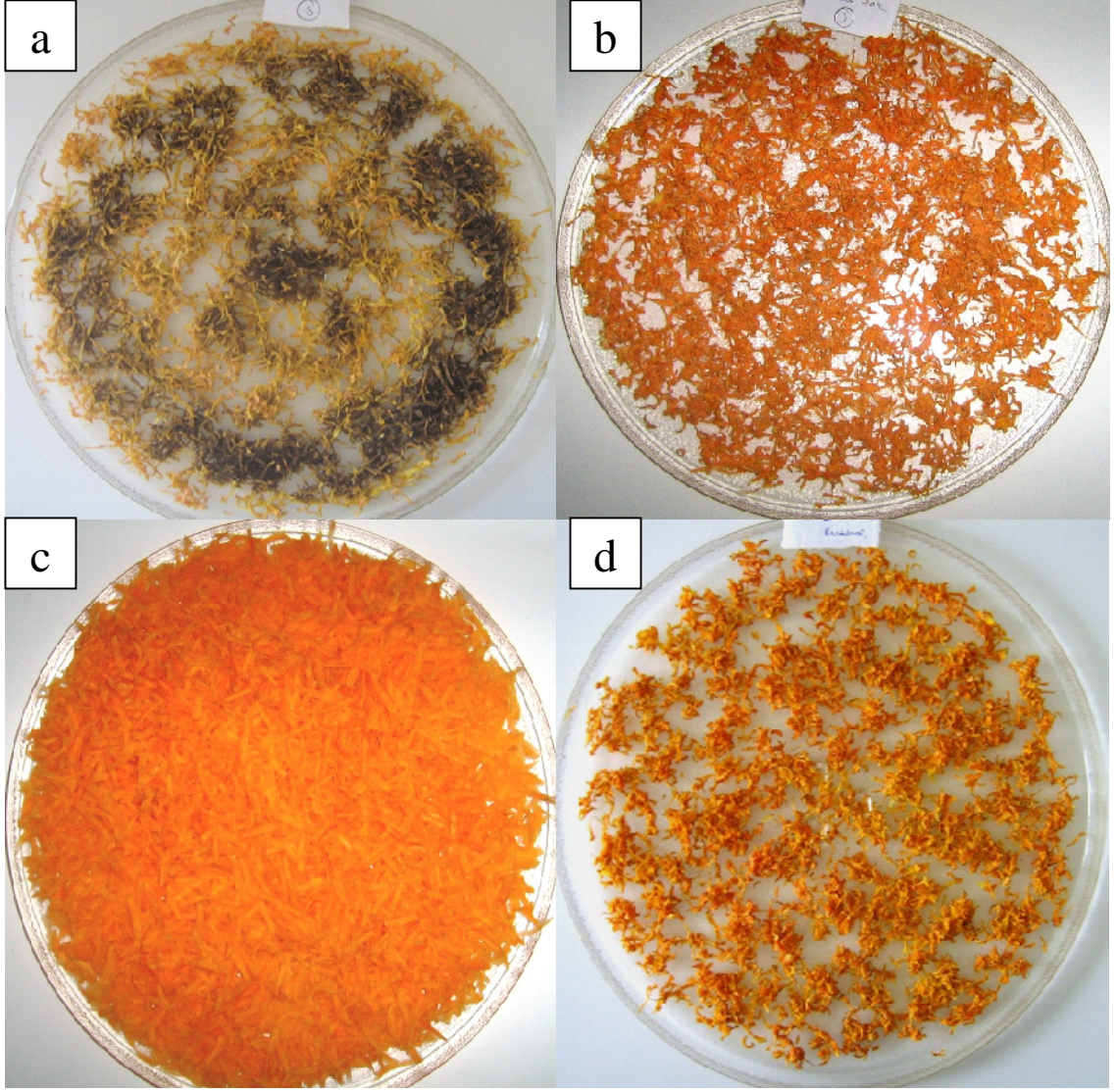
Kesikli mikrodalga-konvektif hava ile 590.29 W'ta PR=3.0+20°C ve PR=4.0+20°C ile 670.37W'ta PR=2.0+20°C, PR=2.0+65°C, PR=2.0+70°C, PR=3.0+20°C ve PR=4.0+20°C kurutma uygulamalarında ürün renk kırmızılı ı taze ürün renk kırmızılı ı ile benzer de erlerdedir (p>0.05). Di er kesikli uygulamalarda ise ürün renk kırmızılı ı de erlerinde taze ürüne kıyasla önemli derecede azalmalar meydana gelmi tir (p 0.05). Konvektif hava ile kurutma uygulamalarında ise taze ürüne kıyasla ürün renk kırmızılı ı de erlerinde önemli derecede artı lar olmu tur (p 0.05). Konvektif hava ile 70 ve 75°C'de kurutulan ürünler ile 590.29 W'ta PR=2.0+75°C,

670.37W'ta PR=2.0+65°C, PR=2.0+70°C ve PR=3.0+20°C uygulamaları dı nda genel olarak kurutulan ürünlerde renk sarılı 1 de erlerinde taze ürüne kıyasla önemli derecede azalmalar meydana gelmi tir (p 0.05) (Çizelge 4.2.). Konvektif hava ile kurutulan ürünlerin parlak koyu turuncu renkte, kesikli mikrodalga ile kurutulan ürünlerin ise azalan renk kırmızılı 1 ve artan renk parlaklı 1 ile birlikte parlak açık turuncu renkte oldukları saptanmı tir ( ekil 4.19.).

Genel olarak kurutulan havuç örnekleri renk kalitesi bakımından de erlendirildi inde, 670.37W'ta PR=3.0+20°C, PR=2.0+65°C ve PR=2.0+70°C kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutulan havuçların renk kırmızılı 1 ve renk sarılı 1 de erlerinin taze ürün ile benzer, renk parlaklıklarının ise taze üründen daha yüksek oldu u belirlenmi tir ( ekil 4.19.).

590.29W'ta kurutulan ürünlerin E\* de erlerinin, konvektif havayla ve 670.37W'ta kurulan ürünlerin E\* de erlerinden genellikle daha yüksek oldu u görülmü tür ( ekil 4.19.). 670.37W'ta PR=2.0+20°C uygulaması ile kurutulan ürünlerin renginin taze ürün rengine en yakın de ere sahip oldu u belirlenmi tir. En yüksek E\* de eri 590.29W'ta PR=4.0+65°C kurutma uygulaması ile elde edilmi olup, bu de erin taze ürün renk de erinden istatistiki olarak daha yüksek oldu u tespit edilmi tir (p 0.05).





ekil 4.19. Taze ve kurutulmuş havuçlarda ürün renginin değişimi (a, P=670.37 W, PR=1.0+20°C; b, 70°C'de konvektif hava ile kurutma; c, Taze ürün; d, P=670.37 W, PR=2.0+70°C)

umnu ve ark. (2005) 6 mm kalınlığında dilimlenmiş havucu önce  $0.47 \text{ kgH}_2\text{O.kg}^{-1}$  [DM] ürün nemine kadar  $60^\circ\text{C}$  konvektif hava ile daha sonra mikrodalga ve infrared-mikrodalga fırında  $0.12 \text{ kgH}_2\text{O.kg}^{-1}$  [DM] neme kadar kurutmuşlardır. Çalıda, artan mikrodalga çıkışı gücü ile ürün renk parlaklığının artması ve daha açık renkli ürün elde edildiği, yüksek mikrodalga çıkışı güçlerinde ürün renginin daha çok korunduğu, sıcak hava ile kurutulmuş ürünlerin mikrodalga ve infrared mikrodalga fırında kurutulmuş ürünlere kıyasla daha koyu renkte olduğu, bu duruma yüksek sıcaklıkta uzun süre kurutmanın neden olduğu bildirilmiştir. Benzer şekilde Howard ve ark. (1996)

yüksek kurutma sıcaklıklarının havucun renk parlaklığını azalttığını ve daha koyu renkli ürün elde edildiğini rapor etmişlerdir.

Vadivambal ve Jayas (2007) meyve ve sebzelerin kurutulmaları sırasında meydana gelen renk değişimlerinin kahverengileme reaksiyonları ile ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, kahverengileme reaksiyonlarının hem enzimatik hem de enzimatik olmayan esmerleme reaksiyonlarından dolayı olduğunu belirtilmiştir. Çalışmada, renk kırmızılındaki artışın esmerleme reaksiyonlarının bir göstergesi olduğunu ve daha kırmızı ürün anlamına geldiği belirtilerek, mikrodalga ile kurutmanın ürün renk kırmızılında küçük artışlara sebep olduğu, bu artışların konvektif hava ile kurutma işlemine kıyasla daha az esmerleme reaksiyonlarına uğraması kuru ürün anlamına geldiği rapor edilmiştir.

Çizelge 4.2. Taze ve kurutulmuş nantes çeşidi havuç örneklerinde ölçülen renk parametreleri (n=12)\*\*

Kurutma Uygulamaları	Kesiklilik Oranı	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Renk Parametreleri			
			L*	a*	b*	E*
Mikrodalga 590.29 W	1.0	20	54.14 b	9.45 a	23.89 a	12,27 bcdef
	2.0	20	62.09 cdefg	10.80 abcdef	27.53 cde	13,48 defg
	3.0	20	64.01 fghij	13.12 jklmn	28.16 cdef	14,46 defg
	4.0	20	63.17 efgh	13.92 mn	26.29 bc	14,53 fgh
	2.0	65	62.61 defg	11.84 cdefghijk	29.91 fghijk	12,70 cdef
	2.0	70	62.09 cdefg	12.51 ghijklm	31.08 hijklmn	11,82 abcd
	2.0	75	66.58 jk	10.87 abcdef	32.28 lmno	16,37 hij
	3.0	65	63.84 fghi	11.19 bcdefgh	31.56 jklmn	13,51 defg
	3.0	70	67.12 k	10.39 abcd	28.25 cdef	17,65 ij
	3.0	75	64.73 ghijk	12.03 efghijk	29.13 efghi	14,72 fgh
	4.0	65	67.04 k	10.28 abc	26.66 bcd	18,10 j

Çizelge 4.2. (Devam) Taze ve kurutulmuş nanes çeşidi havuç örneklerinde ölçülen renk parametreleri (n=12)\*\*

Kurutma Uygulamaları	Kesiklilik Oranı	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Renk Parametreleri			
			L*	a*	b*	E*
<b>Mikrodalga 590.29 W</b>	4.0	70	66.17 ijk	11.56 cdefghij	28.86 defgh	16,30 hij
	4.0	75	66.90 k	10.58 abcde	28.19 cdef	17,40 ij
<b>Mikrodalga 670.37 W</b>	1.0	20	52.57 ab	9.7 8ab	24.49 ab	11,23 abcd
	2.0	20	59.43 c	12.76 hijklmn	29.99 fghijkl	9,47 a
	3.0	20	62.36 defg	13.80 lmn	33.17 mno	11,33 abcd
	4.0	20	62.40 defg	13.35 klmn	28.78 defgh	12,58 cdef
	2.0	65	61.32 cdef	13.69 lmn	32.27 lmno	10,63 abc
	2.0	70	60.40 cd	12.79 ijklmn	33.30 no	9,98 ab
	2.0	75	61.90 cdef	11.52 cdefghi	31.42 ijklmn	11,64 abcd
	3.0	65	62.52 defg	12.08 efghijk	29.54 efghij	12,52 cdef
	3.0	70	63.04 defgh	12.25 fghijkl	28.57 cdefg	13,46 defg
	3.0	75	62.80 defgh	11.94 defghijk	30.36 fghijkl	12,59 cdef
	4.0	65	65.42 hijk	11.11 bcdefg	29.16 efghi	15,52 ghi
	4.0	70	65.47 hijk	12.29 fghijkl	28.82 defgh	15,50 ghi
	4.0	75	64.65 ghijk	12.59 ghijklm	29.31 efghij	14,54 fgh
	<b>Konvektif Hava</b>	-	65	60.73 cde	17.37 o	30.87 ghijklm
-		70	62.32 defg	17.98 o	32.10 klmno	12,04 bcde
-		75	62.95 defgh	16.57 o	32.29 lmno	12,32 bcdef
<b>Taze</b>	-	-	51.10 a	14.25 n	34.18 o	-

\*\* Tukey testi: Aynı sütunda aynı harflerle gösterilen uygulamalar arasında fark yoktur (p>0.05).

Krokida ve ark. (1998) vakum ve konvektif havayla 50, 70 ve 90°C hava sıcaklıklarında ve %15, %30 ve %40 oransal nemde havuç, elma, muz ve patates kurutulmasında ürün renk kalitesinde meydana gelen değişimlerini inceledikleri çalışmalarında kurutma hava sıcaklığı ve neminin ürün renk kırmızılığı ve renk sarılığı önemli oranda etkilediğini, renk parlaklığının değişimini bildirmişlerdir. Araştırmada havuç kurutulmasında düşük oransal nemde artan hava sıcaklığına bağlı olarak ürün renk sarılığının ve renk kırmızılığının arttığı belirlenmiştir. Ancak yüksek sıcaklıkta (90°C ve %15 oransal nemde) kurutulan havuçlarda ürün renk kırmızılığının azaldığı belirtilmiştir.

Changrue (2006) sürekli ve kesikli vakum-mikrodalga ile kurutulan havuçların taze ürüne kıyasla daha kırmızı renkte olduğunu, ozmotik ön işlem uygulanarak (%50 oranında kurutulmuş) kurutulan ürünlerde en yüksek a/b oranlarının elde edildiğini saptamıştır.

Baysal ve ark. (2003), mikrodalga, infrared ve konvektif hava ile havuç kurutulmasında taze ürüne kıyasla ürün renk parlaklığının kurutulan ürünlerde bir miktar azaldığını ancak bu azalmanın istatistiksel olarak önemli olmadığını, renk kırmızılığı ve renk sarılığının ise önemli oranda azaldığını bildirmişlerdir. Ayrıca çalışmada, havuç kurutmada uygulanan bütün kurutma yöntemlerinde ürün renk kalitesinin azaldığı ancak, konvektif hava ile kurutulan (70°C) ürünlerin renk kalitesinin mikrodalga ve infrared kurutmaya kıyasla daha iyi olduğu rapor edilmiştir.

Koca ve ark. (2007) konvektif hava ile kurutulan havuçlarda ürün renk sarılığı ve renk kırmızılığının önemli oranda azaldığını ürün beta karoten içeriği ile renk sarılığı ve renk kırmızılığı arasında güçlü bir korelasyon olduğunu saptamışlardır.

Prabhanjan ve ark. (1995) ince tabaka halinde havucun konvektif hava ve mikrodalga ile yarı güç seviyesinde kurutulmasında maksimum güçte mikrodalga ile kurutmaya kıyasla daha iyi renkte ürün elde edildiğini bildirmişlerdir.

#### **4.4. Ürün Tekstür Özelliklerinin Değerlendirilmesi**

Tekstür profil analiz sonuçlarına göre genel olarak en yüksek sertlik değerleri mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 4.3.). Kurutma uygulamaları arasında en düşük sertlik değerine sahip uygulama 670.37 W

mikrodalga çıkı gücünde yapılan PR=4.0+20°C uygulaması, en yüksek sertlik de erine sahip uygulama ise 670.37 W'ta PR=2.0+20°C uygulamasıdır (Çizelge 4.3.).

Mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında PR=2.0+20°C, PR=2.0+65°C, PR=3.0+20°C, PR=3.0+70°C, PR=3.0+75°C, PR=4.0+20°C ve PR=4.0+70°C dı mda aynı PR ve kurutma havası sıcaklı mda mikrodalga çıkı gücünün 590.29 W'tan 670.37 W'a yükseltilmesi havuçların sertlik de erlerinde istatistiksel olarak önemli bir fark olu turmamı tır ( $p>0.05$ ) (Çizelge 4.3.). Di er taraftan 590.29 W'ta PR=2.0+70°C ile 670.37 W'ta PR=2.0+65°C, PR=2.0+70°C, PR=3.0+70°C, PR=3.0+75°C, PR=4.0+20°C ve PR=4.0+70°C uygulamaları ile konvektif hava ile kurutma uygulamaları arasında sertlik bakımından önemli bir fark olmadı ı belirlenmi tir ( $p>0.05$ ).

Çizelge 4.3. Kurutulan ürünlerde ölçülen tekstür parametreleri (n=15)\*

Kurutma Uygulaması	Kesiklilik Oranı	Kurutma Sıcaklı ı (°C)	Sertlik (Hardness)	Gevreklik (Crispiness)	Esneklik (Springiness)	Sakızmsılık (Gumminess)	Çi nenebilirlik (Chewiness)
Mikrodalga 590.29W	1.0	20	52,09 efghij	0,34 abcd	0,44 abcd	18,55 cdefghij	8,76 abcdefgh
	2.0	20	46,79 cdefghi	0,40 defgh	0,53 defghij	18,90 defghij	10,36 defgh
	3.0	20	49,43 defghi	0,38 cdefg	0,49 bcdefghi	19,05 defghij	9,40 bcdefgh
	4.0	20	53,59 fghij	0,41 efghij	0,47 bcdefg	22,29 ghijkl	10,78 efgh
	2.0	65	57,54 fghijk	0,36 bcdef	0,45 abcde	21,15 fghijk	9,85 cdefgh
	2.0	70	36,48 abcdef	0,50 lmn	0,6 ijklm	18,40 bcdefghij	11,15 fghi
	2.0	75	52,05 efghij	0,44 ghijkl	0,56 fghijkl	23,02 hijkl	12,95 ghij
	3.0	65	59,27 ghijk	0,33 abc	0,40 ab	19,75 efghij	7,95 abcdefg
	3.0	70	63,46 hijk	0,48 jklmn	0,57 ghijkl	30,59 kl	17,41 j

Çizelge 4.3. (Devam) Kurutulan ürünlerde ölçülen tekstür parametreleri (n=15)\*

Kurutma Uygulaması	Kesiklilik Oramı	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Sertlik (Hardness)	Gevreklik (Crispiness)	Esnelik (Springiness)	Sakızmsılık (Gumminess)	Çi nenebilirlik (Chewiness)
Mikrodalga 590.29W	3.0	75	55,95 fghijk	0,36 bcdef	0,46 abcdef	20,49 efghij	9,66 cdefgh
	4.0	65	63,66 hijk	0,33 abc	0,40 ab	20,99 efghijk	8,81 abcdefgh
	4.0	70	47,34 cdefghi	0,30 ab	0,36 a	14,60 abcdefghi	5,38 abcde
	4.0	75	53,68 fghij	0,40 defgh	0,48 bcdefgh	20,91 fghij	10,09 cdefgh
Mikrodalga 670.37W	1.0	20	46,38 cdefghi	0,28 a	0,36 a	12,95 abcdefg	4,59 abc
	2.0	20	76,26 k	0,41 efghi	0,52 cdefghij	31,39 l	16,54 ij
	3.0	20	72,21 jk	0,36 bcde	0,41 ab	26,37 jkl	10,80 efgh
	4.0	20	15,24 a	0,51 mn	0,64 klm	7,61 a	4,84 abcd
	2.0	65	24,06 ab	0,47 ijklm	0,59 ijkl	11,25 abcde	6,70 abcdef
	2.0	70	30,42 abcde	0,32 ab	0,43 abc	9,50 abcd	3,97 ab
	2.0	75	61,79 hijk	0,43 ghijk	0,53 defghij	26,53 jkl	14,22 hij
	3.0	65	39,38 bcdefg	0,35 bcde	0,46 abcde	14,21 abcdefgh	6,87 abcdef
	3.0	70	28,58 abcd	0,45 hijklm	0,58 hijkl	12,81 abcdefg	7,36 abcdef
	3.0	75	27,30 abc	0,50 lmn	0,60 jklm	13,80 abcdefgh	8,42 abcdefg
	4.0	65	67,30 ijk	0,36 bcde	0,42 abc	24,03 ijkl	10,33 defgh
	4.0	70	15,83 a	0,42 fghijk	0,55 efghijk	6,60 a	3,56 a
	4.0	75	42,09 bcdefgh	0,33 abc	0,41 ab	13,97 abcdefgh	5,99 abcdefgh
	Konvektif Hava	-	65	16,48 a	0,54 n	0,70 m	8,81 ab
-		70	17,46 a	0,52 mn	0,66 lm	9,02 abc	5,90 abcdef
-		75	25,70 abc	0,49 klmn	0,56 ghijkl	12,58 abcdef	7,19 abcdef

\* Tukey testi: Aynı sütunda aynı harflerle gösterilen uygulamalar arasında fark yoktur (p>0.05).

Genel olarak, mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında konvektif hava ile kurutma uygulamalarına göre daha gevrek ürünler elde edilmiştir (Çizelge 4.3.). Mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında PR=2.0+65°C, PR=2.0+70°C, PR=3.0+75°C, PR=4.0+20°C, PR=4.0+70°C ve PR=4.0+75°C dı ında aynı PR ve kurutma havası sıcaklı ında mikrodalga çıkı gücünün 590.29 W'tan 670.37 W'a yükseltilmesi havuçların gevreklik de erlerinde istatistiksel olarak önemli bir fark olu turmamı tır ( $p>0.05$ ) (Çizelge 4.3.).

Elastiklik (springiness), tekstür profil analizi (TPA) sırasında birinci sıkı tırma sonrası ürünün eski halini alma oranı olarak ifade edilmektedir (Gunasekaran ve Ak, 2003). Sürekli ve kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında, PR=2.0+65°C, PR=2.0+70°C, PR=3.0+20°C, PR=3.0+75°C, PR=4.0+20°C ve PR=4.0+70°C dı ında aynı PR ve kurutma havası sıcaklı ında mikrodalga çıkı gücünün 590.29 W'tan 670.37 W'a yükseltilmesi havuçların elastiklik de erlerinde istatistiksel olarak önemli bir fark olu turmamı tır ( $p>0.05$ ) (Çizelge 4.3.). Kurutma uygulamaları arasında 65 ve 70°C'de konvektif hava ile kurutulan ürünler en yüksek elastiklik de erlerine sahip ürünlerdir.

Elde edilen sonuçlara göre en yüksek sakızimsılık (gumminess) de erine sahip uygulamalar 670.37 W'ta PR=2.0+20°C ve 590.29 W'ta PR=3.0+70°C uygulamalarıdır. Genel olarak 670.37 W'ta kurutulan ürünlerin sakızimsılık de erleri 590.29 W'ta kurutulan ürünlerden daha dü ük oldu u görülmü tür. En dü ük sakızimsılık de erleri ise 670.37 W'ta PR=4.0+70°C, PR=4.0+20°C ve konvektif havayla kurutulan uygulamalarda görülmektedir (Çizelge 4.3.).

Ürün tekstür özelliklerinden çi nenebilirlik (chewiness) katı bir gıdanın yutulmaya hazır hale getirilmesi için gerekli çi neme kuvveti olarak tanımlanmaktadır (Raphaelides ve ark., 1995). Kurutma uygulamaları arasında en dü ük çi nenebilirlik de erine sahip uygulama 670.37 W mikrodalga çıkı gücünde yapılan PR=4.0+70°C uygulaması, en yüksek çi nenebilirlik de erine sahip uygulama ise 670.37 W'ta PR=3.0+70°C uygulamasıdır (Çizelge 4.3). 590.29 W'ta PR=2.0+75°C, 670.37 W'ta PR=2.0+20°C, PR=2.0+75°C ve PR=3.0+70°C dı ında çi nenebilirlik de erleri bakımından kurutma uygulamaları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark yoktur ( $p>0.05$ ).

Lin ve ark. (1998) dilimlenmi havuç kurutmada vakum-mikrodalga, konvektif hava ve dondurarak kurutma yöntemlerini rehidrasyon potansiyeli, ürün rengi yo unluk, besin de eri ve tekstürel özellikler bakımından kar ıla tırmı lardır. Ara tırmada, konvektif hava ile kurutmaya kıyasla mikrodalga-vakum ile kurutulan havuçların rehidrasyon potansiyeli, beta karoten ve C vitamini içeri inin daha yüksek, hacim yo unlu unun dk ve tekstürünün daha yumu ak oldu u bildirilmi tir. Ayrıca alı mada, mikrodalga-vakum kurutma yöntemiyle dondurarak kurutma yöntemine e de er kalitede kuru havuç retilbilece i rapor edilmi tir.

Krokida ve Maroulis (1999) konvektif hava ile kurutulan havuç, elma, muz ve patatesin mikrodalga ve vakum mikrodalga ile kurutulan ürünlere göre daha sert yapıda ve daha az elastik oldu unu, vakum-mikrodalga ile kurutulan ürünlerin ise en yüksek elastiklik de erine sahip oldu unu bildirmi lerdir.

Changrue (2006) ozmotik n i lem uygulanarak (%50 oranında kurutulmu ) vakum-mikrodalga ile kurutulan havuçların n i lemsiz kurutulan ürünlere kıyasla daha sert yapıda oldu unu bildirmi tir.

Stepien (2008) vakum-mikrodalga ile ha lanmı , ozmotik olarak kurutulmu ve n i lem görmemi havucun kurutulmasında ha lanmı ürünlerin n i lemsiz kurutulanlara göre 2 kat daha elastik yapıda oldu u, bu ürünün tüketilmesi için daha çok i nenmesi gerekti ini belirtmi tir. Ayrıca alı mada, ozmotik n kurutmadan sonra kurutulan ürünlerin n i lemsiz kurutulan ürünlere göre daha sert ancak daha az elastik ve kırılgan yapıda oldu u rapor edilmi tir.

#### **4.5. rn Duyusal zelliklerinin De erlendirilmesi**

ncelenen duyusal nitelikler bakımından sürekli mikrodalga-konvektif hava (PR=1.0+20°C) ile kurutma uygulamaları panelistlerce be enilmezken, konvektif hava ile kurutma uygulamaları genel görünü , renk, renk be eni ve genel be eni gibi özellikler bakımından en yüksek puanları almı lardır (izelge 4.4.). Genel olarak tekstür ve tekstür be eni özellikleri bakımında kurutulan ürünler arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık bulunmamaktadır ( $p>0.05$ ). Sürekli ve kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında aynı PR ve kurutma havası sıcaklı ında mikrodalga çıkı gücünün 590.29 W'tan 670.37 W'a yükseltilmesi havuçların duyusal



niteliklerinde istatistiksel olarak önemli bir fark olu turmadı ı belirlenmi tir ( $p>0.05$ ) (Çizelge 4.4.).

Genel görünü kalitesi bakımından 590.29 W'ta sadece 4 uygulama be enilirken (PR=2.0+75°C, PR=3.0+20°C, PR=4.0+20°C, PR=4.0+70°C ve PR=4.0+75°C), 670.37 W'ta PR=1.0+20°C, PR=2.0+20°C ve PR=2.0+70°C dı ında di er bütün uygulamalar panelistlerce be enilmi tir ( $>5.0$  puan). Ayrıca, 590.29 W'ta PR=3.0+20°C ve PR=4.0+20°C ile 670.37 W'ta PR=4.0+20°C uygulamaları ile konvektif hava ile kurutma uygulamaları arasında genel görünü kalitesi bakımından istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadı ı saptanmı tir ( $p>0.05$ ) (Çizelge 4.4.).

Konvektif hava ile 75°C'de kurutma uygulamasında tüm uygulamalar içinde en parlak turuncu renkli havuç kurusu elde edilirken, sürekli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında en mat turuncumsu gri renkli havuç kuruları elde edilmi tir (Çizelge 4.4.). Kesikli mikrodalga-konvektif hava ile 590.29 W'ta PR=3.0+20°C, PR=4.0+20°C, PR=4.0+70°C ve PR=4.0+75°C, 670.37 W'ta PR=2.0+65°C, PR=3.0+20°C, PR=4.0+20°C uygulamalarında kabul edilebilir seviyede turuncu renkte kuru havuç elde edilirken, di er kesikli uygulamalarda elde edilen ürün renginin kabul edilebilir seviyenin altında ( $<5.0$ ) oldu u belirlenmi tir. Ayrıca, 590.29 W'ta PR=3.0+20°C ve PR=4.0+20°C ile 670.37 W'ta PR=2.0+65°C, PR=3.0+20°C ve PR=4.0+20°C uygulamalarına ili kin duyuşsal renk kalitesi ile konvektif hava ile 65°C'de kurutulan havuçların renk kalitesi arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadı ı saptanmı tir ( $p>0.05$ ).

Ürün renk be enisi bakımından 590.29 W'ta PR=3.0+20°C, PR=3.0+70°C, PR=4.0+20°C, PR=4.0+70°C ve PR=4.0+75°C ile 670.37 W'ta PR=2.0+65°C, PR=3.0+20°C, PR=3.0+65°C, PR=3.0+70°C, PR=4.0+20°C ve PR=4.0+70°C, uygulamalarında elde edilen ürünlerin renkleri panelistlerce be enilirken di er mikrodalga-konvektif hava ile kurutulan havuçların renkleri be enilmemi tir (Çizelge 4.4.). Ayrıca, 590.29 W'ta PR=3.0+20°C, PR=4.0+20°C ve PR=4.0+75°C ile 670.37 W'ta PR=2.0+65°C, PR=3.0+20°C ve PR=4.0+20°C uygulamalarına ili kin renk be eni de erleri ile konvektif hava ile 65°C'de kurutulan havuçların renk be enisi de erleri arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadı ı saptanmı tir ( $p>0.05$ ).

Çizelge 4.4. Farklı kurutma yöntemlerinin nantes çe idi havuçta duyuusal niteliklere etkisi (n=10)\*

Kurutma Uygulamaları	Kesiklilik Oram	Kurutma Sıcaklı ı (°C)	Genel Görünü	Renk (Mathk- Parlaklık)	Renk Be eni	Tekstür (Gevreklik Derecesi)	Tekstür Be eni	Genel Be eni
Mikrodalga 590.29 W	1.0	20	1,9ab	1,5a	1,3a	4,8ab	4,1a	1,7a
	2.0	20	4,4cde	3,9abcd	3,8bcd	5,5ab	5,2abc	4,5bcde
	3.0	20	6,7fghij	5,8defg	6,4efgh	6,7ab	6,5abc	6,8efgh
	4.0	20	7ghij	7efgh	7,2fghi	4,7ab	5,2abc	6,6defgh
	2.0	65	4,8cdef	4,3bcd	4,3bcde	6,7ab	6,4abc	4,8bcdef
	2.0	70	4cde	3,9abcd	4bcd	5,1ab	5,5abc	4,3bcd
	2.0	75	5,5defgh	3,9abcd	4,7cde	5,4ab	5,3abc	4,9bcdef
	3.0	65	3,6bcd	3,1abc	2,9abc	6,3ab	5,5abc	3,7abc
	3.0	70	4,7cdef	4,9bcde	5,1cdef	4,8ab	5,1abc	4,8bcdef
	3.0	75	4,9def	4,6bcde	4,5bcde	5,2ab	5,5abc	4,8bcde f
	4.0	65	4,6cde	3,5abcd	4,5bcde	6ab	6,1abc	4,9bcdef
	4.0	70	5,9efghi	5bcde	5cdef	4,8ab	5,2abc	5,3bcdef
	4.0	75	6efghi	5,1bcde	5,8defg	5,3ab	5,9abc	5,8cdefgh

Çizelge 4.4. (Devam) Farklı kurutma yöntemlerinin nantes çe idi havuçta duyuşal niteliklere etkisi (n=10)\*

Kurutma Uygulamaları	Kesiklilik Oramı	Kurutma Sıcaklı 1 (°C)	Genel Görünü	Renk (Matlık-Parlaklık)	Renk Be eni	Tekstür (Gevreklik Derecesi)	Tekstür Be eni	Genel Be eni
Mikrodalga 670.37 W	1.0	20	1,2a	1,7a	1,2a	7b	4,4ab	1,7a
	2.0	20	4,8cdef	4,2bcd	4,4bcde	5,6ab	5,4abc	5,4cdefg
	3.0	20	5,5defgh	5,4cdef	5,7defg	6,2ab	6,2abc	5,8cdefgh
	4.0	20	7,5hij	6,8efgh	7,5ghi	5,4ab	5abc	6,5defgh
	2.0	65	5,7efghi	5,5cdef	5,8defg	6,7ab	7c	6,3defgh
	2.0	70	2,8abc	2,7ab	2,3ab	6,9b	6,5abc	3ab
	2.0	75	5,5defgh	4,6bcde	4,9cde	5,3ab	5,3abc	5bcdef
	3.0	65	5,4defg	4,9bcde	5,1cdef	6,9b	7,1c	5,7cdefgh
	3.0	70	5defg	4,9bcde	5,1cdef	4,2a	4,7abc	4,9bcdef
	3.0	75	5,1defg	4,2bcd	4,6cde	5,5ab	5,2abc	5bcdef
	4.0	65	5,7efghi	4,6bcde	4,4bcde	6,9b	7c	6,1defgh
	4.0	70	5,4defg	4,8bcde	5cdef	6,7ab	6,7bc	6,2defgh
	4.0	75	5,4defg	4,8bcde	4,8cde	6,7ab	6abc	5,7cdefgh
Konvektif Hava	-	65	7,6ij	7,7fgh	7,7ghi	5,1ab	6abc	7,1fgh
	-	70	8,5j	8,2gh	8,6hi	5,6ab	5,6abc	7,8h
	-	75	8,5j	8,3h	8,7i	4,7ab	5,9abc	7,7gh

\* Tukey testi: Aynı sütunda, aynı harflerle gösterilen uygulamalar arasında fark yoktur (p>0.05).

Gevreklik derecesi bakımından, 590.29 W'ta PR=1.0+20°C, PR=3.0+70°C, PR=4.0+20°C ve PR=4.0+70°C, 670.37 W'ta PR=3.0+70°C ile konvektif hava ile 75°C'de kurutulan havuçlar diğer kurutulan ürünlere göre daha az gevrek olarak değerlendirilmiştir. Bu sonuçların, istatistiksel olarak kurutulan ürünlerin gevrekliği arasında önemli bir farklılık olmadığı belirlenmiştir ( $p>0.05$ ) (Çizelge 4.4.).

Tekstür be enisi bakımından en yüksek puanı 670.37 W'ta PR=3.0+65°C uygulaması alırken, sürekli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamaları en düşük tekstür be eni puanı almışlar ve panelistlerce be enilmemi lerdir (Çizelge 4.4.). 670.37 W'ta PR=3.0+70°C'de kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamaları ile konvektif hava ile kurutma uygulamalarında elde edilen havuçların gevrekliği panelistlerce be enilmi olup bu uygulamalar arasında tekstür be enisi bakımından istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadığı saptanmıştır ( $p>0.05$ ) (Çizelge 4.4.).

Genel be eni sonuçlarına göre sürekli mikrodalga-konvektif hava ile kurutulan örnekler panelistlerce be enilmemi (<5 puan), konvektif hava ile kurutulan ürünler en yüksek genel be eni puanı alan ürünler olmuştur (Çizelge 4.4.). Kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutulan ürünlerden 590.29 W'ta PR=3.0+20°C, PR=4.0+20°C, PR=4.0+70°C ve PR=4.0+75°C ile 670.37 W'ta PR=2.0+20°C, PR=2.0+65°C, PR=2.0+75°C, PR=3.0+20°C, PR=3.0+65°C, PR=3.0+75°C, PR=4.0+20°C, PR=4.0+65°C, PR=4.0+70°C ve PR=4.0+75°C uygulamalarında elde edilen ürünler panelistlerce be enilmi tir (>5.0 Puan). Genel olarak, konvektif hava ile kurutulan havuçların panelistlerce en çok be enilen ürünler olduğu, sürekli mikrodalga-konvektif hava ile kurutulan ürünlerin panelistlerce be enilmediği, kesikli mikrodalga-konvektif hava ile 590.29 W'ta PR=3.0+20°C, PR=4.0+20°C, PR=4.0+70°C ve PR=4.0+75°C ile 670.37 W'ta PR=2.0+65°C, PR=3.0+20°C, PR=3.0+65°C ve PR=4.0+20°C kurutma uygulamaları ile incelenen duyuşal nitelikler bakımından iyi kalitede kuru havuç üretilebileceği saptanmıştır.

Lin ve ark. (1998) dilimlenmiş havuç kurutmada vakum-mikrodalga, konvektif hava ve dondurarak kurutma yöntemlerini duyuşal özellikler bakımından karşılaştırmışlardır. Araştırmada, vakum-mikrodalga ile kurutulan havuçların tekstür, renk, aroma ve ürün kabul edilebilirliği bakımından dondurarak kurutulan ürünler kadar yüksek puanlar aldıkları, konvektif hava ile kurutulan ürünlerin ise duyuşal nitelikler

bakımından en düşük panelist puanları aldıklarını bildirmişlerdir. Ayrıca çalışmada, mikrodalga-vakum kurutma yöntemiyle dondurarak kurutma yöntemine e de er kalitede kuru havuç üretilebilece i rapor edilmiştir.

Havuç kurutulmasında incelenen duysal nitelikler neticesinde kurutma tekni i ve ürün kalitesi bakımından düşük kurutma sıcaklı ı ile nispeten uzun bekleme süresine sahip yüksek kesiklilik oranlarının kullanılmasıyla ürün bünyesindeki su, ürün kalitesini bozmadan daha tekdüze ve kararlı bir e kilde uzakla tırlabilmektedir.

#### **4.6. -Karoten eri inin De erlendirilmesi**

Farklı kurutma uygulamalarıyla elde edilen havuç örneklerinin beta karoten de erleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, 670.37 W mikrodalga çıkı gücünde kurutulan örneklerin beta karoten de erleri, genel olarak 590.29 W mikrodalga gücünde kurutulan örneklere oranla daha yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.5). Konvektif hava uygulamalarıyla kurutulan örneklerin ise di er tüm kurutma parametrelerine oranla daha yüksek oldu u gözlemlenmiştir olup, 70°C konvektif havayla kurutulan örneklerin en yüksek beta karoten de erine sahip oldu u ve en az beta karoten kaybının yaşadığı uygulama oldu u görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre konvektif havayla kurutulan ürünlerde %20 civarında beta karoten kaybı meydana gelmiştir. Di er uygulama yöntemleriyle kurutulan ürünlerin beta karoten kaybı ise %30-70 arasında de i ti i görülmüştür. Bu kaybın havuçların dilimlenerek kurutulmasıyla azaltılabilece i öngörülmüştür. Rendeleme i lemi neticesinde lipoksigenaz aktivitesinin artıp karotenoidlerin degradasyonuna neden oldu u (Cui ve ark., 2004b) ve önemli karoten kayıplarına yol açtığı dü ünülmektedir. Ayrıca vakum i leminin uygulanmasıyla fırın içindeki oksijenin engellenip enzim aktivitesinin dü ürülece i ve sonuçta karoten kaybının azaltılabilece i öngörülmektedir.

Çizelge 4.5. Taze ve kurutulmuş nantes çeşidi havuç örneklerinde elde edilen beta karoten değerleri (n=3)\*

Kurutma Uygulamaları		Kurutma Hava Sıcaklığı (°C)	Beta Karoten içeriği (mg/g kuru baz)	
			590.29 W	670.37 W
Mikrodalga Kesiklik Oranı	1.0	20	0,6087a	1,5028jk
	2.0	20	0,8921bcd	0,9683de
	3.0	20	1,1965i	0,9979efg
	4.0	20	1,1135gh	0,9930ef
	2.0	65	0,8776bc	1,1663hi
	2.0	70	0,5744a	0,8693bc
	2.0	75	1,4808jk	0,8451b
	3.0	65	1,0192ef	1,0098ef
	3.0	70	0,8728bc	1,1911hi
	3.0	75	0,9393cde	1,5265k
	4.0	65	1,0064ef	1,1178ghi
	4.0	70	0,9688de	1,0596fg
	4.0	75	0,8943bcd	1,1536hi
Konvektif Hava	-	65	1,6641l	
	-	70	1,8419m	
	-	75	1,4368j	
Taze Havuç	-	-	2,1600n	

\* Tukey testi: Aynı sütunda, aynı harflerle gösterilen uygulamalar arasında fark yoktur (p>0.05).

Lin ve ark. (1998) konvektif hava ile kurutmaya kıyasla mikrodalga-vakum ile kurutulan havuçların beta karoten ve C vitamini içeriğinin daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Ara tırmada, konvektif hava ile kurutulan ürünlerin renk kırmızılığı ve renk sarılığı değerlerinin daha az ve daha koyu renkte olduğunu bildirilmiştir. Ayrıca çalınan mada, mikrodalga-vakum kurutma yöntemiyle dondurarak kurutma yöntemine göre de er kalitede kuru havuç üretilebileceği rapor edilmiştir. Benzer şekilde Regier ve ark. (2005) konvektif hava ve dondurarak kurutmaya kıyasla mikrodalga-vakum ile kurutulan havuçlarda karotenoid içeriğinin daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Cui ve ark. (2004b) tarafından yapılan mikrodalga-vakum kurutma ve mikrodalga-vakum ile konvektif sıcak hava kombinasyonu ile kurutulmuş ve hâlâ lama işlemi uygulanmayan havuçların, hâlanarak kurutulan havuçlara kıyasla beta karoten kaybının daha az olduğunu rapor edilmiştir. Konvektif havayla kurutulan havuçların karotenoid miktarını muhafazasında hâlâ lama ön işleminin uygulanmasının önemli bir etkiye sahip olduğunu, ancak mikrodalga-vakum kombinasyonu ile kurutulan havuçlarda ise hâlâ lama işleminin önemli bir etkiye sahip olmadığını bildirilmiştir.

#### 4.7. Ürün Kuruma Etkilerinin Modellenmesi

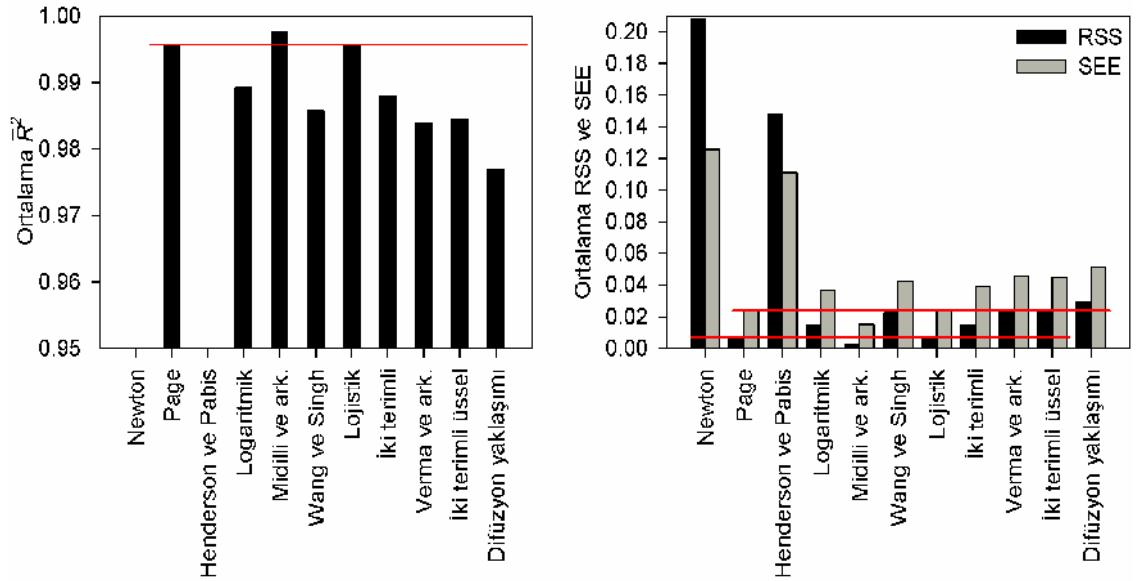
Ekil 4.20'de Nantes çeşidi havucunun sürekli ve kesikli-mikrodalga konvektif hava ile kurutma ve konvektif hava ile kurutma uygulamalarına ilişkin bütün kuruma kinetik verilerinin (29 veri serisi) çeşitli matematiksel denitlikler kullanılarak modellenmesi sonucunda elde edilen ortalama  $\bar{R}^2$ , RSS ve SEE değerleri verilmiştir. En düşük RSS ve SEE değerleri ve en yüksek  $\bar{R}^2$  değerine sahip olan denitlik veri serilerini temsil eden en uygun model olarak değerlendirilmektedir. Ekil 4.20. incelenirse, Midilli ve ark., Page ve Lojistik modellerinin hemen hemen aynı seviyede  $\bar{R}^2$ , RSS ve SEE değerlerine sahip olduğunu görülmektedir. Midilli ve ark. modeli diğer modellerden incelenen istatistiksel hata parametreleri bakımından bir miktar daha yüksek doğruluk payına sahiptir. Ancak Page modeli (2 parametrelili) Midilli ve ark. modellerinden (4 parametrelili) daha az sayıda model parametresi içermektedir. Dolayısıyla veri serilerinin matematiksel olarak ifade edilmesinde diğer modellere göre daha basit yapıda ve uygulanması daha kolay olan Page modeli ( $MR=\exp(-kt^n)$ )

seçilmi tir. Sürekli ve kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamaları için geli tirilen model E itlik 4.1’de, konvektif hava ile kurutma uygulamaları için geli tirilen model ise E itlik 4.2’de verilmi tir. Bu modellere ili kin istatistiksel hata parametreleri sürekli ve kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamaları için  $\bar{R}^2=0.9892$ ,  $RSS=0.5361$  ve  $SEE=0.0356$ , konvektif hava ile kurutma uygulamaları içinse  $\bar{R}^2=0.9953$ ,  $RSS=0.0340$  ve  $SEE=0.0209$ ’dur. Geli tirilen her iki modelin de deneysel olarak elde edilen verileri temsil etme yetene i oldukça iyidir.

$$MR = \exp \left[ - \left( -1.0021T^{-0.0001} + P_i^{0.0004} \right) t^{1.7417T^{-0.0091} + 0.0014P_i} \right] \quad (4.1.)$$

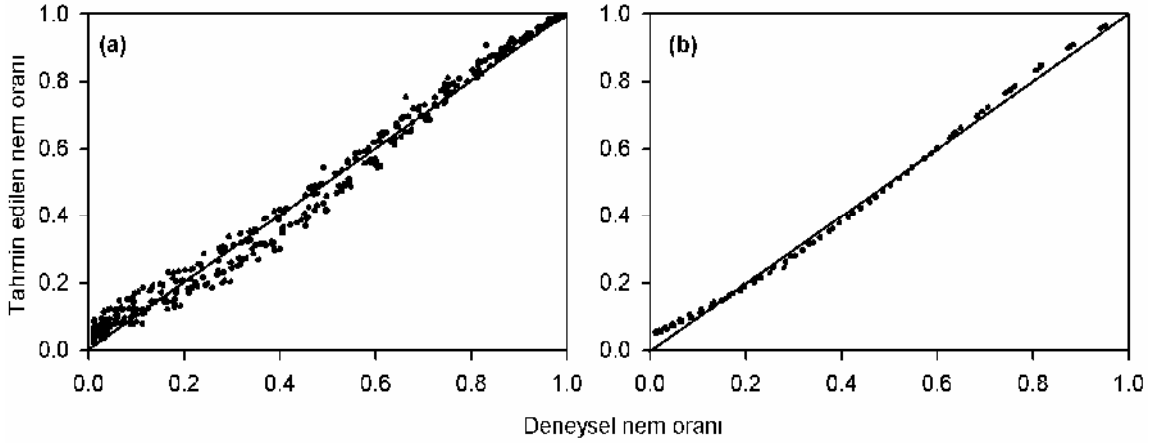
$$MR = \exp \left[ - \left( 6.3452 \times 10^{-6} T \right) t^{1.5859T^{-0.042}} \right] \quad (4.2.)$$

Burada; MR nem oranı (boyutsuz), T kurutma havası sıcaklı ı (°C),  $P_i$  ürüne uygulanan mikrodalga gücü ( $P_i = P/PR$ , W), P mikrodalga çıkı gücü (W), PR kesiklilik oranı, t kurutma süresi (dak)’dir.



ekil 4.20. Nantes çe idi havucun sürekli ve kesikli-mikrodalga konvektif hava ve konvektif hava ile kurutulmasında bütün kuruma kineti i verilerine ili kin istatistiksel hata parametrelerinin matematiksel modeller bazında de i imi





ekil 4.21. Nantes çe idi havucun kurutulmasında veri serilerine ili kin deneysel nem oranları ile Page modeli ile tahmin edilen nem oranlarının de i imi (a, sürekli ve kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma; b, konvektif hava ile kurutma)

ekil 4.21’de sürekli ve kesikli mikrodalga-konvektif hava ( ekil 4.21a) ve konvektif hava ile kurutma ( ekil 4.21b) uygulamalarında deneysel nem oranları ile tahmin edilen nem oranlarının (E itlik 4.1. ve 4.2.) bir kar ıla tırması verilmi tir. Deneysel ve tahmin edilen nem oranları 1:1 örtü mektedir. E itlik 4.1’de verilen kurutma modeli kullanılarak Nantes çe idi havucun verilen kurutma ko ullarında sürekli ve kesikli-mikrodalga konvektif hava ile kurutması durumunda istenilen kurutma havası sıcaklı ı ( $20^{\circ}\text{C}$ - $75^{\circ}\text{C}$  arasında) ve mikrodalga çıkı güçleri ( $590.29\text{ W}$ - $670.37\text{ W}$  arasında) için ürün nem oranı yüksek bir do ruluk derecesiyle hesaplanabilir. Benzer ekilde, Nantes çe idi havucun verilen kurutma ko ullarında konvektif hava ile kurutulması durumunda istenilen kurutma havası sıcaklı ı ( $65^{\circ}\text{C}$ -  $75^{\circ}\text{C}$  arasında) için ürün nem oranı yüksek bir do ruluk derecesiyle tahmin edilebilir.

## 5. SONUÇ VE ÖNER LER

Bu çalı mada konvektif hava ile kurutma ve sürekli mikrodalga-konvektif havayla kurutma yöntemlerine alternatif olarak kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma tekni inin kullanılması yoluyla birim kuru materyal ba ına en az enerji tüketimi ile yüksek kalitede havuç kurusu üretimi amaçlanmı tır.

Kurutma ko ulla rına ba lı olarak de i mekle birlikte, sürekli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında kurutma süresinin, kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarına kıyasla %35.56–%83.57 daha kısa, ortalama kuruma hızının ise 1.52–5.94 kat daha yüksek oldu u saptanmı tır. Ayrıca, kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında, di er kurutma ko ulla rı sabit kalmak ko uluyla, mikrodalga çıkı gücünü 590.29 W'tan 670.37 W'a yükseltmekle ürün kuruma süresinde %20.34 ile %24.24 arasında de i en oranlarda azalma, ortalama kuruma hızında ise %22.56-%30.67 artı sa lanmı tır. Kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında havucun 0.13 kgH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup> [DM] ürün nemine ulaşması için gerekli sürenin kurutma ko ulla rına ba lı olarak 45–140 dakika arasında de i ti i belirlenmi tir.

Uygulanan mikrodalga çıkı gücü ve kurutma havası sıcaklı ı arttıkça kuruma süresi kısalmakta, kuruma hızı ise artmaktadır. Genel olarak kesiklilik oranı arttıkça kuruma süresi artmı , aynı kesiklilik oranında kurutma havası sıcaklı ı arttıkça kuruma süresi de azalmı tır. Sürekli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında kısa bir ısınma evresinden sonra kuruma hızı en yüksek de erine ulaşmı , bu nem de erlerinden sonra azalan hızlı kuruma evresi görülmü olup, bu kuruma evresinde ürün kuruma hızı keskin bir dü ü trendi izlemi tir.

Kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında genel olarak kısa bir ısınma evresinden sonra kuruma hızı en yüksek de erine ulaşmı , bu maksimum kuruma hızı de erinden sonra oldukça uzun (toplam kurutma süresinin 3/5'i kadar) bir sabit hızlı kuruma evresi görülmü tür. Sabit hızlı kuruma evresinin ardından keskin bir dü ü ile ba layan azalan hızlı kuruma evresi görülmü tür. Konvektif hava ile kurutma uygulamalarında ise kısa bir ısınma evresinin ardından kurutma i lemi azalan hızlı kuruma evresinde gerçe kle mi tir. Uygulanan kurutma havası sıcaklı ı, PR ve mikrodalga çıkı gücüne ba lı olarak de i mekle birlikte, havucun 0.13 kgH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup>

[DM] ürün nemine ulaşması için gerekli süre sürekli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında konvektif hava ile kurutma uygulamalarına göre %96.03–%97.13 daha kısadır. Ancak ara tırmada incelenen fiziksel ve duyuşal kalite parametreleri bakımından sürekli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında iyi kalitede kuru ürün elde edilememiştir.

Uygulanan kurutma koşullarına bağlı olarak de i mekle birlikte, havucun 0.13 kgH<sub>2</sub>O.kg<sup>-1</sup> [DM] ürün nemine ulaşması için gerekli sürenin kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında konvektif hava ile kurutma uygulamalarına göre %80.82 ile %94.38 arasında de i en oranlarda daha kısa oldu u saptanmıştır.

Genel olarak kurutma i leminde uygulanan mikrodalga çıkı gücü arttıkça özgül enerji tüketimi de erlerinde belirgin bir azalma oldu u belirlenmiştir. Kurutma koşullarına bağlı olarak de i mekle birlikte, sürekli ve kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarına ili kin özgül enerji tüketimi de erlerinin konvektif hava ile kurutma uygulamalarına göre sırasıyla 10.23-15.94 ve 3.59-14.51 kat daha az oldu u saptanmıştır.

Sürekli ve kesikli mikrodalga-konvektif hava ile 20°C sıcaklıkta, sırasıyla 1.0, 2.0, 3.0 ve 4.0 kesiklilik oranlarında yapılan kurutma uygulamalarında di er uygulamalara göre en dü ük özgül enerji tüketimi de erleri elde edilmiştir. Aynı kesiklilik oranı ve kurutma hava sıcaklı ında, mikrodalga çıkı gücünün 590.29 W'tan 670.37 W'a yükseltilmesi durumunda PR=1.0+20°C, uygulamaları dı ında, di er mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında özgül enerji tüketiminde istatistiksel olarak önemli oranda azalmalar oldu u belirlenmiştir.

Konvektif hava ile kurutma uygulamaları en yüksek, 670.37 W mikrodalga çıkı gücünde yapılan PR=1.0+20°C uygulaması en dü ük özgül enerji tüketimi de erlerine sahiptir. Ancak en dü ük özgül enerji tüketimine sahip olan bu kurutma uygulamasında gerek fiziksel (renk, sertlik, gevreklik, elastiklik ve çi nenebilirlik) gerekse duyuşal ürün kalitesi (genel görünü , renk, renk be eni, tekstür doku, tekstür be eni ve genel ürün be enisi) bakımlarından oldukça dü ük kalitede kuru ürün elde edilmiştir. Genel olarak mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında kurutma havası sıcaklı ı ve PR arttıkça özgül enerji tüketiminde kademeli bir artı oldu u, kurutma havası sıcaklı ının 20°C'den 65°C'ye yükseltilmesiyle özgül enerji tüketimi de erlerinde önemli artı lar oldu u saptanmıştır.

Konvektif hava ile kurutma uygulamalarında taze ürüne kıyasla ürün renk kırmızılı 1 de erlerinde önemli derecede artı lar oldu u, konvektif hava ile 70 ve 75°C’de kurutulan ürünler ile 590.29 W’ta PR=2.0+75°C, 670.37 W’ta PR=2.0+65°C, PR=2.0+70°C ve PR=3.0+20°C uygulamaları dı ında genel olarak kurutulan ürünlerde renk sarılı 1 de erlerinde taze ürüne kıyasla önemli derecede azalmalar meydana geldi i belirlenmi tir. Kuru ürün renk kalitesi bakımından 670.37 W’ta PR=3.0+20°C, PR=2.0+65°C ve PR=2.0+70°C kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutulan havuçların renk kırmızılı 1 ve renk sarılı 1 de erlerinin taze ürün ile benzer, renk parlaklıklarının ise taze üründen daha yüksek oldu u belirlenmi tir.

670.37 W’ta PR=3.0+20°C uygulaması ile kurutulan havuçların renk kalitesi de eri, taze ürünün renk kalitesi de erine yakın oldu u belirlenmi tir. Bu uygulama ile kurutulan ürünlerin sertlik de eri, di er uygulamalarla kurutulan ürünlere kıyasla oldukça yüksek de erde oldu u görülmü tür. Ancak bu kurutma uygulamasında gevreklik, elastiklik ve katı bir gıdanın yutulmaya hazır hale getirilmesi için gerekli çi neme kuvveti olarak tanımlanan çi nenebilirlik de erlerinin di er kurutma uygulamalarıyla kar ıla tırıldı ında makul bir seviyede oldu u saptanmı tir.

Genel olarak konvektif hava ile kurutulan havuçların panelistlerce en çok be enilen ürünler oldu u, sürekli mikrodalga-konvektif hava ile kurutulan ürünlerin panelistlerce be enilmedi i, kesikli mikrodalga-konvektif hava ile 590.29 W’ta PR=3.0+20°C, PR=4.0+20°C, PR=4.0+70°C ve PR=4.0+75°C ile 670.37 W’ta PR=2.0+65°C, PR=3.0+20°C, PR=3.0+65°C ve PR=4.0+20°C kurutma uygulamalarında incelenen duyuşsal nitelikler bakımından iyi kalitede kuru havuç üretilebilece i saptanmı tir.

Elde edilen sonuçlara göre genellikle 670.37 W’ta kurutulan havuçların beta karoten miktarı 590.29 W’ta kurutulan ürünlerden daha yüksek bulunmu tur. Farklı uygulama yöntemleriyle kurutulan örneklerin beta karoten kaybı yakla ık %20-70 civarında de i mi tir. En az beta karoten kaybı ise konvektif havayla kurutulan örneklerde görülmü tür. En yüksek beta karoten miktarı 1,8419 mg/g kuru baz de eriyle 70°C konvektif havayla kurutulan havuçlardan elde edilmi tir.

Nantes çe idi havucun kuruma kineti i verilerinin matematiksel olarak ifade edilmesinde 11 farklı kurutma modelinin ba arımları kar ıla tırılmı ve di erlerine göre daha basit yapılı ve kullanımı kolay olan Page modelinin kuruma kineti i verilerini

baarıyla temsil edebilece i belirlenmi tir. Seçilen bu modelin istatistiksel hata parametreleri sürekli ve kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamalarında  $\bar{R}^2=0.9892$ ,  $RSS=0.5361$  ve  $SEE=0.0356$ , konvektif hava ile kurutma uygulamalarında ise  $\bar{R}^2=0.9953$ ,  $RSS=0.0340$  ve  $SEE=0.0209$  olarak belirlenmi tir. Bu de erler, deneysel olarak elde edilen kuruma kineti i verilerinin geli tirilen bu modeller kullanılarak oldukça yüksek bir güvenilirlikle tahmin edilebilece ini göstermektedir.

Sonuç olarak, Nantes çe idi havuç kurutma denemelerinde, kurutma süresi, fiziksel (renk, gevreklik, elastiklik ve çi nenebilirlik) ve duyuusal özellikler (genel görünü , renk, renk be eni, tekstür doku, tekstür be eni ve genel ürün be enisi) bakımlarından yüksek kalitede kuru havuç üretimine olanak veren, birim kuru materyal baına nispeten düşük enerji tüketimine sahip olan 670.37 W mikrodalga çıkı gücünde  $PR=3.0+20^{\circ}C$  kesikli mikrodalga-konvektif hava ile kurutma uygulamasının en iyi kurutma yöntemi oldu u saptanmı tir. Ayrıca, 670.37 W'ta  $PR=4.0+20^{\circ}C$ , 590.29 W'ta  $PR=3.0+20^{\circ}C$  ve  $PR=4.0+20^{\circ}C$  uygulamaları ile de yüksek kalitede kuru havuç üretilabilece i, ancak bu uygulamaların tercih edilmesi durumunda birim kuru materyal baına enerji tüketiminin yükselece i belirlenmi tir. Kurutma denemelerinde elde edilen sonuçlar, havuç kurutulmasında yüksek kalitede kuru ürün elde etmek bakımından düşük kurutma havası sıcaklı ı ve yüksek mikrodalga çıkı gücü ile nispeten uzun bekleme süresine sahip yüksek kesiklilik oranlarının tercih edilmesi gerekti ini ortaya koymaktadır. Böylelikle bir yandan birim kuru materyal baına enerji tüketimi azaltılırken di er yandan da ürün bünyesindeki suyun ürün kalitesini bozmadan daha tekdüze ve kararlı bir ekilde uzakla tırılması mümkün olmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Al-Duri, B., McIntyre, S., 1992. Comparison of drying kinetics of foods using a fan assisted convection oven. **Journal of Food Engineering**, 15, 139-155.
- Baysal, T., çier, F., Ersus, S., Yıldız, H., 2003. Effects of microwave and infrared drying on the quality of carrot and garlic, **European Food Research and Technology**, 218 (1), 68–73.
- 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.
- Bondaruk, J., Markowski, M., Błaszczak, W., 2007. Effect of drying conditions on the quality of vacuum-microwave dried potato cubes. **Journal of Food Engineering**, 81, 306-312.
- Bouraout, M., Richard, P., Durance, T., 1994. Microwave and convective drying of potato slices. **Journal of Food Process Engineering**, 17, 353-363.
- Carabin, P., 1990. Simulation of periodic convective and volumetric heating of finite and semi-infinite slabs. In: **Drying of Solids**, ed: Mujumdar A. S. Sarita Publication. New Delhi, India.
- Cemero lu B., 2007. **Gıda Analizleri**. Gıda Teknolojisi Derne i Yayınları, Yayın Numarası:34, Bizim Büro Basın Evi, 535 Sayfa, Ankara.
- Changrue, V., Sunjka, P. S., Gariepy, Y., Raghavan, G. S. V., Wang, N., 2004. Real-time control of microwave drying process. **Drying 2004 – Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)**. 22-25 August 2004, Vol. B, 941-948. Sao Paulo, Brazil.
- Changrue, V., 2006. **Hybrid (Osmotic, Microwave-vacuum) drying of strawberries and carrots**, PhD Thesis, Department of Bioresource Engineering, Macdonald Campus of McGill University, Ste-Anne-de-Bellevue, 170 p, Quebec, Canada.
- Contreras, C., Martin-Esparza, M. E, Chiralt, A., Martineznavarrete, N., 2008. Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. **Journal of Food Engineering**, 88, 55–64.
- Cui, Z. W., Xu, S. Y., Sun, D.-W., 2004a. Microwave-vacuum drying kinetics of carrot slices. **Journal of Food Engineering**, 65 (2), 157-164.
- Cui, Z. W., Xu, S. Y., Sun, D.-W., 2004b. Microwave-vacuum drying on the carotenoids retention of carrot slices and chlorophyll retention of chinese chive leaves. **Drying Technology**, 22 (3), 563-575.
- Cui, Z. W., Xu, S. Y., Sun D.-W., Chen, W., 2005. Temperature changes during microwave-vacuum drying of sliced carrots. **Drying Technology**, 23, 1057–1074.
- Diamente, L. M., Munro, P. A., 1993. Mathematical modeling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. **Solar Energy**, 51 (4), 271–276.
- Diaz, G. R., Martinez-Monzo, J., Fito, P., Chiralt, A., 2003. Modelling of dehydration–rehydration of orange slices in combined microwave/air drying, **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 4, 203–209.
- Drouzas, E., Tsami, E., Saravacos, G. D., 1999. Microwave/vacuum drying of model fruit gels. **Journal of Food Engineering**, 28, 203-209.

- Farkas, I., Rendik, Z., 1997. Intermittent thin layer corn drying. **Drying Technology**, 15 (6-8), 1951-1960.
- Funebo, T., Ohlsson, T., 1998. Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom. **Journal of Food Engineering**, 38, 353-367.
- 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., Ak, M. M., 2003. **Cheese Rheology and Texture**. CRC Press, 437 p, Florida, USA.
- Henderson, S. M., 1974. Progress in developing the thin-layer drying equation. **Transactions of the ASAE**, 17, 1167-1168/1172.
- Howard, L. R., Braswell, D. D., Aselage, J., 1996. Chemical composition and color of strained carrots as affected by processing. **Journal of Food Science**, 61, 327-330.
- Jain, D., Pathare, P. B., 2004. Selection and evaluation of thin layer drying models for infrared radiative and convective drying of onion slices. **Biosystems Engineering**, 89 (3), 289-296.
- Jung, S. K., Choi, Y. H., Shon, T. H., Choi, J. U., 1986. The drying characteristics of apples at various drying conditions. **Korean Journal of Food Science and Technology**, 18 (1), 61-65.
- Kaensup, W., Chutima, S., Wongwises, S., 2002. Experimental study on drying chilli in a combined microwave-vacuum-rotary drum dryer. **Drying Technology**, 20 (10), 2067-2079.
- Koca, N., Burdurlu, H. S., Karadeniz, F., 2007. Kinetics of colour changes in dehydrated carrots. **Journal of Food Engineering**, 78, 449-455.
- Koç, K., 2001. **Mikrodalga ve endüstriyel kurutma metodlarının kaysının fizikokimyasal ve duyuşal özellikleri üzerine etkisi**. Yüksek Lisans Tezi, nönü Üniversitesi, 40 s, Malatya.
- Krokida, M. K., Tsami, E., Maroulis, Z. B., 1998. Kinetics on color changes during drying of some fruits and vegetables. **Drying Technology**, 16 (4), 667-685.
- Krokida, M. K., Maroulis, Z. B., 1999. Effects of microwave drying on some quality properties of dehydrated products. **Drying Technology**, 17, 449-466.
- Lin, T. M., Durance, T. D., Scaman, C. H., 1998. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. **Food Research International**, 31, 111-117.
- Litvin, S., Mannheim, C. H, Miltz, J., 1998. Dehydration of carrots by a combination of freeze drying, microwave heating and air or vacuum drying. **Journal of Food Engineering**, 36, 103-111.
- Liu, Q., Bakker-Arkema, F. W., 1997. Stochastic modelling of grain drying: Part 2. Model development. **Journal of Agricultural Engineering Research**, 66, 275-280.
- Madamba, P. S., Driscoll, R. H., Buckle, K. A., 1996. The thin-layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, 29, 75-97.
- Maskan, M., 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. **Journal of Food Engineering**, 44, 71-78.

- May, B. K., Perre, P., 2002. The importance of considering exchange surface area reduction to exhibit a constant drying flux period in foodstuffs. **Journal of Food Engineering**, 54 (33), 271–282.
- McMinn, W. A. M., McLoughlin, C. M., Magee, T. R. A., 2005. Microwave–convective drying characteristics of pharmaceutical powders. **Powder Technology**, 153, 23–33.
- Midilli, A., Küçük, H., Yapar, Z., 2002. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, 20 (7), 1503–1513.
- Moreno, J., Chiralt, A., Escriche, I., Serra, J. A., 2000. Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. **Food Research International**, 33, 609-616.
- Mousa, N., Farid, M., 2002. Microwave vacuum drying of banana slices. **Drying Technology**, 20 (10), 2055-2066.
- Mowlah, G., Takano, K., Kamoi, I., Obara, T., 1983. Water transport mechanism and some aspects of quality changes during air dehydration of bananas. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, 16, 103–107.
- Nijhuis, H. H., Topping, H. M., Muresan, S., Yüksel, D., Leguijt, C., Kloek, W., 1998. Approach to improving the quality of dried fruit and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, 9, 13-20.
- Nindo, C. I., Sun, T., Wang, S. W., Tang, J., Powers, J. R., 2003. Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis* L.). **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, 36, 507-516.
- Pal, U. S., Chakraverty, A., 1997. Thin layer convection drying of mushrooms. **Energy Conversion and Management**, 38 (2), 107–113.
- Perre, P., May, B. K., 2007. The existence of a first drying stage for potato proved by two independent methods. **Journal of Food Engineering**, 78, 1134–1140.
- Prabhanjan, D. G., Ramaswamy, H. S., Raghavan, G. S. V., 1995. Microwave assisted convective air drying of thin layer carrots. **Journal of Food Engineering**, 25 (2), 283–293.
- Prakash, S., Jha, S. K., Datta, N., 2004. Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers. **Journal of Food Engineering**, 62, 305-313.
- Raghavan, G. S. V., Rennie, T. J., Sunjka, P. S., Orsat, V., Phaphuangwittayakul, W., Terdtoon, P., 2004. Energy aspects of novel techniques for drying biological materials. **Drying 2004 –Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)**. 22-25 August 2004, Vol. B, 1021-1028. Sao Paulo, Brazil.
- Raphaelides, S., Antoniou, K. D., Petridis, D., 1995. Texture evaluation of ultra filtered teleme cheese. **Journal of Food Science**, 60 (6), 1211-1215.
- Regier, M., Mayer-Miebach, E., Behsnlian, D., Neff, E., Schuchmann, H. P., 2005. Influences of drying and storage of lycopenerich carrots on the carotenoid content, **Drying Technology**, 23, 989–998.
- Saravacos, G. D., Charm, S.E., 1962. A study of the mechanism of fruit and vegetable dehydration. **Food Technology**, 15, 78–80.
- Sharma, G. P., Prasad, S., 2001. Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave hot air combination. **Journal of Food Engineering**, 50, 99-105.



- Shivhare, U. S., Raghavan G. S. V., Bosiso, R. G., Mujumdar, A. S., 1992. Microwave drying of corn III. Constant power, intermittent operation. **Transactions of ASAE**, 35 (3), 951-957.
- Soysal, Y., 2004. Microwave drying characteristics of parsley. **Biosystems Engineering**, 89 (2), 167-173.
- Soysal, Y., Öztekin, S., Eren, Ö., 2006. Microwave drying of parsley: modelling, kinetics and energy aspects, **Biosystems Engineering**, 93(4), 403–413.
- Stepien, B., 2008. Effect of vacuum-microwave drying on selected mechanical and rheological properties of carrot. **Biosystems Engineering**, 99, 234–238.
- Sunjka, P. S., Rennie, T. J., Beaudry, C., Raghavan, G. S. V., 2004. Microwave – convective and microwave – vacuum drying of cranberries: A comparative study. **Drying Technology**, 20 (5), 1217-1231.
- Szczesniak, A. S., 2002. Texture is a sensory property. **Food Quality and Preference**, 13, 215-225.
- umnu, G., Turabi, E., Öztop, M., 2005. Drying of carrots in microwave and halogen lamp –microwave combination ovens. **LWT**, 38, 549–553.
- Torrington, E., Esveld, E., Scheewe, I., Van Den Berg, R., Bartels, P., 2001. Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying of mushrooms. **Journal of Food Engineering**, 49, 185-191.
- Tulasidas, T. N., Raghavan, G. S. V., Mujumdar, A. S., 1995. Microwave drying of grapes in a single mode cavity at 2450 Mhz-II: Quality and energy aspects. **Drying Technology**, 13 (8-9), 1973-1992.
- Tunde-Akintunde, T. Y., Afolabi, T. J., Akintunde, B. O., 2005. Influence of drying methods on drying of bell-pepper (*Capsicum annum*). **Journal of Food Engineering**, 68, 439-442.
- Turhan, M., Turhan, K. N., Sahbaz, F., 1997. Drying kinetics of red pepper. **Journal of Food Processing and Preservation**, 21, 209-223.
- Vadivambal, R., Jayas, D. S., 2007. Changes in quality of microwave-treated agricultural products-a review. **Biosystems Engineering**, 98, 1-16.
- Venkatachalapathy, K., 1998. **Combined osmotic and microwave drying of strawberries and blueberries**. Ph.D. Thesis for Agricultural & Biosystems Engineering, McGill University, 170 p, Quebec, Canada.
- Venkatesh, M. S., Raghavan, G. S. V., 2004. An overview of microwave processing and dielectric properties of agri-food materials. **Biosystems Engineering**, 88 (1), 1-18.
- Verma, L. R., Bucklin, R. A., Endan, J. B., Wratten, F. T., 1985. Effects of drying air parameters on rice drying models. **Transactions of the ASAE**, 28, 296–301.
- Wang, C. Y., Singh, R. P., 1978. A single layer drying equation for rough rice. ASAE Paper No: 78-3001, **ASAE**, St. Joseph, MI.
- Wang, J., Xiong, Y. S., Yu, Y., 2004. Microwave drying characteristics of potato and the effect of different microwave powers on the dried quality of potato. **European Food Research Technology**, 219, 500-506.
- Ya cıoglu, A., De irmencio lu, A., Ça atay, F., 1999. Drying characteristics of laurel leaves under different drying conditions. **Proceedings of the 7th International Congress on Agricultural Mechanization and Energy in Agriculture**, 26-27 May, 565-569, Adana, Turkey.
- Yaldız, O., Ertekin, C., 2001. Thin layer solar drying of some different vegetables. **Drying Technology**, 19 (3), 583–596.

- Yongsawatdigul, J., Gunasekaran, S., 1996a. Microwave-vacuum drying of cranberries: Part I. Energy use and efficiency. **Journal of Food Processing and Preservation**, 20, 121-143.
- Yongsawatdigul, J., Gunasekaran, S.,. 1996b. Microwave-vacuum drying of cranberries: Part II. Quality evaluation. **Journal of Food Processing and Preservation**, 20, 145-156.

## TE EKKÜR

Tez çalı mam süresince 1050547 nolu proje kapsamında verdi i burs deste inden dolayı TUB TAK'a te ekkürlerimi sunarım.

Çalı mamın her a amasında bana olan güveni ve deste inden dolayı de erli hocalarım Doç. Dr. Yurtsever Soysal'a ve Doç. Dr. Zehra Ayhan'a canı gönülden te ekkür ederim. Tez çalı malarımnda vermi oldu u her türlü yardım ve katkılardan dolayı de erli hocam Yrd. Doç. Dr. Okan E türk'e te ekkürlerimi sunarım.

Tez savunma a amasında fikirleriyle beni aydınlatan de erli hocalarım ODTÜ Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisli i Bölümü ö retim üyesi Prof. Dr. Gülüm umnu'ya ve MKÜ Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü ö retim üyesi Doç. Dr. Mehmet Arslan'a ükranlarımı sunarım.

Tez yazım a amasında yardımlarını esirgemeyen sevgili arkada larım Bahattin Kılınç'a, sa Özbek'e ve laboratuvar çalı malarım sırasında yardımını esirgemeyen Gıda Mühendisi Fatin Müftüo lu'na te ekkür ederim.

Hayatımın her safhasında verdikleri maddi, manevi destek ve yardımlarından dolayı sevgili ablam Leyla Arıkan'a ve aileme ükranlarımı sunarım.

## ÖZGEÇM

1983 yılında Adıyaman'ın Kahta ilçesinde doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Kahta'da tamamladım. 2002 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği bölümüne yerleştim. 2006 yılında lisans eğitimimi tamamlayıp Gıda Mühendisi unvanıyla mezun oldum. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında 2007 yılında yüksek lisans öğrenimime başladım.

## EKLER

## EK 1. Duyusal De erlendirme Formu

Adı/Soyadı :.....

Tarih :.....

Sayın katılımcı, size 5 ayrı kodlu havuç örne i sunulmaktadır. Bu örneklerin genel görünü kalitesi, renk, tekstür (gevreklik) ve genel ürün be ni derecesini 9 noktalı skalayı dikkate alarak de erlendirmeniz istenmektedir. Önce size verilen 5 örne i sırasını dikkate alarak (soldan sa a do ru) genel görünü kalitesi açısından, 9 noktalı skaladaki açıklamaları dikkate alarak, 1-9 arasında bir rakamla de erlendiriniz ve her bir ürün kodu altında bulunan bo lükta be ni derecenizi temsil eden rakamı yazınız. Daha sonra sırasıyla renk ve tekstür özelliklerini önce yo unluk skalası sonra be ni skalası üzerinde 1-9 arasında bir rakamla ayrı ayrı de erlendiriniz. Genel görünü ve renk be enisini gözle, tekstür (gevreklik) özelli ini ise örnekleri parmaklarınızla ezerek yapınız. Genel ürün be ni dereceniz ürünün bütün özellikleri dikkate alınarak yapılmalıdır. Panelimize katılımınızdan dolayı te ekkür ederiz.

GENEL GÖRÜNÜ KAL TES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	782	153	468	615	237
	↓				↓				↓	.....	.....	.....	.....	.....
	Hiç be	enmedim		orta				çok be	endim					
	☹								☺					

RENK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	782	153	468	615	237
	↓				↓				↓	.....	.....	.....	.....	.....
	Soluk turuncu			kabul edilebilir				parlak						
	turuncu													

RENK (BE EN )	1	2	3	4	5	6	7	8	9	782	153	468	615	237
	↓				↓				↓	.....	.....	.....	.....	.....
	Hiç be	enmedim		orta				çok be	endim					
	☹								☺					

TEKSTÜR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	782	153	468	615	237
	↓				↓				↓	.....	.....	.....	.....	.....
	Az gevrek			kabul edilebilir				çok gevrek						

TEKSTÜR (BE EN )	1	2	3	4	5	6	7	8	9	782	153	468	615	237
	↓				↓				↓	.....	.....	.....	.....	.....
	Hiç be	enmedim		orta				çok be	endim					
	☹								☺					

GENEL ÜRÜN BE EN DERECES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	782	153	468	615	237
	↓				↓				↓	.....	.....	.....	.....	.....
	Hiç be	enmedim		orta				çok be	endim					
	☹								☺					

Yorum ve Dü ünceler :