



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



**LİMON KABUĞUNUN FARKLI KURUTMA
YÖNTEMLERİYLE OPTİMUM KURUTMA
KOŞULLARININ BELİRLENMESİ VE KURUTMA
YÖNTEMLERİNİN BAZI KALİTE ÖZELLİKLERİ İLE
UÇUCU BİLEŞENLER ÜZERİNE ETKİLERİ**

Doktora Tezi

Yeliz TEKGÜL

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir
2019

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**LİMON KABUĞUNUN FARKLI KURUTMA
YÖNTEMLERİYLE OPTİMUM KURUTMA
KOŞULLARININ BELİRLENMESİ VE KURUTMA
YÖNTEMLERİNİN BAZI KALİTE ÖZELLİKLERİ
İLE UÇUCU BİLEŞENLER ÜZERİNE ETKİLERİ**

Yeliz TEKGÜL

Danışman : Prof. Dr. Taner BAYSAL

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Gıda Mühendisliği Doktora Programı

İzmir
2019

Yeliz TEKGÜL tarafından **DOKTORA** tezi olarak sunulan “Limon Kabuğunun Farklı Kurutma Yöntemleriyle Optimum Kurutma Koşullarının Belirlenmesi ve Kurutma Yöntemlerinin Bazı Kalite Özellikleri ile Uçucu Bileşenler Üzerine Etkileri” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 27/02/2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oy çokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	: Prof. Dr. Taner BAYSAL	
Raportör Üye	: Prof. Dr. Yeşim ELMACI	
Üye	: Prof. Dr. Semih ÖTLEŞ	
Üye	: Dr. Öğretim Üyesi Zeki HEPÇİMEN	
Üye	: Dr. Öğretim Üyesi Hamza BOZKIR	

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin İlgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “Limon Kabuğunun Farklı Kurutma Yöntemleriyle Optimum Kurutma Koşullarının Belirlenmesi ve Kurutma Yöntemlerinin Bazı Kalite Özellikleri ile Uçucu Bileşenler Üzerine Etkileri” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

27/02/2019

Yeliz TEKGÜL

ÖZET

LİMON KABUĞUNUN FARKLI KURUTMA YÖNTEMLERİYLE OPTİMUM KURUTMA KOŞULLARININ BELİRLENMESİ VE KURUTMA YÖNTEMLERİNİN BAZI KALİTE ÖZELLİKLERİ İLE UÇUCU BİLEŞENLER ÜZERİNE ETKİLERİ

TEKGÜL, Yeliz

Doktora Tezi, Gıda Mühendisliği Bölümü

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Taner BAYSAL

Şubat 2019, 138 sayfa

Bu tezde Lamas türü limon örneklerinin kabuklarının altı farklı kurutma sisteminde optimum kuruma koşulları saptanmış ve saptanan koşullarda üretim yapılarak bazı kalite özellikleri ile aroma bileşenlerinde meydana gelen değişiklikler belirlenmiştir.

Vakumlu infrared, vakumlu mikrodalga ve tepsili kurutuculardaki optimum kurutma koşulları yanıt yüzey metodu (RSM) kullanılarak saptanmıştır. Kurutulan örnekler için nem, su aktivitesi, renk, pH, asitlik, yığın yoğunluğu, toplam fenolik madde, toplam antioksidan aktivite, toplam karotenoid miktarı C vitamini miktarı, kurutma kinetiği analizleri ile uçucu bileşen analizi ve duyusal analiz gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak, limon kabuklarının kalite özellikleri arasında fark gözlenmiş ve kurutma yöntemindeki farklılığın ürün kalitesini etkilediği yapılan analizlerle belirlenmiştir. Kurutulan kabukların kalitelerinin yanı sıra, yapılan duyusal değerlendirme ile tüketici tercihi test edilmiş, mikrodalga ve liyofilizatörde kurutulan örneklerin genel beğeni puanlarının en fazla olduğu belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Limon kabuğu, kurutma, optimizasyon, kalite, uçucu aroma bileşenleri

ABSTRACT

DETERMINATION OF OPTIMUM DRYING CONDITIONS OF LEMON PEELS BY DIFFERENT DRYING METHODS AND THE EFFECT OF DRYING METHODS ON SOME QUALITY PARAMETERS -VOLATILE COMPOUNDS OF LEMON PEELS

TEKGÜL, Yeliz

Food Eng.

Supervisor: Prof. Dr. Taner BAYSAL

February 2019, 138 pages

In this thesis, the optimum drying conditions in six different drying systems of the Lamas lemon peels has been determined and to evaluated the changes in the flavor components with some quality characteristics by producing in the determined conditions.

The optimum drying conditions in vacuum infrared, vacuum microwave and tray dryers were determined using the response surface methodology (RSM). For the dried samples, moisture, water activity, color, pH, acidity, bulk density, total phenolic content, total antioxidant activity, total carotenoid, vitamin C content, drying kinetic analysis and volatile component analysis and sensory analysis were performed.

As a result, there was a difference between the quality characteristics of the lemon peels and the differences in the drying method affected the quality of the products. In addition to the quality of the dried peels, the consumer preference was tested with the sensory analyses. The microwave and lyophilized dried samples were found to have the highest overall preference scores.

Key words: Lemon peels, drying, optimization, quality, volatile components

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında farklı kurutma teknikleri kullanılarak limon kabuğu tozu üretimi gerçekleştirilmiştir. Tepsili kurutucu, vakumlu mikrodalga ve vakumlu infrared kurutucularda, limon kabuğunun belirlenen parametreler doğrultusunda optimum kurutma koşulları belirlenmiştir. Farklı kurutma teknikleri kullanılarak üretilen limon kabuğu tozlarının bazı kalite özellikleri ve aroma bileşenleri incelenmiştir.

Öncelikle tez konusunu seçerken isteklerimi göz önünde bulundurup bana yardımcı olan tez danışmanım Prof. Dr. Taner BAYSAL' a teşekkürlerimi sunarım. Bu zorlu tez sürecinde benden desteğini bir an için bile esirgemeyen tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İzmir

27/02/2019

Yeliz TEKGÜL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇ KAPAK	ii
KABUL ONAY SAYFASI.....	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYAN.....	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	xii
ÖNSÖZ	xiv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	xvi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xxi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxvii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1 Limon.....	4
2.1.1 Dünyada ve Türkiye’de Limon Üretimi.....	8
2.1.2 Limon meyvesinin kimyasal bileşimi.....	11
2.1.3 Limonun kullanım alanları.....	13

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

2.2 Gıdaların Kurutulması ve Kurutma Teknikleri.....	14
2.2.1 Gıdaların kurutulması.....	14
2.2.2 Açık hava kurutma.....	15
2.2.3 Tepsili kurutucuda kurutma.....	18
2.2.4 Mikrodalga kurutma.....	20
2.2.5 Vakumlu mikrodalga kurutma.....	24
2.2.6 Vakumlu infrared kurutma.....	31
2.2.7 Dondurarak Kurutma.....	35
2.3 Yanıt yüzey metodu (Response Surface Methodology) (RSM).....	38
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	41
3.1 Gereç.....	41
3.2 Yöntem.....	41
3.2.1 Kurutma teknikleri.....	42
3.2.1.1 Açık hava kurutma.....	42
3.2.1.2 Tepsili kurutucu ile kurutma.....	42
3.2.1.3 Mikrodalga kurutma.....	42
3.2.1.4 Vakumlu mikrodalga kurutma.....	43
3.2.1.5 Vakumlu infrared kurutma.....	43

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.2.1.6 Dondurarak kurutma.....	43
3.2.2 Analiz Yöntemleri.....	44
3.2.2.1 Deneysel tasarım ve istatistiksel analiz.....	44
3.2.2.2 pH analizi.....	47
3.2.2.3 Asitlik tayini.....	47
3.2.2.4 C vitamini analizi.....	48
3.2.2.5 Toplam antioksidan aktivite tayini.....	48
3.2.2.5.1 DPPH radikalyakalama yöntemi.....	48
3.2.2.5.2 ABTS radikal yakalama yöntemi.....	49
3.2.2.6 Toplam fenolik madde tayini.....	49
3.2.2.7 Toplam karotenoid miktarı analizi.....	50
3.2.2.8 Uçucu bileşen tayini.....	50
3.2.2.9 Nem tayini.....	51
3.2.2.10 Renk tayini.....	51
3.2.2.11 Su tutma kapasitesi tayini.....	51
3.2.2.12 Su aktivitesi tayini.....	52
3.2.2.13 Yıgın yoğunluğu analizi.....	52
3.2.2.14 Kurutma kinetiğinin hesaplanması.....	52
3.2.2.14.1 Serbest nem içeriğinin hesaplanması.....	52

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.2.2.14.2 Kuruma hızının hesaplanması.....	52
3.2.2.14.3 Etkin difüzyon katsayısının hesaplanması.....	53
3.2.2.15 Duyusal analiz.....	54
3.2.2.16 İstatistiksel analiz.....	54
4. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	55
4.1 Tepsili kurutucu, vakumlu mikrodalga ve vakumlu infrared kurutucularda kurutma işlem parametrelerinin yanıt yüzey metodu (RSM) ile optimizasyonu.....	55
4.1.1 Tepsili kurutucudaki kurutma işlem parametrelerinin yanıt yüzey metodu (RSM) ile optimizasyonu.....	55
4.1.2 Vakumlu mikrodalga kurutucudaki kurutma işlem parametrelerinin yanıt yüzey metodu (RSM) ile optimizasyonu.....	62
4.1.3 Vakumlu infrared kurutucudaki kurutma işlem parametrelerinin yanıt yüzey metodu (RSM) ile optimizasyonu.....	70
4.2. Limon kabuğu tozlarının fiziksel, kimyasal ve duyusal analiz sonuçları.....	75
4.2.1 pH analizi sonuçları.....	75
4.2.2 Asitlik tayini sonuçları.....	76
4.2.3 C vitamini analizi sonuçları.....	77
4.2.4 Toplam antioksidan aktivite tayini sonuçları.....	78
4.2.5 Toplam fenolik madde tayini sonuçları.....	81
4.2.6 Toplam karotenoid miktarı analiz sonuçları.....	82

İÇİNDEKİLER (devam)Sayfa

4.2.7 Uçucu bileşen analiz sonuçları.....	84
4.2.8 Renk analizi sonuçları.....	92
4.2.9 Su tutma kapasitesi tayini sonuçları.....	98
4.2.10 Su aktivitesi tayini sonuçları.....	99
4.2.11 Yığın yoğunluğu analiz sonuçları.....	99
4.2.12 Kurutma kinetiği sonuçları.....	100
4.2.13 Duyusal analiz sonuçları.....	102
4.2.14 Temel bileşen analizi sonuçları.....	105
5.GENEL SONUÇLAR.....	107
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	112
TEŞEKKÜR.....	137
ÖZGEÇMİŞ.....	138
EKLER DİZİNİ.....	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Limon meyvesinin bölümleri.....	4
2.2 Limon (<i>Citrus limonia</i> (L.) Burm. f.).....	5
3.1 Lamas limonu.....	41
3.2 Vakumlu Mikrodalga Kurutucu Sistem Şeması.....	43
3.3 Liyofilizatör.....	43
4.1 b^* değeri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler.....	58
4.2 b^* değeri için yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrisi.....	59
4.3 Kuruma süresi için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler.....	59
4.4 Kuruma süresi değeri için yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrisi.....	60
4.5 Limonen miktarı için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler.....	60
4.6 Limonen miktarı için yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrisi.....	61
4.7 b^* değeri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler.....	66
4.8 b^* değeri için yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrisi.....	66
4.9 Kuruma süresi için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler.....	67

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

4.10 Kuruma süresi değeri için yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrisi.....	68
4.11 Limonen miktarı için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler.....	68
4.12 Limonen miktarı için yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrisi.....	69
4.13 b^* değeri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler.....	73
4.14 Kuruma süresi için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler.....	73
4.15 Limonen miktarı için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler.....	74
4.16 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının EC_{50} değerleri.....	79
4.17 Farklı tekniklerle kurutulan limon kabuklarına ait kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi.....	101
4.18 Farklı tekniklerle kurutulan limon kabuklarına ait boyutsuz nem içeriğinin zamana bağlı değişimi.....	101
4.19 Farklı tekniklerle kurutulan limon kabuklarına ait nem içeriğinin zamana bağlı değişimi.....	102
4.20 Farklı tekniklerle kurutulan limon kabuğu tozları.....	103
4.21 Farklı kurutma yöntemleriyle üretilmiş limon kabuğu tozlarının bazı kalite özelliklerine ait biplot (iki ölçekli) diyagramı.....	105

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Ülkelerin limon üretim miktarları (FAO, 2016).....	8
2.2 Türkiye'deki toplam limon üretimi miktarları (Türkiye İstatistik Kurumu, 2016).....	10
2.3 Türkiye'de en fazla limon üretimi yapan illere ait limon üretim alanları ve toplam limon üretimi miktarları (Türkiye İstatistik Kurumu, 2015).....	11
3.1 Tepsili kurutucuda kurutma işleminin optimizasyonu için değişkenler ve seviyeleri.....	44
3.2. Vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutma işleminin optimizasyonu için değişkenler ve seviyeleri.....	44
3.3 Vakumlu infrared kurutucuda kurutma işleminin optimizasyonu için değişkenler ve seviyeleri.....	45
3.4 Tepsili kurutucuda kurutma işleminin optimizasyonunda kullanılan deneysel tasarım.....	45
3.5 Vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutma işleminin optimizasyonunda kullanılan deneysel tasarım.....	46
3.6 Vakumlu infrared kurutucuda kurutma işleminin optimizasyonunda kullanılan deneysel tasarım.....	46
4.1 Tepsili kurutucudaki kurutma işlemi için kullanılan deneme planı ve elde edilen sonuçlar.....	56
4.2 Tepsili kurutucu denemelerine ait b^* , kuruma süresi, limonen yanıtları için elde edilen ANOVA tablosu ve model parametreleri.....	57
4.3 Tepsili kurutucu ile limon kabuklarının kurutulması için istenilirlik fonksiyonu ile belirlenen optimum nokta çözümleri.....	62

ÇİZELGELER DİZİNİ (Devam)

Çizelge

Sayfa

4.4 Optimum noktada ortalama deneysel değerlerin modelden tahminlenen değerler ile kıyaslanması.....	64
4.5 Vakumlu mikrodalga kurutucudaki kurutma işlemi için kullanılan deneme planı ve elde edilen sonuçlar.....	64
4.6 Vakumlu mikrodalga kurutucu denemelerine ait b^* , kuruma süresi, limonen yanıtları için elde edilen ANOVA tablosu ve model parametreler.....	65
4.7 Vakumlu mikrodalga kurutucu ile limon kabuklarının kurutulması için istenilirlik fonksiyonu ile belirlenen optimum nokta çözümleri.....	69
4.8 Optimum noktada ortalama deneysel değerlerin modelden tahminlenen değerler ile kıyaslanması.....	70
4.9 Vakumlu infrared kurutucudaki kurutma işlemi için kullanılan deneme planı ve elde edilen sonuçlar.....	71
4.10 Vakumlu infrared kurutucu denemelerine ait b^* , kuruma süresi, limonen yanıtları için elde edilen ANOVA tablosu ve model parametreler.....	72
4.11 Vakumlu infrared kurutucu ile limon kabuklarının kurutulması için istenilirlik fonksiyonu ile belirlenen optimum nokta çözümleri.....	74
4.12 Optimum noktada ortalama deneysel değerlerin modelden tahminlenen değerler ile kıyaslanması.....	75
4.13 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının pH değerleri.....	76
4.14 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının asitlik değerleri.....	77
4.15 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının C vitamini miktarları.....	77

ÇİZELGELER DİZİNİ (Devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.16 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının DPPH metoduna göre saptanan toplam antioksidan aktiviteleri.....	79
4.17 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının ABTS metoduna göre saptanan toplam antioksidan aktiviteleri.....	80
4.18 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının toplam fenolik madde miktarları.....	82
4.19 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının toplam karotenoid miktarları.....	83
4.20 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının uçucu aroma bileşenleri ve miktarları.....	85
4.21 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının $m/z=69$ pik alanına göre hesaplanan limonen miktarları (mg/g km).....	91
4.22 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının L^* değerleri.....	93
4.23 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının a^* değerleri.....	94
4.24 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının b^* değerleri.....	95
4.25 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının ΔE değerleri.....	96
4.26 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının ΔC değerleri.....	96
4.27 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının Hue açısı değerleri.....	97
4.28 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının su tutma kapasitesi değerleri.....	98

ÇİZELGELER DİZİNİ (Devam)ÇizelgeSayfa

4.29 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının su aktivitesi değerleri.....	99
4.30 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının yığın yoğunlukları.....	100
4.31 Farklı kurutma teknikleri ile kurutulan örneklerle ait efektif difüzyon katsayıları.....	102
4.32 Farklı kurutma teknikleri ile kurutulan örneklerle ait puanlama testi sonuçları.....	104

SİMGELER VE KISALTMALAR

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AH	Açık hava kurutma
TR	Tepsili kurutma
MD	Mikrodalga kurutma
VM	Vakumlu mikrodalga
Vİ	Vakumlu infrared
FD	Dondurarak kurutma
Adj-R ²	Düzeltilmiş regresyon katsayısı
Adeq. Precision	Yeterli kesinlik
ANOVA	Varyans analizi
C.V.	Değişim katsayısı
PRESS	Tahminlenmiş hata kareler toplamı
Pre-R ²	Tahminlenmiş çoklu regresyon katsayısı
R ²	Regresyon katsayısı
RSM	Response surface methodology (Yanıt-Yüzey Yöntemi)
SPSS	Statistical Package for the Social Science

1.GİRİŞ

Gıda endüstrisinde ürünlerin üretimi ve tüketimi sırasında katı ve sıvı atıklar açığa çıkmaktadır. Bu atıklar direkt olarak çevreye verildiğinde kirliliğe, değerli biyokütle ve besinlerin kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle gıda sanayi artık ve atıklarının işlenerek ekonomik değer taşıyan yeni ürünlere dönüştürülmesi gerekliliği önem kazanmaktadır (Dereli ve Baykasoğlu, 2002).

Üretim miktarı 121 milyon tonun üzerinde olan narenciye (portakal, limon, greyfurt, mandalina ve lime) dünyada en fazla yetiştirilen tarım ürünlerindendir. Mahsulün üçte biri işlenmektedir (FAO, 2015). İşlenen tonlarca üründen açığa çıkan artık ve atıklar mikrobiyal bozulmaya uğrayabilmekte ve çevre kirliliğine neden olmaktadır (Laufenberg et al.,2003; Montgomery, 2004). Narenciye kabukları flavonoidlerce zengin olup yüksek konsantrasyonda fenolik bileşenler içermektedir (Hayat et al., 2010; Kamran et al., 2009). Besleyici değeri yüksek olan narenciye kabukları kısa vadede hayvan yemi olarak değerlendirilebilmesinin yanı sıra kurutularak uzun süre saklanabilmekte ve pek çok gıda maddesinde katkı olarak kullanılabilmektedir (Mirzaei-Aghsaghali and Maheri-Sis, 2008).

TÜİK verilerine göre Türkiye’de yıllık limon üretim miktarı 750 000 tondur (TÜİK, 2015). Meyve sebze işleme tesislerinde ve evlerde kullanılan limonlardan fazla miktarda kabuk açığa çıkmaktadır. Limon kabuğu C vitamini, niasin, folik asit, diyet lif, pektin, potasyum, kalsiyum, magnezyum gibi gıda bileşenlerini içermekte ve beslenme açısından önem taşımaktadır. Ayrıca yapısında antioksidan özellik sağlayan çeşitli flavonoidler, flavonlar ve fenilpropanoidler bulunduğundan serbest radikallerin vücut dokularına zarar vermelerini engellemekte, kanser hücrelerinin gelişimini önlemekte, bağışıklık sistemini güçlendirmekte, kardiyovasküler hastalıklara yakalanma riskini azaltmaktadır (Proteggente et al., 2002; Wilmsen et al., 2005; Benavente-García and Castillo, 2008; Vanamala et al., 2006). Biyoyararlılığı yüksek olan limon kabuğu, gıda başta olmak üzere ilaç ve kozmetik sanayiinde değerlendirilmektedir. Ayrıca limon kabuğunun sulu çözeltilerinden bakır giderimi için adsorbant olarak faydalanılmaktadır. Uçucu bileşenleri içermesinden ötürü kurutulup değerlendirilerek bitkisel çaylarda, gıda

ürünlerinde katkı maddesi ve aroma artırıcı olarak kullanılabilmektedir (Yoo et al., 2004).

Kurutma, meyve sebze işleme endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir prosestir. Ancak kurutma, her işleme yöntemi gibi ürün kalitesini olumsuz yönde etkileyecek bazı reaksiyonları hızlandırıcı etki göstermektedir. Kurutmada kullanılan yöntem ve kurutma koşulları son ürünün kimyasal ve duyuşsal özelliklerini etkilemektedir. Bu nedenle besin değeri, aroma ve lezzetin en yüksek düzeyde olduğu bir üretim için kurutma işlemlerinin kontrollü yapılması ve ürün kalitesi açısından optimize edilmesi gerekmektedir (Cemeroğlu, 2004).

Bir gıdanın lezzetini oluşturan tat ve aroma, gıdaların kalite yönünden ve tüketici tarafından kabul edilebilirliğini belirleyen önemli duyuşsal etkenlerdir. Yeni ürün geliştirmede veya mevcut ürünleri iyileştirmede, lezzetin gıda bileşenleriyle etkileşiminin ve gıda matrisinin bileşiminde bulunan uçucu aroma bileşenlerinin çevreye salınmasına etki eden faktörlerin bilinmesi gerekmektedir (Yılmaz ve İşleten, 2004).

Aroma, turunçgillerin yenilebilirliği ve bunlardan elde edilen işlenmiş ürünlerin kalitesi üzerine etki eden en önemli faktördür (Yu et al., 2007). Gıda maddelerinin kurutulması sırasında birçok fiziksel, kimyasal, mekanik, biyokimyasal ve mikrobiyal olay oluşmakta ve son ürünün aroma profili ve kalite özellikleri etkilenmektedir. Bu nedenle her gıda maddesi için uygun kurutma koşulları, kurutma işlemi sırasında gıda maddesinde gözlenen değişimler saptanarak proses kinetiğini kontrol eden faktörlerin etki dereceleri hesaplandıktan sonra belirlenmelidir (Evranuz, 1988).

Tüketiciler en az düzeyde işlem görmüş, doğal, sağlıklı ve beslenme fizyolojisi açısından kaliteli gıdaları talep etmektedir. Bu durum gıda endüstrisinde uygulanan konvansiyonel işleme yöntemlerine alternatif olan yeni işleme yöntemleri ile ilgili yapılan araştırmalarda artışa neden olmaktadır (Baysal vd., 2011).

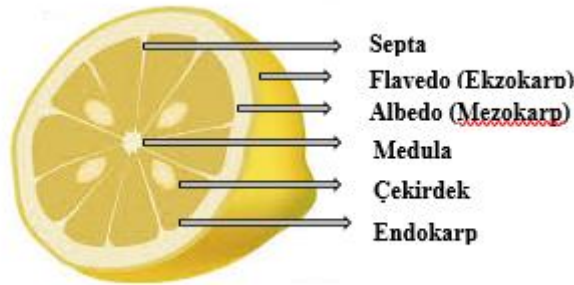
Bu tez çalışmasının amacı, vakumlu mikrodalga, vakumlu infrared ve tepsili kurutucuda lamas cinsi limon kabuğunun optimum kurutma koşullarının belirlenmesi, belirtilen yöntemlerde optimum koşullarda kurutma yapılarak farklı kurutma tekniklerinin (açık havada kurutma, vakumlu mikrodalga, vakumlu infrared, tepsili kurutucu, mikrodalga, liyofilizatör) uçucu bileşenler ve ürün kalitesine etkileri açısından karşılaştırmasıdır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Limon

Limon, *Citrus limon* (L.) Burm. f. Latince ismiyle bilinen, turunçgil sınıfında yer alan, ılıman iklimin hakim olduğu tüm ülkelerde çeşitli türleri yetiştirilebilen, yaprak dökmeyen bir ağacın meyvesidir. Limonun anavatanı Hindistan'ın kuzeyi ve Çin'in güneyidir (Anon, 2008). Turunç (*Citrus aurantium*) ve ağaç kavunu (*Citrus medica*) hibriti olduğu kabul edilmektedir (Anon, 2015).

Limon meyvesinin yapısı “hesperidium” olarak bilinen narenciye çeşitlerine benzerlik göstermektedir (Rieger, 2006). Şekil 2.1’de limon meyvesinin bölümleri yer almaktadır. Perikarp, renkli katman olan flavedo, kabuğun beyaz tabakasını oluşturan albedo ve çekirdekleri çevreleyen endokarp olmak üzere 3 tabakadan oluşmaktadır (Goodrich, 2003; Rieger, 2006; Guimarães et al., 2010; Anon, 2010).



Şekil 2.1 Limon Meyvesinin Bölümleri (Anon, 2010)

Flavedo tabakası selüloz, uçucu yağlar, parafin mumları, steroidler, triterpenoidler, yağ asitleri, renk pigmentleri ve enzimlerden oluşmaktadır. İç kısımlara doğru giderek kalınlaşan hücre katmanlarını içermektedir (Izquierdo and Sendra, 2003).

Albedo tabakası ekzokarp ile endokarp arasında yer almakta olup selüloz, çözünür karbonhidratlar, pektin, protopektin, flavonoidler, aminoasitler ve bazı vitaminleri içermektedir (Goodrich, 2003). Meyvenin diğer bölümlerine kıyasla

albedo ve flavedo tabakalarında daha yüksek konsantrasyonda acılık bileşenleri ve pektin bulunmaktadır (Baldwin, 1993).

Endokarp, meyve suyu içeren veziküllerden oluşmaktadır. Veziküller, hemiselülozlar, pektin, protopektin, şekerler, flavonoidler, aminoasitler ve C vitamini gibi bileşenleri içermektedir. (Goodrich, 2003).

Türkiye’de yetiştirilen başlıca limon çeşitleri Lamas, İtalyan memeli, Kıbrıs, Molla Mehmet, Kütdiken, Mayer, Yediveren, Lisbon, Misket ve Enterdonat’tır. Lamas bilinen en eski ve en ünlü Türk limon çeşididir. Uzun ve silindirik şekilli olan meyvenin kabuğu sarı renkli, pürüzsüz ve orta kalınlıktadır. Meyve suyu verimi sitrik asit cinsinden %34-35, asit miktarı ise %7-8’dir. Meyveleri erken olgunlaşan çeşidin hasatı kasım ayı başında başlar. Depolamaya uygundur. Yetiştği yöre haricinde uygun olmayan ekolojilerde meyve kalitesi düşer. Bu nedenle yaygın bir çeşit değildir (Kafa, 2015).



Şekil 2.2 Limon (*Citrus limonia* (L.) Burm. f.) (Anon, 2010)

İtalyan Memeli, Batı Akdeniz Bölgesinde Kara Limon olarak adlandırılan ve İtalya kökenli olan limon çeşididir. Kütdiken’den sonra Türkiye’de en çok yetiştirilen çeşittir. Meyveleri topaç görünümlü ve meme kısmı belirgindir. Meyve kabuğu limon sarısı renginde, orta kalınlıkta olup yüzeyi ince ve küçük gözeneklerle kaplıdır. Hasat olgunluğundaki meyvede su oranı %35-36 ve asit oranı %6-7’dir (Kafa, 2015).

Kıbrıs limonu, Türkiye’de en fazla Alanya ve çevresinde yetiştirilmekte olan limon çeşidi olup meyveleri kasım ayı ortalarından itibaren olgunlaşır. Depolamaya

fazla elverişli olmayan türün kabuğu sarı renkli, parlak, düzgün, dalgalı ve kalınlığı 5-6 mm' dir. Meyveleri oval-silindirik şekillidir. Sap kısmında belirgin sayılabilecek bir boyun olmasına karşın limonlara özgü meme yok denecek kadar küçüktür. Meyve suyunun asit içeriği %7-10 civarındadır (Kafa, 2015).

Molla Mehmet limonu, Türkiye' de daha çok Mersin ilinde yaygın olarak üretilen bir çeşittir. Meyveleri sarı renkli, kabuğu girintili çıkıntılı olup orta kalınlıktadır. Meyvenin sap tarafında belirgin bir boyun bulunur. Meme, küt ve kaba yapılıdır. Suda çözünebilir kuru madde miktarı %8-10, titre edilebilir asit içeriği %6-10 civarındadır (Kafa, 2015).

Kütdiken limonu, Eureka grubunun Feminello alt grubunda yer almakta ve periyodisite göstermemektedir. Yüksek verimli olan Kütdiken limonu İtalya kökenlidir. Özellikleri bakımından değerlendirildiğinde dünyanın en üstün kalitesine sahip limon çeşididir. Meyveleri elips şeklinde olup meme kısmı belirgin değildir. Meyve kabuğu açık yeşil-sarı renkte, pürüzsüz, parlak ve meyveye sıkıca bağlıdır. Türkiye'de geniş çapta yetiştiriciliği yapılan ve en çok depolanan limon çeşididir. Kütdiken'in depolama süresi ortalama 12 aydır. Hasat olgunluğuna ulaşmış meyve suyu verimi %32-33, asit oranı %7-8'dir (Kafa, 2015).

Mayer limonu çeşidinin en önemli özelliği ağacının küçük olmasıdır. En fazla 2.5 metre uzayabilmektedir. Diğer çeşit limonlara kıyasla dona karşı daha dayanıklıdır (Kafa, 2015).

Bol güneşli ve gece-gündüz arasındaki sıcaklık farkının düşük olduğu iklimde yetişen Yediveren çeşidi, yılın her mevsiminde meyve vermektedir. Portakal ve limon karışımı bir tadı mevcuttur (Kafa, 2015).

Lisbon limonunun Türkiye'deki yetiştiriciliği yaygın değildir. Meyvesi Mayer limonunun iki katı büyüklüktedir. Meyve kabuğu sarı renkte ve kalındır (Kafa, 2015).

Misket limonu, Türkiye’de yeşil limon veya lime olarak bilinen limon çeşididir. Kokteyl ve içeceklerin yapımında kullanılır. Eylül ve Ekim aylarında hasat edilen meyvenin kabuğu yeşil renkli ve incedir (Kafa, 2015).

Enterdonat limon çeşidini en çok yetiştiren ve ihraç eden ülke Türkiye’dir. Türkiye’de ihraç edilen limonların yaklaşık olarak 2/3’ünü Enterdonat oluşturmaktadır. 1926 yılında Türkiye’ye giren ve Lisbon grubunda yer alan bu çeşidin orijini Sicilya’dır. Orta verimli olan meyve çeşidinin ağacı, çevre koşullarına karşı çok duyarlı olduğundan hızla yaprak döker. Meyveleri uzunca silindirik şekilli, meme çok belirgin ve eğiktir. Kabuğu orta kalınlıkta ve meyvesi orta sulu bir çeşittir. Olgunlukta meyve ağırlığının %30’unu meyve suyu teşkil eder. Türkiye’de yetiştirilen limon çeşitlerinin en erkenci olanıdır. Olgunlaşma zamanı Eylül sonu ve Ekim ayı ortasıdır. Depolama ve taşımaya elverişli bir çeşittir. Genellikle pazar isteği doğrultusunda kısa süreli muhafazası yapılır (Kafa, 2015).

2.1.1 Dünyada ve Türkiye’de limon üretimi

Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) 2016 verilerine göre dünyada en çok limon üreten ülkeler ve üretim miktarları Çizelge 2.1 de verilmiştir. Dünya üzerinde yılda ortalama toplam 10000 ton limon üretilmektedir. Limon üretim miktarının yüksek olduğu ülkeler sırasıyla Meksika, Hindistan, Brezilya, İspanya, İran, ABD, Türkiye ve Arjantin’dir. 2013/14 yıllarında Türkiye’deki limon üretimi 725 tondur.

Çizelge 2.1 Ülkelerin limon üretim miktarları (FAO, 2016)

Yıllar	1989/90	1999/00	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14
Dünya	5843.0	8521.9	12520.3	12924.8	12756.8	13414.3	13303.5	12943.4	13172.3
Kuzey Yarımküre	6568.0	9400.7	9942.2	10001.8	9972.5	9996.7	9771.5	10490.3	4667.0
ABD	811.3	789.5	561.9	827.4	882.0	920.0	850.0	912.0	832.0
Akdeniz Bölgesi	2502.6	2615.6	2714.7	2688.3	2933.1	2927.7	2675.9	3173.6	2178.4
Kıbrıs	48.1	36.8	9.4	8.0	10.8	18.9	11.6	14.8	9.0
Yunanistan	167.2	141.8	45.0	29.6	33.0	46.0	45.0	55.5	79.0
İtalya	756.1	657.8	553.5	518.5	544.5	544.9	458.2	460.0	545.0
İspanya	562.4	702.8	750.0	687.9	558.2	717.9	736.2	666.7	1057.0
Mısır	159.8	305.8	324.5	329.7	320.0	320.0	320.0	323.0	301.0
Lübnan	53.6	95.1	114.0	115.0	85.0	80.0	82.0	82.0i	82.0
Suriye	18.3	59.4	137.3	140.6	142.2	161.6	147.6	148.0	148.0
Türkiye	273.9	356.3	495.0	672.0	783.6	787.1	790.2	710.2	725
Diğer	41.8	78.9	22.0	25.5	22.5	22.5	23.5	24.0	23.6

Portekiz	10.4	11.2	13.0	12.8	13.1	14.0	14.0	14.0	15.3
Guatemala	98.9	125.2	107.3	115.6	121.6	109.1	112.0	110.0	110.0
Meksika	661.1	1032.0	2229.0	1966.0	1891.0	2133.0	2055.0	1950.0	2250.0
İran	168.7	779.1	694.9	1012.4	1016.2	992.4	997.1	1023.7	1024.0
Çin		2.1	14.3	197.0	227.5	250.0	300.0	350.0	400.0
Hindistan		538.9	1078.0	2501.7	2571.5	2629.2	2108.0	2200.0	2200.0
Tayland	1.0	74.7	162.7	159.1	171.1	120.4	130.0	130.0	130.0
Arjantin	432.5	816.8	1360.0	1350.0	1000.0	1550.0	1300.0	1300.0	700.0
Bolivya		35.9	60.5	28.4	28.6	17.8	17.9	19.0	19.0
Brezilya		331.0	508.1	965.3	899.8	1020.7	1126.7	1208.3	1100.0
Şili		67.6	110.8	166.0	162.0	155.0	153.0	160.0	160.0
Peru		118.1	241.2	236.3	208.0	233.0	224.7	234.1	230.0
Uruguay	44.4	33.0	42.0	38.0	38.0	47.0	40.0	31.0	34.4
Avustralya	37.8	34.4	35.9	24.8	24.8	24.8	25.0	25.0	25.0
K. Afrika	56.8	76.1	230.0	214.0	216.0	257.0	260.0	245.0	312.0
Fas	14.7	12.2	35.0	42.0	42.0	80.0	154.4	47.5	41.0
Tunus	18.7	15.7	37.5	41.8	37.3	47.5	49.0	44.0	58.0

Türkiye’deki limon üretim miktarları yıllara göre farklılık göstermektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2015 yılı verilerine göre Türkiye’de yıllara göre limon üretim miktarları Çizelge 2.2’de verilmiştir. 2002 yılından 2011 yılına kadar limon üretim miktarlarında artış görülmüştür. 2002-2015 yılları arasında en fazla limon üretiminin gerçekleştirildiği tarih 2011 yılı olup toplam 790.211 ton limon üretilmiştir.

Çizelge 2.2 Türkiye’deki toplam limon üretimi miktarları (TÜİK, 2016)

Yıllar	Üretim Miktarı (Ton)
2002	525.000
2009	783.587
2010	787.063
2011	790.211
2012	710.211
2013	726.283
2014	725.230
2015	750.550

Türkiye’de turunçgil üretiminin %95’i Ege ve Akdeniz kıyılarında gerçekleştirilmektedir. Toplam turunçgilin yaklaşık %72’si Çukurova Bölgesi’nde üretilmektedir. Greyfurtun %96’sı, portakalın %62’si, mandalınanın %75’i, limonun ise %86’sı bu bölgeden sağlanmaktadır. İkinci büyük turunçgil üretim yeri Antalya’dır. Toplam turunçgil üretiminin %17’si Antalya’dan sağlanmaktadır. Antalya’da en çok üretilen turunçgil çeşidi portakal olup 2013 yılı verilerine göre Türkiye’de yetiştirilen portakalın %28’i burada üretilmektedir. Turunçgil üretiminde üçüncü sırada yer alan il İzmir’dir. Toplam üretimin %4’ü İzmir’de gerçekleştirilmektedir. İzmir’de en fazla üretimi yapılan turunçgil çeşidi mandalınadır. 2013 yılı verilerine göre Türkiye’de yetiştirilen mandalınanın %16’sı İzmir’den karşılanmaktadır (ZMO, 2014). Türkiye’de en fazla limon üretimi yapan illere ait limon üretim alanları ve toplam limon üretimi miktarlarına ilişkin bilgiler Çizelge 2.3’de verilmiştir. Turunçgillerden limonun Türkiye’de en fazla üretildiği iller sırasıyla Mersin, Adana, Antalya, Muğla, Hatay ve Aydın’dır. Limon üretiminde 450.878 ton ile ilk sırada yer alan Mersin ilinde, yetiştirilen ağaç başına ortalama meyve verimi oranı diğer illere kıyasla en yüksektir (TÜİK, 2015).

Çizelge 2.3 Türkiye’de en fazla limon üretimi yapan illere ait limon üretim alanları ve toplam limon üretimi miktarları (Türkiye İstatistik Kurumu, 2015)

	Toplu meyveliklerin alanı(dekar)	Üretim(ton)	Ağaç başına ortalama verim(kg)
Mersin	145.152	450.878	122
Adana	77.620	131.955	83
Antalya	17.775	71.046	120
Muğla	26.109	54.556	79
Hatay	17.853	38.856	105
Aydın	563	1.417	36

2.1.2 Limon meyvesinin kimyasal bileşimi

Turunçgiller düşük asitli (portakal, mandalina, greyfurt) ve yüksek asitli (limon ve lime) olarak sınıflandırılmaktadır. Turunçgil kabukları antioksidan özellik gösteren fenolik bileşiklerce (flavonoidler ve fenolik asitler) zengindir. Turunçgil flavonoidleri antikarsinogenik, antienflamatuar, antiviral özellik gösteren polimetoksilenmiş flavonlar ve glikolize flavanonlar içermektedir. Limon meyvesi portakala kıyasla daha asidik olup daha düşük protein ve şeker içermektedir (Gorinstein, et al., 2001; Jaganath and Crozier, 2009). 100 gram taze limon meyvesinin besin içeriği Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Çizelge 2.4 Limon Meyvesinin Besin Değerleri (USDA, 2016)

<u>Bileşen</u>	<u>Miktar (g/ 100 g)</u>	<u>Birim</u>
Su	88.98	g
Enerji	29	kcal
Enerji	121	kj
Protein	1.10	g

Toplam Lipid	0.30	g
Kül	0.30	g
Karbonhidrat	9.32	g
Diyet Lif	2.8	g
Toplam Şeker	2.50	g
Ca	26	mg
Fe	0.60	mg
Mg	8	mg
P	16	mg
K	138	mg
Na	2	mg
Zn	0.06	mg
Cu	0.037	mg
Mn	0.030	mg
Se	0.4	µg
Vitamin C	53.0	mg
Tiamin	0.040	mg
Riboflavin	0.020	mg
Niasin	0.100	mg
Pantotenik asit	0.190	mg
Vitamin B-6	0.080	mg
Folat	11	µg
Toplam kolin	5.1	mg
Vitamin A	1	µg
Retinol	0	µg
β -Karoten	3	µg
α -Karoten	1	µg
β-Kriptoksantin	20	µg
Vitamin A	22	µg
Likopen	0	µg
Lutein + zeaksantin	11	µg
Vitamin E	0.15	mg
Yağ asidi (toplam doymuş)	0.039	g
Yağ asidi (toplam tekli doymamış)	0.011	g
Eriodisitol	21.4	mg
Hesperetin	27.9	mg
Naringenin	0.6	mg
Apigenin	0.0	mg
Luteolin	1.9	mg
Kaempferol	0.0	mg
Mirisetin	0.5	mg
Kuersetin	1.1	mg

2.1.3 Limonun kullanım alanları

Limon, suyu, kabuğu, ağacı ve yaprakları çeşitli alanlarda değerlendirilebilen bir narenciye türüdür. Limon suyu, konsantre edilerek, dondurularak, konserve ya da toz haline getirilerek limonata ve gazlı içeceklerin yapımında kullanılmaktadır. Pişmiş yemeklerde ve salatalarda garnitür olarak kullanılmasının yanı sıra şekerleme ve tatlı (kek, puding, kurabiye, sufle, dondurma, marmelat, jöle, reçel, şurup vb.) üretiminde değerlendirilmektedir. Limon suyu diüretik ve antiskorbütik özellik gösterdiğinden diş eti iltahabı ve ağız içi yaraların tedavisinde kullanılmaktadır. Hindistan'da sarılık, soğuk algınlığına bağlı ateş, hemoroid, romatoit artirit, baş ağrısı, kalp çarpıntısı, ülser, öksürük, saç dökülmesi, karaciğer ve böbrek hastalıklarının tedavisinde limon suyundan faydalanılmaktadır (Morton, 1987; Kimball et al., 2005).

Limon kabuğunun preslenmesi ile elde edilen limon yağı, ekonomik değeri oldukça yüksek bir üründür. Meyvenin cinsine, uygulanan işlemin etkinliğine bağlı olmak üzere 1 ton limondan ortalama 4 -10 kg limon yağı elde edilmektedir. Elde preslenmiş limon yağları, kozmetik sanayinde parfüm üretiminde kullanılmaktadır. Gıda, ziraat, ilaç ve kozmetik endüstrilerinde bakterisidal, fungusidal, virüsidal ve insektisidal uygulamalarda limon yağından faydalanılmaktadır. Kurutulmuş limon kabuğu tozu ve limon suyu üretiminde klarifikasyon sonucu açığa çıkan atıklar metallerin temizliğinde değerlendirilmektedir. Limonun albedo tabakası, gıda sanayinde jelleşme ajanı olarak kullanılan pektin kaynağıdır (Poucher, 1991; Kimball et al., 2005).

Afrika'da limon ağacının ince dallarının terapötik özellik gösterdiğine inanılmakta ve diş temizliğinde değerlendirilmektedir. Limon ağacının yaprakları kaynatılarak göz damlası ve gargara olarak kullanılmaktadır. Batı Afrika'da sıtma hastalığının tedavisinde limon yaprağına bazı bitkilerin ilave edilmesi ve kaynatılması yoluyla elde edilen sudan faydalanılmaktadır (Morton, 1987).

2.2 Gıdaların kurutulması ve kurutma teknikleri

Bu bölümde gıdaların kurutulmasına ait genel bilgiler özetlendikten sonra tez çalışmasında kullanılan açık hava kurutma, tepsili kurutucu, mikrodalga kurutucu, vakumlu mikrodalga kurutucu, vakumlu infrared kurutucu ve liyofilizatör ile ilgili bilgi verilmiş, bu konularda yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

2.2.1. Gıdaların kurutulması

Gıdadaki nem içeriğinin düşürülmesi olarak tanımlanan kurutma, bilinen en eski gıda koruma yöntemlerindendir. Kurutma sonucu su aktivitesi azaldığından minimum düzeyde mikrobiyal aktivite görülmektedir (Alves-Filho, 1996). Kurutulan gıdalarda nem kaybından ötürü ağırlık azalmakta, gıdaların taşınmasını kolaylaştırmakta ve depolama maliyetleri düşmektedir (Ratti, 2001).

Güneşte (doğal) ve yapay (suni) kurutucularda kurutma olmak üzere iki kurutma yöntemi bulunmaktadır (Cemeroğlu, 2004). Güneş ısısından faydalanılarak ürün içindeki su miktarının azaltıldığı yöntem doğall kurutma adı verilmektedir. Gıda maddelerinden bazıları güneşte kurutmaya uygun değildir. Ürünlerin güneşte kurutulması için geniş alanlara gereksinim duyulması, kuruma süresinin uzun oluşu, açıkta kurutulan ürünlerin tozlanması, kuş, böcek vb. canlılarca zarara uğratılmaları doğall kurutma yönteminin dezavantajlarındandır. Yapay kurutma yönteminde kurutma işlemi kontrollü şartlarda ve kapalı ortamlarda gerçekleştirilmekte, güneşte kurutma yönteminde görülen olumsuzluklar önlenmektedir (Dadalı, 2004; Soysal, 2007).

Kurutma yöntemleri çeşitli açılardan gruplandırılmaktadır. Bu gruplardan biri, kurutulacak maddenin suyunun uzaklaştırılması amacıyla gerekli ısının gıdaya taşınması yöntemine dayanmaktadır. Buna göre ısı, iletimle (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve radyasyonla (ışınım) sağlanır. Kondüksiyon kurutma yönteminde suyun buharlaştırılması için gerekli ısı, gıda maddesinin temas ettiği sıcak yüzeyden sağlanırken konvektif kurutma işleminde taşıyıcı bir gaz kullanılmaktadır. Radyasyondan faydalanılan kurutma yönteminde ise herhangi bir

taşıyıcı kullanılmaksızın ısı radyasyon kaynağı (mikrodalga, infrared vb.) ile gıdaya ulaşmaktadır (Land, 2011).

2.2.2 Açık hava kurutma

Gıda maddelerinin açık havada, güneş enerjisinden faydalanılarak kontrolsüz olarak kurutulduğu yöntemle açık hava kurutma adı verilmektedir. Geleneksel kurutma yöntemi, güneş ışınlarının yoğun ve güneşli geçen gün sayısının fazla olduğu bölgelerde küçük ya da orta ölçekli üretimler için kullanılabilecek çevre dostu kurutma tekniğidir. Ürünün güneş ışınlarına maruz kalma şekline göre doğrudan (açık hava) ve dolaylı (konvektif) olmak üzere ikiye ayrılır (Belessiotis and Delyannis, 2011). Geleneksel kurutma yönteminde güneş enerjisi, kurutmada gerekli ısının elde edilmesinde tek başına ya da başka kaynaklarla birlikte kullanılmaktadır. Güneş ışınlarının ürün tarafından soğurulma düzeyi ve kurutulan ürünlerin termal iletkenlikleri kurutmayı etkileyen önemli faktörlerdendir. Ekonomik nedenler göz önüne alındığında geleneksel kurutma yöntemiyle kurutulan ürünün kuruma hızının yüksek olması istenmektedir. Ancak bazı durumlarda ürünlerin yüzeyinde nem transferini olumsuz etkileyecek geçirimsiz kabuk tabakası oluşabilmektedir (Ekechukwu, 1987). Ayrıca kurutma sırasında koşullar kontrol edilemediğinden üründe bozulmalar görülebilmektedir. Meyveler yüksek asit ve şeker içermelerinden ötürü sebzelere kıyasla geleneksel yöntemle kurutulmaya daha uygundur (Belessiotis and Delyannis, 2011).

Literatürde açık havada kurutma ile ilgili yapılan çalışmalarda güneş enerjisinden faydalanmayı esas alan farklı tipte kurutucuların üretildiği görülmektedir. Chen et al. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada kabin tipi, fotovoltarik sistem içeren, güneş enerjisi ile çalışan pilot ölçekli kurutucu tasarlanmıştır. Kalınlıkları 4-6 mm olan limon dilimleri, tasarlanan kurutucu ve tepsili kurutucuda (60 °C) kurutulmuştur. Elde edilen ürünler duyu özellikleri bakımından karşılaştırılmıştır. Tepsili kurutucuda kurutulan ürünlerin a^* ve b^* değerlerinin pilot ölçekli kurutucudaki örneklere kıyasla daha yüksek, L^* değerinin ise daha düşük olduğu bulunmuştur. Panelistlerce yapılan değerlendirmede pilot ölçekli kurutucuda kurutulan ürünler, duyu özellikleri açısından daha çok beğenilmiştir.

Üzüm örneklerinin konvansiyonel güneş kurutucu, güneş panelli sera ve açık havada kurutulduğu bir çalışmada yöntemler kuruma süreleri açısından karşılaştırılmıştır. Konvansiyonel güneş kurutucuda ürünler 77 saatte kururken güneş panelli serada 119 saatte, açık havada ise 250 saatte kurumuştur (Fadhel et al., 2005).

Aktaş vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada ısı pompalı kurutucu ve güneş enerjili kurutucuda kurutulan elma dilimlerinin kuruma karakteristikleri incelenmiştir. Efektif difüzivite değeri ısı pompalı kurutucu için $2.36 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, güneş enerjili kurutucu için ise $1,3 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunmuştur.

Soğan dilimlerinin güneşte, etüvde (50 °C ve 70 °C) ve mikrodalga kurutucuda (210 W-720 W) kurutularak kurutma yöntemlerinin kalite özellikleri üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada etüvde kurutulan ürünlerin mineral içeriğinin en yüksek olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga kurutucuda kurutulan örneklerin fenolik madde içeriği diğer yöntemlerle kurutulan örneklerle kıyasla daha yüksek bulunmuştur (Arslan ve Özcan, 2010).

Akpınar ve Biçer (2008) tarafından yapılan bir çalışmada konvansiyonel güneş enerjili kurutucuda ve açık havada kurutulan yeşil biberlerin kurumaları matematiksel olarak modellenmiştir. Logaritmik modelin konvansiyonel güneş enerjili kurutucu için, Midilli ve Küçük modellerinin ise konvansiyonel güneş enerjili kurutucu için uygun olduğu bulunmuştur.

Aktaş ve Kara (2013), güneş enerjili ve ısı pompalı bir kurutucu üreterek kivi dilimlerinin kuruma davranışlarını incelemiştir. Sistemde farklı sıcaklık (35 °C, 40°C, 45°C ve 50°C) ve farklı hava hızlarında (0.1-1 m/s) kurutma gerçekleştirilmiştir. Ürünlerin kuruma süresinin 6.5-8.5 saat arasında değiştiği belirlenmiştir. Tasarlanan kurutucuda kiviler için en uygun kurutma sıcaklığının 50 °C olduğu tespit edilmiştir.

Li et al. (2010) ürettikleri güneş destekli, ısı pompalı kurutma sistemi ile konvansiyonel kurutma yöntemini performansları açısından karşılaştırılmıştır.

Tasarlanan sistem için performans katsayısı 5.19 ve özgül nem çekme oranı (SMER) 3.05 kg/kWh olarak bulunmuştur.

Mango dilimlerinin güneşte kurutulmasının incelendiği bir çalışmada 100 kg örneğin nem içeriğinin 20 saatte %10'a düştüğü saptanmıştır. Ürünün kuruma davranışını belirlemek üzere Lewis, Henderson, Pabis ve Page modelleri kullanılmıştır. En uygun modellerin Pabis ve Page olduğu bulgulanmıştır (Aksoy et al., 2006).

Maskan vd. (2002) farklı kalınlıklardaki (0.71, 1.53, 2.20, 2.86 mm) üzüm pestilini geleneksel yöntem ve tepsili kurutucu ile kurutmuşlardır. Tepsili kurutucuda değişen sıcaklık (55°C, 65°C, 75 °C) ve hava hızlarında (0.86, 1.27, 1.82 m/s) yapılan kurutma işleminde ürünün 50-140 dk sonunda istenilen nem içeriğine ulaştığı belirlenmiştir. Geleneksel yöntemin kullanıldığı ürünler için bu süre 180-1500 dk olarak saptanmıştır. Efektif difüzivite değerleri tepsili kurutucu ve geleneksel yöntem için sırasıyla $3-37.6 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$, $1.93-9.16 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunmuştur.

Açık havada (27-43 °C) üzüm, kayısı ve incirin kuruma davranışlarının modellenmesinin amaçlandığı bir çalışmada 12 matematiksel model denenmiştir. Kayısı ve incir örnekleri için Difüzyon modeli, üzüm örnekleri için ise Henderson ve Pabis modellerinin uygun olduğu belirlenmiştir (Toğrul ve Pehlivan, 2004).

Farklı şekillerde kesilen (bütün, yarım, çeyrek) çilek örneklerinin güneşte kuruma karakteristiklerinin incelendiği bir çalışmada bütün haldeki örneklerin 28 saatte, yarım dilimlenmiş örneklerin 26 saatte, çeyrek dilimlenmiş örneklerin 20 saatte kuruduğu saptanmıştır. En uygun modelin Newtonian olduğu belirlenmiştir (El-Beltagy et al., 2007).

Jain and Pathare (2007) tarafından yapılan bir çalışmada açık havada kurutulan karides ve chelwa balığının kuruma karakteristikleri incelenmiştir. Logaritmik modelin ürünler için en uygun olduğu belirlenmiştir. Karides ve chelwa balığı için efektif difüzivite katsayısı sırasıyla 11.11×10^{-11} , $8.708 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ olarak bulunmuştur.

2.2.3 Tepsili kurutucuda kurutma

Tepsili kurutucular tepsi ya da rafların üzerine ürünlerin yerleştirilerek bir kanaldan içeriye alınan havanın fan yardımıyla paralel veya doğrusal şekilde kurutucu içinde sirkülasyonunun sağlanması yoluyla kurutmayı esas alan sistemlerdir (Soksahanj and Jayas, 1987). Homojen kurutma sağlayan ve havanın tekrar sirküle edilmesi nedeniyle maliyeti düşüren tepsili kurutucular yalıtılmış sistemlerdir. Isıtma işlemi kontrollü koşullar altında yapılır. Ancak düşük kapasiteli olmaları ve kesikli çalışmaları dezavantajlarındandır (Cemeroğlu ve Soyer, 2004).

Tepsili kurutucunun kullanıldığı çalışmalarda ürünlerin kuruma karakteristiklerinin incelenmesi ve kurumanın modellenmesi konularına ağırlık verilmiştir. Nem içeriği % 89 olan bambu örnekleri farklı sıcaklıklarda (55, 65, 75 °C) ve 0.238 m/s hava hızında kurutulmuştur. Nem oranının %10'a düşürülmesi için 55, 65 ve 75 °C'de yapılan kurutma işlemi sırasıyla 10, 11, 12 saat sürmüştür. Ürünler duysal özellikleri açısından kıyaslanmış 65 °C'de kurutulan ürünlerde rehidrasyon oranı en yüksek olarak bulunmuştur. Kurutmanın Page ve logaritmik modeller ile uyumlu olduğu belirlenmiştir (Kumar et al., 2013).

Sülforofan ile zenginleştirilmiş brokolide kurutmanın sülforofan içeriğine etkisinin incelendiği bir çalışmada örnekler tepsili kurutucuda 60, 70 ve 80 °C'de kurutulmuştur. 80 °C'de 4.25 saat kurutma sonucu brokolilerin nem içeriği istenilen düzeye düşmüş ve sülforofan içeriği en yüksek bulunmuştur (Mahn et al., 2016).

Harbourne et al. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada erkeçsakalı ve söğüt bitkileri tepsili kurutucuda (30, 70 °C) kurutulmuştur. 30 °C'de kurutulan ürünlerde renk daha iyi korunmuş ve fenolik madde içerikleri 70 °C'de kurutulanlara oranla daha yüksek bulunmuştur.

Erik ve mango dilimlerine %1'lik potasyum metabisülfid uyguladıktan sonra farklı sıcaklıklarda (55, 60, 65 °C) tepsili kurutucuda kurutma işleminin yapıldığı bir çalışmada artan potasyum metabisülfid uygulamasının ve sıcaklık değerinin kuruma süresini kısalttığı saptanmıştır. Ürünlerin kuruma davranışının logaritmik modellerle uyumlu olduğu bulunmuştur (Goyal et al., 2006).

Doymaz (2009) tarafından yapılan bir çalışmada ıspanak yaprakları farklı sıcaklıklarda (50, 60, 70, 80°C), 1.2 m/s hava hızında tepsili kurutucuda kurutulmuş ve ürünlerin kuruma davranışları incelemiştir. Bu amaçla Lewis, Henderson ve Pabis, Page ve Logaritmik modeller kullanılmıştır. Kuruma hızının sıcaklık ile arttığı, kurumanın en hızlı 80 °C’de gerçekleştiği tespit edilmiştir. Kullanılan modeller arasında Logaritmik model en uyumlu olarak bulunmuştur.

Patates dilimlerinin farklı kurutma sıcaklık (50, 60, 70 °C) ve hava hızlarında (0.5, 1, 1.5 m/s) kurutularak kuruma davranışının belirlemeye çalışıldığı bir çalışmada 3 farklı ince tabaka kurutma modeli denenmiştir. Kullanılan modellerin regresyon katsayısı (R^2) değerleri karşılaştırıldığında en uygun modelin Page modeli olduğu belirlenmiştir (Aghbashlo et al., 2009).

Mantarın farklı kurutma sıcaklıkları (50, 60, 70 °C) ve hava hızlarında (1, 2, 3 m/s) kurutularak kuruma karakteristiğinin incelendiği bir çalışmada en uygun modelin Midilli ve arkadaşlarının modeli olduğu bulunmuştur (Arıcı ve Mendeş, 2012).

Sfredo et al. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada kahve çekirdekleri 45 ve 60 °C sıcaklıklarda kurutulmuştur. Sıcaklık artışının kahve çekirdeklerinin kuruma süresini 18 saat kısalttığı belirlenmiştir. 45 °C’de kurutulan kahve çekirdeklerinin organoleptik ve fiziksel özellikleri 60 °C’de kurutulan örneklerle kıyasla daha iyi bulunmuştur.

Karpuz ezmesinin tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklarda (50, 60, 70 °C) kurutulduğu bir çalışmada ürünlerin kuruma karakteristiği ve sıcaklığın likopen miktarına etkisi incelenmiştir. Ürünlerin kuruma davranışı Page modeli ile uyumlu bulunmuştur. Likopen içeriğinin 50 °C’de kurutulan örneklerde en yüksek olduğu saptanmıştır (Oberoi and Sogi, 2015).

Kestane unundan yapılmış hamurun kimyasal ve reolojik özelliklerinin incelendiği bir çalışmada kestane örnekleri 25 ve 70 °C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta kurutulmuştur. 70 °C’de kurutulmuş kestanelerden elde edilen unların su

tutma kapasitesinin 25 °C’de kurutulmuş kestanelerden elde edilenlere kıyasla daha yüksek olduğu saptanmıştır (Ahmed and Al-Attar, 2015).

Çakmak vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada %90 nem içeren mantar örnekleri 50 C’de tepsili kurutucuda kurutulmuştur. Ultrases ve elektrop plazmoliz ön işlemlerinin kurutmaya etkisi incelenmiştir. Ultrases uygulanmış örneklerdeki fenolik madde içeriği, elektrop plazmoliz uygulanmış olanlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Elektrop plazmoliz ve ultrases kombine ön işlem uygulamasının kurutma verimini %37 arttırdığı saptanmıştır.

Rao et al. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada sarımsak örnekleri tepsili kurutucu ve mikrodalga kurutucuda kurutularak örneklerin uçucu bileşenleri karşılaştırılmıştır. Kurutma işlem süresi tepsili kurutucu için (55 °C) 8 saat, mikrodalga için (350 W) 25 dakika olarak belirlenmiştir. Tepsili kurutucuda kurutulmuş örneklerin L^* ve b^* renk değerleri mikrodalgada kurutulmuş örneklerle kıyasla daha yüksek olarak ölçülmüştür. Major aroma bileşenlerinin her iki kurutma yönteminde de arttığı tespit edilmiştir.

Spirulina plantesis’in tepsili kurutucuda optimum kurutma koşullarını belirlemek için farklı sıcaklıklarda (50-70 °C) denemeler yapılmıştır. Çalışmada kuruma süresi, TBA düzeyi ve phytocyanin miktarı yanıt olarak değerlendirilmiştir. Kurutma için optimum sıcaklığın 55 °C olduğu saptanmıştır (Oliveira et al., 2010).

2.2.4 Mikrodalga kurutma

Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumun radyo dalgaları ile kızıl ötesi ışınlar arasındaki bölümünde yer alan, frekansları 0.3 ile 300 GHz, dalga boyları ise 1 mm ile 1 m arasında değişen ışınlardır (Banik et al., 2003). Mikrodalga teknolojisi kâğıt, odun gibi endüstri ürünlerinin kurutulması, kimyasal reaksiyonların hızlandırılması, cam, lastik gibi bazı endüstriyel ürünlerin eritilmesi, sinterleme, plazma üretimi, mineral prosesleri, atık arıtma ve geri dönüşüm prosesleri ile ısıtmada kullanılmaktadır (Gwarek and Celuch-Marcysiak, 2004). Mikrodalga uygulaması ile ısıtma, maddenin yüzeyine gelen mikrodalgaların absorbe edilmesi ve polar moleküller arasında meydana gelen titreşim ile

sürtünmeler sonucu oluşmaktadır (Vadivambal and Jayas, 2007). Mikrodalga ısıtmanın kullanıldığı başlıca gıda prosesleri ön pişirme, kurutma ve çözündürmedir (Shaheen, et. al., 2012). Geleneksel ısıtma yöntemlerine kıyasla işlem süresinin kısa oluşu, vitamin ve mineral kayıplarının azlığı mikrodalga ısıtmanın avantajlarından (Karaaslan ve Tunçer, 2008). Ancak bu yöntemin sabit yatırım masrafları yüksektir. İnsan sağlığını olumsuz etkileyebilecek radyasyon sızıntılarının önlenmesi için kapalı sistemler gerekmektedir. Mikrodalgaların ürün tarafından absorbe edilmesi elektromanyetik özelliklere bağlı olarak değiştiğinden çok bileşenli gıdalarda düzensiz pişme görülmesi yöntemin dezavantajları arasında yer almaktadır (Eren, 2005) .

Literatürde yer alan gıdaların mikrodalga ile kurutulmasının konu alındığı çalışmalar incelendiğinde kombine sistem kullanımına ağırlık verildiği görülmektedir. Ozkan vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada ıspanak yaprakları mikrodalga fırın kullanılarak 8 farklı güç seviyesinde (90 - 1000W) kurutulmuştur. 750 W mikrodalga gücünün kullanıldığı denemede renk ve askorbik asit değerlerinin diğer güç seviyelerine kıyasla en iyi olduğu belirlenmiştir.

Tepsili kurutucu, mikrodalga fırın ve tepsili kurutucu ile mikrodalga fırının kombine kullanılarak kivi dilimlerinin kurutulduğu bir çalışmada kurutma sistemleri rehidrasyon oranları ve büzüşme açısından kıyaslanmıştır. Mikrodalga fırın ve tepsili kurutucunun kombine kullanıldığı durumda kuruma süresinin daha kısa olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga fırında kurutulan ürünlerin rehidrasyon kapasitesi en düşük bulunmuştur. Mikrodalga fırın ile tepsili kurutucunun kombine olduğu sistemde kurutulan ürünlerin en az büzüştüğü tespit edilmiştir (Maskan, 2001).

Maskan (2000) tarafından yapılan bir çalışmada farklı kalınlıkta dilimlenmiş muz örnekleri tepsili kurutucu (60°C, 1.45 m/s), mikrodalga fırın (350, 490 ve 700 W) ve tepsili kurutucu ile mikrodalga fırının kombine kullanıldığı koşullarda kurutulmuştur. Tepsili kurutucudaki kurutma süresinin en uzun olduğu, mikrodalga fırın ve tepsili kurutucunun kombine kullanıldığı durumda ürün renginin en açık, rehidrasyon oranının en yüksek olduğu belirlenmiştir.

Bouraoui et al. (1994) tarafından yapılan bir çalışmada patates dilimleri farklı kurutucularda kurutularak elde edilen ürünlerin kalite özellikleri karşılaştırılmıştır. Kurutma işlemi için tepsili kurutucu, mikrodalga fırın ve tepsili kurutucu ile mikrodalga fırının kombine kullanıldığı sistemler kullanılmıştır. Mikrodalga fırında kurutulan örneklerin kalite özellikleri diğer yöntemler kullanılarak kurutulanlara kıyasla daha üstün bulunmuştur.

Ozmotik dehidrasyon ön işlem uygulamasının sıcak hava-mikrodalga kombinasyonlu kurutucuda kurutulan mantarlar üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada yapılan ön işlemin kurutma süresini kısalttığı, büzüşmeyi azalttığı ve rehidrasyon kapasitesini arttırdığı tespit edilmiştir (Torrington et al., 2001).

Khraisheh et al. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada patates örnekleri mikrodalga fırın ve tepsili kurutucuda kurutulmuştur. Kurutulan ürünlerin C vitamini içerikleri, rehidrasyon oranları ve büzüşme davranışları karşılaştırılmıştır. Mikrodalga fırında kurutulan örneklerde C vitamininin parçalanma oranının daha düşük ve rehidrasyon kapasitesinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda her iki kurutma metodunda da nem miktarındaki azalış ve büzüşme arasında lineer bir ilişki olduğu ortaya konulmuştur.

Kabak dilimlerinin farklı kurutma yöntemlerinin karşılaştırılarak optimum kurutma koşullarının belirlendiği bir çalışmada ürün rengi, enerji tüketimi ve kuruma süresi optimizasyon parametresi olarak seçilmiştir. Tepsili kurutucu ile mikrodalga fırının kombine kullanıldığı yöntem kabak dilimlerinin kurutulmasında en uygun olarak belirlenmiştir. Yöntem için optimum kurutma parametresi 350 W güç ve 50 °C sıcaklık olarak tespit edilmiştir (Alibas, 2007).

Özbek ve Dadalı (2007) tarafından yapılan bir çalışmada farklı miktardaki (25-100 g) nane yaprakları farklı güç düzeyinde (180-900 W) mikrodalga fırında kurutulmuştur. Kurutmanın nem düzeyi, kuruma oranı, kuruma süresi ve efektif difüzyon katsayısı üzerine etkileri incelenmiştir. Mikrodalga gücünün artmasına bağlı olarak kuruma süresi 12.5 dk'dan 3 dk'ya düşerken örnek miktarındaki artış ile kuruma süresi 6.6 dk'dan 16 dk'ya yükselmiştir. Mikrodalga gücündeki artış ve ürün miktarındaki azalış efektif difüzyon hızında artışa neden olmuştur.

Sumnu vd. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada havuç dilimleri tepsili kurutucu, mikrodalga fırın ve halojen lamba ile mikrodalga fırının kombine kullanıldığı kurutucularda kurutulmuştur. Kurutulan örneklerin kuruma süreleri, renkleri ve rehidrasyon kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Halojen lamba ile mikrodalga fırının kombine kullanıldığı kurutucuda kurutulmuş örneklerin rehidrasyon kapasitesi, a^* , b^* değerleri en yüksek, kuruma süresi ise en kısa bulunmuştur.

Baysal vd. (2003) tarafından yapılan çalışmada sarımsak ve havuç örnekleri mikrodalga, infrared ve tepsili kurutucularda kurutularak kurutma yöntemlerinin ürünlerin bazı kalite özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Mikrodalgada kurutulan havuç ve sarımsak örnekleri diğer yöntem ile kurutulan örneklerle kıyasla daha kısa sürede kurumıştır. İnfrared kurutucuda kurutulan havuç örneklerinin rehidrasyon kapasitesi en yüksek bulunmuştur. Farklı yöntemler ile kurutulmuş sarımsak örnekleri için kurutma yöntemlerinin renk hariç diğer bazı kalite özellikleri üzerine etkilerinin önemsiz olduğu tespit edilmiştir.

Kişnişin mikrodalga fırında kuruma karakteristiğinin incelendiği bir çalışmada farklı güç düzeyinde (180-900 W) denemeler yapılmıştır. 900 W'da kurutulan ürünlerin rehidrasyon kapasitesi en düşük 180 W'da kurutulan ürünlerin ise rehidrasyon kapasitesi en yüksek olarak bulunmuştur. Efektif difüzivite değeri 180 W için 6.3×10^{-11} 360 W için ise 2.19×10^{-10} m²/s bulunmuştur. Kurumanın Midilli modeli ile uyumlu olduğu belirlenmiştir (Sarımseli, 2011).

Sharma ve Prasad (2006) tarafından yapılan bir çalışmada laboratuvar tipi mikrodalga-konvektif kurutucu geliştirilmiş sarımsak dilimlerinin üretilen kurutucudaki optimum kurutma koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla farklı sıcaklıklarda (40, 50, 60 °C) farklı hava hızlarında (1.0, 2.0 m/s) ve farklı mikrodalga güç düzeylerinde (10, 20, 30 W) denemeler yapılmıştır. Renk, C vitamini ve rehidrasyon kapasitesi optimizasyon denemelerinde cevap olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonunda sarımsak dilimleri için optimum kurutma koşulları 70 °C sıcaklık, 1.0 m/s hava hızı ve 40 W mikrodalga gücü olarak saptanmıştır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde mikrodalga destekli kombine kurutma sistemlerinin ürünlerin kuruma sürelerini kısalttığı görülmektedir. Ayrıca kombine sistemlerin kullanıldığı kurutma çalışmalarında ürünlerin renk ve rehidrasyon kapasitesi başta olmak üzere bazı kalite özelliklerinin mikrodalgada kurutulan ürünlere kıyasla daha iyi korunduğu ortaya konulmuştur. Mikrodalga kurutma sistemlerinde kullanılan güç düzeyi önemli olup kuruma hızı üzerine etki etmektedir. Güç düzeyindeki artış kuruma süresinde kısaltmaya neden olmaktadır.

2.2.5 Vakumlu mikrodalga kurutma

Vakumlu mikrodalga kurutucular düşük sıcaklıkta gıda ürünlerinden suyun hızla buharlaşmasını sağlayarak geleneksel kurutma tekniklerinden kaynaklanan dezavantajları ortadan kaldırmak için kullanılabilecek sistemlerdir (Zielinska et al., 2015). Mikrodalga uygulamaları ile ısıtma, malzemenin yüzeyine gelen mikrodalgaların emilimi ve polar moleküller arasındaki titreşim ile gerçekleşir (Vadivambal and Jayas 2007). Mikrodalga ısıtmanın bir vakum sistemi ile birleştirilmesi düşük sıcaklıkta su buharı ayrışmasının hızlanmasına neden olur. İşlem süresinin kısalması ürün kalitesini artırmaktadır.

Correˆa et al. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada ananas örnekleri vakumlu mikrodalgada kurutulmadan önce farklı konsantrasyonda şeker çözeltilerinde (40, 50, 60 Briks) değişen sürelerde (0, 3, 6 saat) rehidre edilmiştir. Optimizasyon çalışmasında şeker konsantrasyonu ve sürenin yanı sıra vakumlu mikrodalga sıcaklığı bağımsız değişken olarak seçilmiştir. Nem içeriği, rehidrasyon kapasitesi, renk ve tekstür optimizasyonda kullanılan bağımlı değişkenlerdir. Ozmotik rehidrasyon uygulaması ürün renginin korunmasını sağlamış, büzüşmeyi azaltmış ve rehidrasyon kapasitesini arttırmıştır. Changrue et al. (2008) tarafından yapılan çalışmada da çilek örneklerine vakumlu mikrodalga kurutma öncesi ozmotik rehidrasyon ön işlemi uygulanmasının kuruma süresini kısalttığı ve kaliteyi daha iyi koruduğu belirlenmiştir.

Bal örneklerinin vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulduğu bir çalışmada örnek kalınlığı ve vakum basıncınının aroma bileşenleri ile sükroz, maltoz, fruktoz ve glukoz içerikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Kurutma sonunda sükroz,

maltoz, fruktoz ve glukoz içeriklerinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Balda bulunan asit grubunda yer alan uçucu bileşenlerde azalış aldehit ve ketonlarda ise artış görülmüştür. Bal örneklerinin vakumlu mikrodalgada kurutulması için en uygun koşullar 8 mm kalınlık ve 30 °C sıcaklık olarak belirlenmiştir (Cui et al., 2008).

Wang et al. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada küp şeklindeki balık etlerinin vakumlu mikrodalga kurutucudaki optimum kurutma koşulları belirlenmiştir. Yanıt-yüzey metodunun kullanıldığı çalışmada gevreklik, genleşme oranı ve duysal özellikler bağımlı değişken olarak seçilmiştir. 0.090 MPa vakum basıncında ve 11 W/g güç seviyesinde 20 dk süreyle kurutulan ürünlerin en iyi özellik gösterdiği saptanmıştır.

Biberiyenin farklı sıcaklık ve güç düzeylerinde vakumlu mikrodalgada, konvansiyonel kurutucuda ve her iki kurutucunun kombine kullanılarak kurutulduğu bir çalışmada yöntemlerin aroma bileşenleri üzerine etkileri belirlenmiştir. α -pinen, bornil asetat, kamfen ve 1,8-sineol major bileşenler olarak bulunmuştur. Uçucu bileşenlerin en iyi korunduğu yöntemin konvansiyonel ve vakumlu mikrodalga kurutucu kombinasyonunun olduğu saptanmıştır (Szumny et al., 2010).

Böhm et al. (2006) tarafından yapılan çalışmada donmuş çilek örnekleri 60 °C'de 100 dk ön kurutma sonrası vakumlu mikrodalga kurutucuda 55 °C'de 4kPa vakumda 50 dk kurutulmuştur. Donuk çilek örneklerinin bir kısmı 60 °C'de konvansiyonel kurutucuda 200 dk, kalan bir kısmı ise -54 °C'de dondurularak kurutulmuştur. Konvansiyonel kurutucu ve vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulmuş örneklerin askorbik asit içerikleri, toplam fenolik miktarları ile antioksidan kapasiteleri taze örneklerle kıyasla sırasıyla %40, %35, %60 azalma göstermiştir.

Candia-Muñoz et al. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada dut örnekleri sprey kurutucu ve vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutularak toz haline getirilmiş kurutma tekniklerinin kalite üzerine etkileri karşılaştırılmıştır. Vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulan örneklerin toplam fenolik madde ve toplam

antosiyenin içerikleri ile antioksidan kapasiteleri sprey kurutucudan elde edilen ürünlere kıyasla daha yüksek bulunmuştur.

Schulze et al. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada vakumlu emdirme tekniği ile kuersetince zenginleştirilmiş elma örnekleri dondurularak, açık havada ve vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulmuştur. Kurutulan örneklerdeki kuersetin stabilitesi incelenmiş ve kurutma yöntemlerinin kalite üzerine etkileri araştırılmıştır. Açık havada kurutulan örneklerdeki kuersetin miktarı en düşük çıkarken vakumlu mikrodalgada kurutulan örneklerin polifenol içerikleri en iyi korunmuştur. Dondurularak kurutulan ürünlerin yığın yoğunluğu diğer tekniklerle elde edilen ürünlerinkinden daha fazla bulunmuştur.

Elma dilimlerinin vakumlu mikrodalga kurutucudaki optimum kurutma koşullarının belirlendiği bir çalışmada yanıt-yüzey metodu kullanılmıştır. Kuruma süresi, gözenek yapısı ve duysal özellikler bağımlı değişkenler olarak seçilmiştir. Optimum çalışma koşulları 12 W/g mikrodalga gücü, 0.089 MPa vakum ve 0.692 kg/kg db nem içeriği olarak belirlenmiştir (Han et al., 2010).

Michalska et al. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada erik örnekleri farklı kurutma teknikleri (liyofilizasyon, vakumlu mikrodalga kurutma, tepsili kurutucuda kurutma, vakumlu kurutma, tepsili kurutucu-mikrodalga kurtuma) ile kurutularak toz haline getirilmiştir. Kurutma tekniklerinin erik tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Tepsili kurutucu (70 °C) ve vakumlu mikrodalga kurutucunun (1.2 Wg⁻¹) kombine kullanıldığı durumda fenolik maddelerin korunduğu belirlenmiştir.

Havuç ve Frenk soğan yapraklarının farklı kurutucularda kurutulduğu çalışmada kurutma tekniklerinin karotenoid ve klorofil üzerine etkileri incelenmiştir. Vakumlu mikrodalga kurutucu ve vakumlu kurutucunun kombine kullanıldığı durumda toplam karotenoid ile klorofil miktarlarının en yüksek olduğu bulunmuştur (Cui et al., 2004).

Lin et al.(1998) tarafından yapılan bir çalışmada havuç dilimleri vakumlu mikrodalga kurutucuda, açık havada ve dondurularak kurutulmuştur. Kurutulan

örneklerin kalite özellikleri karşılaştırılmıştır. Yapılan duyusal panelde vakumlu mikrodalgada kurutulmuş ürünlerin renk, tat ve tekstür açısından diğer yöntemlerle kurutulan örneklerle kıyasla daha iyi olduğu belirlenmiştir.

3.5 mm kalınlığındaki havuç dilimleri beş farklı mikrodalga gücünde (2, 4.66, 7.33, 10 ve 12.66 W/g) ve üç farklı basınç seviyesinde (6.66, 19.98, 33.3 kPa) vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulmuştur. Mikrodalga gücündeki artışa bağlı olarak ürünlerin kuruma oranı artmıştır. Kurutmanın Page modeli ile uyumlu olduğu belirlenmiştir (Sutar and Prasad, 2007).

Cui et al. (2008) tarafından yapılan çalışmada elma ve havuç örnekleri vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulmuş ardından liyofilizatörde nem oranı %7'ye düşürülmüştür. Kombine yöntemle kurutulmuş örneklerin kimyasal (karoten ve C vitamin) ve fiziksel (büzüşme, renk, tekstür ve rehidrasyon oranı) özellikleri tepsili kurutucuda ve dondurularak kurutulmuş örneklerin özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Vakumlu mikrodalga kurutucu ve liyofilizatörün kombine kullanıldığı örnekler ile dondurularak kurutulan örneklerin kimyasal ve fiziksel özellikleri tepsili kurutucuda kurutulan örneklerle kıyasla daha iyi korunmuştur.

Kabak örneklerinin kabin kurutucu ve vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutularak rehidrasyon oranı, renk, klorofil ve askorbik asit içeriğinin karşılaştırıldığı çalışmada vakum mikrodalga kurutucunun kurutma süresini yarım saat kısalttığı saptanmıştır. Vakumlu mikrodalgada kurutulmuş ürünler daha gözenekli bir yapı kazanmıştır. Vakumlu mikrodalga kurutucunun bakterisidal etkisinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Kabin kurutucuda kurutulan kabakların askorbik asit içerikleri ve klorofil miktarları vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulanlara kıyasla daha düşük bulunmuştur (Yanyang et al., 2004).

Cui et al. (2003) tarafından yapılan sarımsak dilimlerinin kurutulduğu bir çalışmada liyofilizatör, tepsili kurutucu ve vakumlu mikrodalga kurutucu ile sıcak havanın kombine edildiği kurutma sistemi kullanılmıştır. Tepsili kurutucudaki kurutma koşulları sıcaklık 60-65 °C ve hava hızı 0.3 m/s olarak ayarlanmıştır. Vakumlu mikrodalga kurutucudaki vakum düzeyi 25 mbar'dır. Duyusal özellikler,

renk, tekstür ve rehidrasyon oranı dikkate alındığında karşılaştırılan yöntemler arasından vakumlu mikrodalga ve sıcak havanın kombine kullanılması önerilmiştir.

Maydanoz ve havuç örnekleri 1.8 kW güç seviyesinde, 8–15 kPa vakum altında vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulmuştur. Maydanoz örnekleri 17-20 dk, havuç örnekleri ise 58-60 dk da %6-8 nem düzeyine düşürülmüştür. Süre sonunda örneklerin yüzey sıcaklığının 56. 4 °C'ye ulaştığı belirlenmiştir. Toplam aerobik bakteri sayısı ve maya-küf miktarı ilk 5 dk sonunda önemli miktarda azalma göstermiştir (Yaghmaee and Durance, 2007).

Saengrayap et al. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada kırmızı biber örnekleri vakumlu mikrodalga kurutucuda farklı güç seviyesinde (100, 200, 300 W) ve farklı basınç (21.33, 28, 34.66 kPa) değerlerinde kurutulmuştur. Ürünlerin renk değişimi, büzüşme, tekstür, rehidrasyon kapasitesi gibi kalite özellikleri incelenerek en uygun kurutma koşulunun 300 W güç ve 21.33 kPa basınç olduğu bulunmuştur.

Mandalina örneklerinin vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulduğu bir çalışmada ön işlem olarak ozmotik dehidrasyon uygulanmıştır. Bu amaçla farklı konsantrasyonlarda glukoz ve sükroz (w:w, 9:1, 7:3, 5:5) çözeltileri kullanılmıştır. Vakumlu mikrodalga kurutucu güç düzeyleri 4.8 W g⁻¹ ve 6.4 W g⁻¹ olarak seçilmiştir. Mandalina örneklerinin kurumaları modellenmiş ve Page modeli ile uyumlu bulunmuştur. Mikrodalga gücündeki artış kuruma hızını arttırmış, ürünlerin sertliği üzerinde etkili olmuş ve β -karoten içeriğinde azalışa yol açmıştır. Ozmotik dehidrasyonda kullanılan gliserolün konsantrasyonunun artması ürünlerin sertliğinde azalmaya sebep olmuştur (Therdthai et al., 2011). Aynı araştırmacılar tarafından yapılan bir başka çalışmada nane örnekleri vakumlu mikrodalga ve tepsili kurutucularda kurutulmuştur. Vakumlu mikrodalga kurutucuda basınç düzeyi 1.33 kPa'da sabit tutularak üç farklı güçte (8, 9.6 ve 11.2 Wg⁻¹) çalışılmıştır. Tepsili kurutucuda farklı sıcaklıklarda (60, 70 °C) yapılan kurutma işlemlerinde ürünlerin kuruma süresinin vakumlu mikrodalga kurutucuya kıyasla %85-90 daha uzun olduğu belirlenmiştir. Vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulan örneklerin rehidrasyon kapasitesi ile parlaklık, yeşillik ve sarılık renk değerlerinin tepsili

kurutucuda kurutulan örneklerle kıyasla daha yüksek olduğu bulunmuştur (Therdthai and Zou, 2009).

Giri ve Prasad (2007) tarafından yapılan çalışmada mantar örnekleri vakumlu mikrodalga ve tepsili kurutucuda kurutularak kurutma kinetikleri ile rehidrasyon karakteristikleri karşılaştırılmıştır. Vakumlu mikrodalga kurutucuda güç düzeyi 115-285 W, vakum düzeyi ise 6.5-23.5 kPa olarak ayarlanmıştır. Kalınlıkları 6-14 mm olan mantar dilimleri tepsili kurutucuda değişen sıcaklıklarda (50, 60, 70 °C) kurutulmuştur. Vakumlu mikrodalgada yapılan kurutma işlemiyle kuruma süresi %70-90 oranında azalmıştır. Vakumlu mikrodalgada kurutulan ürünlerin rehidrasyon kapasitesi tepsili kurutucuda kurutulanlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Vakumlu mikrodalgadaki basınç düzeyi rehidrasyon kapasitesi üzerinde etkili olmuştur. Aynı araştırmacılar tarafından yapılan başka bir çalışmada farklı kalınlıktaki (6-14 mm) mantar dilimlerinin vakumlu mikrodalga kurutucudaki optimum kurutma koşulları belirlenmiştir. Bu amaçla farklı güç düzeyinde (115-285 W) ve farklı basınçlarda (6.5-23.5 kPa) denemeler yapılmıştır. Optimizasyon yanıt-yüzey metodu kullanılmış renk, tekstür, rehidrasyon oranı ve duyu özellikler bağımlı değişkenler olarak değerlendirilmiştir. Optimum kurutma koşulları 202 W güç, 6.5 kPa basınç ve 7.7 mm örnek kalınlığı olarak belirlenmiştir (Giri and Prasad, 2007).

Optimizasyonla ilgili yapılan bir başka çalışmada nar çekirdekleri nem içerikleri %5-6'ya düşünceye dek vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulmuştur. Bu amaçla farklı vakum basınçlarında (25-195 mm Hg) ve farklı güç seviyelerinde (25-95 W) denemeler yapılmıştır. Yanıt- yüzey metodunun kullanıldığı çalışmada renk, tekstür ve kurutma etkinliği bağımlı değişkenler olarak seçilmiştir. Optimum kurutma koşulları 60 mm Hg basınç ve 80 W güç olarak belirlenmiştir (Dak et al., 2014).

Yeşil çayın vakumlu mikrodalgada kurutma koşullarının optimize edildiği bir çalışmada farklı güç (3200, 3600, 4000 W) ve farklı sürelerde (20, 25, 30 dk) denemeler yapılmıştır. Toplam polifenol içeriği ve renk değerlerinin en iyi korunduğu koşulun 3600 W güçte 30 dk olduğu saptanmıştır (Hirun et al., 2014).

Tian et al. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada nilüfer çiçeği tohumlarının vakumlu mikrodalga kurutucudaki optimum kuruma koşulları belirlenmiştir. Farklı güç (2-4 kW) ve farklı vakum (-0.07, -0.09 MPa) düzeylerinde denemeler yapılmıştır. Kuruma süresi ile büzüşme oranının minimum, rehidrasyon kapasitesi ile beyazlık değerinin maksimum olduğu deneme koşulu optimum nokta (3.2 kW, -0.083 MPa) olarak belirlenmiştir.

Vakumlu mikrodalga kurutucuda ozmotik dehidrasyonun ürün kalitesi üzerine etkilerinin incelendiği ve tepsili kurutucu ile karşılaştırıldığı bir çalışmada materyal olarak papaya kullanılmıştır. Örnekler farklı sürelerde (0-4 saat) %65'lik sükröz çözeltisinde tutulmuştur. 13.3 kPa basınç altında 3.75 Wg^{-1} güç altında kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Tepsili kurutucuda kurutulan ürünlerin rehidrasyon oranı vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulan ürünlere kıyasla daha düşük bulunmuştur. Rehidrasyon oranı göz önüne alındığında ozmotik dehidrasyon işleminin 0-3 saat sürdürülmesi önerilmiştir (Nimmanpipug et al., 2013).

Dondurarak ve liyofilizasyon ile vakumlu mikrodalga kurutmanın kombine kullanılması teknikleriyle kurutulmuş mantar dilimlerinin uçucu aroma bileşenlerinin incelendiği bir çalışmada GC-MS ve elektronik burun kullanılmıştır. Toplam 32 uçucu bileşen tanımlanmıştır. Kurutma sonrası alkanlar ve heterosiklik bileşenler oluşmuştur. Kombine yöntemle kurutulan ürünlerin aroma profilinin işlem görmemiş ürünlere en yakın olduğu saptanmıştır (Pei et al., 2016).

Farklı kurutma tekniklerinin patatesin bazı kalite özelliklerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada vakumlu mikrodalga, tepsili kurutucu ve liyofilizatör kullanılmıştır. Kurutulan örneklerde rehidrasyon oranı, renk, tekstür ve duyuşal özellikler incelenmiştir. Yapılan duyuşal panelde vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulan örnekler diğer tekniklerle kurutulan örneklere kıyasla üstün bulunmuştur. Benzer şekilde ürünlerin rehidrasyon kapasitesi daha yüksek çıkmıştır (Setiady et al., 2009). Patates dilimlerinin vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulduğu bir diğer çalışmada, 480 W güç kullanılarak farklı basınçlarda (6, 12, 18, 24 kPa) denemeler yapılmıştır. Elde edilen örnekler farklı sıcaklıklarda (50 ve 70 °C) tepsili kurutucuda kurutulmuş örnekler ile kalite özellikleri (nişasta miktarı, şeker içeriği, renk, duyuşal özellikler) açısından kıyaslanmıştır. 24 kPa basınçta kurutulan

ürünlerin en iyi kalite özelliğine sahip olduğu belirlenmiştir. 6 kPa basınçta kurutulan ürünlerin kuruma süresinin 70 C’de kurutulan ürünlerin kuruma süresine oranla 6 kat daha kısa olduğu saptanmıştır (Bondaruk et al., 2007).

Zhang et al. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada sosis örnekleri 70 C’de tepsili kurutucuda kurutulmuştur. 80 kPa basınçta mikrodalga gücünün 6 kW olarak ayarlandığı vakumlu mikrodalga kurutucuda farklı sıcaklıklarda (30, 40, 50 °C) kurutma gerçekleştirilmiştir. Farklı teknikler kullanılarak farklı koşullarda kurutulan sosis örnekleri 28 gün depolanmış ve bazı kalite özellikleri (pH, TBA, TVB-N) incelenmiştir. Vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutularak depolanmış ürünlerin kalite özelliklerinin daha üstün olduğu belirlenmiştir.

Literatür çalışmaları incelendiğinde vakumlu mikrodalga kurutma sistemlerinin atmosferik koşullarda çalışan sistemlere kıyasla suyun buharlaşmasını kolaylaştırdığı görülmektedir. Bu durum ürünlerin kuruma sürelerinde kısalmaya neden olmaktadır. Vakumlu mikrodalga kurutucularda ürünler hava ile temas etmediğinden oksidatif reaksiyonların neden olduğu olumsuzluklar ortadan kaldırılmıştır.

Tez çalışmasında kullanılacak vakumlu mikrodalga kurutma sisteminin, ürünün daha homojen bir şekilde ısıtılmasını sağlayacak iki adet magnetronu bulundurmaktadır. Sistem bu özelliğiyle daha önce yapılan çalışmalarda kullanılan kurutma sistemlerine göre farklılık göstermektedir. Vakumlu mikrodalga kurutma sisteminin ısıtma ünitesi vakumlanabilir özellikte olup sistemdeki sıcaklığı milisaniye düzeyinde kontrol eden sıcaklık göstergesi bulunmaktadır. Vakumlu mikrodalga kurutucunun çalışma gücü 250-1000 W ve vakum düzeyi 0-1000 mbar arasında ayarlanabilir özellik göstermektedir.

2.2.6 Vakumlu infrared kurutma

IR (kızılötesi), elektromanyetik spektrumda görünür ışıkla mikrodalga arasında yer alan, 0.76-400 µm dalga uzunluğuna sahip radyasyon olarak tanımlanmaktadır (Jain and Pathare, 2004). IR radyasyonlar dalga boyuna göre NIR (Yakın IR), FTIR (Uzak IR) ve MDIR (Orta IR) olmak üzere 3 kısımda

incelenmektedir. IR radyasyonun etkinliği dalga boyundaki ve ürün kalınlığındaki azalış ile güçteki artışa bağlı olarak artmaktadır (İçier ve Yıldız, 2003). IR kurutma, günümüzde hızla kullanımı yaygınlaşan bir kurutma tekniğidir (Nasıroğlu ve Kocabıyık, 2009). Vakum altında kurutma ile suyun kaynama noktası düşürölerek evoparasyonun konvansiyonel atmosferik kurutmaya kıyasla daha düşük sıcaklıkta gerçekteşmesi sağlanmaktadır (Audebert and Temmar, 1997; Jomaa and Baixeras, 1997). IR radyasyonların ürün yüzeyinde ani ısı artışı oluşturmaları ve ürün içerisindeki penetrasyon yeteneklerinin sınırlılığı yöntemin olumsuzluklarındanır. Bu nedenlerden ötürü vakumlu kurutma gibi diğer bazı metotlarla kombine olarak kullanılması gerekmektedir. Vakumlu kurutma, ısıya duyarlı gıdaların kurutulmasında kullanılan bir yöntemdir (Ayhan, 2005). Kurutma sıcaklığının düşüklüğü ve oksidasyon reaksiyonlarındaki azalış vakumlu infrared kurutucuda kurutulan örneklerin kalitesinin korunmasına yol açmaktadır (Wu et al., 2007).

Literatürde vakumlu infrared kurutma tekniği ile ilgili az sayıda çalışma bulunmaktadır. Vakumlu infrared kurutucunun kullanıldığı çalışmalarda ürünlerin kuruma karakteristikleri ile kalite özelliklerinin incelenmesi ve kurumanın modellenmesi konularına ağırlık verilmiştir. Kouchakzadeh and Haghighi (2011) tarafından yapılan bir çalışmada iki farklı türde antep fıstığı laboratuvar tipi vakumlu infrared kurutucuda kurutulmuştur. Kurutmanın modellendiği çalışmada en uygun modelin Logaritmik model olduğu bulgulanmıştır. Vakumlu infrared kurutucu ile kurutma sonucu ürünlerin kuruma süresinin konvansiyonel kurutuculara kıyasla 8-10 dk kısaldığı tespit edilmiştir.

Muz dilimlerinin vakumlu infrared kurutucudaki optimum kurutma koşullarının belirlenmesinin amaçlandığı bir çalışmada farklı boyutlardaki (2, 3, 4 mm) örnekler farklı sıcaklık (50, 55, 60 °C) ve farklı basınç (5, 10, 15 kPa) değerlerinde nem oranı %7 olana dek kurutulmuştur. Kurutmanın renk, sertlik ve büzüşme üzerine etkileri incelenmiştir. Optimum koşullar 50 °C sıcaklık, 5 kPa basınç ve 2 mm kalınlık olarak belirlenmiştir (Swasdisevi et al., 2007).

Liu et al. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada patates dilimlerinin vakumlu infrared kurutucuda kuruması modellenmiştir. Bu amaçla son fark metodu kullanılmıştır. Hesaplanan sonuçlar farklı sıcaklık (120, 140, 160, 180 °C), farklı

basınç (1500, 8000, 15000 Pa), farklı kalınlık (0,004, 0,006, 0,008 m) ve farklı mesafelerde (0.08, 0.12, 0.16 m) elde edilen deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır.

Kurt üzümü meyvesi farklı sürelerde (10, 15, 20 dk), değişen aralıklarda (2, 4, 6 dk) ve farklı sıcaklıklarda (60, 65, 70 °C) vurgulu vakumlu infrared kurutucuda kurutularak renk, rehidrasyon oranı ve mikro yapı gibi bazı kalite özellikleri incelenmiştir. Weibull modeli kullanılarak efektif difüzivite değeri hesaplanmıştır. Vakumlu infrared kullanılarak kurutulan ürünlerin renkleri taze ürünün rengine yakın olarak değerlendirilmiştir. Ürünlerin rehidrasyon oranı 2.41 olarak bulunmuştur. Meyvenin vurgulu vakumlu infrared kurutucuda kurutulması için en uygun işlemin 65 °C sıcaklıkta 15 dk süreli ve 2 dk aralıklarla uygulanan işlem olduğu belirtilmiştir (Xie et al., 2017).

Alaei ve Chayjan (2015) tarafından yapılan bir çalışmada nektarin örnekleri vakumlu infrared kurutucuda kurutularak kurumaları modellenmiştir. Kurutma işlemi farklı sıcaklıklarda (50, 60, 70 °C) ve farklı basınçlarda (20, 40, 60 kPa) gerçekleştirilmiştir. Örnekler için en uygun modelin Midilli Modeli olduğu tespit edilmiştir. Kuruma oranları 0.014–0.047 g su/g kuru madde dk aralığında bulunmuştur. Örneklerin efektif difüzivite değerleri $2.46\text{--}6.48 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değişmiştir. 50 °C ‘de 20 kPa vakum altında yapılan uygulamanın renk değerlerini en iyi koruduğu ve üründe minimum büzüşme oluşturduğu tespit edilmiştir.

Salehi et al. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada mantar dilimleri vakumlu infrared kurutucuda kurutularak güç (150-375 W), sistem basıncı (5-15 kPa), süre (0-160 dk) parametrelerinin kurutma kinetiği ve karakteristiği üzerine etkileri incelenmiştir. Güç ve sistem basıncının kurutma süresini etkilediği belirlenmiştir. Efektif nem difüzivite değeri $0.83\text{--}2.33 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak bulunmuştur. Güçteki artışa bağlı olarak ΔE değerinde azalma gözlenmiştir. Yapılan kurutma işleminin Page modeli ile uyumlu olduğu saptanmıştır.

Yeşil çayın vakumlu infrared kurutucuda kurutulduğu bir çalışmada optimum koşullar belirlenmiştir. Bu amaçla farklı süre (60-120 dk) ve farklı sıcaklıklarda (50-65 °C) denemeler yapılmıştır. Sıcaklık artışına bağlı olarak toplam kateşin miktarında artış ve su aktivitesinde azalma görülmüştür. 65 °C’de 120 dk yapılan

uygulama sonucu elde edilen ürün kalitesinin en iyi olduğu tespit edilmiştir (Hirun et al., 2015).

Ghaboos et al. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada kalınlıkları 5 ve 7 mm olan kabak örnekleri farklı süre (0-220 dk), güç (204-272 W) ve basınçlarda (5-15 kPa) vakumlu infrared kurutucuda kurutulmuştur. Güç düzeyinin 204 W'dan 272 W'a çıkarılması durumunda β -karoten miktarı 30.04 mg/100 g'dan 24.55 mg/100 g'a düşmüş ΔE değeri değişimden olumsuz etkilenmiştir. Kabak dilimlerinin vakumlu infrared kurutucudaki optimum kurutma koşulları 238 W güç, 5kPa basınç ve 5 mm kalınlık olarak belirlenmiştir.

Vakumlu infrared kurutmanın patates dilimlerinin büzüşme ve renk değişimi üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada vakum ve güç seviyesinin değişimde etkili olduğu saptanmıştır. 1, 2 ve 3 mm kalınlığında patates dilimleri farklı güç (100,150, 200W) ve vakum seviyelerinde (20, 80, 140 mmHg) kurutulmuştur. Uygulanan güç seviyesinin ve dilim kalınlığının büzüşmedeki etkisinin önemsiz olduğu saptanmıştır. Vakum ve güç seviyelerinin renk değişimindeki etkileri de önemsiz bulunmuştur (Hafezi et al., 2015).

Alaei ve Chayjan (2015) tarafından yapılan bir çalışmada nar çekirdekleri farklı basınç seviyelerinde (2, 20, 40 ve 60 kPa) ve sıcaklıklarda (60, 70 ve 80 °C) vakumlu infrared kurutucuda kurutulmuştur. Renk değişiminin ve büzüşmenin en düşük olduğu işlem koşulları 60 °C sıcaklık ve 2 kPa basınç olarak bulunmuştur.

Kivinin vakumlu infrared kurutucuda kurutulduğu bir çalışmada kurutulmuş örneklerin askorbik asit ile toplam flavonoid içeriği, toplam fenolik miktarı, antioksidan aktivitesi taze örneklerle kıyasla artış göstermiştir (Chakraborty and Samanta, 2017).

Flos Lonicerae bitkisinin vakumlu infrared kurutucuda kurutulduğu bir çalışmada kurutmanın Page modeli ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Klorojenik asit miktarının sıcaklık ve basınç artışına bağlı olarak azaldığı saptanmıştır (Liu et al., 2015).

Vakumlu infrared kurutucuda yapılan çalışmalar incelendiğinde atmosferik koşullarda yapılan kurutma işlemlerine kıyasla ürünlerin kuruma sürelerinin kısaldığı görülmektedir. Kurutulan rnlerin kalınlıkları, vakumlu infrared kurutucuda çalışılan g ve vakum düzeyi kalite özellikleri ve kuruma hızı üzerine etki etmektedir.

2.2.7 Dondurarak kurutma

Dondurarak kurutma, gıdada bulunan suyun süblime edilerek uzaklaştırılması prensibine dayanmaktadır. Mikrobiyal bozulmaların durdurulduğu bu teknikte su katı forma geçtiğinden gıda maddesi mevcut şeklini korur (Telis and Sobral, 2002). Dondurarak kurutulan gıdalar renk, doku, lezzet ve besin değerleri açısından aslına en yakın özellik göstermektedir. Ancak kurutma süresinin uzun ve kurutma işleminin maliyetli olması liyofilizasyonun dezavantajlarındandır (Marques et al., 2006).

Bakla proteinlerinin sprej kurutucu ve liyofilizatörde kurutulması sonucu elde edilen ürünlerin incelendiği bir çalışmada çözülebilirlik, emülsifikasyon, su tutma, viskozite ve enzimatik hidroliz gibi fonksiyonel özellikler ele alınmıştır. Sprej kurutucuda kurutulan ürünlerde daha az protein denatürasyonu ile karşılaşılmıştır. Protein tozlarının zlebilirlikleri ve viskoziteleri benzer olup zlebilirliğin protein oranındaki artışa bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Dondurularak kurutulmuş bakla proteinlerindeki su aktivitesi değerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır (Cepeda et al., 1998).

Sprej kurutucu ve liyofilizatrn kullanıldığı bir diğer çalışmada durian meyvesinin pulpu kurutulmuş ve kurutma tekniklerinin aroma bileşenleri üzerine etkileri incelenmiştir. Taze rnkte toplam 34 bileşen tanımlanmış olup kurutma sonrası bileşenlerin miktarca azaldığı belirlenmiştir. Propanetiol, etil propanoat, propil propanoat, etil 2-metilbutanoat ve dietil disülfid major bileşenlerinde görülen azalmanın dondurarak kurutulmuş ürünlerde sprej kurutucuda kurutulmuş ürünlere kıyasla daha düşük olduğu saptanmıştır (Chin et al. ,2008).

Hızlı, orta ve yavaş hızlarda olacak şekilde dondurarak kurutulmuş mikroenkapsüle balık yağları depolanarak stabiliteleri incelenmiştir. Depolama stabilitelerini belirlemek üzere uçucu bileşenleri incelenmiştir. Yavaş hızda dondurularak kurutulmuş ürünlerin daha stabil olduğu belirlenmiştir (Heinzelmann et al., 2000).

Çilek örneklerinin farklı kurutma teknikleri ile kurutularak fizikokimyasal özelliklerinin incelendiği bir çalışmada teknikler enerji tüketimi açısından da kıyaslanmıştır. Örnekler sıcak havada, liyofilizatörde ve her iki tekniğin kombine kullanılmasıyla kurutulmuştur. Liyofilizatör ve sıcak havanın kombine kullanıldığı durumda kuruma süresi kısalmış, enerji tüketimi azalmış ve duyusal olarak kabul edilebilirliği yüksek bir ürün elde edilmiştir (Xu et al., 2006). Liyofilizasyon ve atmosferik dondurma işlemlerinin karşılaştırıldığı bir diğer çalışmada materyal olarak dut kullanılmıştır. Atmosferik basınçta gerçekleştirilen hızlı dondurma işlemiyle kurutulan ürünlerdeki antioksidan aktivite değeri ve polifenol içeriği en yüksek bulunmuştur (Reyes et al., 2010).

Michalczyk et al. (2008) tarafından yapılan çalışmada dut ve çilek örnekleri konvansiyonel (40 °C) olarak ve dondurularak (-23 °C) kurutulmuştur. Kurutulan örnekler 10 ay süreyle depolanmış ve 2 ayda bir olmak üzere kalite analizleri yapılmıştır. Toplam fenolik madde içeriği antioksidan aktivite, antosiyanin miktarı dondurularak kurutulmuş ve depolanmış ürünlerde daha yüksek bulunmuştur.

Elma dilimlerinin vakumlu mikrodalga ve liyofizatör ile her iki tekniğin birlikte kullanılarak kurutulduğu bir çalışmada kurutulan örneklerin bazı kalite özellikleri incelenmiştir. Yalnızca dondurularak kurutulmuş örneklerin L^* ve b^* değerleri kombine kurutmaya kıyasla daha yüksek bulunmuştur. 8 saat dondurularak kurutulduktan sonra vakumlu mikrodalga kurutucuda istenilen nem düzeyine kadar işlem gören ürünün duyusal özelliklerinin daha iyi olduğu saptanmıştır. Ayrıca bu işlemde enerji tüketiminin en az olduğu tespit edilmiştir (Huang et al., 2009).

Lin et al. (1998) tarafından yapılan bir çalışmada açık havada, vakumlu mikrodalga kurutucuda ve dondurularak kurutulmuş havuç örnekleri renk değerleri,

rehidrasyon kapasiteleri, besin değerleri ve tekstürel özellikleri açısından karşılaştırılmıştır. Vakumlu mikrodalgada kurutulmuş örneklerin rehidrasyon kapasiteleri, C vitamini ve α -karoten miktarları açık havada kurutulanlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Dondurularak kurutulan ürünlerin L^* ve a^* renk değerleri en yüksek bulunmuştur. Duyusal panelde görünüş ve tekstür açısından yapılan değerlendirmede dondurularak kurutulan ürünler en yüksek beğeniye almıştır.

Farklı kalınlıklarda (12.4-14.5 mm) dilimlenmiş hindi etlerinin dondurulmasının modellendiği bir çalışmada kuruma süresinin 11-17 saat arasında değiştii belirlenmiştir. Ürünlerin kuruma hızlarının dinamik matematiksel modelle uyumlu olduğu tespit edilmiştir (Cumhur vd., 2016).

Haşlama ön işleminin ardından dondurularak ve düşük sıcaklıkta vakum altında kurutulmuş örnekler ile haşlama ön işlemi uygulanmadan aynı tekniklerle kurutulmuş ıspanak örneklerinin klorofil stabilitelerinin incelendiği bir çalışmada kurutulan örnekler farklı sıcaklıklarda (5, 20, 30, 45 °C) depolanmıştır. Vakum altında kurutulan örneklerin kuruma süreleri dondurularak kurutulmuş örneklerin kuruma sürelerine kıyasla daha kısa olarak bulunmuştur. Örneklerin depolama sıcaklığı arttıkça klorofil içerikleri azalmış TBA değeri artmıştır. Haşlama işleminin klorofil degradasyonunu arttırdığı belirlenmiştir (King et al., 2001).

Dondurularak ve sıcak havada kurutulmuş kabaklardan elde edilen kabak unlarının fizikokimyasal ve antioksidan özelliklerinin incelendiği bir çalışmada sıcak havada kurutulmuş örneklerin antioksidan aktiviteleri daha düşük bulunmuştur. Sıcak havada kurutma örneklerin yağ ve su tutma kapasitelerini azaltırken yığın yoğunluğu ve suda çözünabilirlik değerlerinde artışa neden olmuştur. Dondurarak kurutma ile örneklerdeki L^* değeri artmış, a^* değeri ise korunmuştur (Que et al., 2008).

Wang et al. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada dondurularak, açık havada ve vakumlu kurutucuda kurutulan muz pürelerinden elde edilen tozların aroma bileşenleri karşılaştırılmıştır. Esterlerin muz tozlarının aromasında önemli rol oynadığı belirlenmiştir. Aroma bileşenlerinin dondurularak kurutulmuş

ürünlerde en fazla olduğu ve sırasıyla vakumlu kurutucu ile açık havada kurutmanın geldiği tespit edilmiştir.

Farklı kalınlıklarda (1, 2 ve 3 mm) küp şeklinde doğranmış havuç örnekleri, kabuklu ve kabuksuz olarak dilimlenmiş kırmızı biber örnekleri ile mantar örneklerinin dondurularak kurumalarının modellendiği bir çalışmada 2 mm kalınlıkta dilimlenmiş havuç örnekleri ile mantar örneklerinin kuruma davranışları benzerlik göstermiştir. Örnekler kuruma hızları açısından kıyaslandığında biberlerin kuruma hızlarının en düşük olduğu saptanmıştır (George and Datta, 2002). Modelleme üzerine yapılan bir başka çalışmada ananas, guava ve mango pulpları materyal olarak kullanılmıştır. Page, Chen ve Douglas modellerinin dondurularak kurutulan ürünler için en uygun olduğu belirtilmiştir (Marques and Freire, 2005). Aynı araştırmacıların yaptığı bir başka çalışmada dondurularak kurutulmuş tropical meyvelerin bazı kalite özellikleri incelenmiştir. Dondurularak kurutulmuş örneklerin C vitamini, kalsiyum ve fosfor içerikleri taze örneklerle kıyasla daha düşük bulunmuştur (Marques et al, 2006).

Pérez-Gregorio et al. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada dondurularak kurutulmuş kırmızı soğan örneklerinin depolama sırasında flavonoidlerinde meydana gelen değişim incelenmiştir. Dondurarak kurutma sonrasında örneklerin toplam flavonoid miktarları taze olanlara kıyasla azalmıştır. Kurutulan örnekler depolanmış ve 6 ay süresince soğanların toplam flavonoid miktarlarında önemli bir değişiklik olmadığı saptanmıştır.

Torres et al. (2010) tarafından yapılan çalışmada dondurularak ve tepsili kurutucuda kurutulmuş örneklerin aroma ve fenolik kompozisyonları karşılaştırılmıştır. Liyofilize edilmiş örneklerin aroma ve fenolik kompozisyonları işlem görmemiş ürünlere daha yakın olarak bulunmuştur. Tepsili kurutucuda kurutma sonrası örneklerin alkol ve terpen miktarlarında azalma gözlenmiştir.

2.3 Yanıt yüzey metodu (Response Surface Methodology) (RSM)

Optimizasyon, proses için belirlenen hedefler (yanıtlar) doğrultusunda, bağımsız değişkenlerin birbirleriyle olan etkileşimleri ve bu bağımsız değişkenlerin

hedefe olan etkilerinin bir araya getirilip uygulanması işlemidir. Optimizasyon, üretimde kaliteyi iyileştirmek ve maliyeti minimize etmek amacıyla kullanılmaktadır (Koç ve Ertekin, 2009).

Yalnızca bir parametrenin değiştirilerek diğerlerinin sabit tutulduğu optimizasyon çalışmaları tek değişkenli optimizasyon olarak adlandırılmaktadır. Tek faktörlü optimizasyon çalışmaları incelenen değişkenler arasındaki interaktif etkileşimi tasvir etmekte yetersiz kalmaktadır. Ayrıca deney sayısı fazlalığının yol açtığı zaman ve malzeme kaybı tekniğin dezavantajlarından biridir. Bu problemleri gidermek amacıyla çok değişkenli istatistik teknikleri kullanılmıştır. Kullanılan teknikler arasında en yaygın olanı RSM'dir. RSM, istatistiksel ve matematiksel tekniklerin bir arada kullanılmasını esas almaktadır. RSM metodolojisi uygulama basamakları şöyledir: (1) sistem üzerine etki eden bağımsız değişkenlerin belirlenmesi ve deneysel bölgenin sınırlandırılması; (2) deney tasarımının seçimi ve seçilen matrise göre deneylerin yapılması; (3) elde edilen deneysel verilerin matematiksel-istatistiksel olarak değerlendirilmesi; (4) modelin uygunluğunun belirlenmesi; (5) bağımsız değişkenlerin sistemin yanıtında oluşturdukları değerlerin, optimum noktaya yakın sonuçlar verip vermediğinin belirlenmesi; (6) çalışılan her bir değişken için optimum değerlerin eldesi (Bezerra et al., 2008).

Birçok değişken, üzerinde çalışılan sistemin tepkisini etkileyebilir. Ancak çok küçük olanları tanımlayabilmek ve kontrol edebilmek neredeyse imkansızdır. Bu nedenle yüksek etkili değişkenlerin seçilmesi gerekmektedir (Lundstedt et al., 1998). RSM'de kullanılabilecek en basit model doğrusal fonksiyondur ve uygulanabilmesi için yanıtlar eşitlik 1 ile uyumlu olmalıdır;

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \varepsilon^o \quad (1)$$

Yanıtların eğri oluşturduğu durumlar için eşitlik 2'de verilen ikinci dereceden denklik kullanılmaktadır;

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (2)$$

Kritik bir noktanın (maksimum, minimum, eyer) belirlenmesi için eşitlik 3’de yer alan kuadratik terimleri içeren polinomial fonksiyon kullanılmaktadır (Bezerra et al., 2008);

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_i^2 x_i^2 + \sum_{1 \leq i < j}^k \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \quad (3)$$

Regresyon modeli tahminlendikten sonra bu denklemin ilişkiyi ne derece açıkladığının ve denklemini kullanarak yapılacak tahminlerin hassasiyetinin araştırılması gerekmektedir (İkiz vd., 2000). Bu amaçla, varyasyon katsayısının (C.V) hesaplanması, regresyon analizine hipotez testlerinin uygulanması, hipotez testlerinin regresyon katsayılarına bireysel olarak uygulanması, regresyon katsayısının (R^2) ve düzeltilmiş regresyon katsayısının hesaplanması (R^2_{adj}), tahminlenmiş kalıntı hata kareler toplamının (PRESS) hesaplanması, yeterli tahminleme (adequate precision) değerinin hesaplanması, model uygunsuzluğunun test edilmesi (lack of fit testi) ve kalıntı analizi gibi farklı test yöntemleri uygulanmaktadır (Koç ve Ertekin, 2009).

Literatürde kurutma ile ilgili uygulamalarda yanıt yüzey metodu kullanılarak proses koşullarının optimize edildiği çalışmalara rastlanılmaktadır (Mestry et al., 2011; Fernandes et al., 2011; Erbay ve İcier, 2009; Sharma and Prasad, 2006; Corzo et al., 2008; Silva et al., 2013; Jafari et al., 2008; Giri and Prasad, 2007; Swasdisevi et al., 2007; Kandasamy et al., 2014; Šumic et al., 2013; Ozdemir et al., 2008). Yapılan çalışmalarda ürünlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bağımlı değişken olarak seçildiği görülmektedir. Ancak kurutulan ürünlerdeki aroma bileşenlerinden herhangi birini bağımsız değişken esas alan bir optimizasyon çalışması bulunmamaktadır.

3. GEREÇ ve YÖNTEM

Bu çalışma Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi bilim dalı laboratuvar ve pilot tesis bölümlerinde gerçekleştirilmiştir.

3.1 Gereç

Çalışmada Lamas limon (*Citrus limon* L. Burm. f.) çeşidi materyal olarak kullanılmıştır. Limon örnekleri Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden temin edilmiştir (Şekil 3.1). Örnekler yıkanıp kurutulmuş, kabukları 4 mm kalınlıkta olacak şekilde soyularak vakum paketlenmiş ve Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında -20 °C sıcaklıktaki soğuk hava deposunda işleninceye kadar muhafaza edilmiştir.

Yapılan analizlerde kurutulmuş limon kabukları laboratuvar tipi değirmende (IKA-MFC) öğütülmüş ve toz halinde kullanılmıştır.



Şekil 3.1 Lamas Limonu (Anon, 2010)

3.2 Yöntem

Bu çalışma yıkanıp kurulan limonların kabuklarının soyulması, elde edilen kabuk örnekleri için ön denemelerle mikrodalga, vakumlu mikrodalga, vakumlu infrared, tepsili kurutuculardaki kurutma sınır koşullarının saptanması, yanıt yüzey metodu (RSM) ile optimum çalışma koşullarının belirlenmesi, belirlenen optimum koşullarda limon kabuğu örneklerinin kurutulması, farklı kurutma yöntemleriyle

(geleneksel yöntem, mikrodalga, vakumlu mikrodalga, vakumlu infrared, tepsili kurutucu, liyofilizatör) kurutulmuş ürünlerin bazı kalite özellikleri ve uçucu aroma bileşenlerinin kıyaslanması aşamalarından oluşmaktadır.

3.2.1 Kurutma teknikleri

Başlangıç nem içeriği %75 olan limon kabukları nem içerikleri 13 ± 1 'e ulaşana kadar aşağıda belirtilen yöntem ve koşullar kullanılarak kurutulmuştur. Limonlar tek sıra halinde ve 35 g ağırlıkta olacak şekilde, 0.4 m^2 lik yüzey alanına sahip çift yönden sıcak hava geçişinin olduğu tablalara yerleştirilerek kurutulmuştur.

3.2.1.1 Açık hava kurutma

Limon kabukları açık havada, gölgede olacak şekilde $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de %33 bağıl nemde 33 saat süreyle kurutulmuştur.

3.2.1.2 Tepsili kurutucu ile kurutma

Limon kabukları laboratuvar tipi tepsili kurutucuda (Eksis TK) $68.91 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 1.8 m/s hava hızında 39 dk süreyle kurutulmuştur.

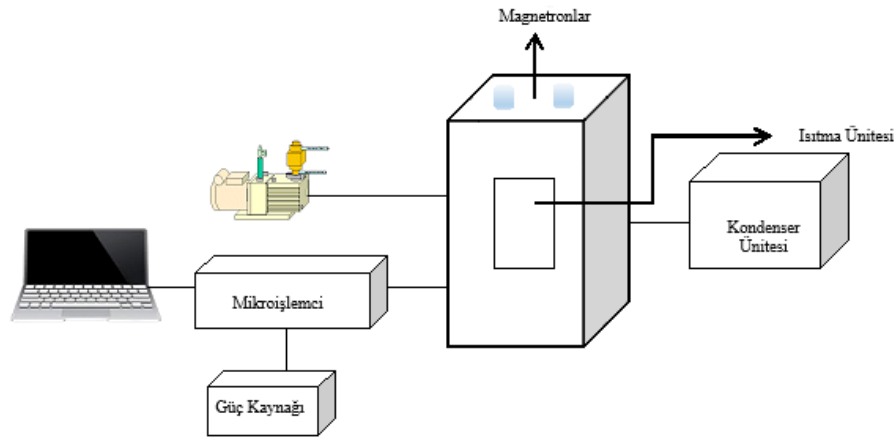
3.2.1.3 Mikrodalga kurutma

Limon kabukları 120 Watt güçte mikrodalga fırında (Arçelik MD574 S) 55 dk süreyle kurutulmuştur.

3.2.1.4 Vakumlu mikrodalga kurutma

Limon kabuklarının kurutulması amacıyla Bozkır (2017) tarafından tasarlanan ve Şekil 3.2'de şematize edilen vakumlu infrared-mikrodalga ekipmanı kullanılmıştır. Cihaz gövdesi ve yüzeyleri paslanmaz çelikten yapılmış olup iç boyutu $33 \text{ cm} \times 33 \text{ cm} \times 22 \text{ cm}$ şeklindedir. Cihazda sıcaklık kontrolü ve göstergesi ile vakum kontrolü ve göstergesi bulunmaktadır. Vakumlu mikrodalga ünitesi çalışma gücü 250-1000 W ve vakum basıncı 0-1000 mbar'dır. Kabuk örnekleri 65

°C’de 334 watt güçte kurutulmuştur. Kurutma işleminde vakum 750 mbar olarak ayarlanmıştır.



Şekil 3.2 Vakumlu Mikrodalga Kurutucu Sistem Şeması

3.2.1.5 Vakumlu infrared kurutma

Limon kabuklarının kurutulması amacıyla Bozkır ve Baysal (2017) tarafından tasarlanan vakumlu mikrodalga infrared ekipmanı kullanılmıştır. Örnekler 50.9 °C’de 87 dk süreyle kurutulmuştur.

3.2.1.6 Dondurarak kurutma

Limon kabukları liyofilizatörde (CHRIST ALPHA 1- 4 LD Plus) -70 °C’de 6 saat süreyle dondurularak kurutulmuştur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Liyofilizatör

3.2.2 Analiz yöntemleri

3.2.2.1 Deneysel tasarım ve istatistiksel analiz

Tepsili kurutucu, vakumlu mikrodalga ve vakumlu infrared kurutucularda yapılacak prosesler için seçilen parametrelerin optimizasyonu Yanıt Yüzey Metodu (RSM) ile gerçekleştirilmiştir. Denemelerden elde edilecek yanıtlar ile kullanılacak değişkenler arasında matematiksel modellerin geliştirilmesi için gerekli olan deneysel verilerde, vakumlu mikrodalga ve tepsili kurutucu proseslerinde merkezi tümleşik yüzey dizayn (Central Composite Face Centered Design), vakumlu infrared kurutucu proseslerinde ise tek faktörlü dizayn (One Factor Design) deneme planından faydalanılmıştır.

Deneysel tasarımlarda kullanılacak olan bağımsız değişkenlerin seviyeleri ön denemeler sonucu tespit edilmiştir. Bağımsız değişkenler ve seviyeleri Çizelge 3.1, 3.2 ve 3.3' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Tepsili kurutucuda kurutma işleminin optimizasyonu için değişkenler ve seviyeleri

Bağımsız Değişkenler	Kodlanmış Seviyeler		
	-1	0	1
X_1 Sıcaklık (°C)	50	60	70
X_2 Hava Hızı (m/s)	1.0	1.40	1.80

Çizelge 3.2. Vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutma işleminin optimizasyonu için değişkenler ve seviyeleri

Bağımsız Değişkenler	Kodlanmış Seviyeler		
	-1	0	1
X_1 Sıcaklık (°C)	50	57.5	65
X_2 Güç (W)	334	459	584

Çizelge 3.3 Vakumlu infrared kurutucuda kurutma işleminin optimizasyonu için değişkenler ve seviyeleri

Bağımsız Değişkenler	Kodlanmış Seviyeler		
	-1	0	1
X_1 Sıcaklık (°C)	50	55	60

Tepsili kurutucu ile vakumlu mikrodalga ve vakumlu infrared kurutuculardaki kurutma işlemlerinin optimizasyonunda bağımsız değişkenlere karşılık yanıt olarak kuruma süresi, limonen miktarı, L^* (parlaklık), a^* (kırmızılık, yeşillik), b^* (sarılık, mavilik), toplam renk farkı (ΔE), kroma farkı (ΔC) ve Hue açısındaki değişimler saptanmıştır. Ancak RSM’de L^* , a^* , ΔE , ΔC ve Hue açısı değerlerinde önemli bir farkın olmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle yanıt olarak kuruma süresi, limonen miktarı ve b^* değeri seçilmiştir. Design Expert programı kullanılarak elde edilen deneme planları çizelge 3.4, 3.5 ve 3.6’ da gösterilmiştir.

Çizelge 3.4 Tepsili kurutucuda kurutma işleminin optimizasyonunda kullanılan deneysel tasarım

Deneme Sırası	Sıcaklık (°C)	Hava Hızı (m/s)
	$X_1(x_1)$	$X_2(x_2)$
1	60(0)	1.4(0)
2	50(-1)	1.0(-1)
3	60(0)	1.4(0)
4	50(-1)	1.8(+1)
5	60(0)	1.0(-1)
6	60(0)	1.4(0)
7	70(+1)	1.4(0)
8	70(+1)	1.8(+1)
9	60(0)	1.4(0)
10	50(-1)	1.4(0)
11	70(+1)	1.0(-1)
12	60(0)	1.4(0)
13	60(0)	1.8(+1)

Çizelge 3.5 Vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutma işleminin optimizasyonunda kullanılan deneysel tasarım

Deneme Sırası	Sıcaklık (°C)	Güç (W)
	$X_1(x_1)$	$X_2(x_2)$
1	57.5(0)	334(-1)
2	65(+1)	459(0)
3	50(0)	584(+1)
4	65(+1)	584(+1)
5	57.5(0)	584(+1)
6	65(+1)	334(-1)
7	57.5(0)	459(0)
8	57.5(0)	459(0)
9	57.5(0)	459(0)
10	57.5(0)	459(0)
11	57.5(0)	459(0)
12	50(0)	334(-1)
13	50(0)	459(0)

Çizelge 3.6 Vakumlu infrared kurutucuda kurutma işleminin optimizasyonunda kullanılan deneysel tasarım

Deneme Sırası	Sıcaklık (°C)
	$X_1(x_1)$
1	60.00
2	57.50
3	50.00
4	55.00
5	50.00
6	52.50
7	60.00

Elde edilen verilerin çoklu lineer regresyon analizi sonucu her bir yanıt için (kuruma süresi, limonen miktarı, b^* değeri) sıcaklık ve güce (x) bağlı olarak elde edilecek polinomiyal model eşitlik 4’de verilmiştir. Eşitlikte yer alan “ k ” bağımsız değişken sayısını, “ y_i ” yanıtın i ’inci gözlem değerini, x_{ij} i ’inci gözlemin j ’inci bağımsız değişkenini, β ise model katsayısını temsil etmektedir.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i^2 + \sum_{1 \leq i < j}^k \beta_{ij} x_i x_j \quad (k=1,2,3) \quad (4)$$

İstenilirlik (desirability) metodu kullanılarak dizayn deneme desenlerine göre yapılan analizlerden elde edilen modeller ile çalışılan bölgede limonen miktarı ve b^* değerlerini maksimum, kuruma süresini ise minimum sağlayan optimum kurutma koşulları saptanmıştır.

Optimum noktanın doğrulanması amacıyla önerilen noktada 3 deneme yapılmış, deneysel ve tahminlenen değerler karşılaştırılmıştır. Optimum noktada doğrulama denemelerinden elde edilen ortalama sonuçlar ile modelden tahminlenen değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı tek örnek *T*-testi (SPSS, 2011, 20.0 for Windows Version; SPSS Inc., Chicago, Ill) uygulanarak saptanmıştır. Regresyon ve istatistiksel analizler, izohips ve yanıt yüzey grafikleri kullanılarak ve optimizasyon Design Expert Version 7.0 (Statease Inc.) paket programıyla gerçekleştirilmiştir.

İstatistiksel değerlendirmede % 95 güven aralığında Varyans analizinden (ANOVA) yararlanılmış, SPSS istatistiksel paket programı (SPSS, 2011, 20.0 for Windows Version; SPSS Inc., Chicago, Ill) kullanılmıştır.

3.2.2.2 pH tayini

Limon kabuğu tozu sulandırılarak (1:5; w:v) pH metre (WTW InfoLab pH720, Germany) kullanılarak pH değeri belirlenmiştir (Baik et al., 2000).

3.2.2.3 Asitlik tayini

Örneklerin titrasyon asitlikleri potansiyometrik yöntem kullanılarak tayin edilmiştir. Laboratuvar tipi değirmen (IKA-MFC) kullanılarak öğütülen limon kabukları, örnek miktarının 10 katı kadar saf su ile seyreltilerek 30 dk beklenmiştir. Süre sonunda karışım filtre edilmiş elde edilen sıvı kısma, pH 8.1 olacak şekilde 0.1 N NaOH ilave edilmiştir. Harcanan 0.1 N NaOH miktarından faydalanılarak formül 5'e göre hesaplama yapılmış, sonuç % sitrik asit cinsiden ifade edilmiştir (AOAC, 1995).

$$\% \text{ Titrasyon asitliği} = (V * f * E * 100) / M \quad (5)$$

V: Harcanan 0.1 N NaOH miktarı, ml

f: Faktör

E: 0.1 N NaOH'in eşdeğeri asit miktarı, g

M: Titre edilen örneğin gerçek miktarı, g

3.2.2.4 C vitamini analizi

Taze limon kabuğu ve limon tozu örneklerinde C vitamini tayini, Hışıl (2007)'de verilen spektrofotometrik yöntemle göre Thermo Scientific 60S UV-Visible (ABD) model spektrofotometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Stabilizan çözelti (% 4'lük okzalik asit), boya çözeltisi (2,6- diklorofenolindofenol, sodyum bikarbonat) ve askorbik asit çözeltisi kullanılarak farklı konsantrasyonlarda bir seri hazırlanmış ve 518 nm dalga boyunda absorbansa karşı C vitamini konsantrasyonunu gösteren standart eğri elde edilmiştir. Askorbik asit standart eğrisi Ek 5'de gösterilmiştir. Başlangıç nem içeriğine sulandırılmış limon kabuğu tozundan ve taze limon kabuğundan 1 gram alınmış ve 99 ml stabilizan çözeltisiyle karıştırılarak süzölmüştür. İki ayrı deney tüpüne 1'er ml örnek alınmış, tüplere 9 ml saf su ve 9 ml boya çözeltisi ilave edilmiştir. Su içeren örnek aletin sıfırlanması amacıyla kullanılmıştır. Örneğe ait absorbans değerine karşı standart grafikten konsantrasyon değeri belirlenmiş ve 100 gram kuru örnekteki askorbik asit miktarı hesaplanmıştır.

3.2.2.5 Toplam antioksidan aktivite tayini

Toplam antioksidan aktivite tayini DPPH radikal yakalama yöntemi ve ABTS radikal yakalama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.5.1 DPPH radikal yakalama yöntemi

0.5 g örnek üzerine 9.5 ml % 80 metanol çözeltisi ilave edilmiş karışım oda sıcaklığında 200 rpm'de 60 dk orbital çalkalayıcıda tutulmuştur. Süre sonunda 5204 g'de 10 dk santrifüj edilmiştir. Elde edilen süpernatant ekstraksiyon çözeltisi ile 50

ml'ye tamamlanmıştır. 600 µl DPPH radikal çözeltisi içeren deney tüplerine farklı konsantrasyonlarda (20, 40, 60, 80 ve 100 µl) örnek çözeltisi ilave edilmiştir. Karışım 6 ml'ye % 80'lik (v/v) metanol çözeltisi ile tamamlanmıştır. Test tüpleri ve tüpleri oda sıcaklığında ve karanlık bir ortamda 15 dk bekletilmiştir. Thermo Scientific 60S UV-Visible (ABD) model spektrofotometre kullanılarak 517 nm'de absorbans okunmuştur. Farklı konsantrasyonlardaki örneklerden elde edilen absorbans değeri kullanılarak kalibrasyon eğrisi çizilmiş ve EC₅₀ değeri hesaplanmıştır (Brand-Williams et al., 1995).

3.2.2.5.2 ABTS radikal yakalama yöntemi

0.5 g örnek üzerine 3 ml %75'lik metanol ilave edilerek karışım 15 dk ultrasonik banyoda tutulmuştur. 4000 rpm'de 10 dk santrifüj edilmiştir. Süpernatant alınarak kalıntıya 2 ml %75'lik metanol ilave edilmiş ve 5 ml ekstrakt elde edilinceye kadar işlem tekrarlanmıştır. Elde edilen ekstraktan 100 µl alınmış ve 1 ml ABTS çözeltisi eklenerek 10 sn karıştırılmıştır. Thermo Scientific 60S UV-Visible (ABD) model spektrofotometre kullanılarak 734 nm dalga boyunda absorbans okunmuştur. Farklı konsantrasyonlarda trolox içeren çözeltilere ait absorbans değerleri kullanılarak kalibrasyon eğrisi çizilmiş (Ek 6) ve antioksidan aktivite hesaplanmıştır (Miller and Rice-Evans, 1995).

3.2.2.6 Toplam fenolik madde tayini

Toplam Fenolik madde tayini Folin–Ciocalteu yöntemine (Singleton and Rossi, 1965) göre gerçekleştirilmiştir. 1 g örnek alınarak 100 ml'ye saf su ile tamamlanmış ve Whatman No 1 filtre kağıdından geçirilmiştir. Süzüntü üzerine 5 ml Folin-Ciocalteu ayırıcı ve 10 ml %20'lik Na₂CO₃ çözeltisi eklenerek 100 ml'ye saf su ile tamamlanmıştır. Saf su eklenen örnekler oda sıcaklığında reaksiyonun tamamlanması için 1 saat karanlık ortamda bekletilmiştir. 760 nm dalga boyunda şahit numuneye karşı okuma yapılmıştır. Örnekte ölçülen absorbans değerinin gallik asit cinsinden eşdeğeri olan fenolik bileşik miktarı, gallik asit ile hazırlanmış olan standart kalibrasyon eğrisi (Ek 7) yardımıyla hesaplanmıştır.

3.2.2.7 Toplam karotenoid miktarı analizi

5 g örneğe 50ml hegzan–aseton–etanol (v/v; 50:25:25) çözeltisi ilave edilmiş, karışım oda sıcaklığında 200 rpm’de 10 dk orbital çalkalayıcıda tutulmuştur. Süre sonunda karışım 6500 rpm’de 4 °C’de 5 dk santrifüj edilmiştir. Süpernatant toplanarak ekstarksiyon çözeltisi ile 50 ml’ye tamamlanmıştır. Thermo Scientific 60S UV-Visible (ABD) model spektrofotometrede 450 nm’de okuma yapılmıştır. β -karoten standardı kullanılarak elde edilen kalibrasyon eğrisi elde edilmiştir (Ek 8). Örneğe ait absorbans değerine karşı standart grafikten konsantrasyon değeri belirlenmiş ve sonuç 100 g kuru örnekteki β -karoten cinsinden ifade edilmiştir (Lee, 2001).

3.2.2.8 Uçucu bileşen tayini

5 g örnek 20 mL’lik vial konulmuş, silikon septa ve alüminyum kapak ile kapatılarak vial headspace (HS) tablasına yerleştirilmiştir. PDMS fiber kullanılmış, vial 80 °C’de 20 dakika bekletilmiştir. Süre sonunda fiber vial içerisinden alınarak GC-MS enjeksiyon portuna yerleştirilmiştir.

GC-MS analizleri HP 5975C quadropole mass selective dedektör (Agilent Technologies, USA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cihazda 30 m x 0.25 mm x 0.25 μ m film HP-5 kolon kullanılmıştır. Fırın sıcaklığı 60 °C’den 210 °C’ ye 3 °C/dk artış; 210 °C’den 240 °C’ ye 20°C/dk artış olacak şekilde ayarlanmıştır. 240°C’de 8.5 dk tutulmuştur. GC koşulları aşağıda belirtilmiştir.

Enjeksiyon sıcaklığı: 280°C,

Dedektör sıcaklığı: 290 °C

Taşıyıcı gaz: Helyum

Gaz akış oranı: 1 ml/dk

Split oranı: 1:50

İç standart olarak siklohegzanon kullanılmıştır. Limonenin tepki faktörü (RF), seçilen iyon alanı oranlarına (limonen / siklohegzanon; 1:10, 5: 1, 1: 1, 1: 5 ve 10: 1) göre hesaplanmıştır. Diğer uçucu aroma bileşenleri için tepki faktörü 1 alınarak miktar hesaplama yapılmıştır. Uçucu aroma bileşenleri alkanların (C8-

C23) kolonda lineer alıkonma sürelerine ve NIST (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA) ile Wiley (Wiley, New York, NY, USA) kütüphanelerinde yer alan kütle spektrumlarına göre tanımlanmıştır (Najafian and Rowshan, 2012).

3.2.2.9 Nem tayini

Nem tayini, infrared nem cihazı ile (Shimadzu MOC-63U, Japonya) örneklerin sabit tartıma gelinceye kadar bekletilmesi yoluyla gerçekleştirilmiş ve gravimetrik yöntemle hesaplanmıştır (AOAC, 1995).

3.2.2.10 Renk tayini

Örneklerin renk değerleri (L^* , a^* , b^*) Minolta CR-400 (Managment Company, Japan) renk ölçüm cihazında ölçülmüştür. Ayrıca taze limon kabuğu (kontrol grubu) renk değerleri (L , a , b) referans kabul edilerek örneklerin ΔE , ΔC ve Hue açısı değerleri aşağıda verilen eşitliklere (Eşitlik 6, 7 ve 8) göre hesaplanmıştır.

$$\Delta E = \sqrt{[(L^* - L_{ref})^2 + (a^* - a_{ref})^2 + (b^* - b_{ref})^2]} \quad (6)$$

$$\Delta C = \sqrt{[(a^* - a_{ref})^2 + (b^* - b_{ref})^2]} \quad (7)$$

$$\text{Hue açısı} = \tan^{-1}(b^*/a^*) \quad (8)$$

3.2.2.11 Su tutma kapasitesi tayini

0.5 g örnek tartılarak üzerine 10ml saf su ilave edilmiş ve karıştırılmıştır. Hazırlanan örnek karışımı 60 °C sıcaklıktaki su banyosunda 30 dk bekletilmiştir. Su banyosundan alınan örnekler buzlu suda 30 dk soğutulduktan sonra 5000 rpm'de 20 dk santrifüj edilmiştir. Süpernatant uzaklaştırılarak tüpler tartılmıştır. Su tutma kapasitesi aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Zhang et al., 2014).

$$\text{Su Tutma Kapasitesi (g/g)} = \frac{\text{Son ağırlık (g)} - \text{Dara (g)}}{\text{Örnek Ağırlığı (g)}} \quad (9)$$

3.2.2.12 Su aktivitesi tayini

Su aktivitesi ölçümü, su aktivite ölçüm cihazı ile (Novasina Labstart, İsviçre) 20°C’ de gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.13 Yığın yoğunluğu analizi

‘m’ miktarda toz örnek, hacmi (V) bilinen bir kaba doldurulmuş sonrasında kütesinin hacmine bölünmesi (m/V) ile hesaplama yapılmıştır (Walton, 2000).

3.2.2.14 Kurutma kinetiğinin hesaplanması

3.2.2.14.1 Serbest nem içeriğinin hesaplanması

Kurutma süresince farklı zamanlarda (t) ürün ağırlığı hesaplanmıştır. Toplam ağırlık w , kuru madde ağırlığı w_s ile gösterilmiştir.

$$Xt = \frac{w - w_s}{w_s} \text{ (kg H}_2\text{O/kg kuru madde)} \quad (10)$$

Serbest nem içeriği (kg H₂O/kg kuru madde) (X) eşitlik 11’e göre hesaplanmıştır;

$$X = Xt - Xe \quad (11)$$

X_e : Denge nem içeriği (kg H₂O/kg kuru madde)

X_t : t anındaki nem içeriği (kg H₂O/kg kuru madde)

3.2.2.14.2 Kuruma hızının hesaplanması

Kurutma hızı (R) her bir süre için eşitlik 12’e göre hesaplanmıştır;

$$R = - \left(\frac{w_s}{A} \right) * \left(\frac{dx}{dt} \right) \quad (12)$$

A: Kuruma yüzey alanı (m²) (Baysal vd., 2003).

3.2.2.14.3 Etkin difüzyon katsayısının hesaplanması

Etkin difüzyon katsayısı (D_{eff}) Fick difüzyon yasasına (13) göre hesaplanmıştır;

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp \left[-(2n-1)^2 \pi^2 \frac{D_{eff}}{4L^2} t \right] \quad (13)$$

MR : Nem oranı

t : Süre (s),

D_{eff} : Efektif difüzivite (m²/s)

L : Örnek kalınlığı

Nem oranı (MR) eşitlik 14'e göre hesaplanmıştır;

$$MR = \frac{Mt - Me}{Mi - Me} \quad (14)$$

M_t : t anındaki nem içeriği (kg H₂O/kg kuru madde)

M_i : Başlangıç nem içeriği (kg H₂O/kg kuru madde)

M_e : Denge anındaki nem içeriği (kg H₂O/kg kuru madde) (Saçılık, 2007).

Uzun kurutma süreleri için denklemin ilk terimleri çözüm için kullanıldığında denklem 11 logaritmik formda (15) yazılır.

$$\ln(MR) = \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \right) - \left(\pi^2 \frac{D_{eff}}{4L^2} t \right) \quad (15)$$

DeneySEL MR değerlerinin doğal logaritmasına karşılık kuruma zamanı grafiği çizildiğinde elde edilen doğrunun eğiminden etkin difüzyon katsayısı (16)

hesaplanır (Saçılık, 2007).

$$eğim = \pi^2 \frac{D_{eff}}{4L^2} \quad (16)$$

3.2.2.15 Duyusal analiz

Örneklerin duyusal değerlendirilmesi için puanlama testi kullanılmıştır (Altuğ Onoğur ve Elmacı, 2011). Panelistlerin, örnekleri 1’den 5’e kadar renk, doku ve koku açısından beğeniye göre puanlandırması istenmiştir. Varyans analizi (ANOVA) SPSS istatistiksel paket programı kullanılarak (SPSS 15.0 for Windows Version; SPSS Inc., Chicago, Ill) % 95 güven aralığında gerçekleştirilmiştir. Duyusal testde kullanılan form Ek 3’ de verilmiştir.

3.2.2.16 İstatistiksel analiz

İstatistiksel değerlendirmede % 95 güven aralığında Varyans analizinden (ANOVA) yararlanılmış, SPSS istatistiksel paket programı (SPSS, 2011, 20.0 for Windows Version; SPSS Inc., Chicago, Ill) kullanılmıştır. Temel bileşen analizi (PCA) için XLSTAT 2018 deneme sürümü kullanılmıştır.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

4.1. Tepsili kurutucu, vakumlu mikrodalga ve vakumlu infrared kurutucularda kurutma işlem parametrelerinin yanıt yüzey metodu (RSM) ile optimizasyonu

4.1.1. Tepsili kurutucudaki kurutma işlem parametrelerinin yanıt yüzey metodu (RSM) ile optimizasyonu

Çalışmada kullanılan tepsili kurutma sistemi, ısıtıcı, havalandırma fanı, kurutma arabası ve hava ayırıcı kısımlarından oluşmaktadır. Sistemde hava hızı 0.5-2.0 m/s aralığında ayarlanabilmektedir. 0.5 m/s hava hızında yapılan ön denemelerde ürün kuruma süresinin uzadığı ve literatür incelendiğinde kurutma işlemleri için genellikle 1 m/s hava hızının kullanıldığı görülmüştür (Arıcı ve Mendeş, 2012; Aghboslo et al., 2009; Doymaz, 2009). Tepsili kurutucuda 70 °C'nin üstündeki işlem koşullarında maksimum hava hızında yapılan denemelerde limon kabuklarında yüzeyde yanma gözlenmiştir. Ön denemeler ile limon kabuğunun tepsili kurutucuda kurutulması için sistemdeki minimum ve maksimum sıcaklık ve hava hızı değerleri sırasıyla 50-70 °C, 1.0-1.8 m/s olarak belirlenmiştir. Optimum kurutma koşullarını belirlemek üzere RSM kullanılarak merkezi tümleşik yüzey tasarımı istatistiksel dizayn uygulaması ile belirlenmiştir. Kullanılan deneme planı ve elde edilen sonuçlar çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelge 4.1'de verilen sonuçlara göre kuruma süresi, limonen miktarı ve b^* değeri yanıtlarına kuadratik terimlerin eklenmesi modelleri önemli ölçüde geliştirmiştir. Bağımsız değişkenlerin değerlerinin tahminlenmesi için polinomiyal modelin en uygun olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.1 Tepsili kurutucudaki kurutma işlemi için kullanılan deneme planı ve elde edilen sonuçlar

Deneme Sırası	Sıcaklık (°C)	Hava Hızı (m/s)	b^* değeri	Kuruma süre (dk)	Limonen miktarı (mg/g km)
	$X_1(x_1)$	$X_2(x_2)$	y_1	y_2	y_3
1	60(0)	1.4(0)	30.234	45	3414.12
2	50(-1)	1.0(-1)	31.79	49	3421.3
3	60(0)	1.4(0)	36.3	43	3450
4	50(-1)	1.8(+1)	31.626	39	3278.55
5	60(0)	1.0(-1)	32.8	48	3485.94
6	60(0)	1.4(0)	32.5975	45	3447.52
7	70(+1)	1.4(0)	30.926	43	3275.15
8	70(+1)	1.8(+1)	37.268	39	3537.53
9	60(0)	1.4(0)	32.892	43	3361.69
10	50(-1)	1.4(0)	33.372	44	3250
11	70(+1)	1.0(-1)	32.8	45	3300
12	60(0)	1.4(0)	34.998	44	3423
13	60(0)	1.8(+1)	32.59	38	3720.99

Deneysel verilerin kuadratik modele uyumluluğa ilişkin varyans analizi Çizelge 4.2’de yer almaktadır. Modelin oluşturulmasında matematiksel uyumsuzluğun önemsiz ve regresyon modelinin önemli olması koşulu aranmaktadır (Myers and Montgomery, 1995). Kuruma süresi, b^* değeri ve limonen miktarı yanıt modelleri için bu koşulların sağlandığı belirlenmiştir. Deneysel verideki model tarafından açıklanabilen varyasyonun toplam varyasyona oranı olan R^2 değeri b^* , kuruma süresi ve limonen miktarı modelleri için sırasıyla 0.93, 0.9, 0.89 olarak bulunmuştur. Deneysel verilerdeki kalıntı varyasyonunun ortalamaya bağlı olarak bir ölçüsü olan varyasyon katsayısı değeri (C.V.) %10’un altında olmalıdır (Bozkır, 2017). Kuruma süresi, b^* değeri ve limonen miktarı yanıt modelleri için C.V. değeri sırasıyla % 2.99, % 2.56, % 1.57 olarak bulgulanmıştır. Bir regresyon modelinin daha sonra yapılacak gözlemlerde tahminleme modeli olarak kullanılabilmesi için ise Adequate Precision (yeterli kesinlik) değerinin 4’ün üzerinde olması gerekmektedir. Kuruma süresi, b^* değeri ve limonen miktarı yanıt modelleri için yeterli kesinlik değerinin sırasıyla 8.526, 19.319, 11.602 olarak bulunmuştur. Kalıntı analizleri varsayımların test edilmesi ve model uygunluğunun tespitinde önem taşımaktadır. Elde edilen grafiklerden varsayımların karşılandığı görülmektedir.

Çizelge 4.2 Tepsili kurutucu denemelerine ait b^* değeri, kuruma süresi, limonen yanıtları için elde edilen ANOVA tablosu ve model parametreleri

Kaynak	Hata kareler toplamı	df	Ortalama hata karesi	F-değeri	p-değeri
b^*					
Model	16.81	3	5.60	5.63	0.0188
Kalıntı	8.96	9	1.00		
Lack of fit	5.46	5	1.09	1.25	0.4260
Saf hata	3.49	4	0.87		
Toplam	25.77	12			
$R^2 = 0.9273$					
CV%=2.99					
Kuruma Süresi					
Model	116.83	2	58.42	47.12	< 0.0001
Kalıntı	12.40	10	1.24		
Lack of Fit	8.40	6	1.40	1.40	0.3884
Saf hata	4.00	4	1.00		
Toplam	129.23	12			
$R^2 = 0.9041$					
CV%= 2.56					
Limonen Miktarı					
Model	1.773E+005	5	35460.76	12.31	0.0023
Kalıntı	20161.76	7	2880.25		
Lack of fit	15063.41	3	5021.14	3.94	0.1093
Saf hata	5098.34	4	1274.59		
Toplam	1.975E+005	12			
$R^2 = 0.8979$					
CV% = 1.57					

Optimizasyon çalışmasında yanıtlar için regresyon analizi sonucunda elde edilen ikinci dereceden polinomiyal model, kodlanmış değişkenler cinsinden Eşitlik 17, 18 ve 19’ da verilmiştir:

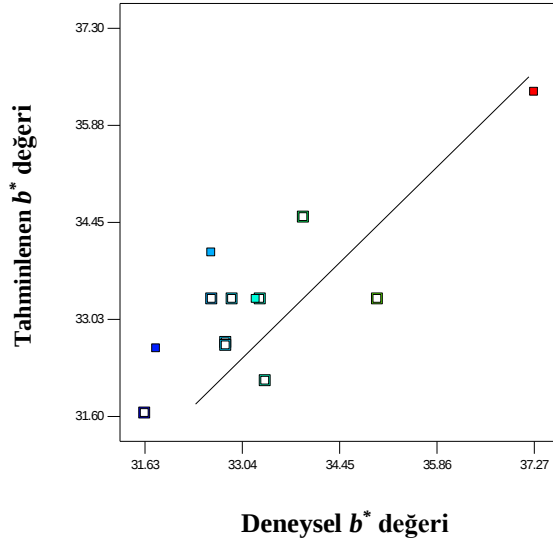
$$Y_1 = +33.32 + 1.2 \cdot X_1 + 0.68 \cdot X_2 + 1.16 \cdot X_1 \cdot X_2 \quad (17)$$

$$Y_2 = +43.46 - 0.83 \cdot X_1 - 4.33 \cdot X_2 \quad (18)$$

$$Y_3 = +3427.88 + 27.14 \cdot X_1 + 54.97 \cdot X_2 + 95.07 \cdot X_1 \cdot X_2 - 186.83 \cdot X_1^2 + 154.06 \cdot X_2^2 \quad (19)$$

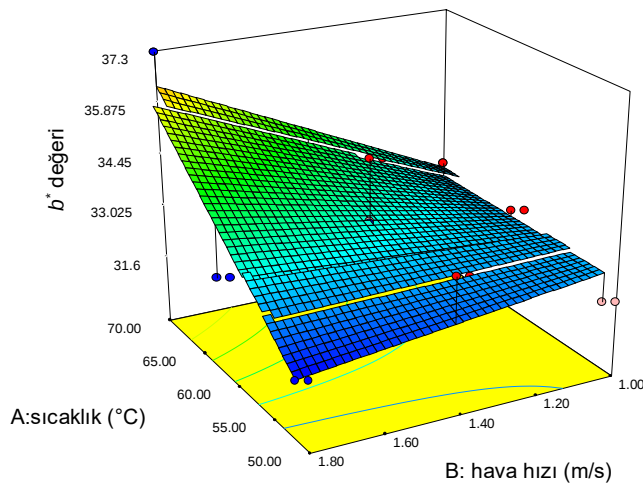
$Y_1 = b^*$ değeri, $Y_2 =$ kuruma süresi (dk), $Y_3 =$ limonen miktarı (mg/g km),
 $X_1 =$ sıcaklık(°C) $X_2 =$ hava hızı (m/s)

Eşitlik 17, 18 ve 19'dan tahminlenen değerler ile deneysel değerler arasındaki uyum Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Limon kabuğu tozlarının b^* değerleri için model tahminlerinin deneysel verilerle uyumlu olduğu saptanmıştır.



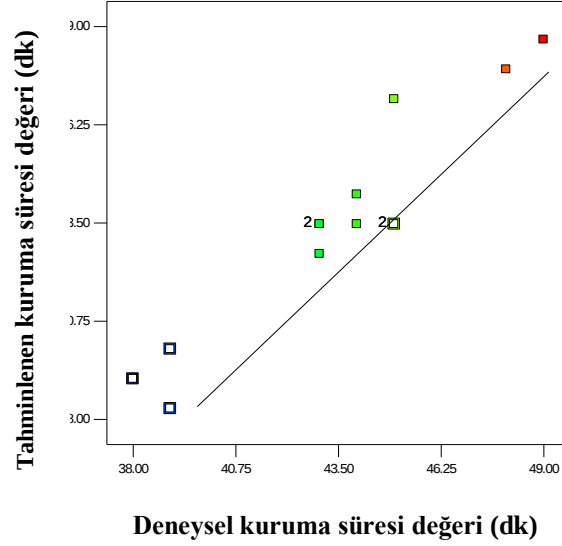
Şekil 4.1 b^* değeri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler

Tepsili kurutucudaki sıcaklık ve hava hızı değerlerinin b^* renk değeri üzerine olan etkileri Şekil 4.2'de yer alan yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrileri ile gösterilmiştir. Grafik üzerinde gösterilen mavi renkli bölgeler b^* değerinin düşük olduğu noktaları ifade etmektedir. Sıcaklık ve hava hızındaki artışa bağlı olarak b^* değerinde artış meydana geldiği görülmektedir.



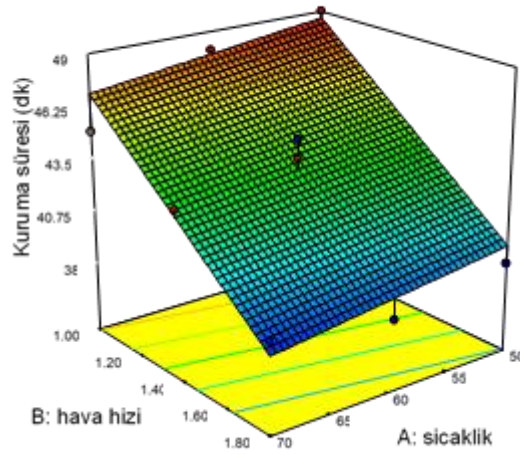
Şekil 4.2 b^* değeri için yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrisi

Kuruma süresi için eşitlik 18’de tahminlenen değerler ile deneysel değerler arasındaki uyum Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Limon kabuğu tozlarının kuruma süresi değerleri için model tahminlerinin deneysel verilerle uyumlu olduğu belirlenmiştir.



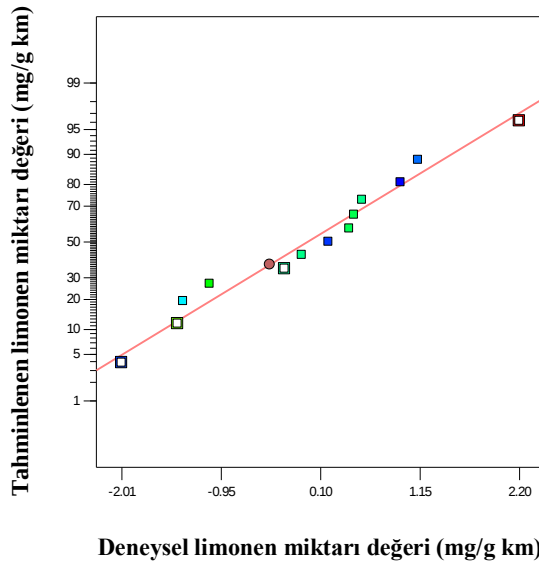
Şekil 4.3 Kuruma süresi için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler

İşlem değişkenlerinin kuruma süresi değerleri üzerindeki etkilerinin görsel olarak saptanabilmesi için yanıt yüzey grafiği ile eş yükselti eğrileri oluşturulmuştur. Tepsili kurutucudaki sıcaklık ve hava hızı değerlerinin kuruma süresi üzerine olan etkileri Şekil 4.4’de yer alan yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrileri ile gösterilmiştir. Grafik üzerinde gösterilen mavi renkli bölgelerden kırmızı renkli bölgelere gidildikçe kuruma süresi artmaktadır. Sıcaklık ve hava hızındaki artışa bağlı olarak kuruma süresi kısalmıştır. Hava hızı sıcaklığa kıyasla kuruma süresi üzerinde daha etkili olarak bulunmuştur.



Şekil 4.4 Kuruma süresi değeri için yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrisi

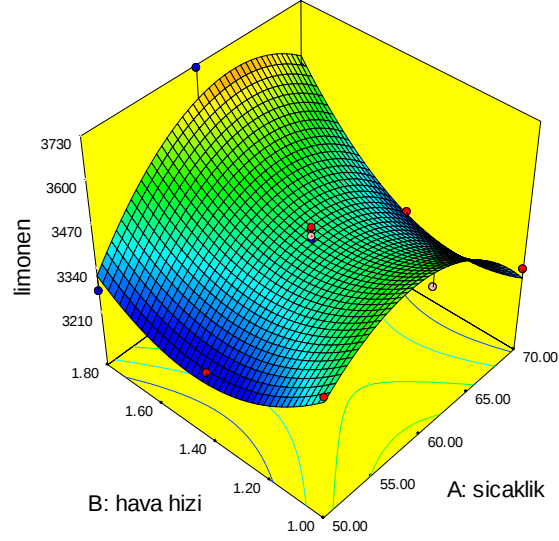
Limonen miktarı için eşitlik 19’ da tahminlenen değerler ile deneysel değerler arasındaki uyum Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Limon kabuğu tozlarının limonen miktarı değerleri için model tahminlerinin deneysel verilerle uyumlu olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.5 Limonen miktarı için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler

Tepsili kurutucudaki sıcaklık ve hava hızı değerlerinin limonen miktarı üzerine olan etkileri Şekil 4.6’da yer alan yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrileri

ile gösterilmiştir. Grafik üzerinde gösterilen mavi renkli bölgeden kırmızı renkli bölgelere gidildikçe limonen miktarında artış görülmektedir. 50 °C’de kurutulan ürünlerin limonen miktarı 60 °C’de kurutulanlara kıyasla, 70 °C’de kurutulan ürünlerin limonen miktarları ise 60 °C’de kurutulanlara kıyasla daha düşük olarak bulunmuştur. Aynı sıcaklık değerlerinde yapılan kurutma işlemlerinde hava hızındaki artışa bağlı olarak örneklerdeki limonen miktarı artış göstermiştir.



Şekil 4.6 Kuruma süresi değeri için yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrisi

Türk Gıda Kodeksi’nde kurutulmuş limon kabuğu ile ilgili herhangi bir yasal düzenleme bulunmamaktadır. FDA (2013) tarafından belirlenmiş standartlara göre limon kabuğu kurusunun renginin parlak sarı olması gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada aromatik özelliklerin korunması hedeflendiğinden ve limon kabuğunda bulunan majör uçucu bileşen limonen olduğundan optimum noktanın belirlenmesi amacıyla cevapların değerlendirilmesinde standartta yer alan değerler ve limonen miktarı esas alınmıştır. Deneme desenine göre gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasında b^* değeri ve limonen miktarının maksimum, kuruma süresinin minimum olduğu koşulların optimum nokta olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. İstenirlik fonksiyonu yaklaşımı uygulandığında optimum nokta için birbirine yakın 3 çözüm bulunmuştur. Bu çözümler Çizelge 4.3’de verilmiştir. Optimum nokta olarak, programın belirlediği bu çözümlerden birinci çözümde elde edilen

faktör seviyeleri seçilmiş ve bu noktada faktör seviyeleri, sıcaklık 68.9 °C, hava hızı 1.8 m/s olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.3 Tepsili kurutucu ile limon kabuklarının kurutulması için istenilirlik fonksiyonu ile belirlenen optimum nokta çözümleri

Çözüm	Sıcaklık (°C)	Hava hızı (m/s)	b^* değeri	Kuruma süresi (dk)	Limonen miktarı(mg/g km)	İstenilirlik	
1	68.90	1.8	36.10	38.39	3597.67	0.827	Seçildi
2	69.17	1.8	36.17	38.36	3591.77	0.827	
3	65.11	1.8	35.21	38.70	3650.60	0.797	

Seçilen çözüm önerisine ait koşullarda üç doğrulama denemesi gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar ve tahminlenen değerler Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Optimum noktada ortalama deneysel değerlerin modelden tahminlenen değerler ile kıyaslanması

Yanıtlar	Değerler	
	Deneysel	Tahminlenen
Kuruma Süresi (dk)	39±1	38.39
b^* değeri	37.08 ±0.12	36.17
Limonen miktarı (mg/g)	3666.98±13.56	3597.70

Kuruma süresi, b^* değeri ve limonen miktarı yanıtları için optimum noktada doğrulama denemelerinden elde edilen ortalama sonuçlar ile modelden tahminlenen değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ($p>0.05$) tek örnek T -testi uygulanarak belirlenmiştir. Tek örnek T -testi sonuçları Ek 1’de verilmiştir.

4.1.2. Vakumlu mikrodalga kurutucudaki kurutma işlem parametrelerinin yanıt yüzey metodu (RSM) ile optimizasyonu

Çalışmada kullanılan vakumlu mikrodalga-infrared kurutucu Bozkır ve Baysal (2017) tarafından tasarlanmıştır. Cihazda sıcaklık kontrolü ve göstergesi ile

vakum kontrolü ve göstergesi bulunmaktadır. Vakumlu mikrodalga kurutucuda 65 °C'nin üstündeki işlem koşullarında yapılan denemelerde limon kabuklarında yüzeyde yanma tespit edilmiştir. Sistemin 50 °C'nin altındaki koşullarda efektif çalışmayarak zorlandığı belirlenmiştir. Ön denemeler ile limon kabuğunun vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulması için sistemdeki minimum ve maksimum sıcaklık değerleri sırasıyla 50-65 °C olarak belirlenmiştir. 65 °C'de 584 W güç değerinin üzerine çıkıldığında üründe yanmalar görülmektedir. Sistemde çalışılan güç 334 W'ın altına düşürülüp sıcaklık 65 °C'ye ayarlandığında ürünün istenilen sıcaklığa ulaşmadığı görülmüştür. Ön denemeler ile limon kabuğunun vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulması için sistemdeki minimum ve maksimum güç değerleri sırasıyla 334-584 W olarak belirlenmiştir. Optimum kurutma koşullarını belirlemek üzere RSM'de yer alan merkezi tümleşik yüzey tasarımı istatistiksel dizayn uygulaması kullanılmıştır. Kullanılan deneme planı ve elde edilen sonuçlar çizelge 4.5'de verilmiştir. Çizelge 4.5'de verilen sonuçlara göre kuruma süresi, limonen miktarı ve b^* yanıtlarına kuadratik terimlerin eklenmesi modelleri önemli ölçüde geliştirmiştir. Bağımsız değişkenlerin değerlerinin tahminlenmesi için polinomial modelin en uygun olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.5 Vakumlu mikrodalga kurutucudaki kurutma işlemi için kullanılan deneme planı ve elde edilen sonuçlar

Deneme Sırası	Sıcaklık (°C)	Güç (W)	b^* değeri	Kuruma Süresi (dk)	Limonen miktarı (mg/g km)
	$X_1(x_1)$	$X_2(x_2)$	y_1	y_2	y_3
1	57.5(0)	334(-1)	41.5	46	3417.73
2	65.0(+1)	459(0)	46.43	32	2691.56
3	50.0(-1)	584(+1)	45.33	76	3325.88
4	65.0(+1)	584(+1)	43.06	29	2858.46
5	57.5(0)	584(+1)	42.32	35	3400.45
6	65.0(+1)	334(-1)	42.31	33	3356.75
7	57.5(0)	459(0)	43.7	40	2913.58
8	57.5(0)	459(0)	43.0	40	2913
9	57.5(0)	459(0)	42.62	37	2815.2
10	57.5(0)	459(0)	41.79	38	3143.68
11	57.5(0)	459(0)	43.70	39	3000
12	50.0(-1)	334(-1)	39.73	80	3180.42
13	50.0(-1)	459(0)	43.00	78	2900

Deneyisel verilerin kuadratik modele uyumluluğa ilişkin varyans analizi Çizelge 4.6’da yer almaktadır. Kuruma süresi, b^* değeri ve limonen miktarı yanıt modelleri için matematiksel uyumsuzluğun önemsiz ve regresyon modelinin önemli olduğu belirlenmiştir. Deneyisel verideki model tarafından açıklanabilen varyasyonun toplam varyasyona oranı olan R^2 değeri b^* , kuruma süresi ve limonen miktarı modelleri için sırasıyla 0.83, 0.99, 0.89 olarak bulunmuştur. Kuruma süresi, b^* değeri ve limonen miktarı yanıt modelleri için C.V. değeri %10’un altında olup sırasıyla % 1.85, % 4.22, % 3.34 olarak bulgulanmıştır. Kuruma süresi, b^* değeri ve limonen miktarı yanıt modelleri için yeterli kesinlik değeri 4’ün üzerinde olup sırasıyla 10.058, 19.319, 11.602’dir.

Çizelge 4.6 Vakumlu mikrodalga kurutucu denemelerine ait b^* , kuruma süresi, limonen yanıtları için elde edilen ANOVA tablosu ve model parametreler

Kaynak	Hata kareler toplamı	df	Ortalama hata karesi	F-değeri	p-değeri
b^*					
Model	22.16	5	4.43	7.07	0.0116
Kalıntı	4.39	7	0.63		
Lack of fit	3.34	3	1.11	4.27	0.0972
Saf hata	1.04	4	0.26		
Toplam	26.55	12			
$R^2 = 0.8348$					
CV%=1.85					
Kuruma Süresi					
Model	4092.27	5	818.45	213.74	< 0.0001
Kalıntı	26.80	7	3.83		
Lack of fit	20.00	3	6.67	3.92	0.1099
Saf hata	6.80	4	1.70		
Toplam	4119.08	12			
$R^2 = 0.9935$					
CV%= 4.22					
Limonen Miktarı					
Model	6.577E+005	5	1.315E+005	12.52	0.0022
Kalıntı	73519.38	7	10502.77		
Lack of fit	12892.72	3	4297.57	0.28	0.8357
Saf hata	60626.66	4	15156.66		
Toplam	7.312E+005	12			
$R^2 = 0.8995$					
CV% = 3.34					

Optimizasyon çalışmasında yanıtlar için regresyon analizi sonucunda elde edilen ikinci dereceden polinomiyal model, kodlanmış değişkenler cinsinden Eşitlik 20, 21 ve 22’de verilmiştir:

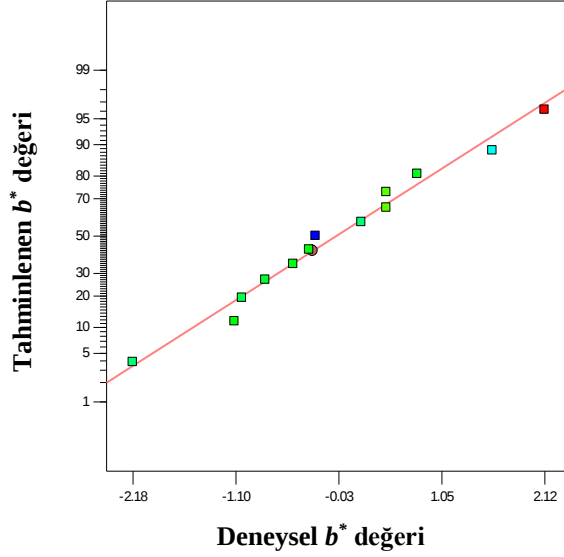
$$Y_1 = +43.36 + 1.02 * X_1 + 0.80 * X_2 - 0.61 * X_1 * X_2 + 0.85 * X_1^2 - 1.95 * X_2^2 \quad (20)$$

$$Y_2 = +39.10 - 23.33 * X_1 - 3.17 * X_2 + 0.000 * X_1 * X_2 + 15.14 * X_1^2 + 0.64 * X_2^2 \quad (21)$$

$$Y_3 = +2966.39 - 83.25 * X_1 - 61.69 * X_2 - 160.94 * X_1 * X_2 - 193.85 * X_1^2 + 419.46 * X_2^2 \quad (22)$$

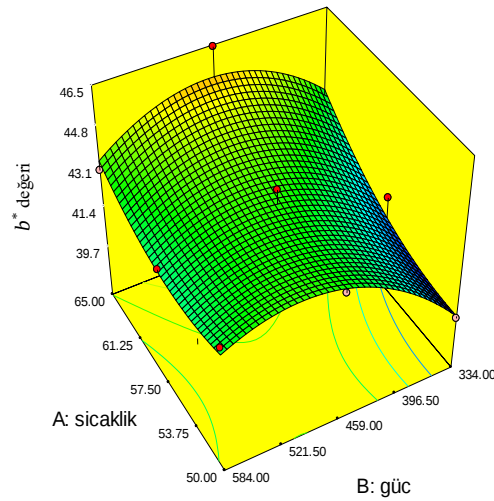
$Y_1 = b^*$ değeri, $Y_2 =$ kuruma süresi (dk), $Y_3 =$ limonen miktarı (mg/g km),
 $X_1 =$ sıcaklık(°C) $X_2 =$ vakum gücü(W)

Eşitlik 20, 21 ve 22'den tahminlenen değerler ile deneysel değerler arasındaki uyum Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Limon kabuğu tozlarının b^* değerleri için model tahminlerinin deneysel verilerle uyumlu olduğu saptanmıştır.



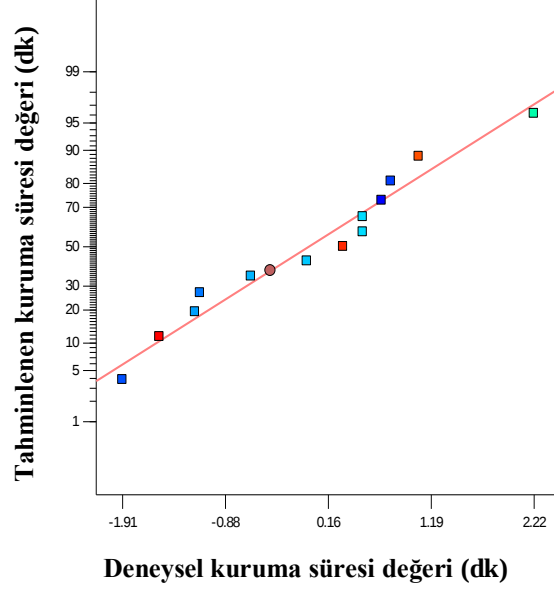
Şekil 4.7 b^* değeri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler

Vakumlu mikrodalga-infrared kurutucudaki sıcaklık ve güç değerlerinin b^* değeri üzerine olan etkileri Şekil 4.8'de yer alan yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrileri ile gösterilmiştir. Grafik üzerinde gösterilen mavi renkli bölgeler b^* değerinin en düşük olduğu noktaları ifade etmektedir. Sıcaklık ve güç artışına bağlı olarak b^* değeri de artmıştır.



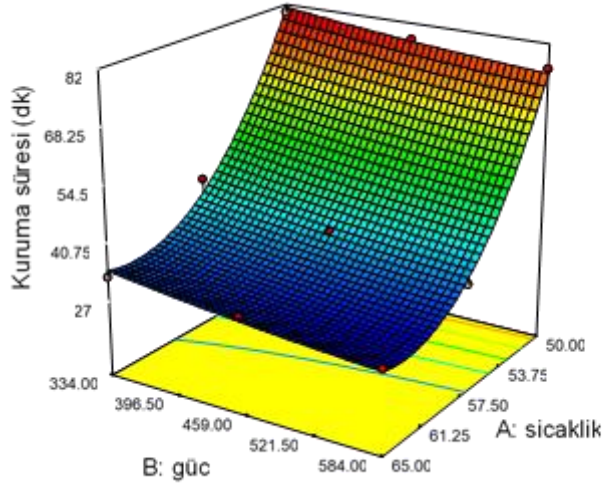
Şekil 4.8 b^* değeri için yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrisi

Kuruma süresi için eşitlik 21’de tahminlenen değerler ile deneysel değerler arasındaki uyum Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Limon kabuğu tozlarının kuruma süresi değerleri için model tahminlerinin deneysel verilerle uyumlu olduğu belirlenmiştir.



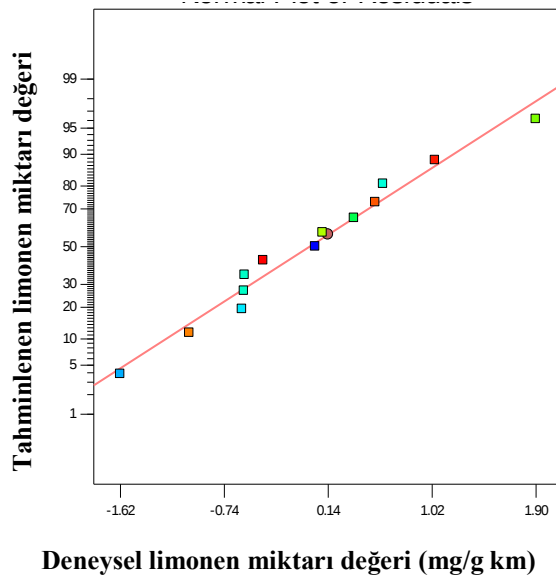
Şekil 4.9 Kuruma süresi değeri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler

Vakumlu mikrodalga kurutucudaki sıcaklık ve güç değerlerinin kuruma süresi üzerine olan etkileri Şekil 4.10’da yer alan yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrileri ile gösterilmiştir. Grafik üzerinde gösterilen mavi renkli bölgeler kuruma süresinin en kısa olduğu noktaları ifade etmektedir. Sıcaklık ve güç artışına bağlı olarak kuruma süresi kısalmış kuruma süresi artmıştır.



Şekil 4.10 Kuruma süresi değeri için yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrisi

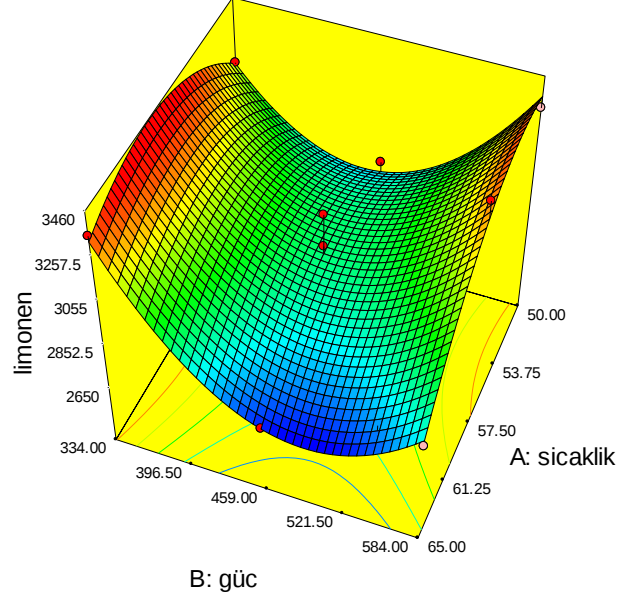
Limonen miktarı için eşitlik 22’de tahminlenen değerler ile deneysel değerler arasındaki uyum Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Limon kabuğu tozlarının limonen miktarı değerleri için model tahminlerinin deneysel verilerle uyumlu olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.11 Limonen miktarı değeri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler

Vakumlu mikrodalga kurutucudaki sıcaklık ve güç değerlerinin limonen miktarı üzerine olan etkileri Şekil 4.12’de yer alan yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti

eğrileri ile gösterilmiştir. Grafik üzerinde gösterilen mavi renkli bölgeden kırmızı renkli bölgelere gidildikçe limonen miktarında artış görülmektedir.



Şekil 4.12 Limonen miktarı değeri için yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrisi

Deneme desenine göre gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasında b^* değeri ve limonen miktarının maksimum, kuruma süresinin minimum olduğu koşulların optimum nokta olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. İstenilirlik fonksiyonu yaklaşımı uygulandığında optimum nokta için birbirine yakın 3 çözüm bulunmuştur. Bu çözümler Çizelge 4.7’de verilmiştir. Optimum nokta olarak, programın belirlediği bu çözümlerden birinci çözümde elde edilen faktör seviyeleri seçilmiş ve bu noktada faktör seviyeleri, sıcaklık 50°C, güç 584 W olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.7 Vakumlu mikrodalga kurutucu ile limon kabuklarının kurutulması için istenilirlik fonksiyonu ile belirlenen optimum nokta çözümleri

Çözüm	Sıcaklık (°C)	Güç (W)	b^* değeri	Kuruma Süresi (dk)	Limonen miktarı (mg/g km)	İstenilirlik
1	50.00	584.00	42.64	75.0459	3374.5	0.901
2	64.57	347.33	43.0716	33.8997	3240.97	0.614
3	65.00	546.72	44.7537	29	2739.62	0.223

Şeçildi

Seçilen çözüm önerisine ait koşullarda üç doğrulama denemesi gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar ve tahminlenen değerler Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8 Optimum noktada ortalama deneysel değerlerin modelden tahminlenen değerler ile kıyaslanması

Yanıtlar	Değerler	
	Deneysel	Tahminlenen
Kuruma Süresi (dk)	75.33±0.58	75.05
b^* değeri	41.89 ±0.76	42.01
Limonen miktarı (mg/g)	3377.13 ± 84.7	3417.33

Kuruma süresi, b^* değeri ve limonen miktarı yanıtları için optimum noktada doğrulama denemelerinden elde edilen ortalama sonuçlar ile modelden tahminlenen değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı ($p>0.05$) tek örnek *T*-testi uygulanarak belirlenmiştir. Tek örnek *T*-testi sonuçları Ek 1’de verilmiştir.

4.1.3. Vakumlu infrared kurutucu için işlem parametrelerinin yanıt yüzey metodu (RSM) ile optimizasyonu

Çalışmada kullanılan vakumlu mikrodalga-infrared kurutucu Bozkır ve Baysal (2017) tarafından tasarlanmıştır. Cihazda sıcaklık kontrolü ve göstergesi ile vakum kontrolü ve göstergesi bulunmaktadır. Vakumlu infrared kurutucuda 60 °C’nin üstündeki işlem koşullarında yapılan denemelerde limon kabuklarında yüzeyde yanma tespit edilmiştir. Sistemin 50 °C’nin altındaki koşullarda efektif çalışmayarak zorlandığı belirlenmiştir. Ön denemeler ile limon kabuğunun vakumlu infrared kurutucuda kurutulması için sistemdeki minimum ve maksimum sıcaklık değerleri sırasıyla 50-60 °C olarak belirlenmiştir. Optimum kurutma koşullarını belirlemek üzere RSM’de yer alan tek faktör tasarımlı istatistiksel dizayn uygulaması kullanılmıştır. Kullanılan deneme planı ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9’da verilmiştir. Çizelge 4.9’da verilen sonuçlara göre kuruma süresi, limonen miktarı ve b^* yanıtlarına kuadratik terimlerin eklenmesi modelleri önemli ölçüde geliştirmiştir. Bağımsız değişkenlerin değerlerinin tahminlenmesi için polinomial modelin en uygun olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.9 Vakumlu infrared kurutucudaki kurutma işlemi için kullanılan deneme planı ve elde edilen sonuçlar

Deneme Sırası	Sıcaklık (°C)	b^* değeri	Kuruma Süresi (dk)	Limonen miktarı (mg/g km)
	$X_1(x_1)$	y_1	y_2	y_3
1	60,0	45	38.23	3878.77
2	57.5	55	36.3	3613.91
3	50.0	98	42.19	4100.00
4	55.0	85	38.43	3730.84
5	50.0	101	44.19	4295.43
6	52.5	90	42.48	4230.90
7	60.0	43	38	3870.00

Deneyssel verilerin kuadratik modele uyumluluğa ilişkin varyans analizi Çizelge 4.10’ da yer almaktadır. Kuruma süresi, b^* değeri ve limonen miktarı yanıt modelleri için matematiksel uyumsuzluğun önemsiz ve regresyon modelinin önemli olduğu belirlenmiştir. Deneyssel verideki model tarafından açıklanabilen varyasyonun toplam varyasyona oranı olan R^2 değeri b^* , kuruma süresi ve limonen miktarı modelleri için sırasıyla 0.95, 0.95, 0.92 olarak bulunmuştur. Kuruma süresi, b^* değeri ve limonen miktarı yanıt modelleri için C.V. değeri %10’un altında olup sırasıyla %2.12, %8.02, %2.59 olarak bulgulanmıştır. Kuruma süresi, b^* değeri ve limonen miktarı yanıt modelleri için yeterli kesinlik değeri 4’ün üzerinde olup sırasıyla 18.036, 11.092, 8.319’dir.

Çizelge 4.10 Vakumlu infrared kurutucu denemelerine ait b^* değeri, kuruma süresi, limonen yanıtları için elde edilen ANOVA tablosu ve model parametreler

Kaynak	Hata kareler toplamı	df	Ortalama hata karesi	F-değeri	p-değeri
b^*					
Model	48.81	3	16.27	22.72	0.0145
Kalıntı	2.15	3	0.72		
Lack of fit	0.14	1	0.14	0.14	0.7439
Saf hata	2	2	1		
Total	50.95	6			
$R^2 = 0.9578$					
$CV\% = 2.12$					
Kuruma Süresi					
Model	3669.39	1	3669.39	104.56	0.0002
Lack of Fit	168.97	3	56.32	17.33	0.0550
Saf hata	6.50	2	3.25		
Toplam	3844.86	6			
$R^2 = 0.9544$					
$CV\% = 8.02$					
Limonen Miktarı					
Model	3.610E+005	3	1.203E+005	11.48	0.0376
Kalıntı	31458.92	3	10486.31		
Lack of fit	12323.41	1	12323.41	1.29	0.3741
Saf hata	19135.52	2	9567.76		
Toplam	3.925E+005	6			
$R^2 = 0.9198$					
$CV\% = 2.59$					

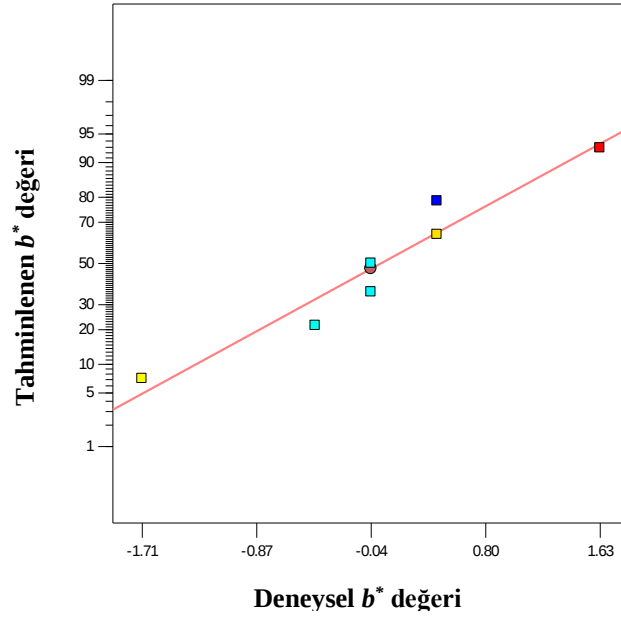
$$Y_1 = +38.70 - 7.41 * X_1 + 2.03 * X_1^2 - 4.93 * X_1^3 \quad (23)$$

$$Y_2 = +73.86 - 28.56 * X_1 \quad (24)$$

$$Y_3 = +3811.02 - 768.77 * X_1 + 231.71 * X_1^2 + 607.10 * X_1^3 \quad (25)$$

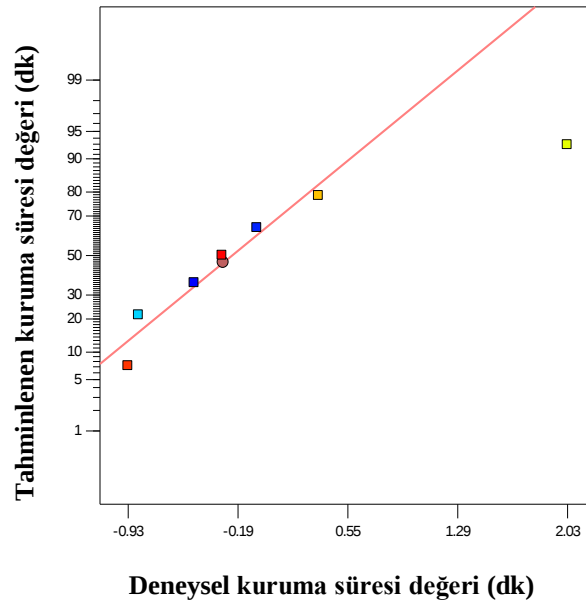
$Y_1 = b^*$ değeri, $Y_2 =$ kuruma süresi (dk), $Y_3 =$ limonen miktarı (mg/g km),
 $X_1 =$ sıcaklık($^{\circ}$ C)

Eşitlik 23, 24 ve 25'den tahminlenen değerler ile deneysel değerler arasındaki uyum Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Limon kabuğu tozlarının b^* değerleri için model tahminlerinin deneysel verilerle uyumlu olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.13 b^* değeri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler

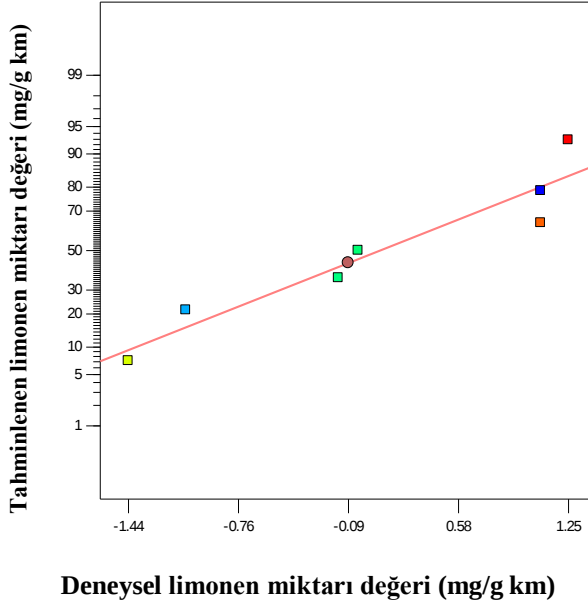
Kuruma süresi için eşitlik 24' de tahminlenen değerler ile deneysel değerler arasındaki uyum Şekil 4.14' de gösterilmiştir. Limon kabuğu tozlarının kuruma süresi değerleri için model tahminlerinin deneysel verilerle uyumlu olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.14 Kuruma süresi değeri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler

Limonen miktarı için eşitlik 25' de tahminlenen değerler ile deneysel değerler arasındaki uyum Şekil 4.15' de gösterilmiştir. Limon kabuğu tozlarının limonen

miktarı değerleri için model tahminlerinin deneysel verilerle uyumlu olduğu saptanmıştır.



Şekil 4.15 Limonen miktarı değeri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler

Deneme desenine göre gerçekleştirilen optimizasyon çalışmasında b^* değeri ve limonen miktarının maksimum, kuruma süresinin minimum olduğu koşulların optimum nokta olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. İstenilirlik fonksiyonu yaklaşımı uygulandığında optimum nokta için birbirine yakın 2 çözüm bulunmuştur. Bu çözümler Çizelge 4.11’de verilmiştir. Optimum nokta olarak, programın belirlediği bu çözümlerden birinci çözümde elde edilen faktör seviyeleri seçilmiş ve bu noktada faktör seviyesi sıcaklık 50.9 °C olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.11 Vakumlu infrared kurutucu ile limon kabuklarının kurutulması için istenilirlik fonksiyonu ile belirlenen optimum nokta çözümleri

Çözüm	Sıcaklık (°C)	b^* değeri	Kuruma Süresi (dk)	Limonen miktarı(mg/g km)	İstenilirlik	
1	50.90	43.42	97.25	4262.52	0.927	Seçildi
2	60.00	38.25	45.30	3881.07	0.311	

Seçilen özüm önerisine ait koşullarda üç doğrulama denemesi gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar ve tahminlenen değerler Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12 Optimum noktada ortalama deneysel değerlerin modelden tahminlenen değerler ile kıyaslanması

Yanıtlar	Değerler	
	Deneysel	Tahminlenen
Kuruma Süresi (dk)	89±1.73	97.25
b^* değeri	43.37 ±0.84	43.42
Limonen miktarı (mg/g)	4087.99 ± 30.03	4262.52

Kuruma süresi, b^* değeri ve limonen miktarı yanıtları için optimum noktada doğrulama denemelerinden elde edilen ortalama sonuçlar ile modelden tahminlenen değerler arasında istatistiksel olarak fark olmadığı ($p>0.05$) tek örnek *T*-testi uygulanarak belirlenmiştir. Tek örnek *T*-testi sonuçları Ek 1’de verilmiştir.

4.2. Limon kabuğu tozlarının fiziksel, kimyasal ve duyuşal analiz sonuçları

4.2.1 pH analizi sonuçları

Farklı tekniklerle kurutulan limon kabuklarının pH değerleri 5.62-5.95 arasında değişmekte olup kurutma yöntemlerinin pH değeri üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının pH değerleri Çizelge 4.13’de sunulmuştur. Dondurularak kurutulmuş kabuklar ile vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulmuş limon kabuklarının pH değerleri arasındaki fark ve vakumlu infrared kurutucu ile açık havada kurutulmuş limon kabuklarının pH değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulan kabukların pH değeri (5.95) en yüksek bulunurken mikrodalgada kurutulmuş kabukların pH değeri en düşük (5.62) bulunmuştur.

Çizelge 4.13 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının pH değerleri

Kurutma Yöntemi	İşlem Görmemiş	Açık Hava	Tepsili Kurutucu	Mikrodalga	Vakumlu Mikrodalga	Vakumlu İnfrared	Liyofilizatör
Ph	4.74±0.01	5.85±0.02 ^a	5.71±0.14 ^b	5.62±0.12 ^c	5.95±0.09 ^c	5.85±0.23 ^d	5.95±0.01 ^d

*Aynı sıradaki farklı harflerle (a,b,c,d) ifade edilen değerler örnekler arasında $p \leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

Kurutma sonucu limon kabuklarının pH değerlerinde artış gözlenmiştir. Kurutma işleminin, gıdanın yapısında bulunan bazı asitlerin kaybına yol açması nedeniyle toz ürünlerin pH değerlerinde artış olduğu düşünülmektedir. Vega-Gálvez et al. (2009) tarafından biber ve Miranda et al. (2009) tarafından aloe vera örnekleri üzerine yapılan kurutma çalışmalarında da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

4.2.2 Asitlik tayini sonuçları

Limon kabuklarının asitliği 0.7-1.13 (g/100 g km) arasında değişmekte olup (Çizelge 4.14) kurutma yöntemlerinin asitlik üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Tepsili kurutucuda kurutulmuş kabuklar ile vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulmuş limon kabuklarının asitlik değerleri arasındaki fark ile vakumlu infrared kurutucu, mikrodalga ve açık havada kurutulmuş limon kabuklarının asitlik değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$). Taze limon kabuğunun asitlik değeri 1.13 (g/100 g) olarak belirlenmiştir. Kurutma sonrası limon kabuklarının asitlik değerlerinde azalış gözlenmiştir. Madrau et al. (2009) tarafından kayısı örnekleri üzerine yapılan çalışmada da benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

Çizelge 4.14 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının asitlik değerleri

Kurutma Yöntemi	İşlem Görmemiş	Açık Hava	Tepsili Kurutucu	Mikrodalga	Vakumlu Mikrodalga	Vakumlu İnfrared	Liyofilizatör
Asitlik (g/100 g km)	1.13±0.01	0.7±0.00 ^a	0.88±0.01 ^b	0.71±0.01 ^a	0.89±0.01 ^b	0.72±0.01 ^a	1±0.01 ^c

*Aynı sıradaki farklı harflerle (^{a,b,c}) ifade edilen değerler örnekler arasında $p \leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

4.2.3 C vitamini analizi sonuçları

Vitamin C (askorbik asit) ve türevleri gıda maddelerinde yüksek oranda doğal olarak bulunan antioksidandır. Sentetik olarak da üretilen askorbik asidin miktar olarak yarıya yakını gıda endüstrisinde kullanılmaktadır. Bir kısmı beslenme amacı ile kullanılırken büyük bir kısmı ise antioksidatif etkisi nedeni ile teknolojik yardımcı madde olarak değerlendirilmektedir (Çakmakçı ve Gökalp, 1992).

Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının C vitamini miktarları Çizelge 4.15’de verilmiştir. Limon kabuklarının C vitamini miktarı 103.66-245.78 mg/g km arasında değişmekte olup kurutma yöntemlerinin C vitamini miktarı üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0.05$).

Çizelge 4.15 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının C vitamini miktarları

Kurutma Yöntemi	İşlem Görmemiş	Açık Hava	Tepsili Kurutucu	Mikrodalga	Vakumlu Mikrodalga	Vakumlu İnfrared	Liyofilizatör
C vitamini (mg/ g km)	288.96±6.56	116.27±1.56 ^a	124.44± 3.85 ^a	103.66±2.02 ^b	200.25±4.25 ^c	245.78±1.49 ^d	241.00±2.65 ^d

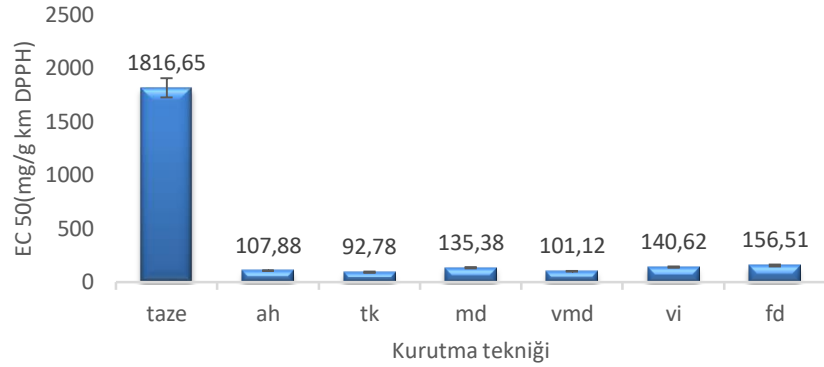
*Aynı sıradaki farklı harflerle (^{a,b,c,d}) ifade edilen değerler örnekler arasında $p \leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

Dondurularak kurutulmuş kabuklar ile vakumlu infrared kurutucuda kurutulmuş limon kabuklarının C vitamini miktarları arasındaki fark ve tepsili kurutucu ile açık havada kurutulmuş limon kabuklarının C vitamini miktarları

arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Vakumlu infrared kurutucuda kurutulan kabukların C vitamini miktarı (245.78 mg/g km) en yüksek bulunurken mikrodalgada kurutulmuş kabukların C vitamini miktarı en düşük (103.66 mg/g km) olarak saptanmıştır. İşlem görmemiş taze limon kabuklarının C vitamini miktarı 288.96 olarak belirlenmiştir. Kurutuma sonucu C vitamini miktarında azalma saptanmıştır. Kurutma işleminin askorbik asit degradasyonunu hızlandırdığı görülmektedir. Dondurularak kurutulmuş kabuklardaki askorbik asit içeriği (241.00 mg/g km) tepsili kurutucuda kurutulmuş örneklerle kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Chang et al. (2006) tarafından yapılan çalışmada benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Marques et. al. (2011) dondurarak kurutulmuş ürünlerin askorbik asit içeriklerinde meydana gelen kayıpların, işlemin düşük sıcaklıkta ve vakum altında gerçekleşmesi nedeniyle diğer yöntemlere oranla daha az olduğunu belirtmişlerdir. Vakumlu mikrodalga ve vakumlu infrared kurutuculardan elde edilen limon kabuğu kurularındaki askorbik asit içeriklerinin yüksek olduğu saptanmıştır. Isı, ışık ve oksijen gibi unsurlar C vitamini stabilitesini etkilediğinden ötürü vakumlu sistemlerde kaybın daha az olduğu düşünülmektedir. Lin et al. (1998) tarafından yapılan çalışmada vakumlu mikrodalgada kurutulan havuç dilimlerinin C vitamini miktarının tepsili kurutucuda kurutulanlara oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

4.2.4 Toplam antioksidan aktivite tayini sonuçları

Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının antioksidan kapasiteleri 2 farklı yöntem (DPPH ve ABTS) ile belirlenmiş ve bu işlemler sonrasında elde edilen sonuçlar Çizelge 4.16 ve 4.17’de verilmiştir. DPPH yöntemine göre limon kabukları için hesaplanan EC_{50} değerleri Şekil 4.16’da yer almaktadır. İşlem görmemiş kabuk örneklerinin EC_{50} değeri en yüksek, tepsili kurutucuda kurutulan örneklerin EC_{50} değeri ise en düşük olarak bulunmuştur.



Şekil 4.16 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının EC₅₀ değerleri

Limon kabuklarının DPPH metoduna göre hesaplanan antioksidan aktiviteleri 0.92-1.57 $\mu\text{g/g km}$ arasında değişmekte olup kurutma yöntemlerinin antioksidan aktivite üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Kurutulmuş limon kabuklarının ABTS metoduna göre hesaplanan antioksidan aktiviteleri 48.47-272.13 mM Trolox/ g km olarak bulunmuştur. Her iki yöntem arasında pozitif yönlü bir korelasyon olduğu ($p < 0.05$) tespit edilmiş ve pearson korelasyon katsayısı 0.82 bulunmuştur. Floegel et al. (2011) tarafından antioksidan maddelerce zengin 50 meyve ve sebze üzerinde yapılan çalışmada benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

Çizelge 4.16 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının DPPH metoduna göre saptanan toplam antioksidan aktiviteleri

Kurutma Yöntemi	İşlem Görmemiş	Açık Hava	Tepsili Kurutucu	Mikrodalga	Vakumlu Mikrodalga	Vakumlu İnfrared	Liyofilizatör
Toplam							
Antioksidan aktivite ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ km}$)	18.17 $\pm$ 0.56	1.07 $\pm$ 0.0.003 ^a	0.92 $\pm$ 0.003 ^b	1.35 $\pm$ 0.003 ^c	1.01 $\pm$ 0.003 ^d	1.41 $\pm$ 0.01 ^e	1.57 $\pm$ 0.01 ^f

* Aynı sıradaki farklı harflerle (^{a,b,c,d,e,f}) ifade edilen değerler örnekler arasında $p \leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

Antioksidan aktiviteler karşılaştırıldığında DPPH metoduna göre saptanan değerlerin ABTS metoduna göre saptanan değerlere kıyasla düşük olduğu

görülmektedir. Battino and Mezzetti (2006) ispanak, çilek, erik gibi pigment oranı yüksek olan gıdalarda DPPH ve ABTS metotlarından elde edilen antioksidan aktivite sonuçları arasındaki farklılığın oldukça yüksek olduğunu belirtmiştir.

Çizelge 4.17 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının ABTS metoduna göre saptanan toplam antioksidan aktiviteleri

Kurutma Yöntemi	İşlem Görmemiş	Açık Hava	Tepsili Kurutucu	Mikrodalga	Vakumlu Mikrodalga	Vakumlu İnfrared	Liyofilizatör
Toplam Antioksidan aktivite (mM Trolox/ g km)	2321.78±23.35	48.47±0.36 ^a	55.04±2.7 ^b	138.23±1.58 ^c	144.79±9.36 ^d	149.6±0.96 ^d	272.13±0.71 ^e

* Aynı sıradaki farklı harflerle (^{a,b,c,d,e}) ifade edilen değerler örnekler arasında $p \leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

Kurutma sonucu limon kabuklarının toplam antioksidan aktivite değerlerinde azalma görülmüştür. Bu durumun ısı işlem sırasında gıdada doğal olarak bulunan antioksidanların bozunmasıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. Chan et al. (2009) tarafından yapılan çay ve zencefil yapraklarının antioksidan aktivitelerinin incelendiği bir çalışmada benzer şekilde taze örneklerin kurutulan örneklerle kıyasla antioksidan aktivitelerinin daha yüksek olduğu saptanmıştır. Mikrodalgada kurutulan örneklerin antioksidan aktiviteleri açık havada ve tepsili kurutucuda kurutulan örneklerle kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Lim and Murtijaya (2007) *Phyllanthus amarus* ekstraktlarını mikrodalga ve açık havada kurutarak benzer sonuçlara ulaşmıştır. Vakumlu mikrodalga ve vakumlu infrared kurutucuda kurutulan örneklerin antioksidan aktivite değerleri liyofilizatörde kurutulanlara kıyasla daha düşük olarak bulunmuştur. Wojdyło et al. (2009) tarafından yapılan vakumlu mikrodalga, tepsili kurutucu ve liyofilizatörde kurutulan ahududu örneklerinin antioksidan özelliklerinin karşılaştırıldığı çalışmada benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Larrauri et al. (1997) tarafından üzüm posalarının farklı tekniklerle kurutularak antioksidan aktivitelerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada dondurularak kurutulan örneklerin tepsili kurutucuda kurutulanlara kıyasla antioksidan özelliklerini daha iyi koruduğu belirlenmiştir.

4.2.5 Toplam fenolik madde tayini sonuçları

Fenolik bileşikler antioksidatif ve antimikrobiyal etkilere sahip, bitkilerin yapısında yaygın olarak yer alan sekonder metabolitlerdir. Gıdaların tat ve aromasına katkıda bulunan, beslenme fizyolojisi açısından önem taşıyan fenolik bileşikler enzim inhibisyonuna neden olabilirler.

Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının fenolik madde miktarları Çizelge 4.18’de verilmiştir. Kabukların toplam fenolik madde miktarı 151.39-227.20 mg GAE/100g km arasında değişmekte olup kurutma yöntemlerinin toplam fenolik madde miktarı üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Taze limon kabuklarının toplam fenolik madde içerikleri 35.5 ± 0.78 mg GAE/100g km olarak bulunmuştur. Kurutma işlemleri sonrası ürünlerdeki fenolik madde miktarında artış gözlenmiştir. Isının hücrelerde bağlı bulunan fenolik maddelerin ayrılma reaksiyonlarını hızlandırıcı etkisinin bu duruma neden olduğu düşünülmektedir. Chen et al. (2011) tarafından yapılan çalışmada taze portakal kabuklarının toplam fenolik madde miktarı 39.45 mg GAE/100g km olarak bulunmuştur. Tepsili kurutucuda yapılan kurutma işlemi sonrası portakal kabuklarının toplam fenolik madde miktarı 65.72 mg GAE/100g km’ye yükselmiştir. Arslan ve Özcan (2010) taze nane yapraklarındaki fenolik madde içeriğinin açık havada ve mikrodalgada kurutulan örneklerinkine kıyasla daha düşük olduğunu belirtmiştir. Arcan ve Yemenicioğlu (2009) tarafından yapılan çalışmada taze fındıkların toplam fenolik madde içeriklerinin kurutulmuş olanlara göre daha düşük olduğu bulgulanmıştır. Vakumlu mikrodalga ve vakumlu infrared kurutucularda kurutulan limon kabuklarının toplam fenolik madde içerikleri sırasıyla 152.61, 151.4 mg GAE/g km olarak bulunmuştur. Vakumlu mikrodalga ve vakumlu infrared kurutucularda kurutulmuş limon kabuklarının toplam fenolik madde miktarları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsizdir ($p>0.05$). Benzer şekilde Sogi et al. (2013) tarafından mango kabuklarının kurutulduğu çalışmada tepsili kurutucuda kurutulan örneklerin fenolik madde miktarı vakumlu sistemde kurutulanlara kıyasla daha yüksek olarak saptanmıştır. Açık havada kurutulmuş limon kabukları ile mikrodalgada kurutulmuş limon kabuklarının toplam fenolik madde miktarları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Açık havada kurutulmuş limon kabukları ile tepsili kurutucuda kurutulmuş limon

kabuklarının toplam fenolik madde miktarları arasındaki fark da istatistiksel açıdan önemsizdir ($p>0.05$).

Çizelge 4.18 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının toplam fenolik madde miktarları

Kurutma Yöntemi	İşlem Görmemiş	Açık Hava	Tepsi Kurutucu	Mikrodalga	Vakumlu Mikrodalga	Vakumlu İnfrared	Liyofilizatör
Toplam Fenolik Madde (mg GAE/100g km)	35.5±0.78	59.52±0.23 ^{a,b}	157.74±0.02 ^a	162.99±0.01 ^a	152.61±0.14 ^c	151.4±0.12 ^c	227.2±0.09 ^d

*Aynı sıradaki farklı harflerle (^{a,b,c,d}) ifade edilen değerler örnekler arasında $p\leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

Dondurularak ve mikrodalgada kurutulmuş limon kabuklarının toplam fenolik madde miktarı sırasıyla 227.2±0.09, 162.99±0.01 mg GAE/100g km olarak bulgulanmıştır. Gao et al. (2012) tarafından yapılan ve hünnap meyvesinin farklı teknikler ile kurutulduğu çalışmada dondurularak kurutulmuş ürünlerin fenolik madde miktarlarının mikrodalgada kurutulanlara kıyasla daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Orphanides et al. (2013) mikrodalgada kurutulan nanelerin fenolik madde miktarını 1891 ± 20 mg GAE/100 g km olarak saptamış ve dondurularak kurutulan nanelerde bu miktarın daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Bulunan sonuçlara benzer olarak kurutulan ürünlerin fenolik madde içeriği kurutma sonrası artış göstermiştir.

4.2.6 Toplam karotenoid miktarı analiz sonuçları

Klorofilden sonra doğada en yaygın olarak bulunan renk pigmenti karotenoidlerdir (Stahl and Sies, 1996). Taze limon kabuğundaki toplam karotenoid içeriği 0.98 mg/g km olarak belirlenmiştir. Narenciye kabuklarının kimyasal özelliklerinin incelendiği bir çalışmada toplam karotenoid içeriklerinin 0.021-2.04 mg/g km arasında değiştiği belirtilmiştir (Wang et al., 2008). Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının toplam karotenoid içerikleri Çizelge 4.19'da

verilmiştir. Kurutma tekniklerinin toplam karotenoid içeriği üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Çizelge 4.19 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının toplam karotenoid miktarları

Kurutma Yöntemi	İşlem Görmemiş	Açık Hava	Tepsili Kurutucu	Mikrodalga	Vakumlu Mikrodalga	Vakumlu İnfrared	Liyofilizatör
Toplam							
Karotenoid (mg /g km)	0.98±0.02	1.49±0.03 ^a	2.09±0.05 ^b	1.88±0.03 ^c	1.94±0.03 ^d	1.88±0.03 ^c	2.34±0.02 ^e

* Aynı sıradaki farklı harflerle (^{a,b,c,d,e}) ifade edilen değerler örnekler arasında $p\leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

Kurutma sonrası kabuklardaki toplam karotenoid içeriği artış göstermiştir. Akyıldız ve ark. (2016) tarafından yapılan bir çalışmada karpuz örnekleri konvansiyonel kurutucuda ve dondurularak kurutulmuştur. Kurutma sonrası toplam karotenoid içeriğinin 75 mg/kg'dan 240 mg/kg'a yükseldiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Demir (2010) tarafından yapılan çalışmada mikrodalga uygulanmış havuç örneklerinin karotenoid içeriklerinin taze örneklerle kıyasla daha yüksek olduğu saptanmıştır. Kurutulmuş limon kabuklarının toplam karotenoid içerikleri 1.49-2.34 mg/g km arasında değişmektedir. Kurutma sonucu dokularda meydana gelen parçalanma ile karotenoidlerin hücre dışına geçiş yaptığı düşünülmektedir. Mikrodalga ve vakumlu infrared kurutucuda kurutulmuş örneklerin toplam karotenoid içerikleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz olarak bulunmuştur ($p<0.05$). Mango kabuklarının farklı tekniklerle kurutularak kimyasal özelliklerinin incelendiği bir çalışmada liyofilizatörde kurutulan örneklerin toplam karotenoid içeriğinin en yüksek olduğu bulgulanmış, sırasıyla tepsili kurutucu, vakumlu kurutucu ve infrared kurutucuda kurutulan örneklerin dondurularak kurutulan örnekleri izlediği belirtilmiştir (Sogi et al., 2013). Bu çalışma kapsamında kurutulmuş limon kabukları için elde edilen sonuçlar bu çalışmanın sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir.

4.2.7 Uçucu bileşen analiz sonuçları

Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuğu örneklerinden SPME tekniği ile izole edilen aroma bileşenlerinin GC/MS kromatogramları Ek 4’de yer almaktadır. Belirlenen aroma bileşenlerinin alıkonma süreleri, konsantrasyonları ve koku özellikleri Çizelge 4.20’de verilmiştir. Taze limon kabuğunda 32, vakumlu mikrodalgada ve tepsili kurutucuda kurutulmuş örneklerde 35, dondurularak ve açık havada kurutulmuş örneklerde 36, mikrodalgada kurutulmuş örneklerde 50, vakumlu infrared kurutucuda kurutulan örneklerde ise toplam 39 bileşen saptanmıştır. Zhong et al. (2014) tarafından yapılan çalışmada Euroka limon kabuğunda toplam 34 aroma bileşeni tespit edilmiştir. Limon kabuklarında yer alan aroma bileşenlerinin aldehitler, alkoller, aromatik ve monoterpen hidrokarbonlar, oksitler ve esterlerden oluştuğu belirlenmiştir. Hegzanal, E-2 hegzanal, oktanal, nonanal, dekanal, undekanal, safranal, neral ve geranial aldehit grubunda yer alan bileşenlerdendir. Aldehitler lipit türevi uçucu bileşenlerdir (Shahidi et al., 1986). Kurutma sonrası kabuklardaki hegzanal ve E-2 hegzanal bileşikler miktarca azalış göstermiştir. Vakumlu infrared kurutucuda kurutulan örneklerde aldehitlerden E-2 hegzanal ve mikrodalgada kurutulan örneklerde ise dekanal tespit edilememiştir. Açık havada, mikrodalgada, tepsili ve vakumlu infrared kurutucularda kurutulan örneklerde ise taze limon kabuğunda bulunmayan oktanal bileşeni saptanmıştır. Bu durumun kabuk örneklerinde meydana gelen oksidasyonla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Stahnke (1994), aldehitlerin oksitlenerek etanol ile esterifiye olduğunu belirtmiştir. Undekanal ve safranal bileşenleri ise yalnızca mikrodalgada kurutulan limon kabuklarında saptanmıştır. Neral (388.68 mg/g km) ve geranial (517.32 mg/g km) bileşenleri limon kabuğundaki aldehitler sınıfında yer alan majör bileşenler olarak bulunmuştur. Cannon et al. (2015) tarafından yapılan çalışmada Lizbon cinsi limon kabuklarının aroma bileşenleri incelenmiş geranial ve neral bileşenlerinin limonenden sonra yer alan majör bileşenlerden olduğu tespit edilmiştir. 2,4-Dimetil 1-hepten doymamış hidrokarbonlar arasında yer alan alken türevi uçucu bir bileşiktir. Mikrodalgada kurutulan limon kabuklarında açığa çıkmıştır.

1-hegzanol, 1-oktanol, linalol, α -terpineol, geraniol, 4-terpineol ve nerol limon kabuklarında tespit edilen alkol sınıfında yer alan bileşenlerdir. Kurutma

sonrası alkol sınıfında yer alan uçucu bileşenlerin konsantrasyonları azalmıştır. Vakumlu mikrodalga, liyofilizatör, açık hava ve tepsili kurutucuda kurutulan örneklerde 1-hekzanol tespit edilememiştir. 1-oktanol ise taze ürünlerde bulunmayan bir bileşen olup yalnızca mikrodalgada kurutulan ürünlerde saptanmıştır. Deng et al. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada kalamar örnekleri dondurularak, açık havada ve vakum pompalı ısıtıcıda kurutulmuş, uçucu aroma bileşenleri incelenmiştir. Kurutma sonrası üründe alkol sınıfında yer alan bileşenlerin sayı ve konsantrasyonlarında azalma meydana gelmiştir. Mantarların farklı tekniklerle kurutularak aroma profillerinin incelendiği bir çalışmada benzer şekilde kurutma sonrası alkol sınıfında yer alan uçucu bileşenlerin konsantrasyonları azalmıştır. Mikrodalgada kurutulan örneklerdeki alkollerin vakumlu mikrodalga, vakumlu ve sıcak hava kurutucuda kurutulan örneklerle kıyasla konsantrasyonunun daha düşük olduğu belirlenmiştir (Tian et al., 2016). Linalool ve α -terpineol taze ve kurutulmuş limon kabuğu örneklerinde bulunan major alkol bileşenleri olarak bulunmuştur. Konsantrasyonları sırasıyla 202.72 mg/g km ve 212.48 mg/g km'dir. Çalışma sonuçlarına benzer olarak Darjazi (2014), ekşi limon suyundaki major alkol bileşeninin linalool olduğunu belirtmiştir. Guzmán-Gerónimo et al. (2008) tarafından yapılan çalışmada avakado yaprakları mikrodalgada kurutulmuştur. Taze yapraklarda linalool tespit edilmezken kurutma sonrası linalool bileşeni açığa çıkmıştır.

Çizelge 4.20 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının uçucu aroma bileşenleri ve miktarları

No	Alıkonma Zamanı ^a (dk)	RI ^b	Bileşen	Duyusal Terim	Konsantrasyon (mg/g km)						
					Taze	AH	TR	MD	VMD	VI	FD
1	2.989	801	Hegzanal	çim, yağ	45.9 2±0.02	2.22 ±0.03	7.92 ±0.27	6.17 ±0.23	5.3±0.15	3.59±0.32	4.62±0.07
2	3.538	845	2,4-Dimetil-1-hepten		nd	nd	nd	9.21 ±0.12	nd	nd	nd
3	3.747	859	E-2-Hegzanal	yaprak	22.6 8±0.18	1.66 ±0.32	3.36 ±0.2	2.63 ±0.04	2.48±0.03	nd	3.19 ±0.24
4	3.967	871	1-Hegzanol	reçine, çiçeğimsi	12.4 8±0.2	nd	nd	3.15 ±0.01	nd	2.39±0.05	nd
5	4.049	876	p-Ksilen	plastic	19.4 8±0.17	2.81 ±0.26	nd	nd	2.2±0.08	2.54±0.41	nd

6	4.163	882	2-Metilbütülasetat	meyvemsi	nd	nd	3.51 ±0.3 3	2.58 ±0.3 6	nd	nd	nd
7	5.131	929	Trisiklen		nd	5.33 ±0.2 1	nd	nd	nd	7.1 5± 0.1 2 67 6.9 4± 0.2 7 22 91. 21 ±2 1.0 8 52. 61 ±0. 11	3.99 ±0.1 4
8	5.215	933	α-Tujen	odunumsu, bitkisel, otumsu	1873 .44± 10.0 5	433. 3±0. 03	910. 44±1 3.03	687. 39±1 7.02	609.03 ±12.25		nd
9	5.406	941	α -pinen	çam, terebentin	6146 ±12. 02	1426 .07± 0.05	2956 .26± 17.4 5	2303 .59± 22.5 2	1988.7 ±18.16		945. 1±16 .21
10	5.772	956	Kamfen	kafur	160. 68±0 .07	37.5 8±0. 1	76.2 7±0. 7	58.7 2±0. 6	48.15± 0.11		24.5 1±0. 13
11	6.435	980	Sabinen	baharatımsı, terebentin, odunumsu	3752 .48± 21.0 6	nd	nd	nd	nd	nd	nd
12	6.572	984	β- pinen	çam, reçine, terebentin	1525 3.52 ±12. 89	4291 .92± 11.1 4	8699 .79± 13.6	6633 .39± 28.4 6	5857.6 5±26.5 3		2984 .68± 18.6 5
13	6.725	989	6-Metil- 5-Hepten- 2-On	narenciye	nd	nd	nd	16.1 1±0. 2	nd		7.28 ±0.0 6
14	6.892	994	Mirsen	balsamik, küfümsü, baharatımsı	4412 .52± 15.7 4	997. 33±0 .57	2052 .12± 13.8 9	1737 .8±3 3.68	1360.7 9±8.96		736. 51±2 .56
15	7.228	1005	Oktanal	yağ, sabunumsu,li mon, bitkisel	nd	12.8 6±0. 78	36.5 5±0. 16	34.9 9±0. 39	nd		nd
16	7.311	1008	α - fellandren	terebentin, baharatımsı, nane	nd	31.0 2±0. 03	65.0 5±0. 08	46.4 3±0. 27	76.75± 0.41		35.8 4±0. 32
17	7.51	1015	3-Karen	narenciye	nd	nd	nd	10.3 8±0. 31	nd	nd	nd
18	7.7	1022	α - terpinen	limon	571. 48±2 .05	121. 74±0 .19	248. 99±0 .9	193. 44±0 .42	172.97 ±1.65		93.7 3±1. 85
19	8.363	1043	Limonen	limon, portakal	8544 4.92 ±52. 14	1848 2.52 ±30. 36	3666 2.62 ±18. 2	2949 6.25 ±26. 5	26116. 66±33. 12		1327 1.99 ±45. 01
20	8.737	1054	(E)- Osimen	narenciye, çiçek, bitki	138. 92±0 .85	34.1 3±0. 63	69.3 6±0. 03	62.2 6±0. 7	46.49± 0.06		26.6 3±0. 45
21	9.415	1073	γ-terpinen	gaz yağı, terebentin	1355 9.32 ±23. 5	12.6 2±0. 36	5992 .99± 11.1 3	4517 .14± 13.7	4242.4 2±19.5		2296 .49± 23.1 1
22	9.461	1074	1-Oktanol	mumsu, yeşil, portakal, gül, mantar	nd	nd	nd	3.25 ±0.3	nd	nd	nd

23	10.162	1092	Terpinolen	bitkisel	665.2±10.9	152.6±1.6	296.68±1.8	230.36±2.4	211.89±17.02	25 8.19±0.13	119.42±9.23
24	10.566	1101	Linalool	çiçeğimsi, lavanta	202.72±0.48	39.94±0.6	105.64±0.76	107.96±0.13	70.68±0.83	98.4±0.49	52.14±0.45
25	10.734	1106	Nonanal	yağ, narenciye, yeşil	67.92±0.3	10.01±0.56	21.55±0.1	20.55±0.9	14.58±0.07	15.94±0.06	8.18±0.68
26	11.679	1133	Neo-Allo-Osimen		nd	nd	nd	3.79±0.01	nd	nd	nd
27	11.855	1138	Cis-Limonen oksit	narenciye	nd	nd	nd	2.48±0.14	nd	nd	nd
28	12.023	1142	1,5-Siklo oktadien, 1,5-dimetil-		nd	nd	nd	nd	nd	3.74±0.04	nd
29	12.045	1143	(E)Limonen oksit	taze, narenciye	nd	1.97±0.16	3.96±0.2	3.54±0.08	2.62±0.04	nd	2.01±0.16
30	12.32	1150	(-)-Kafur	kafur	19.8±0.42	3.65±0.12	7.9±0.17	9.34±0.3	5.44±0.5	6.71±0.33	3.44±0.47
31	12.647	1158	Sitronella l	yağ	78±0.33	16.39±0.07	37.47±0.1	42.45±0.6	22.5±0.26	23.63±0.7	13.54±0.3
32	13.097	1168	Izopulegon	naneli, odunumsu, bitkisel, yeşil çim	nd	nd	nd	10.78±0.28	nd	nd	nd
33	13.6	1180	4-Terpinenol	biberli, odunumsu, tatlı, küfümsü	nd	nd	nd	13.61±0.03	nd	nd	nd
34	14.172	1193	α -terpineol	yağ, nane, anason	212.48±0.01	31.39±0.12	71.74±0.18	70.59±0.41	50.16±0.18	74.86±0.11	39.65±0.54
35	14.53	1200	Safranal	bitkisel	nd	nd	nd	2.59±0.33	nd	nd	nd
36	14.789	1207	Dekanal	sabunumsu, portakal kabuğu, mumsu	24.32±0.5	4.64±0.01	9.56±0.3	nd	5.94±0.27	5.92±0.35	3.46±0.4
37	15.064	1215	Oktilasetat	meyvemsı	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.66±0.15
38	15.735	1232	Nerol	tatlı	92.36±0.11	17.24±0.7	34.32±0.02	45.49±0.4	20.29±0.3	31.58±0.11	16.19±0.22
39	16.261	1245	Neral	limon	388.68±0.46	49.06±0.03	127.69±1.66	125.91±1.45	79.91±0.6	96.04±0.81	47.34±0.43
40	16.832	1259	Geraniol	gül, sardunya	85.84±0.03	13.19±0.8	25.93±0.3	44.1±0.1	16.11±0.17	21.12±0.19	13.94±0.07
41	17.503	1274	Geranial	limon, nane	517.32±0.36	60.94±0.06	12.14±0.8	156.05±2.485	114.31±0.24	96.04±0.01	58.13±0.57

42	17.618	1277	Perillaaldehit	baharatımsı	nd	5.29 ±0.02	nd	nd	nd	nd	4.89 ±0.11
43	19.013	1308	Undekanal	mumsu, sabunumsu, çiçek, narenciye, yeşil, yağlı,	nd	nd	nd	4.21 ±0.14	nd	nd	nd
44	20.987	1357	Sitronellilasetat	gül	nd	4.18 ±0.22	5.35 ±0.3	7.35 ±0.17	3.54±0.16	4.33±0.19	2.78 ±0.03
45	21.452	1368	Nerilasetat	meyvemsi	231.88±0.08	73.23±0.5	83.61±0.16	111.58±0.06	59.47±0.41	84.59±0.4	43.76±0.54
46	22.252	1387	Geranilasetat	gül	115.24±0.4	36.9±0.76	41.81±0.55	55.41±0.47	28.74±0.21	36.47±0.02	20.15±0.8
47	23.48	1416	trans- α -Bergamoten	odunumsu	nd	nd	nd	4.18 ±0.07	nd	2.83±0.18	nd
48	23.632	1420	β -Karyofilen	odun, baharat	131.44±0.41	36.17±0.11	37.16±0.26	47.04±0.09	30.37±0.04	35.9±0.04	20.06±0.33
49	24.326	1438	α – bergamoten	odun, çay	183.64±0.02	50.54±0.63	51.85±0.12	58.69±0.04	41.44±0.66	44.39±0.08	25.83±0.27
50	25.004	1455	α - humulen	odunumsu	nd	2.3±0.47	3.09±0.28	2.85±0.09	1.97±0.38	1.92±0.55	1.24±0.16
51	25.202	1460	(E)- β -Farnesen	odunumsu	nd	nd	nd	3.12 ±0.13	nd	nd	nd
52	25.286	1462	β -Santalen	odunumsu	nd	nd	nd	1.93 ±0.09	nd	1.32±0.01	1.17±0.19
53	26,262	1486	trans- β -Farnesen	odunumsu, narenciye, tatlı	nd	nd	nd	2.09 ±0.18	nd	nd	nd
54	26.597	1493	Valensen	yeşil, yağ	45.88±0.17	7.2±0.45	10.33±0.36	8.76±0.08	7.47±0.06	5.81±0.02	4.19±0.87
55	27.024	1504	(Z)- α -Bisabolen	meyvemsi	19.4±0.05	3.43±0.09	5.13±0.4	3.79±0.63	2.96±0.63	2.01±0.23	1.74±0.58
56	27.245	1510	β -Bisabolen	balsamic	193.68±0.2	47.36±0.33	62.57±0.12	50.56±0.4	45.82±0.13	32.56±0.01	23.96±0.43
57	27.505	1517	α -selinen	amber	nd	nd	nd	1.14 ±0.11	nd	nd	nd

p-ksilen aromatik hidrokarbonlar sınıfında yer alan bir uçucu bileşendir. Taze limon kabuğu örneklerindeki konsantrasyonu 19.48 mg/g km olarak bulunmuştur. Kurutma işlemi sonrası örneklerdeki konsantrasyonu azalmıştır. Liyofilizatör, mikrodalga ve tepsili kurutucuda kurutulan kabuk örneklerinde p-ksilen'e rastlanılmamıştır. Miranda et al. (2009) tarafından yapılan çalışmada portakal

kabukları tepsili kurutucuda kurutulmuştur. Kurutulmuş kabuklardan elde edilen yağda 106 g/mol p-ksilen tespit edilmiştir.

Taze ve kurutulmuş limon kabuklarında saptanan monoterprenik hidrokarbonlar; trisiklen, β -pinen, α -pinen, α -tuyen, kamfen, sabinen, mirsen, α -fellandren, 3- karen, α -terpinen, limonen, γ -terpinen, terpinolen, 1,5-Siklo oktadien, 1,5-dimetil-, sitronellal, β -karyofilen, α -bergamoton, (E)-Osimen, Neo-Allo-Osimen, α -humulen, valensen, trans- β -Farnesen, (E)- β -Farnesen, β -Santalen, α -selinen, (Z)- α Bisabolen ve β - Bisabolen'dir. α -terpinen, sabinen ve valensen gibi bazı bileşenler kurutma sırasında suyun buharlaşması sonucu azalma eğilimi gösterirler (Sellami et al., 2012). İşlem görmemiş limon kabuklarında bulunmayan trisiklen açık havada ve vakumlu infrared kurutucuda kurutma sonrası açığa çıkmıştır. Taze örnekteki α -tuyen konsantrasyonu (1873.44 mg/g km) kurutma sonrası azalma göstermiştir. α -pinen ve kamfen bileşenleri de kurutma sonrası azalış gösteren monoterprenik hidrokarbonlardandır. Satsuma mandarini üzerine yapılan bir çalışmada mandarin örnekleri açık havada, dondurularak ve mikrodalgada kurutularak aroma bileşenleri incelenmiştir. Taze örneklerdeki α -pinen pik alanı % 8.9 iken açık havada, dondurularak ve mikrodalgada kurutulan örnekler için pik alanı sırasıyla %2.8, %9.3 ve %2.6 olarak bulunmuştur (Choi, 2003). Kekik yapraklarının infrared ile kurutulduğu bir çalışmada başlangıçta 277 mg/kg olarak belirlenen α -pinen konsantrasyonu kurutma sonrası 230 mg/kg düzeyine düşmüştür (Venskutonis et al., 1996). 1,5-Siklo oktadien, 1,5-dimetil- yalnızca vakumlu infrared kurutucuda kurutulan ürünlerde tespit edilmiştir. İşlem görmemiş limon kabuğundaki sabinen konsantrasyonu 3752.48 mg/g km olup kurutma sonucu kaybolmuştur. Venskutonis et al. (1996) tarafından yapılan çalışmada kekik örnekleri için aynı sonuca ulaşılmıştır. Defne yapraklarının farklı tekniklerle kurutularak uçucu bileşenlerinin incelendiği bir çalışmada taze örneklerde sabinen miktarı %3.59 olarak belirlenirken açık havada ve tepsili kurutucuda kurutulan örneklerde sabinen tespit edilememiştir (Sellami et al., 2011). Limon kabuklarında kurutma sonrası azalan bir diğer bileşen de β -pinen'dir. Tepsili kurutucuda kurutulan örneklerde β -pinen konsantrasyonu 8699.79 mg/g km olup diğer kurutma metodlarına kıyasla en yüksek bulunmuştur. Huang et al. (2012) tarafından yapılan çalışmada zencefil örnekleri tepsili kurutucu ve mikrodalgada kurutulmuştur. Kurutma sonucu örneklerdeki β -pinen konsantrasyonu azalmıştır.

Tepsili kurutucuda kurutulan örneklerdeki β -pinen konsantrasyonu mikrodalgada kurutulanlara kıyasla daha yüksek olarak bulunmuştur. Taze limon kabuğundaki konsantrasyonları sırasıyla 1873.44 mg/g km ve 4412.52 mg/g km olan α -tuyen ve mirsen uçucu bileşenleri kurutma sonrası azalmıştır. Tepsili kurutucuda kurutulan ürünlerdeki α -tuyen ve mirsen konsantrasyonu en yüksek olarak bulunmuştur. Calín-Sánchez et al. 2012 tarafından yapılan çalışmada benzer şekilde fesleğen örneklerindeki mirsen konsantrasyonu kurutma sonrası azalma göstermiştir. Taze limon kabuğunda bulunmayan α -felandren, kurutma sonrası açığa çıkmıştır. Lota et al., 2002 tarafından limonların uçucu bileşenleri üzerine yapılan bir çalışmada α -felandren tespit edilememiştir. Taze limon kabuğundaki terpinolen, α -terpinen ve γ -terpinen konsantrasyonu kurutma sonrası azalmıştır. Mikrodalgada kurutulan örneklerde her üç bileşen konsantrasyonu en yüksektir. Yonca örneklerinin konvansiyonel kurutucu ve vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutularak aroma bileşenlerinin incelendiği çalışmada vakumlu kurutucuda kurutulan örneklerdeki α -terpinen konsantrasyonu daha yüksek olarak bulunmuştur (Figiel et al., 2010). Dondurarak kurutulan örneklerdeki α -terpinen konsantrasyonu açık havada kurutulanlara kıyasla daha düşüktür. D'íaz-Maroto et al. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada da benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

Monoterpenik hidrokarbonlar grubunda yer alan sitronellal, β -karyofilen, α -bergamoton, (E)-osimen, valensen, (Z)- α bisabolen ve β -bisabolen kurutma sonrası azalma gösteren diğer uçucu bileşenlerdendir. Venskutonis (1996) tarafından yapılan bir çalışmada kekik örnekleri dondurularak ve tepsili kurutucuda kurutulmuştur. Kurutma sonrası β -karyofilen miktarı azalmıştır. Benzer şekilde melisa yapraklarının farklı tekniklerle kurutularak aroma bileşenlerinin incelendiği bir çalışmada kurutma sonrası sitronellal konsantrasyonu azalmıştır (Khalid et al., 2008). Maydanozun farklı tekniklerle kurutularak aroma bileşenlerinin incelendiği bir çalışmada taze maydanozlardaki β - bisabolen miktarı %29 iken oda sıcaklığında kurutulan örneklerde %15, 45 °C'de tepsili kurutucuda kurutulanlarda %11 ve dondurularak kurutulanlarda ise %12 olarak belirlenmiştir (D'íaz-Maroto et al., 2002). Terpen grubunda yer alan trans- β -farnesen, (E)- β -farnesen, α -selinen, 3-karen ve neo-allo-osimen ile keton grubunda yer alan İzopulegon taze limon kabuğunda bulunmayıp mikrodalga kurutma sonrası açığa çıkmıştır. Lota et al.

(2002) tarafından yapılan ve farklı limon türlerinde aroma bileşenlerinin incelendiği çalışmada da benzer şekilde bu bileşenlere rastlanılmamıştır.

Limon kabuğunda bulunan majör bileşenin limonen olduğu belirlenmiştir. Farklı kurutma teknikleriyle kurutulan limon kabuklarında bulunan limonen miktarı $m/z=69$ pik alanına göre hesaplanmıştır. Taze limon kabuklarında bulunan limonen miktarı 11478.56 mg/g km bulunmuştur. Kurutma sonrası kabuklardaki limonen miktarı azalmıştır. Rajkumar et al. (2017) tarafından yapılan çalışmada kurutmanın limonenin degradasyonuna yol açtığı bulgulanmıştır. Mikrodalgada kurutulan örneklerdeki limonen konsantrasyonu en yüksek olarak bulunmuştur. Vakumlu infrared ve tepsili kurutucuda kurutulan örneklerin limonen konsantrasyonları arasında istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır ($p>0.05$). Dondurularak kurutulan örneklerdeki limonen konsantrasyonu en düşük olarak bulunmuştur. Açık havada ve vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulan örneklerin limonen konsantrasyonları arasında istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır ($p>0.05$). Havuç örneklerinin aroma bileşenlerinin incelendiği bir çalışmada dondurularak kurutulan örneklerdeki limonen konsantrasyonu (1.968 $\mu\text{g/g}$) tepsili kurutucuda kurutulanlara (3.156 $\mu\text{g/g}$) kıyasla daha düşük bulunmuştur (Rajkumar et al., 2007).

Çizelge 4.21 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının $m/z=69$ pik alanına göre hesaplanan limonen miktarları (mg/g km)

Kurutma Yöntemi	İşlem Görmemiş	Açık Hava	Tepsili Kurutucu	Mikrodalga	Vakumlu Mikrodalga	Vakumlu İnfrared	Liyofilizatör
Limonen Miktarı (mg/g km)	11478.56±215.43	3560.54±56.38 ^a	4334.06±169.24 ^b	5555.97±28.59 ^c	3901.49±84.7 ^a	4629.13±30.03 ^b	2371.13±61.41 ^d

* Aynı sıradaki farklı harflerle (a,b,c,d) ifade edilen değerler örnekler arasında $p\leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

2-metilbütülasetat, sitronellil asetat, oktil asetat, neril asetat ve geranil asetat bileşenleri esterler grubunda yer almaktadır. 2-metilbütülasetat ve oktil asetat bileşenleri taze limon kabuğunda bulunmayan bileşenler olup kurutma sonrası meydana gelmiştir. Tepsili kurutucu ve mikrodalga kurutucuda kurutulan ürünlerdeki 2-metilbütülasetat konsantrasyonu sırasıyla 3.51 mg/g km ve 2.58 mg/g

km olarak belirlenmiştir. Dondurularak kurutulan kabuklardaki oktil asetat konsantrasyonu 0.66 mg/g km olarak bulunmuştur. Kurutma sonrası neril asetat ve geranil asetat esterlerinin konsantrasyonu azalmıştır. Sonuçlara benzer olarak kurutma sonrası ester bileşenlerinin konsantrasyon ve yüzdelerinin azaldığını gösteren çalışmalar mevcuttur (D'íaz-Maroto et al., 2002; Calín-Sánchez et al. 2012; Toontom et al., 2012) Sitronellil asetata ise taze kabuk örnekleri kurutulan örneklerin tümünde rastlanılmıştır. Kurutulan örnekler karşılaştırılığında mikrodalgada kurutulan örneklerdeki sitronellil asetat, geranil asetat ve neril asetat esterlerinin konsantrasyonun en yüksek olduğu saptanmıştır.

Vakumlu infrared kurutucuda kurutulan örnekler ile taze limon kabuklarında oksit grubunda yer alan (E)-limonen oksit bileşeni tespit edilememiştir. Oksidasyon sonucu açığa çıkan limonen oksit konsantrasyonu (3.96 mg/g km) tepsili kurutucuda kurutulan örneklerde en yüksek olarak bulunmuştur. Asekun et al. (2002) tarafından yapılan ve nane örneklerinin farklı tekniklerle kurutularak aroma bileşenlerinin incelenmesini konu alan çalışmada tepsili kurutucuda kurutulan örneklerdeki oksit bileşenleri konsantrasyonu açık havada kurutulanlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur.

4.2.8. Renk analizi sonuçları

Renk, gıdaların kabul edilebilirliği üzerine etki eden en önemli duyuşal özelliklerden biridir. Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının L^* değerleri Çizelge 4.22'de verilmiştir. Limon kabuklarının L^* değerleri 62.91-74.6 arasında değişmekte olup kurutma yöntemlerinin L^* değerleri üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemlidir ($p<0.05$). Dondurularak kurutulmuş kabuklar ile vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulmuş limon kabuklarının L^* değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Liyofilizatörde kurutulan örneklerin parlaklık değerleri ortalama 74.6 olup en yüksektir. Açık havada kurutulan örneklerin L^* değerleri ise en düşüktür.

Çizelge 4.22 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının L^* değerleri

Kurutma Yöntemi	İşlem Görmemiş	Açık Hava	Tepsili Kurutucu	Mikrodalga	Vakumlu Mikrodalga	Vakumlu İnfrared	Liyofilizatör
L^*	69.13±0.26	62.97±0.24 ^a	71.03±0.49 ^b	68.36±0.41 ^c	74.4±0.5 ^d	71.49±0.46 ^e	74.6±0.6 ^d

*Aynı sıradaki farklı harflerle (^{a,b,c,d,e}) ifade edilen değerler örnekler arasında $p \leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

İşlem görmemiş limon kabuklarının L^* değeri 69.13 olarak bulunmuştur. Tepsili kurutucuda kurutulan ürünlerin L^* değeri işlem görmemiş olanlara kıyasla daha yüksek olarak ölçülmüştür. Enzimatik ve enzimatik olmayan esmerleşmenin renk değerlerinde değişikliğe neden olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde Akdaş (2014) mandalina örneklerini etüvde kurutmuş ve kurutma sonrası örneklerin L^* değerinin azaldığını belirlemiştir. Mikrodalga ve açık havada kurutulan örneklerin parlaklıklarının taze kabuk örneklerine kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Alibas (2007) ısırgan yapraklarının L^* değerinin mikrodalgada kurutma sonrası 27.64'den 25.71'e düştüğünü bulgulamıştır. Ergüneş ve Tarhan (2006) tarafından yapılan çalışmada kırmızıbiber örnekleri açıkta kurutulmuş ve örneklerin L^* değerinin 26.7'ye düştüğü belirlenmiştir. Vakumlu mikrodalga, vakumlu infrared ve liyofilizatörde kurutulan örneklerin L^* değerleri işlem görmemiş limon kabukları için bulunan L^* değerine kıyasla daha yüksektir. Vakumlu sistemlerde örneklerin ısıya maruz kaldıkları sürenin kısa olması ve oksijen ile ürün temasının kesilmesinin bu duruma yol açtığı düşünülmektedir. Yousif et al (2000) vakumlu mikrodalgada kurutulan kekik örneklerinin parlaklık değerlerinin tepsili kurutucuda kurutulan örneklerin parlaklık değerinden daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Kurutma yöntemlerinin ürünlerin renk değerleri üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada tepsili kurutucuda ve dondurularak kurutulan mantar dilimleri karşılaştırılmıştır. Dondurularak kurutulmuş mantarların daha parlak olduğu belirtilmiştir (Argyropoulos et al., 2011). Tez çalışması kapsamında elde edilen L^* değeri sonuçlarının daha önce yapılan çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Limon kabuklarının a^* değerleri 2.47-10.56 arasında değişmekte olup kurutma yöntemlerinin örneklerin a^* değerleri üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının a^* değerleri Çizelge 4.23’de verilmiştir.

Çizelge 4.23 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının a^* değerleri

Kurutma Yöntemi	İşlem Görmemiş	Açık Hava	Tepsili Kurutucu	Mikrodalga	Vakumlu Mikrodalga	Vakumlu İnfrared	Liyofilizatör
a^*	6.27±0.43	10.52±0.17 ^a	6.37±0.22 ^b	5.3±0.29 ^c	3.5±0.55 ^d	5.9±0.29 ^e	2.47±0.49 ^f

*Aynı sıradaki farklı harflerle (^{a,b,c,d,e,f}) ifade edilen değerler örnekler arasında $p\leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

Limon kabuklarının kurutma öncesi a^* değeri 6.27±0.43 olarak belirlenmiştir. Açık havada ve tepsili kurutucuda kurutulan örneklerin a^* değeri işlem görmemiş örneklerin a^* değerine kıyasla daha yüksek olarak bulunmuştur. Sıcaklık artışının esmerleşme reaksiyonlarını hızlandırıcı etkisi bulunmakta olup reaksiyonlar sonunda ürünlerin kırmızılık değerlerinin arttığı düşünülmektedir. Guiné ve Barroca (2012) kabak ve yeşilbiber örneklerini tepsili kurutucuda kurutmuş, örneklerin kurutma sonrası a^* değerlerinin arttığını bulgulamıştır. Karabulut vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada kayısı örnekleri açık havada kurutulmuş ve örneklerin a^* değerinin 4.5’den 11.2’ye yükseldiği belirtilmiştir.

Mikrodalga, vakumlu mikrodalga, vakumlu infrared ve liyofilizatörde kurutulmuş olan limon kabuğu örneklerinin a^* değerinin ise kurutma sonucu azaldığı belirlenmiştir. Benzer şekilde Wojdylo et al. (2014) vişne örneklerini vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutmuş ve kurutma sonrası örneklerin a^* değerinin 16.05’den 7.83’e düştüğünü saptamışlardır. Baysal vd. (2003) havuç örneklerini mikrodalgada kurutmuş ve örneklerin a^* değerinin azaldığını belirtmişlerdir. Duangmal et al. (2008) tarafından yapılan çalışmada hibiskus örnekleri dondurularak kurutulmuş, kurutma sonrası örneklerin a^* değerini 72.9 olarak saptamışlardır. Hibiskus örneklerinin a^* değeri kurutma sonrası azalmıştır.

Kurutulmuş limon kabuklarının sarılık değerini ifade eden b^* değeri 25.37-43.37 arasında değişmekte olup kurutma yöntemlerinin b^* değerleri üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının b^* değerleri Çizelge 4.24’de verilmiştir.

Çizelge 4.24 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının b^* değerleri

Kurutma Yöntemi	İşlem Görmemiş	Açık Hava	Tepsili Kurutucu	Mikrodalga	Vakumlu Mikrodalga	Vakumlu İnfrared	Liyofilizatör
b^*	57.02±0.97	25.19±0.33 ^a	37.22±0.41 ^b	38.63±0.32 ^c	41.89±0.76 ^d	43.37±0.84 ^d	41.7±0.2 ^d

*Aynı sıradaki farklı harflerle (^{a,b,c,d}) ifade edilen değerler örnekler arasında $p\leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

Dondurularak kurutulmuş kabuklar ile vakumlu mikrodalga ve vakumlu infrared kurutucularda kurutulmuş limon kabuklarının b^* değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

Açık havada ve mikrodalgada kurutulan kabuk örneklerinin b^* değerleri kurutma sonrası azalmıştır. Bu durumun klorofil ve karotenoid pigmentlerinin dekompozisyonu, enzimatik olmayan esmerleşme ve kahverengi pigment oluşumuyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Soysal (2004) tarafından yapılan çalışmada da benzer şekilde maydanoz örneklerinin mikrodalgada kurutulması sonucu b^* değerinin azaldığı belirtilmiştir. Dadalı vd. (2007) bamya örneklerini mikrodalga kurutucuda kurutmuş ve güç artışına bağlı olarak b^* değerinin azaldığını saptamışlardır. Tepsili kurutucu, liyofilizatör, vakumlu mikrodalga ve vakumlu infrared kurutucularda kurutulan limon kabuklarının b^* değerleri taze limon kabuklarının b^* değerlerine kıyasla daha düşük olarak bulunmuştur.

Kurutma sonrası limon kabuklarının toplam renk değişimini ifade eden ΔE değerleri 13.99-19.96 arasında değişmekte olup kurutma yöntemlerinin ΔE dedonğerleri üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Çizelge 4.25 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının ΔE değerleri

Kurutma Yöntemi	Açık Hava	Tepsili Kurutucu	Mikrodalga	Vakumlu Mikrodalga	Vakumlu İnfrared	Liyofilizatör
ΔE	32.77 $\pm$ 0.35 ^a	19.96 $\pm$ 0.44 ^b	18.5 $\pm$ 0.33 ^c	16.32 $\pm$ 0.85 ^d	13.99 $\pm$ 0.89 ^e	16.77 $\pm$ 0.41 ^d

*Aynı sıradaki farklı harflerle (a,b,c,d,e,f) ifade edilen değerler örnekler arasında $p \leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

Dondurularak kurutulmuş kabuklar ile vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulmuş limon kabuklarının ΔE değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p > 0.05$).

Açık havada kurutulan örnekler için toplam renk değişimi 32.77 olarak bulunmuştur. Liyofilizatör ve vakumlu kurutuculardaki toplam renk değişimi en düşüktür. Akdaş (2014) etüv ve vakumda kurutulan mandalina örneklerinin toplam renk değişimini kıyasladığında benzer sonuçlara ulaşmıştır. Hawlader et al. (2006) dondurularak ve vakumlu sistemlerde kurutulan papayaların toplam renk değişim değerlerinin açık havada kurutulanlara göre daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Kurutulmuş limon kabuklarının ΔC değerleri 13.79-19.87 arasında değişmekte olup kurutma yöntemlerinin ΔC değerleri üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0.05$).

Çizelge 4.26 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının ΔC değerleri

Kurutma Yöntemi	Açık Hava	Tepsili Kurutucu	Mikrodalga	Vakumlu Mikrodalga	Vakumlu İnfrared	Liyofilizatör
ΔC	32.17 $\pm$ 0.1 ^a	19.87 $\pm$ 0.4 ^b	18.48 $\pm$ 0.33 ^c	15.44 $\pm$ 0.74 ^d	13.79 $\pm$ 0.85 ^e	15.85 $\pm$ 0.25 ^d

*Aynı sıradaki farklı harflerle (a,b,c,d,e) ifade edilen değerler örnekler arasında $p \leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

Dondurularak kurutulmuş kabuklar ile vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulmuş limon kabuklarının ΔC değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

Açık havada kurutulan örneklerin kroma değeri en yüksektir. Tepsili kurutucuda kurutulan örneklerin ΔC değerleri mikrodalga, vakumlu mikrodalga, vakumlu infrared ve liyofilizatörde kurutulan örneklerin ΔC değerlerinden daha yüksek olarak bulunmuştur. Benzer şekilde Guiné ve Barroca (2012) tarafından yapılan çalışmada tepsili kurutucuda kurutulan kabak örneklerinin kroma değerleri dondurularak kurutulanlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur.

Limon kabuklarının Hue açısı değerleri 2.4-16.99 arasında değişmekte olup kurutma yöntemlerinin Hue açısı değerleri üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Çizelge 4.27 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının Hue açısı değerleri

Kurutma Yöntemi	Açık Hava	Tepsili Kurutucu	Mikrodalga	Vakumlu Mikrodalga	Vakumlu İnfrared	Liyofilizatör
Hue Açısı	2.4±0.52 ^a	5.85±0.18 ^b	7.3±0.38 ^b	11.82±0.33 ^c	7.35±0.3 ^b	17.73±0.88 ^d

*Aynı sıradaki farklı harflerle (a,b,c,d) ifade edilen değerler örnekler arasında $p\leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

Dondurularak kurutulmuş kabuklar ile vakumlu mikrodalga ve vakumlu infrared kurutucularda kurutulmuş limon kabuklarının Hue açısı değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Tepsili kurutucu ve mikrodalgada kurutulmuş limon kabuklarının Hue açısı değerleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$). Baysal ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada havuç örnekleri tepsili kurutucu ve mikrodalgada kurutulmuş, benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

Dondurularak kurutulan örneklerin renk değerlerinin diğer yöntemler kullanılarak kurutulanlara kıyasla daha iyi korunduğu belirlenmiştir.

4.2.9. Su tutma kapasitesi tayini sonuçları

Kurutulmuş ürünlerin su tutma kapasiteleri kurutma sırasında hücre ve dokularda meydana gelen büzüşmelere bağlı olarak değişmektedir (Ertekin, 2002). Farklı tekniklerle kurutulan limon kabuklarının su tutma kapasiteleri (WHC) çizelge 4.28’de verilmiştir. Vakumlu infrared kurutucuda kurutulan ürünlerin su tutma kapasitesi (5.78 g/g) en yüksek ve açık havada kurutulan ürünlerin su tutma kapasitesi ise en düşük (5.31 g/g) olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.28 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının su tutma kapasitesi değerleri

Kurutma Yöntemi	Açık Hava	Tepsili Kurutucu	Mikrodalga	Vakumlu Mikrodalga	Vakumlu İnfrared	Liyofilizatör
Su Tutma Kapasitesi (g/g)	5.31±0.98 ^a	5.61±0.06 ^{a,b}	5.51±0.22 ^{a,b}	5.65±0.21 ^{a,b}	5.78±0.15 ^b	5.75±0.02 ^b

*Aynı sıradaki farklı harflerle (^{a,b}) ifade edilen değerler örnekler arasında $p \leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

Açık havada kurutulan ürünler ile vakumlu mikrodalga ve liyofilizatörde kurutulmuş ürünlerin su tutma kapasiteleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemlidir ($p < 0.05$). Tepsili kurutucuda kurutulan kabuk örneklerinin su tutma kapasiteleri açık havada kurutulanlara kıyasla daha yüksek olarak bulunmuştur. Borchani et al. (2011) tarafından yapılan ve hurma örneklerinin farklı kurutucularda kurutulduğu çalışmada benzer şekilde açık havada kurutulan örneklerin su tutma kapasitesi daha düşük bulunmuştur. Dondurularak kurutulan ürünlerin su tutma kapasiteleri tepsili kurutucuda kurutulanlara kıyasla daha yüksektir. Elde edilen bu sonuç Que et al. (2008) tarafından kabak örneklerinin kurutulmasını konu alan çalışmanın sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Vakumlu sistemlerde kurutulan örneklerin su tutma kapasiteleri tepsili kurutucuda kurutulan kabuk örneklerinin su tutma kapasitelerine kıyasla daha yüksek olarak bulunmuştur. Ngamwong et al. (2016) tarafından yapılan çalışmada da tepsili kurutucu ve vakumlu kurutucuda kurutulan örneklerin su tutma kapasiteleri karşılaştırılarak benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

4.2.10. Su aktivitesi tayini sonuçları

Su aktivitesi kurutulmuş toz ürünlerin raf ömrünü önemli ölçüde etkileyen bir indekstir. Su aktivitesi değeri 0.6'dan düşük olan gıdalar mikrobiyolojik açıdan kararlı olarak kabul edilmektedir (Quek et al., 2006). Farklı kurutma teknikleriyle kurutulmuş limon kabuklarına ait su aktivitesi değerleri Çizelge 4.32'de verilmiştir. Ürünlerin su aktiviteleri 0.41-0.48 arasında değişmekte olup kurutma yöntemlerinin su aktivitesi üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Vakumlu mikrodalga kurutucu ve tepsili kurutucuda kurutulan kabukların su aktiviteleri arasındaki fark istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.05$).

Çizelge 4.29 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının su aktivitesi değerleri

Kurutma Yöntemi	Açık Hava	Tepsili Kurutucu	Mikrodalga	Vakumlu Mikrodalga	Vakumlu İnfrared	Liyofilizatör
Su aktivitesi (a_w)	0.43±0.00 ^{a,b}	0.41±0.01 ^a	0.43±0.01 ^{a,b}	0.48±0.00 ^b	0.42±0.00 ^{a,b}	0.42±0.01 ^{a,b}

*Aynı sıradaki farklı harflerle (^{a,b}) ifade edilen değerler örnekler arasında $p\leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

Elde edilen su aktivitesi değerleri kurutulmuş ürünlerin mikrobiyolojik olarak kararlı olduğunu göstermektedir.

4.2.11. Yığın yoğunluğu analiz sonuçları

Toz ürünlerin yığın yoğunluğunun belirlenmesi belli bir hacme sahip paketleme materyali içerisine konulacak olan ürün miktarı hakkında bilgi vermesi açısından önem taşımaktadır (Koç et al., 2011). Toz ürünlerin şekil, büyüklük ve nem içerikleri yığın yoğunluğu üzerine etki etmektedir. Farklı kurutma teknikleri kullanılarak elde edilen limon kabuğu tozlarının yığın yoğunlukları Çizelge 4.30'da verilmiştir. Ürünlerin yığın yoğunlukları 0.17-0.25 g/ml arasında değişmekte olup kurutma yöntemlerinin yığın yoğunluğu üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Açık havada kurutulan ürünler ile tepsili kurutucuda kurutulan kabukların yığın yoğunlukları arasındaki fark ve vakumlu infrared

kurutucu ile mikrodalgada kurutulan kabukların yığın yoğunlukları arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p>0.05$).

Çizelge 4.30 Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının yığın yoğunlukları

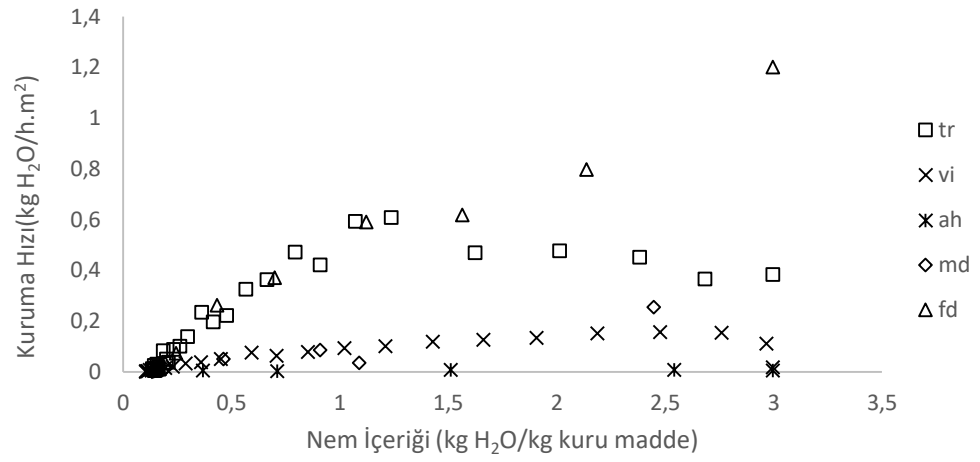
Kurutma Yöntemi	Açık Hava	Tepsi Kurutucu	Mikrodalga	Vakumlu Mikrodalga	Vakumlu İnfrared	Liyofilizatör
Yığın yoğunluğu (g/ml)	0.25±0.00 ^a	0.25±0.00 ^a	0.24±0.00 ^b	0.22±0.00 ^c	0.24±0.00 ^b	0.17±0.01 ^d

*Aynı sıradaki farklı harflerle (a,b,c,d) ifade edilen değerler örnekler arasında $p\leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

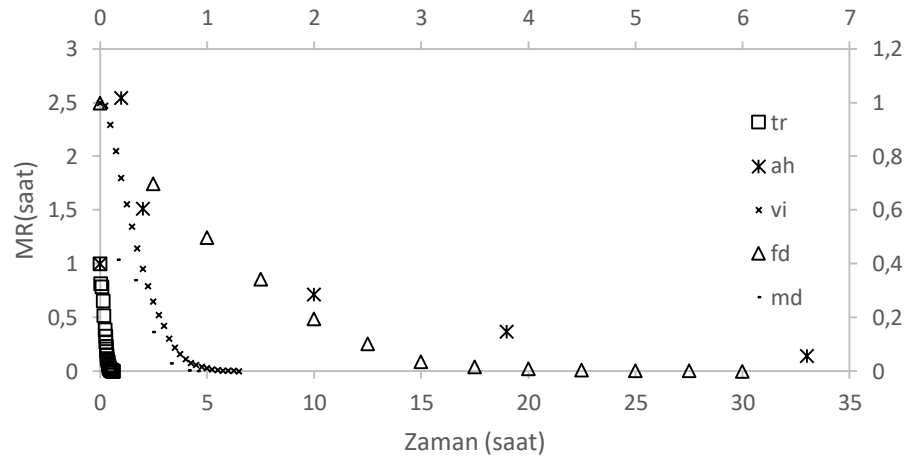
Dondurularak kurutulan ürünlerin yığın yoğunlukları en düşüktür. Hsu et al. (2003) tarafından yapılan çalışmada tatlı patates farklı tekniklerle kurutularak toz haline getirilmiş benzer şekilde dondurularak kurutulmuş patates tozlarının yığın yoğunluklarının en düşük olduğu belirtilmiştir. Örneklerin yığın yoğunluğundaki farklılıkların, gözenekler arasında yer alan boşluklardaki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.2.12. Kurutma kinetiği sonuçları

Farklı kurutma teknikleri ile kurutulan limon kabuklarına ait kurutma hızları hesaplanmış ve örneklerin nem içeriklerine bağlı kuruma hızının değişimi şekil 4.17’de gösterilmiştir. Farklı tekniklerle kurutulan limon kabuklarına ait boyutsuz nem içeriğinin zamana bağlı değişimi şekil 4.18’de gösterilmiştir. Ürünlerin nem içeriği azaldıkça difüzyon azalmakta ve ürün yüzeyine nem transferi zorlaşmaktadır. Bunun sonucunda kuruma süresi uzamakta ve kuruma hızı düşmektedir.

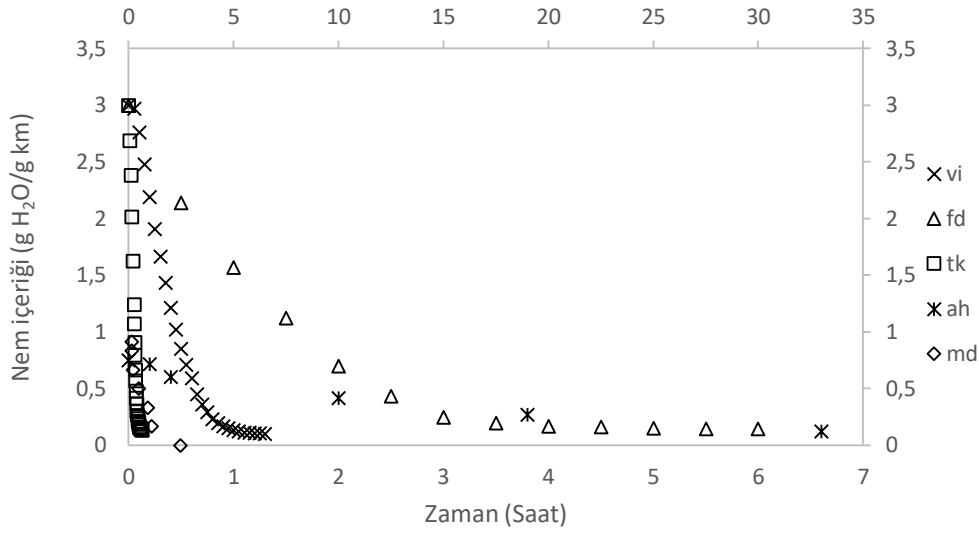


Şekil 4.17 Farklı tekniklerle kurutulan limon kabuklarına ait kuruma hızının nem içeriğine bağlı değişimi



Şekil 4.18 Farklı tekniklerle kurutulan limon kabuklarına ait boyutsuz nem içeriğinin zamana bağlı değişimi

Tepsili kurutucudaki kuruma süresi en kısa olup 39 dk olarak bulunmuştur. Mikrodalga, vakumlu infrared kurutucu ve açık havada kurutulan örneklerin kuruma süreleri sırasıyla 55 dk, 89 dk ve 33 saat olarak bulunmuştur. Dondurularak kurutulan ürünlerde ise bu süre 6 saattir.



Şekil 4.19 Farklı tekniklerle kurutulan limon kabuklarına ait nem içeriğinin zamana bağlı değişimi

Çizelge 4.31 Farklı kurutma teknikleri ile kurutulan örneklerle ait efektif difüzyon katsayıları

Kurutma Yöntemi	tr	vi	fd	ah	md
$D_{eff} (m^2/s)$	$1.32 \times 10^{-8} a$	$5.48 \times 10^{-9} b$	$14.6 \times 10^{-9} c$	$7.3 \times 10^{-11} d$	$6.93 \times 10^{-9} e$

* Aynı sıradaki farklı harflerle (^{a,b,c,d}) ifade edilen değerler örnekler arasında $p \leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

Farklı kurutma teknikleri ile kurutulan limon kabuklarının difüzyon katsayıları $1.32 \times 10^{-8} m^2/s$ - $7.3 \times 10^{-11} m^2/s$ arasında değişmektedir (Çizelge 4.31). Efektif difüzyon katsayısı değerlerinin literatürde $10^{-12} m^2/s$ - $10^{-8} m^2/s$ aralığında değiştiği görülmekte olup sonuçlar literatür değerleri ile uyumlu bulunmuştur. Kurutma yöntemlerinin ürünlerin difüzyon katsayısı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

4.2.13 Duyusal analiz sonuçları

Tüketicilerin beğenilerini değerlendirmek amacıyla farklı teknikler ile kurutulan limon kabuklarına puanlama testi (Altuğ ve Elmacı, 2005) uygulanmıştır. Bu amaçla rastgele seçilen 11 panelistten, 6 farklı limon kabuğu tozunu renk, doku, koku ve genel beğeni özellikleri açısından puanlamaları istenmiştir. Örneklerin

dokusal olarak analizi el ile gerçekleştirilmiştir. Duyusal analizde kullanılan form Ek 3’de verilmiştir. Puanlama testinde “Çok İyi” : 1, “İyi” : 2, “Orta” : 3, “Kötü” : 4 ve “Çok Kötü” : 5 olarak puanlandırılmıştır. Sonuçlar Duncan testi ile %95 güven aralığında değerlendirilmiş ve Ek 2’de verilmiştir.



Şekil 4.20 Farklı tekniklerle kurutulan limon kabuğu tozları

Kurutma tekniklerinin puanlama testinde yer alan renk parametresi üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0.05$). Dondurularak kurutulan kabuk tozları renk açısından en çok beğenilen ürün olmuştur. Mikrodalga ve vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulan örnekler arasındaki fark önemsiz olarak bulunmuştur ($p>0.05$). Panelistlerce renk açısından en az beğenilen grupta açık hava ve tepsili kurutucuda kurutulan örnekler yer almaktadır. Tepsili kurutucu ve açık havada kurutulan örnekler arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz olarak bulunmuştur ($p<0.05$).

Çizelge 4.32 Farklı kurutma teknikleri ile kurutulan örnekler için puanlama testi sonuçları

Örnek	Renk	Doku	Koku	Genel Beğeni
Açık hava	29 ^a	26 ^a	40 ^a	29 ^a
Tepsili Kurutucu	31 ^b	24 ^b	37 ^b	31 ^b
Mikrodalga	33 ^c	24 ^b	38 ^b	33 ^c
Vakumlu Mikrodalga	33 ^c	26 ^c	40 ^a	29 ^a
Vakumlu Infrared	34 ^{c,d}	26 ^c	38 ^b	30 ^{a,b}
Liyofilizatör	35 ^d	27 ^c	40 ^b	33 ^c

* Aynı sütunda farklı harflerle (a,b,c,d) ifade edilen değerler örnekler arasında $p \leq 0.05$ düzeyindeki istatistiksel farkı göstermektedir.

Kurutma tekniklerinin puanlama testinde yer alan doku parametresi üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Doku özellikleri açısından en beğenilen grup dondurularak kurutulan kabuk tozları olmuştur. Açık hava vakumlu mikrodalga ve vakumlu infrared kurutucuda kurutulan örnekler orta düzeyde beğenilmiş olup aralarındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p < 0.05$).

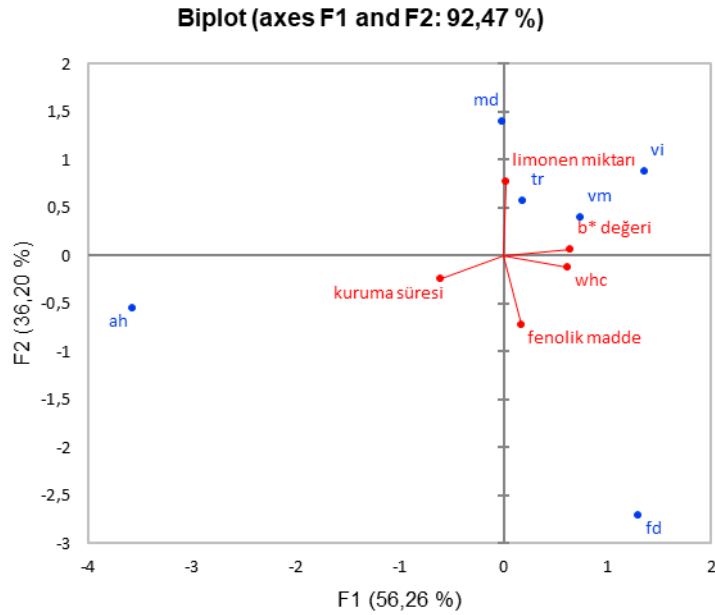
Panelistlerce yapılan değerlendirmede mikroalgada kurutulan ürünler koku açısından fazla puan almıştır. Vakumlu infrared kurutucuda kurutulan kabuklar “iyi” ve tepsili kurutucuda kurutulan kabuklar ise “orta” olarak değerlendirilmiştir. Açık havada, vakumlu mikrodalga ve liyofilizatörde kurutulan ürünler arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p < 0.05$).

Limon kabuğu tozlarının genel değerlendirilmesinde mikrodalga ve liyofilizatörde kurutulan ürünler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ($p < 0.05$). Açık hava ve vakumlu mikroalgada kurutulan ürünler genel beğeni açısından en az puan alırken mikrodalga ve liyofilizatörde kurutulan örnekler en fazla puan almıştır. Lin et al. (1998) tarafından yapılan çalışmada dondurularak, açık havada ve vakumlu mikrodalga kurutucuda kurutulan havuç örnekleri duyuşal olarak değerlendirilmiştir. Dondurularak kurutulan örnekler

genel beğeni açısından en fazla puan alırken açık havada kurutulan örnekler en az puan almıştır. Dondurarak kurutulan örnekler ile vakumlu infrared kurutucuda kurutulan örnekler arasındaki fark istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur ($p<0.05$).

4.2.14 Temel bileşen analizi sonuçları

Gruplaşmada etkili olan bileşenlerin belirlenmesi için örneklerle uygulanan PCA (principle component analysis) sonucunda toplam varyasyonun % 56.16 ve % 36.20'sini oluşturan, sırasıyla F1 ve F2 olarak adlandırılan 2 temel bileşen elde edilmiştir (Şekil 4.21). F1 ve F2 temel bileşenleri dikkate alınarak çizilen biplot diyagramı ve tezde elde edilen b^* değeri, limonen miktarı, kuruma süresi, su tutma kapasitesi, fenolik miktarı sonuçları incelendiğinde limonen miktarı yüksek olan limon kabuğu tozu eldesi için mikrodalga kurutma yönteminin diğer yöntemlere kıyasla daha uygun olduğu görülmektedir. Açık hava kurutma yönteminin kuruma süresi yönüyle diğer kurutma yöntemlerinden ayrıldığı görülmektedir.



Şekil 4.21 Farklı kurutma yöntemleriyle üretilmiş limon kabuğu tozlarının bazı kalite özelliklerine ait biplot (iki ölçekli) diyagramı

Dondurularak kurutulan limon kabuğu tozları fenolik madde içerikleri ve su tutma kapasiteleri açısından diğer kurutma yöntemlerinden ayrılmaktadır. Fenolik

madde içeriği ve su tutma kapasitesi yüksek limon kabuğu tozu eldesi için liyofilizasyonun diğer yöntemlere kıyasla daha uygun olduğu görölmektedir. Vakumlu mikrodalga, vakumlu infrared ve tepsili kurutucuda kurutulan örnekler b^* değeri yönüyle diğer kurutma yöntemlerinden ayrılmaktadır.

5. GENEL SONUÇLAR

Bir gıdanın lezzetini oluşturan tat ve aroma, gıdaların kalite yönünden ve tüketici tarafından kabul edilebilirliğini belirleyen önemli duyuşsal etkenlerdir. Yeni ürün geliştirmede veya mevcut ürünleri iyileştirmede, lezzetin gıda bileşenleriyle etkileşiminin ve gıda matrisinin bileşiminde bulunan uçucu aroma maddelerinin çevreye salınmasına etki eden faktörlerin bilinmesi gereklidir. Kurutma meyve sebze işleme endüstrisinde yaygın olarak kullanılan proseslerin başında gelmektedir. Ancak kurutma ürünün renk ve aroma gibi kalite niteliklerinde değişikliklere sebep olabilmektedir. Bu nedenle aroma ve lezzetin en yüksek düzeyde olduğu bir üretim için kurutma işlemlerinin, kontrollü yapılması ve ürün kalitesi açısından optimize edilmesi gerekmektedir.

Ürün kalitesini geliştirme çabası gösteren araştırmacılar geleneksel gıda işleme yöntemlerinin gıdadaki olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak üzere yeni işleme stratejileri geliştirmektedir. Son yıllarda tüketici tercihinin en az düzeyde işlem görmüş, doğal, sağlıklı ve beslenme fizyolojisi açısından kaliteli gıdaların tüketimi yönündeki taleplerinin artışına paralel olarak, gıda endüstrisinde uygulanan konvansiyonel işleme yöntemlerine alternatif olan yeni işleme yöntemleri ile ilgili yapılan araştırmalar artış göstermektedir.

Tez çalışmasının genel amacı, açık hava kurutma, mikrodalga, vakum mikrodalga, vakum infrared ve tepsili kurutucu ile liyofilizatör kullanılarak Lamas türü limon kabuğunun optimum koşullarda kurutulması, kurutulan ürünlerin aroma bileşenlerinin incelenmesidir.

Bu çalışmada limon kabuğunun kurutulmasında ön denemelerle vakumlu mikrodalga, vakumlu infrared ve tepsili kurutucu için sınır koşulları saptanmış, yanıt yüzey metodu (RSM) ile optimum çalışma koşulları belirlenmiş, belirlenen optimum koşullarda limon kabuğu örnekleri kurutulmuş, farklı kurutma yöntemleriyle kurutulmuş ürünlerin bazı kalite özellikleri ile uçucu aroma bileşenleri analiz edilerek birbirleri ile kıyaslanmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında limon kabuğu tozu eldesi amacıyla vakumlu mikrodalga, vakumlu infrared ve tepsili kurutuculardaki optimum kurutma koşulları yanıt yüzey metodu ile belirlenmiştir. Vakumlu mikrodalga kurutucu için sıcaklık, vakumlu mikrodalga kurutucu için sıcaklık ve güç, tepsili kurutucu için sıcaklık ve hava hızı koşulları optimize edilmiştir. Bu amaçla limonen miktarı, b^* değeri ve kuruma süresi parametreleri dikkate alınmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında optimum çalışma koşullarında vakumlu mikrodalgada (334 W, 65 °C), vakumlu infrared (50.9 °C) ve tepsili kurutucuda (68.91 °C, 1.8 m/s) limon kabukları kurutulmuştur. Tez çalışması kapsamında kullanılan diğer kurutma teknikleri olan liyofilizatör (-70 °C), açık hava (20 °C, %33 bağıl nem) ve mikrodalgada (120 W) limon kabukları kurutulmuştur.

Çalışmanın son aşamasında farklı tekniklerle kurutulan limon kabuklarının bazı kalite özellikleri ve uçucu aroma bileşenleri incelenmiştir. Kurutma sonrası limon kabuklarının pH ve asitlik değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Mikrodalgada kurutulan limon kabuğu tozlarının pH değerleri en düşük (5.62), vakumlu mikrodalga ve liyofilizatörde kurutulan kabuk tozlarının pH değerlerinin en yüksek (5.95) olduğu saptanmıştır. Benzer şekilde liyofilizatörde kurutulan ürünlerin asitlik değerlerinin en yüksek (1 g/100 g km) olduğu bulgulanmıştır.

C vitamini içerikleri incelendiğinde kurutma sonrası azalış olduğu saptanmıştır. Vakumlu infrared kurutucuda kurutulan limon kabuklarının C vitamini içeriği en yüksek (245.78 mg/ g km) ve mikrodalgada kurutulan ürünlerin C vitamini içeriğinin en düşük (103.66 mg/ g km) olduğu belirlenmiştir.

Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının antioksidan kapasiteleri 2 farklı yöntem (DPPH ve ABTS) ile belirlenmiş ve yöntemden elde edilen sonuçlar arasında pozitif yönlü korelasyon olduğu saptanmıştır. Kurutma sonrası ürünlerin toplam antioksidan aktivitelerinin azaldığı belirlenmiştir. Her 2 analiz yönteminden elde edilen sonuçlara göre dondurularak kurutulan limon kabuklarının antioksidan aktivitelerinin diğer kurutma yöntemlerinden elde edilenlerinkine kıyasla en yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Toplam fenolik madde miktarları incelendiğinde kurutma sonrası fenolik madde miktarının arttığı belirlenmiştir. Dondurularak kurutulan limon kabuklarının toplam fenolik madde içeriği en yüksek olup 227.2 mg GAE/100g km olarak bulunmuştur.

Farklı tekniklerle kurutulmuş limon kabuklarının toplam karotenoid içerikleri incelendiğinde kurutma sonrası karotenoid içeriklerinde artış olduğu saptanmıştır. Dondurularak kurutulan limon kabuklarının toplam karotenoid içeriği en yüksek (2.34 mg/g km) açık havada kurutulan limon kabuklarının toplam karotenoid içeriği ise en düşük (1.49 mg/g km) bulunmuştur. “Sarılık-mavilik değeri” olarak da bilinen b^* değeri incelendiğinde, örneklerin karotenoid içerikleriyle pozitif korelasyon gösterdiği görülmektedir.

Taze ve kurutulmuş limon kabuklarının uçucu aroma bileşenleri incelendiğinde mikrodalgada kurutulan örneklerdeki uçucu aroma bileşeni sayısının en fazla (55) olduğu saptanmıştır. Taze limon kabuğunda bulunmayan bazı bileşenler açığa çıkmıştır. Monoterpenik hidrokarbonlar uçucu aroma bileşenlerinin önemli bir kısmını oluşturmuştur. Limonenin ise bu grupta yer alan majör aroma bileşeni olduğu tespit edilmiştir. Mikrodalgada kurutulan örneklerdeki limonen miktarı (5555.97 mg/g km) diğer yöntemden elde edilen örneklerin limonen miktarlarına kıyasla daha yüksek olarak bulunmuştur.

Farklı teknikler ile kurutulan limon kabukları puanlama testi kullanılarak duyuusal açıdan değerlendirilmiştir. Renk, koku, doku ve genel beğeni açısından puanlama yapılmıştır. Renk ve doku açısından en çok puan alan örnekler dondurularak kurutulanlar olmuştur. Açık havada kurutulan örnekler ise renk açısından en az puanı almıştır. Mikrodalgada kurutulan kabuklar koku açısından en fazla puan almıştır. Mikrodalga ve liyofilizatörde kurutulan örneklerin ise genel beğeni açısından puanı en yüksektir.

Kurutulan örnekler parlaklıkları bakımından karşılaştırıldığında liyofilizatörde kurutulan ürünlerin en parlak (74.6) olduğu görülmüştür. Açık havada kurutulan ürünlerin ise parlaklık değerleri en düşük (62.97) olarak bulunmuştur. Limon kabuğu tozlarının a^* değerleri incelendiğinde açık havada

kurutma sonucu bu değerin arttığı ve diğer yöntemlerle kurutulan ürünlere kıyasla en yüksek (10.52) olduğu tespit edilmiştir. Dondurularak kurutulan kabuk tozlarının a^* değeri ise en düşük (2.47) olarak bulunmuştur. Kurutma sonucu limon kabuklarının b^* değeri azalmıştır. Vakumlu infrared kurutucuda kurutulan ürünlerin b^* değeri en yüksek (43.37) ve açık havada kurutulan ürünlerin b^* değeri ise en düşük (25.19) olarak bulunmuştur. Toplam renk farkı incelendiğinde ise en düşük ΔE değeri (13.99) vakumlu infrared kurutucuda kurutulan ürün grubunda tespit edilirken açık havada kurutulan ürünlerin toplam renk farkı en yüksek (32.17) olarak bulunmuştur.

Farklı tekniklerle kurutulan limon kabuğu tozlarının su tutma kapasiteleri karşılaştırıldığında vakumlu infrared kurutucuda kurutulan ürünler için bu değer 5.78 g/g olup en yüksek iken açık havada kurutulan ürünler için bu değer 5.31 g/g olup en düşüktür.

Çalışmada farklı kurutma teknikleri kullanılarak elde edilen limon kabuğu tozlarının tamamında su aktivitesi değerinin 0.6'dan düşük olduğu bulunmuştur.

Yığın yoğunlukları incelendiğinde, dondurarak kurutma sonucu elde edilen kabuk tozlarında bu değerin en düşük (0.17 g/ml), tepsili kurutucuda ve açık havada kurutularak elde edilen kabuk tozlarında bu değerin en yüksek (0.25 g/ml) olduğu belirlenmiştir.

Farklı teknikler kullanılarak yapılan kurutma işlemlerinde ürünlerdeki nem içeriğinin azalmasına bağlı olarak kuruma hızının azaldığı tespit edilmiştir. Açık havada kurutulan ürünlerin kuruma süresi en uzun (33 saat) ve tepsili kurutucuda kurutulan ürünlerin kuruma süresi ise en düşük (39 dk) olarak bulunmuştur. Efektif difüzyon katsayısı değerlerinin $1.32 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ - $7.3 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında değiştiği saptanmıştır.

Çalışmadan elde edilen deneysel veriler dikkate alındığında dondurularak kurutulan limon kabuklarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin, diğer yöntemlerle kurutulan limon kabuklarına kıyasla daha iyi korunduğu görülmektedir. Ancak kurutulmuş limon kabuklarında bulunan uçucu aroma bileşenleri incelendiğinde

mikroalgada kurutulan kabukların sayıca daha fazla bileşen içerdiği saptanmıştır. Limon kabuğundaki majör aroma bileşenlerinden olan limonenin konsantrasyonu esas alındığında mikroalga kurutma yönteminin diğer yöntemlere kıyasla uçucu bileşenleri daha iyi koruduğu ortaya konulmuştur.

Tez çalışmasında sanayide hâlihazırda kullanılan açık hava kurutma, tepsili kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri ile henüz kullanımı yaygın olmayan vakumlu mikroalga, vakumlu infrared ve mikroalga kurutma yöntemleri kullanılmıştır. Literatürde yer alan farklı kurutma yöntemlerinin karşılaştırıldığı çalışmalar incelendiğinde, sayıca en fazla sayıda yöntemin ele alındığı çalışma olması yönüyle, elde edilen sonuçların literatüre ve endüstriye katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Yıllık üretim miktarı yüksek olan limondan arta kalan kabuklardan kurutma yoluyla katma değeri yüksek yeni ürünlerin geliştirilmesi, üretilmesi ve uluslararası pazara sunulması konularına dikkat çekilmiştir. Halihazırda aromatik ürünlerin kurutulması alanında faaliyet gösteren üreticilerin üretim koşullarının iyileştirilmesine katkı sağlayacak verilerin elde edildiği düşünülmektedir. Uzun vadede gıda üretiminde (hazır çorbalar, et, tavuk ve balık harcı ürünleri, unlu mamuller, şekerlemeler, bitki çayları vb.) yaygın kullanım alanı bulunan limon kabuğu kurusunun aromatik özelliklerinin yüksek oranda korunduğu sistemlerde üretiminin yapılması yoluyla, katkı olarak kullanıldığı ürünlerin aromatik özelliklerinin arttırılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aghbashlo, Kianmehr, M.H., Khani, S. and Ghasemi, M.,** 2009, Mathematical modelling of thin-layer drying of carrot, *Int. Agrophysics*, 23, 313-317 pp.
- Ahmed, J. and Al-Attar, H.,** 2015, Effect of drying method on rheological, thermal, and structural properties of chestnut flour doughs, *Food Hydrocolloids*, 51, 76-87 pp.
- Akdaş, S.,** 2014, Mandalinalarin Farkli Kurutma Şartlarında Biyoaktif Bileşenlerinin Degradasyon Kinetikleri. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Akpınar, E.K. and Biçer, Y.,** 2008, Mathematical modelling of thin layer drying process of long green pepper in solar dryer and under open sun, *Energy Conversion and Management*, 49(6), 1367-1375 pp.
- Aksoy, A., Ismail M., Ahmed, F. and Luecke, W.,** 2006, Design and Construction of A Solar Dryer for Mango Slices, *Prosperity and Poverty in a Globalised World- Challenges for Agricultural Research*, Bonn, Germany.
- Aktaş, M. and Kara, M.Ç.,** 2013, Güneş Enerjisi Ve Isı Pompalı Kurutucuda Dilimlenmiş Kivi Kurutulması, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28, 733-741 pp.
- Aktaş, M., Ceylan, I. and Yilmaz, S.,** 2009, Determination of drying characteristics of apples in a heat pump and solar dryer, *Desalination*, 239, 266–275 pp.
- Akyıldız, A., Polat, S. ve Ağçam, E.,** 2016, Konveksiyonel ve Dondurarak Kurutma Yöntemlerinin Karpuzun Bazı Kalite Özelliklerine Etkisi, *Gıda*, 42 (2), 169-176 pp.
- Alaei, B. and Chayjan, R.A.,** 2015, Drying Characteristics of Pomegranate Arils Under Near Infrared-Vacuum Conditions, *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 469–479 pp.
- Alaei, B. and Chayjan, R.A.,** 2015, Modelling of Nectarine Drying Under Near Infrared –Vacuum Conditions, *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.*, 14(1), 15–27 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Alibas, I.**, 2007, Energy Consumption and Colour Characteristics of Nettle Leaves during Microwave, Vacuum and Convective Drying, *Biosystems Engineering*, 96 (4), 495–502 pp.
- Alibas, I.**, 2007, Microwave, air and combined microwave–air-drying parameters of pumpkin slices, *LWT - Food Science and Technology*, 40 (8), 1445-145 pp.
- Altuğ, T. ve Elmacı, Y.**, 2005, Gıdalarda Duyusal Değerlendirme. İzmir, Met Basım Bornova. 130 s.
- Alves-Filho, O. and Strømmen, I.**, 1996, The application of heat pump in drying
- Anon**, 2010, Citrus. In: The Free Encyclopaedia. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Citrus>.
- Anon**, 2015, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Limon> (11.03.2015)
- Anonim**, 2008, Bahçecilik: Portakal Yetiştiriciliği, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi (MEGEP), Ankara
- AOAC**, 1995, Official methods of analysis (16 ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC**, 2000, Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists (17th Edn). Gaithersburg, Md, USA.
- Arcan, I. and Yemenicioğlu, A.**, 2009, Antioxidant activity and phenolic content of fresh and dry nuts with or without the seed coat, *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, 184–188 pp.
- Argyropoulos, D., Heindl, A. and Muller, J.**, 2011, Assessment of convection, hot-air combined with microwavevacuum and freeze-drying methods for mushrooms with regard to product quality, *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 333–342 pp.
- Arıcı, R. Ç. and Mengeş, O.**, 2012, Mantarın (*Agaricus Bisporus*) Kontrollü Sartlar Altında Kurutma Karakteristiklerinin Belirlenmesi ve Kuruma Davranışının Modellenmesi, *Selçuk Üniversitesi, Selçuk Tarım Ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 26(1), 84-91 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Arslan, D. and Özcan, M.M.**, 2010, Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices, *LWT - Food Science and Technology*, 43, 1121-1127 pp.
- Asekun, O.T., Grierson, D.S. and Afolayan, A.J.**, 2002, Effects of drying methods on the quality and quantity of the essential oil of *Mentha longifolia L. subsp. Capensis*, *Food Chemistry*, 10, 995–998 pp.
- Audebert, P. and Temmar, A.**, 1997, Vacuum drying of Oakwood: Moisture strains and drying process, *Drying Technology*, 15, 2281–2302 pp.
- Ayhan, A.**, 2005, Çeşitli Tarımsal Ürünlerin Vakumla Kurutulmasında Kurutma Parametrelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Bursa.
- Baldwin, E.A.**, 1993, Citrus in Biochemistry of fruit ripening, Chapman and Hall, Newyork, 107-159 pp.
- Banik, S., Bandyopadhyay, S. and Ganguly, S.**, 2003, Bioeffects of microwave-a brief review, *Bioresource Technol*, 87, 155-159 pp.
- Battino, M., Mezzetti, B.**, 2006, Update on fruit antioxidant capacity: a key tool for Mediterranean diet, *Public Health Nutrition* 9, 1099–1103 pp.
- Baysal, T., Demirdöven, A. and Rayman, A.**, 2011, Effects of Electrical Pre-Treatment Applications on Yield and Quality of Grape Juice, *Gıda*, 36 (3), 145-152 pp.
- Baysal, T., Icier, F., Ersus, S. And Yıldız, H.**, 2003, Effects of microwave and infrared drying on the quality of carrot and garlic, *Eur Food Res Technol*, 218, 68–73 pp.
- Belessiotis, V. and Delyannis, E.**, 2011, Solar Drying, *Solar Energy*, 85, 665–1691 pp.
- Benavente-García, O. and Castillo, J.**, 2008, Update on uses and properties of citrus flavonoids: new findings in anticancer, cardiovascular, and anti-inflammatory activity, *J. Agric. Food Chem.*, 56, 6185–6205 pp.
- Bezerra, M. A., Santelli, R.E., Oliveiraa, E.P., Villar, L.S. and Escaleira, L.A.**, 2008. Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry, *Talanta*, 76, 965–977 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Bondaruk, J., Markowski, M. and Blaszcak, W.,** 2007, Effect of drying conditions on the quality of vacuum-microwave dried potato cubes, *Journal of Food Engineering*, 81, 306–312 pp.
- Bouraoui, M., Richard, P. and Durance T.,** 1994, Microwave And Convective Drying of Potato Slices, *Journal of Food Process Engineering*, 17(3) , 353–363 pp.
- Borchani, C., Besbes, S., Masmoudi, M., Blecker, C., Paquot, M. and Attia, H.,** 2011, Effect of drying methods on physico-chemical and antioxidant properties of date fibre concentrates, *Food Chemistry*, 125, 1194–1201 pp.
- Bozkır, H.,** 2017, Elma Suyunun Vakumlu Mikrodalga Evaporatör Sistemi İle Konsantre Edilmesi Ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri, Doktora Tezi, İzmir, 165s.
- Böhm, V., Kühnert, S., Rohm, H. and ScholzeImproving G.,** 2006, Improving the Nutritional Quality of Microwave-vacuum Dried Strawberries: A Preliminary Study, *Food Science and Technology International*, 12(1), 67-75 pp.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C.,** 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity, *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 28, 25–30 pp.
- Calín-Sánchez, A., Lech, K., Szumny, A., Figiel, A., Carbonell-Barrachina, A.A.,** 2012, Volatile composition of sweet basil essential oil (*Ocimum basilicum* L.) as affected by drying method, *Food Research International*, 48, 217–225 pp.
- Calín-Sánchez, A., Szumny, A., Figiel, A., Jalošzyn´ski, K., Adamski, M. and Carbonell-Barrachina, A.A.,** 2011, Effects of vacuum level and microwave power on rosemary volatile composition during vacuum–microwave drying, *Journal of Food Engineering*, 103, 219–227 pp.
- Candia-Muñoz, N., Ramirez-Bunster, M., Vargas-Hernández, Y. and Gaete-Garretón, L.,** 2015, Ultrasonic spray drying vs high vacuum and microwaves technology for blueberries, *Physics Procedia*, 70, 867 – 871 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Cannon, R.J., Kazimierski, A., Curto, N.L., Li, J., Trinnaman, L., Janczuk, A.J., Agyemang, D., Da Costa, N.C. and Chen, M.Z.,** 2015, Identification, Synthesis, and Characterization of Novel SulfurContaining Volatile Compounds from the In-Depth Analysis of Lisbon Lemon Peels (*Citrus limon* L. Burm. f. cv. Lisbon), *J. Agric. Food Chem.*, 63, 1915–1931 pp.
- Cemeroğlu, B. and Soyer, A.,** 2004, Kurutma, Gıda Mühendisliğinde Temel işlemler, Ankara, Türkiye, 347-466 pp.
- Cemeroğlu, B.,** 2004, Meyve Sebze İşleme Teknolojisi. Ankara: Cilt 2.
- Cepeda, E., Villarh, M.C. and Aranguizi, N.,** 1998, Functional Properties of Faba Bean (*Vicia faba*) Protein Flour Dried by Spray Drying and Freeze Drying, *Journal of Food Engineering*, 36, 303-310 pp.
- Chakraborty, R. and Samanta, R.,** 2017, Concurrent Osmotic Dehydration and Vacuum Drying of Kiwi Fruit (*Actinidia Deliciosa* Cv. Hayward) Under Far Infrared Radiation: Process Optimization, Kinetics and Quality Assessment, *Journal of Food Process Engineering*, 40, e12391.
- Chan, E.W.C., Lim, Y.Y., Wong, S.K., Lim, K.K., Tan, S.P., Lianto, F.S. and Yong, M.Y.,** 2009, Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species, *Food Chemistry*, 113, 166–172 pp.
- Chang, C., Lin, H., Chang, C. and Liu, Y.,** 2006, Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes, *Journal of Food Engineering*, 77, 478–485 pp.
- Changrue, V., Orsat, V. and Raghavan, S.V.,** 2008, Osmotically Dehydrated Microwave-Vacuum Drying of Strawberries, *Journal of Food Processing and Preservation*, 32, 798–816 pp.
- Chen, H.H., Hernandez, C.E. and Huang, T.C.,** 2005, A study of the drying effect on lemon slices using a closed-type solar dryer, *Solar Energy*, 78, 97–103 pp.
- Chen, M., Yang, D. and Liu, S.,** 2011, Effects of drying temperature on the flavonoid, phenolic acid and antioxidative capacities of the methanol extract of citrus fruit

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- (Citrus sinensis (L.) Osbeck) peels, *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 1179–1185 pp.
- Chin, S.T., Nazimah, S.A.H., Quek, S.Y., Man, Y.B.C., Rahman, R.A. and Hashim, D.M.**, 2008, Changes of volatiles' attribute in durian pulp during freeze- and spray-drying process, *LWT - Food Science and Technology*, 41, 1899-1905 pp.
- Choi, H.**, 2003, haracterization of Citrus unshiu (C. unshiu Marcov. forma Miyagawa-wase) Blossom Aroma by Solid-Phase Microextraction in Conjunction with an Electronic Nose, *J. Agric. Food Chem.*, 51, 418–423 pp.
- Correˆa, J.L.G., Dev, S.R.S., Garipey, Y. and Raghavan, G.S.V.**, 2011, Drying of Pineapple by Microwave-Vacuum with Osmotic Pretreatment, *Drying Technology*, 29, 1556–1561 pp.
- Corzo' O., Bracho' N., Vsquez A. and Pereira, A.**, 2008, Optimization of a thin layer drying process for coroba slices, *Journal of Food Engineering*, 85(3), 372-380 pp.
- Cui, Z., Xu, S.Y. and Sun, D.**, 2003, Dehydration of Garlic Slices by Combined Microwave-Vacuum and Air Drying, *Drying Technology*, 21(7),1173–1184 pp.
- Cui, Z., Xu, S.Y. and Sun, D.**, 2004, Effect of Microwave-Vacuum Drying on the Carotenoids Retention of Carrot Slices and Chlorophyll Retention of Chinese Chive Leaves, *Drying Technology*, 22(3), 563–575 pp.
- Cui, Z.W., Li, C.Y., Song, C.F. and Song, Y.**, 2008, Combined Microwave-Vacuum and Freeze Drying of Carrot and Apple Chips, *Drying Technology*, 26(12), 1517-1523 pp.
- Cui, Z.W., Li, C.Y., Song, C.F. and Song, Y.**, 2008, Combined Microwave-Vacuum and Freeze Drying of Carrot and Apple Chips, *Drying Technology*, 26, 1517–1523 pp.
- Cui, Z.W., Sun, L., Chen, W. and Sun, D.**, 2008, Preparation of dry honey by microwave–vacuum drying, *Journal of Food Engineering*, 84, 582–590 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Cumhur, Ö., Şeker, M. and Sadıkoğlu, H.,** 2016, Freeze drying of turkey breast meat: Mathematical modeling and estimation of transport parameters, *Drying Technology*, 34(5), 584–594 pp.
- Çakmak, R.S., Tekeoğlu, O., Bozkır, H., Rayman Ergün, A. and Baysal, T.,** 2016, Effects of electrical and sonication pretreatments on the drying rate and quality of mushrooms, *LWT - Food Science and Technology*, 69, 197-202 pp.
- Çakmakçı, S. ve Gökalp, H.Y.,** 1992, Gıdalarda kısaca oksidasyon; antioksidantlar ve gıda sanayiinde kullanımları, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 23(2): 174-192.
- Dadalı, G.,** 2007, Bamya ve ıspanağın mikrodalga tekniğini kullanarak kurutulması, doku ve renk özelliklerinin incelenmesi ve modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 195s.
- Dak, M., Jain, M.K. and Jat, S.L.,** 2014, Optimization of microwave-vacuum drying of pomegranate arils, *Food Measure*, 8, 398–411 pp.
- Darjazi, B. B.,** 2014, Comparison of Peel Components of Mandarin, Sour lemon and Sour orange (Citrus sp.), *Journal of Pharmaceutical and Health Sciences*, 3(1), 51-60 pp.
- Delgado-Adámez, J., Gamero, E., Valdés, E. and González-Gómez, D.,** 2012, In vitro estimation of the antibacterial activity and antioxidant capacity of aqueous extracts from grape-seeds (*Vitis vinifera* L.), *Food Control*, 24, 136–141 pp.
- Deng, Y., Luo, Y., Wang, Y. and Zhao, W.,** 2015, Effect of different drying methods on the myosin structure, amino acid composition, protein digestibility and volatile profile of squid fillets, *Food Chemistry*, 171, 168–176 pp.
- Demir, D.,** 2010, Kurutma İşlemi ve Öncesinde Uygulanan Farklı Haşlama Tekniklerinin Siyah Havucun Antioksidan Etkili Bileşikleri Üzerine Etkisi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Dereli, T. and Baykasoğlu, A.,** 2002, Atıklar ve çevreye etkileri: Mühendislik cephesinden çevre sorunlarına bakış, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 13(1), 28-35 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- D'íaz-Maroto, M.C., Perez-Coello, M.S. and Cabezudo, M.D.,** 2002, Effect of different drying methods on the volatile components of parsley (*Petroselinum crispum* L.), *Eur Food Res Technol*, 215, 227–230pp.
- D'íaz-Maroto, M.C., Palomo, E.S., Castro, L., Vinas, M.A.G. and Perez-Coello, M.S.,** 2004, Changes produced in the aroma compounds and structural integrity of basil (*Ocimum basilicum* L) during drying, *J Sci Food Agric*, 84, 2070–2076 pp.
- Dinani, S.T., Hamdami, N., Shahedi, M. and Havet, M.,** 2015, Quality assessment of mushroom slices dried by hot air combined with an electrohydrodynamic (EHD) drying system, *Food and Bioproducts Processing*, 94, 572–580 pp.
- Doymaz, İ.,** 2009, Thin Layer Drying Of Spinach Leaves In A Convective Dryer, *Journal of Food Engineering*, 32, 112-125 pp.
- Duangmal, K., Saicheua, B. and Sueeprasan, S.,** 2008, Colour evaluation of freeze-dried roselle extract as a natural food colorant in a model system of a drink, *LWT*, 41, 1437–1445 pp.
- Ekechukwu, O.V.,** 1987, Experimental studies of integral-type natural-circulation solar-energy tropical crop dryers. Ph.D. thesis. Cran®eld Institute of Technology, United Kingdom.
- El-Beltagy, A., Gamea, G.R. and Amer Essa, A.H.,** 2007, Solar drying characteristics of strawberry, *Journal of Food Engineering*, 78, 456–464 pp.
- Erbay Z. and Icier, F.,** 2009, Optimization of hot air drying of olive leaves using response surface methodology, *Journal of Food Engineering*, 91(4), 533-541 pp.
- Eren, Ö.,** 2005, “Mikroalga Kurutucuda Maydanozun Kurutulmasına Yönelik Bir Çalışma” Mustafa Kemal Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Ergüneş, G. and Tarhan, S.,** 2006, Color retention of red peppers by chemical pretreatments during greenhouse and open sun drying, *Journal of Food Engineering*, 76, 446-452 pp.
- Evranuz, Ö.,** 1988, Gıda İşleme ve Muhafazasında Kaliteyi Etkileyen Etmenler ve Son Tüketim Tarihinin Saptaması, *Gıda Sanayii*, 1, 12-16 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Fadhel, A., Kooli, S., Farhat, A. and Bellghith, A.,** 2005, Study of the solar drying of grapes by three different processes, *Desalination*, 185, 535–541 pp.
- FAO,** 2015, Food and Agriculture Organization of United Nations, <https://faostat.fao.org>.
- FAO,** 2016, Citrus Fruit Fresh and Processed Annual Statistics 2015. (<http://apps.fao.org/cgi-bin/nphdb.pl?subset=agriculture>)
- FDA,** 2013, The United States Code of the Federal Regulations. Title 21, Vol. 3.
- Fernandes' F.A.N., Rodrigues' S., Gaspareto' O.C.I. and Oliveira, E.L.,** 2011. Optimization of osmotic dehydration of bananas followed by air-drying, *Journal of Food Engineering*, 77(1), 188-193 pp.
- Floegel, A., Kim, D., Chung, S., Koo, S.I. and Chun, O.K.,** 2011. Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods, *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, 1043–1048 pp.
- Figiel, A., Szumny, A., Gutiérrez-Ortiz, A. and Carbonell-Barrachina, A.A.,** 2010, Composition of oregano essential oil (*Origanum vulgare*) as affected by drying method, *Journal of Food Engineering*, 98, 240–247 pp.
- Gao, Q, Wu, C., Wang, M., Xu, B. and Du, L.,** 2012, Effect of Drying of Jujubes (*Ziziphus jujuba* Mill.) on the Contents of Sugars, Organic Acids, α -Tocopherol, β -Carotene, and Phenolic Compounds, *J. Agric. Food Chem.*, 60, 9642–9648 pp.
- George, J.P. and Datta, A.K.,** 2002, Development and validation of heat and mass transfer models for freeze-drying of vegetable slices, *Journal of Food Engineering*, 52, 89–93 pp.
- Ghaboos, S.S.H., Ardabili, S.M.S., Kashaninejad, M., Asadi, G. and Aalam, M.,** 2016, Combined infrared-vacuum drying of pumpkin slices, *J Food Sci Technol*, 53(5), 2380–2388 pp.
- Giri, S.K. and Prasad, S.,** 2007, Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms, *Journal of Food Engineering*, 78, 512–521 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Giri, S.K. and Prasad, S.,** 2007, Optimization of Microwave-Vacuum Drying of Button Mushrooms Using Response-Surface Methodology, *Drying Technology*, 25, 901–911 pp.
- Goodrich, R.,** 2003, Lemons. In: Encyclopaedia of Food Sciences and Nutrition. 2 nd ed. Newyork: Elsevier, 1354-1359 pp.
- Gorinstein, S., Zachwieja, Z., Folta, M., Barton, H., Piotrowicz, J., Zemser, M., Weisz, M., Trakhtenberg, S., and Martin-Belloso, O.,** 2001, Comparative contents of dietary fiber, total phenolics, and minerals in persimmons and apples. *J Agri Food Chem.*, 49, 952–957 pp.
- Goula, A.M., and Adamopoulos, K.G.,** 2005, Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. *Journal Food Engineering*, 66, 35-42 pp.
- Goyal, R.K., Kingsly, A.R.P., Manikantan, M.R. and Ilyas, S.M.,** 2006, Thin –layer Drying Kinetics of Raw Mango Slices, *Biosystems Engineering*, 95(1), 43 -49 pp.
- Guimarães, A.G., Oliveira, G.F., Melo, M.S., et al.,** 2010, Bioassay-guided evaluation of antioxidant and antinociceptive activities of carvacrol, *Basic and Clinical Pharmacology and Toxicology*, 107(6), 949–957 pp.
- Guiné, R.P.F. and Barroca, M.J.,** 2012, Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper), *Food and Bioproducts Processing*, 90, 58–63 pp.
- Guzmán-Gerónimo, R.I., López, M.G. and Dorantes-Alvarez, L.,** 2008, Microwave processing of avocado: Volatile flavor profiling and olfactometry, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9, 501–506 pp.
- Gwarek, W.K. and Celuch-Marcysiak, M.,** 2004, A review of microwave power applications in industry and research. Microwaves, Radar and Wireless Communications, MIKON-2004. 15th International Conference, 3, 843-848 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Hafezi, N., Sheikhdavoodi, M.J. and Sajadiye, S.M.,** 2015, The Effect of Drying Kinetic on Shrinkage and Colour of Potato Slices in the Vacuum- Infrared Drying Method, *International Journal of Agricultural and Food Research*, 4(1), 24-31 pp.
- Han, Q.H., Yin, L. J., Li, S.J. Yang, B.N. and Ma, J.W.,** 2010, Optimization of Process Parameters for Microwave Vacuum Drying of Apple Slices Using Response Surface Method, *Drying Technology*, 28,523–532 pp.
- Harbourne, N., Marete, E., Jacquier, J.C. and O’Riordan, D.,** 2009, Effect of drying methods on the phenolic constituents of meadowsweet (*Filipendula ulmaria*) and willow (*Salix alba*), *LWT - Food Science and Technology*, 42, 1468–1473 pp.
- Hawlder, M.N.A., Perera, C.O., Tian, M. and Yeo, K.L.,** 2006, Drying of Guava and Papaya: Impact of Different Drying Methods, *Drying Technology*, 24, 77–87 pp.
- Hayat, K., Zhang, X., Chen, H., Xia, S., Jia, Ch. and Zhong, F.,** 2010, Liberation and separation of phenolic compounds from citrus mandarin peels by microwave heating and its effect on antioxidant activity, *Separation and Purification Technology*, 73, 371–376 pp.
- Heinzelmann, K., Franke, K., Jensen, B. and Haahr A.,** 2000, Protection of fish oil from oxidation by microencapsulation using freeze-drying techniques, *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 114–121 pp.
- Hirun, S., Choi, J., Ayarungsaritkul, J., Pawsaut, C., Sutthiwanjampa, C., Vuong, Q.V., Chockchaisawasdee, S., Heo, Y. and Scarlett, C.J.,** 2015, Optimization of Far-infrared Vacuum Drying Conditions for Miang Leaves (*Camellia sinensis* var. *assamica*) Using Response Surface Methodology, *Food Sci. Biotechnol.*, 24(2), 461-469 pp.
- Hirun, S., Utama-ang, N., Vuong, Q.V. and Scarlett, C.J.,** 2014, Investigating the Commercial Microwave Vacuum Drying Conditions on Physicochemical Properties and Radical Scavenging Ability of Thai Green Tea, *Drying Technology*, 32, 47–54 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Hsu, C., Chen, W, Weng, Y. and Tseng, C.,** 2003, Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods, *Food Chemistry*, 83, 85–92 pp.
- Huang, L., Wang, G., Chu, Z. and Qin, L.,** 2012, Effect of Oven Drying, Microwave Drying, and Silica Gel Drying Methods on the Volatile Components of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) by HS-SPME-GC-MS, *Drying Technology*, 30, 248–255 pp.
- Huang, L., Zhang, M., Mujumdar, A.S., Sun, D., Tan, G. and Tang, S.,** 2009, Studies on Decreasing Energy Consumption for a Freeze-Drying Process of Apple Slices, *Drying Technology*, 27, 938–946 pp.
- İcier, F. and Yıldız, H.,** 2003, Elektriksel Yöntemlerin Gıdaların Kalite Özellikleri Üzerine Etkileri, *Gıda*, 30(4), 255-260 pp.
- Izquierdo, L. and Sendra, J.M.,** 2003, Citrus fruits composition and characterization. In: Caballero B, Trugo L, Finglas P (editors), *Encyclopedia of food sciences and nutrition* (pp. 6000). Oxford: Academic Press.
- İkiz, F., Püskülcü, H. ve Eren, Ş.,** 2000, İstatistiğe Giriş. Barış Yayınları, Fakülteler Kitabevi, 6. baskı, İzmir, Türkiye.
- Jafari , S.M., Assadpoor, E., He, Y. and Bhandari, B.,** 2008, Encapsulation Efficiency of Food Flavours and Oils during Spray Drying, *Drying Technology*, 26, 816–835 pp.
- Jaganath, I.B. and Crozier, A.,** 2009, Dietary flavonoids and phenolic compounds, *Plant phenolics and Human Health: Biochemistry, Nutrition and Pharmacology*, 1-49 pp
- Jain D. and Pathare P.B.,** 2004, Selection and Evaluation of Drying Models for Infrared Radiative and Convective Drying of Onion Slices, *Biosystems Engineering*, 89, 289-296.
- Jain, D. and Pathare, P.B.,** 2007, Study the drying kinetics of open sun drying of fish. *Journal of Food Engineering*, 78, 1315–1319 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Jayashree, E., Visvanathan, R. and John Zachariah, T.,** 2014, Quality of dry ginger (*Zingiber officinale*) by different drying methods. *Journal of Food Science and Technology*, 51(11), 3190–3198 pp.
- Jomaa, W. and Baixeras, O.,** 1997, Discontinuous vacuum drying of Oakwood: Modelling and experimental investigations, *Drying Technology*, 15, 2129–2144 pp.
- Kafa, G.,** 2015, Türkiye’de yetiştirilen başlıcalimon çeşitleri, <http://arastirma.tarim.gov.tr/alata>
- Kamran, G., Youcef, G. and Ebrahimzadeh, M.A.,** 2009, Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of 13 citrus species peels and tissues, *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 22(3), 277–281.
- Kandasamy, P., Varadharaju, N., Kalemullah, S. and Maladhi, D.,** 2014, Optimization of process parameters for foam-mat drying of papaya pulp, *J Food Sci Technol*, 51(10), 2526–2534 pp.
- Kara, T.,** 2008, Muzun Farklı Kurutma Şartlarındaki Kuruma Karakteristiklerinin
- Karaaslan, S.N. ve Tunçer, G.K.,** 2008, Development of a Drying Model For Combined Microwave-Fan-Assisted Convection Drying of Spinach, *Biosystems Engineering*, 100, 44-52 pp.
- Karabulut, I, Topcu, A., Duran, A., Turan, S., and Ozturk B.,** 2007, Effect of hot air drying and sun drying on color values and b-carotene content of apricot (*Prunus armenica* L.), *LWT*, 40, 753–758 pp.
- Kaymak Ertekin, F.,** 2002, Drying and rehydrating kinetics of green and red peppers, *Journal of Food Science*, 67(1), 168–175 pp.
- Khalid, A.K., Hu, W. and Cai, W.,** 2008, The Effects of Harvesting and Different Drying Methods on the Essential Oil Composition of Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.), *Jeobp*, 11 (4), 342 – 349 pp.
- Khraisheh, M.A.M., McMin, W.A.M. and Mage, T.R.A.,** 2004, Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying, *Food Research International*, 37 (5), 497-503 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Kimball, D., Braddock, R. and Parish, M.,** 2005, Grape fruits, lemons, and limes, *Processing Fruits: Science and Technology*, 639– 655 pp.
- King, V.A., Liu, C.F. and Liu, Y.J.,** 2001, Chlorophyll stability in spinach dehydrated by freze drying and controlled low-temperature vacuum dehydration, *Food Research International*, 34, 167-175 pp.
- Koc, B., Yilmazer, M.S., Balkır, P. and Kaymak, F.E.,** 2010, Spray Drying of Yogurt: Optimization of Process Conditions for Improving Viability and Other Quality Attributes, *Drying Technology*, 28, 495–507 pp.
- Koç, B. ve Ertekin, F.,** 2009, Yanıt Yüzey Yöntemi ve Gıda İşleme Uygulamaları, *Gıda*, 35(1),63-70 pp.
- Koç, M., Koç, B. ve Kaymak Ertekin F.,** 2011, Toz gıdaların fiziksel karakterizasyon özellikleri, *Akademik Gıda* 9(4):60-70.
- Kouchakzadeh, A. and Haghighi, K.,** 2011, Modeling of vacuum-infrared drying of pistachios, *Agric. Eng. Int.*, 13(3), 1457-1464 pp.
- Kumar, P.S., Kanwat, M. and Choudhary, V.K.,** 2013, Mathematical Modeling and Thin-Layer Drying Kinetics of Bamboo Slices on Convective Tray Drying at Varying Temperature, *Journal of Food Processing and Preservation*, 37, 914–923 pp.
- Laufenberga, G., Kunza, B. and Nystroem, M.,** 2003, Transformation of vegetable waste into value added products:(A) the upgrading concept; (B) practical implementations, *Bioresource Technology*, 87(2), 167–198 pp.
- Larrauri, J.A., Rupe´rez, P. and Saura-Calixto, F.,** 1997, Effect of Drying Temperature on the Stability of Polyphenols and Antioxidant Activity of Red Grape Pomace Peels, *J. Agric. Food Chem.*, 45, 1390–1393 pp.
- Lee, H. S.,** 2001, Characterization of carotenoids in juice of red navel orange (Cara Cara). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 2563–2568 pp.
- Li, H., Dai, Y., Dai, J., Wang, X. and Wei, L.,** 2010, A solar assisted heat pump drying system for grain in-store drying, *Energy Power Eng.*, 4(3), 386–391 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Lim, Y.Y. and Murtijaya, J.**, 2007, Antioxidant properties of *Phyllanthus amarus* extracts as affected by different drying methods, *LWT*, 40, 1664–1669 pp.
- Lin, T. M., Durance, T.D. and Scamanb, C.H.**, 1998, Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices, *Food Research International*, 31(2), 111-117 pp.
- Liu, Y., Miao, S., Wu, J., Liu, J., Yu, H. and Duan, X.**, 2015, Drying Characteristics and Modeling of Vacuum Far-Infrared Radiation Drying of *Flos Lonicerae*, *Journal of Food Processing and Preservation*, 39, 338–348 pp.
- Liu, Y., Zhu, W., Luo, L., Li, X and Yu, H.**, 2014, A Mathematical Model for Vacuum Far-Infrared Drying of Potato Slices, *Drying Technology*, 32, 180–189 pp.
- Lota, M., Serra, D.D.R., Tomi, F., Jacquemond, C. and Casanova, J.**, 2012, Volatile Components of Peel and Leaf Oils of Lemon and Lime Species, *J. Agric. Food Chem.*, 50, 796–805 pp.
- Lundstedt, T., Seifert, E., Abramo, L., Thelin, B., Nyström, A., Pertensen, J. and Bergman, R.**, 1998, *Chemometr. Intell. Lab. Syst.*, 42, 3 pp.
- Madrau, M.A., Piscopo, A., Sanguinetti, A.M., Caro, A.D., Poiana, M., Romeo, F.V., Piga, A.**, 2009, Effect of drying temperature on polyphenolic content and antioxidant activity of apricots, *Eur. Food Res. Technol.*, 228, 441–448 pp.
- Mahn, A., Martin, C., Reyes, A. and Saavedra, A.**, 2016, Evolution of sulforaphane content in sulforaphane-enriched broccoli during tray drying, *Journal of Food Engineering*, 186, 27-33 pp.
- Manthey, J. A., Guthrie, N. and Grhmann, K.**, 2001, Biological properties of Citrus flavonoids pertaining to cancer and inflammation, *Curr. Med. Chem.*, 8, 135–153 pp.
- Marques, L.G. and Freire, J.T.**, 2005, Analysis of Freeze-Drying of Tropical Fruits, *Drying Technology*, 23, 2169–2184 pp.
- Marques, L.G., Prado, M.M. and Freire, J.T.**, 2011, Vitamin C content of freeze-dried tropical fruits, International Congress on Engineering and Food, Athens, Greece.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Marques, L.G., Silveira, A.M. and Freire, J.T.,** 2006, Freeze-Drying Characteristics of Tropical Fruits, *Drying Technology*, 24, 457–463 pp.
- Maskan, A., Kaya, S. and Maskan, M.,** 2002, Hot air and sun drying of grape leather (pestil), *Journal of Food Engineering*, 54, 81–88 pp.
- Maskan, M.,** 2000, Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, 44(2), 71-78 pp.
- Maskan, M.,** 2001, Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying, *Journal of Food Engineering*, 48(2), 177-182 pp.
- Mestry, A.P., Mujumdar, A.S. and Thorat, B.N.,** 2011, Optimization of Spray Drying of an Innovative Functional Food: Fermented Mixed Juice of Carrot and Watermelon, *Drying Technology*, 29, 1121–1131 pp.
- Michalczyk, M., Macura, R. and Matuszak, I.,** 2008, The Effect of Air-Drying, Freeze-Drying and Storage on The Quality and Antioxidant Activity of Some Selected Berries, *Journal of Food Processing and Preservation*, 33, 11–21 pp.
- Michalska, A., Wojdyło, A., Lech, K., Łysiak, G.P. and Figiel, A.,** 2016, Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying technologies, *Food Chemistry*, 207, 223–232 pp.
- Miller, N.J. and Rice-Evans, C.A.,** 1995, Factors Influencing the Antioxidant Activity Determined by the ABTS^{•+} Radical Cation Assay. *Free Radical Research*, 26, 193-199 pp.
- Miranda, M., Maureira, H., Rodriguez, K. and Vega-Gálvez, A.,** 2009, Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (*Aloe Barbadensis* Miller) gel, *Journal of Food Engineering*, 91(2), 297–304 pp.
- Mirzaei-Aghsaghali, A. and Maheri-Sis, N.,** 2008, Nutritive value of some agro-industrial by-products for ruminants—A review, *World Journal of Zoology*, 3(2), 40–46 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Montgomery, R.**, 2004, Development of biobased products, *Bioresource Technology*, 91, 1–29 pp.
- Morton, J.**, 1987, Sweet lime. In: Fruits of Warm Climates .
http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/sweet_lime.html.
- Moufida, S. and Marzouk, B.**, 2003, Biochemical characterization of blood orange, sweet orange, lemon, bergamot and bitter orange, *Phytochemistry*, **62**, 1283–1289 pp.
- Myers, R.H. and Montgomery, D.C.**, 1995, Response Surface Methodology, Process and Product Optimization Using Designed Experiments, 2 nd Ed. John Wiley and Sons, Newyork, NY.
- Najafian, S. and Rowshan, V.**, 2012, Comparative of HS SPME and HD techniques in *Citrus aurantium* L., *Int. J. Med. Arom. Plants*, 2(3), 488-494 pp.
- Nasıroğlu, Ş. and Kocabıyık, H.**, 2009, Thin-Layer IR Radiation Drying Of Red Pepper Slices, *Journal of Food Process Engineering*, 32, 1–16 pp.
- Ngamwonglumlert, L., Devahastin, S. and Chiewchan, N.**, 2016, Effects of pretreatment and drying methods on molecular structure, functional properties and thermal stability of fibre powder exhibiting colour from *Centella asiatica* L., *International Journal of Food Science and Technology*, 51, 753–764 pp.
- Nimmanpipug, N., Therdthai, N. and Dhamvithee, P.**, 2013, Characterisation of osmotically dehydrated papaya with further hot air drying and microwave vacuum drying, *International Journal of Food Science and Technology*, 48, 1193–1200 pp.
- Oberoil, D.P.S. and Sogi, D.S.**, 2015, Drying kinetics, moisture diffusivity and lycopene retention of watermelon pomace in different dryers, *Food Sci Technol*, 52(11), 7377–7384 pp.
- Oliveira, E.G., Duarte, J.H., Moraes, K., Crexi V.T. and Pinto, L.A.A.**, 2010, Optimisation of *Spirulina platensis* convective drying: evaluation of phycocyanin loss and lipid oxidation, *International Journal of Food Science and Technology*, 45, 1572–1578 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Orphanides, A., Goulas, V. and Gekas, V.,** 2013, Effect of Drying Method on the Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Spearmint, *Czech J. Food Sci.*, 5, 509–513 pp.
- Ozdemir, M., Ozen, B.F., Dock, L.L. and Floros, J.D.,** 2008, Optimization of osmotic dehydration of diced green peppers by response surface methodology, *LWT - Food Science and Technology*, 41, 2044-2050 pp.
- Ozkan I. A., Akbudak, B. ve Akbudak N.,** 2007, Microwave Drying Characteristics of Spinach, *Journal of Food Engineering*, 78(2), 577-583 pp.
- Özbek, B. And Dadali, G.,** 2007, Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment, *Journal of Food Engineering*, 83(4), 541-549 pp.
- Pei, F., Yang, W., Ma, N., Fang, Y., Zhao, L., An, X, Xin, Z. and Q., Hu,** 2016, Effect of the two drying approaches on the volatile profiles of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by headspace GCeMS and electronic nose, *LWT - Food Science and Technology*, 72, 343-350 pp.
- Pérez-Gregorio, M.R., Regueiro, J., González-Barreiro, C., Rial-Otero, R. and Simal-Gándara, J.,** 2011, Changes in antioxidant flavonoids during freeze-drying of red onions and subsequent storage, *Food Control*, 22,1108-1113 pp.
- Poucher, W. A.,** 1991, Poucher's Perfumes, Cosmetics and Soaps, *The Raw Materials of Perfumery*, 1, 199– 201 pp.
- Proteggente, A.R., Pannala, A.S. Paganga, G., Van Buren, L., Wagner, E. Wiseman, S. , Van De Put, F., Dacombe, C. and Rice-Evans C.A.,** 2002, The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition, *Free Radical Res.*, 36, 217–233 pp.
- Que, F., Mao, L., Fang, X. and Wu, T.,** 2008, Comparison of hot air-drying and freeze-drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) flours, *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 1195–1201 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Quek, S.Y., Chok, N.K. and Swedlund, P.,** 2006, The physicochemical properties of spray- dried watermelon powders, *Chemical Engineering and Processing*, 46, 386-392.
- Rajkumar, G., Shanmugam, S., Galvão, M.S., Neta, M.T.S.L., Sandes, R.D.D., Mujumdar, A.S. and Narain, N.,** 2017, Comparative evaluation of physical properties and aroma profile of carrot slices subjected to hot air and freeze drying, *Drying Technology*, 35(6), 699–708 pp.
- Rao, P.P., Lingamallu, A.N., Rao, J. and Rao, D.G.,** 2007, Studies on the effects of microwave drying and cabinet tray drying on the chemical composition of volatile oils of garlic powders, *Eur Food Res Technol*, 224, 791–795 pp.
- Ratti, C.,** 2001, Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review, *Journal of Food Engineering*, 49(4), 311-319 pp.
- Reyes, A., Bubnovich, V., Bustos, R., Va'squez, M., Vega, R. and Scheuermann, E.,** 2010, Comparative Study of Different Process Conditions of Freeze Drying of 'Murtilla' Berry, *Drying Technology*, 28, 1416–1425 pp.
- Rieger, M.,** 2006, Citrus: Lemon, lime, orange, tangerine, grapefruit-citrus ssp., (<http://www.uga.edu/citrus.html>)
- Saengrayap, R., Tansakul, A. and Mittal, G.S.,** 2015, Effect of far-infrared radiation assisted microwave-vacuum drying on drying characteristics and quality of red chilli, *J Food Sci Technol*, 52(5), 2610–2621 pp.
- Salehil, F., Kashaninejad, M. and Jafarianlari, A.,** 2017, Drying kinetics and characteristics of combined infrared-vacuum drying of button mushroom slices, *Heat Mass Transfer*, 53:1751–1759 pp.
- Sarimseli, A.,** 2011, Microwave drying characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves, *Energy Conversion and Management*, 52(2), 1449-1453 pp.
- Schulze, B., Hubbermann, E.M. and Schwarz, K.,** 2014, Stability of quercetin derivatives in vacuum impregnated apple slices after drying (microwave vacuum

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- drying, air drying, freeze drying) and storage, *LWT - Food Science and Technology*, 57, 426-433 pp.
- Sellami, I.H., Rebey, I.B., Sriti, J., Rahali, F.Z., Limam, F. and Marzouk, B.,** 2012 Drying Sage (*Salvia officinalis* L.) Plants and Its Effects on Content, Chemical Composition, and Radical Scavenging Activity of the Essential Oil, *Food Bioprocess Technol* , 5, 2978–2989 pp.
- Sellami, I.H., Wannes, W.A., Bettaieb, I., Berrima, S., Chahed, T., Marzouk, B. & Limam, F.,** 2011, Qualitative and quantitative changes in the essential oil of *Laurus nobilis* L. leaves as affected by different drying methods, *Food Chemistry*, 126, 691–697 pp.
- Setiady, D., Rasco, B., Younce, F. and Clary, C.,** 2009, Rehydration and Sensory Properties of Dehydrated Russet Potatoes (*Solanum tuberosum*) Using Microwave Vacuum, Heated Air, or Freeze Dehydration, *Drying Technology*, 27, 1116–1122 pp.
- Sfredo, M.A., Finzer, J.R.D. and Limaverde J.R.,** 2005, Heat and mass transfer in coffee fruits drying, *Journal of Food Engineering*, 70, 15–25 pp.
- Shaheen, M.S., El-Massry, K.F., El-Ghorab, A.H. and Anjum, F.M.,** 2012, Microwave applications in thermal food processing, In the Development and Application of Microwave Heating, 3-16 pp. Intech, Rijeka.
- Shahidi, F., Rubin, L.J. and D'Souza, L.A.,** 1986, Meat flavor volatiles: a review of the composition, techniques of analysis, and sensory evaluation, *Crit Rev Food Sci Nutr.*, 24(2), 141-243 pp.
- Sharma, G.P. and Prasad, S.,** 2006, Optimization of process parameters for microwave drying of garlic cloves, *Journal of Food Engineering*, 75(4), 441-446 pp.
- Silva, P.I., Stringheta' P.C., Teófilo' R.F. and Oliveira, I.R.N.,** 2013, Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses, *Journal of Food Engineering*, 117(4), 538-544 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Singleton, V.L. and Rossi, J.A.**, 1965, Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents, *Amer. J. Enol. Viticult.*, 16, 144-58 pp.
- Sogi, D.S., Siddiq, M., Greiby, I. and Dolan, K.D.**, 2013, Total phenolics, antioxidant activity, and functional properties of ‘Tommy Atkins’ mango peel and kernel as affected by drying methods, *Food Chemistry*, 141, 2649–2655 pp.
- Soksahanj, H. and Jayas, D.S.**, 1987, *Drying of Foodstuffs Handbook of Industrial Drying*, Marcel Dekker, New York.
- Soysal, Y.**, 2004, Microwave Drying Characteristics of Parsley. *Biosystems Engineering*, 89(2), 167 – 173 pp.
- Stahl, W. and Sies, H.**, 1996, Perspective in biochemistry and biophysics, *Archive of Biochemistry and Biophysics*, 336, 1-9 pp.
- Stahnke, L.H.**, 1994, Aroma Components from Dried Sausages Fermented with *Staphylococcus xylosus*, *Meat Science*, 38, 39-53 pp.
- Šumic', Z., Tepic', A., Vidovic', S., Jokic', S. and Malbaša, R.**, 2013. Optimization of frozen sour cherries vacuum drying process, *Food Chemistry*, 136, 55–63 pp.
- Sumnu, G., Turabi, E. and Oztop, M.**, 2005, Drying of carrots in microwave and halogen lamp–microwave combination ovens, *LWT - Food Science and Technology*, 38(5), 549-553 pp.
- Sutar, P. P. and Prasad, S.**, 2007, Modeling Microwave Vacuum Drying Kinetics and Moisture Diffusivity of Carrot Slices, *Drying Technology*, 25, 1695–1702 pp.
- Swasdisevi, T., Devahastin, S., Ngamchum, R. and Soponronnarit, S.**, 2007, Optimization of drying process using infrared-vacuum drying of Soponronnarit, *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, 29(3), 809-816 pp.
- Szumny, A., Figiel, A., Gutierrez-Ortiz, A. and Carbonell-Barrachina, A.A.**, 2010, Composition of rosemary essential oil (*Rosmarinus officinalis*) as affected by drying method, *Journal of Food Engineering*, 97, 253–260 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Telis, V. R. N. and Sobral, P. J. A.,** 2002, Glass Transitions for Freeze-dried and Air-dried Tomato, *Food Research International*, 35(5), 435-443 pp.
- Therdthai, N. and Zhou, W.,** 2009, Characterization of microwave vacuum drying and hot air drying of mint leaves (*Mentha cordifolia* Opiz ex Fresen), *International Journal of Food Engineering*, 91, 482–489 pp.
- Therdthai, N., Zhou, W. and Pattanapa, K.,** 2011, Microwave vacuum drying of osmotically dehydrated mandarin cv. (Sai-Namphaung), *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 2401–2407 pp.
- Tian, Y., Zhang, Y., Zeng, S., Zheng, Y., Chen, F., Guo, Z., Lin, Y. and Zheng, B.,** 2016, Optimization of microwave vacuum drying of lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) seeds by response surface methodology, *Food Science and Technology International*, 18(5), 477–488 pp.
- TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası,** 2004, Türkiye’de Turunçgil Üretimi, Dış Ticareti ve Sorunları. <http://www.zmo.org.tr>
- Toğrul, I.T. and Pehlivan, D.,** 2004, Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process, *Journal of Food Engineering*, 65, 413–425 pp.
- Toontom, N., Meenune, M., Posri, W. and Lertsiri, S.,** 2012, Effect of drying method on physical and chemical quality, hotness and volatile flavour characteristics of dried chilli, *International Food Research Journal*, 19 (3), 1023-1031 pp.
- Torres, C., Diaz-Maroto, M.C., Hermosin-Gutierrez, I., Perez-Coello, M.S.,** 2010, Effect of freeze-drying and oven-drying on volatiles and phenolics composition of grape skin. *Analytica Chimica Acta*, 660, 177–182 pp.
- Torrington, E., Esveld, E., Scheewe, I., Berg, R. and Bartels, P.,** 2001, Osmotic dehydration as a pre-treatment before combined microwave-hot-air drying of mushrooms, *Journal of Food Engineering*, 49 (2-3), 185-191 pp.
- TÜİK,** 2015, Türkiye İstatistik Kurumu, <http://www.tuik.gov.tr>.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Uçan, F.**, 2013, Berrak ve Doğal Bulanık Limon Suyu Konsantresi Üretimi ve Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana, 238 s.
- USDA**, 2016, United States Department of Agriculture Agricultural Research Service National Nutrient Database for Standard Reference Release 28.
- Vadivambal, R. and Jayas, D.S.**, 2007, Changes in quality of microwave-treated agricultural products, *Biosyst Eng*, 98, 1-16 pp.
- van 't Land, C. M.**, 2011, Drying in the Process Industry Edition.1.
- Vanamala, J., Reddivari, L., Yoo, K.S., Pike, L.M. and Patil, B.S.**, 2006, Variation in the content of bioactive flavonoids in different brands of orange and grapefruit juices, *J. Food Compos. Anal.*, 19, 157–166 pp.
- Vega-Gálvez, A., Scala, K.D., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J. and Perez-Won, M.**, 2009, Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian), *Food Chemistry*, 117, 647–653 pp.
- Venskutonis, R., Poll, L. and Larsen, M.**, 1996, Muence of Drying and Irradiation on the Composition of Volatile Compounds of Thyme (*Thymus vulgaris* L.), *Flavour And Fragrance Journal*, 11, 123-128 pp.
- Wang, J, Li, Y.Z., Chen, R.R., Bao, J.Y. and Yang, G.M.**, 2007, Comparison of volatiles of banana powder dehydrated by vacuum belt drying, freeze-drying and air-drying, *Food Chemistry*, 104, 1516–1521 pp.
- Wang, Y., Chuang, Y. and Hsu, H.**, 2008, The flavonoid, carotenoid and pectin content in peels of citrus cultivated in Taiwan, *Food Chemistry*, 106, 277–284 pp.
- Wang, L., Zhang, M., Mujumdar, A. S., Wang, Y. and Zhu, C.**, 2013, Restructured Crispy Fish Cubes Containing *Salicornia bigelovii* Torr. Developed with Microwave Vacuum Drying, *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 22, 226–240 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Wilmsen, P.K., Spada, D. S. and Salvador, M.,** 2005, Antioxidant activity of the flavonoid hesperidin in chemical and biological systems, *J. Agric. Food Chem.*, 53, 4757–4761 pp.
- Wu, L., Orikasa, T., Ogawa, Y. and Tagawa, A.,** 2007, Vacuum drying characteristics of eggplants, *Journal of Food Engineering*, 83, 422–429 pp.
- Xie, L., Mujumdar, A.S., Fang, X, Wang, J., Dai, J., Du, Z., Xiao, H., Liu, Y. and Gao, Z.,** 2017, Far-infrared radiation heating assisted pulsed vacuum drying (FIR-PVD) of wolfberry (*Lycium barbarum* L.): Effects on drying kinetics and quality attributes, *Food and Bioprocess Processing*, 102, 320–331 pp.
- Xu, Y., Zhang, M., Mujumdar, A.S., Duan, X. and Jin-cai, S.,** 2006, A Two-Stage Vacuum Freeze and Convective Air Drying Method for Strawberries, *Drying Technology*, 24, 1019–1023 pp.
- Yaghmaee, P. and Durance, T.,** 2007, Efficacy of Vacuum Microwave Drying in Microbial Decontamination of Dried Vegetables, *Drying Technology*, 25, 1109–1114 pp.
- Yanyang, X., Min, Z., Mujumdar, A. S., Le-qun, Z. and Jin-cai, S.,** 2004, Studies on Hot Air and Microwave Vacuum Drying of Wild Cabbage, *Drying Technology*, 22(9), 2201–2209 pp.
- Yılmaz, E. and İşleten, S.,** 2004, Gıda Matrislerinden Aroma Maddeleri Salınımının Fiziksel Esasları. *Gıda Mühendisliği*, 18, 25-29 pp.
- Yoo, Z.W., Kim, N.S. and Lee, D.S.,** 2004, Comparative Analyses of the Flavors from Hallabong (*Citrus sphaerocarpa*) with Lemon, Orange and Grapefruit by SPTE and HS-SPME Combined with GC-MS, *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 25(2), 271-279 pp.
- Yousif, A.N., Durance, T.D., Scaman, C.H. and Girard, B.,** 2000. Headspace Volatiles and Physical Characteristics of Vacuum-microwave, Air, and Freeze-dried Oregano (*Lippia berlandieri* Schauer), *Journal of Food Science*, 65(6), 926-930 pp.

- Yu, Q., Xie, B.J., Zhang, Y, Zhou, H.Y. and Pan, S.Y.,** 2007, Study on aroma components in fruit from three different Satsuma mandarin varieties, *Agricultural Sciences in China*, 6(12), 1487-1493 pp.
- Zhang, J., Wu, Y., Liu, E., Song, H. and Li, Y.,** 2014, Comparison of storage characteristics and quality of semi-dry fermented sausage using microwave vacuum drying and hot air drying, *Advanced Materials Research*, 1010-1012, 1783-1788 pp.
- Zielinska, M., Sadowski, P. and Błaszczyk, W.,** 2015, Freezing/thawing and microwave-assisted drying of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *LWT - Food Science and Technology* , 62(1), 555–563 pp.

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimine başladığım ilk günden bu yana kendisinden çok şey öğrendiğim, çalışmalarımnda sabırla beni dinleyen, desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, sürekli teşvik eden, değerli görüş ve tavsiyeleriyle bana yol gösteren, yüreklendiren, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım saygı değer danışman hocam Sayın Pof. Dr. Taner BAYSAL’a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez aşamasında önerileriyle katkıda bulunan Sayın Prof. Dr. Yeşim ELMACI ve Sayın Dr. Öğretim Üyesi Zeki HEPCİMEN’e çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince yanımda büyük özveriyle yer alan, yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Dr. Ahsen RAYMAN’a çok teşekkür ederim.

Değerli katkılarından ve desteklerinden ötürü Sayın Dr. Öğretim Üyesi Hamza BOZKIR’a ve Öğr. Gör. Dr. Edibe Seda ERTEN’e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında üniversite altyapı imkanlarından faydalanmamı sağlayan Adnan Menderes Üniversitesi TARBİYOMER Müdürü Sayın Doç. Dr. Zeynel DALKILIÇ’a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca ve doktora eğitimin sırasında desteklerini aldığım, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü’nün tüm değerli hocaları, araştırma görevlileri ve teknik personeline teşekkür ederim.

Hayatları boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen, çalışmamın her aşamasında bana destek olan annem Dilber TEKGÜL, babam Hasan TEKGÜL ve kardeşim Enis TEKGÜL’e çok teşekkür ederim.

Bu çalışma TÜBİTAK-TOVAG (Proje No: 117 O 735) tarafından desteklenmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

Yeliz TEKGÜL, 02.11.1987 yılında Kocaeli’de doğdu. İlköğretim ve Lise eğitimini İstanbul’da tamamlamıştır. 2005 yılında başladığı Ondokuz Mayıs Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünü 2009 yılında tamamlamıştır. 2010 yılında Adnan Menderes Üniversitesi, Veteriner Fakültesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Besin Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamış ve 2012 yılında yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 2013 yılında Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda doktora eğitimine başlamıştır. 2012 yılından bu yana Adnan Menderes Üniversitesi Köşk Meslek Yüksekokulu Gıda İşleme Bölümü, Gıda Kalite Kontrolü ve Analizi Programında Öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır.

SCI/SCI-Exp tarafından taranan dergilerdeki yayınları:

- Tekgöl, Y.**, Özcan, K. Ç., Rayman Ergün, A., Bozkır, H., Baysal, T. (2015). Investigating the Effects of Current and Wave Form of Electrical Pre treatments on the Yield and Quality of Tomato Juice. International Journal of Food Engineering, 11(4), Doi: 10.1515/ijfe-2014-0326.
- Bozkır, H., Rayman Ergün, A., **Tekgöl, Y.**, Baysal, T. (2018). Ultrasound as pretreatment for drying garlic slices in microwave and convective dryer, Food Sci Biotechnol <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0483-1>
- Tekgöl, Y.**, Baysal, T. (2018). Comparative evaluation of quality properties and volatile profiles of lemon peels subjected to different drying techniques. Journal of Food Process Engineering Doi: 10.1111/jfpe.12902

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

- Tekgöl, Y.**, Kök, F. (2018). Screening of Tetracycline and Florfenicol Antibiotic Residues in Broiler Meat Using Elisa and Confirmation By Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometry. Gıda / The Journal of Food, 43, 403-412., Doi: 10.15237/Gıda.Gd17082.
- Rayman Ergün, A.,**Tekgöl Y.**, Bozkır, H., Baysal, T. (2017). Changes In The Quality of Black Mulberry and Blueberry Sherbets During

Storage. Turkish Journal of Agriculture - Food Science And Technology,
5(1), 54, Doi: 10.24925/Turjaf.V5i1.54-59.919

Ek 1. Vakumlu mikrodalga, vakumlu infrared ve tepsili kururutulardaki kurutma proseslerinin optimizasyonuna ait istatistiksel analiz sonuçları

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
süre	3	39,0000	1,00000	,57735

One-Sample Test

	Test Value = 38.3865					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
süre	1,063	2	,399	,61350	-1,8706	3,0976

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
b^*	3	37,0833	,12342	,07126

One-Sample Test

	Test Value = 36.1					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
b^*	13,800	2	,005	,98333	,6767	1,2899

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Limonen	3	3666,9877	13,55947	7,82856

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
süre	3	75,3333	,57735	,33333

One-Sample Test

	Test Value = 75.0459					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
süre	,862	2	,479	,28743	-1,1468	1,7217

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
b*	3	41,9300	,06928	,04000

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
limonene	3	3377,1333	84,70450	48,90416

One-Sample Test

	Test Value = 3417.73					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
limonene	-,830	2	,494	-40,59667	-251,0143	169,8210

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
süre	3	89,0000	1,73205	1,00000

One-Sample Test

	Test Value = 97					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
süre	-8,000	2	,015	-8,00000	-12,3027	-3,6973

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
b*	3	43,3757	,48367	,27925

One-Sample Test

	Test Value = 43.43					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
<i>b</i> *	-,195	2	,864	-,05433	-1,2558	1,1472

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
limonen	3	4087,9925	30,02570	17,33535

One-Sample Test

	Test Value = 4262.54					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
limonen	-10,069	2	,010	-174,54749	-249,1355	-99,9595

Ek 2. Farklı kurutma teknikleriyle kurutulan limon kabuklarının kalite analizlerine ait istatistiksel analiz sonuçları

L^*

açık hava	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for		Minimu m	Maximu m
					Mean			
					Lower Bound	Upper Bound		
tepsili kurutucu	10	62,9650	,24323	,07692	62,7910	63,1390	62,57	63,46
mikrodalga	8	71,0262	,49728	,17581	70,6105	71,4420	70,39	71,65
vakumlu mikrodalga	11	68,3627	,41117	,12397	68,0865	68,6390	67,90	69,24
vakumlu infrared	6	74,4017	,50309	,20538	73,8737	74,9296	73,51	74,88
liyofilizatör	10	71,4960	,46265	,14630	71,1650	71,8270	70,55	72,23
Total	11	74,6027	,60905	,18364	74,1936	75,0119	73,79	76,12

Test of Homogeneity of Variances

L^*

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
,894	5	50	,492

L^*

	grup	N	Subset for alpha = 0.05				
			1	2	3	4	5
Duncan ^{a,b}	açık hava	10	62,9650				
	mikrodalga	11		68,3627			
	tepsili kurutucu	8			71,0262		
	vakumlu infrared	10				71,4960	
	vakumlu mikrodalga	6					74,4017
	liyofilizatör	11					74,6027
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	,367

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,909.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Descriptives

α^*

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for		Minimum	Maximum
					Mean			
					Lower Bound	Upper Bound		
1,00	11	10,5155	,17049	,05141	10,4009	10,6300	10,31	10,92
2,00	8	6,3675	,22340	,07898	6,1807	6,5543	6,09	6,80
3,00	11	5,3027	,29709	,08958	5,1031	5,5023	4,76	5,84
4,00	6	3,5450	,05505	,02247	3,4872	3,6028	3,50	3,64
5,00	10	5,9060	,29763	,09412	5,6931	6,1189	5,44	6,44
6,00	11	2,4745	,49275	,14857	2,1435	2,8056	1,32	3,06
Total	57	5,8332	2,69542	,35702	5,1180	6,5483	1,32	10,92

α^*

	grup	N	Subset for alpha = 0.05					
			1	2	3	4	5	6
Duncan ^{a,b}	6,00	11	2,4745					
	4,00	6		3,5450				
	3,00	11			5,3027			
	5,00	10				5,9060		
	2,00	8					6,3675	
	1,00	11						10,5155
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,031.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

Test of Homogeneity of Variances

α^*

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3,098	5	51	,016

b^*

	grup	N	Subset for alpha = 0.05				
			1	2	3	4	5
Duncan ^{a,b}	açık hava	11	25,1964				
	tepsili kurutucu	8		37,2237			
	mikrodalga	11			38,6327		
	liyoofilizatör	11				41,7091	
	vakum mikrodalga	6				41,8950	
	vakum infrared	10					43,3070
	Sig.		1,000	1,000	1,000	,437	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,031.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

ANOVA

 b^*

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2327,328	5	465,466	1829,983	,000
Within Groups	12,972	51	,254		
Total	2340,300	56			

Test of Homogeneity of Variances

 b^*

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4,309	5	51	,002

b^*

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for		Minimu m	Maximu m
					Mean			
					Lower Bound	Upper Bound		
açık hava	11	25,1964	,33281	,10035	24,9728	25,4200	24,69	25,76
tepsili kurutucu	8	37,2237	,40701	,14390	36,8835	37,5640	36,69	38,04
mikrodalga	11	38,6327	,31778	,09581	38,4192	38,8462	38,22	39,17
vakum mikrodalga	6	41,8950	,75828	,30957	41,0992	42,6908	41,03	42,86
vakum infrared	10	43,3070	,84456	,26707	42,7028	43,9112	41,30	44,06
liyofilizatör	11	41,7091	,20012	,06034	41,5746	41,8435	41,38	42,03
Total	57	37,5991	6,46460	,85626	35,8838	39,3144	24,69	44,06

delta e

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for		Minimu m	Maximu m
					Mean			
					Lower Bound	Upper Bound		
açık hava	11	32,7686	,34683	,10457	32,5356	33,0016	32,23	33,34
tepsili kurutucu	8	19,9635	,44477	,15725	19,5917	20,3354	19,10	20,56
mikro dalga	11	18,5042	,32936	,09931	18,2830	18,7255	17,93	18,93
vakumlu mikro dalga	6	16,3186	,85324	,34833	15,4231	17,2140	15,15	17,29
vakumlu infrared	10	13,9978	,89796	,28396	13,3554	14,6401	13,12	16,11
liyofilizatör	11	16,7775	,40502	,12212	16,5054	17,0496	16,26	17,72
Total	57	20,1079	6,53204	,86519	18,3747	21,8411	13,12	33,34

Test of Homogeneity of Variances

delta e

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3,148	5	51	,015

Test of Homogeneity of Variances

delta c

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3,766	5	51	,006

ANOVA

delta e

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2373,172	5	474,634	1493,306	,000
Within Groups	16,210	51	,318		
Total	2389,382	56			

ANOVA

delta c

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2349,780	5	469,956	1814,681	,000
Within Groups	13,208	51	,259		
Total	2362,988	56			

delta c

	grup	N	Subset for alpha = 0.05				
			1	2	3	4	5
Duncan ^{a,b}	vakumlu infrared	10	13,7904				
	vakumlu mikrodalga	6		15,4381			
	liyofilizatör	11		15,8486			
	mikrodalga	11			18,4846		
	epsili kurutucu	8				19,8676	
	açık hava	11					32,1754
	Sig.		1,000	,093	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,031.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

hue açısı

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimu m	Maximu m
					Lower Bound	Upper Bound		
açık hava	11	2,3967	,05233	,01578	2,3616	2,4319	2,33	2,47
epsili kurutucu	8	5,8510	,17758	,06278	5,7026	5,9995	5,59	6,14
mikro dalga	11	7,3046	,38170	,11509	7,0482	7,5611	6,66	8,05
vakumlu mikro dalga	6	11,8214	,32844	,13409	11,4767	12,1661	11,44	12,25
vakumlu infrared	10	7,3454	,30058	,09505	7,1304	7,5604	6,84	7,84
liyo filizatör	11	17,7306	5,00749	1,50982	14,3665	21,0947	13,57	31,50
Total	57	8,6481	5,59164	,74063	7,1645	10,1318	2,33	31,50

Test of Homogeneity of Variances

hue açısı

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5,580	5	51	,000

Hue açısı

	grup	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
Duncan ^{a,b}	açık hava	11	2,3967			
	epsili kurutucu	8		5,8510		
	mikro dalga	11		7,3046		
	vakumlu infrared	10		7,3454		
	vakumlu mikro dalga	6			11,8214	
	liyo filizatör	11				17,7306
	Sig.		1,000	,186	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,031.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

ANOVA
Yığın yoğunluğu

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.	
Between Groups	,030	5	,006	177,600	,000	ximu
Within Groups	,001	30	,000			m
Total	,031	35				

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Between Groups	,010	5	,002	114,133	,000	,43
Within Groups	,000	12	,000			
Total	,010	17				,41

mikrodalga	3	,4333	,00577	,00333	,4190	,4477	,43	,44
vakumlu mikrodalga	3	,4800	,00000	,00000	,4800	,4800	,48	,48
vakumlu infrared	3	,4200	,00000	,00000	,4200	,4200	,42	,42
liyofilizatör	3	,4233	,00577	,00333	,4090	,4377	,42	,43
Total	18	,4322	,02390	,00563	,4203	,4441	,40	,48

Su aktivitesi

	grup	N	Subset for alpha = 0.05				
			1	2	3	4	5
	tepsili kurutucu	3	,4067				
	vakumlu infrared	3		,4200			
	liyofilizatör	3		,4233	,4233		
Duncan ^a	açık hava	3			,4300	,4300	
	mikrodalga	3				,4333	
	vakumlu mikrodalga	3					,4800
	Sig.		1,000	,337	,069	,337	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

Yığın yoğunluğu

	grup	N	Subset for alpha = 0.05			
			1	2	3	4
	dondurarak kurutma	6	,1700			
	vakumlu mikrodalga	6		,2233		
	vakumlu infrared	6			,2400	
	mikrodalga	6			,2400	
Duncan ^a	tepsili kurutucu	6				,2533
	açık hava	6				,2533
	Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6,000.

ANOVA
Asitlik

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,323	5	,065	2082,941	,000
Within Groups	,001	30	,000		
Total	,324	35			

ANOVA

Su tutma kapasitesi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,294	5	,059	2,700	,129
Within Groups	,131	6	,022		
Total	,425	11			

Su tutma kapasitesi

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimu m	Maximu m
					Lower	Upper		
					Bound	Bound		
açık hava	2	5,3141	,09784	,06918	4,4350	6,1931	5,24	5,38
tepsili kurutucu	2	5,6087	,06305	,04459	5,0422	6,1752	5,56	5,65
mikrodalga	2	5,5073	,22432	,15862	3,4919	7,5227	5,35	5,67
vakumlu								
mikrodalga	2	5,6453	,20866	,14755	3,7705	7,5200	5,50	5,79
vakumlu infrared	2	5,7828	,15083	,10665	4,4277	7,1380	5,68	5,89
liyofilizatör	2	5,7452	,02182	,01543	5,5491	5,9412	5,73	5,76
Total	12	5,6006	,19647	,05671	5,4757	5,7254	5,24	5,89

Su tutma kapasitesi

	grup	N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
Duncan ^a	açık hava	2	5,3141	
	mikrodalga	2	5,5073	5,5073
	tepsili kurutucu	2	5,6087	5,6087
	vakumlu mikrodalga	2	5,6453	5,6453
	liyoofilizatör	2		5,7452
	vakumlu infrared	2		5,7828
	Sig.		,077	,127

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2,000.

Test of Homogeneity of Variances

beta karoten

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,373	5	30	,262

Beta karoten

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for		Minimum	Maximum
					Mean			
					Lower Bound	Upper Bound		
açık hava	6	1,4917	,03456	,01411	1,4555	1,5280	1,45	1,53
tepsili kurutucu	6	2,0999	,06220	,02539	2,0346	2,1652	2,03	2,17
mikrodalga	6	1,8793	,05348	,02183	1,8232	1,9354	1,82	1,98
vakumlu mikrodalga	6	1,9447	,03487	,01424	1,9081	1,9813	1,90	2,00
vakumlu infrared	6	1,8790	,03271	,01336	1,8447	1,9133	1,84	1,94
liyoofilizatör	6	2,3433	,03918	,01599	2,3022	2,3844	2,30	2,41
Total	36	1,9396	,26394	,04399	1,8503	2,0289	1,45	2,41

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
renk	3,124	5	48	,016
doku	1,504	5	48	,206
koku	,848	5	48	,523
genelbeğeni	1,492	5	48	,210

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
renk	Between Groups	43,926	5	8,785	12,651	,000
	Within Groups	33,333	48	,694		
	Total	77,259	53			
doku	Between Groups	10,593	5	2,119	4,669	,001
	Within Groups	21,778	48	,454		
	Total	32,370	53			
koku	Between Groups	31,870	5	6,374	8,714	,000
	Within Groups	35,111	48	,731		
	Total	66,981	53			
genelbeğeni	Between Groups	22,093	5	4,419	10,262	,000
	Within Groups	20,667	48	,431		
	Total	42,759	53			

Renk
Duncan

grup	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
6,00	9	1,4444		
3,00	9	2,2222	2,2222	
4,00	9	2,2222	2,2222	
5,00	9		2,5556	
1,00	9			3,8889
2,00	9			3,8889
Sig.		,066	,430	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

doku

Duncan

grup	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
6,00	9	1,4444		
2,00	9	2,0000	2,0000	
3,00	9		2,2222	2,2222
1,00	9		2,5556	2,5556
5,00	9		2,5556	2,5556
4,00	9			2,7778
Sig.		,087	,116	,116

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

ko ku

Duncan

grup	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
6,00	9	1,88889	
3,00	9	2,11111	
5,00	9		3,11111
4,00	9		3,33333
1,00	9		3,77778
2,00	9		3,88889
Sig.		,584	,083

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

Duncan

grup	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
6,00	9	1,6667			
3,00	9		2,3333		
5,00	9		2,7778	2,7778	
4,00	9			3,1111	3,1111
2,00	9			3,3333	3,3333
1,00	9				3,5556
Sig.		1,000	,157	,095	,182

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval		Minimu m	Maximu m	
					for Mean				
					Lower Bound	Upper Bound			
renk	1,00	11	4,3636	,50452	,15212	4,0247	4,7026	4,00	5,00
	2,00	11	4,3636	,50452	,15212	4,0247	4,7026	4,00	5,00
	3,00	11	2,3636	,50452	,15212	2,0247	2,7026	2,00	3,00
	4,00	11	2,3636	,50452	,15212	2,0247	2,7026	2,00	3,00
	5,00	11	2,8182	,40452	,12197	2,5464	3,0899	2,00	3,00
	6,00	11	1,1818	,40452	,12197	,9101	1,4536	1,00	2,00
	Total	66	2,9091	1,23696	,15226	2,6050	3,2132	1,00	5,00
doku	1,00	11	2,5455	,68755	,20730	2,0836	3,0074	2,00	4,00
	2,00	11	2,0909	,53936	,16262	1,7286	2,4533	1,00	3,00
	3,00	11	2,2727	,64667	,19498	1,8383	2,7072	1,00	3,00
	4,00	11	2,9091	,70065	,21125	2,4384	3,3798	2,00	4,00
	5,00	11	2,4545	,68755	,20730	1,9926	2,9164	2,00	4,00
	6,00	11	1,4545	,68755	,20730	,9926	1,9164	1,00	3,00
	Total	66	2,2879	,77985	,09599	2,0962	2,4796	1,00	4,00
koku	1,00	11	4,54545	,522233	,157459	4,19461	4,89630	4,000	5,000
	2,00	11	3,45455	,522233	,157459	3,10370	3,80539	3,000	4,000
	3,00	11	1,36364	,504525	,152120	1,02469	1,70258	1,000	2,000
	4,00	11	4,45455	,522233	,157459	4,10370	4,80539	4,000	5,000
	5,00	11	2,45455	,522233	,157459	2,10370	2,80539	2,000	3,000
	6,00	11	4,54545	,522233	,157459	4,19461	4,89630	4,000	5,000
	Total	66	3,46970	1,315233	,161894	3,14637	3,79302	1,000	5,000
genelbeğeni	1,00	11	3,5455	,52223	,15746	3,1946	3,8963	3,00	4,00
	2,00	11	2,9091	,30151	,09091	2,7065	3,1116	2,00	3,00
	3,00	11	2,1818	,40452	,12197	1,9101	2,4536	2,00	3,00
	4,00	11	3,1818	,40452	,12197	2,9101	3,4536	3,00	4,00
	5,00	11	2,6364	,50452	,15212	2,2974	2,9753	2,00	3,00
	6,00	11	2,4545	,52223	,15746	2,1037	2,8054	2,00	3,00
	Total	66	2,8182	,63024	,07758	2,6632	2,9731	2,00	4,00

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
renk	2,309	5	60	,055
doku	,815	5	60	,544
koku	,398	5	60	,848
genelbeğeni	5,644	5	60	,000

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
renk	Between Groups	86,000	5	17,200	76,703	,000
	Within Groups	13,455	60	,224		
	Total	99,455	65			
doku	Between Groups	13,348	5	2,670	6,118	,000
	Within Groups	26,182	60	,436		
	Total	39,530	65			
koku	Between Groups	96,258	5	19,252	71,382	,000
	Within Groups	16,182	60	,270		
	Total	112,439	65			
genelbeğeni	Between Groups	13,636	5	2,727	13,433	,000
	Within Groups	12,182	60	,203		
	Total	25,818	65			

renk

Duncan

grup	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
6,00	11	1,1818			
3,00	11		2,3636		
4,00	11		2,3636		
5,00	11			2,8182	
1,00	11				4,3636
2,00	11				4,3636
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

doku

Duncan

grup	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
6,00	11	1,4545		
2,00	11		2,0909	
3,00	11		2,2727	
5,00	11		2,4545	2,4545
1,00	11		2,5455	2,5455
4,00	11			2,9091
Sig.		1,000	,147	,133

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 11,000.

genel beğeni

Duncan

grup	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2	3	4	5
3,00	11	2,1818				
6,00	11	2,4545	2,4545			
5,00	11		2,6364	2,6364		
2,00	11			2,9091	2,9091	
4,00	11				3,1818	3,1818
1,00	11					3,5455
Sig.		,161	,348	,161	,161	,063

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 11,000.

koku

Duncan

grup	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
3,00	11	1,36364	2,45455	3,45455	4,45455
5,00	11				
2,00	11				
4,00	11				
1,00	11				
6,00	11				
Sig.		1,000	1,000	1,000	,702

antioksidan aktivite

Duncan

grup	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
tepsili kurutucu	3	,9233	1,0133	1,0733	1,3533	1,4100	1,5733
vakumlu	3						
mikrodalga	3						
açık hava	3						
mikrodalga	3						
vakumlu infrared	3						
liyofilizatör	3						
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

ANOVA

antioksidan aktivite

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,993	5	,199	2552,171	,000
Within Groups	,001	12	,000		
Total	,993	17			

Test of Homogeneity of Variances

antioksidan aktivite

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1,354	5	12	,308

antioksidan aktivite

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimu m	Maximu m
					Lower Bound	Upper Bound		
açık hava	6	48,4729	,89274	,36446	47,5361	49,4098	47,02	49,57
tepsili kurutucu	6	55,0366	2,74443	1,12041	52,1565	57,9167	51,90	59,59
mikroalga	6	138,2258	3,86555	1,57810	134,1692	142,2825	133,23	143,22
vakumlu mikroalga	6	144,7936	9,36330	3,82255	134,9674	154,6198	134,40	158,27
vakumlu infrared	6	149,5993	2,34713	,95821	147,1361	152,0624	146,45	152,49
liyofilizatör	6	272,1332	1,73945	,71013	270,3077	273,9586	270,19	275,08
Total	36	134,7102	75,33367	12,55561	109,2210	160,1995	47,02	275,08

ANOVA

antioksidan aktivite

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	198033,256	5	39606,651	1988,996	,000
Within Groups	597,387	30	19,913		
Total	198630,643	35			

	grup	N	Subset for alpha = 0.05				
			1	2	3	4	5
Duncan ^a	açık hava	6	48,4729				
	tepsili kurutucu	6		55,0366			
	mikroalga	6			138,2258		
	vakumlu mikroalga	6				144,7936	
	vakumlu infrared	6				149,5993	
	liyofilizatör	6					272,1332
	Sig.		1,000	1,000	1,000	,072	1,000

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
dpph	1,2217	,25771	6
abts	134,7100	81,24606	6

Correlations

		dpph	abts
dpph	Pearson Correlation	1	,822*
	Sig. (2-tailed)		,044
	N	6	6
abts	Pearson Correlation	,822*	1
	Sig. (2-tailed)	,044	
	N	6	6

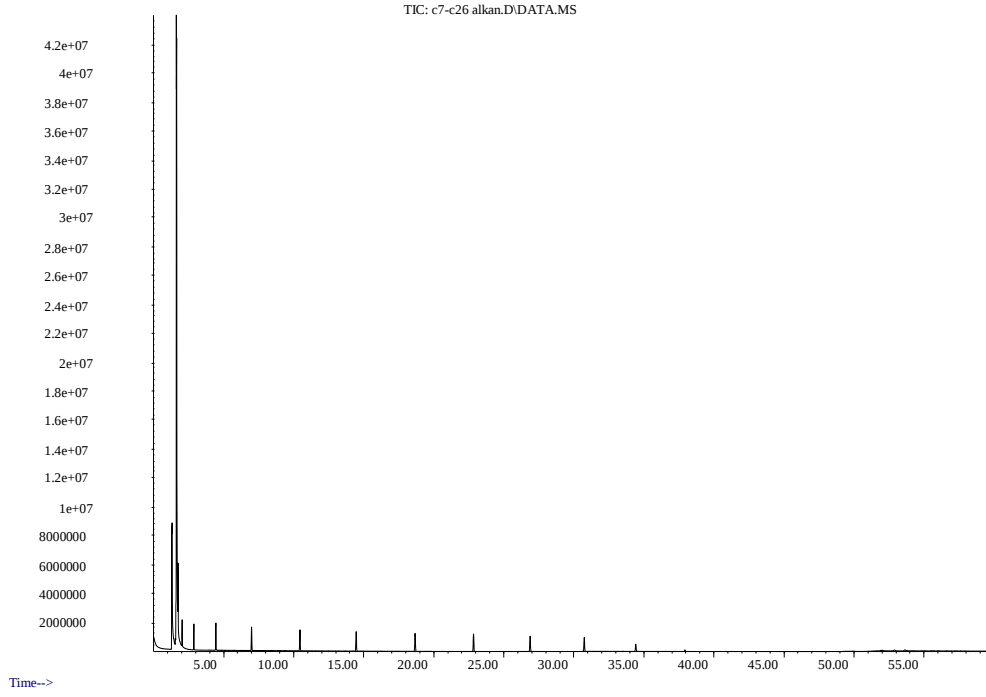
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Ek 3. Puanlama testi formu

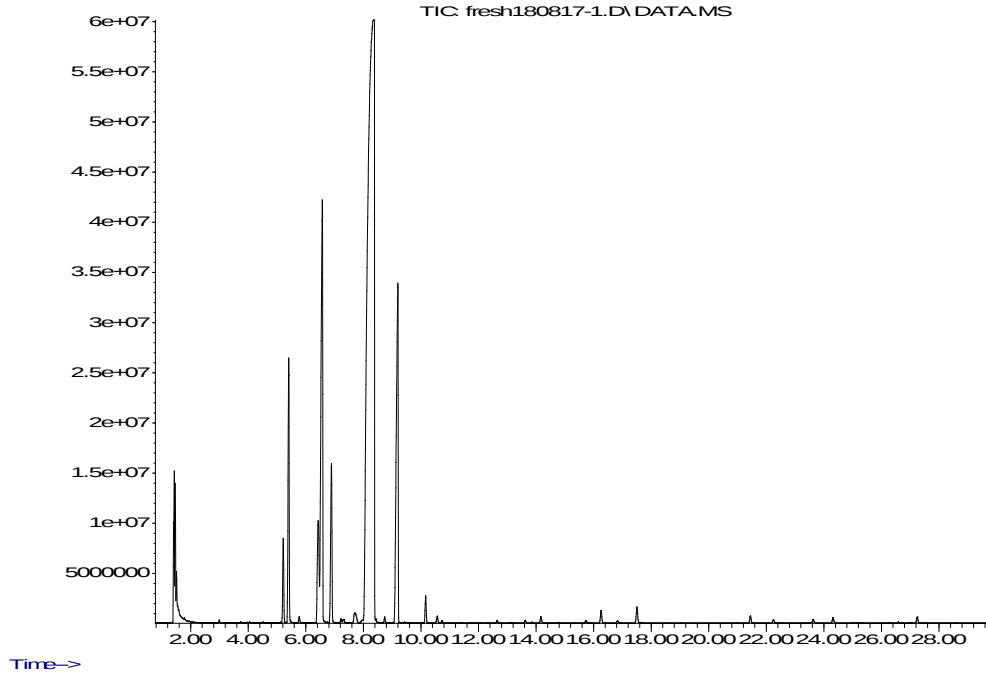
PUANLAMA TESTİ						
Panelistin adı soyadı :						
Tarih :.../.../...				Saat :		
Ürün : Limon kabuğu tozu						
Açıklama:Kalite kriterleri açısından size verilen kodlanmış örnekleri ayrı ayrı 5 puan üzerinden değerlendiriniz.						
Kalite Kriteri	Örnek					
	450	314	519	745	935	812
Renk						
Koku						
Doku						
Genel Beğeni						
Puan değerleri ile ilgili açıklamalar		1: Çok iyi	2: İyi	3: Orta	4: Kötü	5: Çok kötü

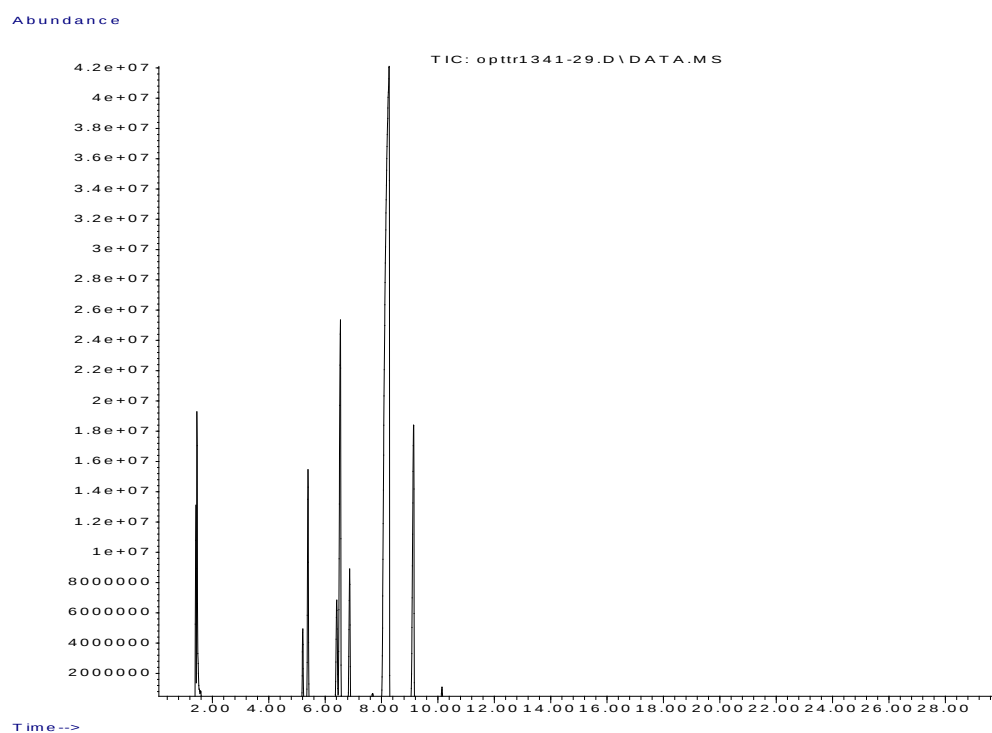
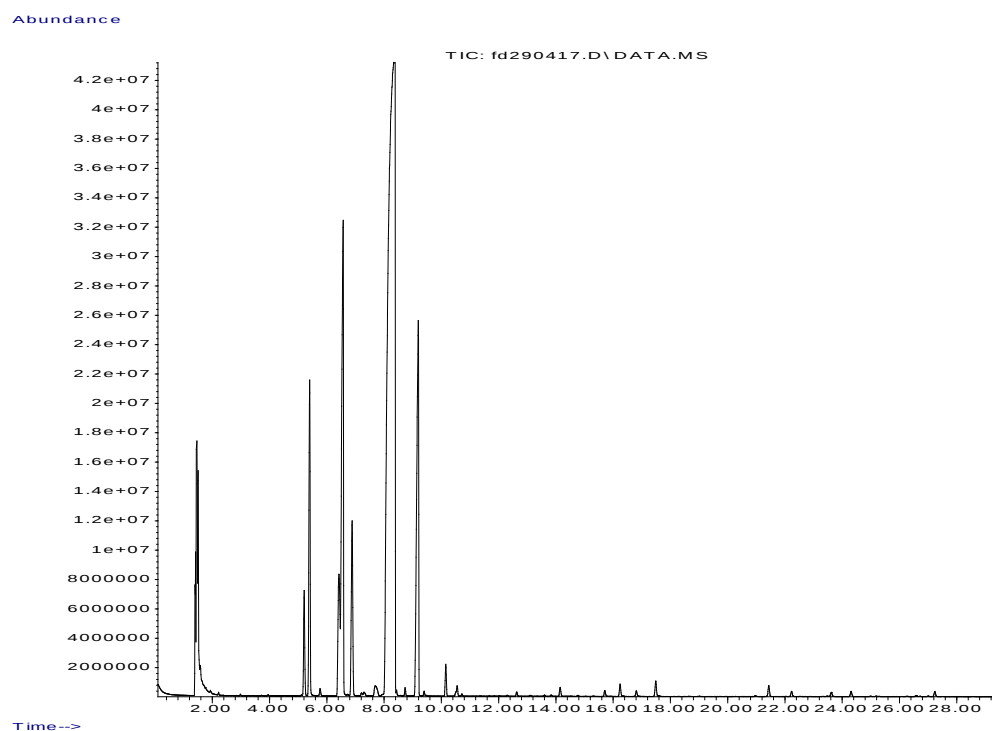
Ek 4. Farklı kurutma teknikleriyle kurutulan limon kabuklarına ait GC-MS kromatogramları

Abundance



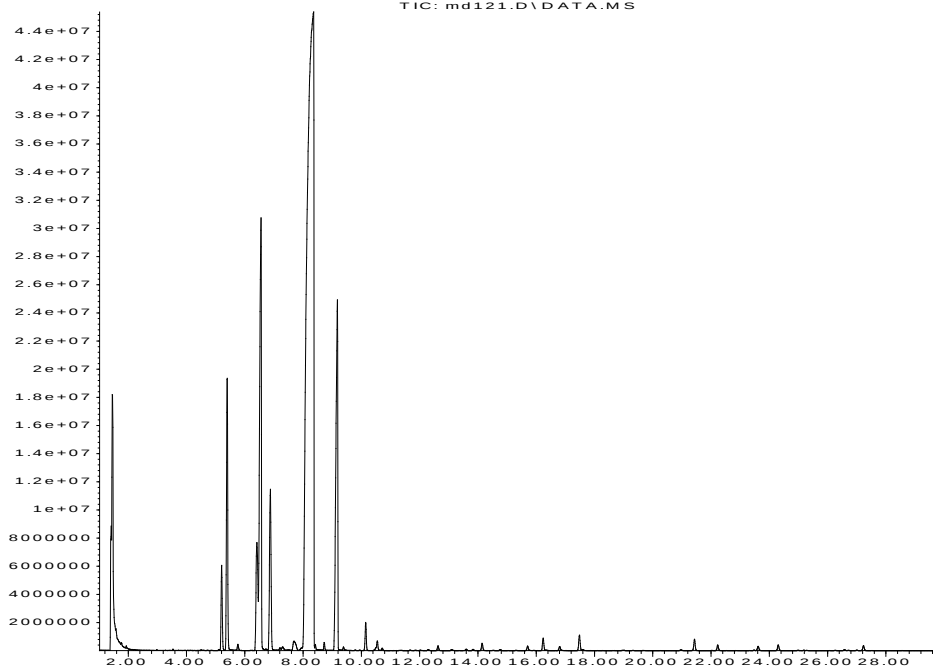
Abundance





Abundance

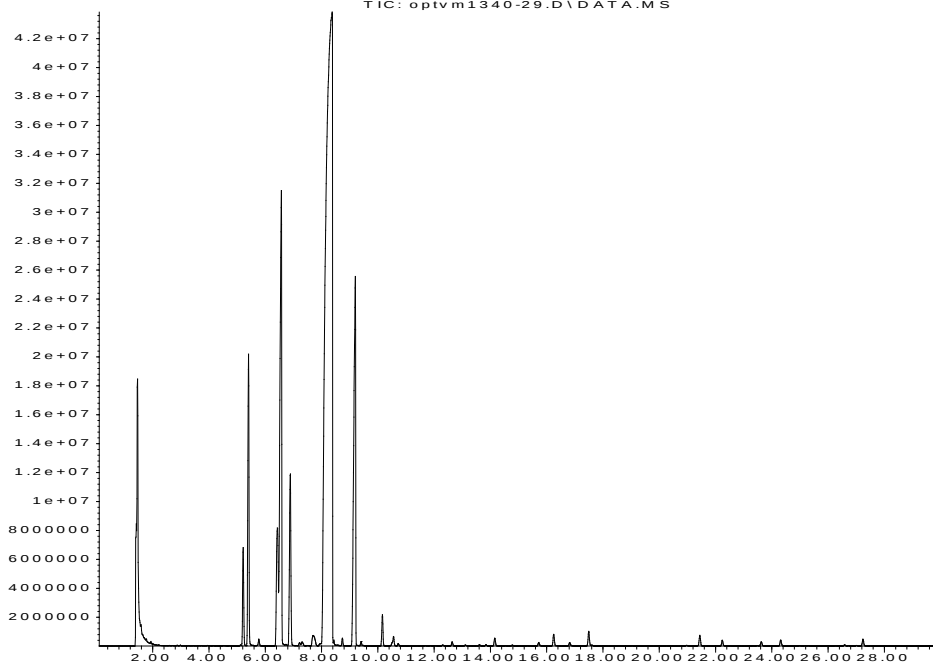
TIC: md121.D\DATA.MS



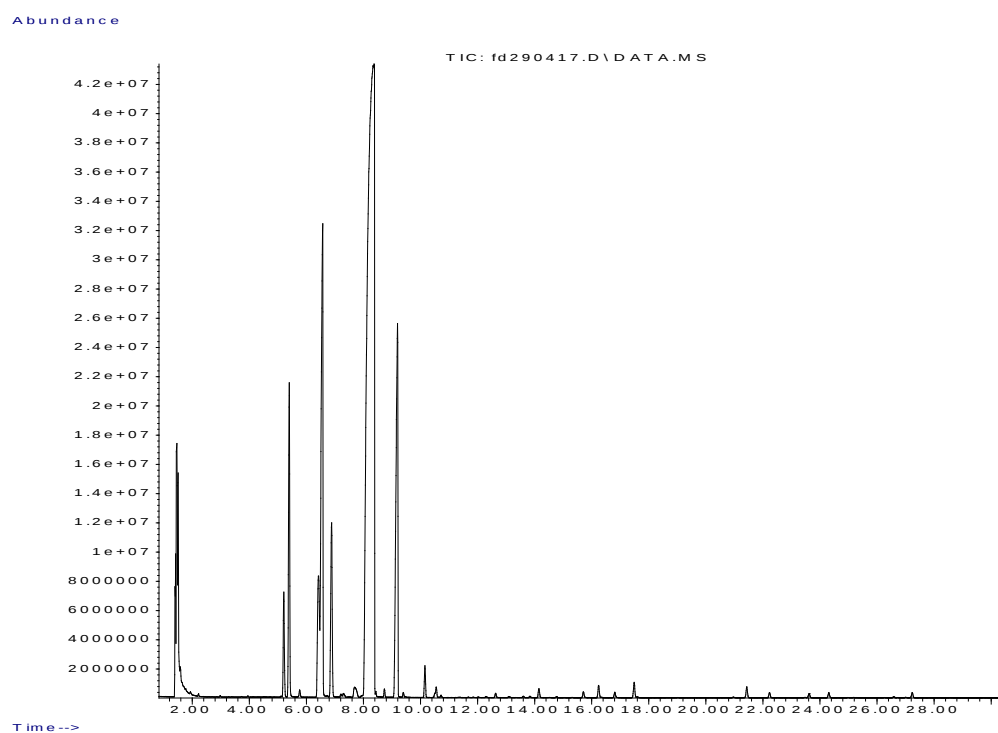
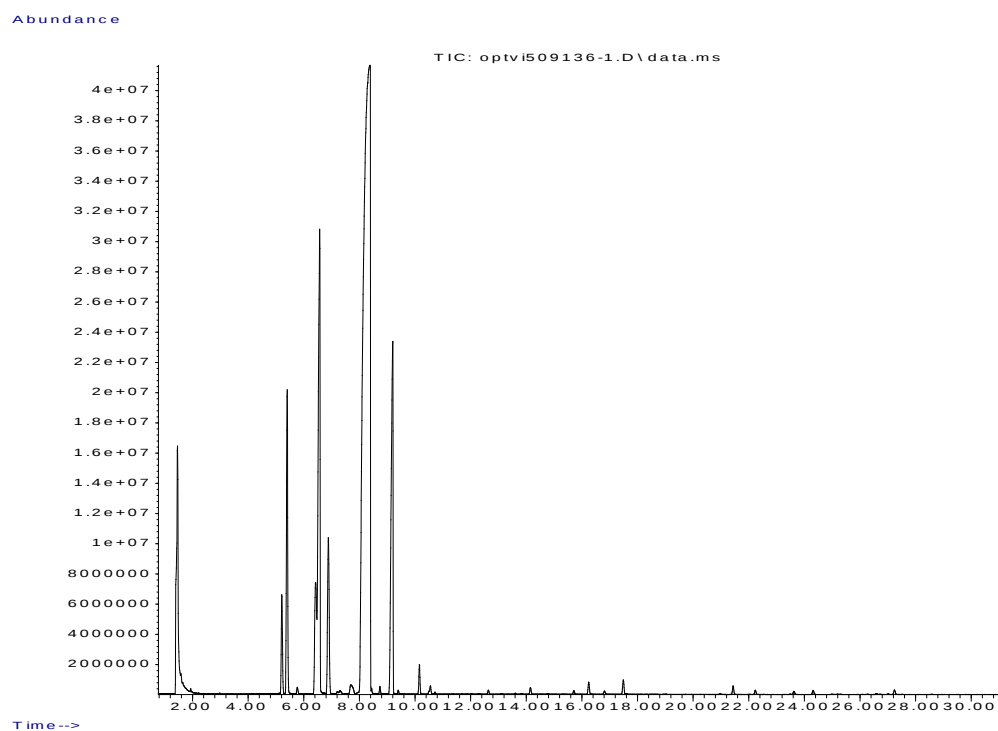
Time-->

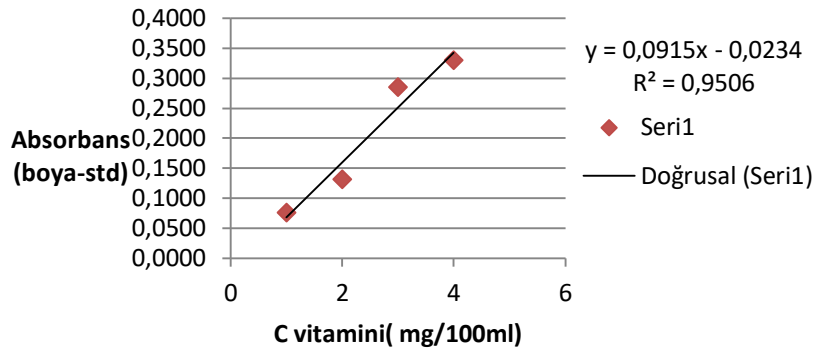
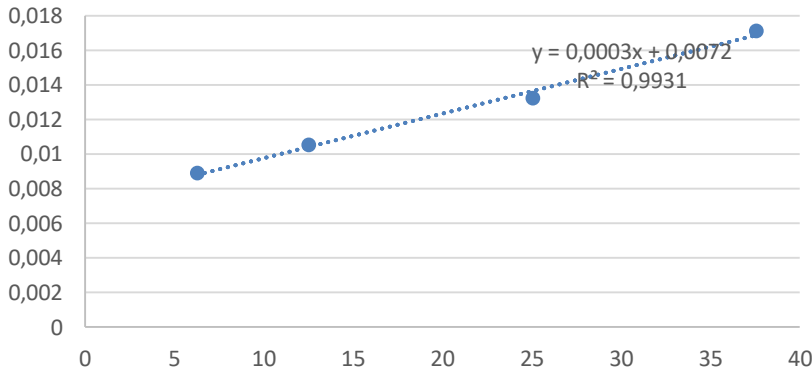
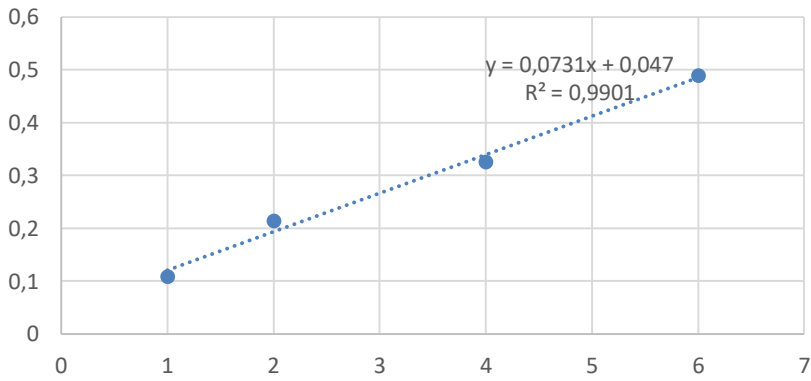
Abundance

TIC: optvm1340-29.D\DATA.MS



Time-->



Ek 5. Askorbik Asit Standart Eğrisi**Ek 6. Trolox Standart Eğrisi****Ek 7. Gallik Asit Standart Eğrisi**

Ek 8. β -karoten Standart Eğrisi