



T. C.

ORDU ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKRODALGA İLE KURUTMA İŞLEMİNDE DÖNER
TABLA HIZININ LİMON KABUĞUNUN KURUTMA
KİNETİĞİ VE BAZI KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE
ETKİSİ**

SEVİLAY SAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ORDU 2022

TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan ve kullanılan intihal tespit programının sonuçlarına göre; bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdığı yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

SEVİLAY SAN

Bu çalışma Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün B-2127 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

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

ÖZET

MİKRODALGA İLE KURUTMA İŞLEMİNDE DÖNER TABLA HIZININ LİMON KABUĞUNUN KURUTMA KİNETİĞİ VE BAZI KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

SEVİLAY SAN

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ, 123 SAYFA

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. IŞIL BARUTÇU MAZI)

Bu çalışmada, mikrodalga ile kurutma işleminde farklı döner tabla hızlarının limon kabuğunun kurutma kinetiği, yüzey sıcaklık dağılımı ve bazı kalite özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla limon kabukları, farklı mikrodalga güç seviyelerinde (180W, 300W, 450W ve 600W), farklı dönme hızları (0, 6.5, 9.5 ve 12.5 rpm) kullanılarak kurutulmuştur. Limon kabuklarının kurutulmasında ayrıca, karşılaştırma amaçlı olarak sıcak hava (60°C) ve dondurarak kurutma yöntemleri de kullanılmıştır. Limon kabuğunun kurutma davranışını tanımlamada 5 farklı ince tabaka kurutma modelinin uygunluğu (Newton, Page, Henderson & Papis, Logaritmik, İki-Terimli) araştırılmıştır. Bunun yanında, efektif difüzyon katsayısı (D_{eff}) ve aktivasyon enerjisi (E_a) hesaplanmış ve kurutma işlemi sırasında ürün yüzeyindeki sıcaklık dağılımı termal görüntüleme tekniği ile belirlenmiştir. Ayrıca, mikrodalga döner tabla hızının, limon kabuğu tozlarının bazı fiziksel (renk, yığın yoğunluk (ρ_b), sıkıştırılmış yoğunluk (ρ_t), Carr indeksi ve Hausner oranı), ve fonksiyonel (su tutma kapasitesi (STK), yağ tutma kapasitesi (YTK)) özellikleri ile pH ve toplam fenolik madde (TFM) içeriği üzerine etkileri de belirlenmiştir. Toz örneklerde SEM görüntüleri elde edilmiştir.

Limon kabuklarının kurutma süresi mikrodalga kullanımı ile sıcak havada kurutmaya göre %72-95 oranında kısalmıştır. Mikrodalga ile kurutma işleminde dönme fonksiyonunun kullanılması, kurutma süresinde dönmenin olmadığı duruma kıyasla %6-24 oranında bir azalma sağlamıştır. Dönme hızının kurutma süresine etkisi mikrodalga gücüne bağlı olarak değişmektedir. Uygulanan tüm modeller limon kabuğunun ince tabaka kuruma özelliklerini tanımlamada yeterli bulunmuştur. Tüm kurutma koşulları için, kurutma davranışını en iyi ifade eden modelin Page modeli olduğu belirlenmiştir. D_{eff} değerleri 1.7×10^{-8} - $7.6 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ arasında değişmektedir. D_{eff} değerleri artan güç seviyesi ile artış göstermiştir. E_a değerleri 21.3-22.7W/g aralığında bulunmuştur. Örneklere ait termal görüntüler incelendiğinde, tüm mikrodalga güç seviyeleri için dönme fonksiyonu kullanılması ile, ürün yüzeyindeki sıcaklık dağılımının homojenliğinin arttığı gözlenmiştir. Döner tabla hızının yüzey sıcaklık değerlerine güce bağlı olarak etki ettiği ancak sıcaklık dağılımının homojenliğine net bir etkisi olmadığı görülmektedir.

En yüksek L^* değeri dondurarak kurutulan örneğe aittir. Mikrodalga ile kurutulan örnekler sıcak havada kurutulan örnekler ile benzer veya daha düşük L^* ve b^* değerlerine sahiptir. Dönme fonksiyonunun kullanılması 180W gücünde renk parametrelerinde önemli bir fark yaratmazken yüksek güç seviyelerinde daha yüksek

L* ve b* değerleri sağlamıştır. Dönme hızındaki değişimin renk parametreleri üzerine önemli bir etkisi olmamıştır. Dönmenin olduğu durumda 180 ve 300W güç seviyelerinde mikrodalga ile kurutulan örneklerin L* ve b* değerleri diğer mikrodalga koşullarında kurutulanlara kıyasla daha yüksektir. Mikrodalga kurutma, dondurarak kurutma ve sıcak hava ile kurutmaya göre daha yüksek yoğunluk değerleri (ρ_b ve ρ_t), benzer veya daha düşük STK ve YTK değerleri sağlamıştır. Dondurarak kurutulmuş limon kabuğu tozu, gözenekli yapısı nedeniyle en düşük yoğunluk değerlerine sahip bulunmuştur. Mikrodalga kurutmada, dönme fonksiyonu olmadığı durumda elde edilen ρ_t değerleri daha düşüktür. Dönme hızındaki değişimin yoğunluk, STK ve YTK değerleri üzerine önemli bir etkisi olmamıştır. 180W üzerindeki güçlerde mikrodalga ile kurutma işlemleri, yaş örneğe ve diğer kurutma yöntemlerine kıyasla limon kabuğu tozunda daha yüksek TFM içeriği sağlamıştır. TFM değerleri artan güç seviyesi ile artış göstermiştir. Dönme fonksiyonu uygulanması ve dönme hızındaki değişim TFM üzerinde önemli derecede etkilidir.

Anahtar Kelimeler: Bulk Yoğunluk, Dönme Hızı, Fonksiyonel Özellikler, Kurutma Kinetiği, Limon Kabuğu, Mikrodalga Kurutma, Renk, Termal Görüntüleme, Toplam Fenolik Madde

ABSTRACT

EFFECT OF TURNTABLE ROTATION RATE ON DRYING KINETICS AND SOME QUALITY PROPERTIES OF LEMON PEEL DURING MICROWAVE DRYING

SEVILAY SAN

ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

FOOD ENGINEERING

MASTER THESIS, 123 PAGES

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. ISIL BARUTCU MAZI

In this study, the effect of different rotational rates of turntable on drying kinetics, surface temperature distribution and some quality properties of lemon peel during microwave drying process were investigated. For this purpose, lemon peels were dried by microwave drying using different rates of rotation (0, 6.5, 9.5 and 12.5 rpm) at different microwave power levels (180W, 300W, 450W and 600W). For drying of lemon peel, hot air (60°C) and freeze drying methods were also used for comparison purpose. The suitability of 5 thin-layer drying models (Newton, Page, Henderson & Papis, Logarithmic, Two-term) was investigated to describe the drying behavior of lemon peel. In addition, the effective diffusion coefficient (D_{eff}) and activation energy (E_a) were calculated and the surface temperature distribution on product was determined by using thermal imaging technique. Moreover, the effects of rotation rate on some physical (color, bulk density (ρ_b), tapped density (ρ_t), Carr index, and Hausner ratio), and functional (water holding capacity (WHC), oil holding capacity (OHC)) properties, pH and total phenolic content (TPC) of lemon peel powders were determined. SEM images of powder samples were obtained.

Drying time of lemon peels was shortened by 72-95% by microwave drying compared to hot air drying. Application of rotation function during microwave drying provided 6-24% reduction in drying time of peels compared to drying without rotation. Effect of rotation rate on drying time of lemon peels depended on the microwave power level. All the applied models were found to be sufficient in description of the thin layer drying characteristics of lemon peel. For all drying conditions, it was determined that the model that best describes the drying behavior was the Page model. The D_{eff} values ranged between $1.7 \times 10^{-8} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ and $7.6 \times 10^{-8} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$. The D_{eff} values increased with increasing power level. E_a values were between 21.3 and 22.7W/g. When the thermal images of the samples were examined, it was observed that the homogeneity of the temperature distribution on the product surface increased by using the rotation function for all microwave power levels. It was seen that the rotational rate of turntable affected the surface temperature values depending on the power level but did not have a clear effect on the homogeneity of the temperature distribution.

The highest L^* value belonged to the freeze-dried sample. Microwave-dried samples had similar or lower L^* and b^* values than hot air-dried samples. Using the rotation function did not make a significant difference in the color parameters at 180W,

but provided higher L* and b* values at higher power levels. The change in the rate of rotation did not have a significant effect on the color parameters. The L* and b* values of the samples dried by microwave drying with rotation at 180 and 300W power levels were higher than those dried at other microwave conditions. Microwave drying provided higher density values (ρ_b and ρ_t) and similar or lower WHC and OHC values compared to freeze drying and hot air drying. Freeze-dried lemon peel powder was found to have the lowest density values due to its porous structure. In microwave drying, ρ_t values obtained in the absence of rotational function were lower. The change in rate of rotation did not have a significant effect on the density, WHC and OHC values. Microwave drying at powers above 180W resulted in higher TPC in lemon peel powder compared to raw sample and other drying methods. TPC values increased with increasing power level. Application of rotation function and change in rate of rotation had significant effects on TPC.

Keywords: Bulk Density, Color, Drying Kinetics, Functional Properties, Lemon Peel, Microwave Drying, Rate of Rotation, Thermal Imaging, Total Phenolic Content

TEŞEKKÜR

Tez konunun belirlenmesi, çalışmanın yürütülmesi ve yazımı esnasında bilgi birikimiyle beni destekleyen baőta danıőman hocam Sayın Doç. Dr. Işıl BARUTÇU MAZI'ya ile analizlerimin yapımında yine bilgi birikimi ve teknik anlamda yardımcı olan Sayın Doç. Dr. Bekir Gökçen MAZI ve Dr. Ömer Faruk ÇELİK'e teşekkür ederim.

Aynı zamanda, çalıőmamın tüm sürecinde maddi ve manevi desteklerini her an üzerimde hissettiğim annem Hatice SAN, babam Ogün SAN ve kardeőim Gülay SAN'a teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| TEZ BİLDİRİMİ | I |
| ÖZET | II |
| ABSTRACT | IV |
| TEŞEKKÜR | VI |
| İÇİNDEKİLER | VII |
| ŞEKİL LİSTESİ | IX |
| ÇİZELGE LİSTESİ | XI |
| SİMGELER VE KISALTMALAR | XIII |
| EKLER LİSTESİ | XV |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. GENEL BİLGİLER | 3 |
| 2.1 Limon | 3 |
| 2.1.1 Dünyada ve Türkiye’de Limon Üretimi..... | 4 |
| 2.1.2 Limon Yan Ürünleri..... | 4 |
| 2.1.2.1 Limon Kabuğu | 6 |
| 2.1.2.1.1 Limon Kabuğu Anatomisi..... | 6 |
| 2.1.2.2 Limon Kabuğunun Fizikokimyasal Özellikleri..... | 7 |
| 2.2 Turunçgil Atıklarının Kullanım Alanları | 10 |
| 2.2.1 Turunçgil Kabuğu Tozlarının Gıdalarda Kullanımı..... | 12 |
| 2.3 Gıdalarda Kurutma İşlemi..... | 14 |
| 2.3.1 Mikrodalga ile Kurutma | 16 |
| 2.3.1.1 Mikrodalgada Isıtma İşleminin Homojenliği | 17 |
| 2.3.2 Turunçgil Kabuklarının Kurutulması | 20 |
| 2.3.3 Kurutma Kinetiği | 23 |
| 2.3.3.1 Kurutma Kinetiğinin Matematiksel Modellenmesi..... | 25 |
| 2.3.4 Kurutma İşleminin Gıdaların Kalite Parametreleri Üzerine Etkileri | 26 |
| 3. MATERYAL ve YÖNTEM | 28 |
| 3.1 Materyal | 28 |
| 3.2 Yöntem..... | 28 |
| 3.2.1 Kurutma Denemelerinin Yapılması | 28 |
| 3.2.1.1 Mikrodalga Kurutma | 28 |
| 3.2.1.2 Sıcak Hava ile Kurutma | 29 |
| 3.2.1.3 Dondurarak Kurutma | 29 |
| 3.2.2 Analizler | 29 |
| 3.2.2.1 Nem İçeriğinin Belirlenmesi | 29 |
| 3.2.2.2 Kurutma Kinetiği | 29 |
| 3.2.2.3 Efektif Difüzyon Katsayısının Hesaplanması | 31 |
| 3.2.2.4 Aktivasyon Enerjisinin (E_a) Hesaplanması | 31 |
| 3.2.2.5 Örneklerin Yüzey Sıcaklık Dağılımının IR Termal Kamera Görüntüleme Tekniği ile Belirlenmesi | 32 |
| 3.2.2.6 Renk | 32 |
| 3.2.2.7 SEM Analizi..... | 33 |
| 3.2.2.8 Yığın (bulk) Yoğunluğu (pb) | 33 |
| 3.2.2.9 Sıkıştırılmış Yoğunluk (pt) | 33 |
| 3.2.2.10 Carr İndeks (CI) ve Hausner Oranı (HR)..... | 33 |
| 3.2.2.11 Su Tutma Kapasitesi | 33 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.2.12 Yağ Tutma Kapasitesi | 34 |
| 3.2.2.13 pH Tayini | 34 |
| 3.2.2.14 Toplam Fenolik Madde | 34 |
| 3.2.2.15 İstatistiksel Değerlendirme..... | 35 |
| 4. BULGULAR ve TARTIŞMA..... | 36 |
| 4.1 Kuruma Eğrileri | 36 |
| 4.2 Kurutma Kinetiği Verilerinin Matematiksel Modellenmesi | 40 |
| 4.3 Efektif Difüzyon Katsayısı..... | 46 |
| 4.4 Aktivasyon Enerjisi (Ea)..... | 47 |
| 4.5 Örneklerin Yüzey Sıcaklık Dağılımının IR Termal Kamera Görüntüleme Tekniği ile Belirlenmesi | 48 |
| 4.6 Renk | 60 |
| 4.7 SEM Analizi Bulguları..... | 64 |
| 4.8 Yığın (bulk) Yoğunluğu (pb) | 65 |
| 4.9 Sıkıştırılmış Yoğunluk (pt) | 67 |
| 4.10 Carr İndeks (CI) ve Hausner Oranı (HR)..... | 67 |
| 4.11 Su Tutma Kapasitesi | 68 |
| 4.12 Yağ Tutma Kapasitesi..... | 71 |
| 4.13 pH Tayini | 72 |
| 4.14 Toplam Fenolik Madde (TFM) | 73 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER..... | 78 |
| 6. KAYNAKLAR | 81 |
| EKLER | 93 |
| ÖZGEÇMİŞ | 123 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Şekil 2.1 Limon meyvesinin anatomik yapısı (Tekgül, 2019)..... | 5 |
| Şekil 2.2 Limon kabuğunun kesitsel anatomisi (Nakamura ve ark., 2017) | 7 |
| Şekil 2.3 Turunçgil atıklarının gıda alanında değerlendirilmesi (Mahato ve ark., 2018). 13 | 13 |
| Şekil 3.1 Limon kabuklarının dizilim şekli..... | 29 |
| Şekil 3.2 Soğutmalı santrifüj cihazı (Nuve, NF 800R)..... | 34 |
| Şekil 3.3 Santrifüj işlemi sonrası örneklere ait görsel | 34 |
| Şekil 4.1 Limon kabuğunun sıcak hava ile kurutulması sırasındaki nem içeriğinin zamana bağlı değişimi. | 36 |
| Şekil 4.2 Limon kabuğunun 180W mikrodalga gücünde farklı dönme hızlarında kurutulması sırasındaki nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi | 38 |
| Şekil 4.3 Limon kabuğunun 300W mikrodalga gücünde farklı dönme hızlarında kurutulması sırasındaki nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi | 38 |
| Şekil 4.4 Limon kabuğunun 450W mikrodalga gücünde farklı dönme hızlarında kurutulması sırasındaki nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi | 39 |
| Şekil 4.5 Limon kabuğunun 600W mikrodalga gücünde farklı dönme hızlarında kurutulması sırasındaki nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi | 39 |
| Şekil 4.6 Limon kabuğunun mikrodalgada dönmenin olmadığı (0 rpm) durumda kurutulması sırasındaki ayrılabilir nem oranlarının (MR) zamana bağlı değişimi. | 41 |
| Şekil 4.7 Limon kabuğunun mikrodalgada 6.5 rpm dönme hızında kurutulması sırasındaki ayrılabilir nem oranlarının (MR) zamana bağlı değişimi..... | 41 |
| Şekil 4.8 Limon kabuğunun mikrodalgada 9.5 rpm dönme hızında kurutulması sırasındaki ayrılabilir nem oranlarının (MR) zamana bağlı değişimi..... | 42 |
| Şekil 4.9 Limon kabuğunun mikrodalgada 12.5 rpm dönme hızında kurutulması sırasındaki ayrılabilir nem oranlarının (MR) zamana bağlı değişimi..... | 42 |
| Şekil 4.10 180W'ta a)0 rpm, b)6.5 rpm, c)9.5 rpm, d)12.5 rpm dönme hızlarında mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu örneklerine ait termal görüntüler. ... | 49 |
| Şekil 4.11 300W'ta a)0 rpm, b)6.5 rpm, c)9.5 rpm, d)12.5 rpm dönme hızlarında mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu örneklerine ait termal görüntüler. ... | 50 |
| Şekil 4.12 450W'ta a)0 rpm, b)6.5 rpm, c)9.5 rpm, d)12.5 rpm dönme hızlarında mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu örneklerine ait termal görüntüler | 51 |
| Şekil 4.13 600W'ta a)0 rpm, b)6.5 rpm, c)9.5 rpm, d)12.5 rpm dönme hızlarında mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu örneklerine ait termal görüntüler | 52 |
| Şekil 4.14 180W mikrodalga gücünde a)2 dk b)10 dk c)20 dk ve d)30 dk kurutma sürelerinde elde edilen termal görüntülere ait histogramlar..... | 53 |
| Şekil 4.15 300W mikrodalga gücünde a)2 dk b)10 dk c)15 dk ve d)18 dk kurutma sürelerinde elde edilen termal görüntülere ait histogramlar..... | 54 |
| Şekil 4.16 450W mikrodalga gücünde a)2 dk b)5 dk c)10 dk ve d)12 dk kurutma sürelerinde elde edilen termal görüntülere ait histogramlar..... | 54 |
| Şekil 4.17 600W mikrodalga gücünde a)1 dk b)2 dk c)5 dk ve d)8 dk kurutma sürelerinde elde edilen termal görüntülere ait histogramlar..... | 55 |
| Şekil 4.18 Mikrodalgada kurutma işleminin 2. dakikasında a)0 rpm b)6.5 rpm c)9.5 rpm ve d)12.5 rpm dönme hızlarında elde edilen termal görüntülere ait histogramlar | 56 |

| | |
|--|----|
| Şekil 4.19 Mikrodalgada kurutma işleminin 10. dakikasında a)0 rpm b)6.5 rpm c)9.5 rpm ve d)12.5 rpm dönme hızlarında elde edilen termal görüntülere ait histogramlar | 57 |
| Şekil 4.20 Kurutulmuş limon kabuğu tozu örnekleri..... | 61 |
| Şekil 4.21 a)DK, b)SHK, c)180W- 0 rpm, d)180W-12.5 rpm, e) 600W-0 rpm f)600W-12.5 rpm mikrodalga ile kurutma işlemleri sonrası elde edilen limon kabuğu tozuna ait SEM görüntüleri..... | 65 |

ÇİZELGE LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Çizelge 2.1 Türkiye turunçgil üretimi (ton) (Anonim, 2021) | 4 |
| Çizelge 2.2 Bazı turunçgil meyvelerinin yenilebilir ve yenmeyen kısımlarının biyoaktif bileşen içerikleri (Gorinstein ve ark., 2001) | 6 |
| Çizelge 2.3 100g taze limon kabuğunun bileşimi (Anonim, 2019) | 8 |
| Çizelge 2.4 Turunçgil kabuğu tozlarının gıdalarda kullanımı | 14 |
| Çizelge 2.5 Limon kabuğunun kurutulması ile ilgili çalışmalar | 21 |
| Çizelge 3.1 Kuruma eğrilerine uygulanan matematiksel modeller | 30 |
| Çizelge 4.1 Mikrodalga kurutma işlem süreleri | 40 |
| Çizelge 4.2 Limon kabuğu kurutma verilerinin Newton modeline uyumuna ilişkin doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanan model katsayıları ve istatistiksel parametreler | 44 |
| Çizelge 4.3 Limon kabuğu kurutma verilerinin Page modeline uyumuna ilişkin doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanan model katsayıları ve istatistiksel parametreler | 44 |
| Çizelge 4.4 Limon kabuğu kurutma verilerinin Henderson & Pabis modeline uyumuna ilişkin doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanan model katsayıları ve istatistiksel parametreler | 45 |
| Çizelge 4.5 Limon kabuğu kurutma verilerinin Logaritmik modele uyumuna ilişkin doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanan model katsayıları ve istatistiksel parametreler | 45 |
| Çizelge 4.6 Limon kabuğu kurutma verilerinin İki Terimli modele uyumuna ilişkin doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanan model katsayıları ve istatistiksel parametreler | 46 |
| Çizelge 4.7 Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu örneklerine ait efektif difüzyon katsayısı (D_{eff}) ve aktivasyon enerjisi (W/g) değerleri | 47 |
| Çizelge 4.8 180W güç seviyesinde mikrodalga fırında kurutma işlemi sırasında elde edilen termal görüntülere ait ortalama, maksimum, minimum sıcaklık ve sapma değerleri | 58 |
| Çizelge 4.9 300W güç seviyesinde mikrodalga fırında kurutma işlemi sırasında elde edilen termal görüntülere ait ortalama, maksimum, minimum sıcaklık ve sapma değerleri | 58 |
| Çizelge 4.10 450W güç seviyesinde mikrodalga fırında kurutma işlemi sırasında elde edilen termal görüntülere ait ortalama, maksimum, minimum sıcaklık ve sapma değerleri | 59 |
| Çizelge 4.11 600W güç seviyesinde mikrodalga fırında kurutma işlemi sırasında elde edilen termal görüntülere ait ortalama, maksimum, minimum sıcaklık ve sapma değerleri | 59 |
| Çizelge 4.12 Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun L^* , a^* , b^* değerlerine ait veriler | 62 |
| Çizelge 4.13 Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun yığın (bulk) yoğunluk, sıkıştırılmış yoğunluk, HR ve CI değerlerine ait veriler | 66 |
| Çizelge 4.14 Carr's indeks ve Hausner oranı değerlerine göre tozların akış özelliğinin sınıflandırılması (Seerangurayar ve ark., 2017) | 68 |
| Çizelge 4.15 Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun su tutma kapasitesi ve yağ tutma kapasitesi değerleri | 69 |

| | |
|--|----|
| Çizelge 4.16 Kurutulmuş limon kabuğu tozu örneklerine ait pH değerleri..... | 72 |
| Çizelge 4.17 Kurutulmuş limon kabuğu tozu örneklerine ait toplam fenolik madde (TFM) değerleri..... | 73 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

| | |
|------------------------|---|
| °C | : Santigrat derece |
| % | : Yüzde |
| TEPGE | : Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü Müdürlüğü |
| Fe | : Demir |
| g | : Gram |
| mg | : Miligram |
| nmol | : Nanomol |
| m | : Metre |
| µm | : Mikrometre |
| K | : Potasyum |
| Na | : Sodyum |
| Ca | : Kalsiyum |
| P | : Fosfor |
| Mg | : Magnezyum |
| Zn | : Çinko |
| Cu | : Bakır |
| Mn | : Manganez |
| Se | : Selenyum |
| a_w | : Su aktivitesi |
| MHz | : Megahertz |
| GHz | : Gigahertz |
| s | : Saniye |
| MK | : Mikrodalga kurutma |
| SHK | : Sıcak hava kurutma |
| DK | : Dondurarak kurutma |
| W | : Watt |
| sa | : Saat |
| kHz | : Kilohertz |
| dk | : Dakika |
| mbar | : Milibar |
| w/w | : Ağırlıkça yüzde |
| mm | : milimetre |
| TFM | : Toplam fenolik madde |
| cm | : Santimetre |
| y.b. | : Yaş baz |
| k.b. | : Kuru baz |
| rpm | : Dakikada devir sayısı |
| L | : Litre |
| MR | : Ayrılabilir nem oranı |
| X₀ | : İlk nem oranı |
| X_(t) | : Herhangi bir t anında örneğin ortalama nem oranı |
| X_e | : Denge nem oranı |
| R² | : Regresyon katsayısı |
| SSE | : Hata karelerinin toplamı |
| RMSE | : Hata karelerinin ortalama karekökü |

| | |
|------------------------|--|
| D_{eff} | : Efektif difüzyon katsayısı |
| x | : Nem oranı |
| t | : Süre |
| z | : Kütle akış yönü |
| L | : Örneğin yarım dilim kalınlığı (m) |
| E_a | : Aktivasyon enerjisi |
| D₀ | : Sonsuz sıcaklıkta difüzyon katsayısına eşdeğer bir sabit |
| R | : Gaz sabiti (8.314 kJ/mol.K) |
| T | : Kurutma sıcaklığı (°C). |
| P | : Mikrodalga gücü |
| m | : Yaş ürün ağırlığı |
| D₀ | : Arrhenius denkleminin üstel katsayısı |
| IR | : İnfrared |
| L* | : Renk ölçümünde açıklık-koyuluk göstergesi |
| a* | : Renk ölçümünde kırmızılık-yeşillik göstergesi |
| b* | : Renk ölçümünde sarılık-mavilik göstergesi |
| BI | : Kahverengileşme indeksi |
| ρ_b | : Yığın (bulk) yoğunluk |
| ρ_t | : Sıkıştırılmış yoğunluk |
| ml | : Mililitre |
| CI | : Carr indeksi |
| HR | : Hausner oranı |
| N | : Normalite |
| NaOH | : Sodyum hidroksit |
| V | : Hacim |
| F | : Faktör |
| E | : Ekiivalent değeri |
| w/v | : Kütle/hacim |
| ppm | : Milyonda bir |
| GAE | : Gallik asit eşdeğeri |
| nm | : Nanometre |
| μL | : Mikrolitre |
| STK | : Su tutma kapasitesi |
| YTK | : Yağ tutma kapasitesi |

EKLER LİSTESİ

Sayfa

| | |
|---|-----|
| EK 1: Gallik Asit Standard Eğrisi | 94 |
| EK 2: Mikrodalgada a)0 rpm, b)6.5 rpm, c)9.5 rpm, d)12.5 rpm ile kurutulan örneklerin kurutma sonrasına ait görseller..... | 95 |
| EK 3: Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun L* değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları | 96 |
| EK 4: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun L* değerlerine güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu | 97 |
| EK 5: Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun a* değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları | 98 |
| EK 6: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun a* değerlerine güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu | 99 |
| EK 7: Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun b* değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları | 100 |
| EK 8: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun b* değerlerine güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu | 101 |
| EK 9: Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun yığın (bulk) yoğunluk değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları | 102 |
| EK 10: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun yığın (bulk) yoğunluk değerlerine ait güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu..... | 103 |
| EK 11: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun yığın (bulk) yoğunluk değerleri için güç faktörüne ait Tukey çoklu (Pairwise) karşılaştırma test tablosu..... | 104 |
| EK 12: Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun sıkıştırılmış yoğunluk değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları | 105 |
| EK 13: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun sıkıştırılmış yoğunluk değerlerine ait güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu..... | 106 |
| EK 14: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun sıkıştırılmış yoğunluk değerleri için dönme hızı faktörüne ait Tukey çoklu (Pairwise) karşılaştırma test tablosu | 107 |
| EK 15: Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun Hausner oranı (HR) değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları | 108 |
| EK 16: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun Hausner oranı (HR) değerlerine güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu..... | 109 |

| | |
|---|-----|
| EK 17: Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun Carr indeks (CI) değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları | 110 |
| EK 18: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun Carr indeks (CI) değerlerine güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu..... | 111 |
| EK 19: Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun su tutma kapasitesi değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları | 112 |
| EK 20: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun su tutma kapasitesi değerlerine ait güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu..... | 113 |
| EK 21: Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun yağ tutma kapasitesi değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları | 114 |
| EK 22: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun yağ tutma kapasitesi değerlerine ait güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu..... | 115 |
| EK 23: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun yağ tutma kapasitesi değerleri için güç seviyesi faktörüne ait Tukey çoklu (Pairwise) karşılaştırma test tablosu | 116 |
| EK 24: Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun pH değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları..... | 117 |
| EK 25: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun pH değerlerine ait güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu | 118 |
| EK 26: Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun toplam fenolik madde değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları | 119 |
| EK 27: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun toplam fenolik madde değerlerine güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu..... | 120 |
| EK 28: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun toplam fenolik madde değerleri için güç seviyesi faktörüne ait Tukey çoklu (Pairwise) karşılaştırma test tablosu | 121 |
| EK 29: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun toplam fenolik madde değerleri için dönme hızı faktörüne ait Tukey çoklu (Pairwise) karşılaştırma test tablosu | 122 |

1. GİRİŞ

Rutaceae familyasına ait olan turunçgiller besleyici değerleri ve sağlığa yararları nedeniyle dünyada en çok tttilen meyveler arasındadır. Başlıca ticari türleri portakal, mandalina, limon ve greylort meyveleridir. USDA verilerine göre 2019/20 sezonu itibarıyla dünyada toplam 92 milyon ton dolayında turunçgil üretimi gerçekteştiği bildirilmiştir (Anonim, 2021).

Dünya çapında endüstriyel kullanım ve evlerde kullanım amacıyla yüksek miktarda turunçgil üretilmekte ve bunun sonucunda yüksek miktarda atık ürün (kabuklar, çekirdekler, zar kalıntıları gibi) ortaya çıkmaktadır. Meyve suyu ekstraksiyonundan sonra kalan kısım meyve ağırlığının %50-70'ini oluşturmakta ve %60-65 kabuk, %30-35 iç zar, %10 civarı çekirdek içermektedir (Crawshaw, 2003). Turunçgil atığı genellikle portakal, greylort ve limondan kaynaklanmaktadır. Oluşan yan ürünler çözünür şeker, selüloz, hemiselüloz, pektin ve esansiyel yağ açısından zengin olmasına rağmen, çok büyük miktarda kalıntı, tarım arazisine veya çöp çukuruna atık olarak bırakılabilmekte veya yakılmakta ve bu durum çevre kirliliğine neden olmaktadır (Martin ve ark., 2010; Wadhwa ve Bakshi, 2013).

Turunçgil kabukları yüksek su ve şeker içeriğinden dolayı dayanıksızdır. Portakal kabuğu, limon kabuğu gibi turunçgil kabuklarının farklı teknikler ile kurutulmasına ilişkin literatürde çok sayıda çalışma mevcuttur (Mello ve ark., 2020; Deng ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2019; Garau ve ark., 2007).

Mikrodalga ile kurutma geleneksel kurutma ile karşılaştırıldığında, çok daha hızlı bir kurutma sağlar. Mikrodalga ile kurutmanın en önemli özelliklerinden bir tanesi de doğrudan materyal bünyesindeki su moleküllerinin hedef alınmasıyla ürünün iç kısımlarında seçici bir ısıtma yapılabilmesidir. Sıcak hava ile kurutmada nem transferi nemli iç kısım ve kuru yüzey arasındaki konsantrasyon farkı tarafından kontrol edilirken, mikrodalga ile kurutma işleminde materyal içerisindeki suyun hızlı buharlaşması nedeniyle oluşan basınç farkı suyun gıdadan uzaklaştırılmasında önem kazanmaktadır (Schiffmann, 2001).

Literatür incelendiğinde mikrodalga fırın içerisindeki elektromanyetik alanın gücü yanında dağılımının ve ayrıca gıdanın fırın boşluğu içerisindeki pozisyonunun da ısıtma işlemini etkileyen faktörler arasında yer aldığı görülmektedir (Wappling-

Raaholt ve Ohlsson, 2000; Chamchong ve Datta, 1999; Bows, 1999). Ev tipi mikrodalga fırının temel elemanlarından biri olan döner tabla, bir mikrodalga fırında gıda içerisindeki sıcaklık dağılımının homojenliğini artırmanın en eski yöntemlerinden biridir.

Bu tez çalışmasının amacı, mikrodalga kurutma işlemi sırasında ürün dönme hızının değiştirilmesinin limon kabuğunun kurutma kinetiği ve ürün kalite parametreleri üzerine etkilerinin belirlenmesidir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Limon

Limon (*Citrus limonia* (L.) Burm. f.), *Rutaceae* familyasının *Aurantoideae* alt-familyasında *Citrus* cinsine dahil olan bir meyve türüdür (Ollitrault ve Navarro 2012). *Citrus* cinsi, limon dışında, portakal, greyfurt, mandalina, pummelo, turunç gibi birçok meyve türünü kapsamaktadır. Limonun anavatanı konusunda kesin bir görüş birliği olmamakla birlikte, MS 1175 ve 1178 yıllarına ait Fan Ch'eng-Ta ve Chou K'ü-Fei tarafından Çin yazılı kaynaklarında bu tür tarif edilmiş ve ismi 'li-mung' olarak belirtilmiştir. Bazı kaynaklarda limonun anavatanı Kuzey Hindistan ya da Çin'in güneyi olarak belirtilmiştir (Hodgson, 1967). Limonların dağılışı ve başlıca üretim alanları en düşük sıcaklıkları -4°C'nin üstündeki yarı kurak ve kurak subtropik bölgeler arasında bulunmaktadır (Demir, 2020).

Limon çeşitleri; ekşi limonlar, tatlı limonlar ve limon benzerleri olmak üzere üç grupta incelenmektedir. Ticari olarak yetiştirilen limon çeşitleri ekşi limonlar grubunun üyeleridir. Ekşi limonlar, Eureka ve Lisbon olarak adlandırılan iki büyük alt grupta sınıflandırılmıştır. Ülkemizde yetiştirilen ve yetiştiricilik yapılan bölgelere uyum sağlamış olan başlıca limon çeşitlerimiz; İnterdonato, Kütdiken, Lamas, Mayer, Karalimon (İtalyan memeli), Kıbrıs, Eureka, Lizbon ve Molla Mehmet'tir (Demir, 2020; Kafa, 2015). Ülkemizde en çok yetiştirilen limon çeşidi, yüksek verimli, depolamaya ve taşımaya elverişli bir çeşit olan Kütdiken çeşididir. Bu çeşitlerin farklı hasat zamanlarına ve depolama imkanlarına sahip olması ile yılın her ayında tüketicilere arzı söz konudur.

Limon meyvesi, flavonoidler, sitrik asit, C vitamini ve mineraller dahil olmak üzere çok sayıda besleyici özelliğe sahip zengin bir besin kaynağıdır. Limon meyvesinin suyu ve kabukları çeşitli şekillerde değerlendirilmektedir. Limon, pişmiş yemeklerde ve salatalarda garnitür olarak kullanımının yanında şekerleme ve tatlı (kek, puding, kurabiye, dondurma, jöle, reçel, marmelat, şurup vb.) üretiminde de lezzet verici olarak değerlendirilir. Endüstride genellikle limondan elde edilen limon suyu, konsantre edilerek, dondurularak, konserve veya toz haline getirilerek limonata ve çeşitli gazlı içeceklerin yapımında kullanılmaktadır (Tekgül, 2019). Limon, kuru ağırlığının yaklaşık %8'i oranında sitrik asit içeriği ile, yapısında en fazla sitrik asit

bulunduran meyvedir. Sitrik asit yiyecek ve içeceklerde asitliği ve ekşi tadı sağlamak için gıda katkı maddesi olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Penniston ve ark., 2008).

2.1.1 Dünyada ve Türkiye’de Limon Üretimi

2020/2021 sezonu itibarıyla dünyada gerçekleşen yaklaşık 98 milyon ton turunçgil üretiminin %51’i portakal, %34’ü mandalina, %9’u limon ve %7’si greyfurttan oluşmaktadır. Türkiye, dünyada portakal üretiminde %3’lük payla sekizinci, mandalina üretiminde %5’lik payla üçüncü, limon üretiminde %12’lik payla dördüncü, greyfurt üretiminde ise %4’lük payla beşinci sırada yer almaktadır.

2020/21 üretim sezonunda dünyada limon üretim miktarı 8.314 bin ton olarak rapor edilmiştir. Dünya limon üretiminin %79’unu karşılayan ilk 4 ülke Meksika (%35), AB (%20), Arjantin (%12) ve Türkiye (%12) olmuştur. Son beş yıl içerisinde dünyada limon üretiminde %7 oranında artış görülmüştür (Anonim, 2021).

Ülkemiz turunçgil yetiştiriciliği açısından; coğrafi konumu, iklim koşullarının uygunluğu, yeterli ve mevcut üretim miktarı, üretim alanlarında verimin yüksek olması, gibi bazı avantajlara sahiptir. Ülkemizde üretilen başlıca turunçgil türleri; portakal, mandalina, limon, greyfurt ve turunç meyveleridir (Çizelge 2.1).

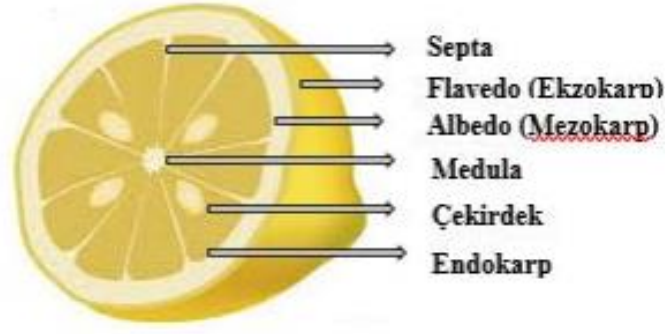
Çizelge 2.1 Türkiye turunçgil üretimi (ton) (Anonim, 2021)

| Turunçgil | 2018 | 2019 | 2020 |
|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Portakal | 1.900.000 | 1.700.000 | 1.333.975 |
| Mandalina | 1.650.000 | 1.400.000 | 1.585.629 |
| Limon | 1.100.000 | 950.000 | 1.188.517 |
| Greyfurt | 250.000 | 249.185 | 238.012 |
| Turunç | 2.052 | 2.230 | 2.609 |
| Toplam | 4.902.052 | 4.301.415 | 4.348.742 |

2020 yılında Türkiye’de toplam turunçgil üretiminin %27.3’ünün limona ait olduğu görülmektedir (Çizelge 2.1). Dünyada ve Türkiye’de üretim alanlarındaki artışa bağlı olarak üretimini her geçen yıl artıran limon, turunçgiller içinde yıl boyunca aranan ve tüketilen bir türdür.

2.1.2 Limon Yan Ürünleri

Limon meyvesinin en iç kısmında medula adı verilen süngerimsi beyaz bir doku bulunur. Medulanın çevresini ince epidermal doku (septa) ile dilimlere ayrılmış çok sayıda meyve suyu kesesi ve çekirdeği içeren meyvenin pulpu veya yenilebilir kısmı olan endokarp oluşturur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Limon meyvesinin anatomik yapısı (Tekgül, 2019)

Limonun evlerde tüketim ile veya endüstride kullanımı sonucunda büyük oranda atık (kabuklar, çekirdekler, zar kalıntıları gibi) ortaya çıkmaktadır. Bu atıklar meyvenin yaklaşık %50-70'ini kapsamaktadır (Zema ve ark., 2018). Limon atıkları büyük oranda kabuk içerir.

Chavan ve ark., (2018) turunçgillerden meyve suyu üretiminde saf meyve suyu elde etme veriminin yaklaşık %50 olduğunu ve dünya genelinde bu alanda yıllık atık miktarının yaklaşık 119.7 milyon ton olduğunu rapor etmişlerdir. Turunçgil atığı genellikle portakal, greyluft ve limondan kaynaklanır.

Oluşan yan ürünler, fenolik bileşikler (flavonoidler, fenolik asitler), limonoidler, karotenoidler ve vitaminler (özellikle C vitamini) gibi yüksek miktarda antioksidan bileşikler içerir (Agocs ve ark., 2007; Barros ve ark., 2012; Singh ve ark., 2020). Chen ve ark., (2020) 27 farklı turunçgil çeşidinin kabuklarında, meyve suyu ve pulp ile karşılaştırıldığında daha yüksek toplam fenolik içerik, toplam flavonoid içeriği ve antioksidan kapasite elde etmişlerdir. Zhang ve ark., (2018a) *Citrus reticulata* Blanco'ya ait 19 turunçgil genotipinin kabuk kısımlarının pulp, tohum ve meyve suyuna kıyasla daha yüksek toplam fenolik içerik, toplam flavonoid içeriği ve antioksidan kapasiteye sahip olduğunu göstermiştir.

Gorinstein ve ark., (2001) yapmış oldukları çalışmada turunçgil (limon, portakal ve greyluft) meyvelerinin diyet lif, toplam polifenol, askorbik asit ve bazı eser element içeriklerini ve antioksidan aktivitelerini karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonunda limon kabuğu ve soyulmuş limonun, diğer turunçgil meyvelerine göre yüksek oranda toplam polifenol, askorbik asit, Fe elementi içeriğine ve yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu belirtilmiştir (Çizelge 2.2). Çalışmada yer alan meyvelerin

özelikle kabuk kısımlarının kimyasal içeriğinin soyulmuş meyvelerden daha yüksek olduğu belirtilen diğer önemli bir noktadır.

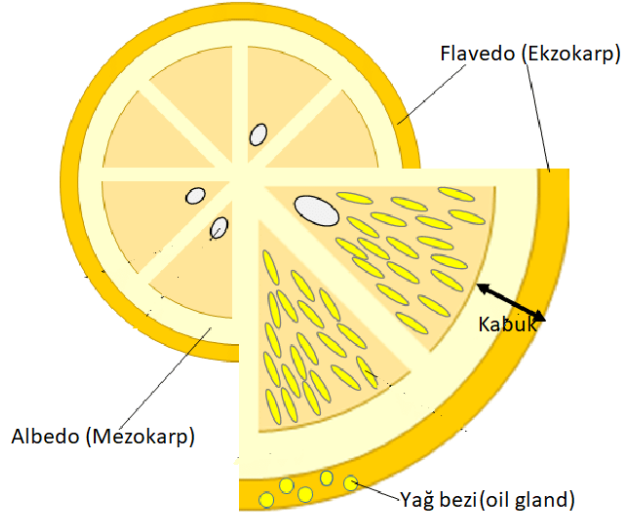
Çizelge 2.2 Bazı turunçgil meyvelerinin yenilebilir ve yenmeyen kısımlarının biyoaktif bileşen içerikleri (Gorinstein ve ark., 2001)

| | Toplam Diyet Lif (Kuru Ağırlık) (g/100 g) | Toplam Polifenoller (mg/100 g) | Askorbik Asit (Vitamin C) (mg/100 g) | Antioksidan Aktivite (TRAP) (nmol/m) |
|-------------------|--|---|---|---|
| Soyulmuş Limon | 7.34 ± 0.8 | 164 ± 10.3 | 47.9 ± 4.7 | 4480 ± 398 |
| Limon Kabuğu | 14.0 ± 1.3 | 190 ± 10.6 | 59.8 ± 5.4 | 6720 ± 601 |
| Soyulmuş Portakal | 7.28 ± 0.8 | 154 ± 10.2 | 47.7 ± 4.9 | 2111 ± 199 |
| Portakal Kabuğu | 13.9 ± 1.3 | 179 ± 10.5 | 59.6 ± 5.2 | 3183 ± 311 |
| Soyulmuş Greyfurt | 7.41 ± 0.8 | 135 ± 10.1 | 35.1 ± 3.5 | 1111 ± 102 |
| Greyfurt Kabuğu | 13.9 ± 1.2 | 155 ± 10.3 | 43.8 ± 4.1 | 1667 ± 161 |

2.1.2.1 Limon Kabuğu

2.1.2.1.1 Limon Kabuğu Anatomisi

Limon meyvesinin yenilebilir kısmını çevreleyen limon kabuğu iki ana dokudan oluşur. Bunlar ekzokarp veya flavedo olarak adlandırılan renkli en dış katman ve mezokarp veya albedo olarak adlandırılan iç katmandır (Şekil 2.2). Flavedo, tek bir epidermal hücre katmanından ve bunun altında yer alan 3 ila 8 kat hipodermal ve subepidermal hücrelerden oluşur (Tadeo ve ark., 2020). Epidermal hücrelerin dışı, kütikül adı verilen ince hidrofobik bir tabaka ile kaplıdır. Kütikül, hidroksi ve epoksi yağ asidi monomerleri açısından zengin bir polyester polimer matrisi olan kütin matrisi ve çok çeşitli uzun zincirli alifatik bileşiklerden oluşan mumlardan oluşur (Suh ve ark., 2005). Flavedo katmanının en dışındaki bu mum filmi, epidermisi yağmura, su kaybına ve mantar enfeksiyonlarına karşı koruyan doğal bir bariyerdir. Turunçgil kabuğu mumundaki en baskın bileşikler alkanlar, ketonlar, aldehitler, çok uzun zincirli yağ asitleri ve alkollerdir (Tadeo ve ark., 2020). Bu bileşiklerin varlığı öncelikle turunçgil türlerine ve bunun yanında mevsim, yetiştirme koşulları gibi diğer faktörlere bağlıdır. Mumlar ya kütin matrisi içine gömülüdür ya da üzerinde biriktirilir. Kütikülün yüzeyine dağılmış şekilde bulunan halka şeklindeki stoma gözenekleri bu doğal mum tarafından kısmen veya tamamen tıkanmıştır (Ben-Yehoshua ve ark., 1985). Yağ bezleri, kabuğun flavedo tabakasında farklı derinliklerde konumlanmıştır (Tadeo ve ark., 2020) ve aromatik bileşikler olan uçucu yağlar içerir. Yağ bezlerinin boyutu 10 ila 100 µm veya 100 µm büyük değerler arasında değişmektedir (Ladaniya, 2008). Karotenoidlerden oluşan pigmentler ve yağ damlacıkları bu tabakada bulunur.



Şekil 2.2 Limon kabuğunun kesitsel anatomisi (Nakamura ve ark., 2017)

Flavedonun hemen altında; adeta devamı olarak bulunan bir katman olan albedo ise daha iri hücrelerden oluşmaktadır. Albedo süngerimsi ve beyaz renklidir. Albedo tabakası selülozik ve pektin benzeri materyallerden oluşur ve diyet lifin önemli bir kaynağı sayılır. Turunçgil kabuğunda %30-35 oranında bulunan pektinin %73'ü albedo tabakasıdır. Albedo, diğer bitkisel lif kaynaklarından daha yüksek kaliteye sahiptir. Bunun sebebi antioksidan özellikteki birleşik biyoaktif bileşenlerinin sağlık açısından düzenleyici etkilerinin bulunmasıdır.

2.1.2.2 Limon Kabuğunun Fizikokimyasal Özellikleri

Taze limon kabuğunun yaklaşık kimyasal bileşimi Çizelge 2.3'te gösterilmektedir. Limon kabukları yüksek su ve şeker içeriğinden dolayı dayanıksızdır. Limon kabuğu değerli minerallerin (K, Na, Ca, P ve Mg) ve eser elementlerin de (Fe, Zn, Cu, Mn ve Se) önemli bir kaynağıdır (Czech ve ark., 2020).

Çizelge 2.3 100g taze limon kabuğunun bileşimi (Anonim, 2019)

| Besin İçeriği | Miktar | Besin İçeriği | Miktar |
|----------------------|---------------|----------------------|---------------|
| Su | 81.60g | K | 160.00mg |
| Karbonhidrat | 16.00g | Ca | 134.00mg |
| -Lif | 10.60g | P | 12.00mg |
| -Şeker | 4.17g | Na | 6.00mg |
| Protein | 1.50g | Fe | 0.80mg |
| Yağ | 0.30g | Zn | 0.25mg |
| Kül | 0.60g | Mg | 15.00mg |
| Vitamin C | 129.00mg | Cu | 0.092mg |

Bir turunçgil meyvesi olan limon, yüksek oranda C vitamini içermektedir. Limonun yenilebilir kısmını oluşturan limon suyunda C vitamini içeriği yaklaşık 34-44 mg/100 g aralığındadır. Limon meyvesinin kabuk kısmı da C vitamini (~129-158 mg/100 g) içermektedir. Hatta limon meyvesinin toplam C vitamini içeriğinin 3/4'ü kabuk kısmında bulunmaktadır. C vitamini içeriği iklim, olgunlaşma seviyesi, ürün işleme, depolama vb. pek çok durumdan etkilenmektedir (Nagy, 1980).

Turunçgil kabukları lifçe zengindir. Diyet lifleri genellikle selülozik olmayan polisakkaritler, oligosakkaritler, pektin, β -glukanlar, sakızları içeren çözünmeyen diyet lifleri ve selüloz, hemiselüloz, lignini içine alan çözünür diyet lifleri olarak sınıflandırılır (Dai ve Chau, 2017). Limon kabukları yüksek oranda diyet lif (10.6 g/100 g) içermektedir (Anonim, 2019) ve bir diyet lif olan pektin maddesinin en önemli kaynaklarından biridir. Turunçgiller içinde yüksek kaliteli pektin limeden elde edilmekte, bunu limondan elde edilen pektin izlemektedir (Cemeroğlu, 2013b).

Diyet lifler besinsel özelliklerinin yanında hidrasyon özellikleri, tekstürel özellikler ve yağ emme kapasitesini kapsayan fonksiyonel özelliklere sahiptir (Thebaudin ve ark., 1997). Diyet lifinin hidrasyon özellikleri, suyun makromoleküllerin yüzeyine adsorpsiyonu ve jel matrisinde tutulmasını ifade etmektedir (Kay, 1982). Diyet liflerin tekstürel özellikleri ise hidrasyon özelliklerinin bir sonucudur. Gıdalara eklenmesiyle kıvamlaştırıcı (ksantan gum) ve jel yapıcı (pektin) özellikleri ve su tutma yeteneği sayesinde yapısal özelliklerin stabilizasyonuna katkı sağlamaktadır. Çözünmez diyet lifler kendi ağırlığının 5 katı kadar yağ tutabilme yeteneğine sahiptir. Gıdalarda pişirme sırasında kaybedilen yağın tutulmasında bu özellikten faydalanılmaktadır. Bu durum lezzeti artırmak ve teknolojik verimlilik açısından yararlı olmaktadır (Thebaudin ve ark., 1997).

Öğütme, ısı işlemler gibi işlemler, diyet lifi fraksiyonlarının bileşiminin ve dolayısıyla fonksiyonel özelliklerinin değişmesine yol açar (Garcia-Amezquita ve ark., 2018).

Turunçgil kabuklarında önemli miktarda flavonoid, özellikle flavanonlar bulunur (Nogata ve ark., 2006). Wang ve ark., (2008) sekiz farklı çeşide ait turunçgil (portakal, limon, pumelo, kamkat) kabuğunda flavanon (naringin, hesperidin, neohesperidin), flavon (diosmin, luteolin ve sinensetin) ve flavonol (rutin, quercetin, kaempferol) bileşiklerinin miktarlarını belirlemiş ve toplam flavonoid içeriklerinin 32.7 ile 49.2 mg/g k.b. arasında değiştiğini rapor etmişlerdir. Hesperidin, turunçgil kabuklarının çoğunda bulunan en baskın flavanon glikozittir (Chen ve ark., 2020; Nogata ve ark., 2006). Eureka limon kabuğunda baskın flavonoidler sırası ile hesperidin, eriositrin, diosmin ve izorhoifolin, tatlı limon kabuğunda ise hesperidin, izorhoifolin, narirutin ve diosmin olarak tespit edilmiştir (Nogata ve ark., 2006). Limon kabuğunda ayrıca ferulik asit, sinapik asit, p-kumarik asit, kafeik asit bulunmaktadır (M'hiri ve ark., 2016).

Turunçgil esansiyel yağlarındaki uçucu bileşikler esas olarak mono ve seskiterpen hidrokarbonlar (ana bileşenler) ve bunların oksijenli türevleridir (Gonzalez-Mas ve ark., 2019; Ruberto, 2002). Bir monoterpen olan d-limonen, başlıca uçucu yağ bileşimidir. Esansiyel yağ içeriği, farklı turunçgil türleri arasında büyük farklılıklar gösterir (Dharmawan ve ark., 2008). Limon meyvesinin kabuğundan elde edilen uçucu yağında bulunan en önemli bileşenler ise monoterpenoidlerdir; limonen (%69.9), β -pinen (%11.2), γ -terpinen (%8.21) (Klimek-Szczykutowicz ve ark., 2020).

Turunçgil meyvelerinin kabuk renginden klorofil ve karotenoid pigmentleri sorumludur. Kabuk renginin gelişimi ve yoğunluğu ışık ve ısı gibi çevresel; azot ve şeker gibi besinsel bazı faktörlerden etkilenmektedir (Rodrigo ve ark., 2013). Olgunlaşma ile kabukta bulunan klorofil pigmenti azalmaktadır. Bu nedenle olgunlaşmış meyvelerin kabuk rengini karotenoid pigmentleri (karotenler ve ksantofiller) belirlemektedir. Shan (2016) turunçgil kabuklarının kuru ağırlığının %0.1-0.5 oranında karotenoid içerdiğini belirtmiştir. Limon meyvelerinin kabuk rengi, çeşit özelliğine göre değişmekle birlikte, genellikle yeşil-sarımsı ile yoğun sarı renk arasında değişmektedir (Rodrigo ve ark., 2013). Bu çalışmada Mayer limon çeşidi

kullanılmıştır. Ülkemizin Batı Akdeniz Bölgesi'nde yetiştirilen melez bir çeşit olan Mayer limonlarının kabuk rengi sarımsı portakal rengindedir. (Demir, 2020). Mayer cins limon kabuğunda bulunan karotenoid pigmentlerini araştırmış ve kabuğun, %7 oranında hidrokarbon karotenoidler (fitoen (%57), fitofluen (%22)) ve %54 oranında monol karotenoidler (kriptoksantin ve türevleri) içerdiğini belirtmiştir.

2.2 Turunçgil Atıklarının Kullanım Alanları

Zengin içeriğine rağmen, turunçgil atıklarının büyük bir kısmı, tarım arazisi veya çöp çukurlarına bırakılabilmekte veya yakılmakta ve bu durum çevre kirliliğine neden olmaktadır (Martin ve ark., 2010; Wadhwa ve Bakshi, 2013). Dünyanın pek çok yerinde yan ürün olarak oluşan kabukların en kolay ve en ucuz kullanım şekli hayvan yemi olarak kullanılmasıdır.

Yıllar boyunca, birçok araştırmacı turunçgil işleme atıklarının değerlendirilmesine odaklanmıştır (Chavan ve ark., 2018; Mahato ve ark., 2020; Tocmo ve ark., 2020). Yapılan pek çok çalışmada yüksek miktarda fenolik bileşikler, karotenoidler, askorbik asit, uçucu yağlar, pektin, diyet lifi gibi biyoaktif bileşenlerin içeriği ve antioksidan, antimikrobiyal, antifungal, antiobezite özellik gösteren biyoyararlılığı ile turunçgil meyvelerinin yan ürünlerinin katma değerli bir bileşen olarak kullanımı araştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda, turunçgil yan ürünlerinin çeşitli fonksiyonel gıdaların formülasyonunda, kozmetik ürünlerinde, nutrasötik gıdalarda, eczacılıkta veya bazı hastalıkların önleyici tedavilerinde kullanılabileceği, bu sayede doğal gıda kaynaklarından maksimize şekilde faydalanılabileceği, sentetik kimyasalların kullanımının azaltılabileceği ve atıkların neden olduğu kirlilikten çevrenin korunabileceği belirtilmiştir (Al-Juhaimi, 2014; Sharma ve ark., 2016; Mahato ve ark., 2018; Gomez-Mejia ve ark., 2019; Singh ve ark., 2020).

Turunçgil kabukları pektin eldesinde kullanılmaktadır. Ticari pektinin %70'i turunçgil kabuklarından ekstrakte edilmektedir. Turunçgil kabukları kuru ağırlıklarının %20-30'u oranında pektin içermektedir (Shan, 2016). Kohajdova ve ark., (2011) turunçgil (portakal ve limon) yan ürünlerinin diyet lifi preparatlarının farklı oranlarda ilavesi ile bisküvi üretiminde kullanımını araştırmışlardır. Ham diyet lif içeriğinin limon için %56.5, portakal için %63.4 olduğu belirtilmiştir. Çalışma sonunda, turunçgil yan ürünlerinin ham diyet lif ve pektin için iyi bir kaynak olduğunu,

yüksek su tutma kapasitesi ve şişme kapasitesi değerine buna karşılık düşük yağ emme kapasitesine sahip olduğunu raporlayarak bisküvi ve diğer fırıncılık ürünlerinde fonksiyonel bir bileşen olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Türksoy (2011) portakal, limon, greyfurtun dahil olduğu meyve ve sebze lif konsantrelerinin iki farklı un çeşidine farklı oranlarda ilavesi ile elde edilen hamurun reolojik özellikleri ve bisküvi kalitesine etkisini araştırmıştır. Her iki un çeşidinden elde edilen bisküvilerde artan diyet lif oranına bağlı olarak toplam çözünür ve çözünmez diyet lif miktarlarında artış gözlenmiştir. Karaman (2016) tez çalışmasında turunçgil endüstrisi yan ürünü olan çekirdeklerden diyet lif elde edilmesi ve diyet lifin kraker üretiminde kullanılmasını incelemiştir. Yapılan çalışmada, turunçgil çekirdeklerinin %82.53-89.01 arasında diyet lif içeriği ile önemli diyet lif kaynağı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca turunçgil çekirdek liflerinin ilave edildiği kraker örneklerinin, turunçgillere özgü flavonoidlerce zengin olduğu belirlenmiş ve bu örneklerin fonksiyonel gıda özelliğine sahip olduğu belirtilmiştir.

Turunçgil kabuklarından uçucu yağlar ekstrakte edilmektedir. Kabuk, yağ ağırlığının ~%0.5-2 oranında uçucu yağ içermektedir (Shan, 2016). Limon uçucu yağı, koku ve aroma verici olarak aynı zamanda antimikrobiyal, antifungal, antioksidan vb. aktivitesi sebebiyle doğal koruyucu olarak gıda ve içecek endüstrisinde kullanılmaktadır. Dhanavade ve ark., (2011) limon (*Citrus Lemon L.*) kabuğu ekstraktının antimikrobiyal aktivitesi üzerine çalışmış, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Micrococcus aureus* gibi cilt florasında bulunan mikroorganizmalara karşı etkili olduğunu belirtmiştir. Limon meyvesi ekstraktı ve limon yağının akneli ciltlerdeki pozitif etkileri sebebiyle kozmetik endüstrisinde kullanımı mevcuttur. Limon yağı aynı zamanda antibiyotik ve tatlandırıcı özelliğinden dolayı şampuan, diş macunu, dezenfektan gibi ürünlerin formülasyonuna eklenmekte; antioksidan etkisi sebebiyle yaşlanma karşıtı ürünlerde ve C vitamini içeriği ile dermokozmetik ürünlerde kullanılmaktadır (Klimek-Szczykutowicz ve ark., 2020).

Limon kabuğunda bulunan önemli biyoaktif bileşenlerden olan hesperidin, vücuttaki kolesterolü düşürücü, antivirüs ve bağışıklığı artırıcı fonksiyonlara sahiptir. Gıda, tıp ve kozmetik endüstrisinde önemli bir hammaddedir. Neohesperidin ise turunçgil kabuğunda bulunan tatlı bir maddenin öncüsüdür. Neohesperidinin hidrojenasyonu ile elde edilen neohesperidin dihidrokalkon maddesinin tatlılığı

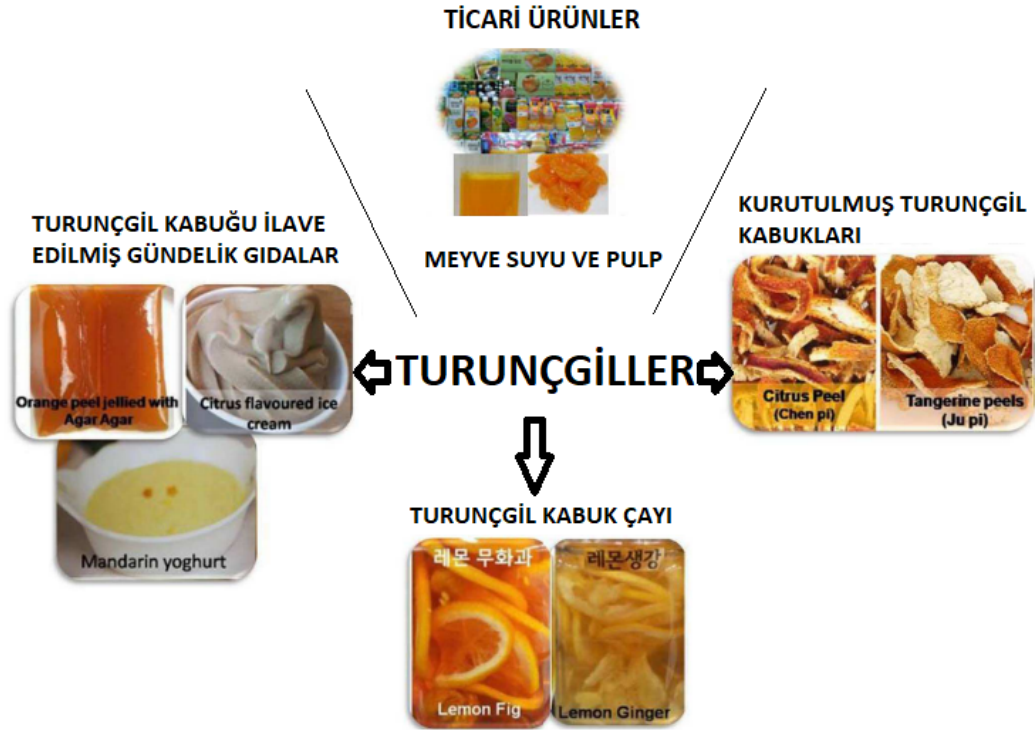
sükrozdan 1500-1800 kat daha fazladır. Bu özelliği sayesinde gıda, içecek ve ilaç sanayinde tatlandırıcı olarak kullanılmaktadır. Diğer bir biyoaktif bileşen ise naringindir. Naringin, doğal renk maddesi, tat artırıcı ve acılık maddesi olarak gıda ve içecek üretiminde kullanılmaktadır (Shan, 2016).

Kabukta bulunan biyoaktif bileşenlerin ekstrakte edilmesinden sonra geriye kalan posa, biyobozunur paketleme malzemesi olarak işlenmektedir. Bu sayede, atık olarak meydana gelen kabuklar yeniden değerlendirilmekte ve doğada doğal olarak bozunabilen bir malzeme olduğu için de evre kirliliği azaltılmaktadır (Shan, 2016). Turunçgil endüstriyel atıkları, gıda ile uyumlu kraft kağının işlenmesi, biyolojik olarak parçalanabilen paketlerin, kapsülleyici ajanların geliştirilmesi ve aktif karbonun hazırlanması için de kullanılabilir (Chavan ve ark., 2018).

Yapılan çalışmalarda ayrıca turunçgil atıklarının, ağır metallerin ve boyaların uzaklaştırılması için biyosorbentler üretmek, nanomateryal sentezlemek, organik gübre, biyoyakıt, endüstriyel enzimler veya etanol, sitrik asit gibi farklı fermentatif ürünler üretmek için kullanılabileceği bildirilmiştir (Chavan ve ark., 2018; Satari ve ark., 2018). Araştırmacılar, turunçgil atıklarını yüksek katma değerli ürünlere dönüştürmek için yöntemler geliştirmenin yollarını aramaya devam etmektedir.

2.2.1 Turunçgil Kabuğu Tozlarının Gıdalarda Kullanımı

Turunçgil meyvelerinin kabuk kısmı bitki ayı olarak veya kurutularak tüketilebilmektedir (şekil 2.3). Turunçgil kabukları şekerleme yapımında hammadde olarakta kullanılmaktadır. Turunçgil kabukları ile hazırlanan şekerlemeler yumuşak dokulu, sarımsı renkte ve şeffaftırlar (Shan, 2016). Bunların dışında kurutma ile elde edilen turunçgil kabuğu tozları, yenilikçi gıda formülasyonları için bir bileşen olarak kullanılabilir.



Şekil 2.3 Turunçgil atıklarının gıda alanında değerlendirilmesi (Mahato ve ark., 2018)

Literatürde turunçgil kabuğu tozunun ekmek, kek, köfte, tereyağı, yoğurt, dondurma gibi farklı gıdaların hazırlanmasında kalite zenginleştirme amacıyla kullanıldığı çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Han ve ark., 2021; Trigo ve ark., 2020; Iriundo-DeHond ve ark., 2018; Saraç ve Doğan, 2016).

Demirel (2017) dört farklı turunçgilden (portakal, mandalina, limon ve greyfurt) elde edilen albedoların bisküvi üretiminde kullanımını araştırmıştır. Turunçgil albedoları dört farklı oranda (%2.5, 5, 7.5, 10) bisküvi ununa ikame olarak kullanılmıştır. Elde edilen bisküvilerde yapılan fiziksel, kimyasal ve duyu analizler sonucunda turunçgil albedosu ilavesinin bisküvilerin besinsel ve kimyasal özelliklerini geliştirdiğini belirtmiştir. Demir ve Olcay (2020) yapmış oldukları çalışmada üç farklı turunçgilden (portakal, limon, mandalina) elde edilen albedoları kurutup öğütürerek, ekmek üretiminde kullanımlarını araştırmışlardır. Ekmeklerde yapılan fiziksel, kimyasal ve duyu analizler sonucunda albedo ilavesinin ekmeğin duyu özelliklerini düşürdüğü, besleyici ve teknolojik özelliklerini ise artırdığını raporlamışlardır.

Çizelge 2.4'te turunçgil kabuklarının kurutulması ile elde edilen toz ürünlerin gıdalarda kullanımına ilişkin literatürde yapılmış olan çalışmalardan bazıları yer almaktadır.

Çizelge 2.4 Turunçgil kabuğu tozlarının gıdalarda kullanımı

| Gıda | Turunçgil Yan Ürünü | Kurutma Yöntemi | Referans |
|--------------|--|---------------------------|--------------------------|
| Ekmek | Portakal kabuğu tozu | Dondurarak kurutma | Han ve ark., (2021) |
| Kek | Mandalina kabuğu tozu Portakal kabuğu tozu | Fırında kurutma (40-70°C) | Marey ve Shoghy (2016) |
| Kek | Portakal kabuğu tozu | Fırında kurutma (65°C) | Oliveira ve ark., (2016) |
| Kek (Kapkek) | Portakal kabuğu tozu | Dondurarak kurutma | Benjamin ve ark., (2007) |
| Marmelat | Portakal kabuğu tozu | Fırında kurutma (35°C) | Sicari ve ark., (2017) |
| Yoğurt | Portakal yan ürünleri tozu (kabuk, pulp, çekirdek) | Tünel kurutucu | Yi ve ark., (2014) |
| Bisküvi | Turunçgil (portakal, mandalina, limon ve greyfurt) albedo tozu | Kabinde kurutma (80°C) | Demirel (2017) |
| Ekmek | Turunçgil (portakal, limon ve mandalina) albedo tozu | Kabinde kurutma (80°C) | Demir ve Olcay (2020) |

2.3 Gıdalarda Kurutma İşlemi

Gıdaların kurutulması işlemi, insanın doğadan öğrendiği ve bu nedenle ilk çağlardan beri uygulanan en eski koruma yöntemidir (Cemeroğlu, 2013b). Kurutma, gıda maddesinin yapısında bulunan suyu uzaklaştırmak için kontrollü ısı uygulanması işlemidir. Kurutmada genel kural suyun buharlaştırılarak uzaklaştırılması iken dondurarak kurutma yönteminde su, süblimasyonla uzaklaştırılır (Cemeroğlu, 2013a). Kurutma işlemi, gıda endüstrisinde büyük bir role sahiptir. Meyveler, sebzeler, baharatlar gibi yüksek nem içeriğine sahip (>%80) gıda ürünlerine uygulanmaktadır (Moses ve ark., 2014).

Pek çok gıda koruma yöntemi arasında kurutma, gıda maddesinin su aktivitesinin (a_w) düşürülmesiyle mikroorganizma faaliyeti ve enzim aktivitesi inhibe edildiği için kesin bir koruma sağlayarak raf ömrünü uzatır (Cemeroğlu, 2013a). Kurutulmuş gıdalar diğer yöntemlerden farklı olarak besin değerleri açısından yoğunlaştırılmış bir nitelik kazanmıştır. Ayrıca, en ucuz koruma yöntemidir.

Uygulama esnasında daha az işçilik ve ekipman gerektirir, ürünün ağırlık ve yığın (bulk) yoğunluğu azaltıldığı için depolama ve taşıma maliyeti daha düşüktür (Cemeroğlu, 2013b).

Kurutma işleminin, kurutulacak olan ürünün miktar ve çeşidine, uzaklaştırılmak istenilen suyun miktarına, kurutulmuş üründe istenilen kalite veya fonksiyonel özelliklere göre çok sayıda kullanımı mevcuttur (Bonazzi ve ark., 2011).

Kurutma işlemi, doğal kurutma ve yapay kurutma olarak farklı şekillerde uygulanmaktadır. Doğal kurutmada güneş enerjisinden faydalanılarak gıda maddesinin su içeriği azaltılmaktadır. Bu yöntem bilinen en geleneksel ve ucuz yöntem olmasıyla birlikte her bölgenin yeterli iklim şartlarına sahip olmaması kurutma esnasında hijyenik koşulların kontrolünün olanaksızlığı, geniş kurutma alanları gerekliliği, kurutma süresinin uzunluğu ve kurutulan ürünün çeşitli zararlılara maruz kalması ve kirlenmesi gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Bu nedenle farklı pek çok kurutma yöntemi geliştirilmiştir. Yapay kurutmada, gıda maddesi kapalı ortamda ve kontrol edilebilir şartlarda kurutulmaktadır. Bu sayede işlem süresi kısaltmakta, işlem kaliteli ve temiz yapılmakta ve son üründe istenilen nem seviyesi sağlanmaktadır (Cemeroğlu, 2013b; Uysal, 2019).

Yapay kurutma işleminde, kurutulması istenen maddenin suyunun uzaklaştırılması için gerekli olan ısı üç farklı yöntemle taşınmaktadır; iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve radyasyon (ışınım). Isının iletim ve taşınım ile sağlandığı geleneksel kurutma yöntemlerinde, kurutma hızı, difüzyon yoluyla maddenin iç kısmından buharlaşarak yüzeye ulaştırılan su veya diğer çözücülerin oranıyla sınırlıdır. Difüzyon yolunun uzun ve zor olması ile kapiler etkiye bağlı olarak kurutma yavaşlamakta ve süre uzamaktadır. Ortam sıcaklığının artırılarak yüzeyin daha hızlı ısınmasını sağlayarak kurutma işlemi bazen hızlandırılabilir bu durum sınırlıdır. Ayrıca, çok hızlı kurumayla yüzeyde aşırı kuruma, sertleşme veya çatlama olabilmektedir (Datta, 2001).

Geleneksel kurutma yöntemlerinde sürenin uzun olması, yüksek enerji kullanımı ve son üründe düşük kalite özelliklerinin oluşması alternatif kurutma yöntemlerinin araştırılmasına neden olmuştur (Moses ve ark., 2014). Mikrodalga ile

kurutma ve infrared kurutma, ısının ışınım yolu ile iletildiği alternatif kurutma yöntemleri olarak ortaya çıkmıştır.

2.3.1 Mikrodalga ile Kurutma

Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumda radyo dalgaları ile kızılötesi arasındaki bölgede bulunan iyonize olmayan dalgalardır. Mikrodalgalar 300MHz ile 300GHz frekans aralığında yer alırlar ve dielektrik özelliği olan maddeler bu aralıkta ısıtılabilir. Gıda maddesi fırın içerisine konulduğunda elektromanyetik dalga enerjisi gıda maddesi içerisinde bulunan su moleküllerine, iyonlara (tuz, şeker) ve diğer gıda bileşenlerine (su, yağ vb.) transfer olmaktadır. Mikrodalga enerjisinin tamamı ilk etkileşimde yüzeyde bulunan su tarafından absorbe edilmemekte, gıdanın iç kısımlarına nüfus etmektedir. Absorblanan bu enerji ısı enerjisine dönüşmektedir. Mikrodalga ile ısıtmada yalnızca yüzeyde değil gıdanın iç kısımlarında da ısınma meydana gelir (Datta, 2001).

Kurutma işlemi, mikrodalga enerjisinin başarılı kullanım alanlarından biridir. Mikrodalga ile kurutmanın en büyük avantajı hızlı olmasıdır. Mikrodalga ile kurutma işleminde, yüksek frekanslı elektromanyetik enerji üstün penetrasyon yeteneği sayesinde buharlaşma oranını artırmakta ve kurutma işlemini hızlandırmaktadır. Madde içerisindeki sıvı fazdaki su ve diğer çözücülerin elektromanyetik enerjiyi absorbe edebildikleri ölçüde bu enerji nemli maddeye hızlı ve verimli bir şekilde iletilmektedir. Geleneksel kurutmanın aksine bu enerji nemli maddenin tüm hacminde absorbe edilir ve böylece maddede hacimsel ısınma artar. Uygun koşullarda hacimsel ısınma ile nemli maddenin sıcaklığı kaynama sıcaklığına ulaşmaktadır. Maddenin gözeneklerinde bulunan nemin buharlaşması sonucu oluşan buhar, madde içinde basıncın artmasına neden olmakta ve böylece maddenin içerisindeki nem hızlıca yüzeye doğru hareket etmektedir (Metaxas, 1983).

Genel olarak mikrodalga ile kurutma işleminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Metaxas, 1983).

- Kurutma kinetiğinin azalan hız periyodunda daha etkilidir. Kurutma süresi %50 veya daha fazla kısaltılarak verimin artması sağlanır.

- Madde içerisindeki nemli bileşenler tarafından seçici enerji emilimi sağlanır. Nemli bölgeler kuru bölgelerden daha fazla ısınır. Bu durum geleneksel ısıtmada görülmez.

- Isı transferi hava akımından bağımsızdır ve maddenin sıcaklığı arttıkça kütle transferi hava akımından bağımsız olarak artmaktadır. Yüksek hızlı hava akışı gerekmediği için enerji tasarrufu sağlanmış olur.

- İletilen enerji maddenin tüm hacminde hızlı bir şekilde yayılır.

- Enerji temiz bir şekilde aktarılır.

- Mikrodalga sistemi geleneksel sistemlere göre daha küçültülmüştür bu sayede daha az yer kaplar.

- Nispeten daha az bakım maliyetine sahiptir.

2.3.1.1 Mikrodalgada Isıtma İşleminin Homojenliği

Mikrodalga ile ısıtma işlemini diğer geleneksel yöntemlerden ayıran en önemli özelliği hacimsel ısıtma sağlamasıdır. Bu özelliği sayesinde, diğer yöntemler ile kıyaslandığında işlem süresinin kısa olması, enerji verimliliği, üstün ürün kalitesi vb. pek çok avantaja sahiptir. Ancak, gıdaların mikrodalga ile kurutulmasında, kurutma işlemi boyunca gıda içerisindeki sıcaklık dağılımının homojen olmaması, mikrodalganın gıdaların kurutulmasında tek başına kullanımını sınırlandırmaktadır (Li ve ark., 2011).

Mikrodalga ısıtma sırasında ürün içerisindeki sıcaklık dağılımının homojenliğini etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Gıda maddesinin hacmi, yüzey alanı ve dielektrik özellikleri gibi faktörler absorblanan mikrodalga enerjisinin büyüklüğünü ve homojenliğini etkilemektedir. Absorblanan enerjinin gıda içerisinde homojen dağılımı gıda maddesinin fiziksel geometrisi ve dielektrik özellikleri ile yakından ilişkilidir. Mikrodalga ile ısıtmadaki ana problemlerden biri gıda maddesinin köşe ve kenarlarındaki yüksek yoğunluklu elektromanyetik alanlardır. Keskin yüzey ve kenarlarda gıda maddesinin fiziksel geometrisine bağlı olarak bölgesel ısınmaların meydana gelmesi sonucunda aşırı ısınma ve yanmalar meydana gelebilmektedir. Düşük dielektrik özelliğe sahip maddelerde köşe ve yüzeylerin etkisinin önemi daha düşüktür (Datta, 2001).

Gıda maddesinin mikrodalga fırın içerisindeki konumu homojen ısıtma açısından etkili bir diğer faktördür. Konum değişikçe absorblanan enerji miktarı da değişmektedir. Fırın kavitesinin boyutu ve şekli absorblanan enerjinin hem büyüklüğü hem de dağılımını etkilemektedir. Daha küçük kaviteye sahip fırınlarda absorblanan enerjinin verimliliği daha az; daha geniş fırınlar daha fazla rezonans moda sahip olduğu için enerjinin dağılımı daha yüksektir.

Mikrodalga fırında homojen ısıtma sağlanabilmesi için aşağıdaki yöntemler kullanılmaktadır.

-Mod Karıştırıcı: Mod karıştırıcı fırın içerisinde besleme kısmının yanında yer alan metalik fan kanatlarıdır. Mod karıştırıcı dalga kılavuzunda ilerleyen farklı fazlardaki elektromanyetik dalgaları kavite içerisine eşit dağıtmak amacıyla kullanılır. (Datta, 2001).

-Fırın Tasarım Değişiklikleri: Fırın tasarımında değişiklikler yapılarak elektromanyetik alan dağılımının homojenliğini artırmada önemli ilerlemeler sağlanabilmektedir. Bu konuda bazı yaklaşımlar bulunmaktadır. Örneğin, güç giriş portunun sürekli döndürülmesiyle daha fazla ısı homojenliği sağlanabilir. Başka bir yaklaşım mikrodalga ile ısıtmanın diğer ısıtma yöntemleri ile birleştirerek kullanılmasıdır. Diğer bir yaklaşım ise ısıtma işlemi esnasında mikrodalga frekansının değiştirilmesidir (Datta, 2001; Li ve ark., 2011).

-Döner Tabla: Kurutma işleminde homojen ısınma sağlamak için elektromanyetik alan enerjisinin fırın içerisindeki homojen dağılımını sağlamak tek başına yeterli değildir. Kurutulmak istenen gıda maddesinin özellikleri ve fırın içerisindeki konumu da homojen ısınmayı etkileyen faktörlerdendir. Çoğu ev tipi mikrodalga fırın içerisindeki gıda maddesinin konumunu ve hareketini sağlayan ekipman döner tabladır (Li ve ark., 2011).

Fakhouri ve ark., (1993) döner tablası olmayan ev tipi mikrodalga fırın kullanarak çeşitli soğutulmuş ve ön pişirme yapılmış dondurulmuş ürünleri, üretici talimatlarına uygun olarak ısıtmıştır. Ürünlerin sıcaklık ölçümleri için iki kenar, köşe, merkeze yakın alan ve merkez seçilmiştir. Çalışmanın sonucunda mikrodalga ile ısıtılan ürünlerin sıcaklık dağılımının homojen olmadığını ve ürünlerin bazı durumlardaki merkez sıcaklıklarının oldukça düşük olduğunu rapor etmişlerdir.

Funawatashi ve Suziki (2003) yapmış oldukları çalışmada, homojen olmayan ısı dağılımının dielektrik maddenin fırın içindeki pozisyonuna bağlı olduğunu ve bu durumun fırın içerisindeki metalik karıştırıcılar veya döner tabla ile azaltılabileceğini bildirmişlerdir.

Geedipalli ve ark., (2007) yapmış oldukları çalışmada gıda maddesinin mikrodalga ile ısıtılmasında mikrodalga fırın içerisindeki döner tablanın, sıcaklığın homojen dağılımı üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Gıda maddesinin döner tabla merkezinde 360° döndürülmesi ile fırın içerisinde sabit tutulmasının sıcaklık dağılımı üzerine olan etkileri kıyaslanmış ve sıcaklık dağılımının homojenliği çeşitli yollarla ölçülmüştür. Çalışmanın sonucunda döner tabla ile hareket eden gıda maddesinin kenarlarında aşırı ısınma meydana gelse de yüzeydeki sıcaklık dağılımının homojen olduğunu, sabit duran gıda maddesinin ise yüzeydeki tek bir bölgesinde yüksek sıcaklık yoğunlaşmasının olduğu gözlemlenmiştir. Fakat, döner tabla ile hareketin gıda maddesinin yüksekliği boyunca ölçülen sıcaklık dağılımına etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Döner tablanın gıda maddesinin sıcaklık dağılımının homojenliğini ~%40 oranında artırdığı hesaplanmıştır.

Liu ve ark., (2013) mikrodalga ısıtma işlemi esnasında dönen silindirik ve dikdörtgen prizma şeklindeki gıda maddelerinin sıcaklık dağılımını gözlemek için sonlu elemanlar yöntemi bilgisayar modellemesi kullanmışlardır. Döner tablanın dönmediği durumda, örneklerde ısının üretildiği yerde sıcaklığın hızla arttığını, silindirik şekilli örneğin iç kısımlarında ve dikdörtgensel örnekte ise alt kısımlarda sıcaklığın düşük kaldığı bildirilmiştir. Tüm çalışmada döner tabla hızı 30°s⁻¹ olarak belirlenmiştir. Döner tablanın kullanıldığı mikrodalga ısıtmalarda, sıcaklık dağılımının daha homojen olduğunu fakat döndürmenin örneğin yüksekliği boyunca oluşan sıcaklık dağılımına etkisinin olmadığını raporlamışlardır.

Döner tabla yerine dönme etkisi sağlayan farklı elementlerle modifiye edilmiş mikrodalga sistemlerinde, sıcaklık dağılımına dönme hareketinin ve dönüş hızının etkilerinin araştırıldığı çalışmalar da mevcuttur (Wang ve ark., 2009; Topçam ve ark., 2020).

-Güç Çevrimi- Sistemi yeniden başlatma (Power Cycling): Güç çevrimi ısınmanın homojenliğini artırmak için kullanılmaktadır. Çoğu durumda, güç

çevriminin bir bölümünde mikrodalga gücü açılır, kalan kısmında kapatılır. Böylece, gıda maddesindeki soğuk bölgelerin, daha sıcak bölgelerdeki ısının difüzyonuyla ortalama sıcaklığa gelmesi için zaman sağlanmaktadır. Fakat bu işlem ısınma oranını düşürmekte ve kısmi negatif etkileri olabilmektedir.

-Aktif Mikrodalga Paketleme: Susceptor film ve alüminyum folyo yansıtıcı gibi aktif mikrodalga paketlemelerinin kullanımı ısınma biçimini büyük ölçüde değiştirebilmektedir. Bu paketlemeler, sıcaklık dağılımının homojenliğini artırmak veya gıdanın farklı bileşenlerinde seçici ısınmayı sağlamak amacıyla mikrodalga alanında değişiklik yaparak mikrodalga enerjisini yeniden dağıtmaktadır (Datta, 2001).

2.3.2 Turunçgil Kabuklarının Kurutulması

Turunçgil kabukları, düşük su aktivitesi ve yüksek lif içeriğine sahip toz ürün elde etmek için kurutulmaktadır.

Kurutma yöntemi ve işlem parametreleri nihai ürünün kalitesi açısından çok önemlidir. Farklı kurutma uygulamalarının turunçgil kabuklarının çeşitli özellikleri üzerindeki etkilerini araştıran çok sayıda çalışma vardır. Yapılan çalışmalarda mikrodalga kurutma işleminin portakal kabuğu (Özcan ve ark., 2020; Farahmandfar ve ark., 2020a; Abou Arab ve ark., 2017; Mahmoud ve ark., 2015; Ghanem ve ark., 2012; Bejar ve ark., 2011b), pomelo kabuğu (Tuncer ve ark., 2020; Kirbas ve ark., 2019), mandalina kabuğu (Ghanem ve ark., 2012; Abou Arab ve ark., 2017; Mahmoud ve ark., 2015) yuzu kabuğu (Assefa ve Keum, 2017) ve limon kabuğu (Ghanem ve ark., 2012, 2020; Ozcan ve ark., 2020; Tekgül ve Baysal, 2018; Abou Arab ve ark., 2017) gibi farklı turunçgil meyve kabuklarının kurutulmasında kullanıldığı görülmektedir.

Limon kabuğunun kurutulmasına ilişkin literatürde yapılmış olan çalışmalar Çizelge 2.5'te verilmiştir.

Çizelge 2.5 Limon kabuğunun kurutulması ile ilgili çalışmalar

| Materyal | Kurutma Metodu | Kurutma Parametreleri | Referanslar |
|--|---|---|------------------------|
| <i>C. limon</i> cv. Lunari kabuğu | Mikrodalga kurutma (MK) | MK: 120, 180, 300, 450 ve 600W (2450MHz) KK: 40, 50 ve 60°C, hava hızı: 1.5m/s IRK: 40, 50 ve 60°C | Ghanem ve ark., (2020) |
| | Konvektif kurutma (KK) | | |
| | Infrared kurutma (infrared nem analizi ile) (IRK) | | |
| Limon kabuğu | Sıcak hava kurutma (SHK) | SHK: 60°C | Ozcan ve ark., (2021) |
| | Mikrodalga kurutma (MK) | MK:940W | |
| | Infrared kurutma (IRK) | IRK: 70°C | |
| Sweet lime (<i>C. limetta</i>) kabuğu | Ozmotik kurutma (OK) | OK: sükröz, maltodekstrin ve stevia (50° Brix) çözeltileri | Kumari ve ark., (2020) |
| | ardından konvektif kurutma (KK) | 40°C, 2,4,6,8 sa | |
| | Ultras ses destekli ozmotik kurutuma (UDOK) ardından konvektif kurutma (KK) | UDOK: 33kHz benzer çözeltiler 40°C, 2.5 ve 10 dk KK: 2 m/s hava hızı ile 45°C | |
| <i>C. limon</i> (L.) Burm. F. (Lamas lemon) kabuğu | Vakumlu mikrodalga kurutma (VMK) | 334-584W 752-874 mbar | Tekgül & Baysal (2019) |
| <i>C. limon</i> (L.) Burm. F. (Lamas lemon) kabuğu | Microwave kurutma (MK) | MK: 120W (2450MHz) SHK: 68.91°C, 1.8m/s AHK: 25-30°C, %33 RH (laboratuvar) DK: -70°C, 0.125mbar | Tekgül & Baysal (2018) |
| | Sıcak hava kurutma (SHK) | | |
| | Açık hava kurutma (AHK) | | |
| | Dondurarak kurutma (DK) | | |
| <i>C. limon</i> (L.) Burm. F. kabuğu | Sıcak hava kurutma (SHK) | SHK: 60°C | Zhang ve ark., (2018b) |
| | İnfrared kurutma (IRK) | IRK: 60°C | |
| | Doğal kurutma (DK) | DK: 23-29°C | |
| Limon (<i>Citrus limon</i>) kabuğu | Sıcak hava kurutma (SHK) | SHK: 40, 50, 60°C MK: 90, 180 ve 360W | Uysal (2019) |
| | Mikrodalga kurutma (MK) | | |
| | Sıcak hava-mikrodalga kombinasyonu kurutma (SH-MKK) | | |

Çizelge 2.5 Limon kabuğunun kurutulması ile ilgili çalışmalar (devamı)

| Materyal | Kurutma Metodu | Kurutma Parametreleri | Referanslar |
|---|---|---|------------------------------|
| <i>C. limon</i> kabuğu | Mikrodalga kurutma (MK) Güneşte kurutma (GK) Fırında kurutma (FK) | MK: 900W, T: 40°C GK: 40°C FK: 40°C | Abou Arab ve ark., (2017) |
| <i>C. limon</i> Kabuğu | Sıcak hava kurutma (SHK) Vakum kurutma (VK) Dondurarak kurutma (DK) | SHK: 70, 90, 110°C VK: 70, 90, 110°C DK: - | Papoutsis ve ark., (2017) |
| Limon (<i>C. limon</i> . v. Lunari) kabuğu | Ozmotik kurutma (OK) ardından konvektif kurutma (KK) | OK: sükröz çözeltisinde (%50 ve 70 w/w), 30 ve 50°C, 2 sa KK: 40 ve 60°C, Hava hızı: 1.5 m/s | RomDhane ve ark., (2016) |
| <i>C. limon</i> cv. Lunari kabuğu | Konvektif kurutma (KK) | T:40, 50, 60°C Hava hızı: 1.5 m/s Ortam havası: %4-16 RH | RomDhane ve ark.,(2015) |
| <i>C. limon</i> cv. Lunari kabuğu | Mikrodalga kurutma (MK) | 100, 180, 300, 450 ve 600W (2450 MHz) | Ghanem ve ark., (2012) |
| <i>C.limon</i> var. Fino kabuğu | Konvektif kurutma (KK) Ultrases destekli konvektif kurutuma (UDKK) | -KK:40°C; Hava hızı: 1 m/s -UDKK: KK+ US (Güç yoğunluğu: 4-37kW/m ³) | Garcia-Perez ve ark., (2009) |
| Limon kabuğu | -Laboratuvar testleri: Tepsi kurutucu (TK) -Pilot tesis testleri: Akışkan yataklı kurutucu (AYK) | TK: Kabuk boyutu:3, 6, 9 mm; T: 100 ve 150°C (AYK): Kabuk boyutu: 9 mm Hava hızı: 3.5 m/s T: 150°C | Carsky (2008) |

2.3.3 Kurutma Kinetiği

Kurutma kinetiğinin belirlenebilmesi için gıdanın nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimine ait eğriler elde edilmelidir (Ghanem ve ark., 2020). Kurutma kinetiğinin anlaşılması, kurutma işlemlerinin kontrolüne ve optimizasyonuna yardımcı olur.

Kurutma kinetiği, kurutma yöntemi, kurutma işlemi parametreleri, malzemenin fiziksel yapısı ve kimyasal bileşimi gibi faktörlerden etkilenir (Srikiatden ve Roberts, 2007). Bazı araştırmacılar, farklı kurutma yöntemlerinin turunçgil kabuklarının kuruma özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Turunçgil kabuklarının kuruma süresi, kurutma yönteminden önemli lde etkilenmiştir. Xu ve ark., (2017) mandalina kabuğunun kızılötesi kurutma (60-90°C) ile kurutulmasının, sıcak hava ve vakumlu kurutmaya (60-90°C) kıyasla kuruma süresinde %45-73 oranında azalma sağladığını belirtmişlerdir.

Ghanem ve ark., (2020) mikrodalga kurutmanın, kızılötesi kurutma ve sıcak havayla kurutmaya kıyasla limon kabuğunun kuruma süresini kısaltmada daha etkili olduğunu bildirmiştir. Bu bulgu, vakumlu mikrodalga kurutma ile portakal kabuğunun kuruma süresinin, vakumlu kızılötesi ve tepsili kurutmaya kıyasla sırasıyla yaklaşık %80 ve %93 oranında azaldığını bildiren Bozkır ve ark., (2021)'nin sonuçlarıyla örtüşmektedir. Kırbaş ve ark., (2019) pomelo kabuğunun albedo kısımlarını mikrodalga, konveksiyon ve dondurarak kurutma ile kurutmuş ve mikrodalga kurutmanın en kısa kuruma süresini sağladığını belirtmişlerdir. Bu beklenen bir sonuçtur nk mikrodalga kurutmanın, kurutma işleminin özellikle azalan hız periyodunda yüksek kurutma hızı sağladığı bilinmektedir. Farklı bir çalışmada, Talens ve ark., (2016) sıcak havayla kurutma (55°C) sırasında mikrodalga uygulamasının, portakal kabuğunun kuruma hızını arttırdığını gözlemlemiştir.

Turunçgil kabuklarının dondurularak kurutulması, sıcak havayla kurutmaya göre daha uzun srmştir (Mello ve ark., 2020; Kırbaş ve ark., 2019; Xu ve ark., 2017). Abd Rahman ve ark., (2016) pomelo kabuklarının flavedo ve albedo kısımlarının nem içeriğinin 60°C'de 24 saat konveksiyon fırınında kurutulduktan sonra sırasıyla %5.15 ve %5.88'e düştüğünü, 96 saat dondurarak kurutmadan sonra ise sırası ile %9.3 ve %8.6'ya düştüğünü göstermişlerdir.

Uysal (2019) limon ve portakal kabuklarının sıcak hava, mikrodalga ve sıcak hava-mikrodalga kombinasyonu ile kurutulması üzerine bir çalışma yapmış ve bu çalışma sonucunda elde ettiği verilere göre mikrodalga'nın sıcak havayla birlikte kullandığında örneklerin kurutma hızını artırdığını, kuruma süresini kısalttığını ve ürün kalitesine etki ettiğini tespit etmiştir. Ayrıca kurutmayla birlikte elde ettiği veriler doğrultusunda limon ve portakal kabuğunun kurutma kinetiğini 5 farklı matematiksel model ile değerlendirmiştir. Bu modeller arasında limon ve portakal kabuğunun kurutma kinetiğini en iyi ifade eden modelin Page ve Modifiye Page modeller olduğu sonucuna varmıştır.

Kurutma sıcaklığı, turunçgil kabuklarının kuruma hızı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Wang ve ark., 2021; Deng ve ark., 2019; Marey ve Shoughy, 2016; Tasirin ve ark., 2014). Beklendiği gibi, daha yüksek sıcaklıklarda, kuruma süresi kısalmıştır. Garau ve ark., (2007) tarafından, sıcak havayla kurutma sıcaklığının 30°C'den 70°C'ye yükseltilmesiyle portakal kabuğunun kuruma süresinin 8.3 saatten 1.75 saate düştüğü belirlenmiştir.

Bejar ve ark., (2011a) yaptıkları çalışmada, portakal kabuğunun kızılötesi kurutma yöntemi ile kurutulması sırasında, sıcaklığın 30°C'den 70°C'ye çıkartılmasıyla kuruma süresinde %61 azalma tespit etmişlerdir. Ayrıca portakal kabuğunun albedo kısmının flavedo kısmından daha hızlı kuruduğunu belirtmişlerdir. Tepsili kurutma ile kurutma işlemi sırasında sıcaklığın 100°C'den 150°C'ye çıkarılması, limon kabuklarının kuruma süresinde kabuk boyutuna bağlı olarak, %33-50 oranında azalma sağlamıştır (Carsky, 2008).

Bazı araştırmacılar, kabuk kalınlığının kuruma hızı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Tuncer ve ark., (2020) pomelo kabuğunun kalınlığının 1 cm'den 0.5 cm'ye düşürülmesinin mikrodalga, konveksiyon ve dondurarak kurutma hızında yaklaşık %25 artış sağladığını belirtmiştir. Bir diğer çalışmada, Kırbaş ve ark., (2019) daha düşük kalınlıkta pomelo kabuğu için daha kısa kuruma süreleri kaydetmiştir.

Turunçgil kabuklarının dehidrasyon oranının, artan mikrodalga güç seviyesi ile arttığı rapor edilmiştir (Bejar ve ark., 2011b; Ghanem ve ark., 2012, 2020; Shu ve ark., 2020).

2.3.3.1 Kurutma Kinetiğinin Matematiksel Modellenmesi

Kurutma işlemi sonrası son ürün kalitesini optimize etmek için genellikle modelleme araçları kullanılmaktadır. Modellerler, kurutma işlemi boyunca zaman, sıcaklık, su içeriği ve kalite indeksi gibi kalite parametrelerinin kullanılması ile ürün geçmişini ifade edecek şekilde oluşturulurlar (Bonazzi ve ark., 2011).

Farklı gıda türleri için kurutma kinetiğinin matematiksel modellenmesi birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir. Meyve ve sebzeler için ince tabaka kurutma modelleri (teorik, yarı teorik ve ampirik) geniş uygulama alanı bulmuştur (Onwude ve ark., 2016).

Kurutma eğrisi, kurutma hızının nem içeriğine veya kuruma süresine karşı grafiğidir. Kurutma eğrisi, geçici dönem, sabit hız dönemi ve bir veya daha fazla azalan hız dönemi olmak üzere üç ana aşamayı içerir. Turunçgil kabuklarının çeşitli kurutma yöntemleriyle kurutulması sırasında bazı araştırmacılar sabit kurutma hızı dönemini tespit edememiştir (Deng ve ark., 2019; Garau ve ark., 2006; Mello ve ark., 2020; RomDhane ve ark., 2015; Xu ve ark., 2017). Carsky (2008) farklı büyüklükteki limon kabuklarının kritik nem içeriğinin %58.1 ile %66.7 arasında değiştiğini ve bunun da kısa bir sabit kuruma hızı periyodunun varlığını ima ettiğini rapor etmişlerdir. Tasirin ve ark., (2014) portakal kabuğunun akışkan yataklı kurutucu ile kurutulması sırasında hem sabit hem de azalan hız dönemlerini gözlemlemiştir. Ghanem ve ark., (2012) mikrodalga kurutma sırasında turunçgil (Thompson, mandalina ve limon) kabuklarının kuruma hızında başlangıçta hızlı bir artış ve ardından bir düşüş tespit etmiştir. Bu ilk artış, hacimsel ısınmanın neden olduğu hücre parçalanması nedeniyle artan kütle transfer hızına bağlanmıştır.

Turunçgil kabuklarının nem içeriği ile kuruma süresi arasındaki ilişkiyi açıklamak için bazı yarı teorik ve ampirik modeller uygulanmıştır. Farklı kurutma yöntemleri için, Page modeli deneysel verilere iyi uyum sağlamıştır. Bejar ve ark., (2011b) portakal kabuğunun mikrodalga kurutma kinetiğinin, tüm güç seviyelerinde (100-800W), Page modeli ile iyi tanımlandığını belirtmiştir. Mandalina kabuklarının mikrodalga vakumlu kurutması (600W) sırasında, Page modeli 9 farklı ince tabaka modeli içinde deneysel verilere en iyi uyumu göstermiştir (Shu ve ark., 2020). Farklı

bir çalışmada, Page modeli, limon kabuklarının sıcak hava ile kurutulması sırasında elde edilen deneysel verilere iyi bir uyum sağlamıştır (Kumari ve ark., 2020).

Ampirik Weibull modelinin, çeşitli kurutma işlemleri sırasında portakal ve mandalina kabuklarının dehidrasyon davranışını tanımlamak için uygun bir model olduğu gösterilmiştir (Deng ve ark., 2019; Mello ve ark., 2020; Wang ve ark., 2021). Midilli ve Küçük modeli portakal kabuklarının akışkan yataklı kurutma kinetiğini tanımlamada, 9 farklı ince tabaka modeli içerisinde en uygun model olarak seçilmiştir (Tasirin ve ark., 2014).

2.3.4 Kurutma İşleminin Gıdaların Kalite Parametreleri Üzerine Etkileri

Kurutma işlemi, gıdalarda kullanılan en önemli koruma yöntemlerinden biridir. Fakat, işlem esnasında gıda maddeleri uzun süre ısıya maruz kalmakta ve kalite özellikleri bu durumdan olumsuz etkilenmektedir (Maskan, 2001). Kurutulmuş ürünlerde genellikle efektif nem difüzyonu, özgül ısı ve denge nem içeriği gibi mühendislik özellikleri ile yapısal (yoğunluk, gözenek boyutu vb.), tekstürel, optik (renk), duyuşal (aroma, koku vb.), besinsel (vitamin vb.) ve rehidrasyon özellikleri gibi kalite parametreleri incelenmektedir. Kurutma metodu ve kurutma işlemi esnasında meydana gelen fizikokimyasal değişiklikler kurutulmuş ürünün kalite özelliklerini etkilemektedir (Krokida ve Maroulis, 1999).

-Besinsel Özellikler: Kurutulmuş ürünlerde hem işlem esnasında hem de depolama süresince besinsel özelliklerinde kayıplar meydana gelmektedir. Parçalanmaya en eğilimli vitaminler C ve A vitaminleridir. Besinsel özelliklerin kaybı uygulanan kurutma yöntemine ve koşullarına bağlıdır. C vitamini kaybı geleneksel yöntemlerde diğer yöntemlere kıyasla daha fazladır (Cemeroğlu, 2013b).

-Yapısal Özellikler-Yığın (Bulk) Yoğunluğu (pb): Yığın yoğunluğu, herhangi bir maddenin birim hacminin ağırlığıdır ve toz haldeki veya gözenekli maddeler ile ilgilidir. Kurutma ile hacimde yeterince azalma sağlanırsa yığın yoğunluğu o seviyede artmış olur. Yığın yoğunluğunun az olduğu kurutulmuş maddelerin içinde boşluklar ve çatlaklar meydana gelmektedir. Yığın yoğunluğunun düşük veya yüksek oluşunun hem olumlu hem de olumsuz yönleri bulunmaktadır. Düşük yığın yoğunluğunda ürünün boyutu orijinaline daha çok benzemektedir, rehidrasyon yeteneği fazladır ve yüzey alanı geniş olduğu için oksidasyon riski

fazladır. Yüksek yığın yoğunluğunda ise, ürünün ambalaj, depolama ve taşınma masrafları daha azdır (Cemeroğlu, 2013b).

-Renk: Kurutma işlemi esnasında ısıya maruz kalan gıda maddesi renk bozulmalarına duyarlı hale gelmektedir. Kurutulmuş üründe renk değişiklikleri yalnızca kurutma esnasında yüzeydeki suyun buharlaşması ile meydana gelmemektedir. Enzimatik esmerleşme, enzimatik olmayan esmerleşme (Maillard) ve karamelizasyon reaksiyonları da etkilidir. Renk değişimini etkileyen diğer faktörler ise, gıdanın pH'sı, asitliği, işlem sıcaklığı ve süresi ile ağır metal varlığıdır (Krokida ve Maroulis, 1999; Maskan, 2001).

-Rehidrasyon Özellikleri: Kurutulmuş bir üründe aranan en önemli özellik kullanım esnasında verilen su ile eski haline dönüşebilme yeteneğidir. Rehidrasyon yeteneği hem parçalar halinde kurutulan ürünlerde hem de sıvı halde kurutulan 'instant' ürünlerde de önemli bir parametredir ve uygulanan kurutma işleminin koşulları ile yakında ilişkilidir (Cemeroğlu, 2013b).

-Fonksiyonel Özellikler: Kurutulmuş ürünlerin fonksiyonel özellikler yapısında bulunan diyet lif içeriğinin bir yeteneğidir. Fonksiyonel özellikler polisakkarit bileşenlerinin yapısı ile ilgilidirler ve kurutulmuş ürünün gözeneklilik, partikül boyutu, iyonik formu, pH ve sıcaklık gibi özelliklerinden etkilenmektedir. Hidrasyon özellikleri sayesinde diyet lifçe zengin olan maddeler, tekstüre edici (kıvamlaştırıcı) ve hacim artırıcı olarak kullanımlarda etkilidirler. Yağ emme mekanizması ise tam bilinmemekle beraber kurutulmuş ürünün yüzey özellikleri, toplam yük yoğunluğu ve partiküllerin hidrofobik özellikleri önemli olabilmektedir (Femenia ve ark., 1997).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu çalışmada materyal olarak kullanılan limon (*Citrus limon*) meyvesi Giresun ili meyve-sebze halinden temin edilmiştir. Mayer cinsi limon meyvesinin kabuğu kullanılmıştır. Limon kabuğu örnekleri kurutma analizlerinde kullanılabildiği kadar $4\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ sıcaklığındaki buzdolabında muhafaza edilmiştir.

3.2 Yöntem

Bu çalışmada limon kabuğu örnekleri ev tipi mikrodalga fırında (2450MHz) kurutulmuştur. Ayrıca kontrol olarak sıcak hava ile kurutma ve dondurarak kurutma yöntemleri ile kurutulmuş limon kabuğu örnekleri kullanılmıştır.

3.2.1 Kurutma Denemelerinin Yapılması

Limon meyveleri deneylerin yapılmasından önce buzdolabından çıkartılarak ortam sıcaklığına gelmesi için 2 saat bekletilmiştir. Kurutma işleminden önce limon kabukları 1 cm x 1 cm boyutlarında olacak şekilde kesilmiştir. Limon kabuğu örneklerinin kalınlığı ortalama 4 mm'dir. Kurutma işlemi, ürünün son nemi %10 (y.b.) değerine ulaşmaya kadar sürdürülmüştür. Örneklerin kurutma süresi yapılan ön denemeler ile belirlenmiş ve sonra, her koşul için 2 tekrür çalışılmıştır.

Kurutma işleminden sonra örnekler öğütücü (Sinbo, SCM-2934) yardımı ile sabit hızda 30 s süreyle parçalanarak toz haline getirilmiştir. Toz ürünün partikül boyutunun standardizasyonu için örnekler elek (40 mesh) kullanılarak elenmiştir. Yapılan kalite analizlerinde elekten geçirilen toz örnekler kullanılmıştır.

3.2.1.1 Mikrodalga Kurutma

Mikrodalgada kurutma işlemi için ev tipi mikrodalga fırın (Samsung Smart Oven, MC32F604TCT) kullanılmıştır. Mikrodalganın döner tablasının hızı ayarlanabilir olacak şekilde fırın modifiye edilmiştir. Mikrodalgada kurutma işlemi dönmenin uygulanmadığı (0 rpm) durumda ve 3 farklı dönme hızının (6.5, 9.5 ve 12.5 rpm) uygulandığı durumlarda gerçekleştirilmiştir. Limon kabuğu örnekleri tek sıra halinde yüzeyi kaplayacak şekilde 11.5 cm çapındaki bir petriye tek sıra halinde albedo yüzeyi üstte flavedo yüzeyi altta olacak şekilde dizilmiş (Şekil 3.1) ve mikrodalga kavitesi içerisinde bulunan tablanın merkezine konularak kurutma işlemleri

gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi 4 farklı mikrodalga gücü (180, 300, 450 ve 600W) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1 Limon kabuklarının dizilim şekli

3.2.1.2 Sıcak Hava ile Kurutma

Sıcak hava ile kurutma işlemi, 60°C sıcaklıkta, laboratuvar ölçekli fanlı bir etüv (Ordell OC770) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.1.3 Dondurarak Kurutma

Dondurarak kurutma işlemi, -50°C'de ve 0.1 mbar vakum basıncında laboratuvar ölçekli bir liyofilizatör (FreeZone 2.5L 7670530, Labconco) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.2 Analizler

3.2.2.1 Nem İçeriğinin Belirlenmesi

Kurutma işlemi öncesinde limon kabuğu örneklerinin başlangıç nem içeriği değerleri örneklerin 105°C sıcaklıktaki etüvde sabit ağırlığa ulaşınca kadar tutulmasıyla oluşan ağırlık kaybına göre hesaplanmıştır (Anonim, 1995).

3.2.2.2 Kurutma Kinetiği

Mikrodalgada kurutulan limon kabuğu örnekleri kurutma kinetiğinin belirlenebilmesi için sabit ağırlığa ulaşınca kadar kurutulmuştur. Kurutma işlemi süresince, örnekler belirli aralıklarla fırından çıkartılarak çok kısa süre içerisinde tartılıp tekrar fırına yerleştirilmiştir.

Kurutulan örneklerin ayrılabilir nem oranları (MR) Eşitlik 3.1 kullanılarak belirlenmiştir.

$$MR = \frac{X(t) - X_e}{X_0 - X_e} \quad (3.1)$$

Burada;

MR: Ayrılabilir nem oranı

X₀: İlk nem oranı (kg su / kg k.b.),

X_(t): Herhangi bir t anında örneğin ortalama nem oranı (kg su / kg k.b.),

X_e: Denge nem oranı (kg su / kg k.b.),

Her kurutma koşulu için denge nem oranı kuruma sonundaki nem içeriği kullanılarak elde edilmiştir.

Örneklerin kuruma davranışlarını tanımlamak üzere Çizelge 3.1'de görülen ince tabaka kuruma modelleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.1 Kuruma eğrilerine uygulanan matematiksel modeller

| Model Adı | Matematiksel İfade |
|-------------------|---|
| Newton | MR= exp (-kt) |
| Page | MR= exp (-kt ⁿ) |
| Henderson & Pabis | MR= a exp (-kt) |
| Logaritmik | MR= a exp (-kt) + c |
| İki Terimli | MR= a exp (-k ₀ t) + b exp (-k ₁ t) |

Modellere ait model sabitlerinin hesaplanması doğrusal olmayan regresyon analizi ile, MATLAB yazılımı (R2018b, Mathwork, Inc., MA, ABD) kullanılarak yapılmıştır. Seçilen modellerin uyum doğruluğunu değerlendirmek için, istatistiksel parametreler, regresyon katsayısı (R²), hata karelerinin toplamı (SSE) ve hata karelerinin ortalama karekökü (RMSE) aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır.

$$SSE = \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pred,i})^2 \quad (3.2)$$

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pred,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{mean})^2} \right] \quad (3.3)$$

$$RMSE = \left[\frac{SSE}{v} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{burada } v = N - m \quad (3.4)$$

Burada N, deneysel veri sayısıdır, m, her bir denklemde bulunan model katsayıların sayısıdır, MR_{mean}, deneysel MR değerlerinin ortalamasıdır, MR_{exp, i} ve MR_{pred}, sırasıyla deneysel ve tahmini denge nem içeriği değerleridir.

3.2.2.3 Efektif Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

Efektif difüzyon katsayısı (D_{eff}) Fick'in ikinci yasasına göre hesaplanmıştır.

$$\frac{\partial x}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{eff} \frac{\partial x}{\partial z} \right) \quad (3.5)$$

Burada;

x: Nem oranı (kg nem/ kg k.b.)

t: Süre (s)

z: Kütle akış yönünü ifade etmektedir.

Bu eşitlik, Crank (1979) tarafından azalan hız periyodu süresince bazı varsayımlar kullanılarak, dikdörtgen prizma şeklinde katılar için aşağıdaki gibi çözülmüştür (Onwude ve ark., 2016):

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp \left[-(2n-1)^2 \pi^2 \frac{D_{eff}}{4L^2} t \right] \quad (3.6)$$

Uzun kurutma süreleri için denklemin ilk terimleri (n=1) çözüm için kullanıldığında denklem logaritmik formda aşağıdaki gibi yazılır.

$$\ln MR = \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \right) - \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} t \quad (3.7)$$

Burada L, örneğin yarım dilim kalınlığıdır (m).

DeneySEL MR değerlerinin doğal logaritmasına karşılık kuruma zamanı grafiği çizildiğinde elde edilen doğrunun eğiminden D_{eff} (m^2s^{-1}) hesaplanır.

3.2.2.4 Aktivasyon Enerjisinin (E_a) Hesaplanması

Efektif difüzyon katsayısının sıcaklık ile değişimi Eşitlik 3.8 ile verilen Arrhenius tipi üstel bir fonksiyonla açıklanmaktadır. Bir prosesin aktivasyon enerjisinin yüksek olması, o prosesin sıcaklık değişimine daha duyarlı olduğunu göstermektedir (Onwude ve ark., 2016).

$$D_{eff} = D_0 \exp \left(-\frac{E_a}{R(T + 273.15)} \right) \quad (3.8)$$

Eşitlikte;

D_{eff} : Efektif difüzyon katsayısı (m^2/s),

D_0 : Sonsuz sıcaklıkta difüzyon hızına eşdeğer bir sabit (m^2/s),

E_a : Aktivasyon enerjisi (kJ/mol),

R: Gaz sabiti (8.314 kJ/mol. K) ve

T: Kurutma sıcaklığıdır ($^{\circ}C$).

Mikrodalgada sıcaklık doğrudan ölçülemez. Bu nedenle mikrodalga kurutma işleminde aktivasyon enerjisi Arrhenius denkleminin modifiye edilmiş şekli ile hesaplanmıştır. Eşitliğin modifiye edilmiş halinde, efektif difüzyon katsayısının, sıcaklık yerine, mikrodalga gücünün (P) örnek ağırlığına (m) oranı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Özbek ve Dadali 2007).

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(\frac{E_a m}{P}\right) \quad (3.9)$$

Bu eşitlikte;

E_a : Aktivasyon enerjisi (W/g),

m : Yaş ürün ağırlığı (g)

D_0 : Arrhenius denkleminin üstel katsayısı (m^2/s),

P : Mikrodalga gücü (W)'nü ifade etmektedir.

3.2.2.5 Örneklerin Yüzey Sıcaklık Dağılımının IR Termal Kamera Görüntüleme Tekniği ile Belirlenmesi

Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu örneklerinin kurutma işlemi sırasındaki yüzey sıcaklık dağılımları, IR termal kamera (Fluke PTi120) kullanılarak elde edilmiştir.

Mikrodalga ile kurutma işleminde limon kabuğu örnekleri; 180W için 2., 10., 20. ve 30.; 300W için 2., 10., 15. ve 18.; 450W için 2., 5., 10. ve 12.; 600W için 1., 2., 5. ve 8. dakikalarda fırından çıkarılarak termal görüntüsü alınmış ve tekrar fırına yerleştirilmiştir. Termal görüntüleme işlemi her güç parametresinde tüm dönme hızları (0, 6.5, 9.5 ve 12.5 rpm) için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen görüntüler Fluke SmartView (4.4.355.0) yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir.

Görüntüleme işlemi 3 paralel olacak şekilde tekrarlanmıştır.

3.2.2.6 Renk

Örneklerin taze olarak ve kurutma sonrasında L^* (açıklık-koyuluk), a^* (kırmızılık-yeşillik), b^* (sarılık-mavilik) renk değerleri enstrümantal renk tayini cihazı (Minolta CR-400, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan) ile tespit edilmiştir. Okuma aynı bölgeden üç farklı okumanın ortalaması olarak alınmıştır. Renk ölçümleri beş tekrar halinde gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.7 SEM Analizi

Kurutulmuş limon kabuğu tozu örneklerinin yapıları, taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Hitachi SU1510, Tokyo, Japan) kullanılarak incelenmiştir.

3.2.2.8 Yığın (bulk) Yoğunluğu (ρ_b)

2 gr toz örnek 10 ml'lik ölçüm silindiri içerisine konulmuş ve ölçülen hacim kullanılarak kütle/hacim eşitliğinden yığın yoğunluk hesaplanmıştır.

3.2.2.9 Sıkıştırılmış Yoğunluk (ρ_t)

2 g toz örnek 10 ml'lik ölçüm silindiri içerisine konulmuştur. Ölçüm silindiri bir yüzey üzerine 15 cm kadar yükselterek vurulmuş ve hacim okunmuştur. Son iki okuma arasındaki fark önemsiz oluncaya kadar işlem tekrarlanmıştır (Farahmandfar ve ark., 2020a). Son okunan hacim kullanılarak kütle/hacim eşitliğinden sıkıştırılmış yoğunluk hesaplanmıştır.

3.2.2.10 Carr İndeks (CI) ve Hausner Oranı (HR)

Carr Index ve Hausner oranı değerleri elde edilen yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri kullanılarak aşağıdaki eşitliklerden hesaplanmıştır (Dirim ve Çalışkan, 2012).

$$CI = \frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t} \times 100 \quad (3.10)$$

$$HR = \frac{\rho_t}{\rho_b} \quad (3.11)$$

3.2.2.11 Su Tutma Kapasitesi

Su tutma kapasitesi, bilinen diyet lif ağırlığı tarafından uygulama koşullarında tutulan su miktarını belirtmektedir (Robertson ve ark., 2000).

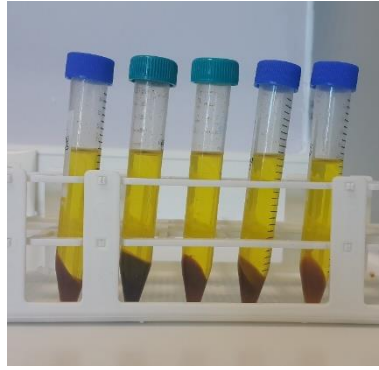
0.5 g örnek üzerine 30 ml saf su ilave edilerek karıştırılmıştır. Hazırlanan örnek karışımı 24 saat sonra 2000 g'de 25 dk santrifüj edilmiştir. Süpernatant uzaklaştırılarak tüpler tartılmıştır. Su tutma kapasitesi g su/g kuru örnek olarak hesaplanmıştır (Garau ve ark., 2007; Ghanem RomDhane ve ark., 2015).



Şekil 3.2 Soğutmalı santrifüj cihazı (Nuve, NF 800R)

3.2.2.12 Yağ Tutma Kapasitesi

0.5 g örnek 10 ml ayçiçeği yağı ile karıştırılmıştır. Hazırlanan örnek karışımı 2000 g'de 20 dk santrifüj edilmiştir. Süpernatant uzaklaştırılarak tüpler tartılmıştır. Yağ tutma kapasitesi g yağ/g kuru örnek olarak hesaplanmıştır (Garau ve ark., 2007; Ghanem RomDhane ve ark., 2015).



Şekil 3.3 Santrifüj işlemi sonrası örneklere ait görsel

3.2.2.13 pH Tayini

Limon kabuğu tozu saf su içerisinde (1:10; w:v) Ultra-Turrax (WiseTis HG-15D, Kore) ile homojenize edilmiş ve ardından pH metre (Ohaus starter 3100, USA) kullanılarak pH değerleri belirlenmiştir.

3.2.2.14 Toplam Fenolik Madde

Örneklerin toplam fenolik madde miktarları Folin-Ciocalteu kolorimetrik metodunun modifiye edilmiş şekli (Apak ve ark., 2008) kullanılarak tespit edilmiştir. 0.5 g örnek alınarak 5 ml %90'lık etanol çözeltisi ile karıştırılmıştır. Örnekler ekstraksiyon işlemi için bir çalkalayıcı (MR-12 Rocker-Shaker, Biosan) kullanılarak 1 saat boyunca karıştırılmıştır (10° eğim, 50 rpm). Tüpler, 15.000 g'de 10 dk santrifüj edildikten sonra, süpernatant alınarak analiz için kullanılmıştır. Her bir örnek, standart eğri aralığındaki absorbans okuması için %90'lık etanol çözeltisi ile seyreltilmiştir.

(1:10). 60 µl örnek, 3480 µl saf su ve 300 µl 2N Folin-Ciocalteu çözeltisi ile karıştırılmış ve 8 dk karanlık bir ortamda bekletilmiştir. Örnekler 900 µl %20'lik Na₂CO₃ çözeltisi ile karıştırılmış, 40°C sıcak su banyosunda 30 dk bekletilmiş ve spektrometrede 760 nm dalga boyunda şahit numuneye karşı okuma yapılmıştır.

Toplam fenol miktarının hesaplanabilmesi için 10-1000 ppm konsantrasyon aralığında gallik asit kullanılarak kalibrasyon eğrisi (EK 1) elde edilmiştir. Sonuçlar gallik asit cinsinden (mg GAE/100g k.b.) hesaplanmıştır.

3.2.2.15 İstatistiksel Değerlendirme

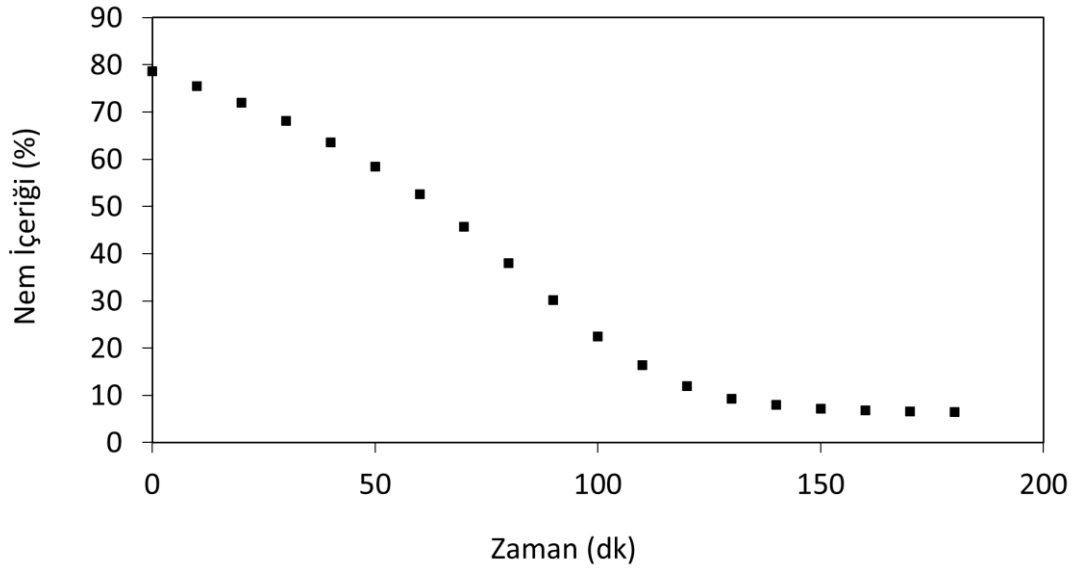
Farklı kurutma tekniklerinin etkilerinin belirlenebilmesi için, analizlerden elde edilen veriler varyans analizi (ANOVA) ile incelenecek ve grup ortalamaları arasında önemli bir fark bulunursa Tukey çoklu karşılaştırma testi ile hangi grup ortalamaları arasındaki farkın önemli olduğu ($p \leq 0.05$) tespit edilmiştir (MINITAB 17).

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1 Kuruma Eğrileri

Bu çalışmada kullanılan taze limon kabuğuna ait nem değeri 78.40 ± 0.64 (y.b.) olarak belirlenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde farklı cinsteki taze limon kabuklarına ait nem değerlerinin 84.6 (y.b.) (Carsky, 2008), 78.2 (y.b.) (Papoutsis ve ark., (2017), 75 (y.b.) (Ghanem ve ark., 2012; Tekgül ve ark., 2018), 82.1 (y.b.) (Özcan ve ark., 2020) olarak rapor edildiği görülmektedir.

Limon kabuğu örnekleri sıcak hava (60°C) ve mikrodalga kurutma ile örneklerin nem değeri yaklaşık 10 olana kadar kurutulmuştur. Limon kabuğu örneklerinin sıcak hava ile kurutulması sırasındaki nem içeriğinin zamana bağlı değişimi Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Bu kurutma yönteminde örneklerin 9.3 nem değerine düşmesi 130 dk sürmüştür.

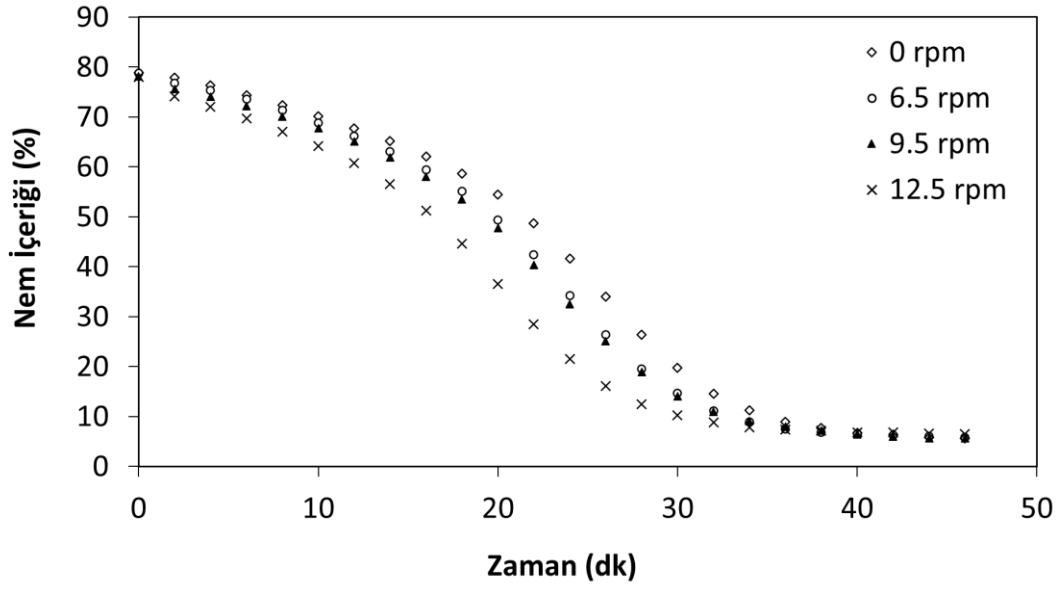


Şekil 4.1 Limon kabuğunun sıcak hava ile kurutulması sırasındaki nem içeriğinin zamana bağlı değişimi.

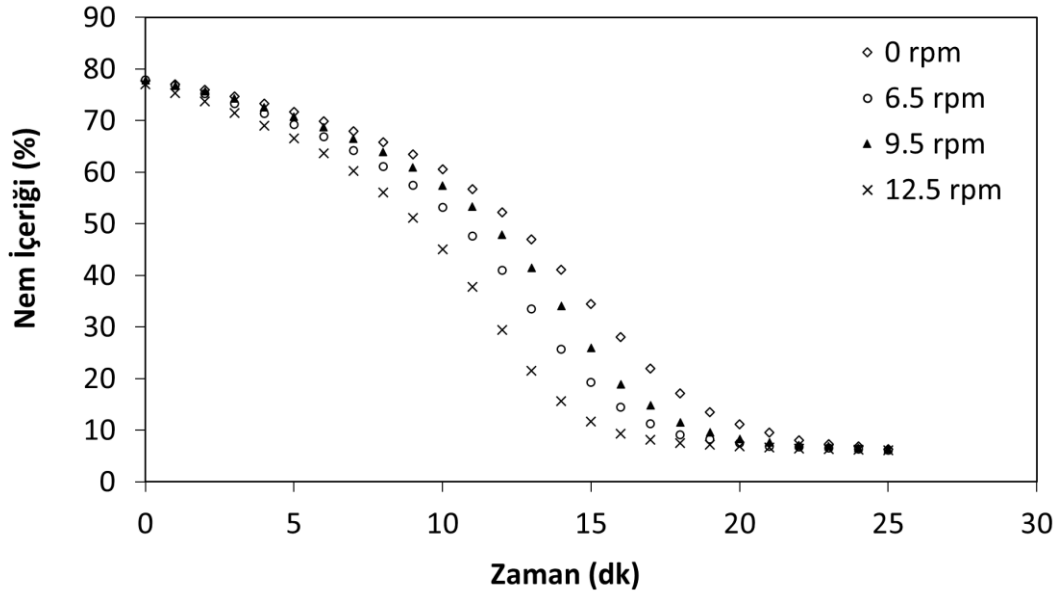
Limon kabuğu örneklerinin 180 , 300 , 450 ve 600W mikrodalga güçlerinde farklı dönme hızlarında (0 , 6.5 , 9.5 ve 12.5 rpm) kurutulması sırasındaki nem içeriklerinin zamana bağlı değişimleri sırası ile Şekil 4.2, 4.3, 4.4 ve 4.5'te gösterilmektedir. 180W mikrodalga gücünde farklı dönme hızlarında örneklerin nem değerinin 10 'un altına düşmesi $32-36$ dk arasında değişirken, bu süre 300W güç seviyesinde $16-21$ dk, 450W güç seviyesinde $9-11.2$ dk ve 600W gücünde ise $7-8.5$ dk

arasında değişmektedir. Artan güç seviyesi ile kurutma süresinin azalması beklenen bir durumdur. Benzer şekilde, Bejar ve ark., (2011b) mikrodalga (100-850W) ile kurutulan portakal kabuğunun kuruma süresinin artan güç seviyesi ile kısaltıldığını (420-6960 s) bulgulamışlardır.

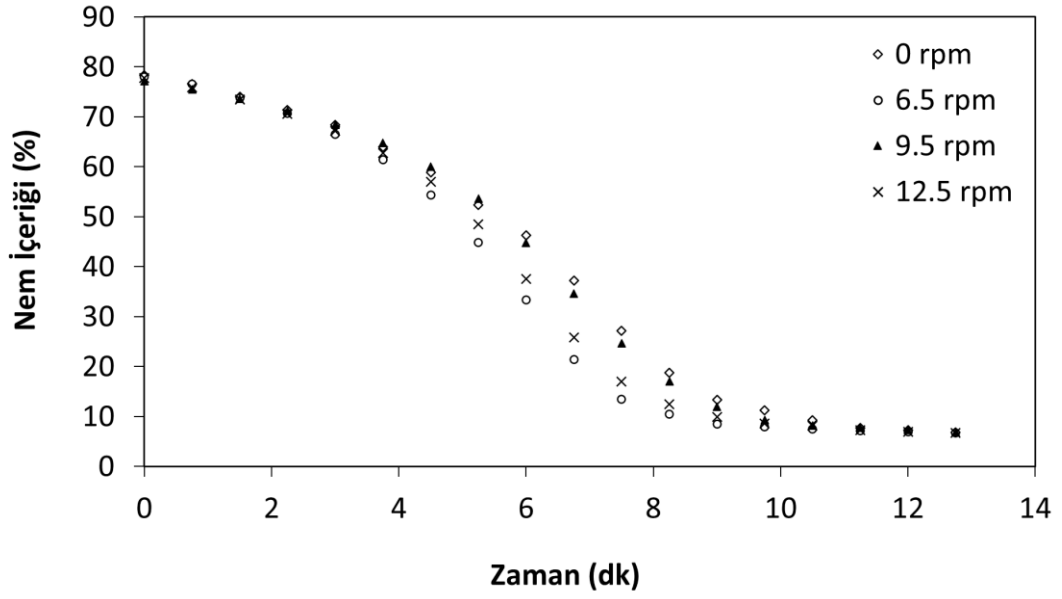
Genel olarak mikrodalga kullanımı ile limon kabuğunun kurutma süresinde sıcak hava kurutmaya kıyasla %72-95 oranında bir düşüş gözlenmiştir. Ghanem ve ark., (2020) sıcak hava kurutma (SHK) (40, 50, 60°C), infrared kurutma (IRK) (40, 50, 60°C) ve mikrodalga kurutma (MK) (100-600W) ile kurutulan limon kabuklarının kurutma sürelerini kıyasladıklarında, MK yönteminin (10-58 dk) diğer yöntemlerden (99-626 dk) daha kısa sürdüğünü belirtmişlerdir. Yine aynı çalışmada artan sıcaklık ve güç seviyesi ile birlikte kuruma sürelerinin kısaltıldığını bildirmişlerdir. M'hiri ve ark., (2018) limon kabuğunu 4 farklı kurutma yöntemi (mikrodalga (MK), konvektif (KK), infrared (IRK) ve sıcak hava-mikrodalga kombine kurutma (SHK-MKK)) ile kurutmuş ve elde edilen veriler doğrultusunda MK ve SH-MKK işlem süresinin daha kısa olduğunu ve mikrodalga güç seviyesindeki artışa bağlı olarak işlem süresinin kısaltıldığını rapor etmişlerdir. MK işleminde 90, 160 ve 350W'ta kurutma süreleri sırasıyla 106, 61ve 27 dk olarak tespit edilmiştir. Turunçgil kabuklarının kurutulması ile ilgili yapılan diğer çalışmalarda benzer şekilde mikrodalga ile kurutma yönteminin, diğer kurutma yöntemlerine kıyasla kurutma süresini kısaltmış olduğu görülmektedir (Miller ve Braddock., 1982; Talens ve ark., 2016; Shu ve ark., 2020; Bozkır ve ark., 2021).



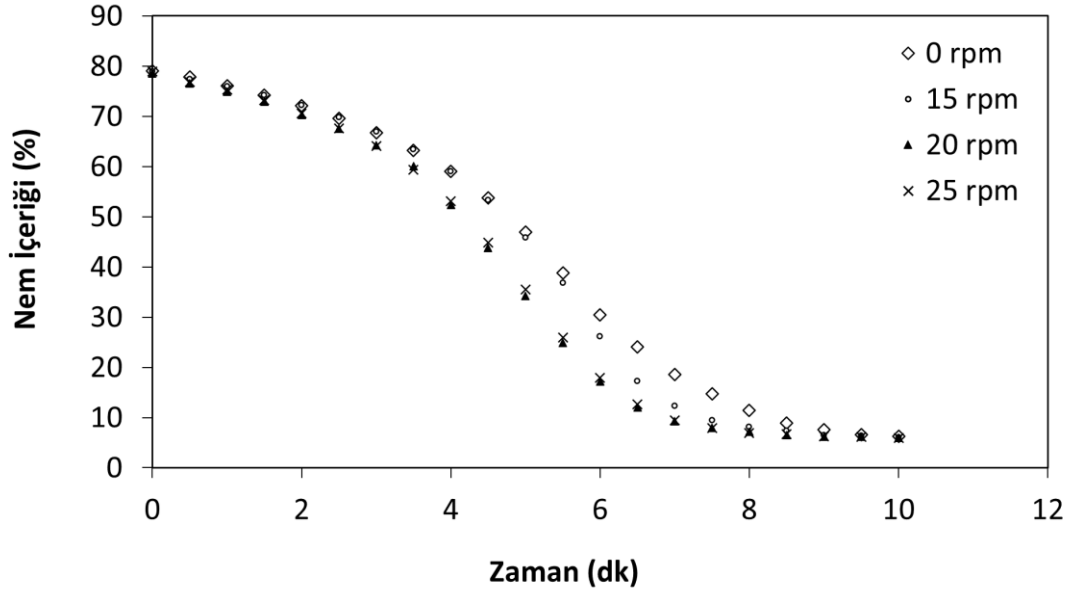
Şekil 4.2 Limon kabuğunun 180W mikrodalga gücünde farklı dönme hızlarında kurutulması sırasındaki nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 4.3 Limon kabuğunun 300W mikrodalga gücünde farklı dönme hızlarında kurutulması sırasındaki nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 4.4 Limon kabuğunun 450W mikrodalga gücünde farklı dönme hızlarında kurutulması sırasında nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 4.5 Limon kabuğunun 600W mikrodalga gücünde farklı dönme hızlarında kurutulması sırasında nem içeriklerinin zamana bağlı değişimi

Mikrodalga kurutma işleminde limon kabuğu örneklerinin yaklaşık %10 nem değerine ulaşması için gereken süreler Çizelge 4.1'de verilmiştir. Tüm güç seviyelerinde en uzun kurutma süresi dönmenin olmadığı durumda elde edilmiştir. Dönmenin olmadığı duruma kıyasla, dönme hareketi ile kurutma süresinde %6-24 aralığında bir azalma olduğu görülmektedir. En düşük azalma oranı (%5.6-11.1) 180W güç seviyesine aittir. Genel olarak, artan dönme hızı ile kurutma süresindeki değişim

belirgin bir eğilim göstermemektedir. Düşük güç seviyeleri (180 ve 300W) için, en yüksek dönme hızı (12.5 rpm) daha kısa kurutma süreleri sağlamıştır. Fakat, yüksek güç seviyeleri için bu durumun geçerli olmadığı görülmektedir. Yüksek güç seviyelerinde (450 ve 600W), 9.5 ve 12.5 rpm dönme hızlarında, benzer kurutma süreleri sağlamıştır. 9.5 ve 12.5 rpm ile kıyaslandığında 6.5 rpm, 450W için en kısa kurutma süresini sağlarken, 600W için daha uzun kurutma süresini sağlamıştır. Bu bulgular doğrultusunda, limon kabuğunun kurutulmasında dönme hızının etkisinin, güç seviyesindeki değişikliğe bağlı olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.1 Mikrodalga kurutma işlem süreleri

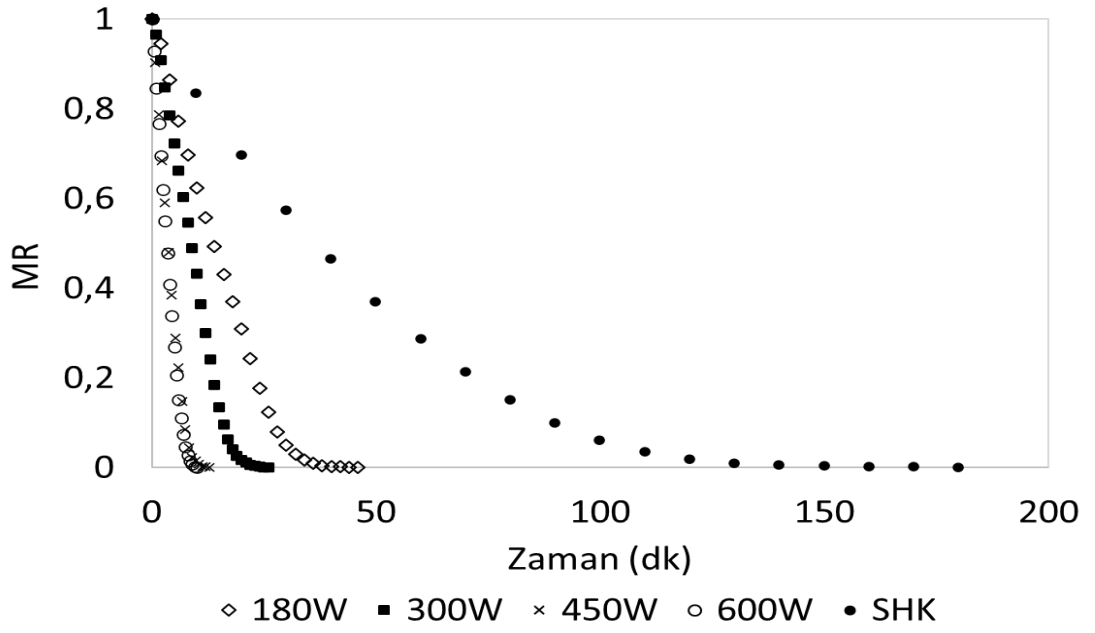
| Dönme hızı | 180W | | 300W | | 450W | | 600W | |
|------------|-----------|------|-----------|-----|-----------|-----|-----------|-----|
| | Süre (dk) | Nem* | Süre (dk) | Nem | Süre (dk) | Nem | Süre (dk) | Nem |
| 0 rpm | 36 | 8.9 | 21 | 9.5 | 11.3 | 8.2 | 8.5 | 8.9 |
| 6.5 rpm | 34 | 8.9 | 18 | 9.1 | 9.0 | 8.5 | 7.5 | 9.4 |
| 9.5 rpm | 34 | 9.1 | 19 | 9.6 | 9.8 | 8.6 | 7.0 | 9.3 |
| 12.5 rpm | 32 | 8.9 | 16 | 9.4 | 9.8 | 8.1 | 7.0 | 9.5 |

*Nem değerleri % y.b. olarak verilmiştir.

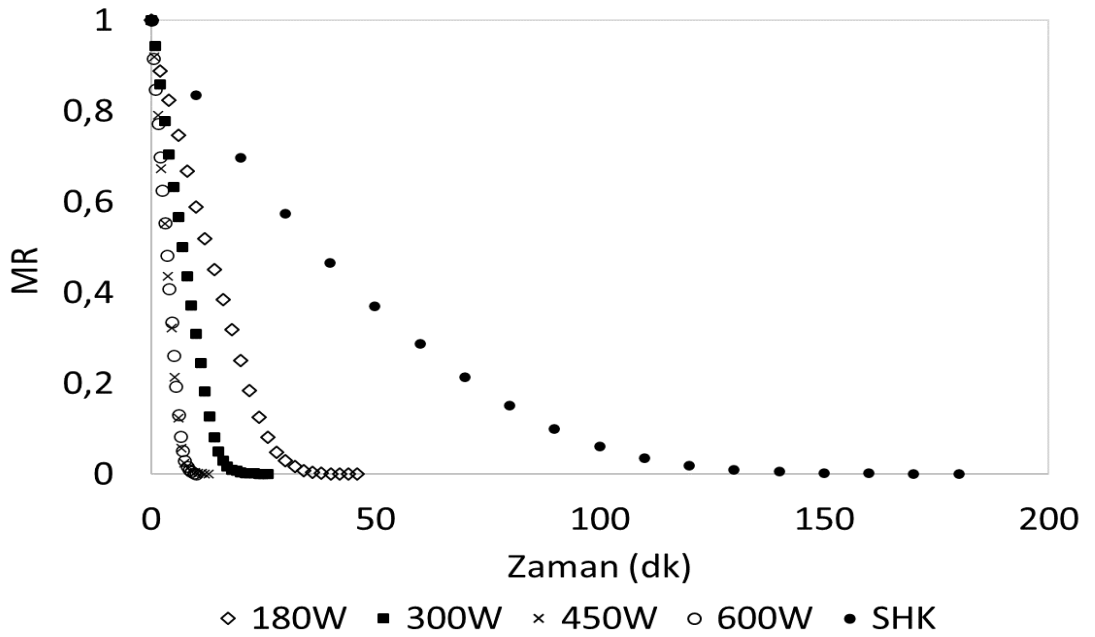
4.2 Kurutma Kinetiği Verilerinin Matematiksel Modellenmesi

Kurutma süresince elde edilen nem değerleri kullanılarak ayrılabilir nem oranları (MR) hesaplanmış ve limon kabuğu örneklerinin kuruma davranışlarını tanımlamak üzere, elde edilen verilerin literatürde yaygın olarak kullanılan 5 farklı ince tabaka kurutma modeline uyumu incelenmiştir.

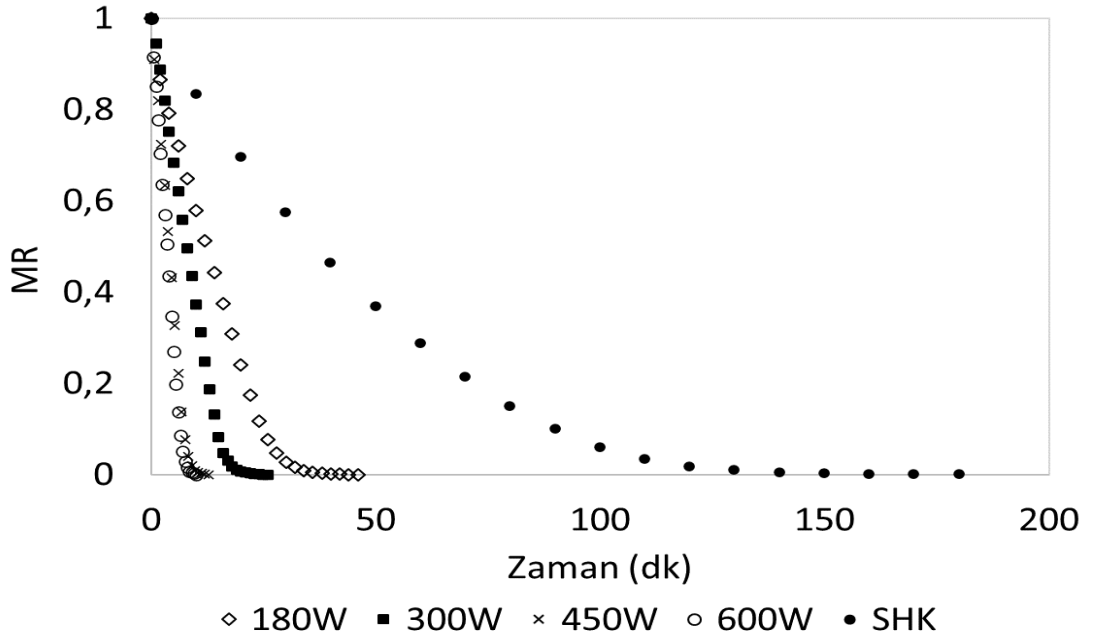
Limon kabuğu örneklerinin 180, 300, 450 ve 600W mikrodalga güçlerinde farklı dönme hızlarında (0, 6.5, 9.5 ve 12.5 rpm) kurutulması sırasındaki ayrılabilir nem oranlarının (MR) zamana bağlı değişimleri sırası ile Şekil 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9'da gösterilmektedir.



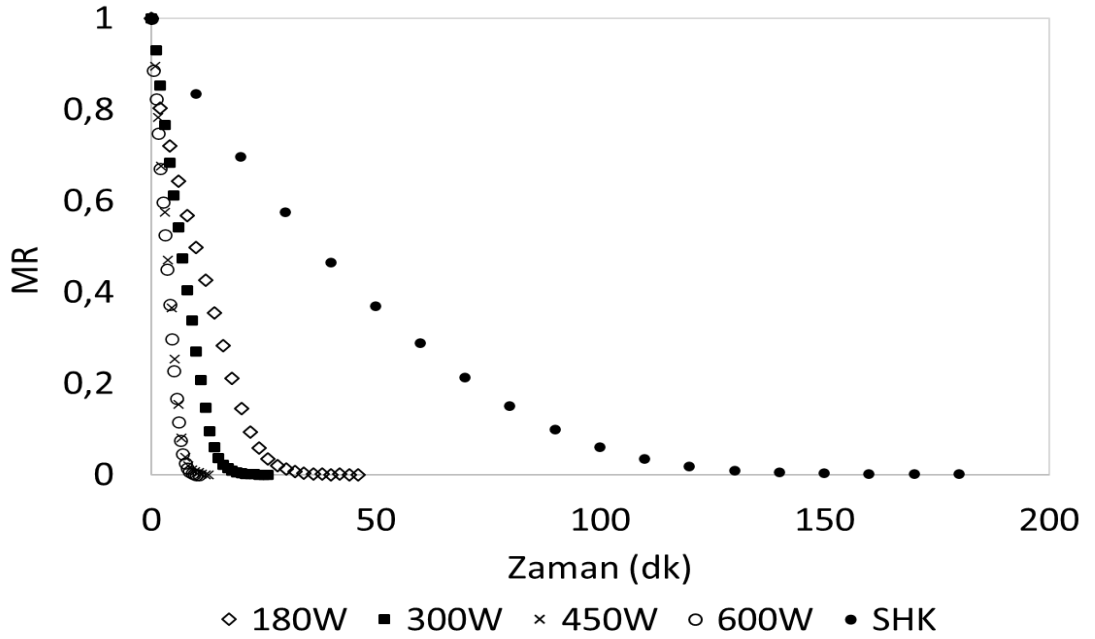
Şekil 4.6 Limon kabuğunun mikrodalgada dönmenin olmadığı (0 rpm) durumda kurutulması sırasındaki ayrılabilir nem oranlarının (MR) zamana bağlı değişimi.



Şekil 4.7 Limon kabuğunun mikrodalgada 6.5 rpm dönme hızında kurutulması sırasındaki ayrılabilir nem oranlarının (MR) zamana bağlı değişimi



Şekil 4.8 Limon kabuğunun mikrodalgada 9.5 rpm dönme hızında kurutulması sırasındaki ayrılabilir nem oranlarının (MR) zamana bağlı değişimi



Şekil 4.9 Limon kabuğunun mikrodalgada 12.5 rpm dönme hızında kurutulması sırasındaki ayrılabilir nem oranlarının (MR) zamana bağlı değişimi

Çalışmada, deneylerden elde edilen gerçek veriler ve modellerden elde edilen tahmini verilerden yararlanılarak R^2 , SSE ve RMSE değerleri hesaplanmıştır. Kurutma verilerinin Newton, Page, Henderson & Pabis, Logaritmik ve İki terimli modellerine

uyumuna ilişkin doğrusal olmayan regresyon analizi sonuçları sırası ile Çizelge 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmektedir. Tüm örnekler için belirleme katsayısının yüksek olduğu ($R^2 > 0.93$) görülmektedir.

Bulgular doğrultusunda örneklerin kuruma davranışını en iyi ifade eden modelin en yüksek R^2 (≥ 0.99) ve en düşük SSE, RMSE değerleri ile Page modeli olduğu tespit edilmiştir. Çeşitli turunçgil kabuklarının kurutulmasına ilişkin yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Shu ve ark., (2020) yapmış oldukları çalışmada, mandalina kabuğunu 3 farklı kurutma yöntemi (sıcak hava, vakumlu mikrodalga ve vakumlu dondurarak kurutma) ile kurutmuşlar ve örneklerin kuruma davranışını en iyi tanımlayan modelin, Page modeli olduğunu belirtmişlerdir. Bejar ve ark., (2011b) mikrodalga (100-850W) ile kurutulan portakal kabuğunun kurutma kinetiğini tanımlamada Page modelinin başarılı olduğunu bildirmişlerdir. M'hiri ve ark., (2018) 4 farklı yöntem (mikrodalga, konvektif, infrared ve sıcak hava-mikrodalga kombine kurutma) ile kurutulan limon kabuğunun kurutma davranışını, uygulanan 7 farklı model içinde Page modelin ($R^2 \geq 0.9994$) en iyi ifade ettiğini bildirmişlerdir.

Literatürde yapılmış bazı çalışmalarda, Page model sabiti (k) değeri ile kurutma işleminin bazı değişkenleri (sıcaklık, hava hızı, mikrodalga gücü, örnek kalınlığı vb.) arasında ilişki kurulmaktadır (Onwude et al., 2016). Bu çalışmada, kurutma oranı sabiti (k) değerinde, artan mikrodalga güç seviyesi ile artış meydana gelmiştir. k değeri, 180W ile 600W güç seviyeleri için sırasıyla 0.014-0.0436 dk^{-1} ile 0.1143-0.1306 dk^{-1} aralıklarında bulunmuştur. Çeşitli gıda maddelerinin mikrodalga ile kurutulması ile ilgili yapılmış çalışmalarda benzer sonuçların elde edildiği görülmektedir (Darvishi ve ark., 2013; Demiray ve ark., 2017). En düşük k değeri (0.00752 dk^{-1}) sıcak hava ile kurutulan örneklere aittir. k değerinin dönme hızı ile değişimi, güç seviyesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Çizelge 4.2 Limon kabuğu kurutma verilerinin Newton modeline uyumuna ilişkin doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanan model katsayıları ve istatistiksel parametreler

| Kurutma Uygulaması | | Model Katsayıları ve İstatistiksel Parametreler | | | |
|--------------------|------------|---|-------|----------------|-------|
| Güç | Dönme hızı | k (dk ⁻¹) | SSE | R ² | RMSE |
| Sıcak hava kurutma | - | 0.022 | 0.029 | 0.984 | 0.040 |
| 180W | 0 | 0.064 | 0.138 | 0.948 | 0.078 |
| | 6.5 | 0.070 | 0.113 | 0.956 | 0.070 |
| | 9.5 | 0.072 | 0.097 | 0.960 | 0.065 |
| | 12.5 | 0.064 | 0.057 | 0.974 | 0.050 |
| 300W | 0 | 0.103 | 0.229 | 0.928 | 0.094 |
| | 6.5 | 0.127 | 0.147 | 0.950 | 0.075 |
| | 9.5 | 0.114 | 0.197 | 0.936 | 0.087 |
| | 12.5 | 0.135 | 0.133 | 0.954 | 0.072 |
| 450W | 0 | 0.241 | 0.088 | 0.956 | 0.072 |
| | 6.5 | 0.271 | 0.117 | 0.945 | 0.083 |
| | 9.5 | 0.230 | 0.139 | 0.935 | 0.090 |
| | 12.5 | 0.258 | 0.110 | 0.947 | 0.080 |
| 600W | 0 | 0.262 | 0.124 | 0.949 | 0.077 |
| | 6.5 | 0.267 | 0.147 | 0.941 | 0.084 |
| | 9.5 | 0.262 | 0.162 | 0.935 | 0.088 |
| | 12.5 | 0.282 | 0.116 | 0.951 | 0.074 |

Çizelge 4.3 Limon kabuğu kurutma verilerinin Page modeline uyumuna ilişkin doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanan model katsayıları ve istatistiksel parametreler

| Kurutma Uygulaması | | Model Katsayıları ve İstatistiksel Parametreler | | | | |
|--------------------|------------|---|-------|--------|----------------|--------|
| Güç | Dönme hızı | k (dk ⁻¹) | n | SSE | R ² | RMSE |
| Sıcak hava kurutma | - | 0.00752 | 1.270 | 0.0058 | 0.9968 | 0.0184 |
| 180W | 0 | 0.0124 | 1.556 | 0.0176 | 0.9934 | 0.0283 |
| | 6.5 | 0.0170 | 1.494 | 0.0205 | 0.9919 | 0.0305 |
| | 9.5 | 0.0214 | 1.423 | 0.0275 | 0.9887 | 0.0353 |
| | 12.5 | 0.0436 | 1.253 | 0.0311 | 0.9856 | 0.0376 |
| 300W | 0 | 0.0174 | 1.735 | 0.0170 | 0.9947 | 0.0261 |
| | 6.5 | 0.0349 | 1.571 | 0.0173 | 0.9941 | 0.0263 |
| | 9.5 | 0.0234 | 1.674 | 0.0203 | 0.9935 | 0.0285 |
| | 12.5 | 0.0395 | 1.553 | 0.0149 | 0.9949 | 0.0244 |
| 450W | 0 | 0.1022 | 1.533 | 0.0081 | 0.9960 | 0.0224 |
| | 6.5 | 0.0946 | 1.704 | 0.0064 | 0.9970 | 0.0199 |
| | 9.5 | 0.0700 | 1.723 | 0.0123 | 0.9943 | 0.0278 |
| | 12.5 | 0.0961 | 1.637 | 0.0119 | 0.9942 | 0.0273 |
| 600W | 0 | 0.1143 | 1.552 | 0.0134 | 0.9945 | 0.0259 |
| | 6.5 | 0.1058 | 1.618 | 0.0182 | 0.9927 | 0.0301 |
| | 9.5 | 0.0975 | 1.653 | 0.0234 | 0.9907 | 0.0342 |
| | 12.5 | 0.1306 | 1.529 | 0.0188 | 0.9921 | 0.0307 |

Çizelge 4.4 Limon kabuğu kurutma verilerinin Henderson & Pabis modeline uyumuna ilişkin doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanan model katsayıları ve istatistiksel parametreler

| Kurutma Uygulaması | | Model Katsayıları ve İstatistiksel Parametreler | | | | |
|--------------------|------------|---|-------|-------|----------------|-------|
| Güç | Dönme hızı | k (dk ⁻¹) | a | SSE | R ² | RMSE |
| Sıcak hava kurutma | - | 0.023 | 1.052 | 0.024 | 0.987 | 0.037 |
| 180W | 0 | 0.070 | 1.119 | 0.102 | 0.962 | 0.068 |
| | 6.5 | 0.076 | 1.094 | 0.091 | 0.964 | 0.064 |
| | 9.5 | 0.077 | 1.074 | 0.084 | 0.965 | 0.062 |
| | 12.5 | 0.089 | 1.033 | 0.054 | 0.975 | 0.050 |
| 300W | 0 | 0.117 | 1.150 | 0.162 | 0.949 | 0.080 |
| | 6.5 | 0.141 | 1.122 | 0.109 | 0.963 | 0.066 |
| | 9.5 | 0.128 | 1.136 | 0.145 | 0.953 | 0.076 |
| | 12.5 | 0.148 | 1.117 | 0.099 | 0.966 | 0.063 |
| 450W | 0 | 0.263 | 1.102 | 0.067 | 0.966 | 0.065 |
| | 6.5 | 0.299 | 1.125 | 0.088 | 0.959 | 0.074 |
| | 9.5 | 0.254 | 1.123 | 0.108 | 0.950 | 0.082 |
| | 12.5 | 0.282 | 1.100 | 0.086 | 0.958 | 0.073 |
| 600W | 0 | 0.289 | 1.111 | 0.093 | 0.962 | 0.068 |
| | 6.5 | 0.294 | 1.116 | 0.113 | 0.954 | 0.075 |
| | 9.5 | 0.289 | 1.117 | 0.128 | 0.949 | 0.080 |
| | 12.5 | 0.307 | 1.096 | 0.094 | 0.960 | 0.069 |

Çizelge 4.5 Limon kabuğu kurutma verilerinin Logaritmik modele uyumuna ilişkin doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanan model katsayıları ve istatistiksel parametreler

| Kurutma Uygulaması | | Model Katsayıları ve İstatistiksel Parametreler | | | | | |
|--------------------|------------|---|-------|--------|-------|----------------|-------|
| Güç | Dönme hızı | k (dk ⁻¹) | a | c | SSE | R ² | RMSE |
| Sıcak hava kurutma | - | 0.019 | 1.095 | -0.069 | 0.009 | 0.995 | 0.023 |
| 180W | 0 | 0.045 | 1.286 | -0.225 | 0.032 | 0.988 | 0.039 |
| | 6.5 | 0.053 | 1.213 | -0.168 | 0.036 | 0.986 | 0.041 |
| | 9.5 | 0.054 | 1.183 | -0.156 | 0.034 | 0.986 | 0.040 |
| | 12.5 | 0.071 | 1.085 | -0.084 | 0.029 | 0.987 | 0.037 |
| 300W | 0 | 0.066 | 1.405 | -0.325 | 0.052 | 0.984 | 0.047 |
| | 6.5 | 0.101 | 1.224 | -0.150 | 0.048 | 0.984 | 0.045 |
| | 9.5 | 0.082 | 1.305 | -0.229 | 0.057 | 0.982 | 0.049 |
| | 12.5 | 0.112 | 1.198 | -0.123 | 0.048 | 0.983 | 0.045 |
| 450W | 0 | 0.181 | 1.236 | -0.180 | 0.024 | 0.988 | 0.040 |
| | 6.5 | 0.224 | 1.220 | -0.131 | 0.048 | 0.977 | 0.057 |
| | 9.5 | 0.161 | 1.309 | -0.238 | 0.045 | 0.979 | 0.055 |
| | 12.5 | 0.202 | 1.224 | -0.155 | 0.043 | 0.979 | 0.053 |
| 600W | 0 | 0.173 | 1.325 | -0.275 | 0.024 | 0.990 | 0.035 |
| | 6.5 | 0.175 | 1.335 | -0.280 | 0.036 | 0.985 | 0.044 |
| | 9.5 | 0.165 | 1.368 | -0.315 | 0.042 | 0.983 | 0.047 |
| | 12.5 | 0.196 | 1.265 | -0.224 | 0.031 | 0.987 | 0.041 |

Çizelge 4.6 Limon kabuğu kurutma verilerinin İki Terimli modele uyumuna ilişkin doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanan model katsayıları ve istatistiksel parametreler

| Kurutma Uygulaması | | Model Katsayıları ve İstatistiksel Parametreler | | | | | | |
|--------------------|------------|---|--------|---------|--------|-------|-------|-------|
| Güç | Dönme hızı | k_0 | k_1 | a | b | SSE | R^2 | RMSE |
| Sıcak hava kurutma | - | 0.013 | 0.013 | 13.230 | - | 0.009 | 0.995 | 0.023 |
| 180W | 0 | 0.075 | 10.230 | 1.204 | -0.204 | 0.078 | 0.971 | 0.062 |
| | 6.5 | 0.080 | 10.640 | 1.167 | -0.167 | 0.076 | 0.970 | 0.061 |
| | 9.5 | 0.080 | 9.722 | 1.131 | -0.131 | 0.074 | 0.969 | 0.061 |
| | 12.5 | 0.091 | 11.200 | 1.064 | -0.064 | 0.052 | 0.976 | 0.051 |
| 300W | 0 | 0.229 | 0.224 | -48.980 | 49.950 | 0.039 | 0.988 | 0.041 |
| | 6.5 | 0.265 | 0.257 | -30.070 | 31.060 | 0.029 | 0.990 | 0.035 |
| | 9.5 | 0.243 | 0.236 | -38.220 | 39.200 | 0.039 | 0.987 | 0.041 |
| | 12.5 | 0.274 | 0.268 | -43.460 | 44.440 | 0.024 | 0.992 | 0.033 |
| 450W | 0 | 0.510 | 0.478 | -15.190 | 16.160 | 0.014 | 0.993 | 0.032 |
| | 6.5 | 0.593 | 0.562 | -20.680 | 21.660 | 0.016 | 0.992 | 0.034 |
| | 9.5 | 0.504 | 0.480 | -21.880 | 22.850 | 0.027 | 0.988 | 0.044 |
| | 12.5 | 0.553 | 0.523 | -18.750 | 19.720 | 0.022 | 0.989 | 0.039 |
| 600W | 0 | 0.549 | 0.528 | -25.260 | 26.230 | 0.022 | 0.991 | 0.035 |
| | 6.5 | 0.572 | 0.548 | -24.610 | 25.570 | 0.030 | 0.988 | 0.041 |
| | 9.5 | 0.564 | 0.540 | -24.510 | 25.470 | 0.038 | 0.985 | 0.046 |
| | 12.5 | 0.586 | 0.563 | -24.650 | 25.600 | 0.026 | 0.989 | 0.038 |

4.3 Efektif Difüzyon Katsayısı

Genel olarak gıda maddelerinin kurutulmasında sabit oran ve azalan oran periyodu olmak üzere iki aşama bulunmaktadır. Azalan oran periyodu boyunca higroskopik (nem çeken) katı madde içindeki nem hareketinin mekanizması efektif nem difüzyonu ile ifade edilebilmektedir (Özbek ve Dadalı, 2007). Gıda maddeleri için D_{eff} değerleri 10^{-6} ile 10^{-11} aralığındadır (Zarein ve ark., 2015).

Turunçgil kabuklarının, albedo ile kıyaslandığında flavedo tabakasının kalınlığı ihmal edildiğinde homojen olduğu kabul edilmektedir. Flavedonun tüm yüzeyini kaplayan mumsu tabaka (kütikül) sayesinde nem kayıplarının önleniği varsayılmaktadır (Garau ve ark., 2006; Garcia-Perez ve ark., 2009; Garcia-Perez ve ark., 2012). Bazı araştırmacılar, sıcak hava ile kurutma işlemi sonrasında, portakal kabuğunun kütikül tabakasında bulunan mumsu bileşenlerin karakteristik dağılımının yok olduğunu ve gözeneklerde tıkanmaların oluştuğunu gözlemlemişlerdir (Garcia-Perez ve ark., 2012; Tamer ve ark., 2016). Garcia-Perez ve ark., (2012) yüzeydeki mumsu bileşenlerin dağılımının, bu yüzeyden nem çıkışını zorlaştırdığını belirtmiştir.

Yapılan çalışmada mikrodalga ile kurutulmuş limon kabuğu örneklerinin efektif nem difüzyon katsayısı değerleri (D_{eff}) hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.7’de

verilmiştir. Örneklere ait D_{eff} değerleri $1.688-7.590 \times 10^{-8}$ (m^2s^{-1}) aralığında bulunmuştur. En düşük D_{eff} değeri 180W-0 rpm; en yüksek D_{eff} değeri ise 600W-9.5 rpm mikrodalga ile kurutulan örnekleredir. Mikrodalga güç seviyesindeki artış ile örneklerin D_{eff} değerlerinde artış tespit edilmiştir. Artan mikrodalga gücü ile sıcaklığın artması, suyun viskozitesini ve ardından sıvı çıkışının direncini düşürmektedir. Bu olay maddenin kapillerlerinde bulunan su moleküllerinin difüzyonunu kolaylaştırmakta ve D_{eff} değerini artırmaktadır (Torki-Harchegani ve ark., 2016). Ayrıca bu durum, maddenin çeperleri boyunca meydana gelen sıvı akışını artıran yüksek iç basınç ve konsantrasyon farkı ile de açıklanabilmektedir (Sumnu ve ark., 2005).

Çizelge 4.7 Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu örneklerine ait efektif difüzyon katsayısı (D_{eff}) ve aktivasyon enerjisi (W/g) değerleri

| Güç Seviyesi | $D_{eff} \times 10^8$ (m^2s^{-1}) | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|----------|-----------------|
| | 0 rpm | | 6.5 rpm | | 9.5 rpm | | 12.5 rpm | |
| 180W | 1.688 | ($R^2=0.895$) | 1.882 | ($R^2=0.912$) | 2.012 | ($R^2=0.868$) | 2.077 | ($R^2=0.941$) |
| 300W | 2.856 | ($R^2=0.882$) | 3.700 | ($R^2=0.899$) | 3.375 | ($R^2=0.895$) | 3.635 | ($R^2=0.938$) |
| 450W | 5.777 | ($R^2=0.921$) | 6.945 | ($R^2=0.956$) | 6.037 | ($R^2=0.922$) | 6.686 | ($R^2=0.933$) |
| 600W | 6.556 | ($R^2=0.870$) | 7.010 | ($R^2=0.890$) | 7.595 | ($R^2=0.833$) | 7.530 | ($R^2=0.878$) |
| Aktivasyon Enerjisi (W/g) | 22.541 | ($R^2=0.953$) | 22.650 | ($R^2=0.973$) | 21.327 | ($R^2=0.963$) | 21.886 | ($R^2=0.971$) |

Mikrodalga ile kurutma işleminde döner tablanın etkisi incelendiğinde, her güç seviyesi için dönme fonksiyonunun uygulanmadığı durumdaki D_{eff} değerinin, uygulandığı durumdaki değerlerden daha düşük olduğu bulunmuştur. Döner tablanın dönüş hızındaki artış ile D_{eff} değerleri arasında paralellik olmadığı görülmüştür.

Çalışmada sıcak hava ile kurutulan örneklerede ait D_{eff} değeri 4.54×10^{-9} (m^2s^{-1}) ($R^2=0.941$) olarak bulunmuştur. Sıcak hava ile kurutma ile kıyaslandığında, mikrodalga fırında kurutulan örneklerde 10 kat daha yüksek D_{eff} değerleri saptanmıştır.

4.4 Aktivasyon Enerjisi (E_a)

Aktivasyon enerjisi (E_a), bir maddenin iç kısmından yüzeye doğru nem difüzyonunun başlaması için gerekli olan enerji olarak tanımlanmaktadır (Torki-Harchegani ve ark., 2016).

Mikrodalga ile kurutulmuş limon kabuğu örneklerinin E_a değerleri (W/g) hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.7'de verilmiştir. E_a değerleri 21.327-22.650W/g aralığında bulunmuştur. Dönme fonksiyonunun örneklerin E_a değerleri üzerine önemli bir etkisi görülmemiştir.

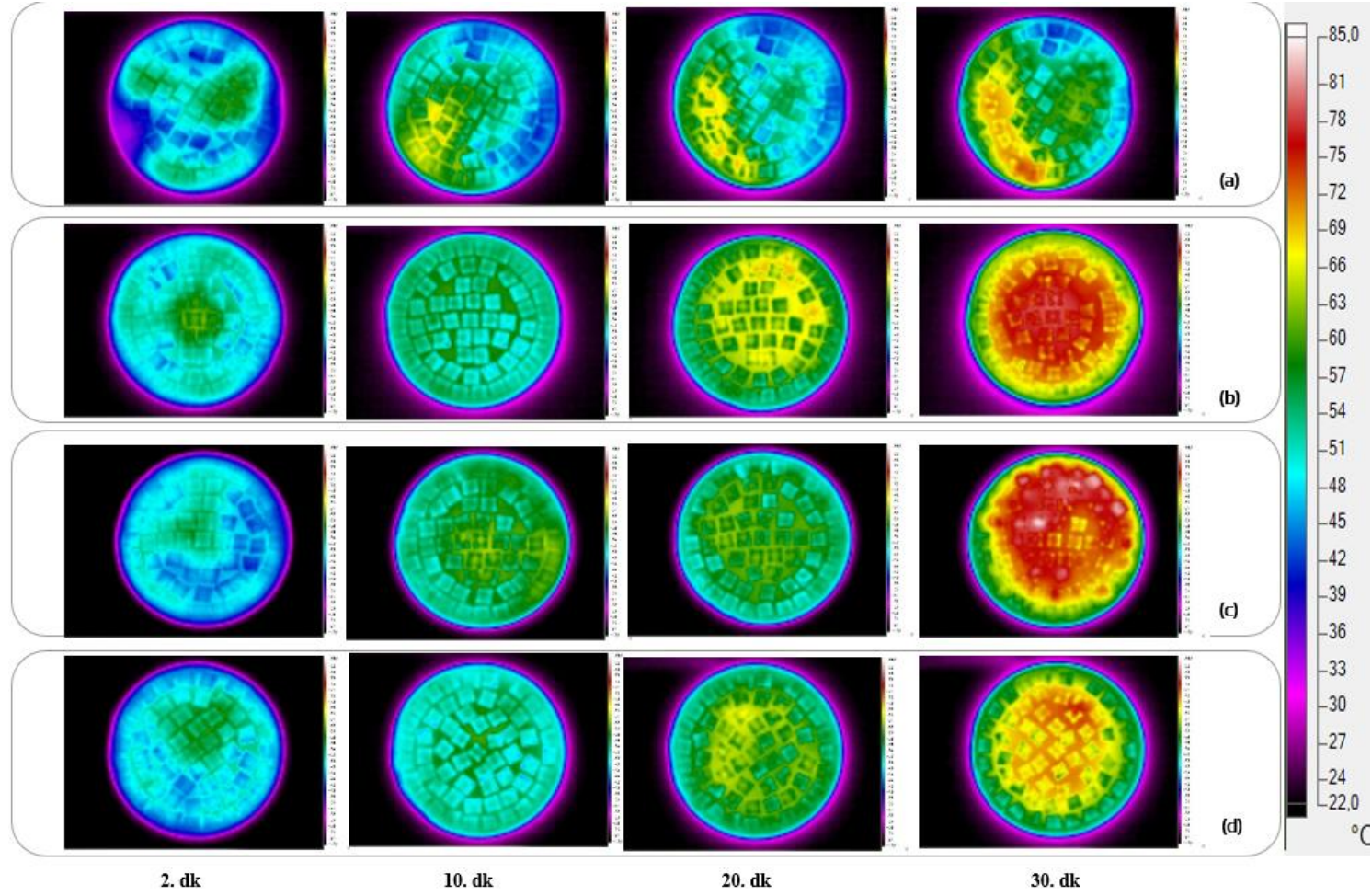
4.5 Örneklerin Yüzey Sıcaklık Dağılımının IR Termal Kamera Görüntüleme Tekniği ile Belirlenmesi

IR termal görüntüler, mikrodalga ile kurutma işlemi sırasında gıda maddesinin yüzeyinde meydana gelen sıcaklık dağılımı hakkında bilgi vermektedir. 180, 300, 450 ve 600W güç seviyelerinde mikrodalga ile kurutulan örnekler için termal görüntüler sırasıyla Şekil 4.10, 4.11, 4.12 ve 4.13'te yer almaktadır.

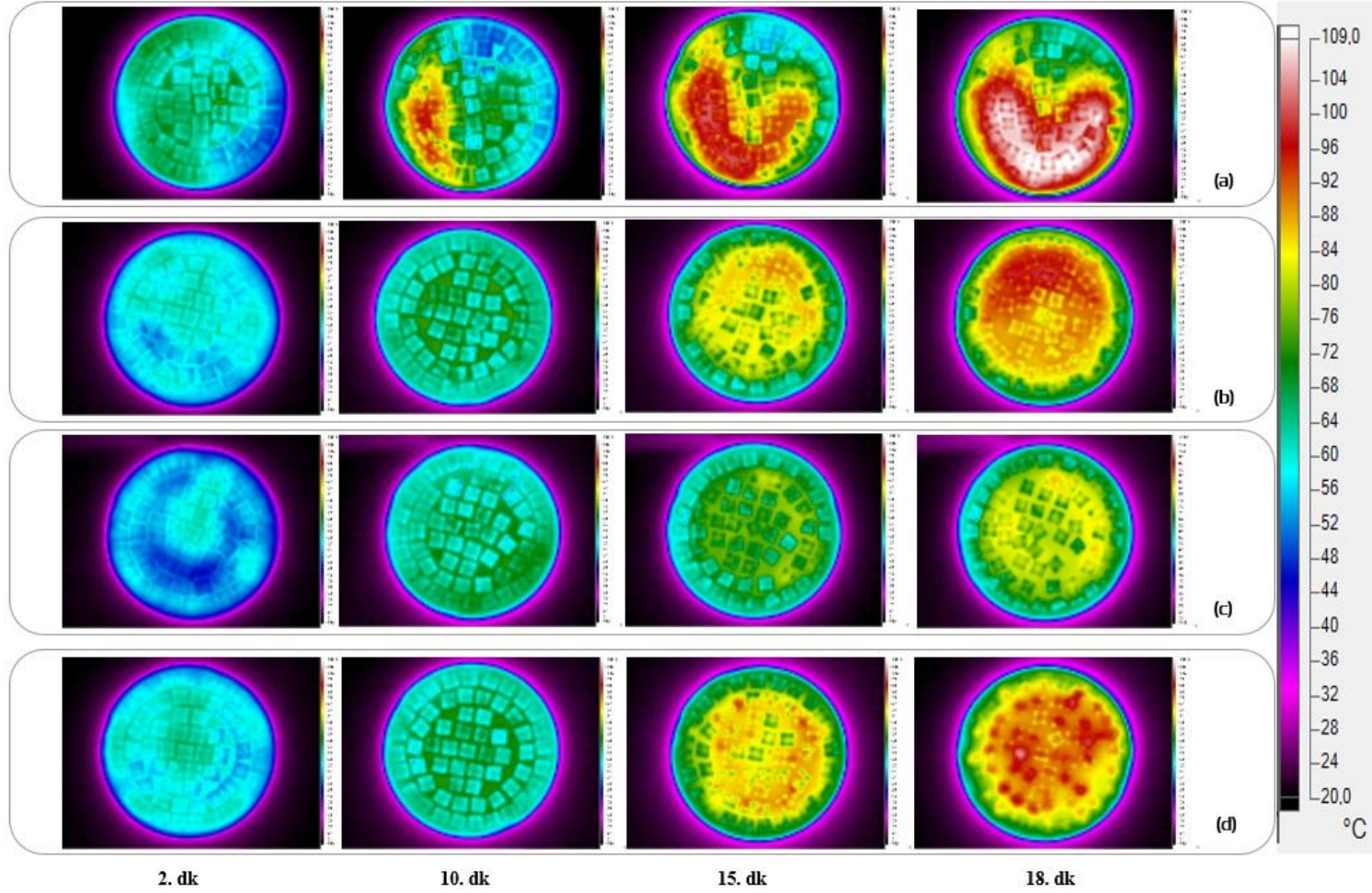
180, 300, 450 ve 600W mikrodalga ile kurutulan örnekler için termal görüntüler incelendiğinde dönme fonksiyonunun uygulanmadığı (0 rpm) durumdaki sıcaklık dağılımının homojenliğinin dönmenin uygulandığı (6.5, 9.5 ve 12.5 rpm) durum ile kıyaslandığında daha düşük olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, Dinani ve ark., (2021) yapmış oldukları çalışmanın sonucunda döner tablanın dönme fonksiyonunun, homojen sıcaklık dağılımını artırdığını bildirmişlerdir. Her güç seviyesi için 0 rpm'de alınan görüntüler incelendiğinde, kurutma işlemi süresince sıcaklık dağılımının homojen olmadığı net olarak görülmektedir. 0 rpm'de merkez dışında kalan belirli bir bölgede sıcaklığın sürekli artarak yüksek seviyelere çıktığı, kalan diğer kısımlarda ise sıcaklık artışının daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, üründe sıcaklık farklılıkları oluşmasına ve kurumanın homojen olmamasına neden olmaktadır.

Dönmenin olduğu durumda, özellikle dış çap ve merkeze kıyasla ara çapta yer alan örneklerin daha fazla ısındığı görülmektedir. Bu durum özellikle yüksek güç seviyelerinde (450, 600W) daha belirgindir. Elde edilen görüntüler, Dinani ve ark., (2021) tarafından yapılan çalışmaya ait IR görüntüleri ile benzerlik göstermektedir. Düşük mikrodalga güç seviyelerinde kurutma süresinin uzun olması nedeni ile ısının sıcak olan bölgelerden soğuk olan bölgelere iletilmesinin, sıcaklık dağılımının daha homojen görünmesinde etkili olduğu düşünülmektedir.

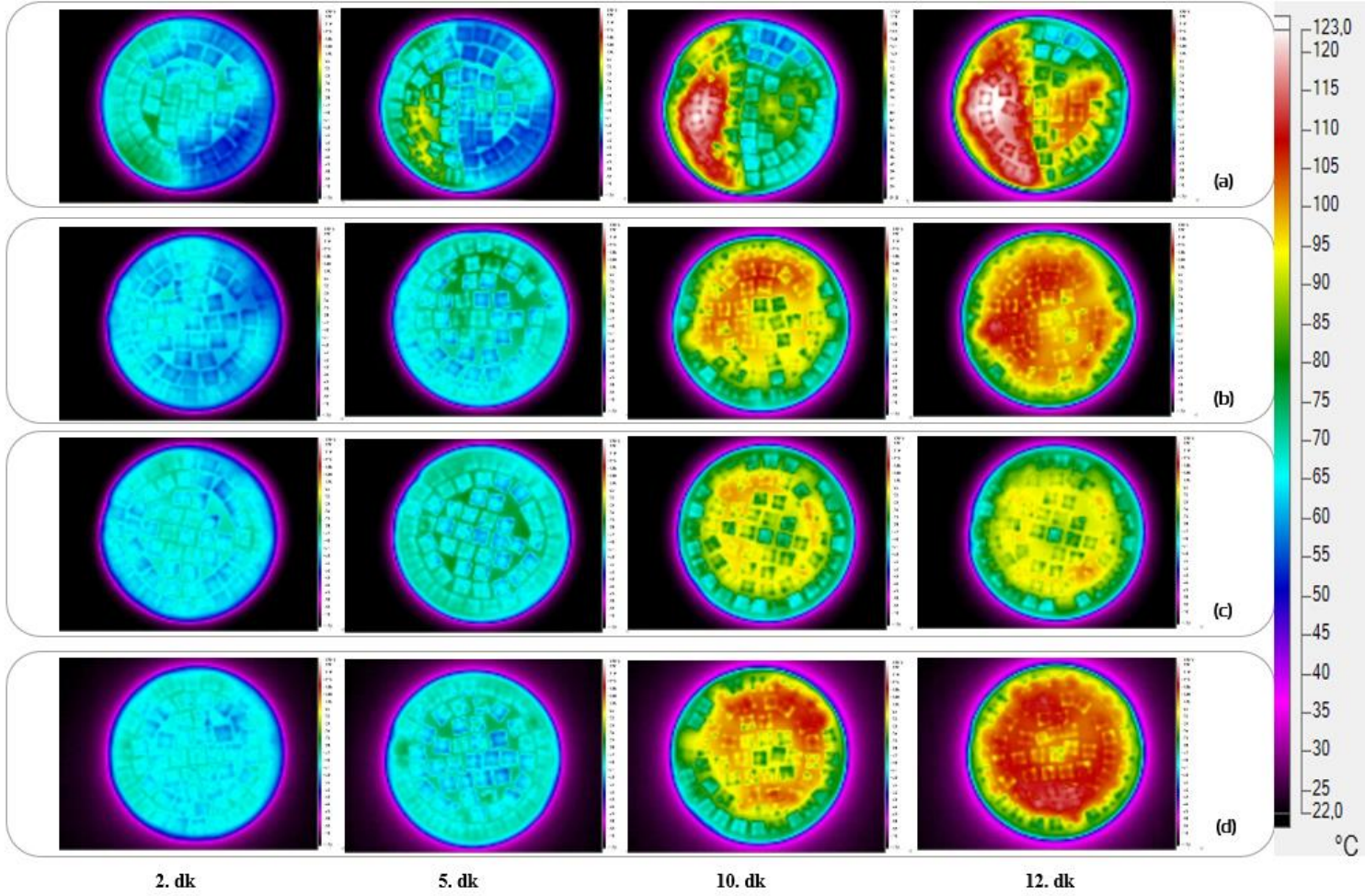
Kurutma sonunda elde edilen görüntüler incelendiğinde, dönme hızındaki artışın sıcaklık dağılımının homojenliğine pozitif yönde bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Termal görüntüler, örnekler için kuru hal görselleri ile benzerlik göstermektedir (EK 2).



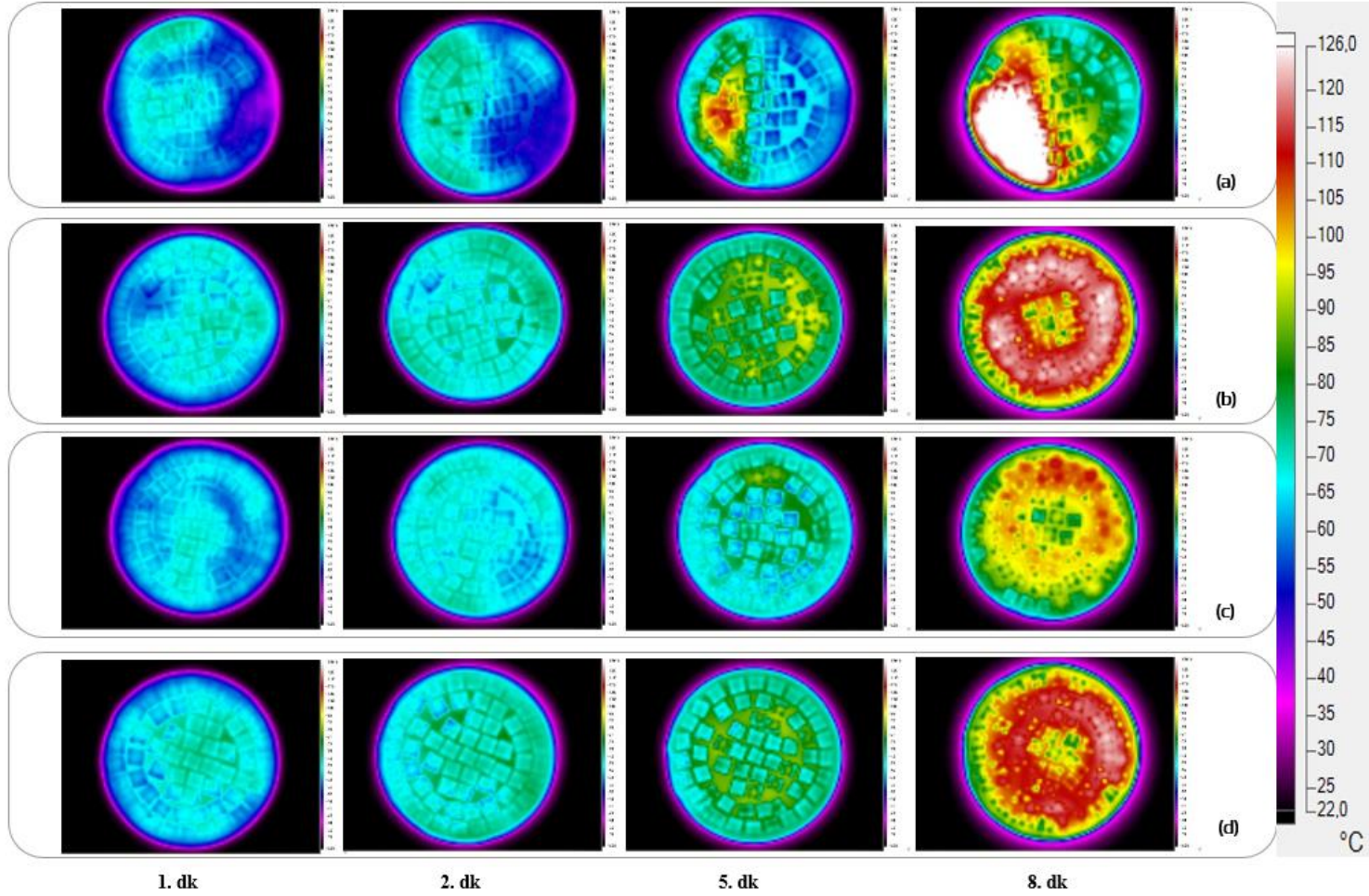
Şekil 4.10 180W'ta a)0 rpm, b)6.5 rpm, c)9.5 rpm, d)12.5 rpm dönme hızlarında mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu örneklerine ait termal görüntüler.



Şekil 4.11 300W'ta a)0 rpm, b)6.5 rpm, c)9.5 rpm, d)12.5 rpm dönme hızlarında mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu örneklerine ait termal görüntüler.

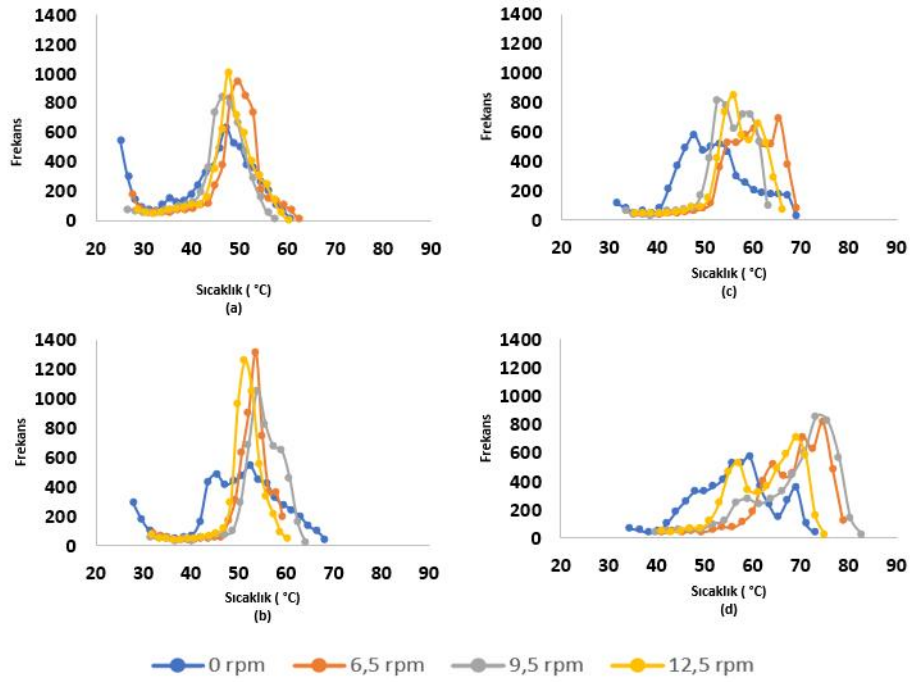


Şekil 4.12 450W'ta a)0 rpm, b)6.5 rpm, c)9.5 rpm, d)12.5 rpm dönme hızlarında mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu örneklerine ait termal görüntüler

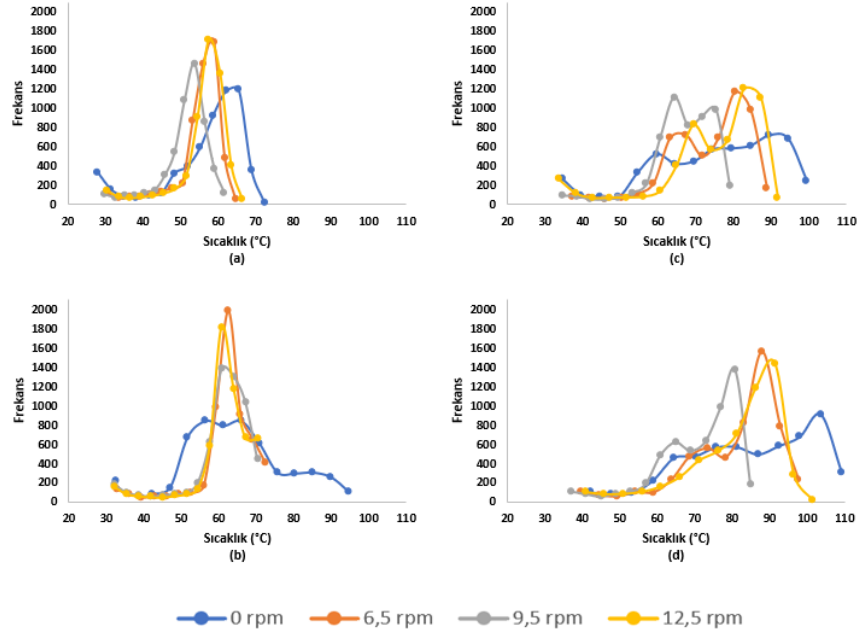


Şekil 4.13 600W'ta a)0 rpm, b)6.5 rpm, c)9.5 rpm, d)12.5 rpm dönme hızlarında mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu örneklerine ait termal görüntüler

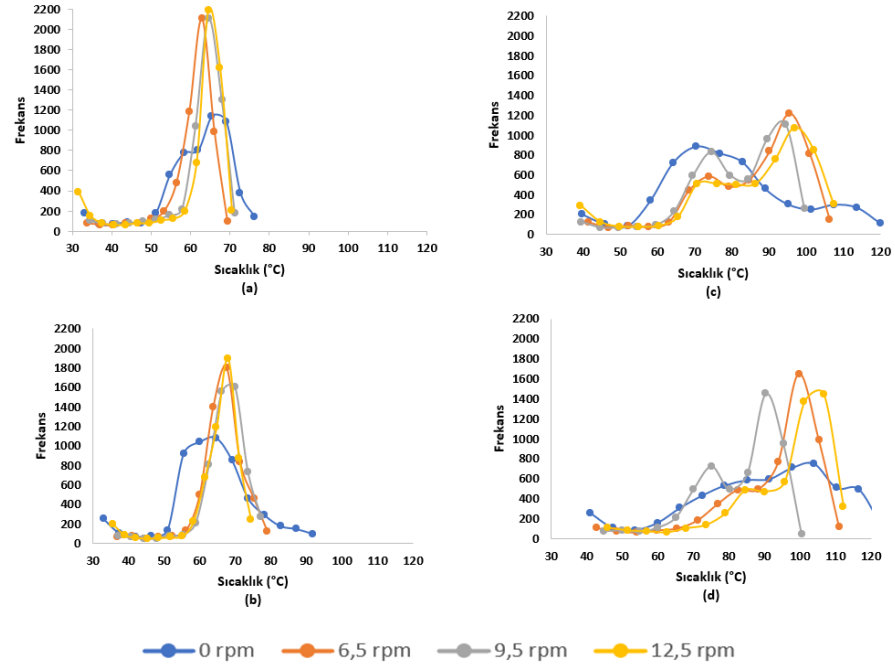
Elde edilen termal görüntülerin analizleri Fluke kameraya ait SmartView (4.4.355.0) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen her bir termal görüntü üzerinde örneğin yer aldığı bölgesel alan belirlenerek histogram grafikleri elde edilmiştir. 180, 300, 450 ve 600W güçlerinde farklı dönme hızlarında kurutma işlemleri sırasında kurutma süresince elde edilen histogramlar sırası ile Şekil 4.14, 4.15, 4.16 ve 4.17’de verilmektedir.



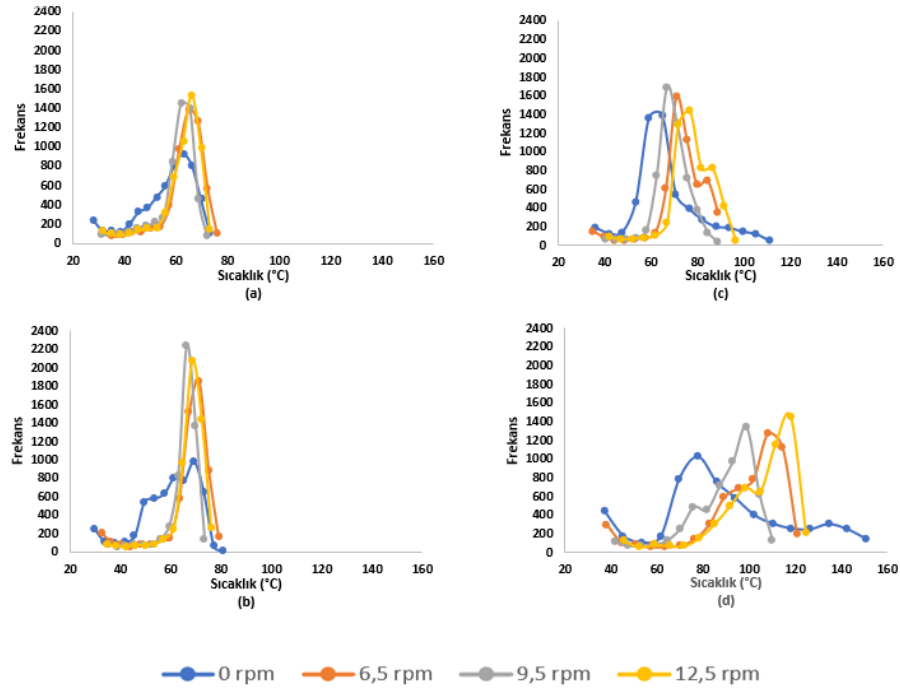
Şekil 4.14 180W mikrodalga gücünde a)2 dk b)10 dk c)20 dk ve d)30 dk kurutma sürelerinde elde edilen termal görüntülere ait histogramlar



Şekil 4.15 300W mikrodalga gücünde a)2 dk b)10 dk c)15 dk ve d)18 dk kurutma sürelerinde elde edilen termal görüntülere ait histogramlar



Şekil 4.16 450W mikrodalga gücünde a)2 dk b)5 dk c)10 dk ve d)12 dk kurutma sürelerinde elde edilen termal görüntülere ait histogramlar



Şekil 4.17 600W mikrodalga gücünde a)1 dk b)2 dk c)5 dk ve d)8 dk kurutma sürelerinde elde edilen termal görüntülere ait histogramlar

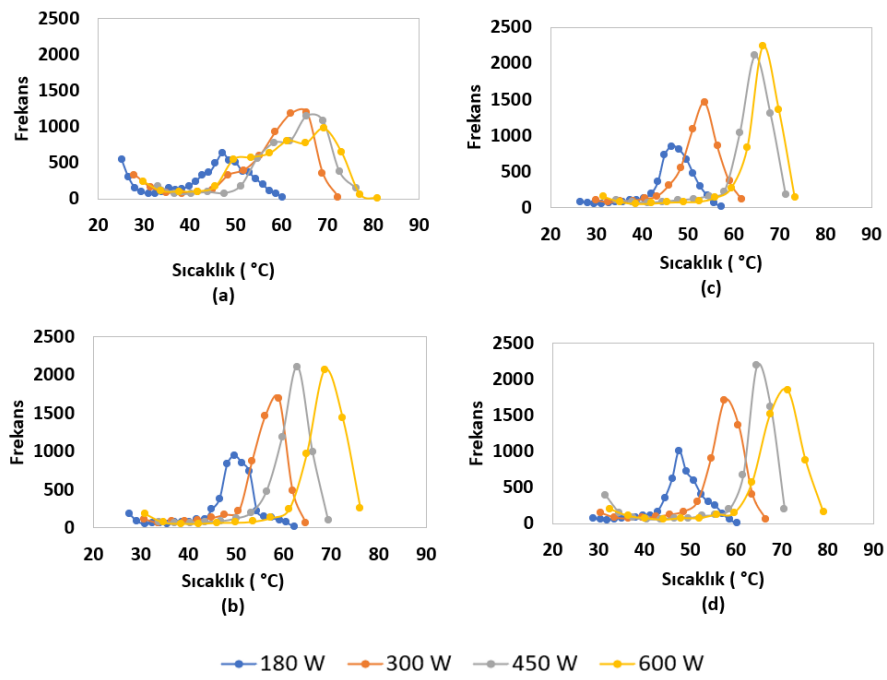
Histogram eğrilerine bakıldığında, tüm güç seviyeleri için, dönmenin olmadığı durumda (0 rpm), yüzey sıcaklığının geniş bir aralıkta dağılım gösterdiği, dönmenin olduğu durumlarda ise eğrilerin belirli değerlerde pik yaptığı görülmektedir. Dönme fonksiyonunun uygulanması ile gözlenen bu fark özellikle 300, 450 ve 600W güç seviyelerinde daha belirgindir. Yukarıda da bahsedildiği gibi, bu durum dönme fonksiyonunun yüzey sıcaklık dağılımının homojenliğine olumlu etkisini göstermektedir.

Dönme fonksiyonunun uygulandığı kurutma işlemlerinde, 180 ve 300W'ta 10., 450W'ta 5. ve 600W'ta 2. dk'da elde edilen histogramlarda 80°C'nin altında tek bir pik varken, kurutma işleminin ilerleyen aşamalarında pik sayısı ve genişliğinde artış olmuştur. Bu durum kurutma işlemi süresince yüzey sıcaklık dağılımının homojenliğinde düşüş olduğunu göstermektedir. 180W üzerindeki güç seviyelerinde, kurutma işlemi sonunda kimi bölgelerde sıcaklık 100°C'nin üzerine çıkmaktadır.

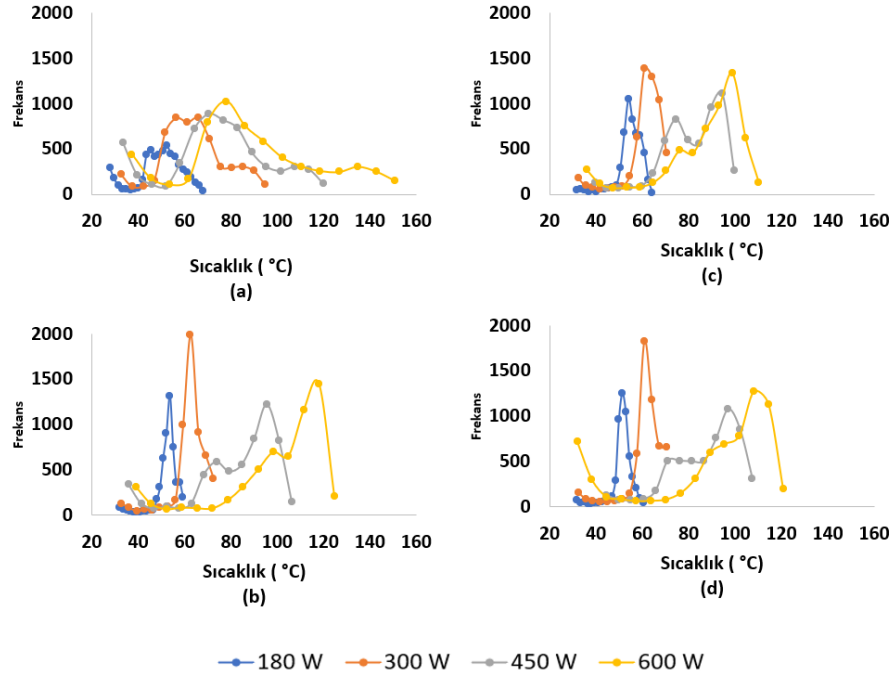
300, 450 ve 600W güç seviyeleri için 9.5 rpm dönme hızında kurutma işlemi sonunda 6.5 ve 12.5 rpm dönme hızlarına kıyasla daha düşük yüzey sıcaklık

değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. 180W güç seviyesinde ise bu durumun tam tersi bir sonuç elde edilmiştir.

Mikrodalga güç seviyesinin sıcaklık dağılımı üzerindeki etkisini gözlemlemek amacı ile, farklı güç seviyelerinde kurutma işleminin benzer sürelerinde (2. ve 10. dk) elde edilen termal görüntülere ait histogramlar karşılaştırılmıştır. Kurutma işleminin 2. ve 10. dakikasında elde edilen görüntüler sırası ile Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da verilmektedir. Tüm dönme hızlarında, artan mikrodalga güç seviyesi ile ürün sıcaklık değerlerinin arttığı histogram eğrilerinde net olarak görülmektedir.



Şekil 4.18 Mikrodalgada kurutma işleminin 2. dakikasında a)0 rpm b)6.5 rpm c)9.5 rpm ve d)12.5 rpm dönme hızlarında elde edilen termal görüntülere ait histogramlar



Şekil 4.19 Mikrodalgada kurutma işleminin 10. dakikasında a)0 rpm b)6.5 rpm c)9.5 rpm ve d)12.5 rpm dönme hızlarında elde edilen termal görüntülere ait histogramlar

Tüm kurutma koşulları için kurutma sırasında termal görüntülerin elde edilmesi üç tekrar halinde yapılmıştır. Her görüntü için seçili alana ait maksimum, minimum, ortalama sıcaklık değerleri ve sapma değerleri elde edilmiş ve elde edilen verilerin ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. 180, 300, 450 ve 600W için elde edilen veriler sırası ile Çizelge 4.8, 4.9, 4.10 ve 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.8 180W güç seviyesinde mikrodalga fırında kurutma işlemi sırasında elde edilen termal görüntülere ait ortalama, maksimum, minimum sıcaklık ve sapma değerleri

| Dönme Hızı | Kurutma süresi | Ortalama sıcaklık | | Maksimum sıcaklık | | Minimum sıcaklık | | Sapma | |
|------------|----------------|-------------------|-------|-------------------|-------|------------------|-------|-------|-------|
| 0 rpm | 2 dk | 44.07 | ±3.20 | 60.37 | ±3.77 | 24.37 | ±2.06 | 6.84 | ±0.45 |
| | 10 dk | 51.07 | ±0.92 | 67.77 | ±1.89 | 27.43 | ±1.42 | 6.72 | ±0.44 |
| | 20 dk | 50.75 | ±2.05 | 67.85 | ±1.77 | 31.05 | ±0.21 | 6.98 | ±0.14 |
| | 30±1 dk | 55.45 | ±1.63 | 71.40 | ±2.69 | 33.55 | ±0.92 | 7.12 | ±0.79 |
| 6.5 rpm | 2 dk | 47.40 | ±2.40 | 59.70 | ±2.60 | 27.33 | ±1.66 | 4.81 | ±0.46 |
| | 10 dk | 52.93 | ±0.38 | 61.17 | ±1.87 | 31.90 | ±1.06 | 3.84 | ±0.38 |
| | 20 dk | 56.77 | ±2.91 | 66.27 | ±2.78 | 35.60 | ±2.34 | 4.67 | ±0.78 |
| | 30±1 dk | 67.27 | ±3.39 | 78.43 | ±3.76 | 39.07 | ±0.81 | 6.72 | ±0.28 |
| 9.5 rpm | 2 dk | 46.80 | ±3.66 | 58.40 | ±4.10 | 26.20 | ±1.25 | 4.86 | ±0.26 |
| | 10 dk | 53.60 | ±0.87 | 62.73 | ±1.72 | 31.27 | ±1.46 | 4.26 | ±0.58 |
| | 20 dk | 55.40 | ±0.14 | 64.15 | ±1.34 | 32.90 | ±2.40 | 4.42 | ±0.25 |
| | 30±1 dk | 69.15 | ±0.07 | 81.95 | ±2.62 | 37.40 | ±0.42 | 7.47 | ±0.76 |
| 12.5 rpm | 2 dk | 48.87 | ±1.24 | 60.80 | ±2.21 | 28.63 | ±2.58 | 4.86 | ±0.28 |
| | 10 dk | 54.23 | ±2.75 | 64.40 | ±4.83 | 31.50 | ±0.70 | 3.88 | ±0.58 |
| | 20 dk | 57.05 | ±0.07 | 67.65 | ±1.06 | 34.25 | ±1.06 | 4.90 | ±0.13 |
| | 30±1 dk | 63.45 | ±1.20 | 74.20 | ±2.12 | 39.50 | ±0.99 | 6.41 | ±0.36 |

Çizelge 4.9 300W güç seviyesinde mikrodalga fırında kurutma işlemi sırasında elde edilen termal görüntülere ait ortalama, maksimum, minimum sıcaklık ve sapma değerleri

| Dönme Hızı | Kurutma süresi | Ortalama sıcaklık | | Maksimum sıcaklık | | Minimum sıcaklık | | Sapma | |
|------------|----------------|-------------------|-------|-------------------|--------|------------------|-------|-------|-------|
| 0 rpm | 2 dk | 54.97 | ±4.67 | 70.57 | ±3.64 | 26.30 | ±0.62 | 7.53 | ±0.30 |
| | 10 dk | 61.17 | ±4.65 | 87.30 | ±8.67 | 32.27 | ±1.02 | 9.67 | ±2.28 |
| | 15 dk | 72.83 | ±3.49 | 101.70 | ±4.11 | 34.30 | ±0.44 | 12.58 | ±1.83 |
| | 18±1 dk | 83.00 | ±3.39 | 109.70 | ±2.40 | 37.55 | ±1.34 | 15.18 | ±1.17 |
| 6.5 rpm | 2 dk | 55.93 | ±2.05 | 66.37 | ±1.26 | 27.93 | ±0.38 | 5.87 | ±0.56 |
| | 10 dk | 63.37 | ±2.35 | 74.73 | ±4.15 | 31.93 | ±1.75 | 5.97 | ±1.10 |
| | 15 dk | 74.53 | ±4.38 | 89.77 | ±4.41 | 35.57 | ±0.85 | 9.62 | ±1.26 |
| | 18±1 dk | 80.30 | ±1.84 | 98.75 | ±0.92 | 37.05 | ±2.90 | 10.64 | ±0.34 |
| 9.5 rpm | 2 dk | 53.87 | ±2.73 | 64.33 | ±2.40 | 29.23 | ±0.21 | 5.05 | ±0.39 |
| | 10 dk | 61.80 | ±0.62 | 73.20 | ±2.08 | 30.73 | ±0.40 | 6.18 | ±0.77 |
| | 15 dk | 69.17 | ±4.59 | 82.93 | ±3.62 | 33.27 | ±0.15 | 8.34 | ±1.92 |
| | 18±1 dk | 74.70 | ±3.32 | 90.37 | ±6.01 | 36.23 | ±1.10 | 9.93 | ±1.73 |
| 12.5 rpm | 2 dk | 55.93 | ±1.33 | 66.03 | ±2.90 | 28.73 | ±0.81 | 5.68 | ±1.12 |
| | 10 dk | 62.97 | ±0.83 | 73.47 | ±1.33 | 30.53 | ±1.12 | 5.82 | ±0.09 |
| | 15 dk | 71.93 | ±3.62 | 86.83 | ±5.54 | 33.07 | ±1.17 | 9.29 | ±1.49 |
| | 18±1 dk | 81.00 | ±6.93 | 103.80 | ±12.45 | 36.05 | ±1.63 | 11.13 | ±2.28 |

Çizelge 4.10 450W güç seviyesinde mikrodalga fırında kurutma işlemi sırasında elde edilen termal görüntülere ait ortalama, maksimum, minimum sıcaklık ve sapma değerleri

| Dönme Hızı | Kurutma süresi | Ortalama sıcaklık | Maksimum sıcaklık | Minimum sıcaklık | Sapma |
|------------|----------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------|
| 0 rpm | 2 dk | 59.43 ±3.81 | 74.30 ±4.61 | 30.10 ±1.13 | 7.57 ±1.01 |
| | 5 dk | 61.20 ±3.93 | 88.27 ±5.60 | 31.70 ±1.65 | 8.86 ±0.62 |
| | 10 dk | 79.93 ±2.78 | 122.37 ±6.22 | 34.43 ±2.60 | 16.79 ±1.23 |
| | 11±1 dk | 93.75 ±0.78 | 127.55 ±2.90 | 38.60 ±0.99 | 17.29 ±1.29 |
| 6.5 rpm | 2 dk | 62.63 ±1.75 | 73.93 ±2.97 | 31.23 ±2.32 | 6.74 ±0.81 |
| | 5 dk | 66.77 ±0.72 | 80.67 ±1.96 | 34.37 ±0.87 | 6.22 ±0.33 |
| | 10 dk | 89.90 ±5.52 | 112.85 ±5.59 | 36.35 ±0.21 | 14.90 ±2.04 |
| | 11±1 dk | 93.80 ±2.26 | 114.20 ±0.42 | 39.80 ±2.26 | 13.35 ±0.33 |
| 9.5 rpm | 2 dk | 63.97 ±0.85 | 73.37 ±0.83 | 32.47 ±0.21 | 5.91 ±0.66 |
| | 5 dk | 67.47 ±0.35 | 78.97 ±1.03 | 33.43 ±0.61 | 5.67 ±0.39 |
| | 10 dk | 82.95 ±1.34 | 102.45 ±1.77 | 36.05 ±0.21 | 12.18 ±0.42 |
| | 11±1 dk | 85.80 ±2.83 | 104.45 ±2.62 | 40.80 ±1.56 | 11.06 ±1.15 |
| 12.5 rpm | 2 dk | 63.43 ±1.00 | 73.30 ±3.24 | 29.70 ±0.52 | 6.39 ±1.17 |
| | 5 dk | 66.47 ±0.38 | 76.87 ±1.68 | 34.23 ±1.42 | 5.83 ±1.40 |
| | 10 dk | 83.70 ±4.49 | 103.90 ±7.53 | 37.63 ±0.49 | 12.04 ±1.61 |
| | 11±1 dk | 90.60 ±8.34 | 116.35 ±6.43 | 42.15 ±2.47 | 12.20 ±0.73 |

Çizelge 4.11 600W güç seviyesinde mikrodalga fırında kurutma işlemi sırasında elde edilen termal görüntülere ait ortalama, maksimum, minimum sıcaklık ve sapma değerleri

| Dönme Hızı | Kurutma süresi | Ortalama sıcaklık | Maksimum sıcaklık | Minimum sıcaklık | Sapma |
|------------|----------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------|
| 0 rpm | 1 dk | 59.07 ±1.07 | 75.20 ±0.70 | 27.70 ±1.50 | 8.90 ±1.16 |
| | 2 dk | 61.33 ±1.10 | 80.17 ±2.16 | 29.70 ±0.46 | 7.99 ±1.26 |
| | 5 dk | 71.70 ±3.32 | 113.07 ±4.77 | 32.63 ±1.15 | 13.10 ±0.65 |
| | 8±1 dk | 96.10 ±1.11 | 153.50 ±9.50 | 36.27 ±2.37 | 23.53 ±2.26 |
| 6.5 rpm | 1 dk | 62.10 ±0.70 | 74.17 ±0.46 | 30.33 ±0.90 | 7.18 ±0.32 |
| | 2 dk | 66.90 ±1.99 | 77.13 ±3.25 | 33.40 ±1.05 | 5.30 ±0.68 |
| | 5 dk | 72.00 ±4.92 | 93.03 ±4.39 | 38.30 ±0.56 | 7.53 ±0.87 |
| | 8±1 dk | 93.67 ±9.51 | 117.40 ±9.06 | 39.97 ±0.32 | 13.97 ±2.18 |
| 9.5 rpm | 1 dk | 59.80 ±2.21 | 74.07 ±0.90 | 30.07 ±1.33 | 7.29 ±0.36 |
| | 2 dk | 64.77 ±0.76 | 73.67 ±0.91 | 32.93 ±2.49 | 5.42 ±0.27 |
| | 5 dk | 70.60 ±1.25 | 89.07 ±5.60 | 36.80 ±1.71 | 6.50 ±0.76 |
| | 8±1 dk | 90.40 ±6.82 | 114.40 ±7.46 | 39.80 ±0.87 | 13.85 ±2.02 |
| 12.5 rpm | 1 dk | 61.70 ±3.12 | 73.20 ±5.39 | 30.67 ±1.72 | 6.65 ±1.11 |
| | 2 dk | 68.00 ±3.08 | 78.20 ±4.00 | 31.80 ±0.69 | 6.41 ±0.18 |
| | 5 dk | 74.97 ±1.97 | 93.47 ±6.32 | 34.73 ±1.53 | 8.13 ±1.03 |
| | 8±1 dk | 90.33 ±9.13 | 120.1 ±8.88 | 37.70 ±1.42 | 12.31 ±1.76 |

Kurutma işlemi sonunda ortalama yüzey sıcaklık değerleri 180, 300, 450 ve 600W için sırasıyla 55.5-69.2°C, 74.7-83.0°C, 85.0-93.8°C ve 90.3-96.1°C arasında

değişmektedir. Dönmenin olmadığı durum için elde edilen maksimum sıcaklıklar 180, 300, 450 ve 600W için sırasıyla 71.4, 109.7, 127.6 ve 153.5°C iken dönme fonksiyonu uygulanarak yapılan kurutma işleminde sırasıyla 82, 103.8, 116.3 ve 120.1°C olarak ölçülmüştür. 180W güç seviyesinde tüm koşullarda sıcaklığın 100°C'nin altında kaldığı görülmektedir.

Dönmenin olmadığı kurutma işleminde, örneklerin belirli bölgelerinde sıcaklık değerinin 300W'ta yaklaşık 15. dk'da, 450W'ta ilk 10 dk ve 600W'ta ilk 5 dk içerisinde 100°C'nin üzerine çıktığı görülmektedir. Bu bölgelerde meydana gelen aşırı ısınmalar nedeni ile 180W üzerindeki güç seviyelerinde kurutulan örneklerin belirli bölgelerinde yanmalar gözlenmiştir (EK 2). Dönme fonksiyonunun uygulandığı kurutma işlemlerinde, 450W ve 600W güç seviyelerinde benzer şekilde belirli bölgelerde aşırı ısınmalar göze çarpmaktadır. Bu durum 9.5 rpm dönme hızında 6.5 ve 12.5 rpm'e göre daha düşük seviyededir.

Elde edilen sapma değerlerinin kurutma işleminin başlangıcında daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca tüm güç seviyeleri için genel olarak dönmenin olmadığı durumda elde edilen sapma değerleri, dönme fonksiyonunun uygulandığı kurutma işlemine kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Bu sonuç yukarıda yapılan açıklamalar ile uyumludur. 6.5, 9.5 ve 12.5 rpm dönme hızlarında elde edilen sapma değerleri arasında ise önemli bir farklılık gözlenmemiştir.

4.6 Renk

Çoğu olgun turunçgil meyvesinin kabuğunun renginden sorumlu olan birincil pigmentler karotenoidlerdir. Turunçgil kabuklarındaki karotenoid pigmentlerin içeriği ve bileşimi, genetik faktörler, çevresel ve besinsel faktörler, hormonal faktörler, olgunlaşma derecesi gibi birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir (Rodrigo ve ark., 2013). Meyvenin olgunlaşması sırasında, yeşil renkten sorumlu olan klorofiller parçalanır ve çeşitli karotenoidler sentezlenir. Turunçgil kabuklarında çeşitli karotenoid pigmentlerin varlığı, çeşitli karakteristik renkler üretir.

Renk, kurutulmuş gıdaların en önemli kalite parametrelerinden biridir. Tüketici alımını en çok etkileyen öge olan görünüşün değerlendirilmesinde gıda maddelerinin rengi belirleyici faktördür (Ural, 1983).

Kurutulmuş limon kabuğu örneklerinin öğütme işlemi sonrası hali Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.20 Kurutulmuş limon kabuğu tozu örnekleri

Limon kabuğu tozu örneklerine ait L^* , a^* , b^* renk parametreleri Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Limon kabuğu tozlarının L^* değerleri 42.03-83.66 aralığında değişmektedir. Farklı kurutma yöntemlerinin L^* değerleri üzerine etkisi önemli bulunmuştur (EK 3). En yüksek L^* değeri, dondurarak kurutulan örneğe aittir. Bu sonuç literatür ile uyumludur. Turunçgil kabuklarının farklı yöntemler kullanılarak kurutulması üzerine yapılan çeşitli çalışmalarda dondurarak kurutma yönteminin diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek L^* ve b^* , daha düşük a^* değerleri sağladığı bildirilmiştir (Tekgül, 2019; Rafiq ve ark., 2019; Farahmandfar ve ark., 2020a). 600W'ta 0 rpm dönme hızında mikrodalga ile kurutulan örnek en düşük L^* değerine sahiptir. Sıcak hava ve 180W mikrodalga ile kurutulan örneklerin L^* değerleri benzer bulunmuştur.

Çizelge 4.12 Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun L*, a*, b* değerlerine ait veriler

| Kurutma Uygulaması | | L* | a* | b* |
|------------------------|------------|---------|-----------|--------------|
| Güç | Dönme hızı | | | |
| Dondurarak kurutma | - | 83.66a | 10.65f | 46.77abcd |
| Sıcak hava ile kurutma | - | 78.90b | 13.06e | 49.00a |
| 180W | 0 | 76.33bc | 13.64de | 46.52abcdefg |
| | 6.5 | 77.42b | 13.82cde | 48.96a |
| | 9.5 | 77.70b | 13.88bcde | 49.35a |
| | 12.5 | 77.50b | 14.04bcde | 49.01a |
| 300W | 0 | 63.35d | 16.35ab | 41.70bcdefg |
| | 6.5 | 72.25c | 15.57abcd | 47.76abc |
| | 9.5 | 72.68c | 15.49abcd | 48.12ab |
| | 12.5 | 71.61c | 16.11abcd | 46.97abcdefg |
| 450W | 0 | 48.37e | 15.39abcd | 31.30h |
| | 6.5 | 64.02d | 16.32abc | 40.48efg |
| | 9.5 | 62.33d | 17.17a | 41.42defg |
| | 12.5 | 61.58d | 17.17a | 41.78bcdefg |
| 600W | 0 | 42.03f | 12.71e | 26.86h |
| | 6.5 | 60.29d | 17.05a | 41.06fg |
| | 9.5 | 62.10d | 17.11a | 41.11g |
| | 12.5 | 61.35d | 17.29a | 41.56cdefg |

Mikrodalga ile kurutma işleminde, güç seviyesi ve dönme hızının limon kabuğu tozunun L* değerleri üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur (EK 4). Tüm güç seviyeleri için, dönmenin olmadığı (0 rpm) durumda kurutulan örneklerin L* değerleri, dönmenin olduğu durumda kurutulanlarınkinden düşüktür. Ancak bu fark 180W güç seviyesi için istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Aynı güç seviyesi için dönme hızının artırılmasının, örneklerin L* değerini önemli ölçüde etkilemediği görülmektedir. Tekgül ve Baysal (2018) farklı kurutma yöntemlerinin (sıcak hava, mikrodalga ve dondurarak kurutma), limon kabuğunun L* değerine etkisini önemli bulmuş (p<0.05) ve yaş örneklerin L* değeri ile kıyasladığında dondurarak kurutulan örneklerin L* değerinde artış meydana gelirken 120W mikrodalgada kurutulan örneklerin L* değerinin azaldığını raporlamışlardır. Bu çalışmada, benzer dönme hızlarında, artan güç seviyesi ile L* değerlerinin azaldığı görülmektedir. Ancak güç seviyesinin 450W değerinden 600W değerine çıkartılması ile L* değerinde gözlenen bu düşüş istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bu çalışmadakine benzer şekilde, Ghanem ve ark., (2012) yapmış oldukları çalışmada limon kabuklarının L* değerlerinin, mikrodalga kurutma işleminde artan güç seviyesi

(100-600W) ile azaldığını rapor etmiş ve L* değerlerindeki azalmanın kahverengi pigmentlerin oluşumu ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir.

Limon kabuklarının a* değerleri 10.65-17.29 aralığında değişmektedir. Farklı kurutma yöntemlerinin a* değerleri üzerine etkisi önemli bulunmuştur (EK 5). En düşük a* değeri dondurarak kurutulan örneğe aittir. Sıcak havada kurutulan örneklerin a* değerleri 180W'ta kurutulan örneklerin a* değerleri ile benzer, 300, 450 ve 600W'ta kurutulan örneklerin a* değerlerinden ise düşük bulunmuştur (600W-0 rpm hariç).

Mikrodalga ile kurutma işleminde, güç seviyesi ve dönme hızının limon kabuğu tozunun a* değerleri üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur (EK 6). Dönme fonksiyonu, yalnızca 600W gücünde kurutulan örneklerin a* değerlerinde önemli değişikliğe neden olmuştur. 600W'ta dönmenin olmadığı durumda kurutulan örneklerin a* değerleri dönmenin olduğu durumda kurutulan örneklerinkine kıyasla önemli derecede düşüktür. Diğer güç seviyelerinde ise dönme işleminin a* değeri üzerine etkisi önemsiz görülmektedir. Dönmenin olduğu durumda, 450 ve 600W güç seviyelerinde kurutulan örnekler 300W'ta kurutulan örnekler ile benzer, 180W'ta kurutulan örneklerden ise daha yüksek a* değerlerine sahiptir.

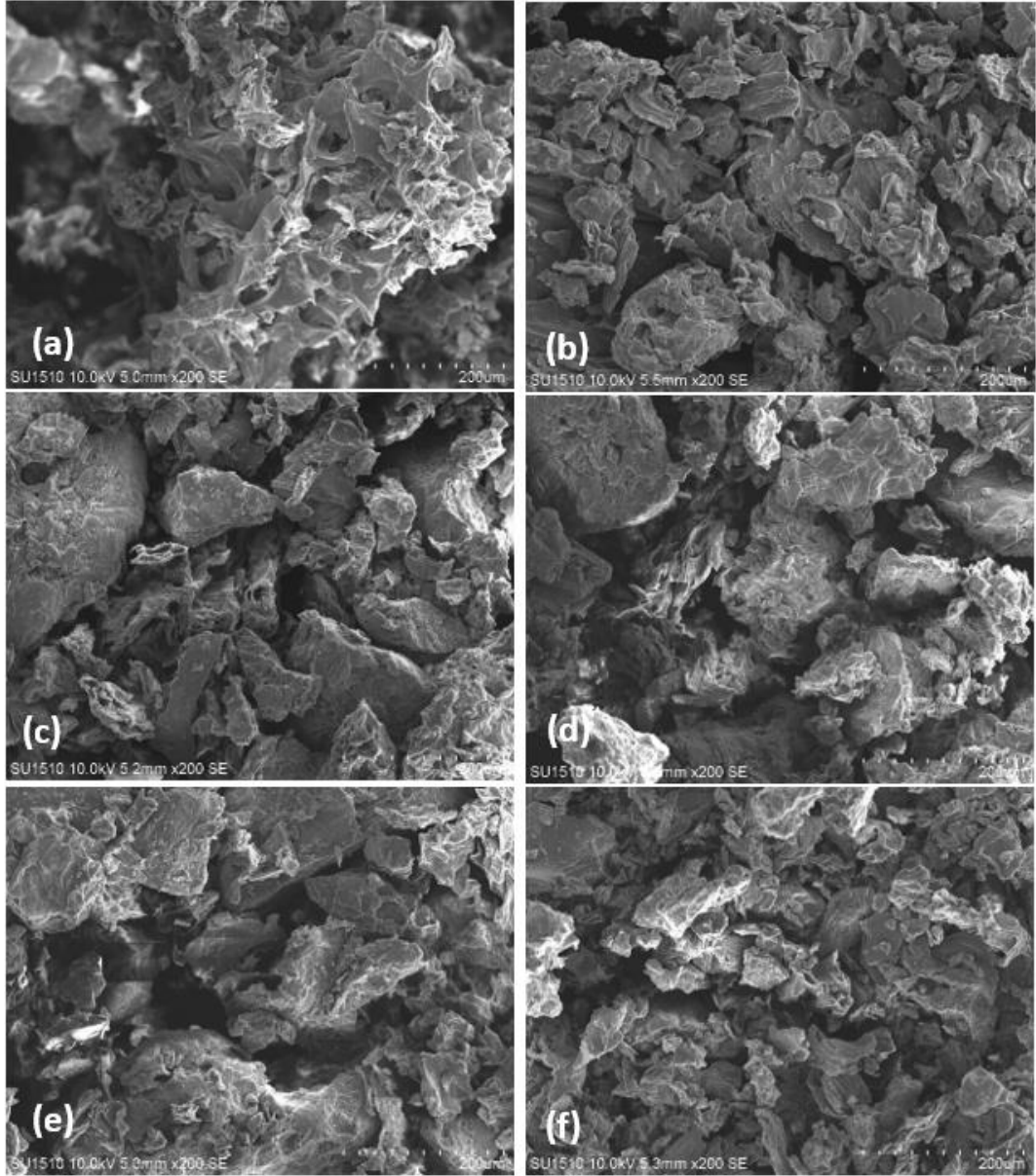
Kurutulmuş limon kabuklarının b* değerleri 26.86-49.35 aralığında değişmektedir. Farklı kurutma yöntemlerinin b* değerleri üzerine etkisi önemli bulunmuştur (EK 7). 450 ve 600W mikrodalga gücünde 0 rpm'de kurutulan örnekler en düşük b* değerlerine sahiptir. Dondurarak kurutma işlemi, 450 ve 600W güçlerinde 0 ve 6.5 rpm dönme hızlarında kurutulanlar örneklerden daha yüksek, diğer tüm koşullarda kurutulan örnekler ile benzer b* değerine sahiptir. 180 ve 300W'ta kurutulan örnekler, sıcak havada kurutulan örnekler ile benzer b* değerlerine sahiptir (300W-0 rpm hariç).

Mikrodalga ile kurutma işleminde, güç seviyesi ve dönme hızının limon kabuğu tozunun b* değerleri üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur (EK 8). Dönme fonksiyonu, 450 ve 600W gücünde kurutulan örneklerin b* değerlerinde önemli artış sağlamıştır. Düşük güç seviyelerinde ise dönme fonksiyonu b* değerlerinde artış sağlamış olsa da bu artış istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur.

Dönmenin olduğu durumda, 180W'ta kurutulan örneklerin b^* değerleri, 300W'ta kurutulan örnekler ile benzer bulunmuştur. Daha yüksek güç seviyelerinde kurutma işlemi (450 ve 600W) örneklerin b^* değerlerinde önemli derecede düşüşe neden olmuştur. Ghanem ve ark., (2012) benzer şekilde, artan mikrodalga gücü ile limon kabuğunun b^* değerinde düşüş kaydetmişlerdir. Diğer bir çalışmada, Farahmandfar ve ark., (2020b) turunç kabuğunun farklı yöntemler ile kurutulmasında L^* ve b^* değerlerinin, sıcaklık ve güç seviyesindeki artışa bağlı olarak azaldığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada, gücün 450W'tan 600W'a çıkartılması örneklerin b^* değerlerinde önemli bir değişim yaratmamıştır.

4.7 SEM Analizi Bulguları

Dondurarak kurutulmuş limon kabuğu tozuna ait SEM görüntüsü Şekil 4.21'de verilmektedir. Dondurarak kurutma işleminde su dokudan süblimasyon yolu ile uzaklaşmaktadır. Bu yöntemde diğer kurutma yöntemlerine göre daha az büzülme meydana geldiği ve doku hasarının daha az olduğu bilinmektedir. Elde edilen SEM görüntülerinde dondurarak kurutulmuş olan toz ürünündeki parçacıkların gözenekli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Sıcak hava kurutma ve mikrodalga kurutma yöntemleri ile kurutulan örnekler arasında net bir fark gözlenememiştir. Sıcak hava ve mikrodalga ile kurutma işlemi esnasında büzüşmelere bağlı oluşan ve daha yoğun dağılım gösteren küçük gözenekler ile doku hasarlarının meydana geldiği görülmektedir. Limon kabuğu tozunun mikroyapısını incelemek, hem kabuktaki morfolojik yapı ve büzüşmeleri doğrulamakta hem de son ürünün rehidrasyon ve diğer özellikleri için teorik bir temel sağlamaktadır (Shu ve ark., 2020).



Şekil 4.21 a)DK, b)SHK, c)180W-0 rpm, d)180W-12.5 rpm, e) 600W-0 rpm f)600W-12.5 rpm mikrodalga ile kurutma işlemleri sonrası elde edilen limon kabuğu tozuna ait SEM görüntüleri

4.8 Yığın (bulk) Yoğunluğu (ρ_b)

Toz gıdaların üretiminde yığın yoğunluk ve sıkıştırılmış yoğunluk önemli kalite parametreleri olup paketleme ve taşıma maliyetlerinin tahmininde kullanılmaktadır. Yığın yoğunluk (ρ_b) değeri, belirli bir hacme sahip paketleme malzemesine ne kadar toz ürün konulabileceğinin bir göstergesi olup toz ürünlerin arasındaki boşluk ve gözeneklilik ile yakından ilişkilidir (Koç ve ark., 2021; Barbosa-

Cánovas, 2005). Kurutulmuş limon kabuğu tozlarının yığın yoğunluk (ρ_b) sonuçları Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13 Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun yığın (bulk) yoğunluk, sıkıştırılmış yoğunluk, HR ve CI değerlerine ait veriler

| Kurutma uygulaması | Dönme hızı | Yığın yoğunluk, ρ_b (g/ml) | Sıkıştırılmış yoğunluk, ρ_t (g/ml) | Hausner oranı | Carr indeksi (%) |
|--------------------|------------|---------------------------------|---|--------------------|---------------------|
| DK | - | 0.212d ± 0.029 | 0.335c ± 0.055 | 1.576a ± 0.117 | 36.184a ± 4.975 |
| SHK | - | 0.374c ± 0.018 | 0.495b ± 0.020 | 1.327b ± 0.068 | 24.448b ± 3.852 |
| 180W | 0 | 0.468ab ± 0.016 | 0.603a ± 0.029 | 1.290b ± 0.071 | 22.276b ± 4.073 |
| | 6.5 | 0.468ab ± 0.020 | 0.615a ± 0.042 | 1.313b ± 0.070 | 23.623b ± 4.042 |
| | 9.5 | 0.466ab ± 0.026 | 0.615a ± 0.040 | 1.322b ± 0.085 | 24.076b ± 4.878 |
| | 12.5 | 0.460ab ± 0.022 | 0.617a ± 0.041 | 1.340b ± 0.075 | 25.193b ± 4.105 |
| 300W | 0 | 0.452ab ± 0.040 | 0.594a ± 0.048 | 1.318b ± 0.093 | 23.808b ± 5.419 |
| | 6.5 | 0.472a ± 0.025 | 0.616a ± 0.041 | 1.308b ± 0.093 | 23.198b ± 5.541 |
| | 9.5 | 0.468ab ± 0.031 | 0.617a ± 0.038 | 1.321b ± 0.099 | 23.884b ± 5.546 |
| | 12.5 | 0.467ab ± 0.030 | 0.621a ± 0.042 | 1.332b ± 0.090 | 24.659b ± 4.913 |
| 450W | 0 | 0.463ab ± 0.025 | 0.608a ± 0.028 | 1.317b ± 0.051 | 23.958b ± 2.920 |
| | 6.5 | 0.470a ± 0.032 | 0.614a ± 0.031 | 1.311b ± 0.072 | 23.515b ± 4.167 |
| | 9.5 | 0.465ab ± 0.019 | 0.622a ± 0.029 | 1.338b ± 0.084 | 25.009b ± 4.840 |
| | 12.5 | 0.471a ± 0.022 | 0.618a ± 0.036 | 1.315b ± 0.075 | 23.753b ± 4.309 |
| 600W | 0 | 0.428b ± 0.013 | 0.571ab ± 0.030 | 1.334b ± 0.074 | 24.851b ± 4.193 |
| | 6.5 | 0.444ab ± 0.028 | 0.603a ± 0.031 | 1.363b ± 0.091 | 26.326b ± 4.688 |
| | 9.5 | 0.448ab ± 0.024 | 0.614a ± 0.035 | 1.373b ± 0.072 | 27.016b ± 3.745 |
| | 12.5 | 0.455ab ± 0.018 | 0.611a ± 0.044 | 1.344b ± 0.079 | 25.343b ± 4.285 |

Kurutulmuş örneklerin yığın yoğunluk (ρ_b) değerleri 0.212 ile 0.472 g/ml arasında değişmektedir. En düşük ρ_b değeri dondurarak kurutulan örneklere aittir (EK 9). Tekgül ve Baysal (2018) yapmış olduğu çalışmada farklı yöntemlerle (sıcak hava, mikrodalga ve dondurarak kurutma) kurutulan limon kabuklarının yığın yoğunluk değerlerini kıyaslamış, açık hava, sıcak hava ve mikrodalgada kurutulan örneklerin yığın yoğunluk değerinin, dondurarak kurutulan örneklerin yığın yoğunluk değerinden yüksek olduğunu raporlamışlardır. Benzer bir diğer çalışmada, Farahmandfar ve ark., (2020a) mikrodalga ile kurutulan portakal kabuklarının yığın yoğunluk değerinin, dondurarak kurutmaya kıyasla daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Başka bir çalışmada ise, Farahmandfar ve ark., (2020b) 360 ve 600W mikrodalgada kurutulan turunç kabuklarının yığın yoğunluk değerinin dondurarak kurutulan örneklerin yığın yoğunluk değerinden yüksek olduğunu belirtmiştir. Dondurarak kurutma işleminde, gıda maddesinin yapısında bulunan su, süblimleşme ile doğrudan uzaklaştırıldığı için üründe büzüşmenin meydana gelmemesi ve boşluklu yapı ürün hacmini artırmakta bu durumda yığın yoğunluğu değerini azaltmaktadır. Elde edilen bu sonuç SEM analiz bulguları ile uyumludur.

Dönme hızının ρb üzerine önemli bir etkisi bulunmazken mikrodalga güç seviyesinin etkisi önemli bulunmuştur (EK 10). Güç seviyesi için grup ortalamaları arasındaki farkın bulunması amacıyla Tukey çoklu (pairwise) karşılaştırma testi yapılmış ve 180, 300 ve 450W güç seviyelerine ait grup ortalamalarının benzerlik gösterdiği, 600W güç seviyesine ait grup ortalamasının diğer güç seviyelerinden düşük olduğu bulunmuştur (EK 11).

4.9 Sıkıştırılmış Yoğunluk (ρt)

Sıkıştırılmış yoğunluk (ρt), toz ürünün vurdurularak çöktürülmesiyle elde edilen sabit hacim ile hesaplanmaktadır. Kurutulmuş limon kabuğu tozu örneklerinin sıkıştırılmış yoğunluk (ρt) sonuçları Çizelge 4.13'te yer almaktadır. Örneklerin ρt değerleri 0.335-0.622 g/ml aralığında olup farklı kurutma yöntemlerinin etkisi istatistiksel açıdan önemlidir (EK 12). En düşük ρt değeri dondurarak kurutulan örneğe aittir. Mikrodalgada kurutma işlemi dondurarak kurutma ve sıcak hava kurutmaya göre daha yüksek ρt değerleri sağlamıştır.

Mikrodalga güç seviyesinin ρt üzerine önemli bir etkisi bulunmazken dönme hızının etkisi önemli bulunmuştur (EK 13). Dönme hızı için grup ortalamaları arasındaki farkın bulunması amacıyla Tukey çoklu (pairwise) karşılaştırma testi yapılmış ve 6.5, 9.5 ve 12.5 rpm'de elde edilen grup ortalamalarının benzer olduğu görülmüştür (EK 14). 0 rpm'de elde edilen grup ortalaması ise 9.5 ve 12.5 rpm'ye kıyasla düşüktür.

Mikrodalga ile kurutmada dönme fonksiyonunun kullanılmaması, homojen olmayan ısınmaya neden olmaktadır. Bu durum, kurutma işlemi boyunca kabuk matrisinin tahribatında değişiklik yaratabilmekte ve öğütme performansını etkileyebilmektedir. Buna bağlı olarak, toz üründe nispeten düzgün olmayan parçacık boyutu dağılımına neden olabilmektedir. 0 rpm'de daha düşük ρt değerlerinin bulunmasının bu durumdan kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.10 Carr İndeks (CI) ve Hausner Oranı (HR)

Hausner oranı (HR), toz ürünün yapışkanlığını; Carr indeks (CI) değeri toz ürünün akabilirliğini ifade etmektedir. (Chen ve ark., 2021). Toz ürünlerin yapışkanlık ve akabilirlik özellikleri nem içeriği, partikül büyüklüğü, kimyasal bileşimi vb. faktörlerden etkilenmektedir (Barbosa-Cánovas, 2005).

Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozlarının HR ve CI sonuçları Çizelge 4.13'te verilmiştir. En yüksek HR değeri (1.576) dondurarak kurutulan örneğe ait olup (EK 15), elde edilen değer 1.4'ten büyük olmasından dolayı Çizelge 4.14'te yer alan sınıflandırmaya göre yüksek yapışkanlık özelliği göstermektedir. Mikrodalga ve sıcak hava ile kurutulan örneklerin HR değerleri 1.3-1.4 aralığında yer almakta ve orta düzeyde yapışkanlık özelliği göstermektedirler. Bu durum toz haldeki ürünler için kabul edilebilir bir orandır. Mikrodalga güç seviyesi ve dönüş hızının HR değerleri üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur (EK 16).

Çizelge 4.14 Carr's indeks ve Hausner oranı değerlerine göre tozların akış özelliğinin sınıflandırılması (Seerangurayar ve ark., 2017)

| Carr's indeks (%) | Akma özelliği (Flowability) | Hausner oranı | Yapışkanlık (Cohesiveness) |
|-------------------|-----------------------------|------------------------|----------------------------|
| <15.0 | Çok İyi (Very good) | >1.4 | Yüksek (High) |
| 15–20 | Güzel (Good) | $1.2 \leq HR \leq 1.4$ | Orta (Intermediate) |
| 20-35 | Orta (Fair) | <1.2 | Düşük (Low) |
| 35-45 | Kötü (Bad) | | |
| >45 | Çok kötü (Ver bad) | | |

En yüksek CI değeri (36.184) dondurarak kurutulan örneklere ait olup 35-55 aralığında yer almaktadırlar ve kötü akabilirlik özelliği göstermektedir (EK 17). Mikrodalga ve sıcak hava ile kurutulan örneklerin CI değerleri 22.28-27.02 aralığında bulunmuştur. Bu sebeple orta derecede akma özelliğine sahip oldukları görülmektedir. Toz haldeki ürünlerin yüksek akabilirlik davranış göstermesi ve yapışkan olmaması özellikle toz formundaki karışımlar için önemlidir.

Mikrodalga güç seviyesi ve dönüş hızının CI değerleri üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur (EK 18).

4.11 Su Tutma Kapasitesi

Su tutma kapasitesi (STK) ve yağ tutma kapasitesi (YTK) gibi fonksiyonel özellikler gıda maddesinin yapısında bulunan diyet lif ile ilgili olup çeşitli gıda formülasyonlarında bir bileşen olarak kullanılabilirliği hakkında bilgi vermektedir. Özellikle çözünmez diyet liflerinin yüksek su tutma kapasitesi ve yağ tutma kapasitesi özelliklerine sahip olduğu bilinmektedir. Ayrıca, su tutma kapasitesi ve yağ tutma kapasitesi, yığın yoğunluk ile yakından ilişkilidir; yüksek yığın yoğunluğa sahip maddelerin yüzey alanları daha küçük olduğundan, daha az miktarda su ve yağ bağlamaktadırlar (Tejada-Ortigoza ve ark., 2016).

Kurutulan limon kabuklarının su tutma kapasitesi değerleri Çizelge 4.15'te verilmiştir. Örneklere ait su tutma kapasitesi değerleri 6.34-9.32 (g su/g kuru örnek) arasındadır. Literatürde, kurutulmuş turunçgil kabuğu tozlarının su tutma kapasitesi değerlerinin 2.7-13 g su/g k.b. arasında değiştiği görülmektedir (Abou Arab ve ark., 2017; Talens ve ark., 2018).

Çizelge 4.15 Farklı yöntemlerle kurutulmuş limon kabuğu tozunun su tutma kapasitesi ve yağ tutma kapasitesi değerleri

| Kurutma uygulaması | Dönme hızı | STK (g su/g k.b.) | | YTK (g yağ/g k.b.) | |
|--------------------|------------|----------------------|--------|-----------------------|--------|
| | | | | | |
| DK | - | 8.464ab | ±0.404 | 3.034a | ±0.134 |
| SHK | - | 9.316a | ±0.128 | 1.687b | ±0.024 |
| 180W | 0 | 6.717b | ±0.670 | 1.359bc | ±0.006 |
| | 6.5 | 6.458b | ±0.467 | 1.410bc | ±0.013 |
| | 9.5 | 6.812b | ±0.173 | 1.418bc | ±0.013 |
| | 12.5 | 6.736b | ±0.407 | 1.444c | ±0.000 |
| 300W | 0 | 7.502ab | ±0.996 | 1.580bc | ±0.090 |
| | 6.5 | 7.442ab | ±0.658 | 1.407bc | ±0.026 |
| | 9.5 | 7.456ab | ±0.628 | 1.447bc | ±0.028 |
| | 12.5 | 7.383ab | ±0.644 | 1.494bc | ±0.080 |
| 450W | 0 | 6.393b | ±0.818 | 1.441bc | ±0.002 |
| | 6.5 | 7.080ab | ±1.228 | 1.488bc | ±0.012 |
| | 9.5 | 7.267ab | ±1.041 | 1.442bc | ±0.070 |
| | 12.5 | 7.001ab | ±1.040 | 1.534bc | ±0.158 |
| 600W | 0 | 6.340b | ±0.494 | 1.692b | ±0.090 |
| | 6.5 | 7.625ab | ±1.002 | 1.496bc | ±0.025 |
| | 9.5 | 7.841ab | ±1.272 | 1.453bc | ±0.068 |
| | 12.5 | 7.924ab | ±1.061 | 1.575bc | ±0.134 |

Farklı kurutma yöntemlerinin örneklerin su tutma kapasitesi değeri üzerine etkisi önemli bulunmuştur ($p < 0.05$) (EK 19). Yapılan bir çalışmada, Ghanem ve ark., (2020) sıcak hava ile kurutma (SHK) (40, 50, 60°C), infrared kurutma (IRK) (40, 50, 60°C) ve mikrodalga kurutma (MK) (100, 180, 300, 450, 600W) ile kurutulmuş limon kabuklarının su tutma kapasitesi değerlerini karşılaştırdığında en yüksek değerlerin IRK ve SHK ile kurutulmuş örnekler için olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada, en yüksek su tutma kapasitesi 9.3 g/g k.b. ile sıcak hava ile kurutulmuş örnekler için bildirilmiştir. Ancak istatistiksel olarak bakıldığında sıcak havada kurutulmuş örneğin su tutma kapasitesi değerinin, yalnızca 180W'ta tüm dönme hızlarında ve 450 ve 600W'ta dönmenin olmadığı durumda kurutulmuş örneklerin su tutma kapasitesi değerlerinden önemli derecede yüksek olduğu görülmektedir. Bu örnekler dışında, mikrodalga kurutma, sıcak havada ve dondurarak kurutmaya göre daha düşük STK değerleri verse

de aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bu, en azından kısmen, mikrodalga kurutma sırasında örneklerde ulaşılan daha yüksek sıcaklıklara bağlı olabilir. Kurutma sıcaklığının tozların fonksiyonel özelliklerini etkilediği bilinmektedir. Turunçgil kabuğu tozlarının fonksiyonel özelliklerinin, yüksek kurutma sıcaklıklarından ($\geq 60^{\circ}\text{C}$) olumsuz etkilendiği gösterilmiştir (Garau ve ark., 2007; RomDhane ve ark., 2015; Ghanem ve ark., 2020). Deng ve ark., (2019) 50 ve 60°C 'de kurutulmuş portakal kabuğunun su tutma kapasitesinde önemli bir değişiklik olmadığını, ancak sıcaklıktaki daha fazla artışın, su tutma kapasitesinde azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Ghanem ve ark., (2020) daha yüksek sıcaklıktan kaynaklanan daha sert yapı oluşumunun limon kabuğunda daha düşük su tutma kapasitesine yol açabileceğini belirtmişlerdir. Garau ve ark., (2007) yüksek (90°C) ve düşük (30°C) kurutma sıcaklıklarının portakal kabuklarının sıcak havada kurutulması sırasında pektik polimerlerde önemli kayıplara neden olduğunu kaydetmiştir. İşleme sırasında pektik maddelerin bozunmasının fonksiyonel özellikleri etkilediği bilinmektedir. Mikrodalga kurutma sırasında yapı içinde oluşan daha yüksek sıcaklık ve iç basınç, hücresel doku deformasyonuna neden olarak su tutma kapasitesinde kayıplara neden olabilir.

Mikrodalga güç seviyesinin su tutma kapasitesi üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur (EK 20). Ghanem ve ark., (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, kurutma işleminde artan mikrodalga güç seviyesi (100-600W) ile, limon kabuğuna ait su tutma kapasitesi değerlerindeki değişiminin net bir eğilim izlemediği ve farklı turunçgil çeşitlerinden (Thompson, mandalina ve limon) elde edilen kabukların, farklı güç seviyelerinde maksimum su tutma kapasitesi değerlerine sahip olduğu rapor edilmiştir.

İstatistiksel olarak dönüş hızının su tutma kapasitesi üzerine etkisi anlamlı bulunmamıştır (EK 20). Genel olarak, yüksek güç seviyelerinde, dönme fonksiyonunun su tutma kapasitesi değerleri üzerindeki etkisinin daha belirgin olduğu söylenebilir. 600W için dönme fonksiyonunun kullanılması su tutma kapasitesi değerini %20-25 artırmıştır. 450W için ise bu oran %9-14 olarak bulunmuştur. Dönme fonksiyonunun kullanılması ile yapılan kurutma işleminde, tüm güç seviyeleri için 9.5 rpm'de elde edilen su tutma kapasitesi değerlerinin, 6.5 ve 12.5 rpm'de elde edilenlere kıyasla yüksek olduğu görülmektedir. Fakat, bu değişim istatistiksel açıdan önemsiz

bulunmuştur ($p>0.05$). Dönme hızındaki değişim, su tutma kapasitesi değerinde yalnızca %1-5.5 oranında bir değişim yaratmıştır.

Farklı meyve yan ürünlerine ait su tutma kapasitesi değerleri (kavun kabuğu 5.36 g/g (Mallek-Ayadi ve ark., 2017); elma kabuğu 1.7-2 g/g (Henríquez ve ark., 2010)) incelendiğinde limon kabuğunun su tutma kapasitesi değerinin (6.34-9.31 g/g) daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, kurutulmuş limon kabuğunda bulunan diyet liflerin bazı yan ürünler ile karşılaştırıldığında yüksek hidrasyon özellik göstererek fonksiyonelliğini artırdığını göstermektedir

4.12 Yağ Tutma Kapasitesi

Kurutulan limon kabuklarının değerleri Çizelge 4.15'te verilmiştir. Örneklere ait yağ tutma kapasitesi değerleri 1.36-3.03 (g yağ/g kuru örnek) arasındadır. Figuerola ve ark., (2005) turunçgil (portakal, limon ve greyfurt) kabuğu lifi konsantrelerinin su tutma kapasitesi, yağ emme kapasitesi ve şişme kapasitelerinin sırasıyla 1.65–2.26 g su/g (k.b.), 1.2–1.81 g yağ/g (k.b.) ve 6.11-9.19 ml su/g (k.b.) aralıklarında değiştiğini rapor etmişlerdir. Farklı kurutma yöntemlerinin örneklerin yağ tutma kapasitesi değeri üzerine etkisi önemli bulunmuştur (EK 21). Dondurarak kurutulmuş örnek diğer örneklerle kıyasla önemli derecede yüksek yağ tutma kapasitesi değerine sahiptir.

Genel olarak, tüm güç seviyeleri için 12.5 rpm dönme hızı, yağ tutma kapasitesi değerinde, 6.5 ve 9.5 rpm ile kıyaslandığında bir miktar artış sağlamıştır. Ancak genel doğrusal model analizine göre, mikrodalga ile kurutma işleminde, dönme hızının limon kabuğu tozunun yağ tutma kapasitesi değerleri üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur (EK 22). Mikrodalga güç seviyesinin etkisi ise önemli bulunmuştur. Tukey çoklu (pairwise) karşılaştırma testine göre, 180W ve 600W güç seviyesine ait grup ortalamaları farklı bulunmuştur (EK 23). 600W'ta elde edilen yağ tutma kapasitesi değerleri daha yüksektir. Bunun dışındaki grup ortalamaları ise benzer çıkmıştır.

Çalışmada uygulanan tüm kurutma yöntemlerinde örneklerin yağ tutma kapasitesi değerlerinin su tutma kapasitesi değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Turunçgil kabuklarının kurutulması ile ilgili yapılan çeşitli çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir (Garau ve ark., 2006; Bejar ve ark., 2011a; Bejar ve ark., 2011b; M'hiri ve ark., 2018; Ghanem ve ark., 2012).

Limon kabuğu tozlarının yüksek su tutma ve yağ tutma kapasitesi değerlerine sahip olması, çeşitli gıda formülasyonlarında sadece lif içeriğini zenginleştirici olarak değil aynı zamanda fonksiyonel bir bileşen olarak kullanılabileceğini de göstermektedir (RomDhane ve ark., 2015).

4.13 pH Tayini

Kurutulmuş limon kabuklarına ait pH değerleri 4.52-4.92 aralığında olup kurutma işleminin pH değerine olan etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0.005$) (EK 24). Limon kabuğunun kurutma işlemi ve öncesi ve sonrasına ait pH değerleri Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16 Kurutulmuş limon kabuğu tozu örneklerine ait pH değerleri

| Kurutma Uygulaması | | pH |
|------------------------|------------|-----------------|
| Güç | Dönme hızı | |
| Yaş örnek | - | 4.507±0.145d |
| Dondurarak kurutma | - | 4.880±0.070ab |
| Sıcak hava ile kurutma | - | 4.923±0.136a |
| 180W | 0 | 4.777±0.142abcd |
| | 6.5 | 4.723±0.042abcd |
| | 9.5 | 4.743±0.035abcd |
| | 12.5 | 4.717±0.035abcd |
| 300W | 0 | 4.797±0.172abc |
| | 6.5 | 4.797±0.050abc |
| | 9.5 | 4.747±0.011abcd |
| | 12.5 | 4.777±0.031abcd |
| 450W | 0 | 4.693±0.092abcd |
| | 6.5 | 4.693±0.090abcd |
| | 9.5 | 4.757±0.102abcd |
| | 12.5 | 4.683±0.108abcd |
| 600W | 0 | 4.657±0.091abcd |
| | 6.5 | 4.633±0.101bcd |
| | 9.5 | 4.527±0.076cd |
| | 12.5 | 4.717±0.046abcd |

Kurutma işlemi sonrasında limon kabuklarının pH değerlerinde bir miktar artış gözlenmiştir. Kurutulmuş örneklerin pH değerinin daha yüksek olmasına, gıdanın yapısında meydana gelen asit kayıplarının neden olduğu düşünülmektedir. Tekgül ve Baysal (2018) farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuklarının pH değerlerinin, yaş örneğin pH değerinden yüksek olduğunu raporlamışlardır.

Mikrodalga ile kurutma işleminde mikrodalga güç seviyesinin limon kabuğunun pH değerine olan etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunurken ($p < 0.005$), dönme hızının etkisi önemsiz bulunmuştur ($p > 0.005$) (EK 25).

4.14 Toplam Fenolik Madde (TFM)

Fenolik bileşikler, bitkilerde bulunan, en yaygın ikinci organik bileşikler grubudur ve antioksidant aktivite ile enzim inhibisyonu, gen ekspresyonunun düzenlenmesi vb. farklı hücresel süreçleri düzenlemek gibi işlevleri bulunmaktadır. Bunun yanında, meyve ve sebzelerde acılık, renk ve lezzet gibi kalite özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptirler (Laura ve ark., 2019). Yaş ve kurutulmuş limon kabuklarına ait toplam fenolik madde miktarları Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17 Kurutulmuş limon kabuğu tozu örneklerine ait toplam fenolik madde (TFM) değerleri

| Kurutma Uygulaması | | Toplam Fenolik Madde (TFM) (mg GAE/100g) |
|------------------------|------------|---|
| Güç | Dönme hızı | |
| Yaş örnek | - | 896.50 ± 42.3 gh |
| Dondurarak kurutma | - | 566.30 ± 29.2 jk |
| Sıcak hava ile kurutma | - | 553.70 ± 38.2 k |
| 180W | 0 | 675.01 ± 16.1 ij |
| | 6.5 | 703.22 ± 10.4 ı |
| | 9.5 | 594.60 ± 29.8 ijk |
| | 12.5 | 670.29 ± 8.2 ij |
| 300W | 0 | 1101.07 ± 11.4 de |
| | 6.5 | 878.00 ± 17.4 gh |
| | 9.5 | 841.80 ± 25.7 h |
| | 12.5 | 967.30 ± 41.0 fg |
| 450W | 0 | 1105.00 ± 54.4 de |
| | 6.5 | 1189.80 ± 29.3 cd |
| | 9.5 | 1060.30 ± 94.5 ef |
| | 12.5 | 1115.00 ± 60.8 de |
| 600W | 0 | 1730.71 ± 12.9 a |
| | 6.5 | 1402.90 ± 29.9 b |
| | 9.5 | 1152.10 ± 42.9 cde |
| | 12.5 | 1261.40 ± 24.1 c |

Taze limon kabuğuna ait toplam fenolik madde miktarı 896.50 ± 42.3 mg GAE/100 g k.b. olarak bulunmuştur. Yapılan çeşitli çalışmalarda taze limon kabuğunun toplam fenolik madde miktarları; 811 mg GAE/100 g k.b. (Kuljarachanan ve ark., 2009), 222.76 mg GAE/ 100 g k.b. (Casquete ve ark., 2015), 590 mg GAE/100 g (Gómez-Mejía ve ark., 2019) olarak rapor edilmiştir. Kurutulmuş limon kabuğu

örneklerinin toplam fenolik madde miktarı 554-1731 mg GAE/100 g k.b. aralığında değişmektedir.

Dondurarak, sıcak hava ve 180W'ta mikrodalga ile kurutulan örneklerin TFM değerleri, yaş örnek ile kıyaslandığında daha düşük bulunmuştur (EK 26). Turunçgil kabukları için, kurutmadan sonra toplam fenolik içerikte azalma bazı yazarlar tarafından bildirilmiştir. Kızılötesi kurutmadan (40-70°C) sonra portakal kabuğunun (Bejar ve ark., 2011a), sıcak havayla kurutma (40-60°C), kızılötesi kurutma ve mikrodalga kurutmadan sonra limon kabuğunun (Ghanem ve ark., 2020; RomDhane ve ark., 2015; Zhang ve ark., 2018b), sıcak havayla kurutma (50-80°C) sonrası mandalina kabuğunun (Li ve ark, 2020), çeşitli kurutma işlemleri (fırın, hava, mikrodalga, dondurarak kurutma) sonrası yuzu kabuğunun (Assefa & Keum, 2017) TFM değerlerinde yaş örneğe kıyasla azalma tespit edilmiştir. Kurutma ile TFM'deki azalma, kurutma sırasında oksidatif enzimlerin aktivasyonu, termal parçalanma, polifenollerin kimyasal yapılarındaki değişiklikler, polifenollerin proteinlere bağlanması ve fenoliklerin daha düşük ekstraksiyon verimleri gibi çeşitli faktörlere bağlanmıştır (Deng ve ark., 2019; Li ve ark., 2020)

Mikrodalganın 300, 450 ve 600W güç seviyelerinde kurutulan örnekler ise yaş örnek ile benzer veya daha yüksek TFM değerlerine sahiptir. Literatürde yapılan çalışmalarda kurutma işlemi ile turunçgil kabuklarının TFM içeriğinde düşüş olduğuna dair bulgular olsa da kurutma koşullarına ve turunçgil cinsine bağlı olarak tersi sonuçların da rapor edildiği görülmektedir. Tekgül ve Baysal (2018, 2019) farklı kurutma işlemlerine (açık hava, sıcak hava, mikrodalga, vakumlu mikrodalga ve dondurarak kurutma) tabi tutulan limon kabuklarının TFM içeriğinde taze örneğe göre artış tespit etmiştir.

Mikrodalga ile kurutulan örneklere ait toplam fenolik madde miktarlarının, dondurarak kurutma yöntemlerine kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Dondurarak kurutmanın yüksek kaliteli ürün elde etmek için etkili bir yöntem olduğu bilinmektedir. Ancak dondurarak kurutma işlemi limon kabuğu tozunun TFM içeriği açısından en iyi sonucu sağlamamıştır. Literatür incelendiğinde benzer bulgular olduğu görülmektedir. Papoutsis ve ark., (2017) sıcak havada ve vakumla kurutulmuş (70-110°C) limon kabuklarında dondurularak kurutulmuş olanlara kıyasla daha

yüksek TFM tespit etmişlerdir. Isıtma etkisi ile bazı bağlı fenoliklerin serbest kalması ve polifenol oksidaz enziminin azalması olası nedenler olarak gösterilmiştir. Bir diğer çalışmada Abd Rahman ve ark., (2018) fırında kurutmanın (50 veya 60°C'de), pomelo kabuğundaki fenoliklerin korunması için dondurarak kurutmaya kıyasla daha iyi bir yöntem olduğunu bildirmiştir. Sıcak havayla kurutmadan sonra pomelo kabuğunun albedo ve flavedo kısımlarının TFM'sinde bir artış elde ederken, dondurarak kurutmadan sonra önemli bir azalma elde etmişlerdir. Bu durumun dondurarak kurutmanın nispeten uzun sürmesinden kaynaklandığı vurgulamışlardır.

Mikrodalga ile kurutulan örneklerin TFM içerikleri, sıcak hava ile kurutulan örneklerden yüksek bulunmuştur. Literatürde yapılmış olan bazı çalışmalar, mikrodalga kurutmanın güneşte, gölgede veya fırında kurutmaya (>60°C) kıyasla turunçgil kabuklarında daha yüksek TFM sağladığını göstermiştir (Assefa ve Keum, 2017; Farahmandfar ve ark., 2019, 2020; Tekgül ve Baysal, 2018). Shu ve ark., (2020) vakumlu mikrodalga ile kurutulan mandalina kabuklarına ait toplam fenolik madde miktarının sıcak hava ile kurutulan örneklere kıyasla daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ghanem ve ark., (2020) limon kabuklarını mikrodalga kurutma (100-600W), sıcak hava kurutma (40-60°C), kızılötesi kurutma (40-60°C) yöntemleri ile kurutmuşlar ve 450W güç seviyesinde mikrodalga kurutmanın en yüksek TFM değerlerini sağladığını bulmuşlardır. Yaptıkları çalışmada sıcak havada kurutma işlemi sırasında TFM'nin bozunması birinci dereceden kinetiği takip ederken, mikrodalga kurutmanın ilk aşamasında (300-600W) TFM bozunmasının birinci derece kinetiği takip ettiğini fakat ilerleyen aşamalarda TFM içeriğinde artış olduğunu rapor etmişlerdir. Mikrodalga kurutma sırasında doku içinde oluşan yüksek basınç ve sıcaklık nedeniyle bağlı fenoliklerin veya bazı hücre duvarı fenoliklerinin salınması TFM'nin artışının olası bir nedeni olabilir. Fenolik maddeler ısıya duyarlı bileşiklerdir. Ancak ısıl işlem ile birlikte bazı fenolik bileşenler inaktive olurken, bazı fenolik bileşenler ise hücre duvarı ve matriksinin bozulmasıyla serbest hale geçmekte ve TFM içeriğinde artış sağlamaktadır.

Mikrodalga ile kurutma işleminde, artan güç seviyesine bağlı olarak, örneklere ait TFM değerlerinde artış meydana geldiği görülmektedir (EK 28). En yüksek toplam fenolik madde miktarının 1730.71 ± 12.9 mg GAE/100 g k.b. ile 600W-0 rpm koşullarında mikrodalga ile kurutulan örneğe ait olduğu bulunmuştur. Mikrodalga güç

seviyesi ve işlem süresinin turunçgil kabuklarının fenolik içeriğini ve antioksidan aktivitesini etkileyen önemli faktörler olduğu bazı araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Bejar ve ark., 2011b; Farahmandfar ve ark., 2020; Ghanem ve ark., 2012). Yapılan bir çalışmada, Bejar ve ark., (2011b) bu çalışmadakine benzer şekilde, daha yüksek mikrodalga güç seviyelerinde (300-850W) kurutulan Maltaise portakal kabuğunda, 100 ve 180W'ta kurutulanlara göre daha yüksek TFM belirlemiştir. Benzer şekilde, Ghanem ve ark., (2012) taze portakal kabuğu ile düşük mikrodalga güç seviyelerinde (100 ve 300W) kurutulan portakal kabuklarında benzer TFM değerleri elde ederken, daha yüksek güç seviyelerinde (450 ve 600W) kurutulan kabuklar için daha yüksek TFM değerleri kaydetmişlerdir.

Mikrodalga ile kurutma işleminde dönme hızının toplam fenolik madde miktarı üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0.005$) (EK 27). 180W gücünde tüm kurutma koşullarında elde edilen toz üründe benzer TFM değerleri elde edilmiştir. 300 ve 600W için ise 0 rpm'de en yüksek toplam fenolik madde içeriği tespit edilmiştir. 600W-0rpm koşullarında kurutulan örnek tüm örnekler içerisinde en yüksek TFM içeriğine sahip bulunmuştur. Bu durumun bu koşullarda örnek içerisinde oluşan yüksek sıcaklıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Dönme hızı için grup ortalamaları arasındaki farkın bulunması amacıyla Tukey çoklu (pairwise) karşılaştırma testi yapılmış ve 0 rpm dönme hızına ait grup ortalamasının en yüksek, 9.5 rpm dönme hızına ait grup ortalamasının ise en düşük olduğu bulunmuştur (EK 29). Yüzey sıcaklıklarına bakıldığında 0 rpm'de bölgesel aşırı ısınmalar nedeni ile sıcaklığın yüksek değerlere çıktığı görülmektedir. Ayrıca 9.5 rpm'de elde edilen sıcaklık değerlerinin de 6.5 ve 12.5 rpm'e kıyasla düşük olduğu görülmektedir. Jeong ve ark., (2004) Citrus unshiu kabuğu tozlarını elektrikli fırında 50, 100 ve 150°C'de farklı sürelerde (10-60 dk) ısıtılmasına tabi tutmuş ve 150°C'de ısıtılmasının en yüksek TFM değerini sağladığını kaydetmiştir. Sung ve ark., (2019) mandalina (*C. reticulata*) kabuklarında, 150°C'de 50 dk boyunca fırında ısıtılmasından sonra flavonoidlerin, özellikle flavonoid aglikonların seviyesinde bir artış tespit etmişlerdir. Papoutsis ve ark., (2017) 110°C'de sıcak hava ve vakumlu kurutma işlemlerine tabi tutulan limon kabuklarında 70°C'de kurutulanlara göre daha yüksek TFM ve antioksidan aktivite tespit etmişlerdir. Çalışmalarında artan kurutma sıcaklığının, gallik asit içeriğinde önemli artış, p-kumarik asit ve rutin içeriklerinde ise azalma

sağladığını rapor etmişlerdir. Chen ve ark., (2011) portakal kabuğunu fırında kurutmuş (50-100°C) ve 70°C'den yüksek sıcaklıkların, dondurularak kurutulmuş numuneye kıyasla daha yüksek TPC sağladığını rapor etmişlerdir. Aynı çalışmada 100°C'de kurutulan portakal kabuğu örneğinde kafeik asit içeriğinde 5 kat artış tespit edilmiş ve polifenol içeriğini korumak için daha yüksek kurutma sıcaklıklarının daha iyi olduğunu belirtilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son günlerde en çok tartışılan konuların başında sürdürülebilirlik ve atık yönetimi gelmektedir. Atıkların fonksiyonel gıdaların formülasyonunda, eczacılıkta, kimya endüstrisinde vb. alanlarda kullanılabilirliği üzerine yapılan ve yapılmakta olan pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada limon meyvesinin evlerde ve endüstride kullanımını sonucu meydana gelen yüksek besleyici ve fonksiyonel özellikleri bulunan limon kabukları kullanılmıştır.

Yüksek nem içeriğine sahip limon kabukları uzun süreli muhafazası ve toz ürün elde edebilmek amacıyla kurutulmuştur. Kurutma yöntemi olarak işlem süresinin kısalığı ve ürün kalitesini artırdığı bilinen mikrodalga ile kurutma yöntemi kullanılmıştır. Döner tablanın, dönüş fonksiyonu ve dönme hızındaki artışın, mikrodalğanın en büyük dezavantajlarından biri olan homojen olmayan sıcaklık dağılımına ve son ürün kalitesine olan etkisi araştırılmıştır.

Mikrodalga ile kurutma işleminin, kurutma süresini sıcak hava ile kurutmaya kıyasla önemli oranda azalttığı tespit edilmiştir. Döner tablanın etkisi incelendiğinde, dönmenin olmadığı duruma kıyasla, dönme hareketi ile kurutma süresinde azalma olduğu bulunmuştur. Elde edilen bulgular doğrultusunda, limon kabuğunun kurutma davranışını en iyi ifade eden model Page modeli olarak belirlenmiştir. Mikrodalga güç seviyesindeki artış, örneklerin efektif difüzyon katsayısı (D_{eff}) değerinde artış sağlamıştır.

Örneklere ait termal görüntüler ışığında tüm mikrodalga güç seviyelerinde dönme fonksiyonunun, ürün yüzeyindeki sıcaklık dağılımının homojenliğini artırdığı ve bu durumun da ürünün kuruma süresini kısaltarak, belli bölgelerde aşırı ısınmalara bağlı yanmaları önlediği görülmüştür. Döner tabla hızındaki değişimlerin ise yüzey sıcaklık değerlerini güce bağlı olarak etkilediği ancak sıcaklık dağılımının homojenliğine net bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Çeşitli formülasyonlarda kullanılabilirliği bakımından, kurutma işlemi sonrası toz hale getirilen kurutulmuş limon kabuklarının bazı kalite (fiziksel, kimyasal ve teknolojik) özellikleri araştırılmıştır. Artan mikrodalga güç seviyelerinde (450 ve 600W) örneklerin koyuluk değerlerinde artış, sarılık değerlerinde ise düşüş gözlenmiştir. Çalışmada uygulanan tüm güç seviyelerinde, dönme fonksiyonun

uygulanmadığı durumlar renk değerlerini olumsuz etkilemiş ve homojen olmayan sıcaklık dağılımı nedeniyle belli bölgelerde aşırı ısınmalar sonucu yanmalar meydana gelmiştir. Genel olarak bakıldığında, 600W-0 rpm koşullarında mikrodalga ile kurutulan örnekler renk kalitesi bakımından en düşük bulunan olmuştur. Dönme hızındaki değişimin renk parametreleri üzerine önemli bir etkisi olmamıştır.

Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozu örneklerinin yığın ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri diğer örneklerden yüksek bulunmuştur. Bu durum mikrodalga ile kurutulan ürünlerin paketlenmesi, depolanması ve taşınması hususlarında daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Mikrodalga ile kurutulan örneklerin HR ve CI değerlerine bakıldığında orta seviyede akabilirlik ve yapışkanlık gösterdiği görülmektedir. 180W dışında mikrodalgada kurutulan tüm örneklerin su ve yağ tutma kapasitesi değerleri sıcak havada kurutulanlarıki ile benzerdir. En yüksek yağ tutma kapasitesi değeri dondurarak kurutulan örneklere aittir. Genel olarak bakıldığında dönme fonksiyonunun ve dönme hızındaki değişimin fonksiyonel özellikler üzerine önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir.

180W güç seviyesi üzerinde mikrodalga ile kurutma işlemleri, yağ örneğe ve diğer kurutma yöntemlerine kıyasla limon kabuğu tozunda daha yüksek TFM içeriği sağlamıştır. TFM değerleri artan güç seviyesi ile artış göstermiştir. Dönme fonksiyonu ve dönme hızı TFM üzerinde önemli derecede etkilidir.

Mikrodalga ile kurutma yöntemi, işlem süresini kısaltması ile verimlilik ve enerji tasarrufu bakımından diğer kurutma yöntemlerine göre avantaj sağlamaktadır. Mikrodalga ile kurutularak elde edilen limon kabuğu tozu gerek fiziksel ve kimyasal gerekse teknolojik özellikleri bakımından sıcak havada ve dondurarak kurutulan örneklere göre benzer veya daha iyi bulunmuştur. Mikrodalga güç seviyesi ve dönme fonksiyonu kurutma kinetiği ve incelenen kalite parametreleri üzerinde etkilidir. Dönme hızı, yüzey sıcaklık değerleri ve TFM üzerine etkili bulunmuştur. Dönme hızının etkisi güce bağlı olarak değişmektedir. Mikrodalga ile kurutma yönteminin, uygun parametreler seçildiğinde, atık olarak meydana gelen limon kabuklarının kurutulmasında kullanılabilecek alternatif bir yöntem olduğu görülmüştür. Kurutulmuş limon kabuğu tozlarının, tüketicilerin daha sağlıklı ürünlere olan taleplerini karşılamak için üretilen kek, bisküvi, ekmek, bebek maması gibi çeşitli gıda

ürünlerinde toplam fenolik madde içeriği ve su tutma kapasitesi gibi özellikleriyle buğday unu yerine kısmi bir bileşen olarak kullanılabilceği düşünölmektedir. Elde edilen toz ürünün, sosis, burger gibi et ürünlerinde kullanımının son üründe pişirme kayıplarını önleyici ve su içeriğini artırıcı etki göstererek tekstür gelişimine katkı sağlayacağı düşünölmektedir. Çalışmadan elde edilen veriler, fonksiyonel gıda üretim sektöründe limon kabuğu tozunun bir katkı maddesi olarak değeriendirilmesi açısından faydalı olacaktır.

Besleyici özellikler bakımından zengin limon kabuğu atıklarının, fiziksel ve fonksiyonel özellikleri sayesinde pek çok gıda karışımında yüksek katma değeri bir bileşen olarak kullanımının hem ekonomiye katkı sağlayacağı hem de çevre kirliliklerinin azaltılmasıyla sürdürülebilirlik ve atık yönetimi konuları hakkında bilinç uyandıracığı düşünölmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Abd Rahman, NF., Shamsudin, R., Ismail, A. & Shah, NNAK. (2016). Effects of post-drying methods on pomelo fruit peels. *Food Science and Biotechnology*, 25(1), 85-90.
- Abou-Arab, EA., Mahmoud, MH. & Abu-Salem, FM. (2017). Functional properties of citrus peel as affected by drying methods. *American Journal of Food Technology*, 12, 193-200.
- Al-Juhaimi, FY. (2014). Citrus fruits by-products as sources of bioactive compounds with antioxidant potential. *Pakistan Journal of Botany*, 46(4), 1459-1462.
- Agócs, A., Nagy, V., Szabó, Z., Márk, L., Ohmacht, R. & Deli, J. (2007). Comparative study on the carotenoid composition of the peel and the pulp of different citrus species. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(3), 390-394.
- Anonim, (1995). Official methods of analysis of AOAC International: Agriculture chemicals, contaminants, drugs, 16th editon. AOAC International, Arlington, Virginia.
- Anonim, (2019). Lemon peel, raw. U.S. Department of Agriculture. Food Data Central (USDA), Agricultural Research Service, Washington, D.C.
- Anonim, (2021). Ürün Raporu Turunçgiller. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü Müdürlüğü (TEPGE), Ankara.
- Apak, R., Güclü, K., Özyürek, M. & Celik, SE. (2008). Mechanism of antioxidant capacity assays and the CUPRAC (cupric ion reducing antioxidant capacity) assay. *Microchimica Acta*, 160(4), 413-419.
- Assefa, AD., Saini, RK. & Keum, YS. (2017). Extraction of antioxidants and flavonoids from yuzu (*Citrus junos* Sieb ex Tanaka) peels: a response surface methodology study. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(2), 364-379.
- Barbosa-Cánovas, GV., Ortega-Rivas, E., Juliano, P. & Yan, H. (2005). Food powders: physical properties, processing, and functionality. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, USA, (86), 71-75.
- Barros, HRM., Ferreira, TAPC. & Genovese, MI. (2012). Antioxidant capacity and mineral content of pulp and peel from commercial cultivars of citrus from Brazil. *Food Chemistry*, 134(4), 1892-1898.
- Bejar, AK., Ghanem, N., Mihoubi, D., Kechaou, N. & Mihoubi, NB. (2011a). Effect of infrared drying on drying kinetics, color, total phenols and water and oil holding capacities of orange (*Citrus sinensis*) peel and leaves. *International Journal of Food Engineering*, 7(5), 13-21.
- Bejar, AK., Kechaou, N. & Mihoubi, NB. (2011b). Effect of microwave treatment on physical and functional properties of orange (*Citrus sinensis*) peel and leaves. *Journal of Food Processing and Technology*, 2(2), 109-116.
- Ben-Yehoshua, S., Burg, SP. & Young, R. (1985). Resistance of citrus fruit to mass transport of water vapor and other gases. *Plant Physiology*, 79(4), 1048-1053.

- Benjamin, AC., Akingbala, JO. & Baccus-Taylor, GSH. (2007). Effect of drying and storage on flavour quality of orange (*Citrus cinensis* (Linn) Osbeck) peel for cupcakes. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 5, 78-82.
- Bonazzi, C. & Dumoulin, E. (2011). Quality changes in food materials as influenced by drying processes: Modern drying technology: Volume 3: Product Quality and Formulation, Ed.: Tsotsas, E. & Mujumdar, AS., Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 1-20.
- Bows, JR. (1999). Variable frequency microwave heating of food. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 34(4), 227–238.
- Bozkir, H., Tekgöl, Y. & Erten, ES. (2021). Effects of tray drying, vacuum infrared drying, and vacuum microwave drying techniques on quality characteristics and aroma profile of orange peels. *Journal of Food Process Engineering*, 44(1), 1-11.
- Carsky, M. (2008). Design of a dryer for citrus peels. *Journal of Food Engineering*, 87(1), 40-44.
- Casquete, R., Castro, SM., Martín, A., Ruiz-Moyano, S., Saraiva, JA., Córdoba, MG. & Teixeira, P. (2015). Evaluation of the effect of high pressure on total phenolic content, antioxidant and antimicrobial activity of citrus peels. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 31, 37-44.
- Cemeroğlu, B. (2013a). Gıda Mühendisliğinde Temel İşlemler. Bizim Grup Basımevi, Ankara, 872s.
- Cemeroğlu, B. (2013b). Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi (Cilt 2). Bizim Grup Basımevi, Ankara, 636s.
- Chamchong, M. & Datta, AK. (1999). Thawing of foods in a microwave oven: I. Effect of power levels and power cycling. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 34 (1), 9–21.
- Chavan, P., Singh, AK. & Kaur, G. (2018). Recent progress in the utilization of industrial waste and by-products of citrus fruits: A review. *Journal of Food Process Engineering*, 41(8), e12895, 1-10.
- Chen, Q., Wang, D., Tan, C., Hu, Y., Sundararajan, B. & Zhou, Z. (2020). Profiling of flavonoid and antioxidant activity of fruit tissues from 27 Chinese local citrus cultivars. *Plants*, 9(2), 196.
- Chen, X., Ting, JLH., Peng, Y., Tangjaidee, P., Zhu, Y., Li, Q., Shan, Y. & Quek, SY. (2021). Comparing three types of mandarin powders prepared via microfluidic-jet spray drying: Physical properties, phenolic retention and volatile profiling. *Foods*, 10(1), 123, 1-19.
- Crank, J. (1979). The mathematics of diffusion. Revised edition. Clarendon Press, Oxford, Great Britain, 411pp.
- Crawshaw, R. (2003). Co-product feeds: animal feeds from the food and drinks industries: *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Nottingham University Press, Nottingham, 83(4), 362-362.

- Czech, A., Zarycka, E., Yanovych, D., Zasadna, Z., Grzegorzczak, I. & Kłys, S. (2020). Mineral content of the pulp and peel of various citrus fruit cultivars. *Biological Trace Element Research*, 193(2), 555-563.
- Dai, FJ. & Chau, CF. (2017). Classification and regulatory perspectives of dietary fiber. *Journal Of Food and Drug Analysis*, 25(1), 37-42.
- Darvishi, H., Asl, AR., Asghari, A., Azadbakht, M., Najafi, G. & Khodaei, J. (2014). Study of the drying kinetics of pepper. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13(2), 130-138.
- Datta, AK. (2001). Handbook of microwave technology for food application. CRC Press, Marcel Dekker Inc., New York, 499pp.
- Demir, G. (2020). Limon Yetiştiriciliği. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Antalya.
- Demir, MK. & Olcay, N. (2020). Ekmek Üretiminde Farklı Turunçgil Aldebolarının Kullanım İmkanları. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(6), 1545-1553.
- Demiray, E., Seker, A. & Tulek, Y. (2017). Drying kinetics of onion (*Allium cepa* L.) slices with convective and microwave drying. *Heat and Mass Transfer*, 53(5), 1817-1827.
- Demirel, H. (2017). Farklı Turunçgillerden Elde Edilen Albedoların Bisküvi Üretiminde Kullanım İmkanları. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Deng, LZ., Mujumdar, AS., Yang, WX., Zhang, Q., Zheng, ZA., Wu, M. & Xiao, HW. (2019). Hot air impingement drying kinetics and quality attributes of orange peel. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(1), e14294, 1-11.
- Dhanavade, MJ., Jalkute, CB., Ghosh, JS. & Sonawane, KD. (2011). Study antimicrobial activity of lemon (*Citrus lemon* L.) peel extract. *British Journal of Pharmacology and Toxicology*, 2(3), 119-122.
- Dharmawan, J., Kasapis, S. & Curran, P. (2008). Characterization of volatile compounds in selected citrus fruits from Asia—Part II: Peel Oil. *Journal of Essential Oil Research*, 20(1), 21-24.
- Dinani, ST., Feldmann, E. & Kulozik, U. (2021). Effect of heating by solid-state microwave technology at fixed frequencies or by frequency sweep loops on heating profiles in model food samples. *Food and Bioproducts Processing*, 127, 328-337.
- Dirim, SN. & Caliskan, G. (2012). Determination of the effect of freeze drying process on the production of pumpkin (*Cucurbita moschata*) puree powder and the powder properties. *Gıda*, 37(4), 203-210.
- Fakhouri, MO. & Ramaswamy, HS. (1993). Temperature uniformity of microwave heated foods as influenced by product type and composition. *Food Research International*, 26(2), 89-95.

- Farahmandfar, R., Tirgarian, B., Dehghan, B. & Nemati, A. (2020a). Changes in chemical composition and biological activity of essential oil from Thomson Navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) peel under freezing, convective, vacuum, and microwave drying methods. *Food Science and Nutrition*, 8, 124-138.
- Farahmandfar, R., Tirgarian, B., Dehghan, B. & Nemati, A. (2020b). Comparison of different drying methods on bitter orange (*Citrus aurantium* L.) peel waste: Changes in physical (density and color) and essential oil (yield, composition, antioxidant and antibacterial) properties of powders. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(2), 862-875.
- Femenia, A., Lefebvre, AC., Thebaudin, JY., Robertson, JA. & Bourgeois, CM. (1997). Physical and sensory properties of model foods supplemented with cauliflower fiber. *Journal of Food Science*, 62(4), 635-639.
- Figuerola, F., Hurtado, ML., Estévez, AM., Chiffelle, I. & Asenjo, F. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*, 91(3), 395-401.
- Funawatashi, Y. & Suzuki, T. (2003). Numerical analysis of microwave heating of a dielectric. *Heat Transfer*, 32(3), 227-236.
- Garau, MC., Simal, S., Femenia, A. & Rossello, C. (2006). Drying of orange skin: drying kinetics modelling and functional properties. *Journal of Food Engineering*, 75, 288-95.
- Garau, MC., Simal, S., Rossello, C. & Femenia, A. (2007). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. Canoneta) by-products. *Food Chemistry*, 104(3), 1014-1024.
- Garcia-Amezquita, LE., Tejada-Ortigoza, V., Serna-Saldivar, SO. & Welti-Chanes, J. (2018). Dietary fiber concentrates from fruit and vegetable by-products: processing, modification, and application as functional ingredients. *Food and Bioprocess Technology*, 11(8), 1439-1463.
- García-Pérez, JV., Cárcel, JA., Riera, E. & Mulet, A. (2009). Influence of the applied acoustic energy on the drying of carrots and lemon peel. *Drying Technology*, 27(2), 281-287.
- Garcia-Perez, JV., Ortuño, C., Puig, A., Carcel, JA. & Perez-Munuera, I. (2012). Enhancement of water transport and microstructural changes induced by high-intensity ultrasound application on orange peel drying. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6), 2256-2265.
- Geedipalli, SSR., Rakesh, V. & Datta, AK. (2007). Modeling the heating uniformity contributed by a rotating turntable in microwave ovens. *Journal of Food Engineering*, 82(3), 359-368.
- Ghanem, N., Mihoubi, D., Kechaou, N. & Mihoubi, NB. (2012). Microwave dehydration of three citrus peel cultivars: Effect on water and oil retention capacities, color, shrinkage and total phenols content. *Industrial Crops and Products*, 40, 167-177.

- Ghanem, N., Mihoubi, D., Bonazzi, C., Kechaou, N. & BouDhrioua, N. (2020). Drying characteristics of lemon by-product (Citrus limon. V. lunari): effects of drying modes on quality attributes kinetics'. *Waste and Biomass Valorization*, 11(1), 303-322.
- Ghanem RomDhane, N., Bonazzi, C., Kechaou, N. & Mihoubi, NB. (2015). Effect of air-drying temperature on kinetics of quality attributes of lemon (Citrus limon cv. lunari) peels. *Drying Technology*, 33(13), 1581-1589.
- Gómez-Mejía, E., Rosales-Conrado, N., León-González, ME. & Madrid, Y. (2019). Citrus peels waste as a source of value-added compounds: Extraction and quantification of bioactive polyphenols. *Food Chemistry*, 295, 289-299.
- González-Mas, MC., Rambla, JL., López-Gresa, MP., Blázquez, MA. & Granell, A. (2019). Volatile compounds in citrus essential oils: A comprehensive review. *Frontiers in Plant Science*, 10(12), 1-18.
- Gorinstein, S., Martín-Belloso, O., Park, YS., Haruenkit, R., Lojek, A., Číž, M., Caspi, A., Libman, I. & Trakhtenberg, S. (2001). Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits. *Food Chemistry*, 74(3), 309-315.
- Güzel, M. & Akpınar, Ö. (2017). Turunçgil kabuklarının biyoaktif bileşenleri ve antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 153-167.
- Han, L., Zhang, J. & Cao, X. (2021). Effects of orange peel powder on rheological properties of wheat dough and bread aging. *Food Science and Nutrition*, 9, 1061–1069.
- Hawa, LC., Ali, SB., Fujii, S., Yoshimoto, N. & Yamamoto, S. (2014). Effects of pre-treatments on browning of lemon peels during drying. *Japan Journal of Food Engineering*, 15(3), 181-187.
- Henríquez, C., Speisky, H., Chiffelle, I., Valenzuela, T., Araya, M., Simpson, R. & Almonacid, S. (2010). Development of an ingredient containing apple peel, as a source of polyphenols and dietary fiber. *Journal of Food Science*, 75(6), H172-H181.
- Hodgson, RW. (1967). Horticultural varieties of citrus. *History, World Distribution, Botany and Varieties*, 431-591.
- Iriondo-DeHond, M., Miguel, E. & Del Castillo, MD. (2018). Food byproducts as sustainable ingredients for innovative and healthy dairy foods. *Nutrients*, 10(10), 1358.
- Jeong, SM., Kim SY., Kim, DR., Jo, SC., Nam, KC., Ahn, DU. & Lee, SC. (2004). Effect of heat treatment on the antioxidant activity of extracts from citrus peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(11), 3389-3393.
- Kafa, G. (2015). Türkiye’de Yetiştirilen Başlıca Limon Çeşitleri. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Alata Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü, Erdemli, Mersin.
- Karaman, E. (2016). Narenciye Çekirdeklerinden Diyet Lifi Elde Edilmesi ve Lifin Kraker Üretiminde Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Onsekiz Mart

Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Çanakkale.

- Kay, RM. (1982). Dietary fiber. *Journal of Lipid Research*, 23(2), 221-242.
- Kırbaş, İ., Tuncer, AD., Şirin, C. & Usta, H. (2019). Modeling and developing a smart interface for various drying methods of pomelo fruit (*Citrus maxima*) peel using machine learning approaches. *Computers and Electronics in Agriculture*, 165, 104928.
- Klimek-Szczykutowicz, M., Szopa, A. & Ekiert, H. (2020). Citrus limon (Lemon) phenomenon—a review of the chemistry, pharmacological properties, applications in the modern pharmaceutical, food, and cosmetics industries, and biotechnological studies. *Plants*, 9(1), 119, 1-24.
- Koç, B., Koç, M. & Baysan, U. (2021). Food powders bulk properties: Food Powders Properties and Characterization, Springer, Switzerland, 1-36.
- Kohajdová Z., Karovičová J., Jurasová M. & Kukurová K. (2011). Application of citrus dietary fibre preparations in biscuit production. *Journal of Food and Nutrition Research*, 50(3), 182-190.
- Krokida, MK. & Maroulis, ZB. (1999). Effect of microwave drying on some quality properties of dehydrated products. *Drying Technology*, 17(3), 449-466.
- Kuljarachanan, T., Devahastin, S. & Chiewchan, N. (2009). Evolution of antioxidant compounds in lime residues during drying. *Food Chemistry*, 113(4), 944-949.
- Kumari, AA., Sivaji, G., Arifa, S., Sai Mahesh, O., Raja Rao, T., Venkata Kalyan, S., Dhana Raju, V., Bhargava, K. & Lakshman Reddy, K. (2020). Experimental assessment of performance, combustion and emission characteristics of diesel engine fuelled with lemon peel oil. *International Journal of Ambient Energy*, 43(1), 3857-3867.
- Ladaniya, MS. (2008). Commercial fresh citrus cultivars and producing countries. *Citrus Fruit: Biology, Technology and Evaluation*. Academic Press, San Diego, 13-65.
- Laura, A., Moreno-Escamilla, JO., Rodrigo-García, J. & Alvarez-Parrilla, E. (2019). Phenolic compounds: Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables. Woodhead Publishing, 253-271.
- Li, ZY., Wang, RF. & Kudra, TJDT. (2011). Uniformity issue in microwave drying. *Drying Technology*, 29(6), 652-660.
- Li, WF., Li, YH., Bi, J., Ji, Q., Zhao, X., Zheng, QR., Tan, S. & Gao, XX. (2020). Effect of hot air drying on the polyphenol profile of Hongjv (*Citrus reticulata* Blanco, cv. Hongjv) peel: A multivariate analysis. *Journal of Food Biochemistry*, 44(5), e13174, 1-10.
- Liu, S., Fukuoka, M. & Sakai, N. (2013). A finite element model for simulating temperature distributions in rotating food during microwave heating. *Journal of Food Engineering*, 115(1), 49-62.

- M'hiri, N., Ghali, R., Nasr, IB. & Boudhrioua, N. (2018). Effect of different drying processes on functional properties of industrial lemon byproduct. *Process Safety and Environmental Protection*, 116, 450-460.
- M'hiri, N., Veys-Renaux, D., Rocca, E., Ioannou, I., BouDhrioua, NM. & Ghoul, M. (2016). Corrosion inhibition of carbon steel in acidic medium by orange peel extract and its main antioxidant compounds. *Corrosion Science*, 102, 55-62.
- Mahato, N., Sharma, K., Sinha, M. & Cho, MH. (2018). Citrus waste derived nutra-/pharmaceuticals for health benefits: Current trends and future perspectives. *Journal of Functional Foods*, 40, 307-316.
- Mahato, N., Sharma, K., Sinha, M., Baral, ER., Koteswararao, R., Dhyani, A., Cho, MH. & Cho, S. (2020). Bio-sorbents, industrially important chemicals and novel materials from citrus processing waste as a sustainable and renewable bioresource: A review. *Journal of Advanced Research*, 23, 61-82.
- Mahmoud, GA., Abdel-Aal, SE., Badway, NA., Elbayaa, AA. & Ahmed, DF. (2015). Radiation modification of Orange Peel for wastewater treatment from dyes. 48(45).
- Mallek-Ayadi, S., Bahloul, N. & Kechaou, N. (2017). Characterization, phenolic compounds and functional properties of Cucumis melo L. peels. *Food Chemistry*, 221, 1691-1697.
- Marey, S. & Shoughy, M. (2016). Effect of temperature on the drying behavior and quality of citrus peels. *International Journal of Food Engineering*, 12(7), 661-671.
- Martín, MA., Siles, JA., Chica, AF. & Martín, A. (2010). Biomethanization of orange peel waste. *Bioresource Technology*, 101(23), 8993-8999.
- Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 169-175.
- Mello, RE., Fontana, A., Mulet, A., Correa, JLG. & Cárcel, JA. (2020). Ultrasound-assisted drying of orange peel in atmospheric freeze-dryer and convective dryer operated at moderate temperature. *Drying Technology*, 38(1-2), 259-267.
- Meral, R. (2016). Isıl İşlemin Fenolik Bileşenler Üzerine Etkisi. *Yüziüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 55-67.
- Metaxas, AC. & Meredith, RJ. (1983). Industrial microwave heating: IET Power and Energy series 4. The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 376pp.
- Miller, WM. & Braddock, RJ. (1982). Microwave drying of citrus peel. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, (95), 204-207.
- Moses, JA., Norton, T., Alagusundaram, K. & Tiwari, BK. (2014). Novel drying techniques for the food industry. *Food Engineering Reviews*, 6(3), 43-55.
- Nagy, S. (1980). Vitamin C contents of citrus fruit and their products: a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 28(1), 8-18.
- Nakamura, A., Hara, Y. & Kawano, T. (2017). Dewatering and extraction of hydrophilic solutes and essential oils from cryo-preserved lemon peels using

- liquefied dimethyl ether. *Solvent Extraction Research and Development*, 24(1), 37-45.
- Nogata, Y., Sakamoto, K., Shiratsuchi, H., Ishii, T., Yano, M. & Ohta, H. (2006). Flavonoid composition of fruit tissues of citrus species. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 70(1), 178-192.
- Oliveira, VRD., Preto, LT., de Oliveira Schmidt, H., Komerovski, M., Silva, VLD. & de Oliveira Rios, A. (2016). Physicochemical and sensory evaluation of cakes made with passion fruit and orange residues. *Journal of Culinary Science & Technology*, 14(2), 166-175.
- Ollitrault, P. & Navarro, L. (2012). *Citrus: Fruit breeding*, Springer, Boston, MA, 623-662.
- Onwude, DI., Hashim, N., Janius, RB., Nawi, NM. & Abdan, K. (2016). Modeling the thin-layer drying of fruits and vegetables: A review. *Food Science and Food Safety*, 15(3), 599-618.
- Özbek, B. & Dadali, G. (2007). Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. *Journal of Food Engineering*, 83 (4), 541-549.
- Özcan, MM., Ghafoor, K., Al Juhaimi, F., Uslu, N., Babiker, EE., Mohamed Ahmed, IA. & Almusallam, IA. (2021). Influence of drying techniques on bioactive properties, phenolic compounds and fatty acid compositions of dried lemon and orange peel powders. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 147-158.
- Papoutsis, K., Pristijono, P., Golding, JB., Stathopoulos, CE., Bowyer, MC., Scarlett, CJ. & Vuong, QV. (2017). Effect of vacuum-drying, hot air-drying and freeze-drying on polyphenols and antioxidant capacity of lemon (Citrus limon) pomace aqueous extracts. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(4), 880-887.
- Penniston, KL., Nakada, SY., Holmes, RP. & Assimos, DG. (2008). Quantitative assessment of citric acid in lemon juice, lime juice, and commercially-available fruit juice products. *Journal of Endourology*, 22(3), 567-570.
- Rafiq, S., Singh, B. & Gat, Y. (2019). Effect of different drying techniques on chemical composition, color and antioxidant properties of kinnow (Citrus reticulata) peel. *Journal of Food Science and Technology*, 56(5), 2458-2466.
- Robertson, JA., de Monredon, FD., Dysseler, P., Guillon, F., Amado, R. & Thibault, JF. (2000). Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: a European collaborative study. *LWT-Food Science and Technology*, 33(2), 72-79.
- Rodrigo, M., Alquézar, B., Alós, E., Ladoa, J. & Zacarías, L. (2013). Biochemical bases and molecular regulation of pigmentation in the peel of Citrus fruit. *Scientia Horticulturae*, 1632, 46-62.
- RomDhane, NG., Bonazzi, C., Kechaou, N. & Mihoubi, NB. (2015). Effect of air-drying temperature on kinetics of quality attributes of lemon (Citrus limon cv. lunari) peels. *Drying Technology*, 33(13), 1581-1589.

- RomDhane, NG., Djendoubi, N., Bonazzi, C., Kechaou, N. & Mihoubi, N. B. (2016). Effect of combined air-drying-osmotic dehydration on kinetics of techno-functional properties, color and total phenol contents of lemon (*Citrus limon*. v. lunari) peels. *International Journal of Food Engineering*, 12(6), 515-525.
- Ruberto G. (2002). Analysis of volatile components of Citrus fruit essential oils: Analysis of taste and aroma. molecular methods of plant analysis, Ed.: Jackson, JF., Linskens, HF., Springer, Berlin, Heidelberg, 123-157.
- Russo, C., Maugeri, A., Lombardo, GE., Musumeci, L., Barreca, D., Rapisarda, A., Cirmi, S. & Navarra, M. (2021). The Second Life of Citrus Fruit Waste: A Valuable Source of Bioactive Compounds. *Molecules*, 26(19), 5991.
- Saraç, MG. & Dogan, M. (2016). Incorporation of dietary fiber concentrates from fruit and vegetable wastes in butter: effects on physicochemical, textural, and sensory properties. *European Food Research and Technology*, 242(8), 1331-1342.
- Satari, B. & Karimi, K. (2018). Citrus processing wastes: Environmental impacts, recent advances, and future perspectives in total valorization. *Resources, Conservation and Recycling*, 129, 153-167.
- Schiffmann, RF. (2001). Microwave processes for the food industry. In Handbook of microwave technology for food application (pp. 331-370). CRC Press. 40pp.
- Seerangurayar, T., Manickavasagan, A., Al-Ismaili, AM. & Al-Mulla, YA. (2017). Effect of carrier agents on flowability and microstructural properties of foam-mat freeze dried date powder. *Journal of Food Engineering*, 215, 33-43.
- Shan, Y. (2016). Comprehensive utilization of citrus by-products. Academic Press. 113pp.
- Sharma, K., Mahato, N., Cho, MH. & Lee, YR. (2017). Converting citrus wastes into value-added products: Economic and environmently friendly approaches. *Nutrition*, 34, 29-46.
- Shu, B., Wu, G., Wang, Z., Wang, J., Huang, F., Dong, L., Zhang, R., Wang, Y. & Su, D. (2020). The effect of microwave vacuum drying process on citrus: drying kinetics, physicochemical composition and antioxidant activity of dried citrus (*Citrus reticulata* Blanco) peel. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 2443-2452.
- Sicari, V., Pellicano, TM., Lagana, V. & Poiana, M., (2020). Use of orange by-products (dry peel) as an alternative gelling agent for marmalade production: evaluation of antioxidant activity and inhibition of HMF formation during different storage temperature. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42, e13429, 1-9.
- Singh, B., Singh, JP., Kaur, A. & Singh, N. (2020). Phenolic composition, antioxidant potential and health benefits of citrus peel. *Food Research International*, 132, 109114.
- Srikiatden, J. & Roberts, JS. (2007). Moisture transfer in solid food materials: A review of mechanisms, models, and measurements. *International Journal of Food Properties*, 10(4), 739-777.

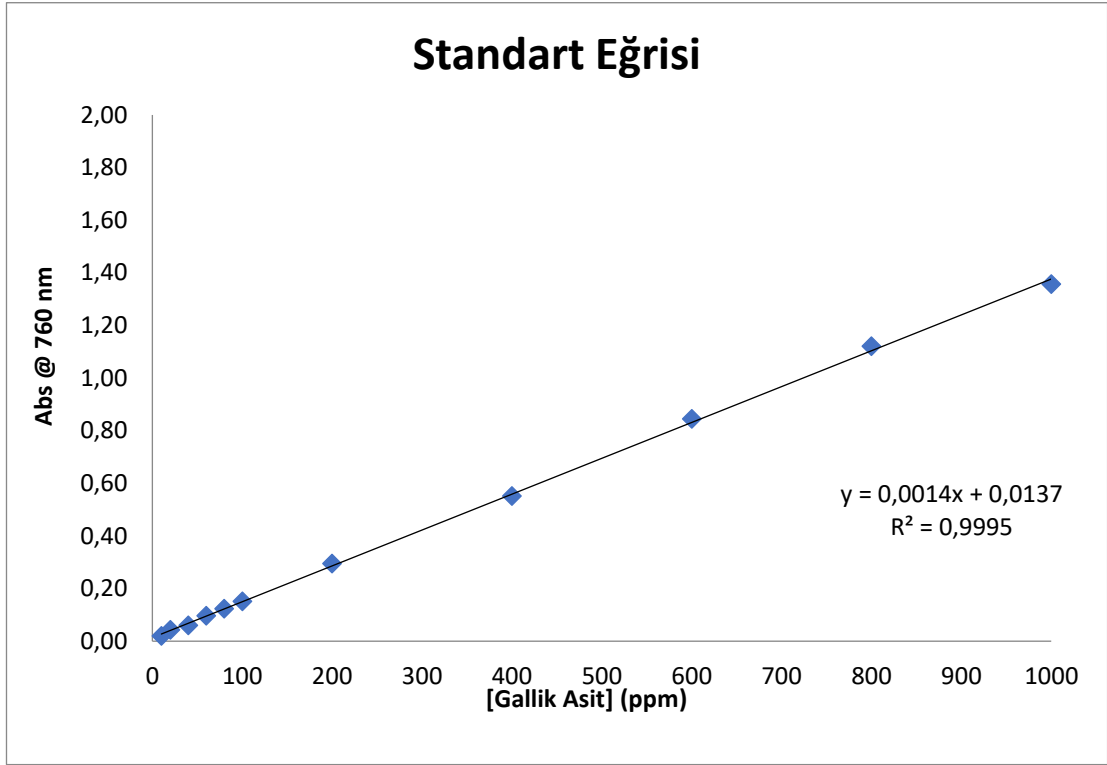
- Suh, MC., Samuels, AL., Jetter, R., Kunst, L., Pollard, M., Ohlrogge, J. & Beisson, F. (2005). Cuticular lipid composition, surface structure, and gene expression in Arabidopsis stem epidermis. *Plant Physiology*, 139(4), 1649-1665.
- Sumnu, G., Turabi, E. & Oztop, M. (2005). Drying of carrots in microwave and halogen lamp–microwave combination ovens. *LWT-Food Science and Technology*, 38(5), 549-553.
- Sung, J., Suh, JH. & Wang, Y. (2019). Effects of heat treatment of mandarin peel on flavonoid profiles and lipid accumulation in 3T3-L1 adipocytes. *Journal of Food and Drug Analysis*, 27(3), 729-35.
- Tadeo, FR., Terol, J., Rodrigo, MJ., Licciardello, C. & Sadka, A. (2020). Fruit growth and development. *The Genus Citrus*, Woodhead Publishing, 245-269.
- Talens, C., Castro-Giraldez, M. & Fito, PJ. (2016). Study of the effect of microwave power coupled with hot air drying on orange peel by dielectric spectroscopy. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 622-628.
- Talens, C., Castro-Giraldez, M. & Fito, PJ. (2018). Effect of microwave power coupled with hot air drying on sorption isotherms and microstructure of orange peel. *Food and Bioprocess Technology* 11(4), 723-734.
- Tamer, C., Isci, A., Kutlu, N., Sakiyan, O., Sahin, S. & Sumnu, G. (2016). Effect of drying on porous characteristics of orange peel. *International Journal of Food Engineering*, 12(9), 921-928.
- Tasirin, SM., Puspasari, I., Sahalan, AZ., Mokhtar, M., Ghani, MKA. & Yaakob, Z. (2014). Drying of Citrus sinensis peels in an inert fluidized bed: Kinetics, microbiological activity, vitamin C, and limonene determination. *Drying Technology*, 32(5), 497-508.
- Tejada-Ortigoza, V., Garcia-Amezquita, LE., Serna-Saldívar, SO. & Welti-Chanes, J. (2016). Advances in the functional *Food Engineering Reviews* characterization and extraction processes of dietary fiber., 8(3), 251-271.
- 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*, 41(8), e12902, 1-9.
- Tekgöl, Y. (2019). Limon Kabuğunun Farklı Kurutma Yöntemleriyle Optimum Kurutma Koşullarının Belirlenmesi ve Kurutma Yöntemlerinin Bazı Kalite Özellikleri ile Uçucu Bileşenler Üzerine Etkileri. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İzmir.
- Tekgöl, Y. & Baysal, T. (2019). Optimization of process conditions for vacuum microwave drying of lemon peel by response surface methodology: Quality characteristics and volatile compounds. *Journal of Food Process Engineering*, 42(5), 1-10.
- Thebaudin, JY., Lefebvre, AC., Harrington, M. & Bourgeois, CM. (1997). Dietary fibres: Nutritional and technological interest. *Trends in Food Science & Technology*, 8(2), 41-48.

- Tocmo, R., Pena-Fronteras, J., Calumba, KF., Mendoza, M. & Johnson, JJ. (2020). Valorization of pomelo (*Citrus grandis* Osbeck) peel: A review of current utilization, phytochemistry, bioactivities, and mechanisms of action. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(4), 1969-2012.
- Torki-Harchegani, M., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ghanbarian, D., Sadeghi, M. & Tohidi, M. (2016). Dehydration characteristics and mathematical modelling of lemon slices drying undergoing oven treatment. *Heat and Mass Transfer*, 52(2), 281-289.
- Trigo, JP., Alexandre, EM., Saraiva, JA. & Pintado, ME. (2020). High value-added compounds from fruit and vegetable by-products—Characterization, bioactivities, and application in the development of novel food products. *Food Science and Nutrition*, 60(8), 1388-1416.
- Tuncer, AD., Guler, HO. & Usta, H. (2020). Modeling of drying characteristics of pomelo (*Citrus Maxima*) peel. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 7(1), 198-210.
- Türksoy, S. (2011). Meyve Sebze Lif Konsantreleri İlavesinin Hamurun Reolojik Özellikleri ve Bisküvi Kalitesine Etkileri. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Uysal, MB. (2019). Limon ve Portakal Kabuklarının Sıcak Hava, Mikrodalga ve Sıcak Hava-Mikrodalga Mikrodalga Kombinasyonu ile Kurutulması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Denizli.
- Xu, M., Tian, G., Zhao, C., Ahmad, A., Zhang, H., Bi, J., Xiao, H. & Zheng, J. (2017). Infrared drying as a quick preparation method for dried tangerine peel. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2017, 1-11.
- Wadhwa, M. & Bakshi, MPS. (2013). Utilization of fruit and vegetable wastes as livestock feed and as substrates for generation of other value-added products: Rap Publication, Ed.: Makkar, HPS., FAO Rome, Italy, 4, 1-67.
- Wang, J., Wang, H., Xiao, HW., Fang, XM., Zhang, WP. & Ma, CL. (2021). Effects of drying temperature on the drying characteristics and volatile profiles of *Citrus reticulata* Blanco peels under two stages of maturity. *Drying Technology*, 40(12), 2456-2469.
- Wappling-Raaholt, B. & Ohlsson, T. (2000). Tools for improving the heating uniformity of foods heated in a microwave oven. *Microwave World*, 21(1), 24–28.
- Yi, T., Huang, X., Pan, S. & Wang, L. (2014). Physicochemical and functional properties of micronized jincheng orange by-products (*Citrus sinensis* Osbeck) dietary fiber and its application as a fat replacer in yogurt. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 65,565–572.
- Zarein, M., Samadi, SH. & Ghobadian, B. (2015). Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(1), 41-47.

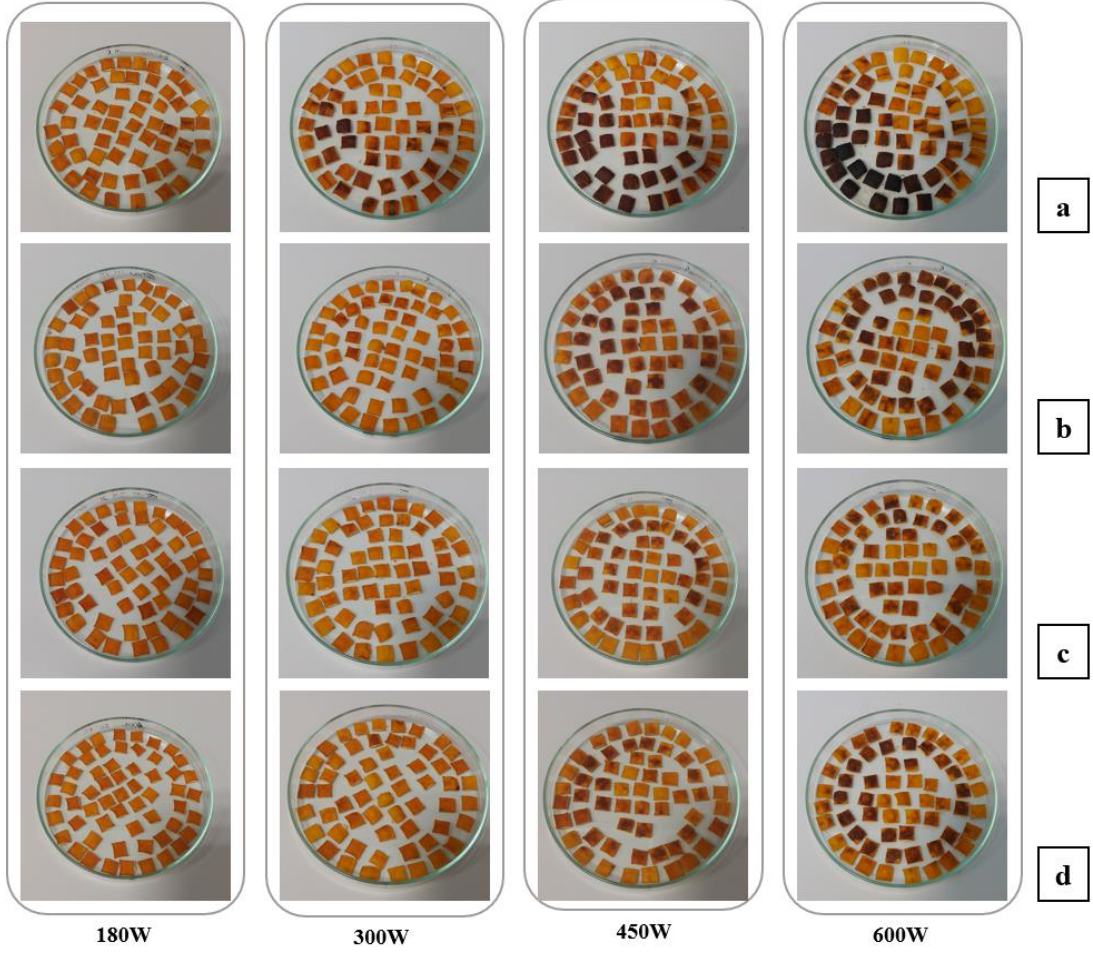
- Zema, DA., Calabrò, PS., Folino, A., Tamburino, V., Zappia, G. & Zimbone, SM. (2018). Valorisation of citrus processing waste: A review. *Waste Management*, 80, 252-273.
- Zhang, H., Yang, YF. & Zhou, ZQ. (2018a). Phenolic and flavonoid contents of mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) fruit tissues and their antioxidant capacity as evaluated by DPPH and ABTS methods. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(1), 256-263.
- Zhang, LL., Lv, S., Xu, JG. & Zhang, LF. (2018b). Influence of drying methods on chemical compositions, antioxidant and antibacterial activity of essential oil from lemon peel. *Natural Product Research*, 32(10), 1184-1188.
- Zhang, H., Tian, G., Zhao, C., Han, Y., DiMarco-Crook, C., Lu, C., Bao, Y., Li, C., Xiao, H. & Zheng, J. (2019). Characterization of polymethoxyflavone demethylation during drying processes of citrus peels. *Food & Function*, 10(9), 5707-5717.

EKLER

EK 1: Gallik Asit Standard Eğrisi



EK 2: Mikrodalgada a)0 rpm, b)6.5 rpm, c)9.5 rpm, d)12.5 rpm ile kurutulan örneklerin kurutma sonrasına ait görseller



EK 3: Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun L* değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları

| Faktör | Seviye | Değerler |
|---------------|---------------|---|
| Örnek | 18 | 180W Dh0; 180W Dh6.5; 180W Dh9.5; 180W Dh12.5; 300W Dh0; 300W Dh6.5; 300W Dh9.5; 300W Dh12.5; 450W Dh0; 450W Dh6.5; 450W Dh9.5; 450W Dh12.5; 600W Dh0; 600W Dh6.5; 600W Dh9.5; 600W Dh12.5; DK; SHK |

| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
|--------------------------|-----------|---------------|---------------|----------|----------|
| Örnek | 17 | 18323.3 | 1077.84 | 165.44 | 0.000 |
| Hata | 137 | 892.6 | 6.52 | | |
| Toplam | 154 | 19215.9 | | | |

| Örnek | N | Ortalamalar ± Standart Sapma |
|--------------|----------|-------------------------------------|
| SHK | 23 | 78.902 ± 1.866 b |
| DK | 18 | 83.657 ± 1.381 a |
| 180W Dh0 | 6 | 76.329 ± 0.954 bc |
| 180W Dh6.5 | 7 | 77.421 ± 0.769 b |
| 180W Dh9.5 | 7 | 77.695 ± 1.077 b |
| 180W Dh12.5 | 7 | 77.498 ± 0.871 b |
| 300W Dh0 | 6 | 63.350 ± 3.570 d |
| 300W Dh6.5 | 8 | 72.254 ± 2.775 c |
| 300W Dh9.5 | 8 | 72.680 ± 2.940 c |
| 300W Dh12.5 | 7 | 71.605 ± 2.518 c |
| 450W Dh0 | 6 | 48.370 ± 3.690 e |
| 450W Dh6.5 | 6 | 64.020 ± 4.100 d |
| 450W Dh9.5 | 8 | 62.330 ± 2.850 d |
| 450W Dh12.5 | 7 | 61.580 ± 3.700 d |
| 600W Dh0 | 7 | 42.030 ± 2.760 f |
| 600W Dh6.5 | 9 | 60.290 ± 3.210 d |
| 600W Dh9.5 | 8 | 62.100 ± 2.860 d |
| 600W Dh12.5 | 7 | 61.350 ± 3.450 d |

EK 4: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun L* değerlerine güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu

| Faktör | Seviye | Değerler | | | |
|---------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------|----------|----------|
| Güç seviyesi | 4 | 180W; 300W; 450W; 600W | | | |
| Dönme hızı | 4 | 0 rpm; 6.5 rpm; 9.5 rpm; 12.5 rpm | | | |
| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Güç seviyesi | 3 | 7670.2 | 2556.72 | 161.73 | 0.000 |
| Dönme hızı | 3 | 2441.6 | 813.85 | 51.48 | 0.000 |
| Güç seviyesi x Dönme hızı | 9 | 908.0 | 100.88 | 12.62 | 0.000 |
| Hata | 107 | 1691.5 | 15.81 | | |
| Toplam | 113 | 11864.5 | | | |

EK 5: Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun a* değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları

| Faktör | Seviye | Değerler |
|---------------|---------------|---|
| Örnek | 18 | 180W Dh0; 180W Dh6.5; 180W Dh9.5; 180W Dh12.5; 300W Dh0; 300W Dh6.5; 300W Dh9.5; 300W Dh12.5; 450W Dh0; 450W Dh6.5; 450W Dh9.5; 450W Dh12.5; 600W Dh0; 600W Dh6.5; 600W Dh9.5; 600W Dh12.5; DK; SHK |

| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
|--------------------------|-----------|---------------|---------------|----------|----------|
| Örnek | 17 | 698.8 | 41.108 | 25.21 | 0.000 |
| Hata | 137 | 223.4 | 1.630 | | |
| Toplam | 154 | 922.2 | | | |

| Örnek | N | Ortalamalar ± Standart Sapma |
|--------------|----------|-------------------------------------|
| SHK | 23 | 13.055 ± 1.858 e |
| DK | 18 | 10.653 ± 0.799 f |
| 180W Dh0 | 6 | 13.635 ± 1.196 de |
| 180W Dh6.5 | 7 | 13.817 ± 0.912 cde |
| 180W Dh9.5 | 7 | 13.875 ± 0.738 bcde |
| 180W Dh12.5 | 7 | 14.043 ± 1.188 bcde |
| 300W Dh0 | 6 | 16.346 ± 0.906 ab |
| 300W Dh6.5 | 8 | 15.573 ± 1.571 abcd |
| 300W Dh9.5 | 8 | 15.487 ± 1.640 abcd |
| 300W Dh12.5 | 7 | 16.114 ± 1.510 abcd |
| 450W Dh0 | 6 | 15.394 ± 1.774 abcd |
| 450W Dh6.5 | 6 | 16.322 ± 1.050 abc |
| 450W Dh9.5 | 8 | 17.170 ± 0.944 a |
| 450W Dh12.5 | 7 | 17.169 ± 1.046 a |
| 600W Dh0 | 7 | 12.707 ± 1.433 e |
| 600W Dh6.5 | 9 | 17.046 ± 0.821 a |
| 600W Dh9.5 | 8 | 17.105 ± 0.806 a |
| 600W Dh12.5 | 7 | 17.287 ± 0.637 a |

EK 6: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun a* değerlerine güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu

| Faktör | Seviye | Değerler | | | |
|---------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------|----------|----------|
| Güç seviyesi | 4 | 180W; 300W; 450W; 600W | | | |
| Dönme hızı | 4 | 0 rpm; 6.5 rpm; 9.5 rpm; 12.5 rpm | | | |
| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Güç seviyesi | 3 | 119.47 | 39.823 | 19.86 | 0.000 |
| Dönme hızı | 3 | 46.78 | 15.595 | 7.78 | 0.000 |
| Güç seviyesi x Dönme hızı | 9 | 78.01 | 8.668 | 6.22 | 0.000 |
| Hata | 107 | 214.54 | 2.005 | | |
| Toplam | 113 | 380.77 | | | |

EK 7: Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun b* değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları

| Faktör | Seviye | Değerler | | | |
|--------------------------|---------------|---|---------------|----------|----------|
| Örnek | 18 | 180W Dh0; 180W Dh6.5; 180W Dh9.5; 180W Dh12.5; 300W Dh0; 300W Dh6.5; 300W Dh9.5; 300W Dh12.5; 450W Dh0; 450W Dh6.5; 450W Dh9.5; 450W Dh12.5; 600W Dh0; 600W Dh6.5; 600W Dh9.5; 600W Dh12.5; DK; SHK | | | |
| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Örnek | 17 | 5006 | 294.49 | 23.30 | 0.000 |
| Hata | 137 | 1732 | 12.64 | | |
| Toplam | 154 | 6738 | | | |
| Örnek | N | Ortalamalar ± Standart Sapma | | | |
| SHK | 23 | 49.003 ± 2.105 a | | | |
| DK | 18 | 46.768 ± 2.911 abcd | | | |
| 180W Dh0 | 6 | 46.520 ± 3.230 abcdefg | | | |
| 180W Dh6.5 | 7 | 48.963 ± 2.096 a | | | |
| 180W Dh9.5 | 7 | 49.354 ± 1.744 a | | | |
| 180W Dh12.5 | 7 | 49.010 ± 2.291 a | | | |
| 300W Dh0 | 6 | 41.700 ± 4.360 bcdefg | | | |
| 300W Dh6.5 | 8 | 47.760 ± 3.860 abc | | | |
| 300W Dh9.5 | 8 | 48.120 ± 4.260 ab | | | |
| 300W Dh12.5 | 7 | 46.970 ± 3.830 abcdefg | | | |
| 450W Dh0 | 6 | 31.300 ± 2.660 h | | | |
| 450W Dh6.5 | 6 | 40.480 ± 4.510 efg | | | |
| 450W Dh9.5 | 8 | 41.420 ± 4.010 defg | | | |
| 450W Dh12.5 | 7 | 41.780 ± 4.910 bcdefg | | | |
| 600W Dh0 | 7 | 26.860 ± 4.210 h | | | |
| 600W Dh6.5 | 9 | 41.060 ± 4.850 fg | | | |
| 600W Dh9.5 | 8 | 41.110 ± 4.740 g | | | |
| 600W Dh12.5 | 7 | 41.560 ± 4.100 cdefg | | | |

EK 8: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun b* değerlerine güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu

| Faktör | Seviye | Değerler | | | |
|---------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------|----------|----------|
| Güç seviyesi | 4 | 180W; 300W; 450W; 600W | | | |
| Dönme hızı | 4 | 0 rpm; 6.5 rpm; 9.5 rpm; 12.5 rpm | | | |
| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Güç seviyesi | 3 | 2329.7 | 776.58 | 43.94 | 0.000 |
| Dönme hızı | 3 | 1393.5 | 464.49 | 26.28 | 0.000 |
| Güç seviyesi x Dönme hızı | 9 | 401.0 | 44.56 | 2.93 | 0.004 |
| Hata | 107 | 1891.2 | 17.67 | | |
| Toplam | 113 | 5649.2 | | | |

EK 9: Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun yığın (bulk) yoğunluk değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları

| Faktör | Seviye | Değerler |
|---------------|---------------|---|
| Örnek | 18 | 180W Dh0; 180W Dh6.5; 180W Dh9.5; 180W Dh12.5; 300W Dh0; 300W Dh6.5; 300W Dh9.5; 300W Dh12.5; 450W Dh0; 450W Dh6.5; 450W Dh9.5; 450W Dh12.5; 600W Dh0; 600W Dh6.5; 600W Dh9.5; 600W Dh12.5; DK; SHK |

| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
|--------------------------|-----------|---------------|---------------|----------|----------|
| Örnek | 17 | 1.117 | 0.066 | 98.70 | 0.000 |
| Hata | 155 | 0.103 | 0.001 | | |
| Toplam | 172 | 1.220 | | | |

| Örnek | N | Ortalamalar ± Standart Sapma |
|--------------|----------|-------------------------------------|
| SHK | 5 | 0.373 ± 0.018 c |
| DK | 20 | 0.212 ± 0.030 d |
| 180W Dh0 | 8 | 0.468 ± 0.016 ab |
| 180W Dh6.5 | 9 | 0.468 ± 0.020 ab |
| 180W Dh9.5 | 7 | 0.466 ± 0.026 ab |
| 180W Dh12.5 | 9 | 0.460 ± 0.022 ab |
| 300W Dh0 | 9 | 0.452 ± 0.040 ab |
| 300W Dh6.5 | 9 | 0.472 ± 0.025 a |
| 300W Dh9.5 | 10 | 0.468 ± 0.031 ab |
| 300W Dh12.5 | 9 | 0.467 ± 0.029 ab |
| 450W Dh0 | 9 | 0.463 ± 0.025 ab |
| 450W Dh6.5 | 10 | 0.470 ± 0.032 a |
| 450W Dh9.5 | 9 | 0.465 ± 0.019 ab |
| 450W Dh12.5 | 9 | 0.471 ± 0.018 a |
| 600W Dh0 | 10 | 0.428 ± 0.013 b |
| 600W Dh6.5 | 11 | 0.444 ± 0.028 ab |
| 600W Dh9.5 | 10 | 0.448 ± 0.024 ab |
| 600W Dh12.5 | 10 | 0.455 ± 0.018 ab |

EK 10: Mikrodalga ile kurutulmuş limon kabuğu tozunun yığın (bulk) yoğunluk değerlerine ait güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu

| Faktör | Seviye | Değerler | | | |
|---------------|---------------|-----------------------------------|--|--|--|
| Güç seviyesi | 4 | 180W; 300W; 450W; 600W | | | |
| Dönme hızı | 4 | 0 rpm; 6.5 rpm; 9.5 rpm; 12.5 rpm | | | |

| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
|---------------------------|-----------|---------------|---------------|----------|----------|
| Güç seviyesi | 3 | 0.014 | 0.005 | 7.72 | 0.000 |
| Dönme hızı | 3 | 0.003 | 0.001 | 1.72 | 0.166 |
| Güç seviyesi x Dönme hızı | 9 | 0.004 | 0.000 | 0.63 | 0.774 |
| Hata | 141 | 0.089 | 0.001 | | |
| Toplam | 147 | 0.107 | | | |

EK 11: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun yığın (bulk) yoğunluk değerleri için güç faktörüne ait Tukey çoklu (Pairwise) karşılaştırma test tablosu

| Güç seviyesi | N | Ortalama | Grup |
|---------------------|----------|-----------------|-------------|
| 450W | 37 | 0.4670 | A |
| 180W | 33 | 0.4655 | A |
| 300W | 37 | 0.4647 | A |
| 600W | 41 | 0.4436 | B |

EK 12: Farklı yöntemlerle kurutulmuş limon kabuğu tozunun sıkıştırılmış yoğunluk değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları

| Faktör | Seviye | Değerler |
|---------------|---------------|---|
| Örnek | 18 | 180W Dh0; 180W Dh6.5; 180W Dh9.5; 180W Dh12.5; 300W Dh0; 300W Dh6.5; 300W Dh9.5; 300W Dh12.5; 450W Dh0; 450W Dh6.5; 450W Dh9.5; 450W Dh12.5; 600W Dh0; 600W Dh6.5; 600W Dh9.5; 600W Dh12.5; DK; SHK |

| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
|--------------------------|-----------|---------------|---------------|----------|----------|
| Örnek | 17 | 1.390 | 0.082 | 52.81 | 0.000 |
| Hata | 155 | 0.240 | 0.001 | | |
| Toplam | 172 | 1.630 | | | |

| Örnek | N | Ortalamalar ± Standart Sapma |
|--------------|----------|-------------------------------------|
| SHK | 5 | 0.495 ± 0.020 b |
| DK | 20 | 0.335 ± 0.055 c |
| 180W Dh0 | 8 | 0.603 ± 0.029 a |
| 180W Dh6.5 | 9 | 0.615 ± 0.042 a |
| 180W Dh9.5 | 7 | 0.615 ± 0.040 a |
| 180W Dh12.5 | 9 | 0.617 ± 0.041 a |
| 300W Dh0 | 9 | 0.594 ± 0.047 a |
| 300W Dh6.5 | 9 | 0.616 ± 0.041 a |
| 300W Dh9.5 | 10 | 0.617 ± 0.039 a |
| 300W Dh12.5 | 9 | 0.621 ± 0.042 a |
| 450W Dh0 | 9 | 0.608 ± 0.027 a |
| 450W Dh6.5 | 10 | 0.614 ± 0.031 a |
| 450W Dh9.5 | 9 | 0.622 ± 0.030 a |
| 450W Dh12.5 | 9 | 0.618 ± 0.036 a |
| 600W Dh0 | 10 | 0.571 ± 0.030 ab |
| 600W Dh6.5 | 11 | 0.603 ± 0.031 a |
| 600W Dh9.5 | 10 | 0.614 ± 0.035 a |
| 600W Dh12.5 | 10 | 0.611 ± 0.044 a |

EK 13: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun sıkıştırılmış yoğunluk değerlerine ait güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu

| Faktör | Seviye | Değerler | | | |
|---------------|---------------|-----------------------------------|--|--|--|
| Güç seviyesi | 4 | 180W; 300W; 450W; 600W | | | |
| Dönme hızı | 4 | 0 rpm; 6.5 rpm; 9.5 rpm; 12.5 rpm | | | |

| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
|---------------------------|-----------|---------------|---------------|----------|----------|
| Güç seviyesi | 3 | 0.006 | 0.002 | 1.44 | 0.235 |
| Dönme hızı | 3 | 0.014 | 0.005 | 3.54 | 0.016 |
| Güç seviyesi x Dönme hızı | 9 | 0.004 | 0.000 | 0.32 | 0.967 |
| Hata | 141 | 0.184 | 0.001 | | |
| Toplam | 147 | 0.203 | | | |

EK 14: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun sıkıştırılmış yoğunluk değerleri için dönme hızı faktörüne ait Tukey oklu (Pairwise) karşılaştırma test tablosu

| Dönme hızı seviyesi | N | Ortalama | Grup |
|----------------------------|----------|-----------------|-------------|
| 9.5 rpm | 37 | 0.6174 | A |
| 12.5 rpm | 37 | 0.6169 | A |
| 6.5 rpm | 38 | 0.6120 | AB |
| 0 rpm | 36 | 0.5937 | B |

EK 15: Farklı yöntemlerle kurutulmuş limon kabuğu tozunun Hausner oranı (HR) değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları

| Faktör | Seviye | Değerler |
|---------------|---------------|---|
| Örnek | 18 | 180W Dh0; 180W Dh6.5; 180W Dh9.5; 180W Dh12.5; 300W Dh0; 300W Dh6.5; 300W Dh9.5; 300W Dh12.5; 450W Dh0; 450W Dh6.5; 450W Dh9.5; 450W Dh12.5; 600W Dh0; 600W Dh6.5; 600W Dh9.5; 600W Dh12.5; DK; SHK |

| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
|--------------------------|-----------|---------------|---------------|----------|----------|
| Örnek | 17 | 1.150 | 0.067618 | 9.20 | 0.000 |
| Hata | 155 | 1.139 | 0.007350 | | |
| Toplam | 172 | 2.289 | | | |

| Örnek | N | Ortalamalar ± Standart Sapma |
|--------------|----------|-------------------------------------|
| SHK | 5 | 1.3267 ± 0.0679 b |
| DK | 20 | 1.5757 ± 0.1171 a |
| 180W Dh0 | 8 | 1.2898 ± 0.0706 b |
| 180W Dh6.5 | 9 | 1.2990 ± 0.0769 b |
| 180W Dh9.5 | 7 | 1.3405 ± 0.0713 b |
| 180W Dh12.5 | 9 | 1.3404 ± 0.0750 b |
| 300W Dh0 | 9 | 1.3183 ± 0.0927 b |
| 300W Dh6.5 | 9 | 1.3080 ± 0.0927 b |
| 300W Dh9.5 | 10 | 1.3210 ± 0.1040 b |
| 300W Dh12.5 | 9 | 1.3153 ± 0.0753 b |
| 450W Dh0 | 9 | 1.3168 ± 0.0511 b |
| 450W Dh6.5 | 10 | 1.3110 ± 0.0722 b |
| 450W Dh9.5 | 9 | 1.3383 ± 0.0840 b |
| 450W Dh12.5 | 9 | 1.3153 ± 0.0753 b |
| 600W Dh0 | 10 | 1.3344 ± 0.0739 b |
| 600W Dh6.5 | 11 | 1.3626 ± 0.0906 b |
| 600W Dh9.5 | 10 | 1.3735 ± 0.0716 b |
| 600W Dh12.5 | 10 | 1.3435 ± 0.0790 b |

EK 16: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun Hausner oranı (HR) değerlerine güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu

| Faktör | Seviye | Değerler | | | |
|---------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------|----------|----------|
| Güç seviyesi | 4 | 180W; 300W; 450W; 600W | | | |
| Dönme hızı | 4 | 0 rpm; 6.5 rpm; 9.5 rpm; 12.5 rpm | | | |
| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Güç seviyesi | 3 | 0.03591 | 0.011969 | 1.92 | 0.129 |
| Dönme hızı | 3 | 0.01640 | 0.005467 | 0.88 | 0.454 |
| Güç seviyesi x Dönme hızı | 9 | 0.01762 | 0.001958 | 0.30 | 0.973 |
| Hata | 141 | 0.87778 | 0.006225 | | |
| Toplam | 147 | 0.92999 | | | |

EK 17: Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun Carr indeks (CI) değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları

| Faktör | Seviye | Değerler |
|---------------|---------------|---|
| Örnek | 18 | 180W Dh0; 180W Dh6.5; 180W Dh9.5; 180W Dh12.5; 300W Dh0; 300W Dh6.5; 300W Dh9.5; 300W Dh12.5; 450W Dh0; 450W Dh6.5; 450W Dh9.5; 450W Dh12.5; 600W Dh0; 600W Dh6.5; 600W Dh9.5; 600W Dh12.5; DK; SHK |

| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
|--------------------------|-----------|---------------|---------------|----------|----------|
| Örnek | 17 | 2653 | 156.05 | 7.45 | 0.000 |
| Hata | 155 | 3246 | 20.94 | | |
| Toplam | 172 | 5899 | | | |

| Örnek | N | Ortalamalar ± Standart Sapma |
|--------------|----------|-------------------------------------|
| SHK | 5 | 24.450 ± 3.850 b |
| DK | 20 | 36.180 ± 4.970 a |
| 180W Dh0 | 8 | 22.280 ± 4.070 b |
| 180W Dh6.5 | 9 | 22.780 ± 4.550 b |
| 180W Dh9.5 | 7 | 25.220 ± 3.930 b |
| 180W Dh12.5 | 9 | 25.190 ± 4.110 b |
| 300W Dh0 | 9 | 23.810 ± 5.420 b |
| 300W Dh6.5 | 9 | 23.200 ± 5.540 b |
| 300W Dh9.5 | 10 | 23.890 ± 5.810 b |
| 300W Dh12.5 | 9 | 24.660 ± 4.910 b |
| 450W Dh0 | 9 | 23.958 ± 2.920 b |
| 450W Dh6.5 | 10 | 23.520 ± 4.170 b |
| 450W Dh9.5 | 9 | 25.010 ± 4.840 b |
| 450W Dh12.5 | 9 | 23.750 ± 4.310 b |
| 600W Dh0 | 10 | 24.850 ± 4.190 b |
| 600W Dh6.5 | 11 | 26.330 ± 4.690 b |
| 600W Dh9.5 | 10 | 27.020 ± 3.750 b |
| 600W Dh12.5 | 10 | 25.340 ± 4.280 b |

EK 18: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun Carr indeks (CI) değerlerine güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu

| Faktör | Seviye | Değerler | | | |
|---------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------|----------|----------|
| Güç seviyesi | 4 | 180W; 300W; 450W; 600W | | | |
| Dönme hızı | 4 | 0 rpm; 6.5 rpm; 9.5 rpm; 12.5 rpm | | | |
| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Güç seviyesi | 3 | 116.42 | 38.806 | 1.97 | 0.121 |
| Dönme hızı | 3 | 51.05 | 17.016 | 0.86 | 0.461 |
| Güç seviyesi x Dönme hızı | 9 | 58.79 | 6.532 | 0.32 | 0.968 |
| Hata | 141 | 2775.24 | 19.683 | | |
| Toplam | 147 | 2942.08 | | | |

EK 19: Farklı yöntemlerle kurutulan limon kabuğu tozunun su tutma kapasitesi değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları

| Faktör | Seviye | Değerler |
|---------------|---------------|---|
| Örnek | 18 | 180W Dh0; 180W Dh6.5; 180W Dh9.5; 180W Dh12.5; 300W Dh0; 300W Dh6.5; 300W Dh9.5; 300W Dh12.5; 450W Dh0; 450W Dh6.5; 450W Dh9.5; 450W Dh12.5; 600W Dh0; 600W Dh6.5; 600W Dh9.5; 600W Dh12.5; DK; SHK |

| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
|--------------------------|-----------|---------------|---------------|----------|----------|
| Örnek | 17 | 29.34 | 1.7259 | 2.68 | 0.006 |
| Hata | 36 | 23.22 | 0.6450 | | |
| Toplam | 53 | 52.56 | | | |

| Örnek | N | Ortalamalar ± Standart Sapma |
|--------------|----------|-------------------------------------|
| SHK | 3 | 9.316 ± 0.128 a |
| DK | 3 | 8.464 ± 0.404 ab |
| 180W Dh0 | 3 | 6.717 ± 0.670 b |
| 180W Dh6.5 | 3 | 6.458 ± 0.467 b |
| 180W Dh9.5 | 3 | 6.812 ± 0.173 b |
| 180W Dh12.5 | 3 | 6.736 ± 0.407 b |
| 300W Dh0 | 3 | 7.502 ± 0.996 ab |
| 300W Dh6.5 | 3 | 7.442 ± 0.658 ab |
| 300W Dh9.5 | 3 | 7.456 ± 0.628 ab |
| 300W Dh12.5 | 3 | 7.383 ± 0.644 ab |
| 450W Dh0 | 3 | 6.393 ± 0.818 ab |
| 450W Dh6.5 | 3 | 7.080 ± 1.228 ab |
| 450W Dh9.5 | 3 | 7.267 ± 1.041 ab |
| 450W Dh12.5 | 3 | 7.001 ± 1.040 ab |
| 600W Dh0 | 3 | 6.340 ± 0.494 ab |
| 600W Dh6.5 | 3 | 7.625 ± 1.002 ab |
| 600W Dh9.5 | 3 | 7.841 ± 1.272 ab |
| 600W Dh12.5 | 3 | 7.924 ± 1.061 ab |

EK 20: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun su tutma kapasitesi değerlerine ait güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu

| Faktör | Seviye | Değerler | | | |
|---------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------|----------|----------|
| Güç seviyesi | 4 | 180W; 300W; 450W; 600W | | | |
| Dönme hızı | 4 | 0 rpm; 6.5 rpm; 9.5 rpm; 12.5 rpm | | | |
| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Güç seviyesi | 3 | 5.169 | 1.723 | 2.65 | 0.062 |
| Dönme hızı | 3 | 2.602 | 0.867 | 1.33 | 0.277 |
| Güç seviyesi x Dönme hızı | 9 | 3.835 | 0.426 | 0.60 | 0.790 |
| Hata | 41 | 26.697 | 0.651 | | |
| Toplam | 47 | 34.468 | | | |

EK 21: Farklı yöntemlerle kurutulmuş limon kabuğu tozunun yağ tutma kapasitesi değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları

| Faktör | Seviye | Değerler |
|---------------|---------------|---|
| Örnek | 18 | 180W Dh0; 180W Dh6.5; 180W Dh9.5; 180W Dh12.5; 300W Dh0; 300W Dh6.5; 300W Dh9.5; 300W Dh12.5; 450W Dh0; 450W Dh6.5; 450W Dh9.5; 450W Dh12.5; 600W Dh0; 600W Dh6.5; 600W Dh9.5; 600W Dh12.5; DK; SHK |

| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
|--------------------------|-----------|---------------|---------------|----------|----------|
| Örnek | 17 | 7.184 | 0.422 | 76.12 | 0.000 |
| Hata | 36 | 0.200 | 0.005 | | |
| Toplam | 53 | 7.384 | | | |

| Örnek | N | Ortalamalar ± Standart Sapma |
|--------------|----------|-------------------------------------|
| SHK | 3 | 1.687 ± 0.024 bc |
| DK | 3 | 3.034 ± 0.134 a |
| 180W Dh0 | 3 | 1.359 ± 0.006 d |
| 180W Dh6.5 | 3 | 1.410 ± 0.013 d |
| 180W Dh9.5 | 3 | 1.418 ± 0.013 d |
| 180W Dh12.5 | 3 | 1.407 ± 0.064 d |
| 300W Dh0 | 3 | 1.580 ± 0.090 bcd |
| 300W Dh6.5 | 3 | 1.407 ± 0.025 d |
| 300W Dh9.5 | 3 | 1.463 ± 0.028 cd |
| 300W Dh12.5 | 3 | 1.493 ± 0.080 bcd |
| 450W Dh0 | 3 | 1.441 ± 0.002 d |
| 450W Dh6.5 | 3 | 1.488 ± 0.012 bcd |
| 450W Dh9.5 | 3 | 1.442 ± 0.070 d |
| 450W Dh12.5 | 3 | 1.534 ± 0.157 bcd |
| 600W Dh0 | 3 | 1.692 ± 0.090 b |
| 600W Dh6.5 | 3 | 1.495 ± 0.025 bcd |
| 600W Dh9.5 | 3 | 1.452 ± 0.068 d |
| 600W Dh12.5 | 3 | 1.575 ± 0.134 bcd |

EK 22: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun yağ tutma kapasitesi değerlerine ait güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu

| Faktör | Seviye | Değerler | | | |
|---------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------|----------|----------|
| Güç seviyesi | 4 | 180W; 300W; 450W; 600W | | | |
| Dönme hızı | 4 | 0 rpm; 6.5 rpm; 9.5 rpm; 12.5 rpm | | | |
| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Güç seviyesi | 3 | 0.146 | 0.048 | 7.01 | 0.001 |
| Dönme hızı | 3 | 0.050 | 0.017 | 2.42 | 0.080 |
| Güç seviyesi x Dönme hızı | 9 | 0.121 | 0.013 | 2.65 | 0.020 |
| Hata | 41 | 0.284 | 0.007 | | |
| Toplam | 47 | 0.480 | | | |

EK 23: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun yağ tutma kapasitesi değerleri için güç seviyesi faktörüne ait Tukey çoklu (Pairwise) karşılaştırma test tablosu

| Güç seviyesi | N | Ortalama | Grup |
|---------------------|----------|-----------------|-------------|
| 600W | 12 | 1.554 | A |
| 300W | 12 | 1.486 | AB |
| 450W | 12 | 1.476 | AB |
| 180W | 12 | 1.288 | B |

EK 24: Farklı yöntemlerle kurutulmuş limon kabuğu tozunun pH değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları

| Faktör | Seviye | Değerler |
|---------------|---------------|--|
| Örnek | 19 | 180W Dh0; 180W Dh6.5; 180W Dh9.5; 180W Dh12.5; 300W Dh0; 300W Dh6.5; 300W Dh9.5; 300W Dh12.5; 450W Dh0; 450W Dh6.5; 450W Dh9.5; 450W Dh12.5; 600W Dh0; 600W Dh6.5; 600W Dh9.5; 600W Dh12.5; DK; SHK; Yaş Örnek |

| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
|--------------------------|-----------|---------------|---------------|----------|----------|
| Örnek | 18 | 0.5541 | 0.030783 | 3.51 | 0.001 |
| Hata | 38 | 0.3334 | 0.008774 | | |
| Toplam | 56 | 0.8875 | | | |

| Örnek | N | Ortalamalar ± Standart Sapma |
|--------------|----------|-------------------------------------|
| Yaş Örnek | 3 | 4.507±0.145d |
| SHK | 3 | 4.923±0.136a |
| DK | 3 | 4.880±0.070ab |
| 180W Dh0 | 3 | 4.777±0.142abcd |
| 180W Dh6.5 | 3 | 4.723±0.042abcd |
| 180W Dh9.5 | 3 | 4.743±0.035abcd |
| 180W Dh12.5 | 3 | 4.717±0.035abcd |
| 300W Dh0 | 3 | 4.797±0.172abc |
| 300W Dh6.5 | 3 | 4.797±0.050abc |
| 300W Dh9.5 | 3 | 4.747±0.011abcd |
| 300W Dh12.5 | 3 | 4.777±0.031abcd |
| 450W Dh0 | 3 | 4.693±0.092abcd |
| 450W Dh6.5 | 3 | 4.693±0.090abcd |
| 450W Dh9.5 | 3 | 4.757±0.102abcd |
| 450W Dh12.5 | 3 | 4.683±0.108abcd |
| 600W Dh0 | 3 | 4.657±0.091abcd |
| 600W Dh6.5 | 3 | 4.633±0.101bcd |
| 600W Dh9.5 | 3 | 4.527±0.076cd |
| 600W Dh12.5 | 3 | 4.717±0.046abcd |

EK 25: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun pH değerlerine ait güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu

| Faktör | Seviye | Değerler | | | |
|---------------|---------------|-----------------------------------|--|--|--|
| Güç seviyesi | 4 | 180W; 300W; 450W; 600W | | | |
| Dönme hızı | 4 | 0 rpm; 6.5 rpm; 9.5 rpm; 12.5 rpm | | | |

| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
|---------------------------|-----------|---------------|---------------|----------|----------|
| Güç seviyesi | 3 | 0.137773 | 0.045924 | 6.01 | 0.002 |
| Dönme hızı | 3 | 0.009606 | 0.003202 | 0.42 | 0.740 |
| Güç seviyesi x Dönme hızı | 9 | 0.068752 | 0.007639 | 1.00 | 0.461 |
| Hata | 41 | 0.313419 | 0.007644 | | |
| Toplam | 47 | 0.460798 | | | |

EK 26: Farklı yöntemlerle kurutulmuş limon kabuğu tozunun toplam fenolik madde değerlerine ait tek yönlü ANOVA ve Tukey Çoklu Karşılaştırma Test Tabloları

| Faktör | Seviye | Değerler | | | |
|--------------------------|---------------|--|---------------|----------|----------|
| Örnek | 19 | 180W Dh0; 180W Dh6.5; 180W Dh9.5; 180W Dh12.5; 300W Dh0; 300W Dh6.5; 300W Dh9.5; 300W Dh12.5; 450W Dh0; 450W Dh6.5; 450W Dh9.5; 450W Dh12.5; 600W Dh0; 600W Dh6.5; 600W Dh9.5; 600W Dh12.5; DK; SHK; Yaş Örnek | | | |
| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Örnek | 18 | 4661145 | 258952 | 197.67 | 0.000 |
| Hata | 36 | 47160 | 1310 | | |
| Toplam | 54 | 4708305 | | | |
| Örnek | N | Ortalamalar ± Standart Sapma | | | |
| Yaş Örnek | 3 | 896.50 ± 42.3 gh | | | |
| SHK | 3 | 553.70 ± 38.2 k | | | |
| DK | 3 | 566.30 ± 29.2 jk | | | |
| 180W Dh0 | 3 | 675.01 ± 16.1 ij | | | |
| 180W Dh6.5 | 3 | 703.22 ± 10.4 ı | | | |
| 180W Dh9.5 | 3 | 594.60 ± 29.8 ijk | | | |
| 180W Dh12.5 | 3 | 670.29 ± 8.2 ij | | | |
| 300W Dh0 | 3 | 1101.07 ± 11.4 de | | | |
| 300W Dh6.5 | 3 | 878.00 ± 17.4 gh | | | |
| 300W Dh9.5 | 3 | 841.80 ± 25.7 h | | | |
| 300W Dh12.5 | 3 | 967.30 ± 41.0 fg | | | |
| 450W Dh0 | 3 | 1105.00 ± 54.4 de | | | |
| 450W Dh6.5 | 3 | 1189.80 ± 29.3 cd | | | |
| 450W Dh9.5 | 2 | 1060.30 ± 94.5 ef | | | |
| 450W Dh12.5 | 3 | 1115.00 ± 60.8 de | | | |
| 600W Dh0 | 2 | 1730.71 ± 12.9 a | | | |
| 600W Dh6.5 | 3 | 1402.90 ± 29.9 b | | | |
| 600W Dh9.5 | 3 | 1152.10 ± 42.9 cde | | | |
| 600W Dh12.5 | 3 | 1261.40 ± 24.1 c | | | |

EK 27: Mikrodalga ile kurutulmuş limon kabuğu tozunun toplam fenolik madde değerlerine güç seviyesi ve dönme hızının etkisini gösteren ANOVA (Genel Doğrusal Model) test tablosu

| Faktör | Seviye | Değerler | | | |
|---------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------|----------|----------|
| Güç seviyesi | 4 | 180W; 300W; 450W; 600W | | | |
| Dönme hızı | 4 | 0 rpm; 6.5 rpm; 9.5 rpm; 12.5 rpm | | | |
| Varyasyon Kaynağı | DF | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Güç seviyesi | 3 | 3009284 | 1003095 | 110.35 | 0.000 |
| Dönme hızı | 3 | 285185 | 95062 | 10.46 | 0.000 |
| Güç seviyesi x Dönme hızı | 9 | 315546 | 35061 | 26.99 | 0.000 |
| Hata | 39 | 354514 | 9090 | | |
| Toplam | 45 | 3603664 | | | |

EK 28: Mikrodalga ile kurutulan limon kabuğu tozunun toplam fenolik madde değerleri için g¼¼ seviyesi fakt¼¼r¼¼ne ait Tukey ¼¼oklu (Pairwise) karşılaştırma test tablosu

| G¼¼ seviyesi | N | Ortalama | Grup |
|---------------------|----------|-----------------|-------------|
| 600W | 11 | 1386.79 | A |
| 450W | 11 | 1117.53 | B |
| 300W | 12 | 947.05 | C |
| 180W | 12 | 660.77 | D |

EK 29: Mikrodalga ile kurutulmuş limon kabuğu tozunun toplam fenolik madde değerleri için dönme hızı faktörüne ait Tukey çoklu (Pairwise) karşılaştırma test tablosu

| Dönme hızı seviyesi | N | Ortalama | Grup |
|----------------------------|----------|-----------------|-------------|
| 0 rpm | 11 | 1152.94 | A |
| 6.5 rpm | 12 | 1043.49 | B |
| 12.5 rpm | 12 | 1003.50 | B |
| 9.5 rpm | 11 | 912.21 | C |

ÖZGEÇMİŞ

| Kişisel Bilgiler | |
|------------------|--|
| Adı Soyadı | Sevilay SAN |
| Doğum Yeri | |
| Doğum Tarihi | |
| Uyruğu | <input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer: |
| Telefon | |
| E-Posta Adresi | |
| Eğitim Bilgileri | |
| Lisans | |
| Üniversite | Çukurova Üniversitesi |
| Fakülte | Ziraat Fakültesi |
| Bölümü | Gıda Mühendisliği Bölümü |
| Mezuniyet Yılı | 2016 |