



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN  
ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**PERİLLA YAĞININ  
MİKROENKAPSÜLASYONUNDA KIRINIM  
PENCERELİ KURUTMA YÖNTEMİNİN  
UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Aysema Seçgel  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Mayıs-2022  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Aysema Seçgel tarafından hazırlanan “Perilla Yağı'nın Mikroenkapsülasyonunda Kırınım Pencereli Kurutma Yönteminin Uygulanabilirliğinin Araştırılması” adlı tez çalışması 28/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Doç. Dr. Kübra Sultan Özdemir Bilici

.....

#### Danışman

Doç. Dr. İsmail Tontul

.....

#### Üye

Doç. Dr. Yunus Emre Tunçil

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ....../.../20.. gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI  
FBE Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Aysema SEÇGEL

28/06/2022

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### PERİLLA YAĞININ MİKROENKAPSÜLASYONUNDA KIRINIM PENCERELİ KURUTMA YÖNTEMİNİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Aysema SEÇGEL

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İsmail TONTUL

2022, 61 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. İsmail Tontul

Doç. Dr. Kübra Sultan Özdemir Bilici

Doç. Dr. Yunus Emre Tunçil

Sabit yağların mikrokapsülasyonu üzerine yapılan mevcut çalışmalar incelendiğinde genel olarak püskürterek kurutma ve dondurarak kurutma yöntemlerinin tercih edildiği görülmektedir. Yapılan tez çalışması ile yenilikçi kurutma yöntemlerinden olan kırımım pencereleli kurutma sistemi ile perilla yağının mikrokapsülasyonunun uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla taşıyıcı materyal oranı, yağ yükleme oranı ve homojenizasyon süresinin etkilerini belirlemek amacıyla Box-Behnken deneme deseni kullanılmıştır. Farklı şartlarda üretilen mikrokapsüllerin nem miktarı, su aktivitesi, mikrokapsülasyon etkinliği, yoğunluk, akış özellikleri, porozite, ıslanabilirlik, camsı geçiş sıcaklıkları, partikül boyutu ve ransimat değerleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda en uygun mikrokapsülasyon koşullarının %23,3 taşıyıcı materyal oranı, %20 yağ yükleme oranı ve 7,2 dk homojenizasyon süresi olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** kırımım pencereleli kurutma, mikrokapsülasyon, perilla yağı, sabit yağ

**ABSTRACT**

**MS THESIS**

**INVESTIGATION OF THE USABILITY OF REFRACTANCE WINDOW  
DRYING METHOD IN MICROENCAPSULATION OF PERILLA OIL**

**Aysema SEÇGEL**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN FOOD ENGINEERING**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. İsmail TONTUL**

**2022, 61 Pages**

**Jury**

**Doç. Dr. İsmail TONTUL**

**Doç. Dr. Kübra Sultan Özdemir Bilici**

**Doç. Dr. Yunus Emre Tunçil**

Current studies on microencapsulation of fixed oils are examined, it is generally seen that spray drying and freeze drying methods are preferred. In this study, the applicability of the refractance window drying method in the microencapsulation of perilla oil was investigated by using the refractance window drying system, which is one of the innovative drying methods in recent years. For this purpose, Box-Behnken experimental design was used to determine the effects of carrier material ratio, oil addition rate and different homogenization times on the microencapsulation. The moisture content of microcapsules water activity, microencapsulation efficiency, bulk density, porosity, wettability, glass transition temperatures, particle size analysis and rancimat values of the microcapsules produced under different conditions were determined. As a result of the study, it was determined that the most suitable microencapsulation conditions were 23.3% carrier material ration, 20% oil loading rataio and 7.2 min homogenization time.

**Keywords:** fixed oil, microencapsulation, perilla oil, refractance window drying,

## ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında değerli bilgi birikimlerini benimle paylaşan, saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. İsmail Tontul'a

Laboratuvar çalışmaları sırasında bana yardımcı olan değerli arkadaşlarım Ayşe Günışık'a, Ayşegül Meram'a tez yazım süresinde ve laboratuvar çalışmaları sırasında tecrübeleri ve bilgisiyle bana her zaman destek olan kıymetli Merve Aydın'a, tez yazım süresinde her konuda bana yardımcı olan Ersen İnançoğlu'na

Benim vazgeçtiğim zamanlarda bile bana her zaman inanan, güvenen, desteklerini her zaman yanımda hissettiğim kıymetli babam Cafer Seçgel, annem Nermin Seçgel, kız kardeşlerim Şeydanur ve Firdevs Buğlem'e teşekkürlerimi sunarım.

Aysema SEÇGEL  
KONYA-2022

# İÇİNDEKİLER

|   |             |
|---|-------------|
| <b>ÖZET</b> .....   | <b>vii</b>  |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | <b>viii</b> |
| <b>ÖNSÖZ</b> .....  | <b>ix</b>   |
| <b>İÇİNDEKİLER</b> .....  | <b>x</b>    |
| <b>1. GİRİŞ</b> .....   | <b>1</b>    |
| <b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....  | <b>3</b>    |
| 2.1. Perilla Yağı.....  | 3           |
| 2.2. Mikroenkapsülasyon Yöntemi .....   | 4           |
| 2.2.1. Mikroenkapsülasyonda kullanılacak kaplama materyalleri .....   | 7           |
| 2.2.1.1. Maltodekstrin .....  | 8           |
| 2.2.1.2. Arap zankı.....  | 8           |
| 2.2.1.3. Peynir altı suyu proteinleri.....  | 9           |
| 2.3. Mikroenkapsülasyon Üretim Yöntemleri.....  | 9           |
| 2.3.1. Püskürterek Kurutma .....  | 9           |
| 2.3.2. Dondurarak kurutma .....   | 11          |
| 2.3.3. Kırınım pencereleli kurutma .....  | 11          |
| 2.4. Yağ Mikroenkapsülasyonunu Konu Alan Çalışmalar .....   | 13          |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....  | <b>16</b>   |
| 3.1. Materyal .....   | 16          |
| 3.2. Metot.....   | 16          |
| 3.2.1. Uygun mikrokapsülasyon koşullarının belirlenmesi .....   | 16          |
| Emülsiyonlar hazırlandıktan sonra bekletilmeden kırınım pencereleli kurutma sisteminde kurutularak mikrokapsüller elde edilmiştir. .... | 17          |
| 3.2.2. Kırınım pencereleli kurutma .....  | 17          |
| 3.2.3. Analizler .....  | 18          |
| 3.2.3.1. Nem miktarı ve su aktivitesi .....   | 18          |
| 3.2.3.2. Renk.....  | 18          |
| 3.2.3.3. Oksidatif stabilite analizleri .....   | 18          |
| 3.2.3.4. Termal özellikler .....  | 18          |
| 3.2.3.5. Toplam ve yüzey yağ miktarı .....  | 19          |
| 3.2.3.6. Mikroenkapsülasyon etkinliği.....  | 19          |
| 3.2.3.7. Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk ve parçacık yoğunluğu .....  | 19          |
| 3.2.3.8. Higroskopisite tayini .....  | 20          |
| 3.2.3.9. Partikül büyüklüğü .....   | 21          |
| 3.2.3.10. Islanabilirlik .....  | 21          |
| 3.2.3.11. İstatistiksel analizler .....   | 21          |
| <b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA</b> .....   | <b>22</b>   |
| 4.1. Nem Miktarı ve Su Aktivitesi .....   | 22          |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.2. Mikroenkapsülasyon Etkinliği .....                                | 24        |
| 4.3. Renk .....  | 26        |
| 4.4. Yoğunluk.....   | 30        |
| 4.5. Porozite ve Akış Özellikleri .....                                | 32        |
| 4.6. Camsı Geçiş Sıcaklığı, Islanabilirlik ve Partikül büyüklüğü ..... | 35        |
| 4.7. Islanabilirlik .....  | 37        |
| 4.8. Partikül Büyüklüğü .....  | 38        |
| 4.9. Ransimat değerı.....  | 40        |
| 4.10. Optimizasyon ve Doğrulama .....                                  | 42        |
| <b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>                                   | <b>44</b> |
| 5.1. Sonuç.....  | 44        |
| 5.2. Öneriler .....  | 45        |
| <b>6. KAYNAKLAR.....</b>   | <b>46</b> |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 2. 1. Perilla tohum yağı.....   | 4  |
| Şekil 2. 2. Mikrokapsül yapısı (Köksal, 2016) .....   | 5  |
| Şekil 2. 3. Mikrokapsüllerin şekilleri.....   | 5  |
| Şekil 2. 4. Mikrokapsüllerin morfolojileri (Alay, 2010) .....   | 6  |
| Şekil 2. 5. Püskürterek Kurutma .....   | 10 |
| Şekil 2. 6. Kırınım pencereleli kurutma sistemi çalışma prensibi (Nindo ve ark.,2007) ...   | 12 |
| Şekil 3. 1. Kurutma işlemi  | 17 |
| Şekil 3. 2. Kurutma sonrası elde edilen mikrokapsüller .....  | 17 |
| Şekil 4. 1. Perilla yağı mikrokapsüllerinin su aktivitesi üzerine taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi                                 | 24 |
| Şekil 4. 2. Perilla yağı mikrokapsüllerinin mikroenkapsülasyon etkinliği üzerine taşıyıcı madde oranı ve yağ yükleme oranının etkisi .....                | 26 |
| Şekil 4. 3. Perilla yağı mikrokapsüllerinin L* değeri üzerine taşıyıcı madde oranı, yağ yükleme oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi.....             | 29 |
| Şekil 4. 4. Perilla yağı mikrokapsüllerinin a* değeri üzerine taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi .....                               | 30 |
| Şekil 4. 5. Perilla yağı mikrokapsüllerinin porozitesi üzerine yağ yükleme oranının etkisi .....  | 32 |
| Şekil 4. 6. Perilla yağı mikrokapsüllerinin Carr indeksi üzerine yağ yükleme oranı, taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi.....          | 34 |
| Şekil 4. 7. Perilla yağı mikrokapsüllerinin Hausner oranı üzerine yağ yükleme oranı, taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi.....         | 35 |
| Şekil 4. 8. Perilla yağı mikrokapsüllerinin camsı geçiş sıcaklığı üzerine yağ yükleme oranı, taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi..... | 37 |
| Şekil 4. 9. Perilla yağı mikrokapsüllerinin ıslanabilirliği üzerine taşıyıcı madde oranının etkisi .....  | 38 |
| Şekil 4. 10. Perilla yağı mikrokapsüllerinin hacim ağırlıklı ortalama çapı üzerine taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi.....           | 39 |
| Şekil 4. 11. Perilla yağı mikrokapsüllerinin yüzey ağırlıklı ortalama çapı üzerine yağ yükleme oranının etkisi .....                                      | 40 |
| Şekil 4. 12. Perilla yağı mikrokapsüllerinin ransimat değerleri .....   | 40 |
| Şekil 4. 13. Perilla yağı mikrokapsüllerinin ransimat değerleri üzerine taşıyıcı madde oranı, yağ yükleme oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi .....  | 42 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| <b>Çizelge 4.1.</b> Perilla yağı mikrokapsüllerinin nem miktarı, su aktivitesi ve mikrokapsülasyon etkinliğinin işlem koşullarına bağlı değişimi .....    | 22 |
| <b>Çizelge 4.2.</b> Perilla yağı mikrokapsüllerinin nem miktarı, su aktivitesi ve mikrokapsülasyon etkinliğine ait varyans analizi.....                   | 23 |
| <b>Çizelge 4.3.</b> Perilla yağı mikrokapsüllerinin renk özelliklerinin işlem koşullarına bağlı değişimi .....  | 27 |
| <b>Çizelge 4.4.</b> Perilla yağı mikrokapsüllerinin renk özelliklerine ait varyans analizi tablosu.....   | 27 |
| <b>Çizelge 4.5.</b> Perilla yağı mikrokapsüllerinin yoğunluk, porozite ve akış özelliklerinin işlem koşullarına bağlı değişimi .....                      | 31 |
| <b>Çizelge 4.6.</b> Perilla yağı mikrokapsüllerinin yoğunluk, porozite ve akış özelliklerine ait varyans tablosu.....                                     | 31 |
| <b>Çizelge 4.7:</b> Perilla yağı mikrokapsüllerinin camsı geçiş sıcaklığı, ıslanabilirlik ve partikül büyüklüğünün işlem koşullarına bağlı değişimi ..... | 36 |
| <b>Çizelge 4.8:</b> Perilla yağı mikrokapsüllerinin camsı geçiş sıcaklığı, ıslanabilirlik ve partikül büyüklüğü ait varyans analizi .....                 | 36 |
| <b>Çizelge 4. 9.</b> Perilla yağı mikrokapsüllerinin ransimat değerlerinin varyans analizi ....   | 41 |
| <b>Çizelge 4.10.</b> Optimazasyon hesaplaması .....   | 43 |

## 1. GİRİŞ

Gıda endüstrisinde tüketicilerin hazır gıdalara olan talebinin artması, uzun raf ömürlü, kalitesini uzun süre koruyabilen gıdaları tüketme isteği, çalışan nüfusun artarak pratik ve hazır gıda tüketimine yönelmesi, sağlıklı beslenmeye olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Bununla birlikte aynı zamanda besleyici ve fonksiyonel gıdaların geliştirilmesi hız kazanmıştır.

Perilla yağı *Perilla frutescens* (L) Lamiaceae familyasına ait tek yıllık otsu bitkisinin tohum ve yapraklarından elde edilen bir yağdır. Perilla yağı, uzak doğu ülkelerinde besleyici özelliklerinden dolayı yemeklik yağ olarak kullanımı başta olmak üzere tıp, kozmetik, sağlık alanlarında da kullanımı oldukça yaygındır (Yu ve ark., 1997) Perilla yağı yapısında yüksek miktarda  $\alpha$ -linoleik asit, linolenik asit ve çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) bulundurmaktadır. Ayrıca fitoseroller, rosmarinik asit, fenoller gibi doğal antioksidanları da yapısında bol miktarda bulundurmaktadır (Li ve ark., 2015). Tokoferoller de kapsayacak şekilde antioksidanları bulundurması perilla yağının önemini arttırmaktadır.

Yağlar yapısı gereği oldukça kolay bozulabilen gıda maddeleridir. Yağlar depolama sırasında ısı, ışık, oksijen gibi çevresel koşullardan etkilenebilmekte ve bir takım kimyasal reaksiyonlar sonucunda bozulabilmektedir. Bu reaksiyonlar sırasında bu gibi nedenlere bağlı olarak bozulma reaksiyonları gerçekleşmektedir. Bu bozulma reaksiyonları sonucunda yağların kalite özelliklerinde kayıplar yaşanmakta, raf ömrü kısalmakta, besin değerinde azalma meydana gelmektedir. Mikroenkapsülasyon teknolojisi ile yağların kaplama materyalleri kullanılarak sıvı formdan katı forma geçirilmesi ve depolama sırasında meydana gelen bozulma reaksiyonlarını en aza indirmesi hedeflenmektedir.

Mikroenkapsülasyon teknolojisi aktif bir maddenin çevresinin kaplama materyali ile kaplanarak mikro boyutta kapsüllerin elde edilmesinde kullanılan bir yöntemdir. 1950'ler de kullanılmaya başlanan mikroenkapsülasyon tekniği gıda endüstrisinde aroma maddeleri ve yağlar başta olmak üzere diğer birçok alanda kullanılmaktadır (Çimen, 2007). Mikroenkapsülasyon işlemi ile ürünün kimyasal yapısına zarar vermeden etrafının kaplama materyali ile kaplanması, ürünün işleme ve depolama sırasında meydana gelen oksidasyon reaksiyonları azaltmaya yönelik bir uygulamadır. Mikroenkapsülasyon işlemi ile sıvı halde bulunan ürünler toz hale getirilebilmekte, ürünün yapısında ki kimyasal

bileşenler korunarak raf ömrü daha uzun olabilmektedir. Ayrıca ürün toz formu nedeniyle ürün taşıma ve depolama sırasında daha az yer kaplamakta ve daha yaygın alanlarda kullanılabilir.

Gıdaların mikroenkapsülasyonun da birçok yöntem kullanılmaktadır. Püskürterek kurutma, dondurarak kurutma ve akışkan yatak kaplama bu yöntemlerin başlıcalarıdır.

Kırınım pencereleli kurutma yöntemi yeni nesil film kurutma yöntemlerinden birisidir. Sıvı ve yarı sıvı halde ki gıdaların kurutulmasında kullanılan bu sistemde yansıtıcı özelliğe sahip film kullanılmaktadır (Caparino ve ark.). İletim, konveksiyon ve radyasyon olmak üzere üç ısı transfer yönteminin kullanıldığı bu sistemde ısı ürüne plastik film aracılığı ile aktarılmaktadır. Diğer kurutma sistemleri ile kıyaslandığında daha fazla verimle ürün elde edilmesi bu kurutma sisteminin en büyük avantajları arasındadır. Kırınım pencereleli kurutma sistemi ile kurutulan ürünlerde renk, aroma ve vitamin kayıpları da oldukça düşük düzeyde gerçekleşmektedir. Bu kurutma sistemi ile daha önce mikroenkapsülasyon çalışmaları yapılmış, bu çalışmalarda mango, kırmızı soğan, çilek, havuç püreleri kırınım pencereleli kurutma yöntemi ile mikroenkapsüle edilmiştir.

Bu çalışmada, perilla yağının kırınım pencereleli kurutma yöntemi ile mikroenkapsülasyonu ilk kez araştırılmıştır. Kaplama materyali olarak yapısında ki protein içeriğine bağlı olarak suda çözünürlüğü yüksek olan Arap zankı ve düşük viskosite, kolay çözünebilme ve oksidasyona karşı dirençli olması sebebiyle ise peynir altı suyu proteini kullanılmıştır. Mikroenkapsülasyon işlemi sonunda perilla yağı sıvı halden toz hale dönüştürülerek depolama sırasında yapısında meydana gelebilecek olan bozulma reaksiyonları en aza indirgenerek daha uzun ömürlü ürünler elde edilmesi ve böylece tüketiciye kullanım kolaylığı sağlanması hedeflenmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Perilla Yağı

*Perilla frutescens* (L) Lamiaceae familyasına ait tek yıllık otsu bir bitkidir. Hem yapraklarından hem de tohumundan elde edilen yağ Çin, Hindistan ve Kore başta olmak üzere diğer Asya ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Yu ve ark., 1997). Zengin bir protein (%17) ve yağ kaynağı (%51) olan perilla tohumu Kuzeydoğu Hindistan'da tahıllar ve sebzelerin pişirilmesi sırasında kullanılmaktadır. Bitkisel yağların büyük kısmı iyi bir  $\alpha$ -linolenik (ALA) asit kaynağı olmakla beraber çok az bitkisel yağ beslenmede  $\alpha$ -linolenik asit kaynağı olarak kullanılmaktadır (Longvah ve Deosthale, 1991). Perilla yağının bileşimi yoğunlukla çoklu doymamış yağ asitlerinden (PUFA) (%76-93) oluşmaktadır. Çoklu doymamış yağ asitleri arasında  $\alpha$ -linoleik asit %57-68 (ALA) ve linoleik asit (LA) %14-18 oranında bulunmaktadır (Lee ve ark., 2015). Ayrıca tokoferoller, flavonoidler ve fitosteroller gibi doğal antioksidanları içermektedir (Torri, L. ve ark., 2019).

Perilla yağı yüksek miktarda PUFA içermesi nedeniyle düşük oksidasyon stabilitesine ve petrol, aseton, boya ve balık yağı gibi hoş olmayan aroma ve koku benzeri duysal özelliklere sahiptir (Yang ve ark., 2012). Kendine özgü keskin aroması ve hoş olmayan belirgin kokusu nedeniyle Asya ülkeleri dışında ki ülkelerde kullanımı nadirdir. Asya'da ise salatalarda ve et yemeklerinde baharat olarak kullanımı başta olmak üzere sağlık, kozmetik, cilt bakımı alternatif tıpta yaygın olarak kullanılmaktadır. Perilla yağı ile ilgili yapılan çalışmalar sonucu yapısında ki ALA miktarına bağlı olarak antikanserojen özellik taşıdığı (Onogi ve ark., 1996), zihinsel hastalıkların tedavisinde iyileştirici etki yaptığı belirlenmiştir (Yamamoto ve ark., 1987). Sağlık üzerinde birçok faydalı etkisi bulunan perilla yağı kalp damar hastalıklarının tedavisinde kullanılabilir (Hashimoto ve ark., 2021; Zhang ve ark., 2021).

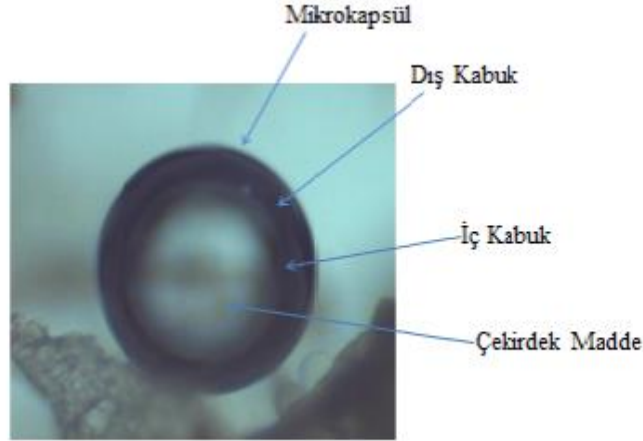


Şekil 2. 1. Perilla tohum yağı

Sağlığa faydalı etkileri nedeniyle tüketimin yaygınlaştırılabilmesi için perilla yağının oksidasyon stabilitesinin artırılması ve duyuşal özelliklerinin maskelenmesi elzemdir. Bu nedenle bu çalışmada perilla yağının mikroenkapsülasyonu ele alınmıştır.

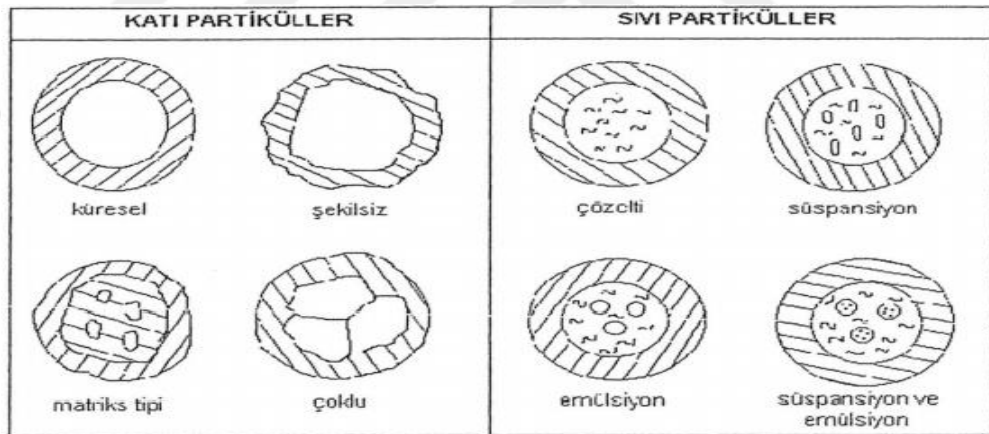
## 2.2. Mikroenkapsülasyon Yöntemi

Mikroenkapsülasyon uygulamaları ile ilgili ilk çalışmalar 1930'lu yılların sonunda başlamış olsa da endüstride ki ilk büyük çaplı çalışma 1950'li yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nde bir şirket tarafından yapılmıştır. Mikroenkapsül; boyutları 1-1000 µm arasında değişen polimerik bir duvar ve bu duvar içerisine hapsedilmiş sıvı damlası veya gaz kabarcığından oluşmaktadır (Çimen, 2007). Mikroenkapsülasyon uygulaması yapılırken kaplanan materyale iç faz, öz ve dolgu isimleri verilirken mikroenkapsülün etrafını kaplayan materyal ise duvar, kabuk ve membran olarak adlandırılır.



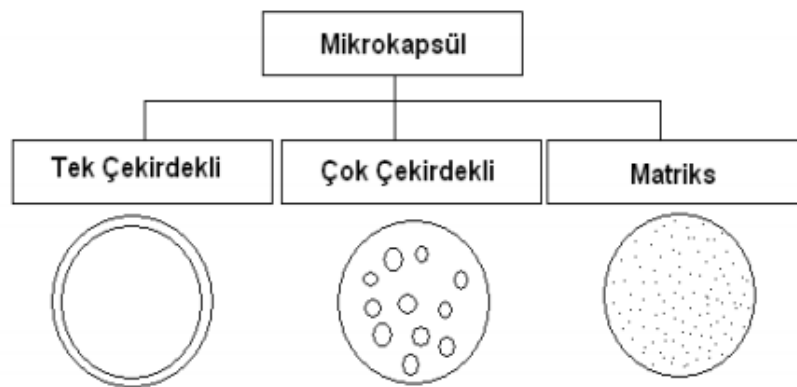
Şekil 2. 2. Mikroapsül yapısı (Köksal, 2016)

Mikroapsüller; kullanılan kaplama materyali, mikroenapsülasyon yöntemi ve iç materyalin yapısı gibi nedenlere bağlı olarak farklı şekillerde olabilirler (Koç ve ark., 2010). Bu gibi etmenlerden dolayı düzgün küre şeklinde mikroapsüller üretilebildiği gibi düzensiz şekillerde mikroapsüller de üretilebilir.



Şekil 2. 3. Mikroapsüllerin şekilleri

Mikroapsüller; tek çekirdekli, çok çekirdekli veya matriks yapıda olabilirler. Mikroapsüllerin morfolojileri çekirdek materyaline ve mikroenapsülasyon üretim yöntemine bağlı olarak değişmektedir (Thies, 1996; Erkan, 2008). Tek çekirdekli mikroapsüller; çekirdek duvar materyali tarafından tamamen kaplandığında oluşmaktadır. Genel olarak küre veya elips şeklindedir. Çok çekirdekli mikroapsüller; duvar materyali içerisinde çok sayıda çekirdek maddenin kapsüllemesi ile meydana gelmektedir. Matriks mikroapsüller ise çekirdek materyalinin duvar materyali içerisinde homojen olarak dağılması ile elde edilmektedir (Ghosh, 2006; Alay, 2010).



Şekil 2. 4. Mikrokapsüllerin morfolojileri (Alay, 2010)

Mikroenkapsülasyon işlemi, ürünün kimyasal yapısını bozmadan oksidasyona hassas gıda bileşenlerinin (yağ asitleri, vitamin, renk pigmentleri, kolesterol gibi) işleme veya depolama sırasında oksidasyona karşı stabilitesini artırmayı hedeflemektedir (Lin ve ark., 1995; Heinzelmann ve Franke, 1999; Keogh ve ark., 2001 Hogan ve ark., 2003; Baik ve ark., 2004).

Mikro boyutlu kapsüllemenin fazla miktarda üretime uygun olması, kapsüllenen maddenin küçük, az ve istenildiği zaman kullanılabilmesi bu tekniğin farklı alanlarda kullanılmasına olanak sağlamıştır (Bansode ve ark., 2010; Karagönlü, 2011). Mikroenkapsülasyon teknolojisi başlangıçta çok az alanda uygulanmaktayken birçok avantajı olması ve gelişen teknoloji sayesinde günümüzde geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Gıda başta olmak üzere boya, kimya, biyoteknoloji, tekstil, farmokoloji, kozmetik ve fotoğrafçılık gibi birçok uygulama alanı vardır.

Gıda endüstrisinde son yıllarda başta fonksiyonel gıdalara olan talebin artması ile mikroenkapsüle gıdalara olan ilgi de artmakta ve bu alanda yapılan çalışmaların hız kazandığı görülmektedir. Mikroenkapsülasyon tekniği, gıda sektöründe genellikle, sıvı damlacıkların, katı partiküllerin veya gaz bileşenlerin gıda saflığında kaplama materyalleri ile kaplanması için kullanılmaktadır (Gharsallaoui ve ark., 2007). Katı ve sıvı yağlar, aroma bileşenleri, vitaminler, mineraller, renk bileşenleri ve enzimler gıda endüstrisinde mikroenkapsüllenen başlıca gıda bileşenleridir. Yağlar gıdalardaki önemli bileşenler olup kalite, tat, koku ve renk üzerine etki etmektedir. Ancak lipid oksidasyonu gıda endüstrisinde en önemli problem olup gıdaların işlenmesi ve depolanması sırasında oluşmaktadır (Frankel, 1998). Oksidasyon; yağlarda istenmeyen renk, tat ve koku oluşumuna neden olmaktadır. Oksidasyon oluşumunu engellemek için yağlar düşük

sıcaklıklarda depolanmalı, ışıktan muhafaza edilmeli, oksijen ile temasının kesilmesi gerekmektedir.

Mikroenkapsülasyon teknolojisi ile yağların oksidasyonu engellenmekte, tat, koku ve renkte meydana gelen bozulmalar önlenmekte, raf ömrü artırılmakta ve ürünün özelliklerinde değişimler meydana gelmektedir. Örneğin yağlar sıvı formdan katı toz forma geçirilebilmektedir. Daha önce ki yapılan çalışmalarda yağların mikroenkapsülasyonu amacıyla püskürterek kurutma yöntemi başta olmak üzere çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Yağların mikroenkapsülasyonu sırasında elde edilen ürün özelliklerini etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörlerden bazıları kaplanacak yağın özelliği, taşıyıcı maddeler, mikroenkapsülasyon sırasında uygulanan işlem parametreleri ve elde edilen mikroenkapsüllerin depolama koşullarıdır (Rosenberg ve Lee, 1993; Rosenberg ve Young, 1993; Keogh ve O’Kennedy, 1999).

### **2.2.1. Mikroenkapsülasyonda kullanılacak kaplama materyalleri**

Kaplama materyali son üründe istenen özelliklere göre çekirdek materyalinin karakterine bağlı olarak doğal ve sentetik polimerler arasından seçilir (Bosnalı ve Özdestan-Ocak, 2018). Mikroenkapsülasyonda kullanılan kaplama materyali;

- Dolgu materyaline karşı inert bir yapıda olmalıdır.
- Son üründe istenen kalınlıkta kaplama sağlamalıdır.
- İşlem sırasında kullanılan çözücüde yeterince çözünmelidir.
- Kaplanacak materyal ile reaksiyona girmemelidir.
- Kaplanacak materyali stabilize hale getirmelidir.
- Belirli koşullarda kontrollü salınımı gerçekleşmelidir.
- Maliyeti düşük ve kolaylıkla temin edilebilir olmalıdır (Bosnalı ve Özdestan-Ocak, 2018).

Bu özelliklerin hepsinin tek bir kaplama materyalinde olması pek mümkün olmadığından dolayı genellikle iki veya daha fazla kaplama materyalinin bir arada kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde kaplama materyali olarak karbonhidratlar (nişasta, maltodekstrin, sakkaroz, maltoz), proteinler (peynir altı suyu proteinleri, kazeinatlar), lipidler ve gamlar kullanılabilir.

Literatürde farklı yağların mikroenkapsülasyonu için kullanılacak en uygun kaplama materyalinin belirlenmesi üzerine farklı çalışmalar yürütülmüştür. Bu

çalışmalardan birinde keten tohumu yağı için en uygun taşıyıcı madde kombinasyonları karışım desenine göre belirlenmiş ve uygun bulunan 6 farklı kombinasyon birbiri ile kıyaslanmıştır. Bu çalışmada en uygun taşıyıcı maddeler maltodekstrin ve peynir altı suyu protein izolatı karışımı (4:1) olarak belirlenmiştir (Tontul 2011). Keten tohumu yağı ile gerçekleştirilen benzer bir çalışmada ise maltodekstrin ile 4 farklı yaygın kaplama materyali 1:3 oranında karıştırılmış ve elde edilen mikrokapsüllerin özellikleri kıyaslanmıştır. Sonuç olarak en iyi karışım maltodekstrin ve peynir altı suyu protein izolatı olarak belirlenmiştir.

### 2.2.1.1. Maltodekstrin

Maltodekstrin, nişastanın asit, ısı veya enzim etkisi ile işlenmesi sonucunda oluşan düşük molekül ağırlığına sahip türevleridir. Bu kaplama materyalleri, yaygın, ucuz, tatsız ve kokusuz olmaları nedeniyle mikrokapsülasyonda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca düşük viskozite sağlaması, oksijen geçirgenliğini kısıtlaması ve yüksek koruma sağlaması nedeniyle mikrokapsülasyonda istenen özelliklerdir. Ancak emülsifiye edici özelliklerinin olması nedeniyle çeşitli ajanların ilavesini ya da emülsifikasyon özellikleri olan farklı kaplama materyalleri ile birlikte kullanılmasını gerektirmektedir (Tontul 2011).

### 2.2.1.2. Arap zamkı

Doğal zambak maddesi olan Arap zamkı ya da diğer adıyla akasya zamkı, başta Sudan olmak üzere Nijerya, Senegal ve Mali'de yaygın olarak bulunan akasya ağacının iki türü olan *Acacia senegal* ve *Acacia seyal* ağaçlarının gövde ve dallarında sertleşmiş özsuysundan oluşan bir zambak türüdür (Tontul, 2011). Zambaklar genel olarak tatsız özellikte olmalarına rağmen kullanıldığı gıdaların tatlarına doğrudan etkisi bulunmaktadır. Arap zamkının yapısında D-glukyronik asit, L-ramnoz, D-galaktoz ve L-arabinoz ve yaklaşık olarak %2 oranında proteinler bulunmaktadır. Yapısında protein miktarına bağlı olarak suda çözünürlüğünün oldukça yüksek olduğu bilinir (Koç ve ark., 2010). Arap zamkının emülsifiye edici özelliği yapısında bulunan proteinlerle ilişkilidir (Dickinson, 2003). Bu özelliklerinden dolayı gıda endüstrisinde özellikle yağların ve aromaların mikrokapsülasyonunda kaplama materyali olarak kullanılmasına imkân vermektedir (Madene ve ark., 2006.).

### 2.2.1.3. Peynir altı suyu proteinleri

Mikroenkapsülasyon teknolojisinde kaplama materyali olarak proteinler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Peynir altı suyu proteinleri (PASP), kazeinatlar ve zein gibi bitkisel proteinler yaygın olarak protein bazlı kaplama materyaleridir. PASP'ın kaplama materyali olarak kullanımı 1990'lı yıllara dayanmaktadır. Biyolojik değeri fazla, besleyici değeri yüksek olan peynir altı suyu proteinleri peynir üretimi sırasında altta kalan sıvıdan elde edilmekte olup süt kaynaklı proteinlerce zengindir (Aloğlu ve Öner, 2010). Düşük viskozitesi, kolay çözünebilmesi, iyi emülsifikasyon göstermesi ve oksidasyona karşı dayanıklı olması gibi özellikleri ile kaplama materyali olarak kullanılmasına imkân vermektedir. PASP'ın en büyük dezavantajı ise sıcaklığa karşı oldukça hassas olmasıdır. Yağların mikroenkapsülasyonunda kaplama materyali olarak kullanılan PASP depolama sürecinde oksidasyon reaksiyonlarına karşı yüksek koruma sağlamaktadır (Sheu ve ark., 1998; Lee ve ark., 2000).

## 2.3. Mikroenkapsülasyon Üretim Yöntemleri

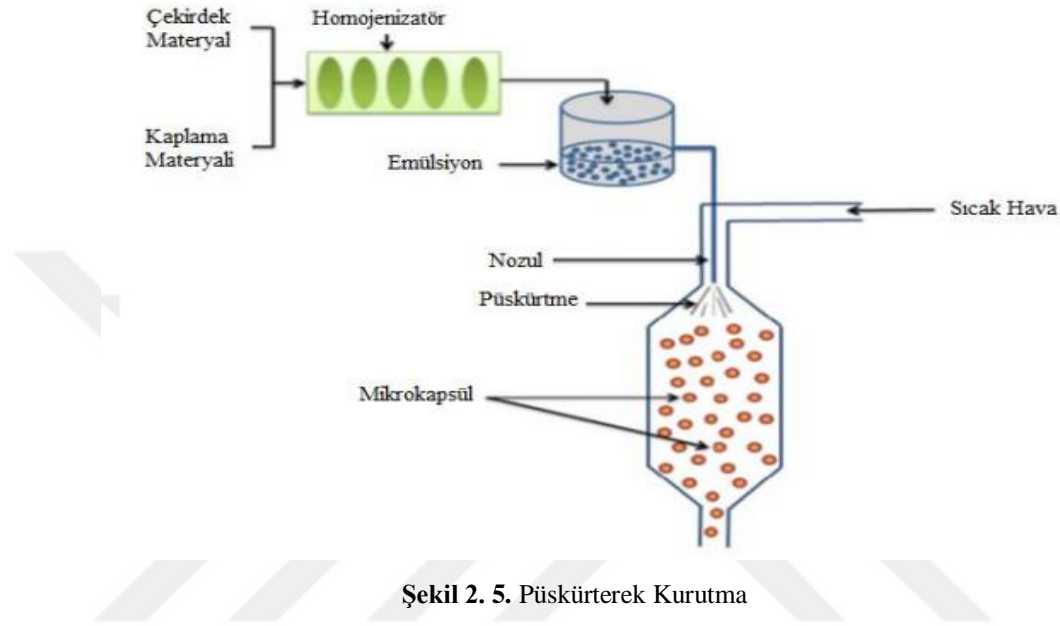
Literatürde birçok mikroenkapsülasyon yöntemi bulunmakta olup uygulanacak mikroenkapsülasyon tekniği; mikroenkapsülün kullanılacağı alan, çekirdek materyali ve duvar maddelerine bağlı olarak değişmektedir. Yağların mikroenkapsülasyonunda farklı yöntemler arasında püskürterek kurutma ve dondurarak kurutma öne çıkmaktadır.

### 2.3.1. Püskürterek Kurutma

Püskürterek kurutucunun patenti ilk olarak 1872 yılında Samuel Percy tarafından alınmış olmakla birlikte gıda endüstrisinde kullanımı 1950'li yıllara dayanan püskürterek kurutma yöntemi oldukça yaygın kullanılan fiziksel mekanik kurutma yöntemlerindedir. Püskürterek kurutma işleminde temel kural; ürünün kurutma bölümünde ki sıcak havanın içerisine atomize edilmesi ile, geniş bir alan kazandırılması ve buna bağlı olarak hızlı bir kuruma sağlanmasıdır (Zungur, 2013). Kurutma işlemi sırasında taşıyıcı gaz olarak hava veya nadiren de olsa azot gazı kullanılmaktadır (Koç ve ark., 2010) Püskürterek kurutma işleminde sıvılar çok kısa bir sürede toz ürün haline getirilmekte olup 4 aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar; çözeltinin hazırlanması, çözeltinin homojenizasyonu,

emülsiyonun atomizasyonu, atomize edilen partiküllerin kuruması aşamalarından oluşmaktadır (Özdemir, 2019).

Püskürterek kurutma yöntemi ile kurutma işleminde yüksek verimlilik sağlanması için optimum şartlarda tutulması gereklidir. Sisteme beslenen ürünün sıcaklığı, hava giriş sıcaklığı ve hava çıkış sıcaklığı bu kurutma sisteminde optimum koşullarda tutulması gereken en önemli etmenlerdir (Liu ve ark., 2004).



Şekil 2. 5. Püskürterek Kurutma

Dondurarak kurutma yöntemi ile kıyaslandığında püskürterek kurutmanın 30 ile 50 kat daha düşük maliyetli olması en önemli avantajları arasında sayılmaktadır. (Desobry ve ark., 1997) Ekonomik olması, basit bir uygulama olması, ekipmanların kolaylıkla bulunabilmesi, hızlı ve tekrarlanabilir olması ve endüstriyel ölçekte kullanılabilir olması gıda sanayinde yaygın olarak aroma maddeleri, yağlar ve antioksidanların mikroenkapsülasyonunda bu yöntemin kullanılmasına olanak sağlamıştır.

Püskürterek kurutma yöntemi ile üretilen mikrokapsüllerinin partikül boyutlarının ve şekillerinin düzgün bir yapıda olmaması, partiküllerin topaklanmış bir yapıda olması kurutma işlemi sırasında suyun buharlaşma hızının uygun olmaması mikrokapsüllerin yüzeyinde çukurluk, çukur ve gözenekler oluşması bu kurutma sisteminin başlıca dezavantajları arasındadır. (Dordevic ve ark. 2015, Carvalho ve ark. 2016). Bu kurutma sisteminin en büyük dezavantajlarından birisi de kullanılacak kaplama materyallerinin sayısının sınırlı sayıda olmasıdır. Püskürterek kurutma yönteminde kaplama materyali olarak yenilebilen özellikte, doğal, ekonomik ve gıda bileşenleri ile reaksiyona girdiğinde

ürünün kendine has özelliklerini değiştirmeyen, kokusuz, tatsız kaplama materyalleri olan karbonhidratlar (maltodekstrinler, kitosan, dekstroz, laktoz, pullulan vb.), selülozlar (karboksimetilselüloz, metilselüloz, etilselüloz vb.), gamlar (akasya gamı, agar, sodyum aljinat), proteinler (gluten, kazein, jelatin) kullanılabilirler (Gharsallaoui ve ark., 2007).

### **2.3.2. Dondurarak kurutma**

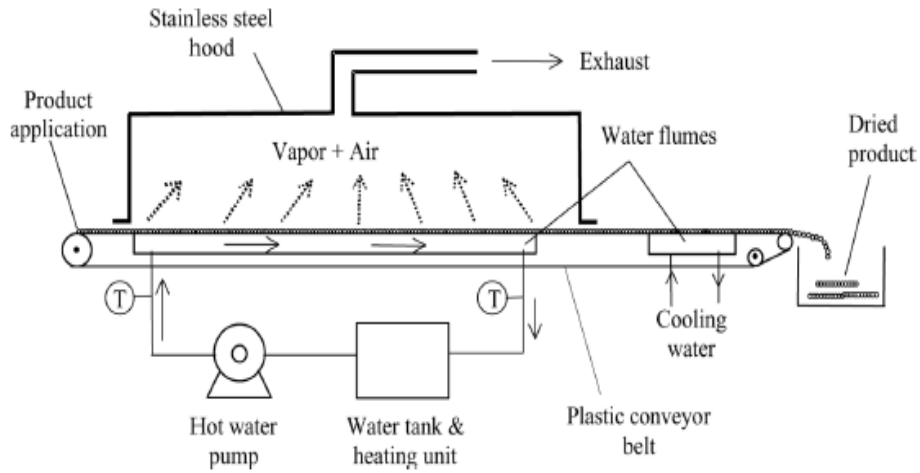
Liyo filizasyon olarak da bilinen dondurarak kurutma oldukça basit bir işlemdir ve ısıya duyarlı malzemelerin ve uçucu bileşenlerin mikroenkapsülasyonunda kullanılmaktadır. Dondurarak kurutma işlemi; ürünün dondurulması ve buz kristallerinin süblimleşmesi esasına dayanmakta olup 3 aşamadan oluşmaktadır (Koç ve ark., 2010). Bu aşamalar sırasıyla; dondurma, temel kurutma aşaması ve ikinci dondurma aşamalarından oluşmaktadır. Dondurma aşamasında; şoklama veya dondurucuda gıdanın yapısında ki suyun buz kristalleri haline dönmesi, temel kurutma aşamasında; buz kristallerinin süblimleşme ile ürün yapısından uzaklaştırılması, ikinci kurutma aşamasında ise gıdanın yapısında bulunan suyun desorpsiyon ile uzaklaştırılması sağlanır (Teledo, 1979).

Dondurarak kurutma yöntemi ile üretilmiş mikrokapsüllerin oksidasyona daha dirençli olduğu saptanmıştır. (Velasco ve ark, 2003). Aroma kayıplarının az olması, elde edilen ürünün özelliklerinin iyi olması, gıdanın yapısında ki kayıpların az olması dondurarak kurutma yönteminin avantajları arasındadır. Ancak ekonomik olarak maliyetinin fazla ve işlem süresi uzundur. Maliyetinin yüksek olmasından dolayı gıda endüstrisinde mikroenkapsülasyon uygulaması yapılırken dondurarak kurutma yerine püskürterek kurutma yöntemi daha sıklıkla tercih edilmektedir (Koç ve ark., 2010).

### **2.3.3. Kırınım pencereli kurutma**

Kırınım pencereli kurutma yöntemi 4. nesil kurutma sistemleri içinde sınıflandırılan yeni nesil bir film kurutma yöntemidir. (Nindo ve Tang, 2007) İlk olarak ABD’de Magoon tarafından geliştirilerek 1986 yılında patenti alınmıştır (Magoon Re, 1986). Sıvı ve yarı sıvı gıda maddelerini tozlara veya küçük taneciklere dönüştüren bir yöntemdir. Sistemde yansıtıcı özelliğe sahip plastik bir film kullanılır. Isı kaynağı olarak atmosferik basınç altında sıcak suyun (90-95°C) kullanıldığı bu sistemde ısı sıcak sudan

ürüne bu plastik film üzerinden aktarılır (Caparino ve ark., 2012). Bu kurutma sisteminde iletim, konveksiyon ve radyasyon olmak üzere üç ısı transfer yöntemi de kullanılmaktadır. Su önce bir tank içerisinde ısıtılır ve termal enerjiyi plastik filme aktarmak için sığ bir havuza taşınır. Plastik bant ince olduğu için kısa sürede sıcak su sayesinde ısınır. Plastik film üzerinde ürün olmadığında su ile hava arasındaki kırılma indisi farkı oldukça yüksektir. Bu yüzden plastik ile su ara yüzünde radyasyon enerjisi geri yansıtılır. Ürün plastik film üzerine serildiğinde su ile ürün arasındaki kırılma indisi farkı azalır ve film adeta bir pencere gibi açılarak radyasyonla ısı transferine izin verir. Ürün kurudukça kırılma indisi farkı artmaya başlar ve pencere yavaş yavaş kapanır. Böylece ısı transferi tekrar kısıtlanır. Dolayısıyla ısının neden olduğu olumsuzluklar azaltılmış olur (Ortiz-Jerez ve ark., 2015).



Şekil 2. 6. Kırınım pencereleli kurutma sistemi çalışma prensibi (Nindo ve ark.,2007)

Kırınım pencereleli kurutma yöntemi geleneksel kurutma yöntemlerine kıyasla daha kısa sürede daha yüksek verimle ürün elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Yapılan çalışmalarda püskürterek kurutma ve dondurarak kurutma ile karşılaştırıldığında yatırım gereksinimi ve işletme maliyetlerinin daha düşük olduğu gösterilmiştir (Nindo ve Tang, 2007). Ürünün doğrudan ısı transfer ortamı ile temas etmemesi çapraz kontaminasyon gerçekleşmesini önlerken, atmosferik basınç altında daha düşük sıcaklıklarda kurutma imkânı bu sistemin en önemli avantajları arasındadır (Clarke, 2004; Nindo ve Tang, 2007, Moses ve ark., 2014). Kırınım pencereleli kurutma yöntemi ile kurutulan ürünlerin renk, lezzet, aroma değişimi kısıtlanmakta ve yapıda bulunan vitaminler, proteinler ve yararlı bileşenler en az kayıpla kurutulabilmektedir (Castoldi,

Zotarelli ve Durigon, 2014). Sistemin en önemli dezavantajı ise yapışkanlık özelliklerinden dolayı şekerli ürünlerin kurutulmasında ki güçlükler ve düşük kapasitesidir (Moses ve ark., 2014).

Son yıllarda kırımım pencereleli kurutma sistemi kullanılarak farklı gıda ürünlerinin kurutulduğu çalışmalar yapılmıştır. Bu kurutma yöntemi ile başta meyve ve sebzeler olmak üzere (Abonyi ve ark., 2002; Topuz ve ark., 2009; Caparino ve ark., 2012; Baeghbali ve ark., 2016;) et ürünleri (Rostami ve ark., 2018), protein izolatları (Tontul ve ark., 2018) ve süt ürünlerinde (Tontul ve ark., 2021) başarılı şekilde kullanılmıştır.

Kırımım pencereleli kurutma sistemi birçok avantajı bulunmasından dolayı sadece gıda endüstrisinde değil kozmetik, eczacılık ve pigment teknolojilerinde de uygulama alanı bulmuştur (Raghavi ve ark., 2018).

Tontul ve ark., (2021), kırımım pencereleli kurutma yöntemi ve dondurarak kurutma yönteminin karşılaştırmalı olarak kullanılması ile farklı sıcaklık ve yayılma kalınlığı kullanılarak üretilen kefir tozlarının fiziksel ve mikrobiyolojik özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Kırımım pencereleli kurutma ile daha yüksek sıcaklık kullanıldığı için daha kısa sürede toz ürün elde edilmiş aynı zamanda yüksek sıcaklıktan dolayı ürünlerde daha fazla renk değişimi olduğunu bildirmişlerdir. Kırımım pencereleli kurutma yöntemi ile daha iyi fiziksel özelliklere sahip ürünler elde edilmiştir. Kurutma sıcaklığının artışına bağlı olarak kefir tozlarında bulunan *Lactococci*, *Lactobacilli* miktarlarında azalış olduğunu bildirmişlerdir. Genel olarak bu çalışma 50°C sıcaklıkta kurutma koşullarının kefir tozlarının üretimi için alternatif bir yöntem olduğunu bildirmişlerdir.

Tontul, (2018), kırımım pencereleli kurutma ve dondurarak kurutma yöntemini karşılaştırmalı olarak kullanarak farklı koşullar altında yoğurt tozları üretmişlerdir. Kırımım pencereleli kurutma yöntemi ile üretilen toz ürünlerin dondurarak kurutulan ürünlere kıyasla daha iyi akışkanlık, ıslanabilirlik ve çözünürlük değerlerinin daha iyi özellikte olduğunu bildirmişlerdir. Ancak yoğurdun yüksek sıcaklığa karşı duyarlılığı nedeniyle kırımım pencereleli kurutma yöntemi ile üretilen toz ürünlerde hafif esmerleşme olduğunu bildirmiştir. Ayrıca kurutma sıcaklığının artışına bağlı olarak yoğurt oluşumunda etkili olan bakterilerin sayısında azalma olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak kırımım pencereleli kurutma yöntemi ile 50 °C sıcaklıkta yoğurt tozu üretiminin uygun bir yöntem olabileceğini bildirmişlerdir.

#### **2.4. Yağ Mikroenkapsülasyonunu Konu Alan Çalışmalar**

Zungur ve ark. (2013), püskürterek kurutma ile mikroenkapsüle ettikleri zeytinyağına homojenizasyon yönteminin etkisini belirlemek amacıyla iki farklı yöntem (klasik ve ultrasonik) kullanmıştır. Ayrıca elde zeytinyağı tozları üç farklı sıcaklıkta (4, 25, 60°C) muhafaza ederek yapısında meydana gelen fiziksel ve kimyasal özellikler incelenmiştir. 4°C'de depolanan örneklerin fiziksel özellikleri iyi sonuç vermemesine rağmen kimyasal özelliklerinin daha iyi korunduğu belirlenmiştir. 25°C'de depolanan örnekler fiziksel özelliklerini korurken kimyasal özelliklerinde bozulmalar gözlenmiştir. 60°C' de ki örneklerde ise fiziksel ve kimyasal özellikler açısından olumsuzluklar meydana gelmiştir.

Tontul (2011) keten tohumu yağının püskürterek kurutma yöntemi ile mikroenkapsüle ettiği çalışmada farklı taşıyıcı materyallerin ve emülsifikasyon yönteminin toz ürünün kalitesi üzerine etkisini araştırmıştır. Çalışmada taşıyıcı materyal olarak olarak Arap zambının kullanıldığı örneklerde oksidatif bozulmaların daha hızlı gerçekleştiği, maltodekstrin ve peynir altı suyunun birlikte kullanıldığı örneklerde ise oksidatif stabilitenin en yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çevik (2017), püskürterek kurutma yöntemi kullanarak palm yağını mikroenkapsüle etmiştir. Klasik homojenizasyon yönteminin kullanıldığı çalışmada taşıyıcı materyal olarak yağsız süt tozu (YST), maltodekstrin (MD), emülsifiye edici ajan olarak Tween 20 kullanılmıştır. YST'nin miktarının azalmasına bağlı olarak mikroenkapsüle palm yağlarında mikroenkapsülasyon verimi azalmış, peroksit değeri artmıştır. Ancak YST miktarı arttıkça topaklaşma miktarının arttığı gözlenmiştir.

Aksoylu-Özbek (2018), dondurarak kurutma yöntemi kullanarak kabak çekirdeği yağı mikrokapsülleri üretmiştir. Bu çalışmada taşıyıcı materyal olarak peynir altı suyu proteini, maltodekstrin, arap zambını kullanılmıştır. Mikroenkapsüle tozların toplam fenolik madde miktarında,  $\alpha$ -tokoferol ve  $\gamma$ -tokoferol miktarında azalma olduğu gözlenmiştir. Ayrıca elde edilen toz örneklerin düzensiz şekil ve gözenekli yapıda olduğu ve akışkanlık özelliklerinin ise kötü olduğu belirlenmiştir.

Priol ve ark. (2019), püskürterek kurutma yöntemi ile ayçiçek yağının mikroenkapsülasyonu üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışmada kaplama materyali olarak bezelye protein izolatu, soya fasulyesi protein izolatu, kahverengi pirinç proteini, kenevir proteini, ayçiçek proteini kullanmıştır. Farklı kaplama materyalleri ile üretilen tozların oksidatif stabiliteleri karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda en iyi oksidatif stabilite bezelye protein izolatu ile kaplanan mikrokapsüllerde gözlenirken, bunu soya

fasülyesi protein izolatu kullanılan örnekler izlemiştir. Kenevir protein izolatının kullanıldığı örneklerde ise oksidatif stabilite üzerine önemli etki gözlenmemiştir.

Aragon-Rojas ve ark. (2019), bir probiyotik bakteri olan *Lactobacillus fermentum* K73'ün kırımım pencerele kurutma yöntemi ile enkapsülasyonu denemiştir. Çalışmada kaplama materyali olarak maltodekstrinin kullanılmış ve kaplanmayan örneklerle karşılaştırılmıştır. Kurutma işlemleri 3 farklı sıcaklık değerlerinde (60, 70 ve 80°C) gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda en iyi kurutma sıcaklığının 80°C olduğu ve bu sıcaklıkta kurutmanın 41 dakikada tamamlandığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda kırımım pencerele kurutma yönteminin probiyotik mikroorganizmaların mikroenkapsülasyonu için uygun bir yöntem olduğu bildirilmiştir.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Bu çalışmada yağ olarak perilla yağı kullanılmıştır. Perilla yağı taze olarak temin edilen perilla tohumlarının soğuk pres yöntemi ile işlenmesi sonucu elde edilmiştir. Mikroenkapsülasyon işleminde taşıyıcı maddeler olarak ise Arap zankı (Instantgum BA, Nexira, ABD) ve Peynir altı suyu protein izolatı (Hipro, Hardline, Türkiye) kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıktadır.

#### 3.2. Yöntem

##### 3.2.1. Uygun mikroenkapsülasyon koşullarının belirlenmesi

Bu çalışmada kaplama materyali 4:1 oranında Arap zankı ve PASP karışımı kullanılmıştır. Emülsiyon hazırlama aşaması ise Box Behnken deneme desenine göre farklı şartlarda gerçekleştirilmiştir.

Emülsiyonların hazırlanması için öncelikle kaplama materyallerden deneme desenine göre hesaplanan miktarlarda tartılarak saf su içinde çözündürülmüştür. Daha sonra deneme deseninde belirlenen oranda perilla yağı karışıma ilave edilmiş ve ultraturrax (IKA T25, Almanya) kullanılarak deneme deseninde belirlenen süreler boyunca 15000 devir/dk hızda homojenize edilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Mikroenkapsüllerin taşıyıcı madde oranı, yağ yükleme oranı ve homojenizasyon süreleri

| Deneme Deseni | Taşıyıcı madde oranı (%) | Yağ Yükleme (%) | Homojenizasyon süresi (dk) |
|---------------|--------------------------|-----------------|----------------------------|
| 1             | 30                       | 40              | 10                         |
| 2             | 30                       | 30              | 6                          |
| 3             | 20                       | 20              | 6                          |
| 4             | 30                       | 20              | 10                         |
| 5             | 40                       | 20              | 6                          |
| 6             | 30                       | 30              | 6                          |
| 7             | 30                       | 30              | 6                          |
| 8             | 30                       | 40              | 2                          |
| 9             | 20                       | 40              | 6                          |
| 10            | 40                       | 40              | 6                          |
| 11            | 40                       | 30              | 2                          |
| 12            | 40                       | 30              | 10                         |
| 13            | 30                       | 20              | 2                          |
| 14            | 20                       | 30              | 2                          |
| 15            | 20                       | 30              | 10                         |

Emülsiyonlar hazırlandıktan sonra bekletilmeden kırımın pencereleli kurutma sisteminde kurutma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.2. Kırımın pencereleli kurutma

Emülsiyonların kurutma işlemleri için pilot ölçekleli cihaz kullanılmıştır. Kurutma işlemleri için sıcaklık olarak 95°C seçilmiştir. Kurutma işlemleri ürünün su aktivitesi 0.25 değerine ulaşana kadar sürdürülmüştür. Örnekler kurutulduktan sonra kurutucu yüzeyinden kazınmış ve öğütücü yardımıyla (Siemens MK880FQ1, Almanya) öğütüldükten sonra hava almayacak ambalajlar içerisinde depolanmıştır.



Şekil 3. 1. Kurutma işlemleri



Şekil 3. 2. Kurutma sonrası elde edilen mikrokapsüller

### 3.2.3. Analizler

#### 3.2.3.1. Nem miktarı ve su aktivitesi tayini

Nem miktarı analizi için 0.5 gr kapsüllenmiş örnek 70°C sıcaklıkta sabit tartıma gelene kadar 24 saat kurutulmuş nem miktarına gravimetrik olarak aşağıda ki formüle göre hesaplanmıştır. Su aktivitesi tayini ise su aktivitesi ölçme cihazı (Novasina-Labtouch, İsviçre) kullanılarak belirlenmiştir.

$$Nem\ miktarı = \frac{son\ tartım - ilk\ tartım}{örnek\ miktarı} * 100 \quad (Eşitlik\ 1)$$

#### 3.2.3.2. Renk

Örneklerin renk değerleri renk ölçer (Konica Minolta CR-400, Japonya) kullanılarak ölçülmüştür. Bu amaçla öncelikle cihazın seramik plakası ile kalibrasyon gerçekleştirilmiştir. Daha sonra cam petri kabına alınan örneklerin L\*, a\* ve b\* değerleri 10 farklı noktadan okuma yapılarak elde edilmiş sonrasında ortalamaları alınarak değerler hesaplanmıştır.

#### 3.2.3.3. Oksidatif stabilite analizleri

Örneklerin oksidatif stabilite analizleri 892 Professional Rancimat cihazı ile yapılmıştır. Analiz için belirlenen sıcaklık 100°C'dir. 10 L/h gaz akış hızında 3 g yağ içeren miktarda numune ve 60 ml ultra saf su ile ölçüm gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda cihazın yazılımı vasıtasıyla saat cinsinden indüksiyon süresi hesaplanmıştır.

#### 3.2.3.4. Termal özellikler

Numuneler (4-10 mg) hassas bir şekilde alimünyum numune kaplarına tartılıp kapakları hermetik şekilde kapatılıp Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) 25 (TA Instruments, New Castle, DE, ABD) cihazı ile analiz edilmiştir. Mikrokapsüllerin termal özellikleri 10-150°C sıcaklık aralığında analiz edilmiştir.

### 3.2.3.5. Toplam ve yüzey yağ miktarı

Mikrokapsüllerin yüzey yağ miktarları Bae ve Lee (2008) tarafından kullanılan metoda göre belirlenmiştir. Yüzeide bulunan serbest yağ miktarını belirlemek amacıyla 50 mL tüp içerisine tartılan 2 gr kapsüllenmiş örnek üzerine 15 mL hekzan eklenmiş oda sıcaklığında 2 dk boyunca vorteks karıştırıcıda karıştırılması ile ekstrakte edilmiş ve filtre kağıdından süzölmüştür. Filtre kâğıdı üzerinde toplanan kalıntı 20 mL hekzan ile üç kez daha yıkanmıştır. Daha sonra kalıntı 70°C sıcaklıkta sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Yüzey yağ miktarı hekzanla ekstraksiyondan önceki ve sonraki tartımlar yardımıyla hesaplanmıştır.

### 3.2.3.6. Mikroenkapsülasyon etkinliği

Mikroenkapsülasyon etkinliği (Eşitlik 3.2) mikroenkapsülasyon işleminden elde edilen üründeki yüzey yağı dışında kalan yağın toplam yağa oranı ile belirlenmiştir.

$$M.E = \frac{TYM-YYM}{TYM} \times 100 \quad (\text{Eşitlik 3.2})$$

M.E = Mikroenkapsülasyon etkinliği (%)

TYM = Toplam yağ miktarı (g)

YYM = Yüzey yağ miktarı (g)

### 3.2.3.7. Yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk ve parçacık yoğunluğu

Mikrokapsüllerin yığın yoğunluğunu Beristain vd. (2001)'e göre belirlenmiştir. Bu amaçla kurutulmuş 2 gr örnek ölçölü cam mezürlere tartılmış ve hacmi kaydedilmiştir. Bu ağırlık ve hacim kullanılarak yığın yoğunluğu hesaplanmıştır. Daha sonra bu mezür 30 mm yükseklikten 100 kez serbest düşmeye bırakılarak örneğin son hacmi kaydedilmiştir. Örnek ağırlığının kaydedilen hacme bölünmesiyle sıkıştırılmış yoğunluk hesaplanmıştır.

Örneklerin parçacık yoğunluğu Jinapong vd (2008)'e göre analiz edilecektir. 1 gr örnek 10 mL ölçekli kapaklı mezüre aktarılarak üzerine 5 mL petrol eteri eklenmiştir. Çözelti tamamen karışıp tüm parçacıklar ıslanana kadar mezür çalkanmıştır. Son olarak mezürün cidarında kalan parçacıkları da yıkamak amacıyla 1 mL petrol eteri daha

eklenmiş ve elde edilen toplam hacim kullanılarak parçacık yoğunluğu (Eşitlik 3.3) hesaplanmıştır.

$$\rho_{\text{parçacık}} = \frac{\text{Toz ağırlığı (g)}}{\text{Petrol eteri ve tozun hacmi-6 ml}} \quad (\text{Eşitlik 3.3})$$

Bu iki değer kullanılarak (sıkıştırılmış yoğunluk ve yığın yoğunluğu) akışkanlık özelliklerini (Çizelge 3.2) belirlemek amacıyla Hausner oranı (Eşitlik 3.4) ve Carr indeksi (Eşitlik 3.5) ile porozitesi (Eşitlik 3.6) hesaplanmıştır.

$$\text{Hausner oranı} = \frac{\rho_{\text{sıkıştırılmış}}}{\rho_{\text{yığın}}} \quad (\text{Eşitlik 3.4})$$

$$\text{Carr indeksi} = \frac{\rho_{\text{sıkıştırılmış}} - \rho_{\text{yığın}}}{\rho_{\text{sıkıştırılmış}}} \quad (\text{Eşitlik 3.5})$$

$$\text{Porozite} = \frac{\rho_{\text{parçacık}} - \rho_{\text{sıkıştırılmış}}}{\rho_{\text{parçacık}}} \quad (\text{Eşitlik 3.6})$$

**Çizelge 3.2:** Carr indeksine dayalı toz akışkanlığının sınıflandırılması

| Carr indeksi | Akışkanlık | Hausner oranı |
|--------------|------------|---------------|
| 11-15        | İyi        | 1.12-1.18     |
| 16-20        | Orta       | 1.19-1.25     |
| 21-25        | Geçerli    | 1.26-1.34     |
| 26-31        | Zayıf      | 1.35-1.45     |
| 32-37        | Çok Zayıf  | 1.46-1.59     |
| >32          | Çok Kötü   | HR>1.59       |

### 3.2.3.8. Higroskopisite tayini

Cam beherlere 0.5 gr olarak tartılan mikroenkapsüller ortamın bağıl neminin %79.5 olmasını sağlayacak potasyum nitratın doymuş çözeltisi bulunan desikatörde oda sıcaklığında 1 hafta bekletilmiştir. 1 hafta sonra örnekler tartılmış ve sonuç aşağıda verilen eşitlik (Eşitlik 3.7) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Higroskopisite (\%)} = \frac{\frac{X}{a_h} + W_i}{1 + \frac{X}{a_h}} \times 100 \quad (\text{Eşitlik 3.7})$$

Eşitlikte  $\alpha_i$  mikroenkapsüle tozun miktarını,  $X$  bekleme süresindeki ağırlık artışını,  $W_i$  mikroenkapsüle tozun başlangıç nem miktarını göstermektedir (Syalamadevi ve ark., 2012).

### **3.2.3.9. Partikül boyutu analizi**

Kapsüllenmiş örneklerde parçacık boyutu ve küresellik indeksi analizleri saçılım (laser diffraction) prensibi ile çalışan parçacık boyut analiz cihazı (Mastersizer 2000, Malvern, Birleşik Krallık) kullanılarak yapılmıştır. Bu amaçla 2-propanol içerisinde disperse edilen örneklerin (refraktif indeksi 1,52 olarak ayarlanmıştır) partikül büyüklüğü yüzey ağırlıklı ortalama ve hacim ağırlıklı ortalama cinsinden 5 tekrarlı olarak ölçülerek ortalaması hesaplanmıştır.

### **3.2.3.10. İslanabilirlik**

Üretilen kapsüllerin ıslanabilirliğini ölçmek amacıyla 0.5 gr örnek karıştırılmadan 50 mL suyun üzerine serpilmiştir. Toz partiküllerin su yüzeyinden kaybolma süreleri izlenmiş ve örnekler arasında karşılaştırma yapılarak ıslanabilirlik hesaplanmıştır (Bae ve Lee, 2008). 30 dk sonunda su yüzeyinde kaybolan örneklerin ıslanabilirliği >30 dk olarak işaretlenmiştir.

### **3.2.3.11. İstatistiksel analizler**

Kırınım pencereless kurutma ile perilla tohum yağının mikrokapsülasyon koşullarının optimizasyonu amacıyla 3 faktörlü Box-Behnken deneme desenine göre yürütülerek gerçekleştirilmiştir. Bağımsız değişken olarak taşıyıcı madde oranı (%), yağ yükleme oranı (%) ve homojenizasyon süresi (dk) seçilmiştir. Bağımsız değişkenlerin alt ve üst sınırları ön denemelere ve literatüre göre seçilmiştir. Bu alt ve üst limitler kullanılarak deneme deseni 3 tekerrürlü merkez olacak şekilde Design Expert 12 (Stat Ease, MN, ABD) yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur.

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Nem Miktarı ve Su Aktivitesi

Farklı taşıyıcı madde konsantrasyonu, yağ yükleme oranı ve homojenizasyon sürelerine göre üretilmiş perilla yağı mikrokapsüllerinin nem miktarı 1.50-4.64 aralığında değişmiştir (Çizelge 4.1). Tez çalışması kapsamında kurutma işlemleri mümkün olduğunca homojen düzeye kadar yapılmaya çalışılsa da taşıyıcı maddelerin su ile etkileşiminden dolayı bazı farklılıklar gözlenmiştir.

Çevik (2017) püskürterek kurutma yöntemi ile palm yağı ve fraksiyonlarının mikrokapsüllerini üretmiş ve mikrokapsüllerin nem içeriğinin 0.38-0.56 g/100g aralığında değiştiğini belirlemiştir. Tontul (2011), püskürterek kurutma yöntemi ile farklı taşıyıcı madde konsantrasyonu ve farklı emülsifikasyon yöntemleri ile keten tohumu yağı mikrokapsüllerini ürettiği çalışmasında mikrokapsüllerin nem içeriğinin 0.37-1.38 g/100g aralığında değiştiğini belirlemiştir. Başka bir çalışmada püskürterek kurutma ile üretilen ayçiçeği yağı mikrokapsüllerinin nem içeriğini 1,40 ile 8,20 g/100g arasında değiştiğini bildirmiştir. Chaves (2019), püskürterek kurutma yöntemi ile hindistan cevizi yağı mikrokapsülleri üretmiş ve mikrokapsüllerin nem içeriğinin 2.12 ile 2.99 g/100g arasında değiştiğini bildirmiştir

**Çizelge 4.1.** Perilla yağı mikrokapsüllerinin nem miktarı, su aktivitesi ve mikroenkapsülasyon etkinliğinin işlem koşullarına bağlı değişimi

| Deneme | Nem miktarı<br>(g/100 g) | Su<br>aktivitesi | Mikroenkapsülasyon<br>etkinliği (%) |
|--------|--------------------------|------------------|-------------------------------------|
| 1      | 3.99±0.72                | 0.24±0.04        | 42.33±0.07                          |
| 2      | 3.83±0.60                | 0.22±0.01        | 48.16±0.68                          |
| 3      | 2.00±0.10                | 0.12±0.00        | 35.73±0.57                          |
| 4      | 4.34±0.16                | 0.26±0.00        | 54.98±0.48                          |
| 5      | 3.25±0.44                | 0.17±0.01        | 44.60±0.54                          |
| 6      | 4.64±0.76                | 0.23±0.02        | 47.69±0.63                          |
| 7      | 3.02±0.44                | 0.21±0.00        | 48.62±0.74                          |
| 8      | 1.68±0.00                | 0.11±0.00        | 39.09±1.91                          |
| 9      | 1.50±0.04                | 0.10±0.01        | 36.21±3.08                          |
| 10     | 3.12±0.18                | 0.22±0.00        | 43.37±3.89                          |
| 11     | 2.85±0.58                | 0.17±0.01        | 36.41±2.71                          |
| 12     | 2.61±0.24                | 0.16±0.00        | 38.16±5.18                          |
| 13     | 2.77±0.16                | 0.16±0.01        | 51.54±0.15                          |
| 14     | 1.68±0.20                | 0.11±0.00        | 26.65±1.07                          |
| 15     | 2.23±0.09                | 0.14±0.00        | 36.89±3.08                          |

Çizelge 4.2’de Box-Behnken deneme desenine göre hesaplanmış varyans analiz tablosu görülmektedir. Perilla yağı mikrokapsüllerinin nem miktarı deneme desenindeki

bağımsız faktörlerden önemli düzeyde etkilenmediği için modellenememiştir. Kurutma benzer düzeye kadar gerçekleştirilmeye çalışıldığı için bu beklenen bir durumdur.

**Çizelge 4.2.** Perilla yağı mikrokapsüllerinin nem miktarı, su aktivitesi ve mikroenkapsülasyon etkinliğine ait varyans analizi

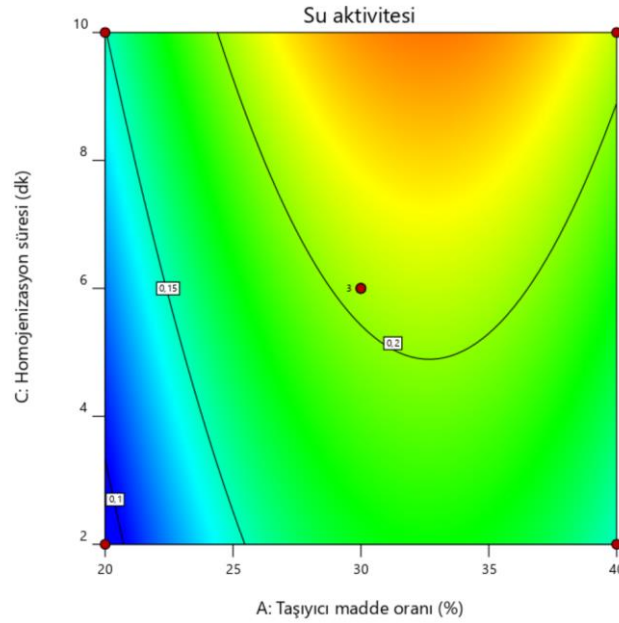
|                            | Nem miktarı   | Su aktivitesi | Mikroenkapsülasyon etkinliği |
|----------------------------|---------------|---------------|------------------------------|
| Model                      |               | 0.2043**      | 47.49**                      |
| A – Taşıyıcı madde oranı   |               | 0.0294*       | 3.38*                        |
| B – Yağ yükleme oranı      |               | Öd            | -3.23*                       |
| C – Homojenizasyon süresi  |               | 0.0296*       | Öd                           |
| A <sup>2</sup>             | Modellenemedi | -0.0551**     | -10.23**                     |
| B <sup>2</sup>             |               | Öd            | Öd                           |
| C <sup>2</sup>             |               | Öd            | Öd                           |
| R <sup>2</sup>             |               | 0.69          | 0.73                         |
| Düzeltilmiş R <sup>2</sup> |               | 0.61          | 0.66                         |
| Uyum eksikliği             |               | Öd            | Önemli                       |

\*İstatistiksel olarak önemlidir (P<0.05) (\*), (P<0.01) (\*\*). öd: önemli değil

Farklı taşıyıcı madde konsantrasyonu, yağ yükleme oranı ve homojenizasyon sürelerine göre üretilmiş perilla yağı mikrokapsüllerinin su aktivitesi değerleri 0.100 ile 0.260 arasında değişmiştir (Çizelge 4.1). Su aktivitesi ile nem miktarı arasında doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir. Çevik (2014), yaptığı çalışmada mikrokapsüllerin su aktivitesi değerlerini 0.120 ile 0.170 değerleri arasında olduğunu bildirmiştir. Tontul (2011), keten tohumu yağı mikrokapsüllerinin su aktivitesi değerlerinin 0.100 ile 0.270 arasında olduğunu bildirmiştir. Priol ve ark., (2019), püskürterek kurutma ile üretilmiş ayçiçeği yağı mikrokapsüllerinin su aktivitesi değerlerini 0.118 ile 0.440 arasında bulmuştur. Chaves ve ark. (2019), mikrokapsüllerin su aktivitesi değerlerini 0.133 ile 0.193 arasında değiştirdiğini bildirmiştir. Literatür bulguları ile mevcut tez çalışmasında ki su aktivitesi değerleri birbirleri ile uyumlu bulunmuştur.

Çizelge 4.2’de Box-Behnken deneme desenine göre hesaplanmış varyans analiz tablosu verilmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre örneklerin su aktivitesi taşıyıcı madde oranının doğrusal ve kuadratik terimleri ile homojenizasyon süresinden önemli düzeyde etkilenmiştir (Çizelge 4.2). Yapılan bir çalışmada mikrokapsüllerin su aktivitesi değerlerinin taşıyıcı madde oranına bağlı olarak önemli bir değişim gösterdiği bildirilmiştir (Çevik, 2017). Chaves ve ark. (2019), yaptığı çalışmada mikrokapsüllerin su aktivitesi değerlerinin toplam katı madde\*sıcaklık, toplam yağ miktarı\*sıcaklık değerlerinden önemli düzeyde etkilenmediğini bildirmiştir. Çalışmalar arasında farklılıkların kurutma sisteminden ve kullanılan taşıyıcı maddelerin oransal farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Perilla yağı mikrokapsüllerinin su aktivitesi üzerine taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi Şekil 4.1’de sunulmuştur. Buna göre taşıyıcı madde oranının artışı su aktivitesi üzerine belli bir orana kadar artırıcı etki gösterirken bu oranın üzerinde azalışa neden olmuştur. Homojenizasyon süresinin artışı ise su aktivitesi değerinin artması üzerine etki göstermiştir. Chaves ve ark. (2019), çalışmasında mikrokapsüllerin su aktivitesi değerleritoplam katı konsantrasyonuna bağlı olarak arttığını, hindistan cevizi yağının sıcaklığı ve konsantrasyonuna bağlı olarak azaldığını bildirmiştir. Çevik (2017), su aktivitesi değerlerinin taşıyıcı madde oranına bağlı olarak yağsız süt tozu artışı ile ters orantılı olarak su aktivitesi değerlerinde azalma olduğunu bildirmiştir. Çalışmalar arasındaki farklılıkların taşıyıcı maddelerdeki farklılıklardan kaynaklandığı değerlendirilmiştir.



**Şekil 4. 1.** Perilla yağı mikrokapsüllerinin su aktivitesi üzerine taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi

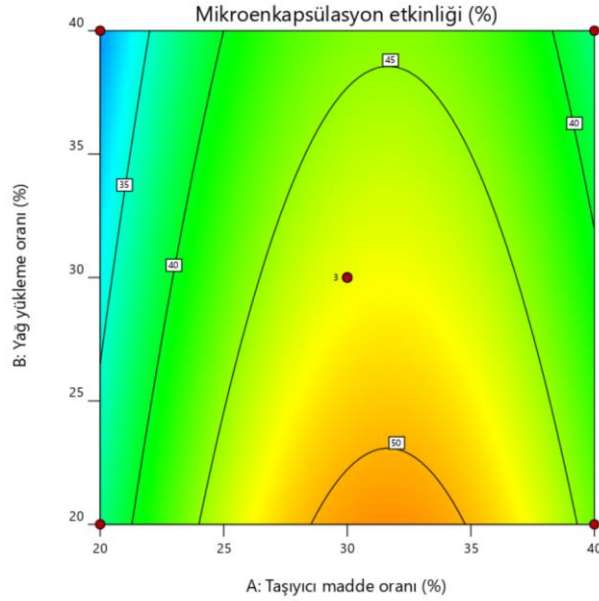
#### 4.2. Mikroenkapsülasyon Etkinliği

Mikroenkapsülasyon etkinliği, son üründe bulunan aktif bileşenin ne kadarının kaplama materyali tarafından korunduğunu gösteren bir değerdir. Farklı taşıyıcı madde konsantrasyonu, yağ yükleme oranı ve homojenizasyon sürelerine göre üretilmiş perilla yağı mikrokapsüllerinin mikroenkapsülasyon etkinlikleri %26,65 ile %54,98 arasında belirlenmiştir (Çizelge 4.1).

Çevik, (2017) palm yağı ve fraksiyonlarının mikrokapsülleri üzerine yaptığı çalışmada mikrokapsülasyon etkinliğini %14.50 ile %31.79 arasında bildirmiştir. Priol ve ark., (2019) ayçiçek yağı mikrokapsülleri üzerine yaptığı çalışmasında kapsülasyon verimliliğinin %69 ile %91 arasında değiştiğini bildirmiştir. Chaves ve ark. (2019) mikrokapsüle hindistan cevizi yağının kapsülasyon etkinliğinin %60,06 ile %81,29 arasında değiştiğini bildirmiştir. Literatürde elde edilen bulgular ile mevcut tez çalışmasında elde edilen değerler arasında önemli farklılıklar gözlenmiştir. Bu farklılıkların kullanılan yağın özellikleri, mikrokapsülasyon yönteminde kullanılan kurutma sistemi ve taşıyıcı madde konsantrasyonlarının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.2’de Box-Behnken deneme desenine göre hesaplanmış varyans analiz tablosu görülmektedir. Perilla yağı mikrokapsüllerinin mikrokapsülasyon etkinliği taşıyıcı madde oranının doğrusal ve kuadratik terimleri ile yağ yükleme oranından önemli düzeyde etkilendiği belirlenmiştir. Benzer şekilde Çevik (2017), yaptıkları çalışmada mikrokapsülasyon, etkinliğinin kullanılan taşıyıcı madde ve miktarından önemli ölçüde etkilendiğini belirtmiştir. Chaves (2019), çalışmasında mikrokapsülasyon etkinliği üzerine toplam katı madde, hindistan cevizi yağı miktarı ve sıcaklık faktörleri etkisi olduğunu bildirmiştir. Yağların mikrokapsülasyonu üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında mikrokapsüllerin enkapsülasyon etkinliğinin genel olarak yağ miktarı ve taşıyıcı materyal oranından etkilendiği görülmektedir.

Perilla yağı mikrokapsüllerinin mikrokapsülasyon etkinliği üzerine taşıyıcı madde oranı ve yağ yükleme oranının etkisi Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Taşıyıcı madde oranının artışı mikrokapsülasyon etkinliğini belli orana kadar artırırken bu oranın üzerinde azalışa neden olmuştur. Yağ yükleme oranının artması ise mikrokapsülasyon etkinliği üzerinde azaltıcı etki göstermiştir. Chaves (2019), yaptığı çalışmada mikrokapsülasyon etkinliğinin taşıyıcı madde oranı ve yağ yükleme oranının azalışına bağlı olarak arttığını belirtmiştir. Çevik (2017), yaptığı çalışmada mikrokapsülasyon etkinliğinin taşıyıcı madde oranına bağlı olarak değiştiğini maltodekstrin oranının artışına bağlı olarak mikrokapsülasyon etkinliğinin azaldığını bildirmiştir.



Şekil 4. 2. Perilla yağı mikrokapsüllerinin mikroenkapsülasyon etkinliği üzerine taşıyıcı madde oranı ve yağ yükleme oranının etkisi

### 4.3. Renk

Farklı taşıyıcı madde konsantrasyonu, yağ yükleme oranı ve homojenizasyon sürelerine göre üretilmiş perilla tohum yağı mikrokapsüllerinin  $L^*$  değeri 77.38-82.38 değerleri arasında,  $a^*$  değerleri -0.94 ile 1.90 arasında,  $b^*$  değerleri ise 21.20 ile 23.48 arasında değişmiştir.

Çevik (2017), yaptığı çalışmada mikrokapsüllerin  $L^*$  değerlerini 92.99 ile 94.81 değerleri arasında,  $a^*$  değerlerini -1,68 ile -0,48 arasında,  $b^*$  değerlerini 3,83 ile 13,56 arasında değiştiğini bildirmiştir. Özen (2014), nar çekirdek yağının mikroenkapsülasyonu üzerinde yaptığı çalışmasında mikrokapsüllerin  $L^*$  değerlerinin 92.99-96.37 arasında,  $a^*$  değerlerinin 1.28-0.02 arasında,  $b^*$  değerlerinin ise 4.52-9.68 arasında değiştiğini bildirmiştir. Mevcut tez çalışması ile literatürdeki çalışmalar karşılaştırıldığında mikrokapsüllerin renk değerlerinde önemli farklılıklar görülmektedir. Bu farklılığın kullanılan kaplama ajanları ile yağın kendi özgül renklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

**Çizelge 4.3.** Perilla yağı mikrokapsüllerinin renk özelliklerinin işlem koşullarına bağlı değişimi

| Deneme | L*         | a*         | b*         |
|--------|------------|------------|------------|
| 1      | 81.66±0.20 | 0.33±0.16  | 21.30±0.42 |
| 2      | 82.06±0.60 | 1.02±0.21  | 22.32±0.76 |
| 3      | 80.02±0.24 | -0.02±0.09 | 21.21±0.42 |
| 4      | 80.75±0.64 | 1.90±0.28  | 22.51±0.47 |
| 5      | 81.89±0.49 | -0.48±0.09 | 21.67±0.31 |
| 6      | 81.70±0.48 | 1.18±0.2   | 21.20±0.72 |
| 7      | 81.20±0.55 | 1.42±0.25  | 22.20±0.55 |
| 8      | 77.44±0.32 | -0.94±0.04 | 22.05±0.23 |
| 9      | 78.49±0.23 | -0.65±0.12 | 22.42±0.21 |
| 10     | 77.48±0.46 | 0.29±0.12  | 23.48±0.49 |
| 11     | 77.38±0.2  | -0.39±0.08 | 22.33±0.41 |
| 12     | 78.94±0.27 | 0.11±0.08  | 23.46±0.38 |
| 13     | 82.38±0.49 | 0.22±0.13  | 21.89±0.33 |
| 14     | 80.32±0.26 | -0.68±0.06 | 21.90±0.20 |
| 15     | 81.55±0.34 | -0.25±0.10 | 22.47±0.32 |

Varyans analiz sonuçlarına göre (Çizelge 4.4) perilla yağı mikrokapsüllerinin L\* değeri yağ yükleme oranı, yağ yükleme oranı × homojenizasyon süresi ve taşıyıcı madde oranının kuadratik etkisine bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik göstermiştir. Çevik (2017), yaptığı çalışmada mikrokapsüllerin L\* değerinin kullanılan taşıyıcı madde cinsi ve taşıyıcı madde oranına bağlı olarak değiştiğini bildirmiştir. Özen (2014) , yaptığı çalışmada taşıyıcı madde oranının mikrokapsüllerin L\* değerleri üzerinde etkili olduğunu bildirmiştir.

**Çizelge 4.4.** Perilla yağı mikrokapsüllerinin renk özelliklerine ait varyans analizi tablosu

|                            | L*      | a*     | b*            |
|----------------------------|---------|--------|---------------|
| Model                      | 81.03** | 0.73*  |               |
| A – Taşıyıcı madde oranı   | -0.59   | 0.14   |               |
| B – Yağ yükleme oranı      | -1.25** | Öd     |               |
| C – Homojenizasyon süresi  | 0.67    | 0.49*  |               |
| AB                         | Öd      | Öd     |               |
| AC                         | Öd      | Öd     |               |
| BC                         | 1.46*   | Öd     | Modellenemedi |
| A <sup>2</sup>             | -1.52*  | -0.99* |               |
| B <sup>2</sup>             | Öd      | Öd     |               |
| C <sup>2</sup>             | Öd      | Öd     |               |
| R <sup>2</sup>             | 0.78    | 0.58   |               |
| Düzeltilmiş R <sup>2</sup> | 0.66    | 0.46   |               |
| Uyum eksikliği             | Öd      | Öd     |               |

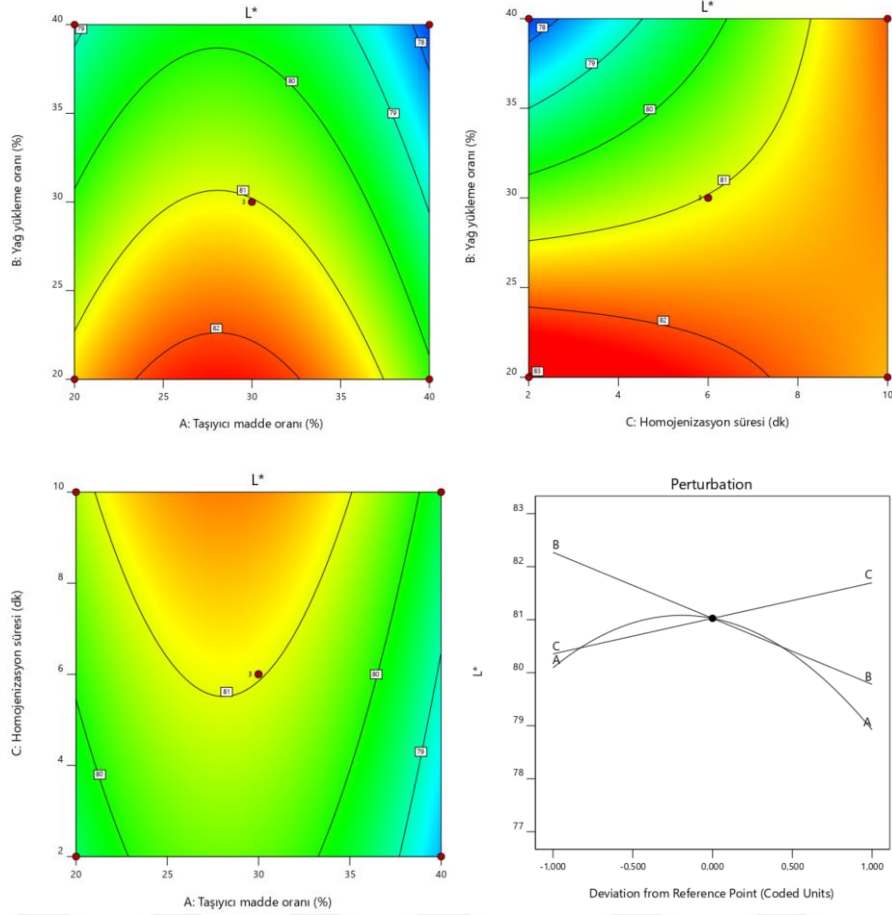
\*İstatistiksel olarak önemlidir (P<0.05) (\*), (P<0.01) (\*\*). öd: önemli değil

Varyans analiz sonuçlarına göre (Çizelge 4.4) perilla yağı mikrokapsüllerinin a\* değerlerinin taşıyıcı madde oranının doğrusal ve kuadratik terimleri ile homojenizasyon

süresinden önemli ölçüde etkilenmiştir. Çevik (2017), yaptığı çalışmada mikrokapsüllerin  $a^*$  değerlerinin taşıyıcı madde oranına bağlı olarak değiştiğini bildirmiştir.

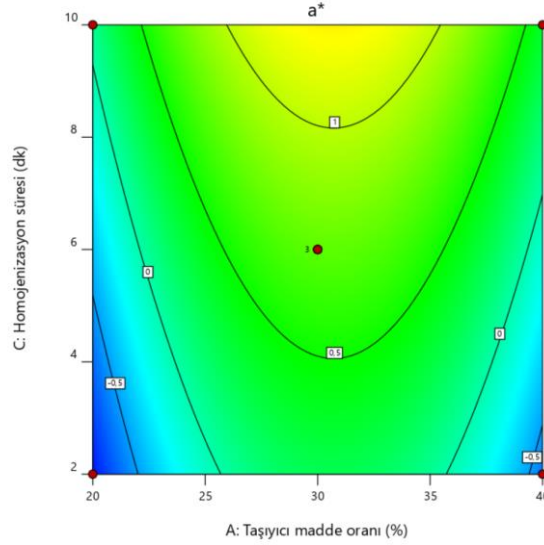
Varyans analiz sonuçlarına göre (Çizelge 4.4) perilla yağı mikrokapsüllerinin  $b^*$  değeri deneme deseninde ki bağımsız faktörlerden önemli ölçüde etkilenmediği için modellenememiştir.

Perilla yağı mikrokapsüllerinin  $L^*$  değerleri üzerine yağ yükleme oranı, homojenizasyon süresi, taşıyıcı madde oranının etkisi Şekil 4.3'de gösterilmiştir.  $L^*$  değeri ile homojenizasyon süresi arasında doğrusal bir ilişki tespit edilmişken, yağ yükleme oranı  $L^*$  değerini azaltıcı etki göstermiştir. Yağ yükleme oranının artışı son üründe yağ oranını artırarak  $L^*$  değerini azaltıcı etki göstermiştir. Nitekim kullanılan taşıyıcı maddeler beyaz renkli iken yağ koyu sarı renklidir. Homojenizasyon süresinin uzaması, oluşan emülsiyonun parçacık büyüklüğünü azaltıcı etki göstererek, elde edilen emülsiyonun şeffaflığa yaklaşmasını sağlamıştır. Bu durum emülsiyon kurutulması ile üretilen mikrokapsülleri de olumlu etkilemiştir. Çevik (2017), çalışmasında mikrokapsüllerin  $L^*$  değerinin taşıyıcı madde oranına bağlı olarak değiştiğini maltodekstrin kullanılan mikrokapsüllerde  $L^*$  değerinin maltodekstrin artışına bağlı olarak arttığını bildirmiştir. Özen (2014), yaptığı çalışmasında peynir altı suyu proteinlerinin artmasına bağlı olarak  $L^*$  değerinin azaldığını bildirmiştir.



**Şekil 4. 3.** Perilla yağı mikrokapsüllerinin  $L^*$  değeri üzerine taşıyıcı madde oranı, yağ yükleme oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi

Perilla yağı mikrokapsüllerinin  $a^*$  değeri üzerine taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Mikrokapsüllerin  $a^*$  değeri taşıyıcı madde oranının artışına bağlı olarak belli orana kadar artış gösterirken bu oranın üzerinde azalışa neden olmuştur. Homojenizasyon süresi ile  $a^*$  değeri arasında doğrusal bir ilişki tespit edilmiş olup homojenizasyon süresi arttıkça  $a^*$  değerinin arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4. 4. Perilla yağı mikrokapsüllerinin  $a^*$  değeri üzerine taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi

#### 4.4. Yoğunluk

Farklı taşıyıcı madde konsantrasyonu, yağ yükleme oranı ve homojenizasyon sürelerine göre üretilmiş perilla yağı mikrokapsüllerinin yığın yoğunluğu değerleri 0,30 ile 0.52 g/mL arasında, sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin 0.53 ile 0.69 g/mL arasında, parçacık yoğunluğu değerlerinin 0.83 ile 1.13 g/mL değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir.

Yapılan çalışmalara bakıldığında Hindistan cevizi yağı mikrokapsüllerinin yığın yoğunluğu değerlerinin 0.450 ile 0.544 g/mL arasında değiştiği bildirilmiştir (Chaves, 2019). Bae ve Lee (2008), avokado yağının püskürterek kurutma yöntemi ile mikrokapsülasyonunu yaptığı çalışmada mikrokapsüllerin yığın yoğunluğu değerlerinin 0.250 ile 0.280 g/mL arasında değiştiğini bildirmiştir. Ashokkumar ve ark. (2018), farklı taşıyıcı materyal ve farklı kurutma sıcaklık değerlerinin kullanıldığı, püskürterek kurutma yöntemi ile zeytinyağı mikrokapsüllerinin elde edildiği çalışmada yığın yoğunluğu değerlerinin 0.24 ile 0.39 g/mL ve sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin 0.30 ile 0.42 g/ml arasında değiştiğini bildirmiştir. Çevik (2017), yaptığı çalışmada mikrokapsüllerin yığın yoğunluğu değerlerinin 0.26 ile 0.31 g/mL değerleri arasında, sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin ise 0.43 ile 0.55 g/mL arasında değiştiğini bildirmiştir. Mevcut tez çalışması ile literatürde ki bulgular karşılaştırıldığı zaman mikrokapsüllerin yoğunluk değerlerinin birbiri ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

**Çizelge 4.5.** Perilla yağı mikrokapsüllerinin yoğunluk, porozite ve akış özelliklerinin işlem koşullarına bağlı değişimi

| Deneme | Yığın yoğunluğu (g/mL) | Sıkıştırılmış yoğunluk (g/mL) | Parçacık yoğunluğu (g/mL) | Porozite (%) | Carr İndeksi | Hausner oranı |
|--------|------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------|--------------|---------------|
| 1      | 0.47±0.01              | 0.66±0.00                     | 1.13±0.18                 | 40.82±8.99   | 28.75±1.77   | 1.40±0.03     |
| 2      | 0.51±0.01              | 0.65±0.03                     | 1.00±0.00                 | 35.23±2.68   | 21.25±5.30   | 1.27±0.09     |
| 3      | 0.50±0.00              | 0.67±0.01                     | 1.00±0.00                 | 32.92±0.59   | 25.00±0.00   | 1.33±0.00     |
| 4      | 0.57±0.09              | 0.69±0.03                     | 0.92±0.12                 | 23.39±13.6   | 18.75±8.84   | 1.24±0.13     |
| 5      | 0.36±0.04              | 0.57±0.02                     | 0.83±0.00                 | 31.94±2.62   | 36.25±8.84   | 1.58±0.22     |
| 6      | 0.51±0.00              | 0.66±0.01                     | 1.00±0.00                 | 33.84±1.14   | 22.57±1.66   | 1.29±0.03     |
| 7      | 0.52±0.01              | 0.68±0.00                     | 1.00±0.00                 | 32.45±0.41   | 23.75±1.77   | 1.31±0.03     |
| 8      | 0.30±0.01              | 0.53±0.02                     | 1.00±0.00                 | 46.80±2.07   | 43.13±0.88   | 1.76±0.03     |
| 9      | 0.39±0.03              | 0.59±0.00                     | 0.95±0.06                 | 38.28±4.10   | 33.13±4.42   | 1.50±0.10     |
| 10     | 0.39±0.02              | 0.57±0.01                     | 0.83±0.00                 | 31.02±0.63   | 32.50±3.54   | 1.48±0.08     |
| 11     | 0.38±0.02              | 0.65±0.03                     | 0.95±0.06                 | 32.16±1.44   | 41.25±5.30   | 1.71±0.15     |
| 12     | 0.36±0.00              | 0.59±0.00                     | 0.92±0.12                 | 34.67±8.72   | 40.00±0.00   | 1.67±0.00     |
| 13     | 0.49±0.03              | 0.66±0.02                     | 0.95±0.06                 | 30.95±2.66   | 26.25±1.77   | 1.36±0.03     |
| 14     | 0.41±0.02              | 0.65±0.00                     | 1.00±0.00                 | 35.21±0.29   | 37.50±3.54   | 1.60±0.09     |
| 15     | 0.45±0.01              | 0.60±0.01                     | 0.95±0.06                 | 37.13±5.47   | 25.00±0.00   | 1.33±0.00     |

Çizelge 4.6’de Box-Behnken deneme desenine göre hesaplanmış varyans analiz tablosu görülmektedir. Perilla yağı mikrokapsüllerinin yoğunluk değerleri deneme desenindeki bağımsız faktörlerden önemli düzeyde etkilenmediği için modellenememiştir. Kurutma benzer düzeye kadar gerçekleştirilmeye çalışıldığı için bu beklenen bir durumdur.

**Çizelge 4.6.** Perilla yağı mikrokapsüllerinin yoğunluk, porozite ve akış özelliklerine ait varyans tablosu

|                            | Yığın yoğunluğu (g/mL) | Sıkıştırılmış yoğunluk (g/mL) | Parçacık yoğunluğu (g/mL) | Porozite (%) | Carr İndeksi | Hausner oranı |
|----------------------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------|--------------|---------------|
| Model                      |                        |                               |                           | 34.45**      | 23.28**      | 1.31**        |
| A – Taşıyıcı madde oranı   |                        |                               |                           | Öd           | 3.67*        | 0.08*         |
| B – Yağ yükleme oranı      |                        |                               |                           | 4.71**       | 3.91*        | 0.08*         |
| C – Homojenizasyon süresi  |                        |                               |                           | Öd           | -4.45*       | -0.10*        |
| A <sup>2</sup>             | Modellenemedi          | Modellenemedi                 | Modellenemedi             | Öd           | 7.86**       | 0.16*         |
| B <sup>2</sup>             |                        |                               |                           | Öd           | Öd           | öd            |
| C <sup>2</sup>             |                        |                               |                           | Öd           | 5.36*        | 0.12*         |
| R <sup>2</sup>             |                        |                               |                           | 0.47         | 0.81         | 0.79          |
| Düzeltilmiş R <sup>2</sup> |                        |                               |                           | 0.43         | 0.70         | 0.67          |
| Uyum eksikliği             |                        |                               |                           | Öd           | Öd           | önemli        |

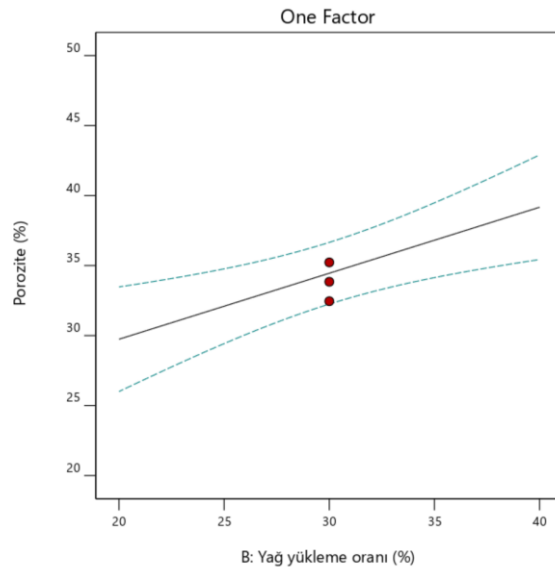
\*İstatistiksel olarak önemlidir (P<0.05) (\*), (P<0.01) (\*\*). öd: önemli değil

#### 4.5. Porozite ve Akış Özellikleri

Farklı taşıyıcı madde oranı, homojenizasyon süresi ve yağ yükleme oranına göre üretilmiş perilla yağı mikrokapsüllerinin porozite değerleri %23.39 ile %46.80 (Çizelge 4.5) değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.6' da Box-Behnken deneme desenine göre hazırlanmış varyans analiz tablosu görülmektedir. Tabloya göre perilla yağı mikrokapsüllerinin porozite değerinin yağ yükleme oranından önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir.

Mikrokapsüllerin porozite değerine yağ yükleme oranının etkisi şekil 4.5'de verilmiştir. Mikrokapsüllerin porozite değeri yağ yükleme oranının artışına bağlı olarak arttığı görülmektedir.



Şekil 4. 5. Perilla yağı mikrokapsüllerinin porozitesi üzerine yağ yükleme oranının etkisi

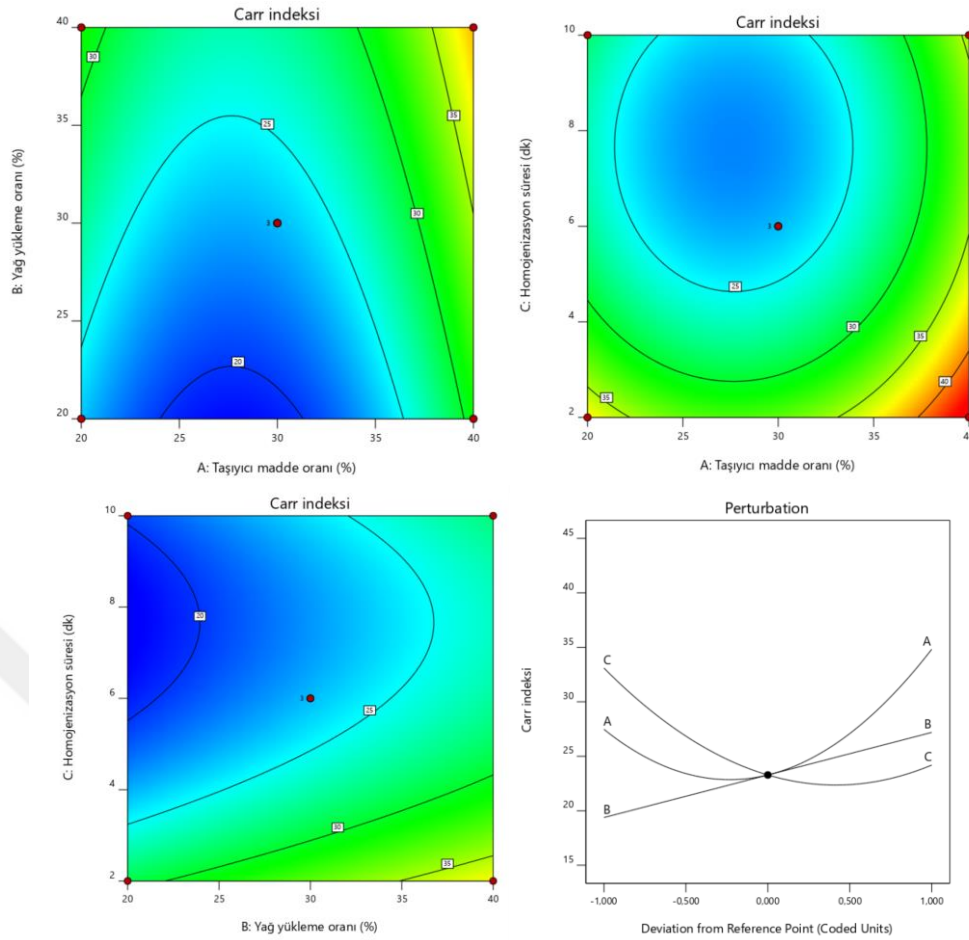
Toz ürünlerin akışkanlık özellikleri Carr indeksi, Hausner oranı veya sıkıştırma testleri ile belirlenmektedir (Aksoylu-Özbek, 2018). Mevcut çalışmada Hausner oranı ve Carr indeks değerlerine göre mikrokapsüllerin akışkanlık özellikleri belirlenmiştir. Perilla tohum yağı mikrokapsüllerinin Carr indeksi değerleri çizelge 4.5'te verilmiştir. Bu çizelgeye göre mikrokapsüllerin Carr indeksi değerleri 18.75 ile 43.13 arasında değiştiği görülmektedir. Çizelge 3.1'e göre yapılan değerlendirmede perilla yağı mikrokapsüllerinin akıcılık özelliklerinin orta ile çok kötü arasında olduğu görülmektedir.

Çevik (2017), çalışmasında mikrokapsüllerin Carr indeksi değerlerinin 36 ile 51 değerleri arasında değiştiğini bildirmiştir. Askumaretal (2018), zeytinyağı mikrokapsüllerinin Carr indeksi değerlerinin 10.26 ile 23.68 değerleri arasında değiştiğini

rapor etmiştir. Aksoylu-Özbek (2018), yaptığı çalışmada mikrokapsüllerin Carr indeksi değerlerinin 43.18-53.18 değerleri arasında değiştiğini belirlemiştir. Quispe-Condori ve ark. (2011), çalışmasında püskürterek kurutma ile elde ettiği keten tohumu yağı mikrokapsüllerinin Carr indeksi değerlerinin 33.72-48.65 değerleri arasında, dondurarak kurutma ile elde ettiği mikrokapsüllerin Carr indeksinin ise 10.19 ile 35.19 değerleri arasında olduğunu bildirmiştir. Literatürdeki bulgular incelendiği zaman mevcut tez çalışması ile Carr indeksi değerleri arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu farklılıkların taşıyıcı madde cinsi ve konsantrasyonu, yağ yükleme oranı ve kurutma sistemindeki vasyasyondan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.6'da Box-Behnken deneme desenine göre hazırlanmış varyans analiz tablosu görülmektedir. Varyans analiz sonuçlarına göre perilla yağı mikrokapsüllerinin Carr indeksi değerleri (Çizelge 4.6) taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon süresinin doğrusal ve kuadratik terimleri ile yağ yükleme oranından önemli düzeyde etkilenmiştir. Nitekim taşıyıcı materyal oranının sabit tutulduğu, (4 ile 8 numaralı deneme) toz ürünlerde yağ miktarının iki katına çıkartılması ile Carr indeksi değerlerinde artış olduğu belirlenmiştir. Yağ miktarının en fazla olduğu örneğin en kötü akışkanlık özelliğine sahip olduğu görülmektedir. Aksoylu-Özbek (2018), çalışmasında mikrokapsüllerin Carr indeksi değerlerinin kullanılan kombinasyonlardan önemli düzeyde etkilenmediğini belirtmiştir. Çevik (2017), çalışmasında mikrokapsüllerin Carr indeksi değerlerinin taşıyıcı materyal oranından etkilendiğini belirtmiştir.

Perilla yağı mikrokapsüllerinin Carr indeksi değerleri üzerinde yağ yükleme oranı, taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Mikrokapsüllerin Carr indeksi değerleri belli taşıyıcı madde oranına kadar azalış gösterirken bu değerden sonra artmaktadır. Yağ yükleme oranı ile doğru orantılı olarak artmakta iken homojenizasyon süresini belirli bir değere kadar düşmesi ile azalış göstermiş bu değerden sonra tekrar artış eğiliminde olduğu görülmektedir. Çevik (2017), çalışmasında mikrokapsüllerin Carr indeksi değerlerinin kullanılan taşıyıcı materyale bağlı olarak değiştiğini ve yağsız süt tozu oranının artışına bağlı olarak arttığı ancak maltodekstrin oranının artışına bağlı olarak azaldığını bildirmiştir.



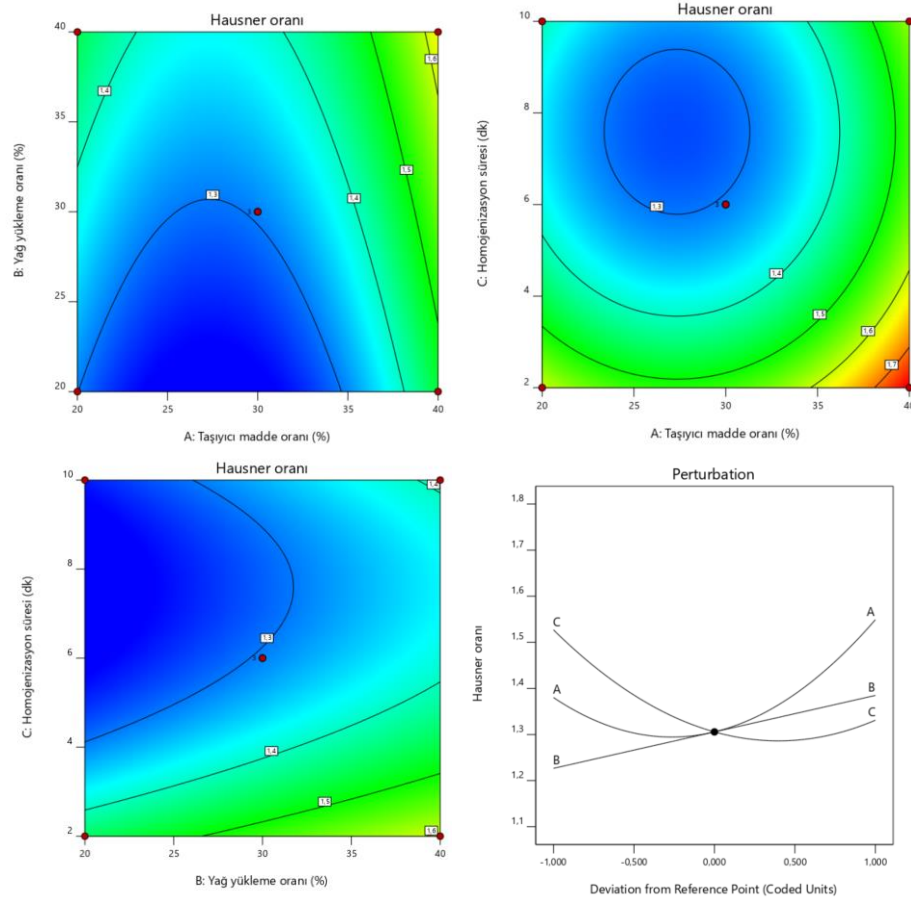
**Şekil 4. 6.** Perilla yağı mikrokapsüllerinin Carr indeksi üzerine yağ yükleme oranı, taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi

Farklı taşıyıcı madde oranı, homojenizasyon süresi ve yağ yükleme oranına göre üretilmiş perilla yağı mikrokapsüllerinin Hausner oranı 1.24 ile 1.71 değerleri arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 4.5). Çizelge 3.2'ye göre mikrokapsüllerin akıcılık özelliklerinin orta ile çok kötü akış gösterdiği görülmektedir. Ashokkumaretal (2018), Hausner oranı değerlerinin 1.11 ile 1.31 değerleri arasında değiştiğini bildirmiştir. Aksoylu-Özbek (2018), çalışmasında mikrokapsüllerin Hausner oranının 1.76 ile 2.18 değerleri arasında değiştiğini bildirmiştir. Quispe-Condori ve ark. (2011) çalışmasında, püskürterek kurutma yöntemi ile elde ettiği mikrokapsüllerin Hausner oranının 1.51 ile 1.96 değerleri arasında, dondurarak kurutma yöntemi üretilen mikrokapsüllerin Hausner değerlerinin 1.11 ile 1.57 değerleri arasında değiştiğini bildirmiştir.

Çizelge 4.6'da Box-Behnken deneme desenine göre hesaplanmış varyans analiz tablosunda perilla yağı mikrokapsüllerinin Hausner oranı değerlerinin taşıyıcı madde oranı ve yağ yükleme oranının doğrusal ve kuadratik terimleri ile yağ yükleme oranından önemli ölçüde etkilenmiştir. Ashokkumaretal (2018), çalışmasında mikrokapsüllerin

Hausner oranı değerlerinin farklı hava giriş sıcaklıklarına bağlı olarak değişim gösterdiğini bildirmiştir. Aksoylu-Özbek (2018), çalışmasında mikrokapsüllerin Hausner oranının hiçbir faktörden etkilenmediğini bildirmiştir.

Perilla yağı mikrokapsüllerinin Hausner oranı üzerine yağ yükleme oranı, homojenizasyon süresi ve taşıyıcı madde oranının etkisi Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Mikrokapsüllerin Hausner oranı belli bir taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon düzeyine kadar azalış gösterirken o noktadan sonra artış göstermektedir. Yağ yükleme oranının artışı ise Hausner oranını arttırdığı da tespit edilmiştir.



Şekil 4. 7. Perilla yağı mikrokapsüllerinin Hausner oranı üzerine yağ yükleme oranı, taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi

#### 4.6. Camsı Geçiş Sıcaklığı, Islanabilirlik ve Partikül büyüklüğü

Farklı taşıyıcı madde oranı, yağ yükleme oranı ve homojenizasyon sürelerine göre üretilmiş perilla yağı mikrokapsüllerinin camsı geçiş sıcaklık değerleri 47.75 ile 53.66°C arasında değiştiği gözlenmiştir (Çizelge 4.7).

**Çizelge 4.7:** Perilla yağı mikrokapsüllerinin camsı geçiş sıcaklığı, ıslanabilirlik ve partikül büyüklüğünün işlem koşullarına bağlı değişimi

| Deneme | Camsı geçiş sıcaklığı (°C) | Islanabilirlik (s) | Hacim ağırlıklı ortalama (µm) | Yüzey ağırlıklı ortalama (µm) |
|--------|----------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1      | 49.90±1.73                 | >1800              | 414.93±26.22                  | 32.41±14.37                   |
| 2      | 49.14±5.32                 | >1800              | 390.60±20.93                  | 114.57±17.28                  |
| 3      | 49.89±6.41                 | 82±0               | 390.60±20.93                  | 114.57±17.28                  |
| 4      | 52.33±0.23                 | >1800              | 465.65±90.06                  | 110.54±20.54                  |
| 5      | 49.67±4.00                 | 309±72.12          | 382.87±71.03                  | 75.46±6.82                    |
| 6      | 49.22±4.17                 | >1800              | 445.36±40.18                  | 99.36±17.97                   |
| 7      | 47.75±0.26                 | >1800              | 456.66±39.39                  | 94.53±11.50                   |
| 8      | 48.81±5.95                 | 160±56.57          | 343.16±63.37                  | 21.17±2.24                    |
| 9      | 47.78±4.60                 | 135±91.92          | 561.04±120.67                 | 24.26±2.06                    |
| 10     | 49.02±2.74                 | 804.5±67.18        | 374.88±97.18                  | 21.34±3.36                    |
| 11     | 51.05±1.74                 | 81±12.73           | 224.81±37.98                  | 14.71±1.83                    |
| 12     | 52.97±0.00                 | 342±0              | 357.60±32.42                  | 69.33±8.01                    |
| 13     | 50.56±1.73                 | >1800              | 396.46±47.08                  | 112.62±7.28                   |
| 14     | 53.66±1.84                 | 43±0               | 290.63±150.24                 | 51.91±13.10                   |
| 15     | 53.26±0.15                 | 75.5±20.51         | 528.88±113.62                 | 121.12±22.40                  |

Varyans analiz sonuçlarına göre mikrokapsüllerin camsı geçiş sıcaklık değerleri taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon sürelerinin doğrusal ve kuadratik terimleri ile yağ yükleme oranından önemli düzeyde etkilenmiştir.

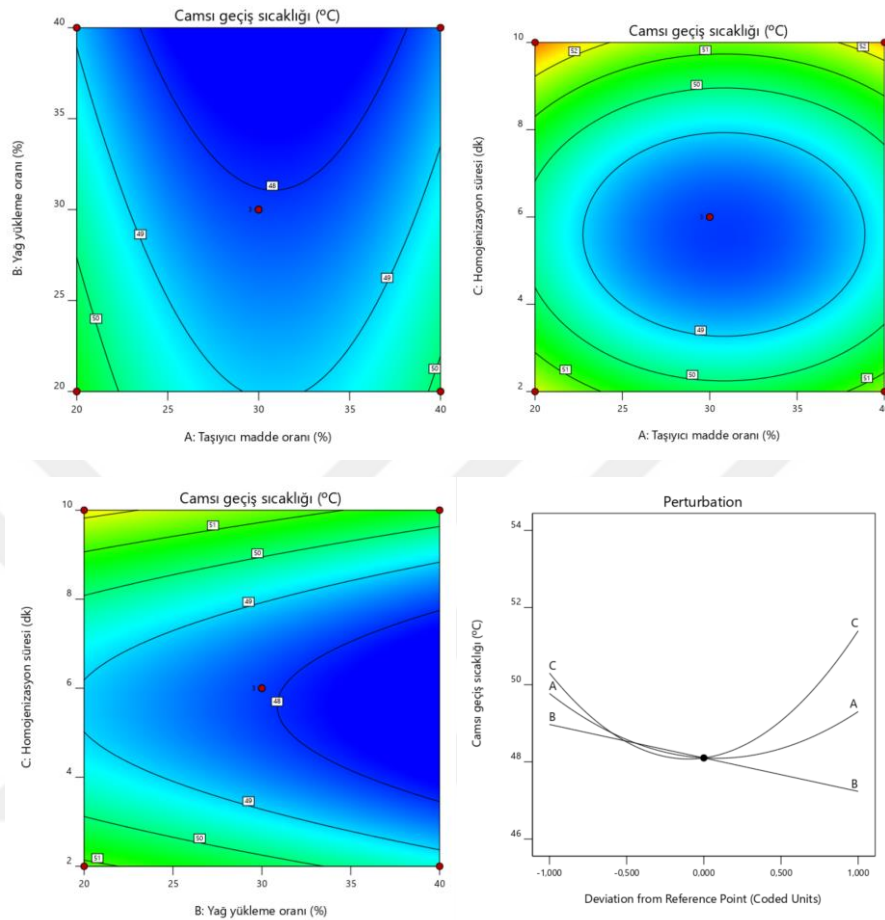
**Çizelge 4.8:** Perilla yağı mikrokapsüllerinin camsı geçiş sıcaklığı, ıslanabilirlik ve partikül büyüklüğü ait varyans analizi

|                            | Camsı geçiş sıcaklığı | Islanabilirlik | Hacim ağırlıklı ortalama | Yüzey ağırlıklı ortalama |
|----------------------------|-----------------------|----------------|--------------------------|--------------------------|
| Model                      | 48,10**               | 1566**         | 401.6*                   | 71.86**                  |
| A – Taşıyıcı madde oranı   | -0.23                 | 150            | -53.9*                   | Öd                       |
| B – Yağ yükleme oranı      | -0.87*                | Öd             | Öd                       | -36.25**                 |
| C – Homojenizasyon süresi  | 0.55                  | Öd             | 64.0*                    | Öd                       |
| A <sup>2</sup>             | 1.44*                 | 1332**         | Öd                       | Öd                       |
| B <sup>2</sup>             | Öd                    | Öd             | Öd                       | Öd                       |
| C <sup>2</sup>             | 2.75**                | Öd             | Öd                       | Öd                       |
| R <sup>2</sup>             | 0.82                  | 0.72           | 0.55                     | 0.53                     |
| Düzeltilmiş R <sup>2</sup> | 0.72                  | 0.68           | 0.48                     | 0.50                     |
| Uyum eksikliği             | Öd                    | Öd             | Öd                       | Öd                       |

\*İstatistiksel olarak önemlidir (P<0.05) (\*), (P<0.01) (\*\*). öd: önemli değil

Perilla yağı mikrokapsüllerinin camsı geçiş sıcaklık değerleri üzerine taşıyıcı madde oranı, yağ yükleme oranı ve homojenizasyon süresinin etkileri Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Mikrokapsüllerin camsı geçiş sıcaklık değerlerinde belli bir taşıyıcı madde oranına kadar azalış görülmekte bu değerden sonra ise artış görülmektedir. Yağ yükleme oranını azalışı ise camsı geçiş sıcaklığı üzerinde azalışa neden olmaktadır.

Homojenizasyon süresinin belli bir noktaya kadar artışı camsı geçiş sıcaklığı üzerinde azaltıcı etki gösterirken bu değerin üzerinde artış göstermektedir.



Şekil 4. 8. Perilla yağı mikrokapsüllerinin camsı geçiş sıcaklığı üzerine yağ yükleme oranı, taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi

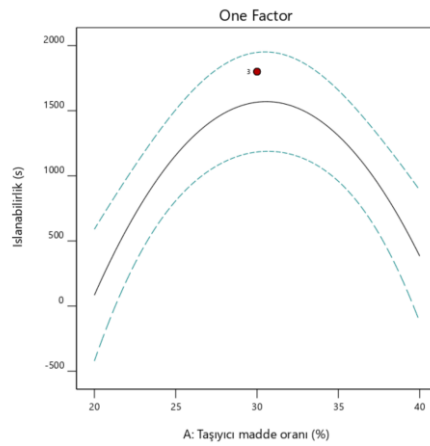
#### 4.7. İslanabilirlik

İslanabilirlik; kısaca toz ürünün su içerisinde batma kapasitesi olarak tanımlanmaktadır (Leclercq ve ark., 2009). Farklı taşıyıcı madde oranı, yağ yükleme oranı ve farklı homojenizasyon sürelerine göre üretilmiş perilla yağı mikrokapsüllerinin ıslanabilirlik değerleri 43 ile >1800 s değerleri aralığında belirlenmiştir (Çizelge 4.7). Bae ve Lee (2008), yaptıkları çalışmada mikrokapsüllerin ıslanabilirlik değerlerini 7.06 ile 18.05 dk değer aralığında ölçmüştür. Aksoylu-Özbek (2018), kabak çekirdek yağı mikrokapsülleri üzerine yaptığı çalışmasında mikrokapsüllerin ıslanabilirlik değerlerinin 134.25-269.75 s arasında değiştiğini bildirmiştir. Ogrodowska ve ark. (2017), püskürterek

kurutma ve dondurarak kurutma yöntemi ile ürettikleri kabak çekirdek yağı mikrokapsüllerinin ıslanabilirlik sürelerinin 180 s'den büyük olduğunu bildirmiştir.

Varyans analiz sonuçlarına göre mikrokapsüllerin ıslanabilirlik değerleri taşıyıcı madde oranının doğrusal ve kuadratik terimlerinden önemli düzeyde etkilenmiştir. Aksoylu-Özbek (2018), mikrokapsüllerin ıslanabilirlik sürelerinin duvar materyali bileşiminden önemli düzeyde etkilendiğini bildirmiştir. Bae ve Lee (2008), yaptığı çalışmada mikrokapsüllerin ıslanabilirlik sürelerinin taşıyıcı materyal oranından önemli düzeyde etkilendiğini bildirmiştir.

Perilla yağı mikrokapsüllerinin ıslanabilirlik değerleri üzerine taşıyıcı madde oranının etkisi şekil 4.9'da verilmiştir. Mikrokapsüllerin ıslanabilirlik değerleri belli bir taşıyıcı madde oranına kadar artış gösterirken bu değerden sonra azalmıştır. Bae ve Lee (2008), yaptığı çalışmada mikrokapsüllerin ıslanabilirlik sürelerinin maltodekstrin miktarının artmasına bağlı olarak ıslanabilirlik süresinin azaldığını bildirmiştir.



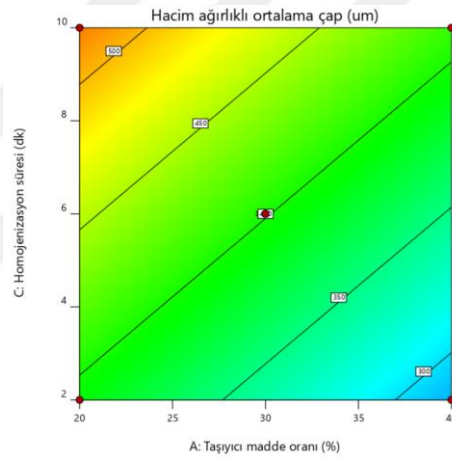
Şekil 4. 9. Perilla yağı mikrokapsüllerinin ıslanabilirliği üzerine taşıyıcı madde oranının etkisi

#### 4.8. Partikül Büyüklüğü

Farklı taşıyıcı madde oranı, yağ yükleme oranı ve homojenizasyon sürelerine göre üretilmiş perilla yağı mikrokapsüllerinin partikül boyutları Çizelge 4.7'de verilmiştir. Bu verilere göre mikrokapsüllerin hacim ağırlıklı ortalama değerleri 290.63 ile 588.02  $\mu\text{m}$  değer aralığında, yüzey ağırlıklı ortalama değerleri 14.71 ile 121.12 değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir. Tontul (2011), çalışmasında mikrokapsüllerin hacim ağırlıklı ortalama değerlerinin 5.41 ile 6.09  $\mu\text{m}$  değerleri arasında, yüzey ağırlıklı ortalama değerlerinin ise 3.90 ile 4.91  $\mu\text{m}$  değerleri arasında değiştiğini bildirmiştir.

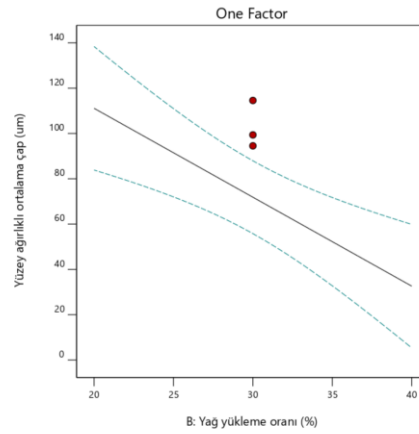
Çizelge 4.7’de Box-Behnken deneme desenine göre elde edilmiş varyans analiz tablosu görülmektedir. Perilla yağı mikrokapsüllerinin hacim ağırlıklı ortalama değerlerinin taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon süresinden, yüzey ağırlıklı ortalama değerlerinin ise yağ yükleme oranından önemli derece etkilendiği görülmektedir. Tontul (2011), parçacık büyüklüğü değerlerinin homojenizasyon yönteminden önemli düzeyde etkilendiğini bildirmiştir.

Perilla yağı mikrokapsüllerinin hacim ağırlıklı ortalaması üzerine taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi Şekil 4.10’da gösterilmektedir. Mikrokapsüllerin hacim ağırlıklı ortalaması taşıyıcı madde oranının artışına bağlı olarak azalış göstermektedir. Homojenizasyon süresinin artışı ise hacim ağırlıklı ortalama çapını artırıcı etki göstermektedir.



Şekil 4. 10. Perilla yağı mikrokapsüllerinin hacim ağırlıklı ortalama çapı üzerine taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi

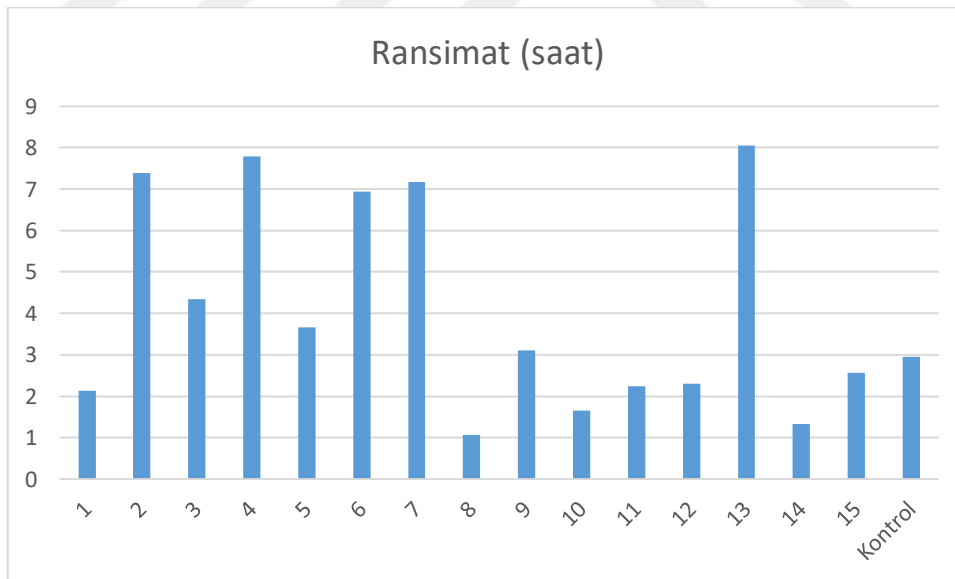
Perilla yağı mikrokapsüllerinin yüzey ağırlıklı ortalaması üzerine yağ yükleme oranının etkisi Şekil 4.11’de gösterilmektedir. Mikrokapsüllerin yüzey ağırlıklı ortalaması üzerinde yağ yükleme oranının artışına bağlı olarak azalış görülmektedir.



Şekil 4.11. Perilla yağı mikrokapsüllerinin yüzey ağırlıklı ortalama çapı üzerine yağ yükleme oranının etkisi

#### 4.9. Ransimat değeri

Farklı taşıyıcı madde oranı, yağ yükleme oranı ve homojenizasyon süresine göre üretilmiş perilla yağı mikrokapsüllerinin ransimat değerleri Şekil 4.12'de gösterilmektedir. Mikrokapsüllerin ransimat değerleri 1.1-8.1 (s) arasında değiştiği görülmektedir.



Şekil 4.12. Perilla yağı mikrokapsüllerinin ransimat değerleri

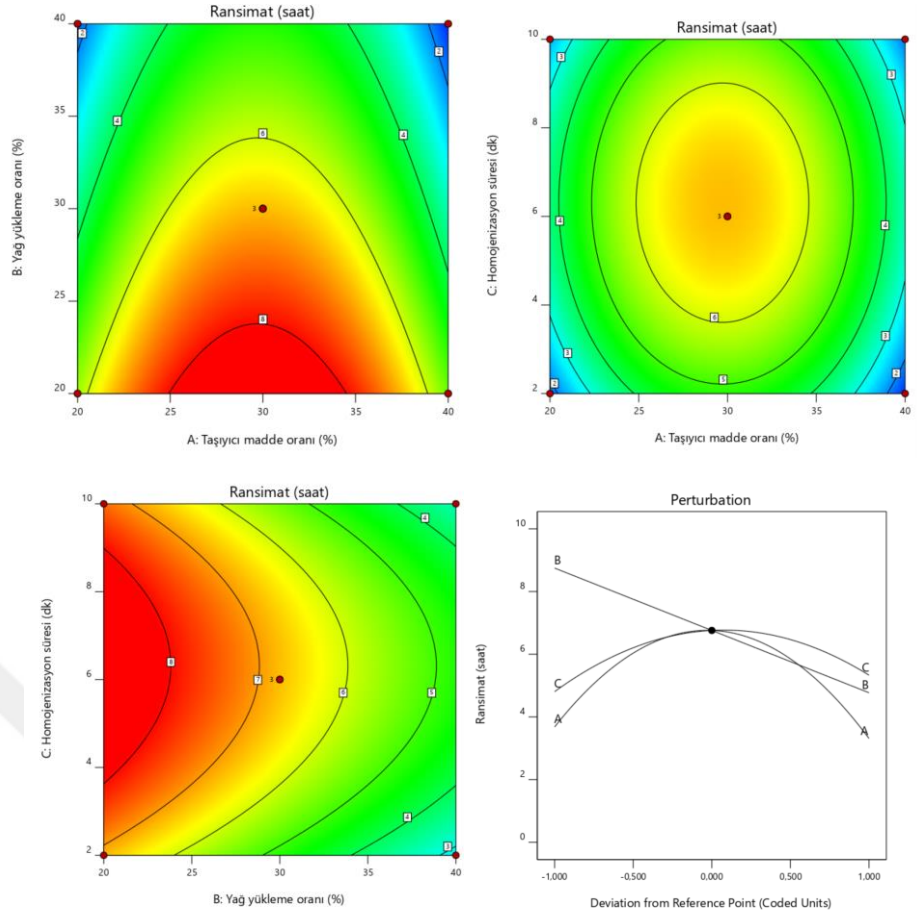
Perilla yağı mikrokapsüllerinin ransimat değeri yağ yükleme oranının doğrusal terimi ile, taşıyıcı madde oranı ve homojenizasyon süresinin kuadratik terimlerinden istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilenmiştir (Çizelge 4.9).

**Çizelge 4. 9.** Perilla yağı mikrokapsüllerinin ransimat değerlerinin varyans analizi

|                            | Ransimat değeri |
|----------------------------|-----------------|
| Model                      | 6.76            |
| A – Taşıyıcı madde oranı   | -0.18           |
| B – Yağ yükleme oranı      | -1.99**         |
| C – Homojenizasyon süresi  | 0.26            |
| A <sup>2</sup>             | -3.26**         |
| B <sup>2</sup>             | Öd              |
| C <sup>2</sup>             | -1.69*          |
| R <sup>2</sup>             | 0.85            |
| Düzeltilmiş R <sup>2</sup> | 0.76            |
| Uyum eksikliği             | Öd              |

\*İstatistiksel olarak önemlidir (P<0.05) (\*), (P<0.01) (\*\*). öd: önemli değil

Perilla yağı mikrokapsüllerinin ransimat değerleri üzerine taşıyıcı madde oranı, yağ yükleme oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi Şekil 4.13'te gösterilmektedir. Mikrokapsüllerin ransimat değerleri üzerine taşıyıcı madde oranı belli bir değere kadar artış gösterirken bu değer üzerinde azalış göstermektedir. Yağ yükleme oranının artışı ise mikrokapsüllerin ransimat değerleri üzerinde azaltıcı etki göstermiştir. Mikrokapsüllerin ransimat değerleri homojenizasyon süresinin belli bir değere kadar artış gösterirken bu değerden sonra azalış göstermektedir.



Şekil 4. 13. Perilla yağı mikrokapsüllerinin ransimat değerleri üzerine taşıyıcı madde oranı, yağ yüklem oranı ve homojenizasyon süresinin etkisi

#### 4.10. Optimizasyon ve Doğrulama

Kırınım pencereleli kurutma ile perilla yağının mikrokapsülasyon koşullarının optimizasyonu modellenen ve son ürün özellikleri üzerine önemli etkisi olan parametreler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon hesaplamalarında mikrokapsülasyon etkinliği ve ransimat değerini maksimize eden, porozite, Carr indeksi, Hausner oranı ve ıslanabilirlik değerini ise minimize eden koşullar hedeflenmiştir. Bu hedeflere göre çekicilik (desirability) fonksiyonuna göre yapılan hesaplamalar sonucunda mikrokapsülasyon işleminin optimum koşulları %23.3 taşıyıcı madde oranı, %20 yağ yüklem oranı ve 7.2 dk homojenizasyon süresi olarak belirlenmiştir.

Bu koşullar kullanılarak 3 tekerrürlü olarak doğrulama üretimleri gerçekleştirilmiş ve bu örneklerde analizler yapılmıştır. Optimizasyon hesaplaması

sonucu elde edilen teorik değerler ile analizler sonucu elde edilen deneysel veriler izelge 4.10'da verilmiştir.

Optimizasyon hesabında kullanılan porozite ve ıslanabilirlik değerleri dışında tüm verilerde teorik ve deneysel veriler arasında yüksek uyum bulunmuştur. Islanabilirlik ve porozite değerlerinde ise bazı farklılıklar gözlenmiştir. Bu farklılıkların çalışma süresince depolanan taşıyıcı madde ve yağlarda meydana gelen değişimlerden kaynaklanmış olabileceği değerlendirilmektedir.

**Çizelge 4.10.** Optimazasyon hesaplaması

| <b>Parametre</b>                 | <b>Hesaplanan</b> | <b>Gerçekleşen</b> | <b>% Hata</b> |
|----------------------------------|-------------------|--------------------|---------------|
| Nem miktarı (g/100 g)            | 2.600             | 1.500±0.060        | Modellenmedi  |
| Su aktivitesi                    | 0.169             | 0.177±0.006        | Modellenmedi  |
| Mikroenkapsülasyon etkinliği (%) | 43.800            | 47.700±1.300       | 8.8           |
| Yığın yoğunluğu (g/mL)           | 0.510             | 0.560±0.010        | Modellenmedi  |
| Sıkıştırılmış yoğunluk (g/mL)    | 0.670             | 0.700±0.010        | Modellenmedi  |
| Paracak yoğunluğu (g/mL)        | 0.950             | 1.460±0.000        | Modellenmedi  |
| Porozite (%)                     | 30.500            | 51.100±0.900       | 67.3          |
| Carr İndeksi                     | 19.600            | 20.000±1.300       | 2.0           |
| Hausner oranı                    | 1.220             | 1.250±0.020        | 2.3           |
| Camsı geçiş sıcaklığı (°C)       | 50.200            | 52.500±0.800       | Modellenmedi  |
| Islanabilirlik (s)               | 863.400           | 94.800±14.600      | 89.0          |
| L*                               | 81.700            | 83.100±1.300       | Modellenmedi  |
| a*                               | 0.300             | -3.000±0.900       | Modellenmedi  |
| b*                               | 21.700            | 32.200±1.600       | Modellenmedi  |
| Ransimat değeri (saat)           | 7.300             | 6.700±0.200        | 8.1           |
| Hacim ağırlıklı ortalama (µm)    | 449.900           | 353.700±34.400     | Modellenmedi  |
| Yüzey ağırlıklı ortalama (µm)    | 127.100           | 123.500±13.400     | Modellenmedi  |

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuç

Mevcut tez çalışmasında gıda maddelerinin kurutulmasında diğer kurutma sistemlerine kıyasla birtakım avantajları olan kırınım pencereli kurutma yöntemi kullanılarak ile farklı taşıyıcı materyal oranı, yağ yükleme oranı ve homojenizasyon süreleri kullanılarak perilla yağının mikroenkapsülasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapılan literatür taramalarına göre daha önce bu konuda herhangi bir çalışma yapılmadığı görülmektedir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular şu şekildedir;

Yapılan çalışmada homojenizasyon süresinin mikrokapsüllerin özellikleri üzerine etkileri incelendiğinde homojenizasyon süresinin artışına bağlı olarak yığın yoğunluk değerleri, partikül büyüklüğü, akış özellikleri, su aktivitesi, camsı geçiş sıcaklığı,  $L^*$  ve  $a^*$  değeri üzerine artırıcı etki gösterdiği belirlenmiştir. Toz ürünlerde su aktivitesi değerlerinin depolama sırasında gıdanın yapısında meydana getirebileceği bozulma reaksiyonlarından dolayı yüksek olması istenmez. Carr indeks ve Hausner oranları yükselmesi ise mikrokapsüllerin akıcılığının kötü olduğunu göstermektedir. Literatürdeki bulgulara bakıldığında zaman yığın yoğunluk değerlerinin toz ürünlerin depolama miktarını artırdığı için yüksek yığın yoğunluk değeri istenen bir durumdur.

Taşıyıcı materyal oranının mikrokapsüllerin özellikleri üzerine etkileri incelendiğinde; taşıyıcı materyal oranının artışı yoğunluk değerlerini artırıcı, su aktivitesi, mikroenkapsülasyon etkinliği, ıslanabilirlik, ransimat süreleri,  $L^*$  ve  $a^*$  değerlerini belirli bir oranda artırırken daha sonra azaltıcı etki göstermiştir. Akış özelliklerinde ve camsı geçiş sıcaklık değerlerinde ise taşıyıcı materyal oranının artışı önce azaltıcı etki gösterirken bir noktadan sonra artırıcı etki göstermeye başladığı görülmüştür.

Mikrokapsüllerin özellikleri üzerine yağ yükleme oranının etkisi incelendiğinde, yağ miktarının artması mikroenkapsülasyon etkinliği,  $L^*$  değeri, camsı geçiş sıcaklığı ve partikül boyutlarında azaltıcı yönde etki gösterirken, porozite ve akış özelliklerini artıcı yönde etki göstermiştir. Yağ miktarı arttıkça ransimat değerinin de kısaldığı görülmüştür. Ransimat değerinin kısılması yağların oksidatif bozulmaya daha hassas olduğunu göstermektedir. Bu nedenle ransimat değerinin az olması istenen bir durum değildir.

## 5.2. Öneriler

Yenilikçi kurutma tekniklerinden olan kırımım pencereli kurutma sistemi yüksek ürün verimi sağlaması, üründe bulunan faydalı bileşenlerin yapıda daha fazla tutulması ve daha kısa sürede kurutma imkânı sağlaması nedeniyle diğer kurutma sistemlerine kıyasla bu sistemin en büyük avantajları arasındadır. Büyük avantajlara sahip olmasından dolayı bu kurutma sistemi perilla yağının mikroenkapsülasyonunda tercih edilmiştir. Elde edilen perilla yağı mikrokapsülleri birçok açıdan daha iyi ve tercih edilebilir özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmada mikrokapsüllerin depolama koşullarında yapısında meydana gelen değişimler ve mikrobiyal yükü açısından herhangi bir analiz gerçekleştirilmemiştir. Bu konu üzerinde yapılacak olan çalışmalarda mikrokapsüllerin farklı koşullarda (karanlık, aydınlık, buzdolabı gibi ortamlarda) ve farklı sürelerde yapısında meydana gelen özellikleri, mikrobiyal yükü incelenebilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abonyi ve ark., 2002. Abonyi, B., Feng, H., Tang, J., Edwards, C., Chew, B., Mattinson, D., Fellman, J. (2002). Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window™ system. *J Food Sci*, 67(3): 1051-1056.
- Aksoylu-Özbek, 2010. Aksoylu-Özbek Z. Kabak Çekirdek Yağının Mikroenkapsülasyonun Optimizasyonu Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.
- Alay, 2010. Alay, S., 2010. Isıl Depolama Özellikli Mikrokapsüller İçeren Akıllı Tekstil Ürünlerinin Geliştirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 203s, Isparta
- Aloğlu ve Öner 2010. Peynir Altı Suyu Proteinlerinin Mikroenkapsülasyon Teknolojisinde Kaplama Materyali Olarak Kullanım Olanakları Akademik Gıda 8 (3) (2010) 38-42
- Aragon-Rojas ve ark., 2019. Aragón-Rojas S., Quintanilla-Carvajal M., Hernández-Sánchez H., Hernández-Álvarez A., Moreno F., Encapsulation of *Lactobacillus fermentum* K73 by Refractance Window drying
- Bae ve Lee., 2008. Bae E.K., Lee S.J. Microencapsulation Of Avocado Oil By Spray Drying Using Whey Protein And Maltodekstrin (2008).
- Baeghbali ve ark., 2016. Baeghbali, V., Niakousari, M., Farahnaky, A. (2016). Refractance Window drying of pomegranate juice: Quality retention and energy efficiency. *LWT-Food Sci Tech*, 66: 34-40.
- Baik ve ark., 2004. Baik, M.Y., Suhend ro, E.L., Nawar, W.W., McClements, D.J., Decker, E.A. and Chinachoti, P., 2004, Effects of antioxidant and humidity on the oxidative stability of microencapsulated fish oil, *JAOCs*, 81:355-360 pp
- Bansode ve ark., 2010. Bansode, S., Banarjee, S., Gaikwad, D., Jadhav, S., Thorat, R., 2010. Microencapsulation: A Review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 1(2), 38-43
- Bosnalı, Özdehan-Ocak, 2018. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 25(7),846-853,2019 Gıda sanayiinde kullanılan uçucu yağların mikroenkapsülasyon uygulamaları
- Calvo ve ark., 2010. Calvo P., Hernandez T., Lozano M., Gamaz-Gonzalez D., Microencapsulation Of Extra Olive Oil By Spray Drying Influence Of Wall Material And Olive Quality (2010).
- Caparino ve ark., 2012. Caparino, O.A., Tang, J., Nindo, C.I., Sablani, S.S., Powers, J.R., Fellman, J.K. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. *Journal of Food Engineering* 2012, 111(1), 135-148.

- Carvalho ve ark., 2016. Carvalho, I.T., Estevinho, B.N. and Santos, L. 2016. Application of microencapsulated essential oils in cosmetic and personal healthcare products – a review. *International Journal of Cosmetic Science*, 38, 109–119
- Castoldi ve ark., 2014. Castoldi M, Zotarelli MF, Durigon A, et al. Production of tomato powder by refractance window drying. *Dry Technol.* 2015;33(12):1463–1473.
- Çevik, 2017. Çevik K. Palm Yağı ve Fraksiyonlarının Püskürtmeli Kurutucu İle Mikroenkapsülasyonu Proje No: FDA-2017-7465
- Çimen, 2007. Çimen, E., 2007. Mikroapsülleme Yöntemiyle Dokuma Kumaşlara Yeni Özellikler Katma Olanakları. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 62s, İstanbul
- Clarke, 2004. Clarke, P.T. Refractance Window—Down Under; Proceedings of the 14th International Drying Symposium, IDS 2004; Sao Paulo, Brazil, 2004; 813–820.
- Desorby ve ark., 1997. Desorby, S. A., Netto, F. M. and Labuza, T. P., 1997, Comparison of spraydrying, drum-drying and freeze-drying for beta carotene encapsulation and preservation, *Journal of Food Science*, 62(6):1159–1162 pp
- Dordevic ve ark., 2015. Dordevic, V., Balanc, B., Belcak-Cvitanovic, A., Levic, S., Trifkovic, K., Kalusevic, A., Kostic, I., Komes, D., Bugarski, B., Nedovic, V., (2015). Trends in encapsulation technologies for delivery of food bioactive compounds. *Food Eng Rev*, 7: 452–490.
- Erkan, 2008. Erkan, G., 2008. Bazı Antifungal Ajanların Mikroapsülasyonu ve Tekstil Materyallerine Aplikasyonu. Dokuz Eylül Üniversitesi, Doktora Tezi, 146s, İzmir
- Frankel 1998. Frankel E. N., 1998, Lipid Oxidation, Dundee, UK: The Oily Press
- Gharsallaoui ve ark., 2007. Gharsallaoui A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A. i Saurel, R., 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, vol. 40 (9), pp. 1107-1121.
- Ghosh, 2006. Ghosh, S.K. (2006). Functional coatings and microencapsulation: A general perspective.
- Hashimoto ve ark., 2021. Hashimoto, M.; Matsuzaki, K.; Hossain, S.; Ito, T.; Wakatsuki, H.; Tanabe, Y. *et al.* Perilla seed oil enhances cognitive function and mental health in healthy elderly Japanese individuals by enhancing the biological antioxidant potential. *Foods* 10, 1130 (2021).
- Heinzelmann ve Franke 1999; Heinzelmann, K., and Franke, K., 1999, Using freezing and drying techniques of emulsions for the microencapsulation of fish oil to improve oxidation stability, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 12(3–6), 223–229 pp.

- Hogan ve ark., 2003; Hogan S.A., O’Riordan E.D. and O’Sullivan M., 2003, Microencapsulation and oxidative stability of spray-dried fish oil emulsions, *Journal of Microencapsulation*, 20: 675-688 pp
- Karagönlü, 2011. Karagönlü, S., 2011. Medikal Tekstil Uygulamaları için Antibakteriyel Ajan İçeren Mikrokapsüllerin Hazırlanması. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 116, İzmir.
- Keogh ve Kennedy, 1999. Keogh, M.K. and O’Kennedy, B., 1999, Milk fat microencapsulation using whey proteins, *Int. Dairy J.*, 9:657–663 pp.
- Keogh ve ark., 2001; Keogh, M.K., O’Kennedy, B.T., Kelly, J., Auty, M.A., Kelly, P.M., Fureby, A. and Haahr and A.M., 2001, Stability to oxidation of spray-dried fish oil powder microencapsulated using milk ingredients, *Journal of Food Science*, 66: 217-224 pp
- Koç ve ark., 2010. Koç, M., Sakin, M. ve Kaymak, F. (2010), Mikroenkapsülasyon ve Gıda Teknolojisinde Kullanımı. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(1), 77-86
- Köksal, 2016; Kompleks Koaservasyon Yöntemi ile E Vitamini İçeren Mikrokapsül Üretimi Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi
- Leclercq ve ark., 2009. Leclercq S., Harlender K.R., Reineccius G.A. 2009. Formation and Characterization Of Microencapsules By Complex Coacervation With Liquid or Solid Aroma Cores. *Flavour and Fragrance Journal* 24;17-24.
- Lee ve ark., 2000. Lee, S.J., Rosenberg, M. 2000. "Microencapsulation of theophylline in whey proteins: effects of core-to-wall ratio", *International Journal of Pharmaceutics* 205(1-2), 147-158.  
ortizjere
- Lee, 2015. Lee, Y. J., Sung, J. S., & Shin, H. S. (2015). Influence of roasting conditions on the chemical properties and antioxidant activity of perilla oils. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 58(3), 325–334.
- Li ve ark., 2015., Li, H. Z., Zhang, Z. J., Hou, T. Y., Li, X. J., & Chen, T. (2015). Optimization of ultrasoundassisted hexane extraction of perilla oil using response surface methodology. *Industrial Crops and Products*, 76, 18–24.
- Lin ve ark., 1995 Lin, C.C., Lin, S.Y. and Hwang L.S., 1995, Microencapsulation of squid oil with hydrophilic macromolecules for oxidative and thermal stabilization, *Journal of Food Science*, 60: 36-39 pp
- Liu ve ark., 2001. Liu X-D, Atarashi T, Furuta T, Yoshii H, Aishima S, Ohkawara M, Linko P. 2001. Microencapsulation of emulsified hydrophobic flavors by spray drying. *Dry Technol* 19:1361–74.

- Longvah ve Deosthale, 1991. Longvah T., Deosthale Y.G. Chemical And Nutritional Studies on Hanshi (*Perilla frutescens*), a Traditional Oilseed From Northeast India (1991).
- Madene ve ark., 2006. Madene, A., Jacquot, M., Scher, J. and Desobry, S. 2006. Flavour encapsulation and controlled release – a review. *Int. J. Food Sci. Tech.* (41), 1-21.
- Moses ve ark., 2014. Moses, J.A., Norton, T., Alagusundaram, K., Tiwari, B.K., 2014. Novel drying techniques for the food industry. *Food Eng. Rev.* 6 (3), 43e55.
- Nindo ve Tang 2007. Nindo, C.I. and Tang, J. (2007). Refractance Window Dehydration Technology: A Novel Contact Drying Method, *Drying Technology*, 25, pp 37–48.
- Ogrodowska ve ark., 2017. Ogrodowska, D., Tańska, M., Brandt, W. The Influence of Drying Process Conditions on the Physical Properties, Bioactive Compounds and Stability of Encapsulated Pumpkin Seed Oil. *Food and Bioprocess Technology*. 2017, 10(7), 1265–1280.
- Onogi ve ark., 1996. Onogi N., Okuno M., Komaki C., Moriwaki H., Kawamori T., Tanaka T., Mori H., and Muto Y. Suppressing effect of perilla oil on azoxymethane-induced foci of colonic aberrant crypts in rats *Carcinogenesis* vol.17 no.6 pp. 1291-1296, 1996
- Ortiz-Jerez ve ark., 2015. Ortiz-Jerez M., Gulati T., Datta A., Martinez C. Quantitative Understanding of Refractance Window™ Drying
- Özdemir, 2019. Özdemir Necla. Fesleğen (*Ocimum Basilicum L.*) Uçucu Yağının Püskürterek Kurutma Tekniği İle Mikroenkapsülasyonu ve Model Üründe Uygulanması Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı Doktora Tezi.
- Özen M. 2014. Nar Çekirdek Yağının Bazı Hidrokolloidler Püskürterek Kurutmaya Mikroenkapsülasyonu. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Priol ve ark., 2019. L. Le Priol, A. Dagmey, S. Morandat, K. Saleha, K. El Kirat, A. Nesterenko. Comparative study of plant protein extracts as wall materials for the improvement of the oxidative stability of sunflower oil by microencapsulation. *Food Hydrocolloids* 95(2019) 105-115.
- Raghavi ve ark., 2018. Raghavi, L.M., Moses J.A., Anandharamkrishnan C. Refractance window drying of foods: A review *Journal of Food Engineering* 222 (2018) 267-275.
- Righetto ve Netto, 2005. Righetto A., Netto F. Effect of Encapsulating Materials on Water Sorption, Glass Transition and Stability of Juice From Immature Acerola
- Rosenberg M. ve Lee S.L., 1993, Microstructure of whey protein/anhydrous milkfat emulsions, *Food Structure*, 12:267–274 pp.

- Rosenberg ve Young, 1993. Rosenberg M. and Young S.L., 1993, Whey proteins as microencapsulating agents. Microencapsulation of anhydrous milk fat-structure evaluation, *Food Structure*, 12:31–41 pp.
- Rostami, 2018. Rostami H., Dehnad D., Jafari S., Tavakoli H. Evaluation Of Physical Rheological, Microbial and Organoleptic Properties Of Meat Powder Produced By Refractance Window Drying (2018).
- Sheu ve ark., 1998. Sheu, T. Y., Rosenberg, M., 1998. Microstructure of microcapsules consisting of whey proteins and carbohydrates. *Journal of Food Science* 63 (3): 491-494.
- Teledo, 1979. Teledo, R.T. 1979. Fundamentals of Food Process Engineering, AVI, Publishing Co., Wetsport, Conn.
- Thies, 1996. Thies, C. A Survey of Microencapsulation Processes. S. Benita, (Ed.), *Microencapsulation Methods and Industrial Applications* içinde (1-21). New York, NY, USA; Marcel Dekker Incorporated.
- Topuz ve ark., 2009. Topuz, A., Feng, H., Kushad, M. (2009). The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika. *LWT -Food Sci Tech*, 42(10): 1667-1673.
- Tontul, 2011. Keten Tohumu Yağının Püskürterek Kurutmaya Mikroenkapsülasyonu Üzerine Farklı Taşıyıcı Madde ve Emülsiyon Uygulamalarının Etkilerinin Araştırılması Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi 2011.
- Tontul ve ark., 2018. Tontul, İ., Ergin, F., Eroğlu, E., Küçükçetin, A., Topuz, A., Physical and microbiological properties of yoghurt powder produced by refractance window drying, *International Dairy Journal* (2018).
- Tontul ve ark., (2021). Tontul İ, Ergin F. Eroğlu E. Küçükçetin A. Topuz A. The impact of refractance window drying conditions on the physical and microbiological properties of kefir powder.
- Tonon ve ark., 2012. Tonon R., Pedro R., Grasso C., Hubirger M. Microencapsulation Of Flaxed Oil By Spray Drying: Effect Of Oil Load And Type Of Wall Material (2012).
- Torri ve ark., 2019. Torri, L.; Bondioli, P.; Folegatti, L.; Rovellini, P.; Piochi, M.; Morini, G. Development of Perilla seed oil and extra virgin olive oil blends for nutritional, oxidative stability and consumer acceptance improvements. *Food Chem.* 286, 584-591(2019)
- Turchiuli ve ark., 2014. Turchiuli C, Jimenez Munguia MT, Hernandez Sanchez M, Cortes Ferre H, Dumoulin E. 2014. Use of different supports for oil encapsulation in powder by spray drying. *Powder Technol* 255:103–8.

- Velasco, 2003. Velasco J, Dobarganes C, Marquez-Ruiz G. 2003. Variables affecting lipid oxidation in dried microencapsulated oils. *Grasas Aceites* 54:304–14.
- Yamamoto N, Saitoh M, Moriuchi A, Nomura M, Okuyama H (1987) Effect of dietary alpha-linolenate/linoleate balance on brain lipid compositions and learning ability of rats. *J Lipid Res* 28: 144–151.
- Yang ve ark., 2012. Yang, J. E., Choe, E., & Chung, L. (2012). A cross-cultural comparison of the sensory characteristics of Perilla oil by American, Chinese, and Korean panels. *Food Science and Biotechnology*, 21, 399–407.
- Yu ve ark., 1997. Yu, H. C., Kosuna, K., ve Haga, M. (1997). *Perilla: The Genus Perilla*. New York: Taylor & Francis.
- Quispe-Condori ve ark., 2011. Quispe-Condori S., Saldara M., Temelli F. Microencapsulation Of Flax Oil With Zein Using Spray and Freeze Drying. *Food Science and Technology* 44(2011) 1880-1887.
- Zhang, H.X.; Tian, Y.H.; Guan, J.; Xie, Q.M.; Zhao, Y.Q. The anti-tussive, anti-inflammatory effects and subchronic toxicological evaluation of perilla seed oil. *J. Sci. Food Agr.* 101, 1419-1427 2021.
- Zungur, 2013. Zungur A. Mikroenkapsülasyon İşleminin Ekstra Sızma Zeytinyağı tozunun Depolanması Sırasında Oksidatif Stabilité, Sorpsiyon ve Fiziksel Kalite Kriterleri Üzerine Etkisi Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (2013)