

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**YAKICILIK HİSSİ BASKILANMIŞ KAPSAİSİN MİKROKAPSÜLLERİNİN
ÜRETİMİ VE ÜRÜN STABİLİTESİNİN BELİRLENMESİ**

Zehra GÜNEL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

OCAK 2019

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**YAKICILIK HİSSİ BASKILANMIŞ KAPSAİSİN MİKROKAPSÜLLERİNİN
ÜRETİMİ VE ÜRÜN STABİLİTESİNİN BELİRLENMESİ**

Zehra GÜNEL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

OCAK 2019

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAKICILIK HİSSİ BASKILANMIŞ KAPSAİSİN MİKROKAPSÜLLERİNİN
ÜRETİMİ VE ÜRÜN STABİLİTESİNİN BELİRLENMESİ

Zehra GÜNEL
GIDA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez TÜBİTAK Bilimsel ve Teknolojik Araştırmaları Destekleme Programı
(1001) tarafından 116O499 nolu proje ile desteklenmiştir.

OCAK 2019

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAKICILIK HİSSİ BASKILANMIŞ KAPSAİSİN MİKROKAPSÜLLERİNİN
ÜRETİMİ VE ÜRÜN STABİLİTESİNİN BELİRLENMESİ

Zehra GÜNEL
GIDA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez 22/01/2019 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ayhan TOPUZ (Danışman)

Prof. Dr. Ahmet KÜÇÜKÇETİN

Prof. Dr. Figen ERTEKİN

Prof. Dr. Feramuz ÖZDEMİR

Doç. Dr. Erkan KARACABEY

ÖZET

YAKICILIK HISSİ BASKILANMIŞ KAPSAİSİN MİKROKAPSÜLLERİNİN ÜRETİMİ VE ÜRÜN STABİLİTESİNİN BELİRLENMESİ

Zehra GÜNEL

Doktora Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

İkinci Danışman: Doç. Dr. Hilal ŞAHİN NADEEM (Adnan Menderes
Üniversitesi/ Aydın)

Ocak 2019; 183 sayfa

Kapsaisin (8-metil-N-vanilil-6-nonenamid) acı kırmızıbiberin etken maddesi olup, bu bileşik yüksek biyoyararlılığa sahiptir. Kapsaisinin insan sağlığı üzerine pek çok olumlu etkisi olduğu bildirilmiştir. Ancak, kapsaisinin olumlu etkilerine rağmen, aşırı tüketime veya tüketici hassasiyetine göre değişen olumsuz etkileri de rapor edilmiştir. Özellikle ağızda başlayan yakıcılık hissinin sindirim sisteminin farklı kısımlarında tahriş oluşturması gibi olumsuzlukları da bilinmektedir.

Bu çalışmada, insan sağlığına pek çok faydası bulunan kapsaisinin uygun bir enkapsülasyon yöntemiyle kapsüllenmesi ile ağızda ve midede yakıcılık hissinin minimum düzeye düşüren ve tüketim esnasında sindirim sisteminde tahrişlere neden olmayan bir ürün elde edilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında yağ bazlı bir mikroenkapsülasyon tekniği olan püskürterek soğutma yöntemi kullanılmış olup, kapsaisinin bu yöntem kapsamında erimiş lipit bir taşıyıcı (palm yağı) yardımıyla taşınması, atomizerden geçirilerek mikroenkapsüle edildikten sonra düşük sıcaklıkta dondurularak toz haline gelmesi sağlanmıştır. Elde edilen tozlarda bazı stabilite ve toz analizlerinin yanı sıra statik gastrointestinal model sistem kurularak ağız, mide ve bağırsakta salınım analizleri yürütülmüştür.

Merkezi Tümlşik Tasarım (CCRD) deneme desenine göre püskürterek soğutma yöntemi ile yakıcılık hissi baskılanmış kapsaisin mikrokapsüllerinin üretiminde, homojenizasyon hızı, ayçiçek yağının palm yağı içerisindeki oranı, hava giriş sıcaklığı ve emülsiyondaki kapsaisin oranının etkileri araştırılmıştır. Optimizasyon çalışmasında, bu bağımsız değişkenlerin kapsaisin mikrokapsüllerinin statik gastrointestinal model sistem boyunca ağızda ve midede salınımı ile mikroenkapsülasyon etkinliği değerleri üzerine ne ölçüde etki ettiği belirlenmiştir. Kapsaisin mikrokapsüllerinin ağızda ve midede salınım miktarlarını minimize ve mikroenkapsülasyon etkinliğini maksimize eden optimum üretim koşulları, Design Expert paket programı kullanılarak belirlenmiş olup, homojenizasyon hızı 14550 d/dk, ayçiçek yağının palm yağı içerisindeki oranı %1, hava giriş sıcaklığı 12.93 °C ve emülsiyondaki kapsaisin oranı %0.27 olarak hesaplanmıştır. Optimizasyon çalışmasında yanıt olarak kullanılmayan ancak kapsaisin mikrokapsüllerinin kalite özellikleri açısından oldukça önemli olan nem, su aktivitesi, yağın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk, partikül yoğunluğu, akabilirlik, partikül

morfolojisi (SEM), partikül boyut dağılımı (LLD), toplam kapsaisin miktarı, serbest kapsaisin miktarı ve Scoville Yakıcılık İndeksi değerleri de belirlenmiştir.

Kapsaisin mikrokapsüllerine uygulanan analizlerin yanı sıra, kapsaisin mikrokapsülü üretmek amacıyla hazırlanan tüm emülsiyonlara santrifüj stabilitesi, kinetik stabilite, emülsiyon yoğunluğu ve emülsiyon viskozitesi analizleri uygulanmıştır.

CCRD deneme desenine göre belirlenen optimum koşullarda elde edilen kapsaisin mikrokapsülleri alüminyum kaplı polietilen ambalaj materyali içerisinde 4 °C’de ve vakum paketlenme tekniği ile ambalajlanarak 25 °C’de 60 gün boyunca depolanmıştır. Depolama süresince 15 günlük periyotlarda kapsaisin mikrokapsüllerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir.

Kapsaisin mikrokapsüllerinin model gıdalar içerisindeki davranışlarını gözlemleyebilmek amacıyla, püskürterek soğutma optimum işlem koşullarında (14550 d/dk homojenizasyon hızı, %1 ayçiçek yağı oranı, 12.93 °C hava giriş sıcaklığı ve %0.27 kapsaisin oranı) kapsaisin mikrokapsülü üretimi yapılmış ve üretilen kapsaisin mikrokapsülleri model gıdalar içerisine katılanmıştır.

Kapsaisin mikrokapsülleri model gıdalar içerisinde denenerek tüketici beğenisi ve mikrokapsüle kapsaisin tozlarının gıda sistemlerinde katılanabilme olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla günlük tüketilen gıdalar olarak UHT süt, ayran ve salata sosu, ısıtılmış işlem görmüş şekerli gıda olarak sade kek, ısıtılmış işlem görmüş tuzlu gıda olarak ekmek ve yağlı emülsiyonu temsilen mayonez model gıda olarak kullanılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Gastrointestinal salınım, Kapsaisin, Mikrokapsülasyon, Püskürterek soğutma, Yakıcılık hissi

JÜRİ: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

Prof. Dr. Ahmet KÜÇÜKÇETİN

Prof. Dr. Figen ERTEKİN

Prof. Dr. Feramuz ÖZDEMİR

Doç. Dr. Erkan KARACABEY

ABSTRACT

PRODUCTION OF SUPPRESSED PUNGENT CAPSAICIN MICROCAPSULES AND DETERMINATION OF THE PRODUCT STABILITY

Zehra GÜNEL

Ph. D. Thesis in Food Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

**Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hilal ŞAHİN NADEEM (Adnan Menderes
University/ Aydın)**

January 2019; 183 pages

Capsaicin, (8-methyl-N-vanillyl-6-nonenamide), the active ingredient of the chili pepper, has high bioavailability. Many positive effects of capsaicin on human health have been mentioned. However, despite positive effects of capsaicin, negative effects changing based on overconsumption or consumer sensitivity have been reported.

In this study, it was aimed that to obtain a product encapsulated by a suitable encapsulation method, which can minimize the burning sensation in the mouth and stomach, which does not cause irritation during consumption. In the present study, an oil based microencapsulation technique called as spray cooling was used and within the scope of this method, transport of the capsaicin by means of a molten lipid carrier (palm oil), microencapsulation by atomizer and then freezing at low temperature were achieved. As well as some stability and powder analyses, mouth, stomach and intestine releases in static gastrointestinal model system of the obtained powders were carried out.

The effects of the homogenization rate, the ratio of sunflower seed oil in the palm oil, inlet temperature and the rate of capsaicin in the emulsion were investigated in production of suppressed pungent capsaicin microparticles by the spray cooling method according to the CCRD experimental design. In the optimization study, it was determined how these independent variables affected the oral and stomach release through static gastrointestinal model system and microencapsulation efficiency of the microcapsules. Optimal production conditions that maximize the microencapsulation efficiency and minimize the amounts of oral and stomach release of capsaicin have been determined using the Design-Expert software as 14550 rpm homogenization rate, 1% the rate of sunflower seed oil in the palm oil, 12.93 C° inlet temperature and 0.27% the rate of capsaicin in the emulsion. Moisture content, water activity, bulk density, tapped density, particle density, flowability, particle morphology (SEM), particle size distribution (LLD), total capsaicin amount, free capsaicin amount and Scoville heat unit not used as response in the optimization study, but very important in terms of the quality properties of capsaicin microcapsules, were also identified.

In addition to analyses applied to capsaicin microcapsules, centrifugal stability, kinetic stability, emulsion density and emulsion viscosity analyses were carried out to all emulsions prepared to produce capsaicin microcapsules.

Capsaicin microcapsules obtained at optimum conditions determined according to CCRD experimental design, were stored at 4 C° as packed in aluminum coated polyethylene packing material and stored at 25 C° as packed by vacuum packaging technique for 60 days. During storage the physical and chemical properties of the capsicum microcapsules were examined every 15 days.

In order to observe the behavior of capsaicin microcapsules in model food, capsaicin microcapsules was produced at optimum process conditions (14550 rpm homogenization rate, %1 sunflower oil ratio, 12.93 C° inlet temperature and %0.27 capsaicin ratio) and it was supplemented in model foods.

By testing capsaicin powders in model foods, the consumer liking and the possibility of being used as food additive in the different food systems were evaluated. For this purpose, milk, ayran and salad sauce as daily consumed foods, cake as heat processed sweetened food, bread as heat processed salted food and mayonnaise representing oil emulsion were selected as model foods.

KEYWORDS: Heat sensation, Capsaicin, Gastrointestinal release, Microencapsulation, Spray cooling

COMMITTEE: Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

Prof. Dr. Ahmet KÜÇÜKÇETİN

Prof. Dr. Figen ERTEKİN

Prof. Dr. Feramuz ÖZDEMİR

Assoc. Prof. Dr. Erkan KARACABEY

ÖNSÖZ

Acı kırmızıbiberin temel yakıcılık unsuru olan kapsaisinin insan sağlığı üzerine bilinen faydalarının yanı sıra acıya hassas olan kişiler tarafından tüketilememesi, bu kişilerin sindirim sistemlerinde meydana gelen tahriş ve yanmalardan dolayı oldukça faydalı bir bileşen olan kapsaisinden faydalanamamaları gibi sebeplerden dolayı, kapsaisinin tüketime uygun bir yöntemle kapsüllenmesi ve yakıcılığının baskılanması gerektiği fikri ile yola çıktığımız bu tez çalışmasının gerçekleşmesinde;

- Fikirleri ve deneyimleri ile bana daima yol gösteren, çalışmanın gerçekleşmesi, sonuçlandırılması ve sonuçların değerlendirilmesi aşamalarında desteğini esirgemeyen, tüm bunların haricinde değerlerine bağlı, etik ve iyi bir bilim insanı olmam konusunda gelişmeye yardım eden danışman hocam sayın Prof. Dr. Ayhan TOPUZ'a (Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi),
- Maddi ve manevi her konuda desteğini benden esirgemeyen, bilgisi, tecrübesi ve yapıcı fikirleri ile çalışmaya yön veren, çalışmanın başarı ile sonuçlanması için bana sürekli yardımcı olan ikinci danışman hocam sayın Doç. Dr. Hilal ŞAHİN NADEEM'e (Adnan Menderes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi),
- Tez çalışmasının üretim kısmında Adnan Menderes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirdiğim çalışmalar esnasında, tüm samimiyeti ve özverisiyle daima destekçim olan, tecrübeleri ve bilgi birikimiyle çalışmaya yön veren hocam sayın Doç. Dr. Mehmet KOÇ'a (Adnan Menderes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi),
- Laboratuvar çalışmalarım ve kapsaisin mikrokapsüllerinin üretimi aşamasında her konuda desteğini ve yardımını esirgemeyen, güler yüzüyle her daim yanımda olan arkadaşım Gıda Yüksek Mühendisi Emine VARHAN'a,
- Gerek laboratuvar çalışmalarım ve gerekse tez yazım aşamasında sonsuz bir özveriyle bana destek veren arkadaşım Akdeniz Üniversitesi Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı doktora öğrencisi Emrah EROĞLU'na,
- İstatistiksel analizler konusunda yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Dr. Öğr. Üyesi İsmail TONTUL (Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi) ve değerli eşi Dr. Öğr. Üyesi Sultan ARSLAN TONTUL'a (Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi),
- Çalışmamı maddi olarak destekleyen TÜBİTAK'a,
- Bu süreçte maddi ve manevi her konuda bana yardım eden, en zor anlarımda dahi sabırla, sevgiyle ve samimiyetle yanımda olan sevgili eşim İlker GÜNEL'e,
- Yıllardır aramızda kilometrelerce uzaklık olmasına rağmen, gerek maddi gerekse manevi desteklerini her daim hissettiğim, bu aşamaya gelmemde çok büyük fedakârlıkları olan annem Sevil KASIMOĞLU, babam Asalet KASIMOĞLU ve kardeşim Fatih Mehmet KASIMOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	5
2.1. Acı Kırmızıbiber.....	5
2.2. Kapsaisinoidler, Kapsaisin ve Kapsaisinin Genel Özellikleri	8
2.3. Kapsaisinin İnsan Sağlığı Üzerine Faydaları ve Toksik Etkileri.....	13
2.4. Mikroenkapsülasyon.....	17
2.4.1. Püskürterek soğutma teknolojisi	22
2.5. Gastrointestinal Sistem	25
2.6. Merkezi Tümlleşik Tasarım (Central Composite Rotatable Dizayn, CCRD).....	29
2.7. Optimizasyon.....	31
3. MATERYAL VE METOT.....	35
3.1. Kapsaisin Emülsiyonlarının Hazırlanması	35
3.2. Püskürterek Soğutma Yöntemi İle Kapsaisin Mikroenkapsülasyonu	36
3.3. Püskürterek Soğutma İşlem Değişkenlerinin Optimizasyonu	39
3.4. Emülsiyon Analizleri.....	40
3.4.1. Santrifüj stabilitesi	40
3.4.2. Kinetik stabilite	40
3.4.3. Emülsiyon yoğunluğu ve viskozitesi	40
3.5. Toz Ürün Analizleri.....	41
3.5.1. Nem oranı ve su aktivitesi.....	41
3.5.2. Yığın yoğunluğu	42
3.5.3. Sıkıştırılmış yoğunluk.....	42
3.5.4. Partikül yoğunluğu.....	42

3.5.5. Akabilirlik (Carr Index)	42
3.5.6. Partikül morfolojisi (SEM)	43
3.5.7. Partikül boyut dağılımı (LLD)	43
3.5.8. Toplam kapsaisin ve serbest kapsaisin miktarı	43
3.5.9. DSC ile termal erime davranışının belirlenmesi	44
3.5.10. Statik gastrointestinal model sistemde kapsaisin salınımı	44
3.5.11. Scoville yakıcılık indeksi	45
3.5.12. Ürün verimi ve mikroenkapsülasyon etkinliği	46
3.6. Depolama	46
3.6.1. Depolama analizleri	47
3.6.1.1. Peroksit analizi	48
3.7. Model Gıda Denemeleri	48
3.7.1. Model gıdaların hazırlanışı ve servis edilmesi	49
3.8. İstatistiksel Analizler	55
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	56
4.1. Kapsaisin İçeren Emülsiyonların Özellikleri	56
4.1.1. Emülsiyonların santrifüj stabiliteleri	56
4.1.2. Emülsiyonların kinetik stabiliteleri	58
4.1.3. Emülsiyonların yoğunlukları ve viskoziteleri	61
4.2. Püskürterek Soğutma Yöntemi İle Kapsaisin Mikrokapsülleri Üretimi İçin Optimum İşlem Koşullarının Belirlenmesi	64
4.2.1. Modelin oluşturulması	65
4.2.1.1. Ağızda salınım miktarının modelin yanıtı olarak incelenmesi	70
4.2.1.2. Midede salınım miktarının modelin yanıtı olarak incelenmesi	73
4.2.1.3. Mikroenkapsülasyon etkinliğinin modelin yanıtı olarak incelenmesi	75
4.2.2. Kapsaisin mikrokapsüllerinin özellikleri	78
4.2.2.1. Kapsaisin mikrokapsüllerinin nem oranları ve su aktivitesi değerleri	78
4.2.2.2. Kapsaisin mikrokapsüllerinin yığın yoğunluğu	80
4.2.2.3. Kapsaisin mikrokapsüllerinin sıkıştırılmış yoğunluğu	83
4.2.2.4. Kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül yoğunluğu	86
4.2.2.5. Kapsaisin mikrokapsüllerinin akabilirlik indeksi (Carr Index)	88

4.2.2.6.	Kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül morfolojisi (SEM) görüntüleri.....	90
4.2.2.7.	Kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül boyut dağılımı	90
4.2.2.8.	Kapsaisin mikrokapsüllerinin toplam ve serbest kapsaisin değerleri	94
4.2.2.9.	Kapsaisin mikrokapsüllerinin termal erime davranışları (DSC)	102
4.2.2.10.	Kapsaisin mikrokapsüllerinin gastrointestinal model sistem boyunca bağırsakta salınım değerleri	105
4.2.2.11.	Kapsaisin mikrokapsüllerinin Scoville yakıcılık indeksi değerleri ..	108
4.2.2.12.	Püskürterek soğutma işleminin ürün verimi	113
4.3.	Optimizasyon ve Sonuçlarının Deneysel Doğrulanması	115
4.3.1.	Optimum noktada üretilen kapsaisin mikrokapsüllerinin özellikleri.....	116
4.4.	Depolama.....	118
4.4.1.	Depolama örneklerinin fizikokimyasal özellikleri.....	118
4.5.	Model Gıda Denemeleri	134
5.	SONUÇLAR	143
6.	KAYNAKLAR.....	147
7.	EKLER	163
EK-1.	Her bir yanıt için oluşturulmuş olan varyans analizi tabloları.....	163
EK-2.	Pearson korelasyon analizi sonuçları.....	166
EK-3.	Kapsaisin mikrokapsüllerinin statik gastrointestinal model sistemde salınımları üzerine giriş sıcaklığının etkisini gösterir grafik	167
EK-4.	Kapsaisin mikrokapsüllerinin SEM görüntüleri	168
EK-5.	Model gıdalara panelistler tarafından verilen beğeni puanları.....	183

ÖZGEÇMİŞ

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Yakıcılık hissi baskılanmış kapsaisin mikrokapsüllerinin üretimi ve ürün stabilitesinin belirlenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

22/01/2019

Zehra GÜNEL

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

$\leq$	: Küçük veya eşit
$\geq$	: Büyük veya eşit
%	: Yüzde
ΔH	: Erime entalpisi
$^{\circ}C$	: Santigrat derece
γ	: Kayma hızı (s^{-1})
$+\alpha$	: En yüksek eksenel nokta
$-\alpha$	: En düşük eksenel nokta
μL	: Mikrolitre
μm	: Mikrometre
A	: Homojenizasyon hızı için kodlanmış değişken
a_w	: Su aktivitesi
B	: Ayçiçek yağı oranı için kodlanmış değişken
C	: Giriş sıcaklığı için kodlanmış değişken
cm	: Santimetre
D	: Kapsaisin oranı için kodlanmış değişken
$D_{[4,3]}$	: Hacim ağırlıklı ortalama yarıçap (μm)
d_{10}	: Partiküllerin %10'unun belirtilen değerden küçük olduğunu gösterir
d_{50}	: Partiküllerin %50'sinin belirtilen değerden küçük olduğunu gösterir
d_{90}	: Partiküllerin %90'ının belirtilen değerden küçük olduğunu gösterir
d/dk	: Devir/dakika
f_{af}	: Emülsiyondan ayrılan sıvı faz yüksekliği (cm)
f_{ev}	: Santrifüj sonrası emülsiyon hacmi (cm^3)
i_{ev}	: Santrifüj öncesi emülsiyon hacmi (cm^3)

g	: Gram
K	: Kıvam katsayısı (Pa.s)
kg	: Kilogram
k	: Kodlanmış faktör sayısı
L	: Litre
M	: Molar
m	: Metre
mEq	: Mili eşdeğer
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
n	: Akış davranış indeksi
n_{ax}	: Eksenel nokta sayısı
n_c	: Merkez nokta sayısı
n_i	: d_i çapına sahip partiküllerin sayısı
nm	: Nanometre
p	: Önemlilik derecesi
Pa	: Pascal
ρ_b	: Yığın yoğunluğu (kg/m^3)
ppm	: Milyonda birlik kısım
$Pre-R^2$	: Tahminlenmiş regresyon katsayısı
$PRESS$	: Tahminlenmiş kalıntı hata kareler toplamı
ρ_t	: Sıkıştırılmış yoğunluk (kg/m^3)
R^2	: Regresyon katsayısı
S	: Titrasyonda harcanan sodyum tiyosülfat miktarı (mL)
s	: Saniye
τ	: Kayma gerilimi (Pa)

T_m	: Erime sıcaklığı (°C)
U	: Ürün toplama kabından alınan toz partikül ağırlığı (g)
x	: Kodlanmış değişken
x_i	: Bağımsız değişkenin boyutsuz sayısı

Kısaltmalar

A.Ş.	: Anonim Şirketi
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
Abs	: Absorbans
ADP	: Adenozin difosfat
ALPE	: Alüminyum kaplı polietilen
ANOVA	: Varyans analizi
CCRD	: Merkezi Tümlşik Dizayn (Central Composite Rotatable Design)
CI	: Carr İndeks
DPPH	: 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetre
GC-MS	: Gaz kromatografisi-Kütle spektrometresi
GIS	: Gastrointestinal sistem
HPLC	: Yüksek basınç sıvı kromatografisi
KS	: Kinetik stabilite
LLD	: Lazer ışık kırınım
M.Ö.	: Milattan önce
M.S.	: Milattan sonra
Max	: Maksimum
ME	: Mikroenkapsülasyon etkinliği
Min	: Minimum

PD	: Peroksit değeri
PGPR	: Poligliserol polirisinolat
SYI	: Scoville yakıcılık indeksi
San	: Sanayi
SD	: Serbestlik derecesi
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
SH	: Standart hata
SK	: Serbest kapsaisin
SPSS	: Statistical Package for the Social Science
SS	: Santrifüj stabilitesi
TEM	: Transmisyon elektron mikroskobu
TK	: Toplam kapsaisin
Tic	: Ticaret
TRPV1	: Transient Reseptör Potansiyel Vanilloid 1
UV	: Ultraviyole
yy	: Yüzyıl

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Acı kırmızıbiber (<i>Capsicum annuum</i>)	5
Şekil 2.2. Biberin anatomisi.....	6
Şekil 2.3. Capsicum türlerinin kapsaisinoidlerinin moleküler yapıları.....	8
Şekil 2.4. Kapsaisinin kimyasal formülü	9
Şekil 2.5. Farklı kapsül tiplerinin morfolojisi	18
Şekil 2.6. Püskürterek soğutma sistemi	24
Şekil 2.7. Kimyasal sindirimin gastrointestinal sistemde gerçekleşebildiği sindirim organları	26
Şekil 2.8. İnsan gastrointestinal sistemi ve bu sistemde yer alan organlar	27
Şekil 2.9. Dinamik gastrointestinal model sistem.....	28
Şekil 2.10. 2 faktörlü merkezi tümleşik dizayn şematik gösterimi.....	30
Şekil 2.11. 3 faktörlü merkezi tümleşik dizayn şematik gösterimi.....	31
Şekil 2.12. Maksimum nokta için yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrisi	32
Şekil 2.13. Minimum nokta için yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrisi.....	33
Şekil 2.14.Eyer noktası için yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrisi	33
Şekil 3.1. Çalışma kapsamında kullanılan püskürterek soğutma cihazı	36
Şekil 3.2. Püskürterek soğutma cihazı ile kapsaisin mikroenkapsülasyonu aşamaları	37
Şekil 3.3. Püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilmiş kapsaisin tozu	39
Şekil 3.4. 25 °C’de depolanan ve 30. depolama gününde küflenmeye başlayan kapsaisin tozları.....	47
Şekil 3.5. Küflenme problemine çözüm olarak vakum ambalaj tekniği ile paketlenmiş, 25 °C’de depolanan kapsaisin tozları	47
Şekil 3.6. Portakal suyu içerisinde çözünmeyen kapsaisin tozları.....	49
Şekil 3.7. Model gıda denemelerinde kullanılan yoğunluk skalası	50
Şekil 3.8. Model gıda denemelerinde kullanılan beğeni skalası.....	51
Şekil 3.9. Model gıda denemelerinden ayran ve UHT süt örneklerine ait görüntüler	52
Şekil 3.10. Model gıda denemelerinden mayonez örneklerine ait görüntüler	52
Şekil 3.11. Model gıda denemelerini gerçekleştirmek amacıyla pişirilmiş olan kek örnekleri ve bu örneklerin panelistlere servis edilmesini gösteren görüntüler	53
Şekil 3.12.Model gıda denemelerini gerçekleştirmek amacıyla hazırlanmış olan salata sosu örnekleri ve bu örneklerin panelistlere servis edilmesini gösteren görüntüler.....	54

Şekil 3.13. Model gıda denemelerini gerçekleştirmek amacıyla hazırlanmış olan ekmek örnekleri ve bu örneklerin panelistlere servis edilmesini gösteren görüntüler.....	55
Şekil 4.1. Kapsaisin içeren emülsiyonların yoğunluk değerleri	61
Şekil 4.2. Her bir yanıt için normal % olasılık grafikleri (a) ağızda salınım, (b) midede salınım, (c) mikroenkapsülasyon etkinliği	68
Şekil 4.3. Her bir yanıt için kalıntıya karşı model tahminleri grafikleri (a) ağızda salınım, (b) midede salınım, (c) mikroenkapsülasyon etkinliği	69
Şekil 4.4. Her bir yanıt için deneme sırasına karşı kalıntı grafikleri (a) ağızda salınım, (b) midede salınım, (c) mikroenkapsülasyon etkinliği	70
Şekil 4.5. Ağızda salınım değerleri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler	71
Şekil 4.6. Kapsaisin mikrokapsülü ağızda salınım değeri için, işlem değişkenlerinin etkisini ve etkisizliğini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri.....	72
Şekil 4.7. Midede salınım değerleri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler	73
Şekil 4.8. Kapsaisin mikrokapsülü midede salınım değeri için, işlem değişkenlerinin etkisini ve etkisizliğini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri.....	74
Şekil 4.9. Mikroenkapsülasyon etkinliği değerleri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler.....	76
Şekil 4.10. Mikroenkapsülasyon etkinliği değeri için, işlem değişkenlerinin etkisini ve etkisizliğini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri	77
Şekil 4.11. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait partikül yoğunluğu analizinin ortalama sonuçları	86
Şekil 4.12. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait akabilirlik indeksi sonuçları.....	88
Şekil 4.13. Kapsaisin mikrokapsüllerinin $D_{[4,3]}$ değerleri için işlem değişkenlerinin etkisini ve etkisizliğini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri	93
Şekil 4.14. Kapsaisin mikrokapsüllerinin açıklık değeri için, işlem değişkenlerinin etkisini ve etkisizliğini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri	94
Şekil 4.15. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait örnek bir a) toplam kapsaisin kromatogramı; b) serbest kapsaisin kromatogramı; c) çözücü faz pikinin doğrulama kromatogramı	95
Şekil 4.16. Toplam kapsaisin değerleri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler	99
Şekil 4.17. Serbest kapsaisin değerleri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler	99
Şekil 4.18. Kapsaisin mikrokapsüllerinin toplam kapsaisin miktarı için, işlem değişkenlerinin etkisini ve etkisizliğini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri.....	100

Şekil 4.19. Kapsaisin mikrokapsüllerinin serbest kapsaisin miktarı için, işlem değişkenlerinin etkisini ve etkisizliğini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri.....	101
Şekil 4.20. Kapsaisin mikrokapsülleri (1. Deneme) ve palm yağına ait örnek bir DSC termogramı	104
Şekil 4.21. Scoville yakıcılık indeksi değerleri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler.....	111
Şekil 4.22. Kapsaisin mikrokapsüllerinin Scoville yakıcılık indeksi değerleri için, işlem değişkenlerinin etkisini gösteren yanıt yüzey grafiği	112
Şekil 4.23. Püskürterek soğutma işleminin kapsaisin mikroenkapsülasyonu için ürün verimi değerleri.....	113
Şekil 4.24. Optimum noktada üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x2500)	117
Şekil 4.25. Örneklerin depolamaya bağlı yığın yoğunluğu değerleri	121
Şekil 4.26. Örneklerin depolamaya bağlı sıkıştırılmış yoğunluk değerleri	121
Şekil 4.27. Örneklerin depolamaya bağlı partikül yoğunluğu değerleri.....	122
Şekil 4.28. Örneklerin depolamaya bağlı akabilirlik değerleri	122
Şekil 4.29. Örneklerin depolama süresine bağlı $D_{[4,3]}$ değerleri ortalama sonuçları	125
Şekil 4.30. Depolama örneklerinin açıklık değerleri ortalama sonuçları.....	125
Şekil 4.31. Örneklerin depolamaya bağlı Scoville yakıcılık indeksi sonuçları	131
Şekil 7.1. Kapsaisin mikrokapsüllerinin statik gastrointestinal model sistemde salınımları üzerine giriş sıcaklığının etkisi	167
Şekil 7.2. 1. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü.....	168
Şekil 7.3. 2. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü.....	168
Şekil 7.4. 3. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü.....	169
Şekil 7.5. 4. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü.....	169
Şekil 7.6. 5. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü.....	170
Şekil 7.7. 6. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü.....	170
Şekil 7.8. 7. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü.....	171
Şekil 7.9. 8. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü.....	171
Şekil 7.10. 9. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü.....	172
Şekil 7.11. 10. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü.....	172
Şekil 7.12. 11. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	173
Şekil 7.13. 12. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	173
Şekil 7.14. 13. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	174
Şekil 7.15. 14. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	174

Şekil 7.16.	15. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	175
Şekil 7.17.	16. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	175
Şekil 7.18.	17. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	176
Şekil 7.19.	18. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	176
Şekil 7.20.	19. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	177
Şekil 7.21.	20. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	177
Şekil 7.22.	21. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	178
Şekil 7.23.	22. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	178
Şekil 7.24.	23. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	179
Şekil 7.25.	24. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	179
Şekil 7.26.	25. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	180
Şekil 7.27.	26. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	180
Şekil 7.28.	27. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	181
Şekil 7.29.	28. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	181
Şekil 7.30.	29. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	182
Şekil 7.31.	30. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü....	182

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Kuru kırmızıbiberin kimyasal bileşimi.....	7
Çizelge 2.2. 2012 yılı FAO verilerine göre dünya biber üretimi	7
Çizelge 2.3. Kapsaisinoidlerin kimyasal ve spektral özellikleri ile yakıcılık oranları	9
Çizelge 2.4. Bazı kapsaisinoidlerin Scoville yakıcılık indeksleri.....	10
Çizelge 2.5. Kapsaisinin kolesterol düşürücü ve yağ yakıcı etkileri üzerine literatürde yapılmış olan çalışmalardan bazıları	15
Çizelge 2.6. Acı kırmızıbiber ve kapsaisinin antioksidan etkileri olduğunu belirten çalışmalardan bazıları.....	16
Çizelge 2.7. Mikroenkapsülasyon işleminde farklı amaçlara yönelik kullanılan kaplama materyalleri.....	20
Çizelge 2.8. Günümüzde kullanılan bazı mikroenkapsülasyon teknikleri ve izlenen işlem basamakları.....	21
Çizelge 2.9. Püskürterek soğutma işleminde kullanılan kaplama materyalleri ve stabilizatörler.....	23
Çizelge 2.10. Literatürde gastrointestinal salınım ile ilgili yapılmış çalışmalardan bazıları.....	29
Çizelge 2.11. İstenebilirlik fonksiyonu yaklaşımı standart tahminleme skalası.....	34
Çizelge 3.1. Kapsaisin mikroenkapsülasyonunda kullanılan CCRD deneme planı	38
Çizelge 4.1. Kapsaisin içeren emülsiyonlara ait santrifüj stabilitesi analizinin ortalama sonuçları	57
Çizelge 4.2. Kapsaisin içeren emülsiyonların santrifüj stabiliteleri üzerine bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu	58
Çizelge 4.3. Kapsaisin içeren emülsiyonlara ait kinetik stabilite analizinin ortalama sonuçları	59
Çizelge 4.4. Kapsaisin içeren emülsiyonların kinetik stabiliteleri üzerine bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu	60
Çizelge 4.5. Kapsaisin içeren emülsiyonların hesaplanan reolojik parametreleri ve R^2 değerleri.....	62
Çizelge 4.6. Kapsaisin içeren emülsiyonların reolojik parametreleri üzerine bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu	63
Çizelge 4.7. CCRD deneme planından yanıtlar için elde edilmiş olan deneysel sonuçlar	64
Çizelge 4.8. Her bir yanıt üzerinde bağımsız değişkenlerin etkisinin önemini gösteren ANOVA tablosu	65
Çizelge 4.9. Her bir yanıt üzerinde terimlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu	66
Çizelge 4.10. Model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistikler.....	67

Çizelge 4.11. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait nem ve su aktivitesi analizlerinin ortalama sonuçları	79
Çizelge 4.12. Kapsaisin mikrokapsüllerinin nem ve su aktivitesi değerlerine ait ANOVA tablosu.....	80
Çizelge 4.13. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait yığın yoğunluğu analizlerinin ortalama sonuçları	81
Çizelge 4.14. Kapsaisin mikrokapsüllerinin yığın yoğunluğu değerlerine ait ANOVA tablosu.....	82
Çizelge 4.15. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait sıkıştırılmış yoğunluk analizlerinin ortalama sonuçları	84
Çizelge 4.16. Kapsaisin mikrokapsüllerinin sıkıştırılmış yoğunluk değerlerine ait ANOVA analizi.....	85
Çizelge 4.17. Kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül yoğunluğu değerlerine ait ANOVA analizi.....	87
Çizelge 4.18. Kapsaisin mikrokapsüllerinin akabilirlik değerlerine ait ANOVA analizi	89
Çizelge 4.19. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait $D_{[4,3]}$ ve açıklık değerlerinin ortalama sonuçları	91
Çizelge 4.20. Kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül boyutu ve açıklık değerlerine ait ANOVA analizi.....	92
Çizelge 4.21. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait toplam ve serbest kapsaisin analizlerinin ortalama sonuçları	96
Çizelge 4.22. Kapsaisin mikrokapsüllerinin toplam ve serbest kapsaisin miktarlarına ait ANOVA analizi	97
Çizelge 4.23. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait DSC analizlerinin ortalama sonuçları	103
Çizelge 4.24. Kapsaisin mikrokapsüllerinin erime sıcaklıkları ve erime entalpilerine ait ANOVA analizi.....	105
Çizelge 4.25. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait bağırsakta salınım miktarlarının ortalama sonuçları	106
Çizelge 4.26. Kapsaisin mikrokapsüllerinin bağırsakta salınım değerlerine ait ANOVA analizi.....	107
Çizelge 4.27. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait Scoville yakıcılık indeksi analizinin ortalama sonuçları	109
Çizelge 4.28. Kapsaisin mikrokapsüllerinin Scoville yakıcılık indeksi değerlerine ait ANOVA tablosu.....	110
Çizelge 4.29. Püskürterek soğutma işleminin ürün verimi değerlerine ait ANOVA analizi	114
Çizelge 4.30. İstenebilirlik fonksiyonu yaklaşımı ile belirlenen optimum noktalar.....	115

Çizelge 4.31. Optimum nokta doğrulama denemelerine ait sonuçlar	116
Çizelge 4.32. Optimum noktada ortalama deneysel değerlerin modelden tahminlenen değerler ile karşılaştırılması	116
Çizelge 4.33. Optimum noktada üretilen kapsaisin mikrokapsüllerinin özellikleri.....	117
Çizelge 4.34. Örneklerin depolamaya bağlı nem ve su aktivitesi sonuçları	119
Çizelge 4.35. Örneklerin depolamaya bağlı nem ve su aktivitesi değerlerine ait varyans analizi sonuçları	119
Çizelge 4.36. Örneklerin depolamaya bağlı nem ve su aktivitesi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	120
Çizelge 4.37. Örneklerin depolamaya bağlı yoğunluk ve akabilirlik değerlerine ait varyans analizi sonuçları	123
Çizelge 4.38. Örneklerin depolamaya bağlı yoğunluk ve akabilirlik değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	123
Çizelge 4.39. Örneklerin depolamaya bağlı $D_{[4,3]}$ ve açıklık değerlerine ait varyans analizi sonuçları	126
Çizelge 4.40. Örneklerin depolamaya bağlı $D_{[4,3]}$ ve açıklık değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	126
Çizelge 4.41. Örneklerinin depolamaya bağlı toplam kapsaisin ve serbest kapsaisin sonuçları	127
Çizelge 4.42. Örneklerin depolamaya bağlı toplam kapsaisin ve serbest kapsaisin miktarlarına ait varyans analizi sonuçları	128
Çizelge 4.43. Örneklerin depolamaya bağlı toplam kapsaisin ve serbest kapsaisin değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	128
Çizelge 4.44. Örneklerin depolamaya bağlı statik gastrointestinal model sistemde salınım sonuçları	129
Çizelge 4.45. Örneklerin depolamaya bağlı statik gastrointestinal model sistemde salınım miktarlarına ait varyans analizi sonuçları.....	130
Çizelge 4.46. Örneklerin depolamaya bağlı statik gastrointestinal model sistemde salınım değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	130
Çizelge 4.47. Örneklerin depolamaya bağlı Scoville yakıcılık indeksi değerlerine ait varyans analizi sonuçları	132
Çizelge 4.48. Örneklerin depolamaya bağlı Scoville yakıcılık indeksi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları	132
Çizelge 4.49. Örneklerin depolamaya bağlı peroksit sonuçları	133
Çizelge 4.50. Örneklerin depolamaya bağlı peroksit değerlerine ait varyans analizi sonuçları	133
Çizelge 4.51. Örneklerin depolamaya bağlı peroksit değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları.....	134

Çizelge 4.52. Model gıdalardan ayran, UHT süt ve salata sosu örneklerine ait ortalama acı yoğunluğu skorları.....	135
Çizelge 4.53. Model gıdalardan sade kek, ekmek ve mayonez örneklerine ait ortalama acı yoğunluğu skorları.....	137
Çizelge 4.54. UHT süt örneklerinin acı yoğunluğu değerlerine ait basit doğrusal regresyon analizi ve Durbin-Watson istatistiği sonuçları	139
Çizelge 4.55. Ayran örneklerinin acı yoğunluğu değerlerine ait basit doğrusal regresyon analizi ve Durbin-Watson istatistiği sonuçları	140
Çizelge 4.56. Salata sosu örneklerinin acı yoğunluğu değerlerine ait basit doğrusal regresyon analizi ve Durbin-Watson istatistiği sonuçları	140
Çizelge 4.57. Sade kek örneklerinin acı yoğunluğu değerlerine ait basit doğrusal regresyon analizi ve Durbin-Watson istatistiği sonuçları	141
Çizelge 4.58. Mayonez örneklerinin acı yoğunluğu değerlerine ait basit doğrusal regresyon analizi ve Durbin-Watson istatistiği sonuçları	141
Çizelge 4.59. Ekmek örneklerinin acı yoğunluğu değerlerine ait basit doğrusal regresyon analizi ve Durbin-Watson istatistiği sonuçları	142
Çizelge 7.1. Ağızda salınım sonuçları için ardışık model kareler toplamı	163
Çizelge 7.2. Ağızda salınım sonuçları için model uygunsuzluğu testi	163
Çizelge 7.3. Ağızda salınım sonuçları için model istatistikleri	163
Çizelge 7.4. Midede salınım sonuçları için ardışık model kareler toplamı	164
Çizelge 7.5. Midede salınım sonuçları için model uygunsuzluğu testi.....	164
Çizelge 7.6. Midede salınım sonuçları için model istatistikleri.....	164
Çizelge 7.7. Mikroenkapsülasyon etkinliği sonuçları için model kareler toplamı	165
Çizelge 7.8. Mikroenkapsülasyon etkinliği sonuçları için model uygunsuzluğu testi...	165
Çizelge 7.9. Mikroenkapsülasyon etkinliği sonuçları için model istatistikleri.....	165
Çizelge 7.10. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait analiz verilerinin Pearson korelasyon analiz sonuçları	166
Çizelge 7.11. Model gıdalara panelistler tarafından verilen beğeni puanları.....	183

1. GİRİŞ

Acı kırmızıbiber, *Capsicum annuum* Latince adı ile bilinen, Solanaceae familyasının Capsicum cinsinden bir bitkidir. Solanaceae familyası hem doğrudan çiğ hali ile tüketilebilen tatlı biber hem de yakıcı tadından dolayı çiğ olarak tüketilmekten ziyade baharat olarak kullanılan acı biberi içermektedir. Acı kırmızıbiberin anavatanı Güney Amerika olup, Güney Asya ülkeleri ve ülkemizin Güney Doğu Anadolu bölgesinde de yaygın olarak yetiştirilmektedir. Bugün ülkemizde acı kırmızıbiber üretimi gerçekleştirilen başlıca iller Kahramanmaraş, Diyarbakır, Gaziantep, Şanlıurfa, Adana, Malatya, Mersin, Konya, Kayseri, Nevşehir ve Kırşehir olmasına rağmen, ülkemizin hemen hemen her bölgesi ve her ilinde biber yetiştiriciliği yapılabilmektedir (Topuz 2002; Demiray ve Tülek 2012).

Acı kırmızıbiberin kendine has lezzetini veren bileşikler kapsaisinoidlerdir (İyidoğan 2015; Yazgan vd. 2016). Bu bileşiklerin dilde bıraktıkları tat her ne kadar halk arasında “acı” tat olarak bilinse de bilimsel literatürde söz konusu tat “yakıcı” olarak tanımlanmaktadır (Caterina vd. 1997; Yılmaz vd. 2007; Topuz ve Özdemir 2007). Nitekim “acı” olarak ifade edilen tat genellikle naringenin gibi flavanoidlerin verdiği, ağızda kısa süreli acı hissine sebep olan tat olarak ifade edilirken, “yakıcı” tat kapsaisin gibi kapsaisinoidlerin verdiği, ağızda acı tada göre daha uzun süreli yanma hissine sebebiyet veren tat olarak tanımlanmaktadır (Caterina vd. 1997; Anonim 1,2). Bu sebeple tez kapsamında acı kırmızıbiberin vermiş olduğu tat için “yakıcı tat” kullanılmış olup, söz konusu biber Türkiye’de bilinen ismiyle “acı kırmızıbiber” olarak ifade edilmiştir.

Dilde yakıcı tat bırakan kapsaisinoidler, vanililamine yağ asidinin eklenmesiyle oluşmuş olan 9-11 karbonlu bileşiklerdir. Kapsaisinoidlerden acı biberlerde en çok bulunanı kapsaisindir ve acı kırmızıbiberin interlobular septalarında vanililamin üzerine dallanmış bir yağ asidi zincirinin eklenmesiyle oluşan bir bileşiktir (İyidoğan 2015; Yazgan vd. 2016).

Kapsaisin, 8-metil-N-vanilil-6-nonenamid olarak adlandırılan, kapalı formülü $C_{18}H_{27}NO_3$ olan bir bileşiktir. Kapsaisin kokusuz, keskin tada sahip, beyaz renkte ve kristal yapıda bir bileşiktir. Bu bileşik acı biberin kendine özgü yakıcı tadından sorumlu bir alkaloittir. Kapsaisin, sadece Capsicum meyvelerinden elde edilen bir bileşik olup, dondurma, pişirme, bekletme gibi dış etmenlere karşı oldukça stabildir. Kararlı yapıda ve kuvvetli bir bileşik olduğu literatür çalışmalarında rapor edilmiştir (İyidoğan 2015; Akbaş 2016). İnsan dilinde bulunan Transient Reseptör Potansiyel Vanilloid 1 (TRPV1) kanalları sayesinde kapsaisin dilde acı ve yakıcı bir hisse sebep olmaktadır (İtik 2011; Akbaş 2016; Yazgan vd. 2016).

Literatürde kapsaisinin antimikrobiyal (Stanberry vd. 1992; Cichewicz ve Thorpe 1996; Bourne vd. 1999), analjezik (ağrı kesici), antitümör (tümör önleyici), antioksidan (Park vd. 2000), kan dolaşımını ve metabolizmayı hızlandırıcı etkilerinin bulunduğu bildirilmiştir.

Kapsaisinin safra kolesterolünü düşürücü, safra asidi atımını hızlandırıcı ve safra taşı oluşumunu engelleyici etkilerinin olduğunu belirten çalışmalar da mevcuttur (Bhat vd. 1984; Hussain ve Chandrasekhara 1992; Srinivasan 2016). Bhat ve ark. (1984)

yaptıkları çalışmada, günlük diyetlerine kapsaisin ilave edilen farelerin toplam safra asidi miktarlarında düşüş olduğunu rapor etmişlerdir. Konuyla alakalı yapılmış diğer çalışmalarda da, günlük diyetlerine kapsaisin ilave edilen farelerin safra taşı oluşumlarının engellendiği ve oluşumu tamamlanmış safra taşlarının da düşürülebildiği rapor edilmiştir (Hussain ve Chandrasekhara 1992, 1993).

Kapsaisinin literatürde kanserli hücrelere etki ettiğini belirten çalışmalar da mevcuttur. Nitekim konu ile ilgili yapılmış çalışmalardan birinde, akciğer kanseri olan farelerde günlük diyetle uygulanan kapsaisinin, kanserli hücrelerde apoptoza (ölüme) neden olduğu rapor edilmiştir (Anandakumar vd. 2012). Akciğer kanseri üzerinde kapsaisinin apoptozik etkisi Lee ve ark. (2010) tarafından da belirtilmiştir. Prostat kanseri olan farelere kapsaisinli diyet uygulanıp, kapsaisinin prostat kanseri üzerindeki etkilerinin incelendiği bir diğer çalışmada, kapsaisinli diyet uygulanan farelerde prostat kanseri hücrelerinin apoptoza uğradığı belirtilmiştir (Mori vd. 2006).

Kapsaisinin insan sağlığı üzerine belirtilen tüm bu faydalarının yanı sıra, aşırı tüketime ve tüketici hassasiyetine bağlı olarak bazı zararlı etkilerinin bulunduğunu belirten çalışmalar da mevcuttur. Örneğin, aşırı acı biber tüketiminin sindirim sisteminde tahrişlere, tüketimin daha da yoğunlaşması halinde bu tahrişlerin gırtlak, yemek borusu ve mide kanserlerine yol açabileceği rapor edilmiştir (Bartholomew ve Carlson 1994; Srinivasan 2016). Kapsaisinin aşırı tüketiminden kaçınılması gerektiği ve günlük uygun dozda (50-80 mg/kg) kapsaisin alımının sağlık açısından pek çok faydası olduğu bildirilmektedir (Srinivasan 2016).

Enkapsülasyon, bir maddenin veya bir karışımın başka bir madde veya karışımla kaplanması olarak tanımlanmakta olup, bu işlem sayesinde çekirdek materyali (kaplanan bileşen) ısı, ışık, oksijen ve nem gibi dış etmenlerden korunmaktadır (Koç 2009; Koç vd. 2010; Varhan 2018). Mikroenkapsülasyon ise; aktif bir maddenin (çekirdek materyali) bir veya daha fazla kaplama materyali ile sarılması veya hapsedilmesi olarak tanımlanmakta olup, en az 1 mikrometre ile birkaç milimetre aralığında büyüklüğe sahip kapsüllerin elde edilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem ile elde edilen son ürün “mikrokapsül” adını almakta ve bir mikrokapsül ağırlığının %10 ile %90’ı kadar çekirdek materyali içerebilmektedir. Mikrokapsüller küre şeklindedir ve çevresini sarmış homojen bir duvar şeklinde kaplama materyali bulunmaktadır. (Jackson ve Lee 1991; Desai ve Park 2005; Koç 2009; Kocabıyık 2014).

Mikroenkapsülasyon tekniği gıda endüstrisinde uzun yıllardır kullanılmakta olup, son yıllarda fonksiyonel gıdalara artan eğilimle birlikte gıda sektöründe daha yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Gıda endüstrisinde mikroenkapsülasyon tekniği çoğunlukla katı ve sıvı yağlar, aroma bileşenleri, vitaminler, mineraller, renk bileşikleri ve enzimlerin mikroenkapsüle edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde mikroenkapsülasyon uygulamasının, mikrokapsüllerin içine ve dışına migrasyonu önlediği, mikrokapsül içinde bulunan ve çekirdek materyali olarak nitelendirilen tat ve aroma bileşikleri ile uçucu bileşenlerin salınımını kontrol ettiği rapor edilmiştir (Jackson ve Lee 1991; Koç 2009; Açı vd. 2014; Varhan 2018).

Püskürterek soğutma yöntemi, hidrofobik materyallerin kaplama materyali olarak kullanıldığı bir enkapsülasyon teknolojisidir. Püskürterek soğutma yönteminde hidrofobik olması esasına uygun biçimde genellikle fosfolipitler, hidrojenize yağlar,

mumlar, yağ asitleri, polietilen glikol ve bu materyallerin karışımları kaplama materyali olarak kullanılmaktadır (Chambi vd. 2008; Okuro vd. 2013; Sillick ve Gregson 2012).

Püskürterek soğutma yönteminde, öncelikli olarak mikroenkapsüle edilecek olan materyalin emülsiyonu veya dispersiyonu hazırlanmaktadır. Temel olarak bu yöntem, hazırlanan emülsiyon veya dispersiyonun bir pompa yardımıyla nozula gönderilmesi, nozuldan soğuk hava doldurulmuş bir soğutma kabinine atomize edilmesi, soğutma kabininden aspirasyon ile siklon içerisine çekilmesi ve ürün toplama kabından mikrokapsüllerin toplanması prensibine dayanmaktadır (Lakkis 2007; Champagne ve Fustier 2007; Oxley 2012).

Püskürterek soğutma yönteminde, diğer mikroenkapsülasyon yöntemlerine kıyasla yüksek sıcaklık uygulaması yoktur. Ayrıca bu yöntem başarılı bir salınım mekanizmasına sahiptir. Püskürterek soğutma yöntemi uzun yıllardır farmasötik kapsüllerin üretilmesinde, dış etkenlere ve özellikle suya duyarlı olan aktif materyallerin ve uçucu bileşenlerin kapsüllenmesinde alternatif bir mikroenkapsülasyon tekniği olarak kullanılmaktadır. Belirtilen avantajlarının yanı sıra püskürterek soğutma yönteminin yüksek ürün verimine sahip olduğu da belirtilmiştir (Matos-Jr vd. 2015; Varhan 2018).

Gastrointestinal sistem (GIS), ağız ile anüs arasında uzun (8-10 m kadar) tubüler yapı ve bu yapı ile ilişkili birçok organı içine alan ve temel görevi sindirim olan bir sistemdir. Vücuda alınan besinlerin küçük parçalara ayrıldığı mekanik (fiziksel) sindirim ve küçük parçalara ayrılan besin maddelerinin enzimler ve organ öz suları vasıtasıyla yapı taşlarına ayrıldığı kimyasal sindirim olmak üzere 2 temel bölümden oluşmaktadır (Çomak Göçer 2016; Chen vd. 2011).

Günümüzde gıdaların gastrointestinal sistemde salınımlarını izleyebilmek amacıyla farklı gastrointestinal modeller kullanılmakta olup, bu modeller *in vitro* ve *in vivo* olmak üzere 2 çeşittir. Bu modellerden *in vitro* model, statik model olarak da bilinir ve sistemde salınımı izlenecek örneğin genellikle hareketsiz olduğu ve bazı fiziksel işlemlerin (hidrasyon, karıştırma, kayma kuvveti gibi) göz ardı edildiği modellerdir. *In vivo* modeller ise dinamik model olarak da adlandırılmaktadırlar ve *in vivo* koşullarda gerçekleşen fiziksel ve mekanik işlemler ile zamana bağlı tüm değişiklikleri de simüle edebilmektedirler (Chen vd. 2011).

Bu çalışmada, insan sağlığına pek çok faydası bulunan kapsaisinin uygun bir enkapsülasyon yöntemi ile kapsüllenmesi, ağızda ve midede yakıcılık hissini baskılayarak tüketim esnasında tahrişlere neden olmayan bir ürün elde edilmesi temel amaç olmuştur. Bu amaçla, ağızda ve midede kapsaisin salınımını minimum düzeye indirecek bir kaplama materyali (palm yağı) kullanılmış, püskürterek soğutma yöntemi ile kapsaisin mikrokapsülleri üretilmiştir. Üretilen mikrokapsüllerde nem ve su aktivitesi, yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk, partikül yoğunluğu, akabilirlik (Carr Index), partikül morfolojisi (SEM), partikül boyut dağılımı (LLD), toplam kapsaisin, serbest kapsaisin, termal özellikler (DSC), statik gastrointestinal model sistemde salınım, Scoville yakıcılık indeksi ve mikroenkapsülasyon etkinliği analizleri yürütülmüştür. Mikrokapsüllere uygulanan bu analizlerin yanı sıra, bu mikrokapsülleri üretmek için hazırlanan tüm emülsiyonlara santrifüj stabilitesi, kinetik stabilite, emülsiyon yoğunluğu ve viskozite analizleri uygulanmıştır.

Kapsaisin mikrokapsülleri üretmek amacıyla öncelikle püskürterek soğutma işlem koşulları optimize edilmiş, optimizasyon çalışmasında homojenizasyon hızı, ayçiçek yağının palm yağı içerisindeki oranı, hava giriş sıcaklığı ve emülsiyondaki kapsaisin oranı bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir. Bu bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişken olarak seçilen ağızda salınım, midede salınım ve mikrokapsülasyon etkinliği değerlerine etkileri incelenmiştir. Optimizasyon çalışması sonucunda ağızda ve midede salınımı minimize, mikrokapsülasyon etkinliğini maksimize eden değerler, 14550 d/dk homojenizasyon hızı, %1 ayçiçek yağı oranı, 12.93 °C hava giriş sıcaklığı ve %0.27 emülsiyondaki kapsaisin oranı olarak belirlenmiştir.

Optimizasyon çalışmasının ardından, belirlenen optimum noktada kapsaisin mikrokapsülleri üretilmiş ve elde edilen mikrokapsüller 4 °C ve 25 °C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta 60 gün boyunca depolamaya tabi tutulmuştur. Depolama örneklerine depolamanın her 15 günlük periyodunda optimizasyon aşamasında tozlara uygulanan tüm analizler uygulanmış, ayrıca örneklerin oksidatif stabilitelerini belirlemek amacıyla peroksit analizleri yürütülmüştür.

Püskürterek soğutma yöntemi ile optimum koşullarda üretilen mikrokapsüle kapsaisin tozları model gıdalar içerisinde de denenmiş, bu uygulama ile tüketici beğenisi ve mikrokapsüle kapsaisin tozlarının gıda sistemlerinde verdiği tepkiler ölçülmüştür. Model gıda olarak seçilen gıdalar farklı gıda sistemlerini temsil etmiş olup, bu bağlamda günlük tüketilen gıdalar olarak süt, ayran ve salata sosu, ısıtma işlem görmüş şekerli gıda olarak sade kek, ısıtma işlem görmüş tuzlu gıda olarak ekmek, yağlı emülsiyon olarak mayonez seçilmiştir. Model gıdalar kapsaisin mikrokapsülleri katıldıktan sonra 7 gün süreyle buzdolabı koşullarında (4 °C) depolamaya tabi tutulmuştur. Depolama boyunca panelistlerden model gıdalara beğeni ve acı yoğunluğu yönünden puanlar vermeleri istenmiştir.

Bu tez çalışması sonucunda elde edilen kapsaisin mikrokapsüllerinin, yakıcılığı nedeniyle acı kırmızıbiber ve ürünlerini tüketemeyen tüketicilerin kapsaisinden yararlanabilmesi için, alternatif ürünlerin üretimine katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Kapsaisinin püskürterek soğutma yöntemi ile kapsüllenmesi ile özellikle soğuk olarak tüketilen (salata sosları, ketçap, mayonez, dondurma, yoğurt, peynir vb.) pek çok gıdaya bileşen olarak katılmasının mümkün hale geleceği değerlendirilmiştir. Püskürterek soğutma yöntemi sayesinde ağızda ve midede salınımı minimize edilen kapsaisinin ağızda, yemek borusunda ve midede oluşturabileceği tahrişlerin önlenmesi ve obezite prevalansını azalttığı bildirilen kapsaisinin diyet gıda ürünlerinde kullanım potansiyeli oluşacağı öngörülmektedir.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Acı Kırmızıbiber

Biber, Solanaceae familyasının *Capsicum* cinsine ait bitkilerin meyveleridir. Literatür verilerinde *Capsicum* cinsine ait 30’u aşkın tür olduğu bildirilmekle birlikte, bu türlerden kültür bitkisi olarak yetiştirilen ve sıklıkla tüketilen 5 tür biber bilinmektedir. Bunlar; *Capsicum annuum*, *Capsicum frutescens*, *Capsicum chinense*, *Capsicum pendulum* ve *Capsicum pubescens* olarak bildirilmiştir. Bu türler içerisinde yüksek yakıcılıkta olan *Capsicum frutescens* olup, orta ve düşük yakıcılıkta olan ve en çok tüketilen tür ise *Capsicum annuum* olarak bilinmektedir. Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de en çok yetiştirilen *Capsicum* türü *Capsicum annuum* dur (Topuz 2002; Topuz ve Özdemir 2004).

Acı kırmızıbiber (Şekil 2.1), *Capsicum annuum* Latince adı ile bilinen, Solanaceae familyasının *Capsicum* cinsinden bir bitkidir. Bu familya hem doğrudan çiğ hali ile tüketilebilen tatlı biber hem de yakıcı tadından dolayı çiğ olarak tüketilmekten ziyade baharat olarak kullanılan acı biberi içermektedir. Acı kırmızıbiberin anavatanı Güney Amerika olup, Güney Asya ülkeleri ve ülkemizin Güney Doğu Anadolu bölgesinde de yaygın olarak yetiştirilmektedir. Biber 1493 yılında ilk kez Amerika’dan İspanya’ya getirilmiştir. 1548 yılında İngiltere ve 1578 yılında orta Avrupa ülkelerine götürülen biber, 16 yy’da Osmanlı İmparatorluğu ve Avrupa ülkeleri arasındaki yakın ilişkiler nedeniyle İstanbul’a getirilmiştir. Ardından günümüzde de yetiştiriciliği devam ettirilen ülkemizin diğer bölgelerine yayılmıştır. Bugün ülkemizde kırmızıbiber üretimi gerçekleştirilen başlıca iller Kahramanmaraş, Diyarbakır, Gaziantep, Şanlıurfa, Adana, Malatya, Mersin, Konya, Kayseri, Nevşehir ve Kırşehir olmasına rağmen, ülkemizin hemen hemen her bölgesi ve her ilinde biber yetiştiriciliği yapılabilmektedir (Topuz 2002; Demiray ve Tülek 2012).

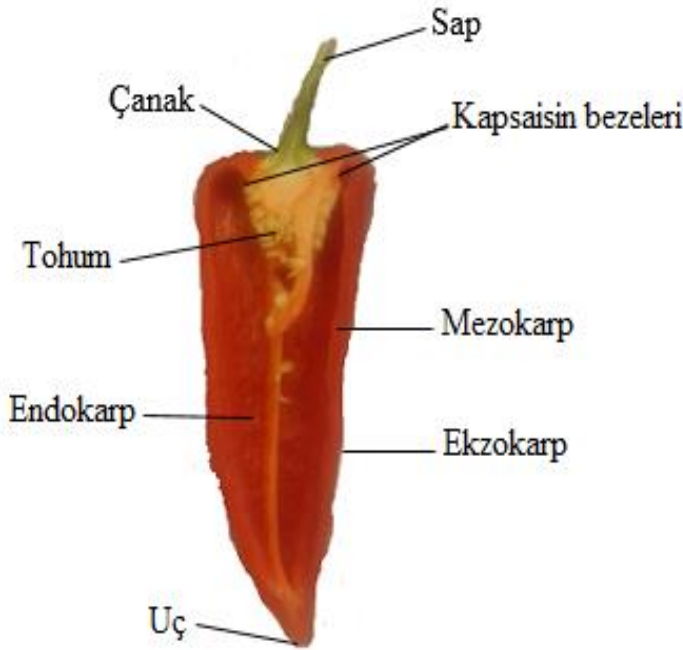


Şekil 2.1. Acı kırmızıbiber (*Capsicum annuum*) (Anonim 3)

Biber Amerika'da M.Ö. 7500'lü yıllardan beri insanların beslenmesinin bir parçasıdır. Yakıcı ve keskin tadından dolayı yemeklerde baharat ve sos olarak kullanılmaktadır. Biber yabancı dillerde capsicum, chili, chilli, aji, paprika, piquin, cayenne gibi değişik isimlerle bilinmektedir (Topuz 2002; Materska vd. 2003; Şener ve Şahin 2010).

Acı kırmızıbiber ılıman iklimlerde tek veya iki yıllık olarak yetiştirilen bir kültür bitkisidir. Bitkinin gövdesi büyüme evresinin ilk aşamalarında otsu bir yapıda olup, büyüme devam ettikçe gevrek ve sert bir yapı kazanmaktadır. Meyveler ince uzun, konik veya kiraz şeklinde olup, meyve boyları 1-25 cm arasında değişiklik göstermektedir. Meyvelerin et rengi yeşilin değişen tonları (açık, orta, koyu), kırmızı ve sarı olabilmektedir. Meyvelerde olgunlaşma ilerledikçe renk değişip, daha koyu bir hal almaktadır. Olgunlaşma evresinin son safhalarında et rengi koyu sarı, koyu kırmızı, mor ve siyaha yakın mor renkte olabilmektedir (Aybak 2007; Şener ve Şahin 2010).

Biber meyvesi perikarp, sap ve tohum olmak üzere başlıca üç kısımdan oluşmakta olup, perikarp bölümünde bezeler içerisinde kapsaisin bulunmaktadır (Şekil 2.2). Kapsaisin bezeleri çevresinde gelişigüzel dizilmiş ve plesantaya tutunmuş olarak bulunan çok sayıda açık sarı renkli tohum bulunmaktadır (Başüenal 2016; Anonim 4).



Şekil 2.2. Biberin anatomisi (Anonim 4)

Acı kırmızıbiberin kimyasal içeriği Çizelge 2.1'de gösterilmiş olup, bu kimyasal bileşikler nedeniyle insan beslenmesi ve sağlığı açısından oldukça önem arz eden bir bitki olduğu literatürde belirtilmiştir (Akgül 1993; Topuz 2002).

Çizelge 2.1. Kuru kırmızıbiberin kimyasal bileşimi (Anonim 4)

İçerik	Miktar	İçerik	Miktar
Protein	12 g	Su	8.1 g
Yağ	17.3 g	Lif	24.9 g
Karbonhidrat	31.7 g	Demir	8 mg
Vitamin A	41610 IU	Fosfor	293 mg
Tiamin	1 mg	Kalsiyum	148 mg
Riboflavin	2 mg	Magnezyum	152 mg
Niasin	15 mg	Potasyum	2014 mg
Askorbik asit	76 mg	Sodyum	30 mg

Biber, A, B ve C vitaminleri yönünden zengin olup, içerdiği flavanoid ve antioksidan bileşikler sayesinde de besin değeri oldukça yüksek bir gıdadır. Ayrıca biber, önemli miktarlarda magnezyum, demir, tiamin, riboflavin ve niasin de içermektedir. Yüksek oranda lif içermesi, doymamış yağlar açısından zengin olması ve düşük kaloriye sahip olmasından dolayı biber insan beslenmesinin önemli bir parçası olmuştur (Marin vd. 2004).

Biber bütün veya dilimlenmiş şekilde taze olarak tüketilmesinin yanı sıra, pişmiş veya konserve olarak tüketilebilmekte; salça, turşu, sos, hazır çorba, ketçap, sucuk, tarhana ve pastırma üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilir. Ayrıca bu kullanımlarına ek olarak, çeşnili peynir ve dolgulu zeytin üretiminde; kurutularak, toz ve pul biber imalatında; boya ve ilaç sanayisinde de sıklıkla kullanılmaktadır (Başunal 2016).

Biber, Türkiye’de acı ve tatlı biber olmak üzere yüzyıllardır yetiştirilen, ülkemiz için oldukça önemli bir bitkidir. 2009’da elde edilen istatistiki verilere göre ülkemizde 1.750.000 ton biber üretimi gerçekleştirilmiş olup, bu oran yıllık %4 ile %10 arasında bir artış ile 2012 yılında 2.072.132 ton olarak belirlenmiştir (Bozokalfa vd. 2009; Başunal 2016). Elde edilen istatistiklere göre ülkemiz bu üretim hacmi ile dünya biber üretimi listesinde Çin ve Meksika’dan sonra 3. sıraya yerleşmiştir (Çizelge 2.2). Ülkemizde üretilen biberin yaklaşık olarak %90’ı taze biber olarak satışa sunulurken, %10’luk kısmı farklı ürünlere (biber salçası, toz biber, pul biber vb.) işlenmektedir (Bozokalfa vd. 2009).

Çizelge 2.2. 2012 yılı FAO verilerine göre dünya biber üretimi (Anonim 5)

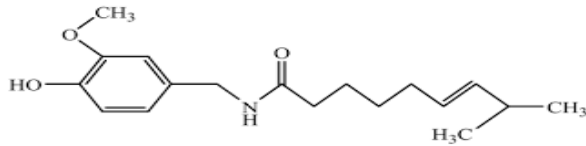
Ülke	Üretim Hacmi (Ton)
Çin	16.023.500
Meksika	2.376.360
Türkiye	2.072.132
Endonezya	1.656.615
Amerika Birleşik Devletleri	1.064.800
İspanya	1.023.800
Mısır	650.054
Nijerya	500.000
Cezayir	426.566
Diğer	5.009.159
Toplam	30.806.262

Bilimsel çalışmalarda kırmızıbiberin kendine has renginin ketokarotenoidler, ksantofiller ve karotenlerden kaynaklandığı rapor edilmiştir. Renk oluşumunda etkili olan ketokarotenoidler; kapsantin, kapsorubin ve kapsantin 5,6 epoksit olarak bilinirken, ksantofiller; β -kriptoksantin, zeaksantin, violaksantin ve kapsoluetin olarak bilinmektedir. Ayrıca karotenlerden β -karotenin de kırmızıbiberin renk oluşumunda etkili olduğu belirtilmiştir (Minguez-Mosquera ve Hornero-Mendez 1993; Topuz 2002; Başunal 2016).

Acı kırmızıbiberin kendine has lezzetini veren bileşik grubu ise kapsaisinoidler olup, bu bileşikler dilde yakıcı bir his bırakmaktadırlar. Biber meyvesinin plesentasında sentezlenen ve burada biriken kapsaisinoidler 9-11 karbonlu yağ asitlerinin vanilamidleridir. Kapsaisinoidlerin büyük bir çoğunluğunu kapsaisin, dihidrokapsaisin ve nordihidro kapsaisin oluşturmaktadır ve miktarca bu bileşiklerden daha az olmak üzere norkapsaisin, homokapsaisin, ve homodihidro kapsaisin de acı kırmızıbiberlerde bulunabilmektedir (Topuz 2002; Topuz vd. 2011).

2.2. Kapsaisinoidler, Kapsaisin ve Kapsaisinin Genel Özellikleri

Kapsaisinoidler (Şekil 2.3) sadece Capsicum cinsi biberlere özgü olan alkaloidlerdir ve günümüze kadar 12 farklı alkaloid tespit edilmiştir. Söz konusu alkaloidlerin yaklaşık olarak %90'lık kısmını kapsaisin ve dihidrokapsaisin oluşturmaktadır (Topuz 2002; Varhan 2018). Kapsaisin ve dihidrokapsaisin haricinde nordihidro kapsaisin, homokapsaisin I, homodihidro kapsaisin I ve homokapsaisin gibi kapsaisinoidler de mevcut olup, bu bileşiklerin kimyasal ve spektral özellikleri ile yakıcılık oranları Çizelge 2.3'te verilmiştir.



Genel Yapı

Kapsaisin Anologları

R

Kapsaisin



Dihidro kapsaisin



Nordihidro kapsaisin



Homokapsaisin I



Homokapsaisin II



Homodihidro kapsaisin I



Homodihidro kapsaisin II



N-Vanil oktanamid



N-Vanil nonanamid



N-Vanil dekanamid



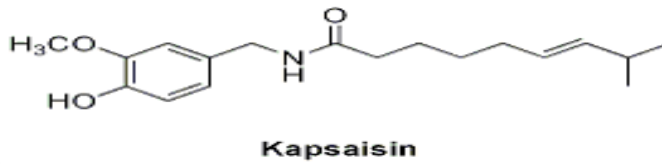
Şekil 2.3. Capsicum türlerinin kapsaisinoidlerinin moleküler yapıları (Hoffman vd. 1983; Asnin ve Park 2013)

Çizelge 2.3. Kapsaisinoidlerin kimyasal ve spektral özellikleri ile yakıcılık oranları (Kadalk vd. 2001)

İsim	Açık formülü	Molekül formülü	Molekül ağırlığı (~g)	Erime noktası (°C)	Max UV Abs. (nm)	Yakıcılık oranı (%)
Kapsaisin	N-Vanillyl-8-metil-6-nonenamid	C ₁₈ H ₂₇ NO ₃	305	64.5-65.62	280.5	69
Dihidro kapsaisin	N-Vanillyl-8-metil-nonenamid	C ₁₈ H ₂₉ NO ₃	307	65.6-65.8	281	22
Nordihidro kapsaisin	N-Vanillyl-7-metil-oktanamid	C ₁₇ H ₂₇ NO ₃	293	65.6	280	7
Homokapsaisin	N-Vanillyl-9-metil-7-dekanamid	C ₁₉ H ₂₉ NO ₃	319	-	282	1
Homodihidro kapsaisin	N-Vanillyl-9-metil-dekanamid	C ₁₉ H ₃₁ NO ₃	321	66.5	280.5	1

Kapsaisin, sadece Capsicum meyvelerinden elde edilen bir bileşik olup, 1816 yılında Bucholz ve 1846 yılında da Thresh tarafından izole edilmiştir. 1878 yılında Högyes izole edilen bu bileşiği capsicol olarak isimlendirmiştir. Ayrıca yine Högyes capsicol adını verdiği bu bileşiğin mukoz membranlarla temas ettiği an yanmaya neden olduğunu ve bunun yanı sıra gastrik salgı üzerinde de artışa neden olduğunu belirlemiştir (Nelson 1919; Şener ve Şahin 2010). 1919 yılında Nelson tarafından kapsaisinin yapısı açıklanmış ve 1930 yılında ilk defa Spath ve Darling tarafından sentezlenmiştir (Şener ve Şahin 2010).

Kapsaisin (Şekil 2.4), 8-metil-N-vanilil-6-nonenamid olarak adlandırılan, kapalı formülü C₁₈H₂₇NO₃ olan bir kimyasal bileşiktir. Molekül ağırlığı ~305 g olarak belirlenmiştir. Erime noktası 64 ile 66 °C arasında değişmekte olup, alkolde, kloroformda ve benzende çözünmektedir. Karbon disülfite az çözünmekle birlikte soğuk suda neredeyse hiç çözünmez. Soğuk suda çözünmesi 25 °C sıcaklıkta litre başına 10.3 mg olarak belirlenmiştir. Kapsaisin fiziki olarak kokusuz, keskin tada sahip, beyaz renkte, kristal yapıda bir bileşiktir ve acı biberin kendine has yakıcı tadından sorumlu bir alkaloid (kapsaisinoid) dir. Dondurma, pişirme, bekletme gibi dış etmenlere karşı oldukça stabil bir bileşik olup, orijinal potansitesini korur. Kararlı yapıda ve kuvvetli bir bileşik olduğu bilimsel çalışmalarda rapor edilmiştir (Topuz ve Özdemir 2007; İtik 2011; İyidoğan 2015; Akbaş 2016).

**Şekil 2.4.** Kapsaisinin kimyasal formülü

Kapsaisin, sadece acı biberlerden ekstrakte edilebilmekte, tatlı biberlerde kapsaisin bulunmamaktadır (İyidoğan 2015). Genellikle gıdaya doğal bir tat unsuru olarak ve yakıcılık hissini verebilmek amacıyla kullanılmaktadır. İnsan dilinde bulunan Transient Reseptör Potansiyel Vanilloid 1 (TRPV1) kanalları sayesinde kapsaisin dilde acı ve yakıcı bir hisse sebep olmaktadır (İtik 2011; Akbaş 2016; Yazgan vd. 2016). Bir gıda maddesinin dilde bıraktığı yakıcı tattan yola çıkılarak o gıdanın acı ve/veya yakıcı olma seviyesi Wilbur Scoville tarafından sunulmuş, organoleptik bir test olan Scoville Yakıcılık İndeksi (Scoville Heat Unit) ile belirlenmektedir. Bu test sayesinde acı biberlerin keskinlikleri yani kapsaisin miktarları hesaplanabilmektedir. Scoville Yakıcılık Testi, yakıcılık bileşeni olan kapsaisinin önce alkolde çözündürülmesi, ardından sakkaroz çözeltisi ile farklı konsantrasyonlarda seyreltilmesi ve yakıcılığın hissedilebildiği ilk çözeltinin seyreltme faktörünün belirlenmesi prensibine dayanmaktadır (Scoville 1912). Bazı kapsaisinoidlerin Scoville yakıcılık indeksleri Çizelge 2.4'te sunulmuştur.

Çizelge 2.4. Bazı kapsaisinoidlerin Scoville yakıcılık indeksleri (Scoville 1912)

Kapsaisinoid	Scoville Yakıcılık İndeksi
Kapsaisin	16,000,000
Dihidro-kapsaisin	15,000,000
Norhidro-kapsaisin	9,100,000
Homo/Homohidro-kapsaisin	8,600,000

Kapsaisinin yakıcılık seviyesi izole edildiği biberlerin yetiştirilme koşullarına, hasat zamanına, kapsaisinin ekstrakte edildiği metoda bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Meksika'da yapılmış olan bir araştırmada, biberlerin oluşum, gelişim ve olgunlaşma aşamaları esnasında kapsaisin değişimi izlenmiş, sentezlenme olayının sinamik asit vasıtasıyla gerçekleştiği ve degradasyonun da peroksidaz etkisi ile olduğu bildirilmiştir. Yine aynı araştırmada biber meyvelerinde kapsaisin miktarının dihidro-kapsaisin miktarından daha yüksek seviyelerde belirlendiği ve meyve tutumunu takiben 45-50 gün içerisinde her iki bileşiğin de maksimum seviyelere ulaştığı rapor edilmiştir (Contreras-Padilla ve Yahia 1998; Topuz 2002; Akbaş 2016).

Kapsaisinoidler ve kapsaisin ile yapılmış olan çalışmalar genellikle bu bileşenlerin insan sağlığına etkileri üzerine yoğunlaşmış ve bu bağlamda oldukça fazla sayıda bilimsel çalışma gerçekleştirilmiştir. Kapsaisinoidlerin ve kapsaisinin insan sağlığı üzerine olan etkilerine Bölüm 2.3'te detaylı bir şekilde yer verilmiştir.

Literatürde insan sağlığı üzerine olan etkilerinin incelendiği çalışmalar haricinde kapsaisinle yapılmış olan çalışmalar, genellikle farklı türlerin kapsaisinoid ve kapsaisin içeriğini belirlemeye yönelik çalışmalar olmuştur. Ülkemizde yoğun olarak üretilmekte olan çeşitli biberlerin yakıcılık özellikleri üzerine yapılmış olan bir çalışmada, Kahramanmaraş yöresinde üretilen kırmızıbiberlerin %0.081-0.142 kapsaisin, %0.038-0.070 dihidro-kapsaisin ve %0.001-0.004 oranında nordihidro-kapsaisin içerdikleri belirlenmiştir. Yine aynı çalışma dahilinde, Şanlıurfa yöresinde sıklıkla tüketilen İso biberlerinin toplam kapsaisinoid miktarı oldukça düşük seviyelerde tespit edilmiştir (%0.055). Tespit edilen bu kapsaisinoidlerin yaklaşık %50'lik kısmını kapsaisinin oluşturduğu rapor edilirken, %44'lük kısmını dihidro-kapsaisinin oluşturduğu

belirtilmiştir. Nordihidro kapsaisin ve dihidro kapsaisin oranının ise kapsaisinoidlerin yaklaşık %6'sını oluşturduğu belirlenmiştir (Artık vd. 2001).

Konu ile alakalı olarak yapılmış çalışmalardan bir diğerinde, Jalapeno, Habanero ve Bhut Jolokia (literatürde bazı çalışmalarca dünyanın en yakıcı biberi olarak adlandırılmıştır) adı verilen 3 farklı tür acı biberin kapsaisinoid içerikleri ve Scoville yakıcılık indeksleri belirlenmiştir. Kromatografik olarak GC-MS cihazı ile profilleri belirlenen acı biberlerde Scoville yakıcılık indeksi ve kapsaisin içeriği bakımından en yüksek örnek Bhut Jolokia olarak bildirilmiştir (Sweat vd. 2016).

Topuz ve Özdemir (2004) yaptıkları çalışmada, güneşte kurutulmuş ve dehidrate kırmızıbiberlerin kapsaisinoid içerikleri üzerine, ışınlama ve depolamanın etkisini incelemişlerdir. 5 farklı dozda ışınlanan ve 10 ay boyunca depolamaya tabi tutulan örneklerde depolama sürecinin her 2 aylık periyodunda analizler yürütülmüştür. Çalışma sonunda kırmızıbiberde majör yakıcılık bileşenleri olan kapsaisin ve dihidro kapsaisin miktarlarının artan ışınlama dozu ile birlikte arttığı ancak depolama süresindeki artış ile azaldığı rapor edilmiştir.

Jalapeno biberlerindeki kapsaisinoid içeriği üzerine, kırımım pencereci ince tabaka kurutma, dondurarak kurutma, sıcak hava akımında kurutma ve doğal konveksiyonla kurutma metodlarının etkisinin incelendiği bir çalışmada, söz konusu biberlerin Scoville yakıcılık indeksleri de belirlenmiştir. Çalışma sonunda, en yüksek kapsaisin ve dihidro kapsaisin miktarı ve beklenildiği üzere en yüksek Scoville yakıcılık indeksinin doğal konveksiyonla kurutma yönteminde elde edildiği, buna karşın, en düşük kapsaisin ve dihidro kapsaisininle, Scoville yakıcılık indeksi sonucunun da kırımım pencereci ince tabaka kurutmada kaydedildiği belirtilmiştir (Topuz vd. 2011).

Türkiye’de yetiştirilen 5 farklı *Capsicum annuum* L. çeşidi (730 F1, 1245 F1, Amazon F1, Serademre 8 ve Kuşak 295 F1) üzerinde yapılan bir çalışmada, çeşitler arası kapsaisinoid farkları ve her bir çeşidin kapsaisinoid profilleri belirlenmiştir. Kromatografik olarak HPLC cihazı yardımıyla kapsaisinoid profilleri belirlenen çeşitler arasında, en yüksek kapsaisinoid içeriğine ve en yüksek Scoville yakıcılık indeksine sahip çeşitler 730 F1 ve 1245 F1 olarak belirtilirken, en düşük kapsaisinoid içeriğine ve Scoville yakıcılık indeksine sahip örnek ise Kuşak 295 F1 olarak rapor edilmiştir (Topuz ve Özdemir 2007).

Acı kırmızıbiberlerin kapsaisin içeren tohumları ile yapılmış bir çalışmada, tohumlar öğütölüp un haline getirilmiş, elde edilen unun çözünürlük ve emülsiyon özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonunda, kırmızıbiber tohumundan elde edilen unun yüksek çözünürlük değerine sahip olduğu ve emülsiyon özelliklerinin piyasada mevcut emülsifiye edicilere alternatif olabileceği değerlendirilmiştir (Fıratlıgil-Durmuş ve Evranuz 2010).

Kurutulmuş acı kırmızıbiberlerde farklı paketleme ve farklı depolama koşullarının, biberlerin kapsaisinoid içerikleri ve antioksidan özellikleri üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışmada, Sky Red, Maha ve Wonder King isimleri ile bilinen acı kırmızıbiberler kullanılmıştır. Çalışma kapsamında biberler kurutulduktan sonra hasır çuvalar ve düşük yoğunluklu polietilen poşetler içerisine ambalajlanmış, 20, 25 ve 30 °C sıcaklık altında depolanmıştır. Çalışma sonunda, depolama süresindeki artış

ile birlikte biberlerin kapsaisin ve dihidrokapsaisin içeriklerinde azalma gözlemlendiği belirtilmiştir. Ayrıca düşük yoğunluklu polietilen poşetlerin, hasır çuvallara göre biberlerin kapsaisinoid içeriklerini daha iyi koruduğu rapor edilmiştir (Iqbal vd. 2015).

Farklı acı biber türlerinin kapsaisinoid içerikleri üzerine farklı kurutma tekniklerinin etkisinin incelendiği bir diğer çalışmada, Türkiye’de Çukurova bölgesinde yetiştirilmekte olan 3 farklı acı biber çeşidi kullanılmıştır. Çalışmada biber örnekleri solar tünel kurutucuda ve 3 farklı sıcaklıkta (40, 60 ve 80 °C) kabin kurutucuda kurutulmuş olup, kapsaisinoid ve kapsaisin içeriğinin en yüksek oranda korunduğu kurutma yöntemi solar tünel kurutucu olarak kaydedilmiştir (Yaldız vd. 2010).

Kapsaisin ile ilgili çalışmaların büyük bir çoğunluğu da, kapsaisinin mikroenkapsülasyonu, koaservasyonu ve nanoemülsiyonları üzerine yoğunlaşmıştır. Söz konusu çalışmalardan birisinde, kapsaisin nanoemülsiyonları oluşturarak, hem kapsaisinin biyoalınabilirliğini arttırmak hem de mide tahrişlerini önleyebilmek hedeflenmiştir. Bu amaçla, kapsaisin öncelikli olarak orta zincir uzunluklu triaçilgliserol içerisinde çözündürülmüş, ardından sükroz stearat S-370 ilavesi gerçekleştirilmiştir. Ultrasonik uygulama ile istenilen nano boyutlara ulaşıldıktan sonra elde edilen nanoemülsiyon *in vivo* uygulamaya tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda nanoemülsiyonu oluşturulan kapsaisinin vücuda alınabilirliğinin arttırıldığı ve mide tahrişlerinin azaltıldığı rapor edilmiştir (Lu vd. 2016).

Kapsaisinle yapılmış olan bir diğer çalışmada (Jincheng ve Sihao 2010) ise, üre-formaldehit kaplama materyali, kapsaisin ise çekirdek materyali olarak kullanılmış ve polimerizasyon ile mikrokapsüller üretilmiştir. Üretilen mikrokapsüllerde bazı karakteristik toz analizleri gerçekleştirilmiştir. Mikrokapsüllerin FTIR spektraları alınmış, partikül boyut ve dağılımları belirlenmiş, SEM (taramalı elektron mikroskobu) ve TEM (transmisyon elektron mikroskobu) analizlerinin yanı sıra, termal erime davranışları değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen tüm bulgular değerlendirilmiş ve kapsaisin kapsüllemek için polimerizasyonun yeni bir yöntem olarak kullanılabileceği ve üre-formaldehitin kaplama gücünün oldukça yüksek olduğu rapor edilmiştir.

Kapsaisinin çekirdek materyali olarak kullanıldığı bir diğer araştırmada, polilaktik asit kaplama materyali olarak seçilmiş ve solvent evaporasyonu yöntemi ile kapsaisin mikroenkapsüle edilmiştir. Elde edilen mikrokapsüllerde FTIR, partikül boyut dağılımı, termal özellikler ve SEM analizlerinin yanı sıra *in vitro* koşullarda ağızda salınım analizi yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen analiz bulgularına göre, solvent evaporasyonu yönteminin kapsaisin mikroenkapsülasyonunda oldukça başarılı bir yöntem olduğu, elde edilen kapsaisin mikrokapsüllerinin saf kapsaisine göre ağızda daha kontrollü salındığı rapor edilmiştir (Wang vd. 2013).

Kapsaisinin kompleks koaservasyonla kapsüle edildiği bir çalışmada, jelatin, akasya ve tanen koaservatif olarak kullanılmış, elde edilen mikrokapsüllerin *Botrytis cinerea* ve *Aspergillus niger* üzerindeki antimikrobiyal etkileri incelenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen kapsüllerin matriste salınım hızlarının oldukça önemli olduğu ve bu kapsüllerin yalnızca uzun süreli depolamalarda söz konusu mikroorganizmalar üzerinde antimikrobiyal etki gösterebileceği vurgulanmıştır (Xing vd. 2006).

Kompleks koaservasyon yönteminin kullanıldığı bir diğer çalışmada ise, koaservatif olarak jelatin, akasya ve tanen kullanılmış olup, elde edilen partiküllere partikül boyut dağılımı ve SEM analizi ve matematiksel olarak enkapsülasyon etkinliği analizleri uygulanmıştır. Çalışma sonucunda mikrokapsüllere %19'luk bir yükleme yapılabildiği, elde edilen mikrokapsüllerin oldukça düzgün morfolojik yapıları olduğu rapor edilmiştir (Xing vd. 2004).

2.3. Kapsaisinın İnsan Sağlığı Üzerine Faydaları ve Toksik Etkileri

Acı ve/veya yakıcı bir maddenin (yenilebilir nitelikte) insan sağlığı üzerinde yararlı etkilere sahip olduğu ve bazı hastalıkları iyileştirmede kullanıldığı, Hz. İsa'nın doğduğu yıllarda Hintliler tarafından yazılmış olan “*Susruta Samhita*” isimli tıp kitabında açık ve net bir şekilde ifade edilmiştir. Ancak söz konusu kitapta bahsedilen yakıcı madde kapsaisinden ziyade karabiberin yakıcılık bileşeni olan piperin olarak ifade edilmiştir. Acı kırmızıbiberde bulunan yakıcılık bileşeni kapsaisinın izolasyonu ve Hintlilerin acı kırmızıbiberi kullanmaya başlamasından sonra aynı sağaltım (tedavi, iyileştirme) kapsaisinle de sürdürülmüştür. Ardından tıp kitaplarında kapsaisine de geniş ölçüde yer vermişler ve pek çok hastalığın tedavisinde kullanmışlardır (Verit vd. 2001).

Hintliler tarafından kapsaisinın ilk kullanımı bademcik iltihabının tedavisinde gerçekleştirilmiş ve bu kullanım macun kıvamına getirilen acı kırmızıbiberin bademcik üzerinde oluşan iltihaplanmayı yok etmesi ile sonuçlanmıştır. Acı kırmızıbiber kullanımı ile difteri membranlarının da iltihaplardan arındığını belirtmişlerdir. Bu kullanımlarının yanı sıra Hint tıbbında romatizma ve gut ağrılarında analjezik olarak kullanılmış, ayrıca yılan ısırıklarında da zehrin yayılmasını önlemek ve ısırılan bölgeyi iyileştirmek amacıyla tedavi kürlerine ilave edilmiştir (Verit vd. 2001).

Güney Amerika'da Aztekler inatçı öksürüklerin tedavisinde acı kırmızıbiber ile elde ettikleri macunu kullanmışlardır. Benzer şekilde bronşit ve boğaz irritasyonlarında da acı kırmızıbiber macunu denemişlerdir (Dasgupta ve Fowler 1997). Afrika tıbbında ise acı kırmızıbiber antiseptik olarak yara iyileşmesinde ve bağırsak parazitlerini düşürmede tıbbi bir alternatif olarak denenmiş ve olumlu sonuçlar alındığı rapor edilmiştir (Dasgupta ve Fowler 1997; Verit vd. 2001).

Osmanlı İmparatorluğu döneminde de acı kırmızıbiber tıbbi kürlerin büyük bir çoğunluğunda yer almış, farklı kullanım şekilleri ile hastalıklara çare olması için denenmiştir. Bu dönemde Mısır Çarşısı'nda ilaç olarak satılmış, mide uyarıcı ve iştah açıcı olarak kullanılmıştır. Osmanlı İmparatorluğu döneminde acı kırmızıbiberin en çok kullanıldığı hastalıklar ise soğuk algınlığı, nezle ve boğaz ağrısı olarak belirtilmiş ve bahsi geçen tüm bu hastalıklarda olumlu sonuçlar alındığı Osmanlı tıp kitaplarında yer almıştır (Demirhan 1975; Verit vd. 2001).

Günümüzde kapsaisin gıda ve ilaç sanayisi uygulamalarında oldukça önemli bir yere sahip olmuştur ve pek çok hastalığın tedavisinde kullanılabileceği bilimsel çalışmalarca desteklenmiştir (Varhan 2018).

Birçok araştırmacı kapsaisinın antimikrobiyal (Stanberry vd. 1992; Cichewicz ve Thorpe 1996; Bourne vd. 1999), analjezik (ağrı kesici), antitümör (tümör önleyici),

antioksidan (Park vd. 2000), kan dolaşımını ve metabolizmayı hızlandırıcı, yağ metabolizmasını dengeleyici, sinüsleri açıcı, ateş düşürücü ve anti-inflamatuar (yara iyileştirici) etkileri olduğunu, bu etkilerinin yanı sıra birçok hastalık üzerinde koruyucu, önleyici ve destekleyici özellikleri bulunduğunu rapor etmişlerdir (Park vd. 2000; Verit vd. 2001; Varhan 2018).

Kapsaisin, 1989 yılında Maggi ve ark. tarafından hipersensitif mesane tedavisinde intravezikal olarak kullanılmış, bu kullanımını ve alınan başarılı sonuçları takiben günümüz ürolojisinde de idrar kesesi problemlerinde, üriner sistemin hipersensitif bozukluklarında ve ağır ağrılı mesane tedavisinde kullanılmaya başlanmıştır (Maggi vd. 1989; de Seze vd. 1999).

Literatürde denek hayvanları üzerinde kapsaisinin safra kolesterolünü düşürücü, safra asidi atımını hızlandırıcı ve safra taşı oluşumunu engelleyici etkilerinin olduğunu belirten çalışmalar da mevcuttur (Srinivasan 2016). Bhat ve ark. (1984) yaptıkları çalışmada, diyetlerine %7.5 ve %15 oranlarında kapsaisin ilave edilen farelerin toplam safra asidi miktarlarında düşüş gözlemlendiğini rapor etmişlerdir. Literatürde konu ile ilgili yapılmış bir diğer çalışmada, diyetlerine %0.015 kapsaisin ilave edilen farelerin safra taşı oluşumlarının engellendiği ve oluşumu tamamlanmış safra taşlarının da düşürülebildiği rapor edilmiştir (Hussain ve Chandrasekhara 1992, 1993).

Kapsaisinin kanda bulunan alyuvarlar üzerinde koruyucu etkileri bulunduğunu belirten bir çalışmada, hiperlipidemik koşulların kanda bulunan alyuvarların akışkanlık seviyeleri üzerinde etkili olduğu göz önünde bulundurulduğu zaman, hiperlipidemik koşulları kontrol altında tutan kapsaisinin alyuvarlar üzerinde de dolaylı olarak etkili olduğu bildirilmiştir (Cazana vd. 1990). Kempaiah ve Srinivasan (2002) yaptıkları çalışmada denek farelerini öncelikli olarak 8 hafta boyunca kolesterolce zenginleştirilmiş diyetle beslemiş, bu süreç sonunda kanda kolesterol miktarının büyük oranda yükseldiğini ve farelerin alyuvarlarının akışkanlıklarının oldukça azaldığını gözlemlemişlerdir. Ardından denek farelere %0.015 oranında kapsaisin içeren yeni bir diyet uygulamışlar ve uygulama süreci sonunda hem kandaki kolesterol miktarının kayda değer oranda azaldığını hem de alyuvarların akışkanlıklarının arttığını rapor etmişlerdir.

İltihaplı yaraların iyileştirilmesi amacıyla steroid yapıda olmayan yara iyileştirici ajanların kullanımına yönelik eğilimin artmasıyla birlikte kapsaisin içeren merhemlerin yara iyileştirilmek amacıyla uygulamasına başlanılmıştır. Bu bağlamda kapsaisinin yara iyileştirici etkisinin rapor edildiği pek çok literatür bulunmaktadır. Literatürde kapsaisinin hem *in vivo* hem de *in vitro* olarak yara iyileştirme etkisinin araştırıldığı çalışmalar mevcuttur. Konu ile ilgili yapılmış olan hayvan çalışmalarından birinde, hayvan pençelerinde oluşan yaraların ve ödemlerin iyileştirilmesinde kapsaisin içeren merhemlerin oldukça etkili rol oynadığı rapor edilmiştir (Reddy ve Lokesh 1994; Joe ve Lokesh 1997).

Kapsaisinin sağlık üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmaların önemli bir kısmı, kapsaisinin kolesterol düşürücü ve yağ yakıcı etkileri üzerine yoğunlaşmıştır (Srinivasan 2016). Kapsaisinin kolesterol düşürücü ve yağ yakıcı etkileri üzerine yapılmış olan çalışmalar, bu çalışmalardan alınan sonuçlar ve söz konusu çalışmaları gerçekleştiren bilim insanları Çizelge 2.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.5. Kapsaisinın kolesterol düşürücü ve yağ yakıcı etkileri üzerine literatürde yapılmış olan çalışmalardan bazıları

Denek Türü	Uygulama ve Alınan Sonuç	Kaynak
%40 vücut yağına sahip fare	%5 acı kırmızıbiber veya %0.015 kapsaisin uygulamasının serum kolesterolünü ve karaciğer yağlanmasını azalttığı rapor edilmiştir.	Sambaiah vd. 1978
Fare	1.5, 3 ve 15 %mg kapsaisin uygulamasının serum kolesterolünde düşüşe sebep olduğu gözlenmiştir.	Srinivasan vd. 1980
%10 ve 30 vücut yağına sahip fare	%0.2 kapsaisin uygulamasının serum kolesterolünü kayda değer bir oranda azalttığı rapor edilmiştir.	Srinivasan ve Satyanarayana 1987
Fare	Kapsaisinın subkronik oranı (60 gün boyunca günlük 50 mg/kg uygulama) kolesterol ve trigliserit oranında azalma sağladığı gözlenmiştir.	Monserenusom 1983
%30 iç yağına sahip fare	14 %mg kapsaisin uygulamasının kolesterol düşürücü etki gösterdiği belirtilmiştir.	Kawada vd. 1986
%1 kolesterole sahip fare	Kapsaisinın kolesterol düşürücü etkinin yanı sıra uygulamaya tabi tutulan farelerde fekal sterol ve safra asidinin atımını hızlandırdığı kaydedilmiştir.	Sambaiah ve Satyanarayana 1980
%0.5 kolesterole sahip fare	15 %mg kapsaisin uygulaması ile kolesterol düşürücü etki gözlemlendiği rapor edilmiştir.	Kempaiah ve Srinivasan 2002
Yüksek kolesterole sahip fare	Besinlerle birlikte yedirilen kapsaisinın hepatik kolesterol-7 α -hidrolaz aktivitesini stimüle ettiği rapor edilmiştir.	Srinivasan ve Sambaiah 1991
Yüksek kolesterole sahip tavşan	Kapsaisinın kandaki kolesterol seviyesini ve trigliserit oranını azalttığı kaydedilmiştir.	Negulesco vd. 1983
Yüksek kolesterole sahip hindi	Kapsaisinın uygulamasının kandaki kolesterol miktarını azalttığı, aort damarlarındaki aterosklerotik rahatsızlıkları giderdiği belirtilmiştir.	Ki vd. 1982; Negulesco vd. 1987

Kapsaisinın insan sağlığı üzerinde olumlu etkiler gösterdiği bir diğer konu ise kanserli hücrelerdir. Bu konu üzerinde yapılmış olan çalışmalardan birinde, akciğer kanseri olan farelerde günlük diyetle uygulanan kapsaisinın, kanserli hücrelerde apoptoza neden olduğu rapor edilmiştir (Anandakumar vd. 2012). Akciğer kanseri üzerinde kapsaisinın apoptozik etkisi Lee ve ark. (2010) tarafından da belirtilmiştir. İnsan prostat kanseri hücreleri inoküle edilen farelere kapsaisinli diyet uygulanmış, farelerdeki prostat kanseri hücrelerinin apoptoza uğradığı belirtilmiştir (Mori vd. 2006). Konu ile ilgili yapılmış bir diğer klinik çalışmada, lösemili hücreler üzerinde kapsaisinın doğrudan öldürücü etkisinin bulunduğu rapor edilmiştir (Ito vd. 2004). Acı kırmızıbiberin uygun dozda tüketildiği zaman mide kanserini önlediği ve mevcut

kanserli hücrelerin ölümüne sebep olduğu rapor edilmiştir (Buiatti vd. 1989). Mide hastalıkları üzerinde kapsaisinle yapılmış olan başka bir çalışmada, kapsaisin alımının midede asit oluşumunu yavaşlattığı bu nedenle ülser oluşumuna karşı mideyi koruduğu belirtilmiştir (Satyanarayana 2006). Epidemiyolojik bir çalışmada, günlük diyetlerinde daha sık acı kırmızıbiber tüketen Malezyalı ve Hintli insanlarda görülen ülser oranının, günlük diyetlerinde yok denecek kadar az acı kırmızıbiber tüketen Çinli insanlara göre üç kat daha az olduğu kaydedilmiştir (Kang vd. 1995).

Acı kırmızıbiber ve aktif bileşen olan kapsaisinin antioksidan etkileri üzerine yapılmış olan literatür çalışmaları oldukça geniş kapsamlı olup (Srinivasan 2016), bunlardan bazıları Çizelge 2.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.6. Acı kırmızıbiber ve kapsaisinin antioksidan etkileri olduğunu belirten çalışmalardan bazıları

Denek Türü	Uygulama ve Alınan Sonuç	Kaynak
İnsan eritrosit membranı	Lipit peroksidasyonunun kapsaisin ile inhibe edilebileceği rapor edilmiştir.	Salimath vd. 1986
Fare karaciğer mikrozomları	Lipit peroksidasyonunu tetikleyen Askorbat-Fe ⁺⁺ nin kapsaisin ile inhibe edildiği belirtilmiştir.	Reddy ve Lokesh 1992
Soya fasulyesi fosfolipit lipozomal membranları	Kapsaisin uygulaması ile metil linoleat oksidasyonunun engellendiği rapor edilmiştir.	Okada ve Okajima 2001
Fare karaciğer mitokondrisi	Kapsaisin uygulaması sonucunda ADP/Fe ²⁺ tarafından katalize edilen lipit peroksidasyonunun engellendiği ve DPPH radikalının süpürülebildiği belirtilmiştir.	Kogure vd. 2002
İnsan düşük yoğunluklu lipoproteini	Lipit peroksidasyonunu indükleyen Cu ²⁺ nın kapsaisin uygulaması ile inhibe edilebileceği gösterilmiştir.	Naidu ve Thippeswamy 2002
İnsan poli morf nüveli lökosit (PMNL) hücreleri	Kapsaisin ile 5-lipoksigenaz aktivitesinin durdurulduğu rapor edilmiştir.	Prasad vd. 2004
Fare	Kapsaisinin uygulamasının karaciğer, akciğer, böbrek ve kaslardaki oksidatif stresi azalttığı gösterilmiştir.	Lee vd. 2003
Yüksek yağ içerikli diyet uygulanan fareler	Kırmızı kan hücrelerinin antioksidan özelliklerinin kapsaisin ile artırıldığı rapor edilmiştir.	Kempaiah ve Srinivasan 2004a
Yüksek kolesterole sahip fareler	Kırmızı kan hücrelerinin antioksidan özelliklerinin kapsaisin ile artırıldığı rapor edilmiştir.	Kempaiah ve Srinivasan 2004b

Bilimsel araştırmalarda kapsaisinin diyabet üzerinde de olumlu etkiler gösterdiği belirtilmiş olup, bu konuda yapılmış çalışmalardan birinde, Tip 1 diyabetli fareler üzerinde kapsaisin içeren diyet uygulamanın diyabet hastalığını yavaşlattığı rapor edilmiştir (Tsui vd. 2007). Yine aynı etki Razavi ve ark. (2006) tarafından yapılan benzer bir çalışmada da belirtilmiştir.

Kapsaisinin insan sağlığı üzerine etkilerinin incelendiği literatür çalışmalarının bir kısmı da obeziteye etkileri üzerine yoğunlaşmıştır. Kawada ve ark. (1986) kapsaisinin

termojenik (yağ yakmayı tetikleyici) etkisinin olduğunu ve bu etki sebebiyle obezite şiddetinin ve prevelansının (risk altındaki nüfusta hastalığa sahip olguların sayısı) azaltıldığını belirtmişlerdir. Kapsaisinin yağ oluşumuna sebebiyet veren substrat üzerinde etkili olduğu ve bu etki sayesinde gıda alım isteğinin yavaşlatıldığı literatür çalışmalarında rapor edilmiştir (Lejeune vd. 2003). Westerterp-Plantenga ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada, kapsaisinin doyumluğu arttırdığını, bu nedenle günlük diyet sıklığının azaltılabileceğini ifade etmişlerdir.

Kapsaisinin ağrı kesici etkisinin bulunduğunu gösteren çalışmalardan birinde, kireçlenme rahatsızlığından ve romatizmal ağrılardan muzdarip olan bireyler üzerinde %0.025 ve %0.075 oranında kapsaisin içeren merhemlerin topikal uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulama sonunda sistematik yan etkilere sahip ilaç ve merhemlere, kapsaisin içeren merhemlerin oldukça uygun ve doğal bir alternatif olabileceği ve söz konusu ağrıların bu merhem sayesinde hafifletildiği rapor edilmiştir (Deal 1991; McCarthy ve McCarthy 1991). Ayrıca literatürde kapsaisin içeren merhemlerin topikal uygulama ile nöropatik ağrıları hafifletebildiğine dair çalışmalar da mevcuttur (Derry vd. 2009).

Kapsaisinin insan sağlığı üzerine belirtilen tüm bu faydalı etkilerinin yanı sıra, aşırı tüketime ve tüketici hassasiyetine bağlı olmak üzere bazı zararlı etkilerinin bulunduğunu belirten literatür çalışmaları da mevcuttur. Bu zararlı etkilerin özellikle acı biber tüketiminin yaygın olduğu ülkelerde görüldüğü ve aşırı acı biber tüketiminin sindirim sisteminde tahrişlere, tüketimin daha da yoğunlaşması halinde bu tahrişlerin gırtlak, yemek borusu ve mide kanserlerine yol açabileceği rapor edilmiştir (Bartholomew ve Carlson 1994; Srinivasan 2016).

Kapsaisinin bilimsel çalışmalarca belirtilmiş olan bilinen en önemli zararı gözler üzerinedir. Gözlerle acı biberin ve/veya kapsaisinin doğrudan teması halinde ağrı, yanma, seğirme ve kanlanma gibi göz problemleri görülmekle birlikte, maruz kalma sürecinin uzun zaman boyunca devam etmesi halinde görme kaybına dahi yol açabileceği belirtilmiştir (Goldfrank 2002).

Kapsaisinin uzun süreli kullanımına bağlı olarak tahriş edici etkisi de belirtilmiştir. Konu hakkında yapılmış çalışmalardan birinde, uzun bir süre boyunca kapsaisin içeren merhem ağrılı bölgeye topikal uygulanmasının sonucunda, tedavi edilen bölgenin zamanla duyarsızlaştığı ve bazı primer duyusal nöronların dejenerasyona uğradığı gözlenmiştir (Rains ve Bryson 1995; O'Neil 2001).

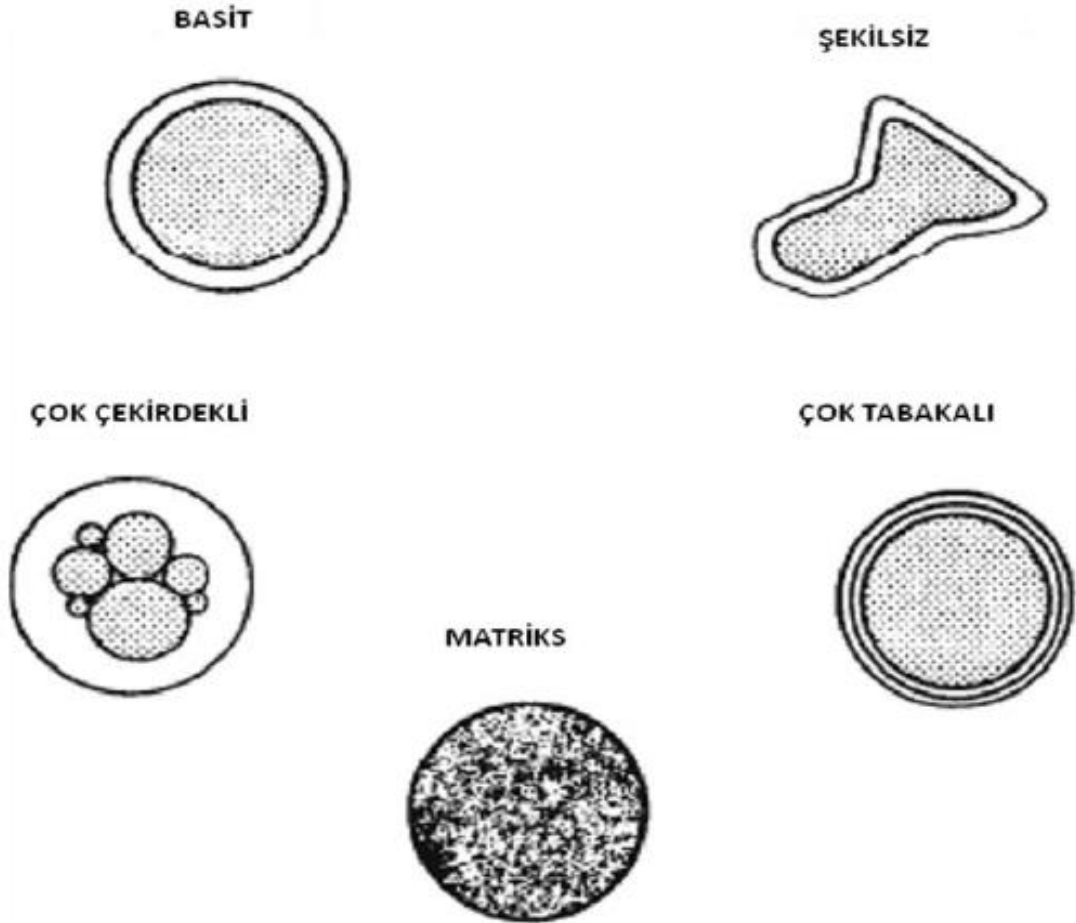
Tüm bu sebeplerden dolayı, bilimsel çalışmalarda kapsaisinin aşırı tüketiminden kaçınılması gerektiği ve günlük uygun dozda (50-80 mg/kg) kapsaisinin alımının sağlık açısından pek çok faydası olduğu rapor edilmiştir (Srinivasan 2016).

2.4. Mikroenkapsülasyon

Enkapsülasyon işlemi en basit şekliyle, bir maddenin veya bir karışımın başka bir madde veya karışımla kaplanması veya hapsedilmesi olarak tanımlanmakta olup, bu işlem sayesinde çekirdek materyali (kaplanan bileşen) ısı, ışık, oksijen ve nem gibi dış etmenlerden korunmaktadır. Ayrıca yine enkapsülasyon işlemi ile çekirdek materyalinin

kontrollü koşul ve hızlarda salınımı mümkün kılınabilmektedir (Gibbs vd. 1999; Koç 2009; Koç vd. 2010; Munin ve Edwards-Lévy 2011; Varhan 2018).

Enkapsülasyon işleminde kaplanan materyal, *çekirdek*, *iç faz* veya *dolgu* olarak isimlendirilirken, kaplama materyali, *kabuk*, *duvar materyali* veya *membran* olarak isimlendirilmektedir. Çekirdek materyali çoğunlukla aktif tek bir bileşen veya karışım olabilirken, kaplama materyali bir veya enkapsülasyon yöntemine ve kullanılan kaplama materyallerinin özelliklerine bağlı olarak birden fazla da olabilmektedir. Enkapsülasyon işlemi sonunda elde edilen enkapsüle son ürün boyutlarına göre makro-, mikro- veya nano- ön ekleri almakta ve bu şekilde adlandırılmaktadır. Enkapsülasyon işleminde elde edilen son ürünün boyutları ve görünüşleri (Şekil 2.5), çekirdek materyalinin fizikokimyasal özelliklerine, kaplama materyalinin kompozisyonuna ve enkapsülasyon yöntemine göre değişiklik göstermektedir (Gharsallaoui vd. 2007; Koç 2009; Koç vd. 2010).



Şekil 2.5. Farklı kapsül tiplerinin morfolojisi (Gibbs vd. 1999)

Mikroenkapsülasyon; aktif bir maddenin (çekirdek materyali) bir veya daha fazla kaplama materyali ile çevresinin sarılması olarak tanımlanmakta olup, mikrometre ve milimetre aralığında partikül büyüklüğüne sahip kapsüllerin elde edilmesinde kullanılan bir teknolojidir. Mikroenkapsülasyon yöntemi ile elde edilen son ürün “*mikrokapsül*” adını almakta ve bir mikrokapsül ağırlığının %10-90’ı kadar çekirdek materyali

içerebilmektedir. Mikrokapsüller basit bir küre şeklinde olup, çevresini sarmış homojen bir duvar şeklinde kaplama materyali bulunmaktadır. (Gouin 2004; Bansode vd. 2010; Kocabıyık 2014).

Mikroenkapsülasyon uygulamasının günümüzde en yaygın kullanıldığı alan %68’lik kullanım oranı ile farmasötik olup, gıda endüstrisinde kullanımı %13 olarak belirtilmiştir. Bu alanların dışında enkapsülasyon uygulamaları tarım, enerji, kimya, boya ve savunma sanayisi gibi alanlarda da sıklıkla kullanılmaktadır (Martins vd. 2014; Varhan 2018).

Mikroenkapsülasyon uygulamasının gıda endüstrisinde kullanımı oldukça eski bir geçmişe sahip olup, son yıllarda fonksiyonel gıdalara artan eğilimle birlikte gıda sektöründe daha yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Gıda endüstrisinde çoğunlukla katı ve sıvı yağlar, aroma bileşenleri, vitaminler, mineraller, renk bileşikleri ve enzimlerin mikrokapsüle edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde mikroenkapsülasyon uygulamasının, mikrokapsüllerin içine ve dışına migrasyonu önlediği, mikrokapsül içinde bulunan ve çekirdek materyali olarak nitelendirilen tat ve aroma bileşikleri ile uçucu bileşenlerin salınımını kontrol ettiği rapor edilmiştir (Koç 2009; Varhan 2018).

Yapılan çalışmalarda mikroenkapsülasyon uygulamasının aşağıda belirtilen amaçlar doğrultusunda gerçekleştirildiği rapor edilmiştir. Gıda endüstrisinde mikroenkapsülasyon uygulamasının temel amaçları;

- Çekirdek materyalini (vitamin, mineral vb.) olumsuz çevre koşullarına karşı koruyarak, oksidasyon gibi olaylar karşısında stabilitesini arttırıp, raf ömrünü iyileştirme,
- İstenmeyen tat, koku vb. özellikleri maskeleyerek materyalin işlenebilirliğini, işlevselliğini ve tüketilebilirliğini arttırmak,
- Yüksek antioksidan aktivite gösteren ancak bunun yanı sıra acı tat veren polifenollerin ve polifenol benzeri bileşiklerin lezzetlerini maskelemek ve fonksiyonel ürün pazarına yeni ürünler kazandırmak,
- Uçucu bileşiklerin hapsedilmek suretiyle uçuculuğunu engellemek,
- Mikroenkapsüllerin gastrointestinal sistemde kontrollü salınımını sağlamak,
- Sıcaklık direnci düşük fonksiyonel bileşiklerin sıcaklığa karşı direncini arttırmak,
- Küçük miktarlarda kullanılması gereken bileşiklerin enkapsüle edilmesiyle seyreltilmesini sağlamak ve seyreltik çözeltiye homojen özellik vermek,
- Materyalin sıkıştırılmasını, taşınmasını ve depolanmasını kolaylaştırmak olarak sıralanabilmektedir (Koç 2009; Koç vd. 2010; Ünal ve Erginkaya 2010; Yallapu vd. 2010; Sagis 2015; Varhan 2018).

Mikroenkapsülasyon işleminin yukarıda sayılan amaçlarına bağlı olarak gıda endüstrisinde farklı pek çok kaplama materyali kullanılmaktadır. Bu kaplama materyalleri ve kullanım amaçları Çizelge 2.7’de belirtilmiştir.

Çizelge 2.7. Mikroenkapsülasyon işleminde farklı amaçlara yönelik kullanılan kaplama materyalleri

Mikroenkapsülasyon Amacı	Kullanılan Kaplama Materyali	Kaynak
Kötü/istenmeyen tadın maskelenmesi	Maltodekstrin, nişasta, selüloz türevleri, zamlar, hidrolize jelatin, lipitler, balmumu ve gomalak	Thevenet 1988; Buckton ve Darcy 1995; Yajima vd. 1999; Chung vd. 2011; Drusch vd. 2012
Gastrointestinal sistemde kontrollü salınım (Enterik kaplama)	Polimerler, eriyikler, nişasta ve selüloz türevleri	Dian vd. 1996; Baldwin vd. 1997; Shpigelman vd. 2010
Kontrollü salınım	Polimerler, eriyikler ve selüloz türevleri	Gareth-Leach 1998; Vilstrup 2001; Chung vd. 2011; Gupta ve Ghosh 2012; Sartori vd. 2015
Stabiliteyi artırma	Arap zıncı, eriyikler, nişasta ve selüloz türevleri	Brake ve Fennema 1993; Guilbert ve Gontard 1994; Buckton ve Darcy 1995; Keogh vd. 1999; Gamboa vd. 2011; Alvim vd. 2016; Paucar vd. 2016
Mikroorganizma kapsülleme	Alginat, pektin	Gareth-Leach; 1998; Vilstrup 2001

Mikroenkapsülasyon işleminde kullanılan kaplama materyali, çekirdek materyalini pek çok olumsuz dış etkene karşı bariyer görevi görerek korumakta, dışardan herhangi bir bileşenle teması girmesini engellemektedir. Bu nedenle, mikroenkapsülasyon işlemi için kullanılacak kaplama materyalinin seçimi, işlem sonunda elde edilecek olan mikrokapsüllerin fonksiyonel özellikleri açısından son derece önemlidir. Mikroenkapsülasyon işlemi ile üstün fonksiyonel özelliklere sahip mikrokapsüller elde edilebilmesi ve yüksek kapsülleme randımanı sağlanabilmesi için, seçilen kaplama materyalinin çekirdek materyali ile reaksiyon vermemesi, düşük viskoziteye sahip olması ve yüksek emülsiyon stabilitesi göstermesi gerekmektedir (Zhu vd. 2012; Mahdavee-Khazaei vd. 2014). Ayrıca bahsedilen bu özellikler dışında kaplama materyallerinde bulunması gereken diğer özellikler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- Kolay işlenebilir nitelikte olmalı,
- Yenilebilir nitelikte, gıda saflığında olmalı,
- Çekirdek materyalini yüksek bir randımanla etkili bir şekilde kapsülleyebilmeli ve materyalin salınımını kontrol edebilmeli,
- Çekirdek materyalinin kolay salınabilmesi ve elde edilen mikrokapsülün instant özellikte olabilmesi için çözünürlük özellikleri iyi olmalı,
- Çekirdek materyalini her türlü kimyasal bozulmaya karşı korumalı,
- Ürünün fizikokimyasal hiçbir özelliğinde olumsuz etki göstermemeli, tatsız, kokusuz ve tercihen renksiz olmalı,

- Çekirdek materyalini dış etkilere karşı koruma görevi üstleneceğinden, dış etkilere karşı dirençli olmalı,
- Enkapsüle edilen materyalin biyoyararlılığında herhangi bir yan etki göstermemeli,
- Ekonomik olmalıdır.

Mikroenkapsülasyon işleminde uygun kaplama materyali seçimi kadar, çekirdek materyale ve mikroenkapsüle edildikten sonra elde edilen tozun kullanım alanına göre, mikroenkapsülasyon tekniğinin seçimi de oldukça önemlidir. Günümüzde faal bir şekilde kullanılan pek çok mikroenkapsülasyon tekniği vardır. Bu teknikler kendi içerisinde fiziksel (püskürterek kurutma, püskürterek soğutma, dondurarak kurutma, ekstrüzyon, sıvı boncuk kaplama), kimyasal (moleküler inklüzyon kompleksasyonu, ara yüzey polimerizasyonu) ve fizikokimyasal (koaservasyon, lipozom tutuklama) teknikler olarak başlıca 3 gruba ayrılmaktadır (Koç vd. 2010; Alvim vd. 2016; Varhan 2018). Çizelge 2.8’de günümüzde kullanılan farklı mikroenkapsülasyon teknikleri ve bu tekniklerde izlenen işlem basamakları gösterilmiştir.

Çizelge 2.8. Günümüzde kullanılan bazı mikroenkapsülasyon teknikleri ve izlenen işlem basamakları (Desai ve Park 2005; Varhan 2018)

Mikroenkapsülasyon Tekniği	İşlem Basamakları
Püskürterek kurutma	• Emülsiyon hazırlama • Emülsiyon homojenizasyonu • Emülsiyon atomizasyonu • Atomize damlacıkların dehidrasyonu
Püskürterek soğutma	• Emülsiyon hazırlama • Emülsiyon homojenizasyonu • Emülsiyon atomizasyonu • Atomize damlacıkların soğutulması
Akışkan yatak kaplama	• Kaplama solüsyonunun hazırlanması • Çekirdek materyalin akışkanlaştırılması • Çekirdek materyalin kaplanması
Ekstrüzyon	• Eritilmiş kaplama solüsyonunun hazırlanması • Eritilmiş polimerlerle çekirdek materyalinin dispersiyonu • Kaplama materyali-çekirdek materyalin soğutulması veya dehidrate sıvının içerisinde geçirilmesi
Dondurarak kurutma	• Çekirdek materyali karışımının kaplama solüsyonu ile karıştırılması • Karışımın dondurulması • Karışımın vakum altında dondurularak kurutulması
Koaservasyon	• Üçlü kimyasal sıvı fazın oluşturulması • Kaplanmış materyalin dinlendirilmesi • Kaplanmış materyalin katılaştırılması
Lipozom tutuklama	• Mikrofludizasyon • Ultrasonikasyon • Uzaklaştırılan kısmın evaporasyonu

2.4.1. Püskürterek soğutma teknolojisi

Püskürterek soğutma yöntemi, püskürterek kurutma yöntemi ile oldukça benzer bir yöntem olup, temel farklılık kullanılan kaplama materyalinden kaynaklanmaktadır. Püskürterek kurutma yönteminde kaplama materyali olarak hidrofilik polimerler seçilirken, püskürterek soğutma yönteminde amacına uygun olarak hidrofobik materyaller seçilmektedir. Püskürterek soğutma yönteminde hidrofobik olması esasına uygun olarak genellikle fosfolipitler, hidrojenize yağlar, mumlar, yağ asitleri, polietilen glikol ve bu materyallerin karışımları kullanılmaktadır. (Chambi vd. 2008; Okuro vd. 2013; Sillick ve Gregson 2012; Matos-Jr vd. 2015; Arslan Tontul 2017; Varhan 2018).

Püskürterek soğutma yönteminde de diğer tüm mikroenkapsülasyon yöntemlerinde olduğu gibi kaplama materyalinin seçimi oldukça önemli bir husustur. Kullanılacak olan kaplama materyalinin termal özellikleri, ara yüzey gerilimi, reolojik özellikleri ve kristalleşme özellikleri göz önünde bulundurulması gereken parametrelerdir. Püskürterek soğutma yönteminde elde edilecek olan mikropartiküller, atomize edilecek emülsiyonun jelleşmesi veya donması ile sertleşeceğinden, kullanılan kaplama materyalinin erime ve donma sıcaklıklarının bilinmesi gerekmektedir (Dickinson 1993; Garti ve McClements 2012; Varhan ve Koç 2018).

Kaplama materyalinin yanı sıra, püskürterek soğutma cihazına mikroenkapsüle edilmek üzere beslenecek olan emülsiyon ve bu emülsiyonun hazırlama aşamaları da son ürün kalitesine ve mikroenkapsülasyon etkinliğine doğrudan etki eden parametrelerdir. Öncelikli olarak emülsiyon hazırlama aşamasında, çekirdek materyalinin, kaplama materyalini içeren matris içerisinde homojen dağılımını sağlamak gerekmektedir. Çekirdek materyal, sıvı veya katı olabilmekte, ayrıca kaplama matrisi ile karışabilir veya karışamaz özellik gösterebilmektedir. Çekirdek materyali kaplama matrisi ile karışamaz durumda ise emülsifikasyon gerekmekte, emülsifikasyonu sağlamak için de yüzey aktif bileşenler (stabilizatörler) kullanılmaktadır (Oxley 2015; Sagis 2015). Stabilizatör seçimi ve kullanım miktarı, emülsiyon kararlılığı ile doğrudan ilişkili olup, dikkat edilmesi gereken hususlardır. Emülsiyon hazırlama aşamasında doğru stabilizatörün kullanımı emülsiyonu kararlı hale getirebileceği gibi, son ürün kalitesini ve mikroenkapsülasyon etkinliğini de etkilemektedir (Appelgyist vd. 2007; Garti ve McClements 2012; McClements 2012; Zungur 2013).

Püskürterek soğutma işleminde kullanılan kaplama materyalleri ve stabilizatörler Çizelge 2.9’da verilmiştir.

Çizelge 2.9. Püskürterek soğutma işleminde kullanılan kaplama materyalleri ve stabilizatörler

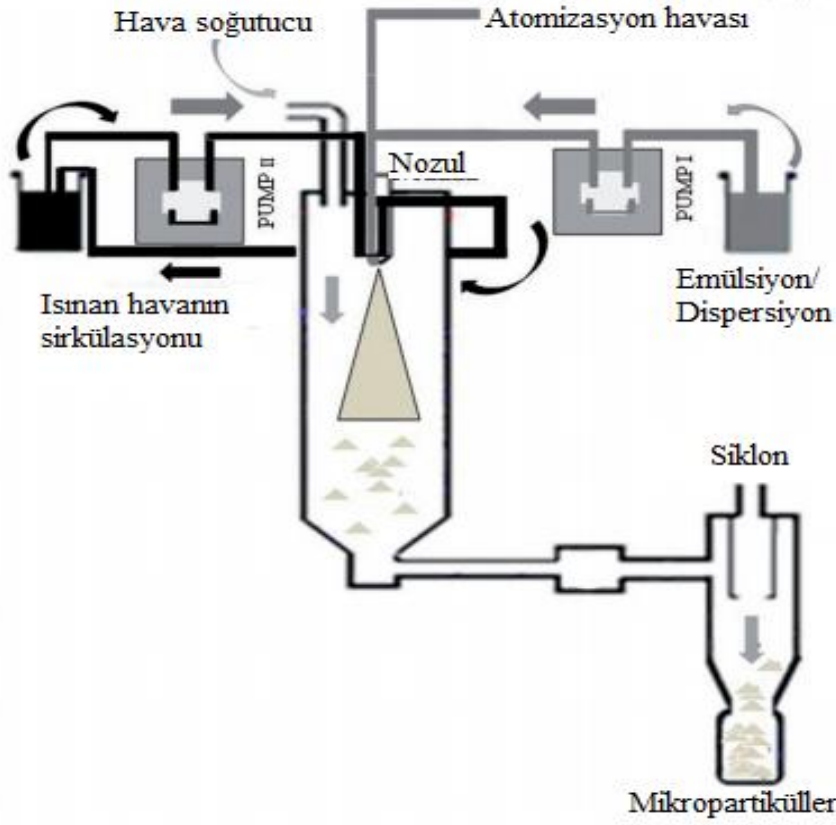
Kullanılan Kaplama Materyali	
Lipitler	Mumlar • Parafin mumu • Kamauba mumu • Kandelilla mumu • Balmumu • Balmumu emülsiyonları
	Reçine • Şellak
	Glikol polimerler • Polietilen glikol
	Yağlar ve gliseritler • Palm yağı • Kanola yağı • Hindistancevizi yağı
	Jelatin
Proteinler ve Karbonhidratlar (Jelleşme gösterenler)	Soya proteini
	Peyniraltı suyu proteini
	Na-Kazeinat
Yüzey Aktif Bileşenler (Stabilizatörler)	Poligliserol polirisinolat (PGPR)
	Soya lesitini
	Sorbitan esterleri

Püskürterek soğutma yöntemi, mikroenkapsüle edilecek olan emülsiyonun bir pompa yardımıyla nozula gönderilmesi, nozuldan soğuk hava doldurulmuş bir soğutma kabinine atomize edilmesi, soğutma kabininden aspirasyon ile siklon içerisine çekilmesi ve ürün toplama kabından mikrokapsüllerin toplanması prensibine dayanmaktadır (Şekil 2.6) (Lakkis 2007; Champagne ve Fustier 2007; Oxley 2012).

Püskürterek soğutma yönteminde, diğer yöntemlere kıyasla yüksek sıcaklık uygulaması yoktur ve başarılı bir salınım mekanizmasına sahiptir. Bu avantajlarından ötürü uzun yıllardır farmasötik kapsüllerin üretilmesinde, dış etkenlere ve özellikle suya duyarlı olan aktif materyallerin ve uçucu bileşenlerin kapsüllenmesinde alternatif bir mikroenkapsülasyon tekniği olarak kullanılmaktadır. Belirtilen avantajlarının yanı sıra püskürterek soğutma yönteminin yüksek ürün verimine sahip olması da literatür çalışmalarınca belirtilmiştir (Matos-Jr vd. 2015; Varhan 2018).

Püskürterek soğutma yönteminde materyal içerisindeki suyun buharlaşması sağlanamadığından kütle transferi gerçekleşmemektedir. Bu sebepten dolayı, atomize edilen damlacıkların soğuk hava ile temasından sonra kusursuz küresel şekillere sahip ve akabilirliği oldukça yüksek toz partiküller elde edilmektedir. Literatür çalışmaları, püskürterek soğutma yönteminde hidrofobik kaplama materyalleri ile enkapsülasyon işlemi gerçekleştiğinden, elde edilen tozların suda çözünmediğini ve bu nedenle

çekirdek materyalinin mükemmel yakın şekilde enkapsüle edildiğini rapor etmişlerdir (Desai ve Park 2005; Gadkari ve Balaraman 2015).



Şekil 2.6. Püskürterek soğutma sistemi (Varhan 2018)

İyot, demir ve A vitamininin stabilitesini arttırmak amacıyla yapılmış bir çalışmada, püskürterek soğutma yöntemi ile iyodat, ferrik pirofosfat ve retinil palmitat kapsüllenmiştir. Kapsüllerin 6 ay süre depolama sonundaki iyot, demir ve A vitamini kayıpları incelenmiştir. Çalışma sonucunda püskürterek soğutma yöntemi ile kapsüllenen örneklerin kapsüllenmeyenlere göre daha stabil olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kapsüllenen ve kapsüllenmeyen örnekler arasında duyusal analiz sonuçlarına göre fark bulunamamıştır. Bu nedenle araştırmacılar, iyot, demir ve A vitamini stabilitesi için püskürterek soğutma yönteminin oldukça etkin bir yöntem olduğunu rapor etmişlerdir (Wegmüller vd. 2006).

Soya yağının kaplama materyali ve E vitamininin de çekirdek materyali olarak kullanıldığı bir çalışmada elde edilen kapsüllerin oksidasyon duyarlılıkları tespit edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre kapsüllenmeyen E vitaminine göre püskürterek soğutma yöntemi ile kapsüllenen örneklerin oksidasyona karşı %90 daha stabil olduğu kaydedilmiştir (Gamboa vd. 2011).

Vitaminler üzerine odaklanılmış olan çalışmalardan bir diğerinde, C vitamini püskürterek soğutma yöntemi ile kapsüllenmiş ve farklı model gıdalar içerisinde

kapsüllerin davranışları belirlenmiştir. Çalışma sonunda araştırmacılar, püskürterek soğutma yöntemi ile kapsüllenen C vitamininin oldukça stabil olduğunu ve ekmek ve bisküvi gibi bazı tahıl ürünlerine rahatlıkla katkılanabileceğini rapor etmişlerdir (Schrooyen vd. 2001). Yine C vitamini ile yapılan bir diğer çalışmada, püskürterek soğutma yöntemi ile kapsüllenen C vitamininin kapsüllenmeyen C vitaminine göre stabilitesinin daha yüksek olduğu ve renk değişimlerine karşı oldukça kararlı olduğu belirtilmiştir (Okuro vd. 2013).

Yağda çözünen bir vitamin olan D vitamini ile yapılmış bir çalışmada, D vitamini püskürterek soğutma yöntemi ile mikroenkapsüle edilmiş, farklı kaplama materyallerinin mikrokapsüller üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda kullanılan kaplama materyallerinin elde edilen mikrokapsüllerin kalitesini etkilediği belirtilmiştir. Ayrıca araştırmacılar, D vitamini kapsüllenmesi için püskürterek soğutma yönteminin başarıyla kullanılabileceğini rapor etmişlerdir (Zoet vd. 2011).

Sillick ve Gregson (2012) yaptıkları çalışmada, gıda katkı maddesi olarak kullanılan eritrolü püskürterek soğutma yöntemi ile kapsüllemişler ve elde ettikleri mikrokapsüllerin stabilitesini belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda eritrolün higroskopisite değerini püskürterek soğutma yöntemi ile kapsülasyon sonucunda %90 oranında azaltabildiklerini rapor etmişlerdir.

İstenmeyen tadı dolayısıyla tüketimi sınırlı kalan soya protein hidrolizati ile yapılmış bir çalışmada, püskürterek soğutma yöntemi kullanılmış ve elde edilen kapsüllerin bazı fizikokimyasal özellikleri ile duyuşal özellikleri tayin edilmiştir. Çalışma sonucunda, soya protein hidrolizatının püskürterek soğutma yöntemi ile kapsüllendiğinde, istenmeyen tadın maskelendiği, stabilitenin artırıldığı ve bağırsakta salınımın daha yüksek olduğu kaydedilmiştir (Salvim vd. 2015).

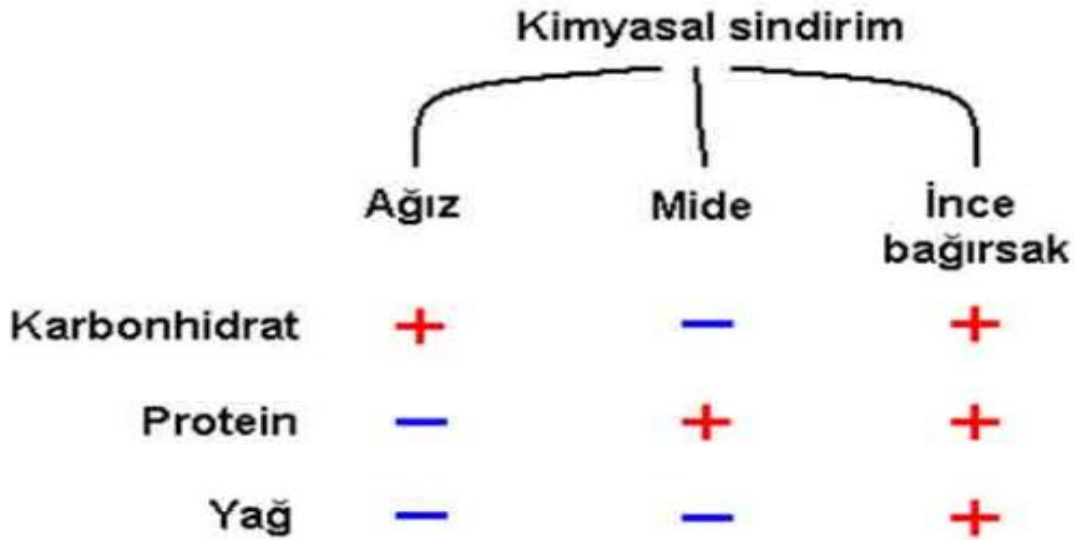
Yağ asitleri ile yapılmış bir çalışmada, püskürterek soğutma yöntemi ile stearik asit mikrokapsülleri üretimi esnasında oleik asit ilavesinin etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda püskürterek soğutma yöntemiyle hem yüksek ürün verimi hem de yüksek enkapsülasyon etkinliği elde edildiği belirtilmiştir. Yağ asitlerinin kapsüllemesinde püskürterek soğutma yönteminin oldukça avantajlı bir yöntem olduğu rapor edilmiştir (Morselli Ribeiro vd. 2012).

2.5. Gastrointestinal Sistem

Gastrointestinal sistem (GIS), ağız ile anüs arasında uzun (8-10 m kadar) tubüler yapı ve bu yapı ile ilişkili birçok organı içine alan ve temel görevi sindirim olan bir sistemdir. Bu sistem, insan vücudunun yaşamını sürdürebilmek için ihtiyaç duyduğu katı besin maddeleri, mineraller, vitaminler ve sıvı gıdaların alınabilmesini sağlayan bir giriş kapısı olarak nitelendirilebilmektedir. İnsan vücuduna alınan protein, yağ ve karbonhidratlar bu sistem sayesinde mide ve bağırsakta sindirilerek vücutta emilebileceği en küçük yapı taşına ayrışır ve ardından bu yapı taşları kana veya lenfatik dolaşıma alınırlar (Guerra vd. 2012; Çomak Göçer vd. 2016; Yazıhan 2017; Anonim 6).

GIS, vücuda alınan besinlerin küçük parçalara ayrıldığı mekanik (fiziksel) sindirim ve küçük parçalara ayrılan besin maddelerinin enzimler ve organ özsuları vasıtasıyla yapı taşlarına ayrıldığı kimyasal sindirim (Şekil 2.7) olmak üzere 2 şekilde

gerçekleşmektedir. Mekanik sindirim, ağızda, midede ve ince bağırsakta gerçekleşmekte olup, dişlerle besinlerin parçalanması, midedeki kasılma ve gevşeme hareketleri ile besinlerin bulamaç haline getirilmesi ve ince bağırsaktaki safra salgısı ile büyük moleküllerin, küçük taneciklerine parçalanması olaylarını kapsamaktadır. Kimyasal sindirim ise, tüketilen besin maddelerinin yapı taşlarına ayrılması işlemi olup, tükürük enzimleri ile ağızda karbonhidratların parçalanması, mide özsuyu ve mide enzimleri ile midede proteinlerin parçalanması ve pankreas özsuyunun yardımı ile ince bağırsakta karbonhidrat-yağ-protein üçlünün parçalanması olaylarını kapsamaktadır (Aktümsek 2001; Keshaw 2004; Çomak Göçer vd. 2016; Anonim 7).



Şekil 2.7. Kimyasal sindirimin gastrointestinal sistemde gerçekleşebildiği sindirim organları (Anonim 7)

İnsan gastrointestinal sistemi (Şekil 2.8) alt ve üst sindirim bölümü olmak üzere 2 ana kısma ayrılmaktadır. Üst sindirim bölümü, ağız, yutak, yemek borusu ve mideden oluşurken, alt sindirim bölümü, ince bağırsak (duodenum, jejunum ve ileum), kalın bağırsak (çekum ve rektum) ve anüsten oluşmaktadır (Çomak Göçer vd. 2016; Anonim 6). Alt ve üst sindirim bölümlerinin elemanları incelenecek olursa;

Ağız; ağız boşluğu, tükürük bezleri, mukoza, dişler ve dili kapsayan bir yapı olup, karbonhidratların kimyasal, diğer besinlerin mekanik sindirimleri burada başlamaktadır. Katı gıdaların ve sıvıların vücuda alınmasına yarayan bir açıklık olup, sindirimin ilk durağıdır.

Yutak; gıdanın ağızdan yemek borusuna geçmesini sağlayan, ağız ve burnun hemen arkasındaki boyun bölümüdür.

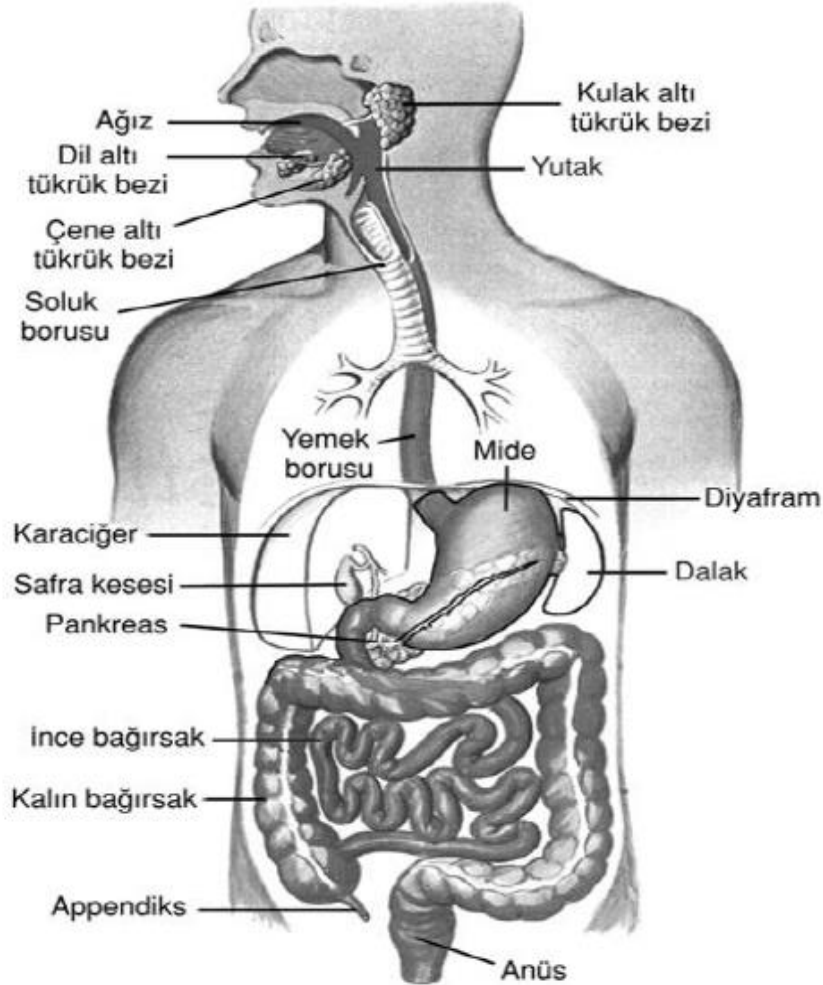
Yemek borusu; özafagus olarak da adlandırılan bu kısım, gıdanın mideye geçmesini sağlayan müsküler bir borudur. Bu kısım sadece peristaltik hareketlerle gıdayı mideye taşır, sindirim olayına katılmaz.

Mide; bu organ yemek borusu ile duodenum (ince bağırsağın ilk kısmı) arasında bulunmaktadır. Oldukça yüksek asidik (pH:~1.5-2) yapıya sahip olan midede peptidaz enzimi bulunmaktadır. Bu nedenle proteinlerin sindirimi midede gerçekleşmektedir.

İnce bağırsak; mide ile kalın bağırsak arasında bulunan bu kısmın uzunluğu erişkin bir insanda 5-6 metreye kadar çıkabilmektedir. Bünyesinde sindirim yüzeyini genişleten villuslar barındırır ve bu villuslar sayesinde sindirim gerçekleşir. Duodenum, jejunum ve ileum olmak üzere 3 kısımdan oluşmaktadır.

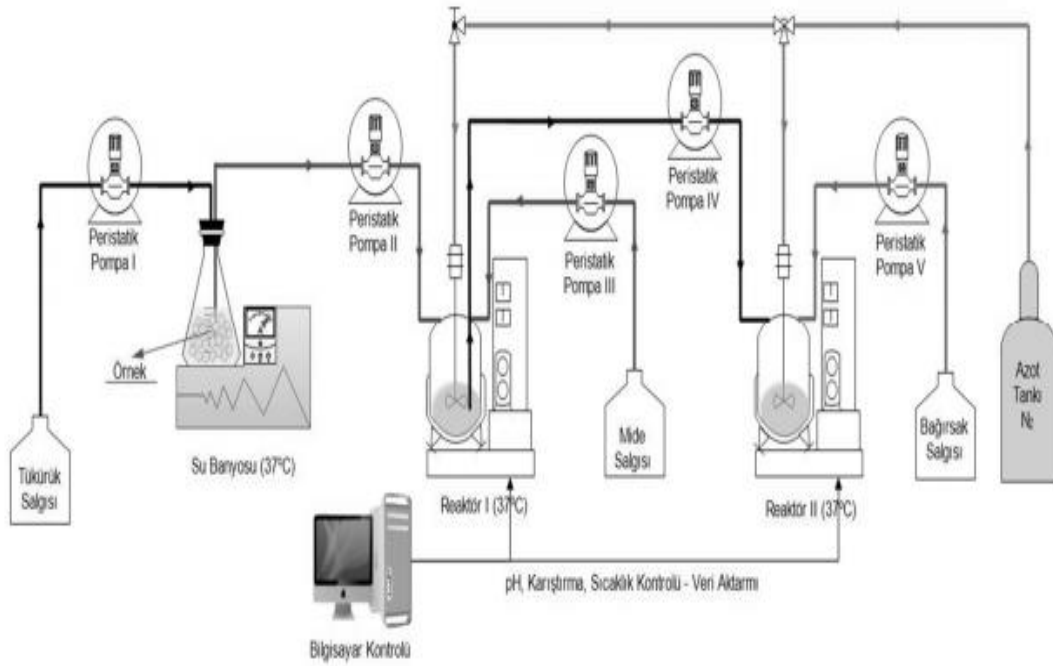
Kalın bağırsak; sindirim olayının sondan bir önceki durağıdır. Bu kısımda tüm sindirim organlarına uğramış posa içinde kalan son su, vitamin ve minerallerin emilimi gerçekleşir. Çekum ve rektum olmak üzere 2 kısımdan oluşmaktadır.

Anüs; kalın bağırsağın son kısmı olan rektumun dış açıklığı olup, sfinkter kaslarca kontrol edilmektedir. Vücuda alınan besinlerden arta kalan atıklar, dışkı olarak anüse gelir ve vücuttan atılırlar (Gürsoy vd. 2005; Başaran 2010; Çomak Göçer vd. 2016; Anonim 8).



Şekil 2.8. İnsan gastrointestinal sistemi ve bu sistemde yer alan organlar (Anonim 9)

Günümüzde gıda endüstrisinde farklı gıdaların gastrointestinal sistemde salınımlarını izleyebilmek amacıyla farklı gastrointestinal modeller kullanılmaktadır. Gastrointestinal sindirim sistemini simüle eden modeller *in vitro* ve *in vivo* modeller olmak üzere 2 çeşittir. Bu modellerden *in vitro* model, statik model olarak da bilinmekte olup, sistemde salınımı izlenecek örneğin genellikle hareketsiz olduğu ve bazı fiziksel işlemlerin (hidrasyon, karıştırma, kayma kuvveti gibi) göz ardı edildiği modellerdir. *In vivo* model (Şekil 2.9) ise dinamik model olarak da adlandırılmakta ve bu model kapsamında *in vivo* koşullarda gerçekleşen fiziksel ve mekanik işlemler ile zamana bağlı tüm değişiklikler de simüle edilmektedir (Chen vd. 2011).



Şekil 2.9. Dinamik gastrointestinal model sistem (Çomak Göçer 2016)

Gıdaların insan vücudunda sindirimlerini simüle edebilmek için, sadece sindirim sisteminin biyokimyasını irdelemek yeterli olmamakta, sindirim işlemi esnasındaki diğer tüm işlemlerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu nedenle sindirim sistemini simüle ederken, insan sindirimini biyokimyası net bir şekilde oluşturulabilmeli, bunun yanı sıra insan vücudunda gerçekleşen mekanik olaylar da tam anlamıyla simülasyon içerisine ilave edilmelidir (Çomak Göçer vd. 2016; Çomak 2016; Wickham vd. 2009).

Gastrointestinal sistem ve gastrointestinal sistemde farklı gıdaların, fonksiyonel bileşiklerin, minerallerin ve vitaminlerin salınımının incelendiği literatür çalışmaları oldukça fazla olup, bu çalışmaların büyük bir çoğunluğu tıbbi çalışmalardır. Bu nedenle, gastrointestinal sistem ile ilgili literatürde yapılmış çalışmalardan bahsedilirken, tıbbi çalışmalardan ziyade gıda bazlı çalışmalar irdelenecektir. Söz konusu bu çalışmalardan bazıları Çizelge 2.10'da verilmiştir.

Çizelge 2.10. Gastrointestinal salınım ile ilgili yapılmış çalışmalardan bazıları (Hur vd. 2011)

Örnek/Amaç	Ölçülen Parametreler	Kaynak
Bebek mamalarından mikotoksin alımının belirlenmesi	Mikotoksin miktarı ve mikotoksinlerin biyoalınabilirliği	Polovic vd. 2008
Yeşil çay kateşinlerinin sindirim miktarının belirlenmesi	Kateşin profili, kateşin içeriği ve kateşin geri kazanımı	Green vd. 2007
Çavdar ekmeğinden demir alımının belirlenmesi	Demir alımı, demir konsantrasyonu, demir absorpsiyonu	Bering vd. 2006
Nişasta sindiriminin belirlenmesi	Nişasta konsantrasyonu, nişasta sindirim oranı	Wolf vd. 1999
Kivi alerjenlerinin gastrointesinal sistemde alerjenitilerinin belirlenmesi	Alerjenlerin sindirim oranları	Bublin vd. 2008
Bebek mamalarından karotenoid alımının belirlenmesi	% karotenoid alımı ve sindirimi	Garrett vd. 1999
Fenolik bileşiklerin, glukosinolatın ve C vitamininin sindiriminin belirlenmesi	Brokolinin flavonoid, glukosinolat ve C vitamini stabilitesi	Vallejo vd. 2004
Nişastanın in vitro sindiriminin belirlenmesi	Nişastanın % sindirim miktarı	Zhang vd. 1996; Kong ve Singh 2008
Bamyadan demir ve çinko alımının tespit edilmesi	Bamyanın kimyasal kompozisyonu ve demir ve çinko içeriği	Glahn vd. 1999
Deniz ürünlerinden selenyum alımının tespit edilmesi	Selenyum içeriği, % selenyum alımının belirlenmesi	Reyes vd. 2006
Ringa balığının gastrointestinal sistemde antioksidan aktivitesinin belirlenmesi	Sindirim modellerinde antioksidan aktivite belirlenmesi	Sannaveerappa vd. 2007
Süt proteinlerinin sindiriminin belirlenmesi	Süt ve peptidin sindirimi	Chartterton vd. 2004

2.6. Merkezi Tümlleşik Tasarım (Central Composite Rotatable Dizayn, CCRD)

İkinci dereceden yanıt yüzey problemlerinin tahminlenmesinde kullanılan merkezi tümlleşik tasarım (CCRD), iki seviyeli tam veya kısmi faktöriyel dizaynlar ile eksenel veya yıldız noktalarının bir araya getirilmesini sağlamaktadır. Oluşturulan dizaynda en az bir merkez nokta bulunmaktadır. CCRD yanıt yüzey problemlerini tahminlemenin yanı sıra lineer ve kuadratik modellerin bir arada incelenmesine de olanak tanımaktadır (Box ve Wilson 1951; Montgomery 2001; Box vd. 2005; Bruns vd. 2006).

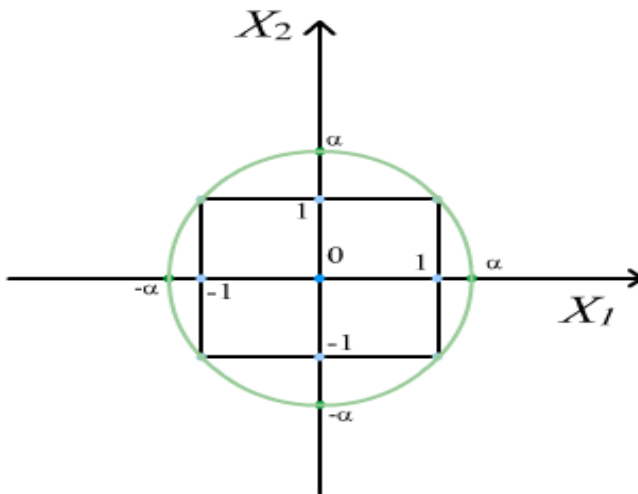
CCRD genellikle k sayıda olan ve $x_1, \dots, x_k$ biçiminde kodlanan faktörler incelendiğinde 3 temel kısımdan oluşur. Bu kısımlar;

- Faktöriyel veya kübik bir tasarım, $x_i = -1$ veya $x_i = +1$ ($i=1, \dots, k$) koordinatında n sayıda nokta içerir.
- Merkez nokta hariç olmak üzere bütün koordinatlarda eksenel veya yıldız kısmı, $n_{ax} = 2 \cdot k$ nokta sayısı kadar sabit bir değere sahip $+\alpha$ veya $-\alpha$;
- Merkez nokta deneme sayısı, $x_i = \dots x_k = 0$ ($i=1, \dots, k$) koordinatlarında n_c deneme sayısı kadardır (Koç 2015).

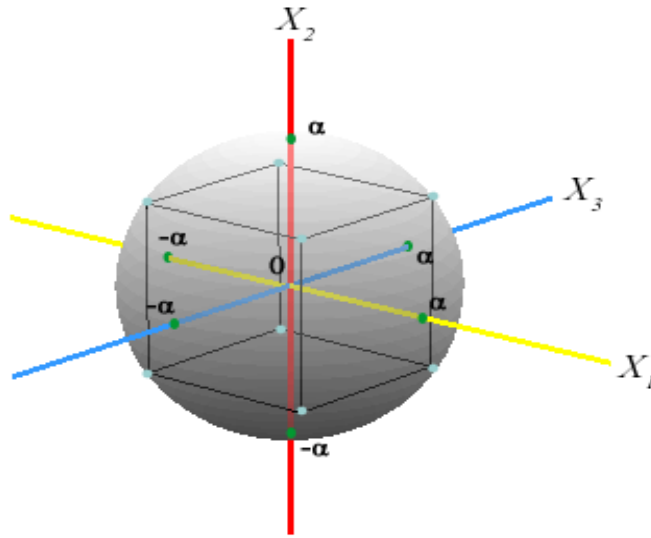
Merkez nokta, bağımsız olarak belirlenen tüm değişkenlerin orta (0) değerini aldığı deneme noktası olarak ifade edilmektedir. Merkez noktada tekrarlanan denemeler serbestlik derecesini uygun hale getirerek, kalıntı hatanın saf deneysel hata ve “Lack of fit” olarak birbirinden ayrılmasını sağlar. Bu durum bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki etkisinin açıklanmasını sağlayan matematiksel modelin test edilmesine olanak sağlamaktadır. “Lack of fit” terimi literatür kaynaklarında model uygunsuzluğu olarak tanımlanmakta olup, matematiksel olarak yapılan model formundan kaynaklanan hatayı ifade etmektedir. Eksenel veya yıldız noktaları olarak belirtilen noktalar ise bağımsız olarak girilen değişkenlerin en yüksek ($+\alpha$) ve en düşük ($-\alpha$) değerlerini aldıkları noktalardır. Söz konusu bu noktalar model eğrilerinin oldukça geniş bir aralıkta tahminlenmesini sağlamaktadırlar (Box vd. 2005; Koç 2009).

Koç (2015) CCRD için verdiği örnekleme;

“Merkezi tümleşik dizayn 2^2 faktöriyel bir tasarıma 4 (n_c) adet merkez ve 4 ($\alpha = (2^k)^{1/4}$, $\alpha=1.414$) adet eksenel noktanın eklenmesi ile elde edilmekte ve toplamda 12 denemeyi içermektedir. Merkezi tümleşik dizayn 2^3 faktöriyel bir tasarım için ise 6 (n_c) adet merkez ve 6 ($\alpha = (2^k)^{1/4}$, $\alpha=1.683$) adet eksenel noktanın eklenmesi sonucunda toplamda 20 denemeyi içermektedir.” ifadesine yer vermiştir. Koç (2015)’un verdiği örnekleme yer alan 2 faktörlü ve 3 faktörlü merkezi tümleşik dizaynlara ait şematik gösterimler sırasıyla Şekil 2.10 ve 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.10. 2 faktörlü merkezi tümleşik dizayn şematik gösterimi



Şekil 2.11. 3 faktörlü merkezi tümleşik dizayn şematik gösterimi

2.7. Optimizasyon

Optimizasyon işlemi, bağımsız değişkenlerin birbirleriyle etkileşimleri ve bu değişkenlerin hedefe/yanıtı olan etkilerinin de göz önünde bulundurulması ile, bir prosesin önceden belirlenmiş olan hedefler/yanıtlar doğrultusunda bir araya getirilip, uygulanması işlemidir. Optimizasyon işleminin literatür çalışmalarınca belirtilmiş olan bir çok faydası bulunmaktadır. Bunlar;

- Prosesin kısa sürede gerçekleştirilmesini sağlar.
- Enerji tasarrufu sağlar ve dolayısıyla süreci ekonomikleştirir.
- Hedefler/yanıtlar doğrultusunda ürün eldesi sağladığından, son ürünün istenilen kalitede olmasına olanak tanır.
- Proses için gerekli olan ve doğru bilgilerin elde edilmesini sağlar (Koç 2009; Koç 2015)

Optimizasyon işleminde genellikle sistem performansını ve/veya son ürün kalite kriterlerini belirleyen çok sayıda yanıtla eş zamanlı olarak çalışılmaktadır. Sistem performansını ve/veya son ürün kalitesini optimize eden bu yanıtlar, kimi zaman maksimum seviyede tutulurken, kimi zaman minimum seviyeye çekilir. Bazı durumlarda bu yanıtlar kabul edilebilir değerler arasına indirgenebilmektedir. Optimizasyon için belirlenen yanıtlardan herhangi biri geliştirilmek istendiğinde bu durum diğer bir yanıt üzerinde olumsuz etki gösterebilmektedir. Bu nedenle optimizasyon çalışmalarında sistemi optimize edecek olan tüm yanıtlar tümüyle bir arada ele alınmalıdır. Böylesi bir durum ise, optimizasyon çalışmalarına oldukça karmaşık bir hal kazandırmaktadır. Çok yanıtlı optimizasyon işlemlerinde ortaya çıkan bu karmaşıklıkla çözmek amacıyla farklı yaklaşımlar öne sürülmüş olup, söz konusu yaklaşımlar;

- Doğrusal olmayan programlama yaklaşımı,

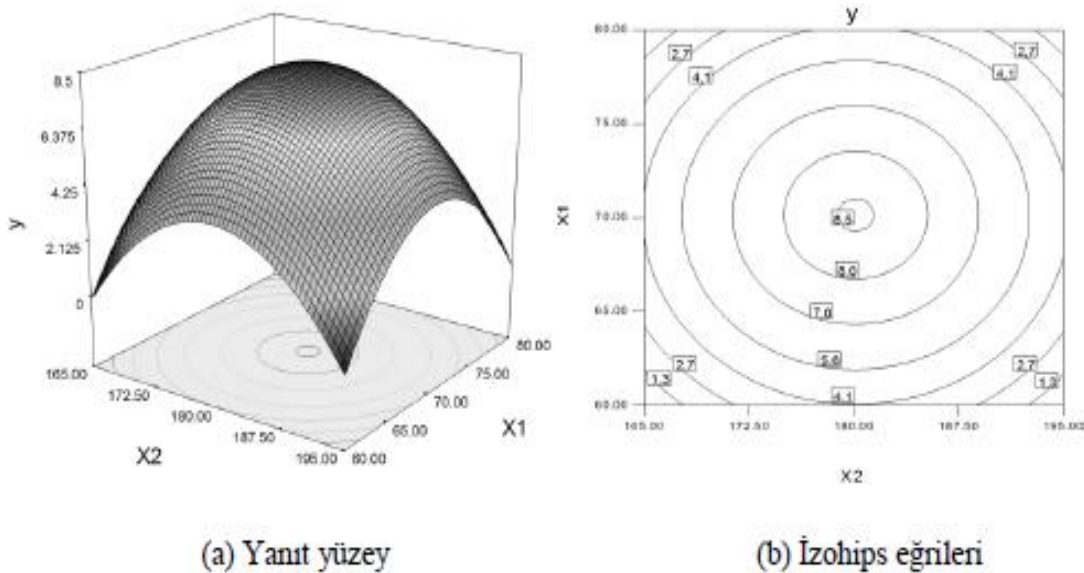
- Eş yükselti eğrilerinin çizilerek üst üste yerleştirilmesi (superimposing) yaklaşımı
- İstenebilirlik fonksiyonu yaklaşımı olarak sıralanmaktadır (Koç 2008; Koç 2009; Koç 2015).

Doğrusal olmayan programlama yaklaşımı

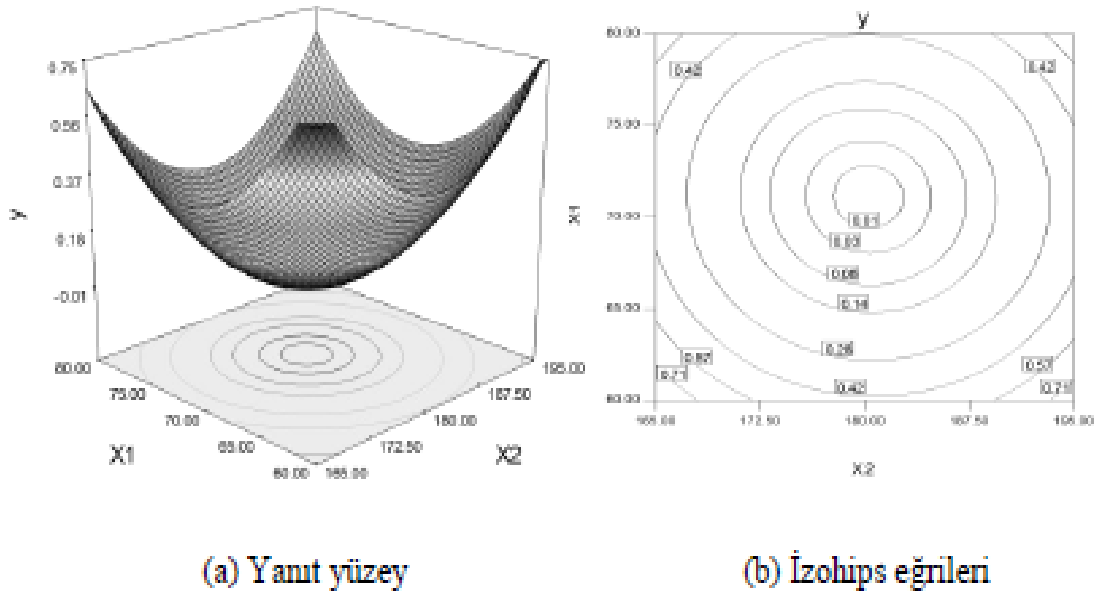
Doğrusal olmayan programlama yaklaşımında, çok yanıtli optimizasyon işleminde karşılaşılan problemler kısıtlanmış (constrained) optimizasyon problemi ile formüle edilerek çözülmeye çalışılmaktadır. Optimizasyon işlemi için belirlenen yanıtlardan bir tanesi optimize edilirken, diğer yanıtlar bazı kısıtlamalara tabi tutularak, kabul edilebilir sınırlar arasına düşürülmektedir. Literatür çalışmaları bu yaklaşım ile çok yanıtli optimizasyon problemlerinin tam anlamıyla çözülemediğini rapor etmişlerdir (Myers vd. 2004; Castillo 2007; Koç 2008).

Eş yükselti eğrilerinin çizilerek üst üste yerleştirilmesi (superimposing) yaklaşımı

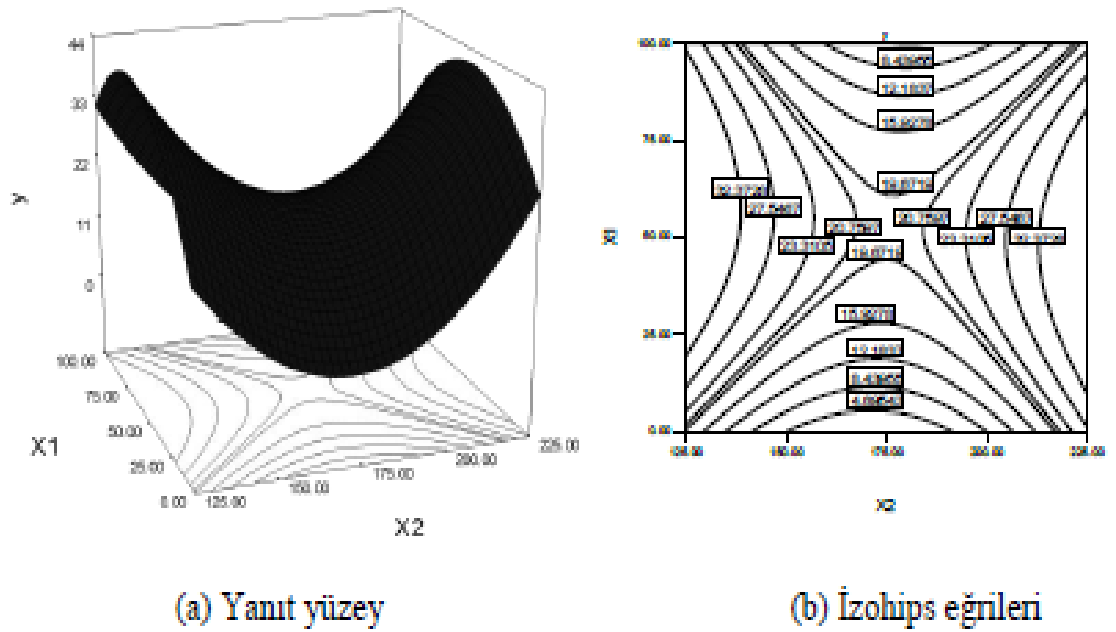
Çok yanıtli optimizasyon problemlerine çözüm olarak önerilen yaklaşımlardan bir diğeri ise yanıtlara ait eş yükselti eğrilerinin çizilmesi ve bu eğrilerin üst üste yerleştirilmesi esasına dayanan superimposing yaklaşımıdır. Eş yükselti eğrileri çizilirken, bağımsız değişkenlerden bir tanesi merkeze alınırken, diğer iki değişkenin sonsuz sayıdaki kombinasyonları oluşmaktadır. İzohips eğrilerinin katsayılarına bağlı olarak, elde edilen eğriler, dairesel, eliptik ya da eyer şeklinde olabilmekte, maksimum nokta, minimum nokta, durgun tepe veya yükselen tepe koşullarını verebilmektedir. Maksimum nokta, minimum nokta ve eyer noktası için elde edilen yanıt yüzey grafikleri ve bunlara ait eş yükselti eğrileri sırasıyla Şekil 2.12, 2.13 ve 2.14'te gösterilmiştir (Koç 2009; Koç 2015; Koç ve Kaymak-Ertekin 2010).



Şekil 2.12. Maksimum nokta için yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrisi



Şekil 2.13. Minimum nokta için yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrisi



Şekil 2.14. Eyer noktası için yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrisi

İstenebilirlik fonksiyonu yaklaşımı

Çok yanıtlı optimizasyon işlemlerinin problemlerine çözüm olarak sunulmuş olan yaklaşımlardan bir diğeri istenebilirlik fonksiyonu yaklaşımı olup, ilk olarak Harrington (1965) tarafından ortaya atılmış, ilerleyen yıllardan Derringer ve Suich (1980) tarafından geliştirilmiştir. İstenebilirlik fonksiyonu yaklaşımı günümüzde çok yanıtlı

optimizasyon çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Koç (2015) çalışmasında istenebilirlik fonksiyonu yaklaşımının temel ilkesini “Tüm yanıtların, boyutsuz istenebilirlik skalasını içeren “İstenebilirlik Fonksiyonu” olarak tanımlanan bir fonksiyon altında toplanmasını ve bu fonksiyonun arzu edilen sonuçları verecek şekilde maksimize edilmesi.” olarak belirtmiştir.

Literatür çalışmalarında istenebilirlik fonksiyonu yaklaşımının 3 temel adımda yürütüldüğü belirtilmiş olup, bu adımlar;

- Bütün yanıtlar için denemelerin yürütülüp, modele uydurulması,
- Her bir yanıt için istenebilirlik fonksiyonu tanımlanması,
- Toplu istenebilirlik fonksiyonunu maksimize eden değişken seviyesinin kombinasyonunun bulunması olarak listelenmektedir.

İstenebilirlik fonksiyonu yaklaşımı, optimizasyon işlemini gerçekleştiren kişinin yanıtlar üzerindeki önceliklerini istenebilirlik fonksiyonları oluşturarak, optimizasyon işlemine dahil etmesine olanak tanımaktadır. İstenebilirlik fonksiyonu 0 ve 1 arasında değişen tek bir yanıt indeksi olup, tüm yanıtların bir araya getirilmesi ile oluşturulmaktadır. Bu değer 1’e yaklaşması, araştırmacının belirlediği kriterleri sağladığını göstermektedir (Lazić 2004). Çizelge 2.10’da istenebilirlik fonksiyonunun standart tahminleme skalası görülmektedir.

Çizelge 2.11. İstenebilirlik fonksiyonu yaklaşımı standart tahminleme skalası (Lazić 2004)

Standart Tahminleme	Sonuç
1	Mükemmel
1-0.8	Çok iyi
0.8-0.63	İyi
0.63-0.37	Yeterli
0.37-0.20	Kötü
0.20-0	Çok kötü

Optimizasyon çalışmalarında her bir yanıt için seçilen ölçütün, maksimum veya minimum hedef değer atanması veya belli bir aralıkta olmasına bağlı olarak farklı istenebilirlik fonksiyonları kullanılmaktadır. Örneğin, yanıtların bazılarının hedeflenen belli bir değere olabildiğince yakın olması hedeflendiğinde (hedef değer en iyi olacak şekilde) istenebilirlik fonksiyonu yanıtlar hedef değerden her iki yönde de uzaklaştıkça sıfıra yaklaşacak şekilde tasarlanmaktadır (Koç 2008).

3. MATERYAL VE METOT

Çalışma kapsamında çekirdek materyal olarak kullanılan kapsaisin ($\leq 67\%$) Xi'an Sobeo Biotech (Shaanxi, Çin) firmasından satın alınmıştır. Enkapsülasyon işlemiinde kaplama materyali olarak kullanılan hidrojene palm yağı FELDA IFFCO Gıda San. Tic. A.Ş. (İzmir, Türkiye) tarafından temin edilmiştir. Emülsiyonda kullanılan rafine ayçiçek yağı (Yudum Gıda San. ve Tic. A.Ş., İstanbul, Türkiye) yerel bir marketten alınmıştır. Emülsiyon hazırlama aşamasında peyniraltı suyu protein izolatı (HardLine Nutrition, İstanbul, Türkiye) ve stabilizatör olarak soya lesitini (Smart Kimya, İzmir, Türkiye) kullanılmıştır. Emülsiyonlara ve enkapsüle kapsaisin tozlarına uygulanan analizlerde kullanılan kimyasallar niteliğine uygun olarak, analitik ve kromatografik saflıkta Sigma-Aldrich (Darmstadt, Almanya) ve Merck (Darmstadt, Almanya) firmalarından temin edilmiştir.

3.1. Kapsaisin Emülsiyonlarının Hazırlanması

Püskürterek soğutma sisteminde toz haline getirilmek üzere kapsaisin içeren emülsiyonlar hazırlanmış olup, söz konusu emülsiyonların hazırlanış aşamaları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır. (Her bir emülsiyondan püskürterek soğutma cihazına beslenmek üzere 200 mL hazırlanmıştır.)

Emülsiyon hazırlama aşamaları:

- 3 g peyniraltı suyu protein izolatı 12 g su içerisinde çözündürülmüştür.
- CCRD deneme deseninde belirtilen oranda (Çizelge 3.1) kapsaisin, yine CCRD deneme deseninde belirtilen oranda (Çizelge 3.1) ayçiçek yağı ile karıştırılmış ve 25 ± 1 °C sıcaklıkta, 60 W güçte, 10 dk boyunca ultrasonik banyo yardımıyla çözündürülmüştür.
- İlk aşamada elde edilen protein çözeltisinin üzerine kapsaisin-ayçiçek yağı karışımı ilave edilmiş ve CCRD deneme deseninde (Çizelge 3.1) belirtilen homojenizasyon hızında 3 dakika boyunca homojenize edilmiştir.
- Önceden 65 °C sıcaklıkta sabit tutulan su banyosu içerisinde bekletilip, eritilmiş olan palm yağı içerisine 1 g soya lesitini emülsiyon stabilizatörü olarak ilave edilmiştir. Ardından CCRD deneme deseninde (Çizelge 3.1) belirtilen homojenizasyon hızında 3 dk boyunca homojenize edilmiştir. (Palm yağı, karışımda yer alan tüm bileşenler ilave edildikten sonra son emülsiyon hacmi 200 mL olacak şekilde tartılmıştır. Bu nedenle her emülsiyonda farklı miktarda palm yağı kullanılmıştır.)
- Elde edilen protein-kapsaisin karışımı, palm yağı-stabilizatör karışımının içerisine damla damla olacak şekilde ilave edilmiş ve deneme deseninde belirtilen (Çizelge 3.1) homojenizasyon hızında 3 dk boyunca tekrar homojenize edilmiştir.

Palm yağının sürekli erimiş olarak kalabilmesi için yukarıda değinilen tüm işlemler 65 °C sıcaklığa set edilen su banyosu içerisinde gerçekleştirilmiştir (Varhan 2018).

Hazırlanan emülsiyonlardan kinetik stabilite, santrifüj stabilitesi, yoğunluk ve viskozite analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için örnekler alındıktan sonra kalan emülsiyon doğrudan püskürterek soğutma cihazına beslenmiştir.

3.2. Püskürterek Soğutma Yöntemi İle Kapsaisin Mikroenkapsülasyonu

Kapsaisin mikroenkapsülasyonu amacıyla hazırlanan emülsiyonlar, emülsiyon stabilizasyonunun zarar görmemesi açısından hiç bekletilmeden doğrudan püskürterek soğutma cihazına (Şekil 3.1) beslenmiştir. Kapsaisin mikroenkapsülasyonu aşamaları Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma kapsamında kullanılan püskürterek soğutma cihazı



Şekil 3.2. Püskürterek soğutma cihazı ile kapsaisin mikroenkapsülasyonu aşamaları

CCRD deneme desenine (Çizelge 3.1) göre püskürterek soğutma yöntemi ile kapsaisin tozu üretiminde etkili bağımsız değişkenler olan homojenizasyon hızı (d/dk), ayçiçek yağının palm yağı içerisindeki oranı (%), püskürterek soğutma cihazı giriş

sıcaklığı (°C) ve emülsiyon içerisindeki kapsaisin oranının (%) etkisi incelenmiştir. Püskürterek soğutma bağımsız işlem değişkenleri olan homojenizasyon hızı 10000-20000 d/dk, ayçiçek yağının palm yağı içerisindeki oranı % 0.5-1.5, püskürterek soğutma hava giriş sıcaklığı 10-20 °C ve emülsiyon içerisindeki kapsaisin oranı % 0.1-0.5 arasında değişmiştir. Bağımsız değişkenler için belirtilmiş olan aralıklar ön deneme çalışmaları ve literatür bilgileri ışığında belirlenmiş olup, bu değişkenlerin püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilen kapsaisin tozunun statik gastrointestinal model sistemde mide ve ağızda salınımları ile mikroenkapsülasyon etkinlikleri üzerine etkileri incelenmiştir.

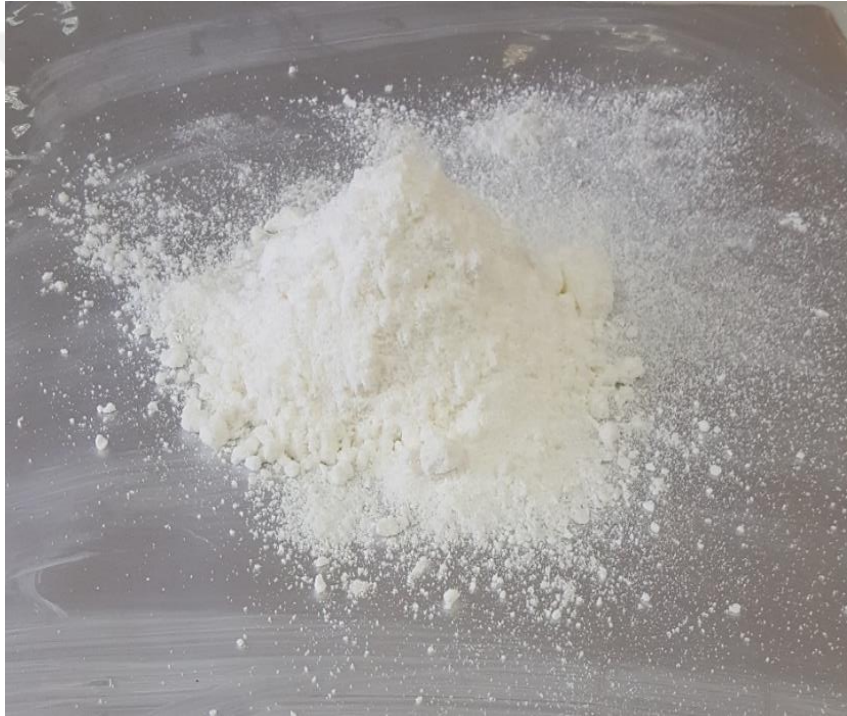
Çizelge 3.1. Kapsaisin mikroenkapsülasyonunda kullanılan CCRD deneme planı

Deneme No	A: Homojenizasyon Hızı (d/dk)	B: Emülsiyondaki Ayçiçek Yağı Oranı (%)	C: Hava Giriş Sıcaklığı (°C)	D: Emülsiyondaki Kapsaisin Oranı (%)
1	12500	0.75	12.50	0.20
2	17500	0.75	12.50	0.20
3	12500	1.25	12.50	0.20
4	17500	1.25	12.50	0.20
5	12500	0.75	17.50	0.20
6	17500	0.75	17.50	0.20
7	12500	1.25	17.50	0.20
8	17500	1.25	17.50	0.20
9	12500	0.75	12.50	0.40
10	17500	0.75	12.50	0.40
11	12500	1.25	12.50	0.40
12	17500	1.25	12.50	0.40
13	12500	0.75	17.50	0.40
14	17500	0.75	17.50	0.40
15	12500	1.25	17.50	0.40
16	17500	1.25	17.50	0.40
17	10000	1.00	15.00	0.30
18	20000	1.00	15.00	0.30
19	15000	0.50	15.00	0.30
20	15000	1.50	15.00	0.30
21	15000	1.00	10.00	0.30
22	15000	1.00	20.00	0.30
23	15000	1.00	15.00	0.10
24	15000	1.00	15.00	0.50
25	15000	1.00	15.00	0.30
26	15000	1.00	15.00	0.30
27	15000	1.00	15.00	0.30
28	15000	1.00	15.00	0.30
29	15000	1.00	15.00	0.30
30	15000	1.00	15.00	0.30

Püskürterek soğutma cihazının besleme tankı cidarlı su banyosu yardımıyla sürekli olarak 65 °C sıcaklıkta sabit tutulmuş ve bu sıcaklıkta cihaza besleme

yapılmıştır. Viskoz yapısından dolayı emülsiyonlar soğutma kabini içerisine serbest düşme gerçekleştiremediği için basınçlı bir sistemle desteklenmiş ve besleme tankı içerisine yaklaşık 1 bar basınç verilmiştir. Basınç yardımıyla emülsiyon, sıcaklığı 65 ± 5 °C dolaylarında sabit tutulan nozul içerisinden geçerek soğutma kabine girmiş, soğutma kabininde soğuk hava ile karşılaştığı anda soğuyup, toz haline gelmiştir. Ardından aspirasyon yardımıyla soğuyan örnekler siklon içerisine çekilmiş ve işlem sonunda elde edilen toz örnek, örnek toplama kabından toplanmıştır. Tüm işlem boyunca aspirasyon yüzdesi 50’de sabit tutulmuş, giriş sıcaklığı CCRD deneme deseninde belirtildiği şekilde ayarlanmıştır.

Püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilen toz örnekler (Şekil 3.3), metodolojide belirtilen analiz yöntemleri uygulanana kadar +4 °C sıcaklıkta buzdolabı koşullarında ve sızdırmaz alüminyum kaplı polietilen ambalaj (ALPE) materyali içerisinde muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.3. Püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilmiş kapsaisin tozu

3.3. Püskürterek Soğutma İşlem Değişkenlerinin Optimizasyonu

Püskürterek soğutma yöntemi ile kapsaisin mikroenkapsülü üretimi için işlem koşulları olarak seçilen homojenizasyon hızı, ayçiçek yağının palm yağı içerisindeki oranı, püskürterek soğutma cihazı giriş sıcaklığı ve kapsaisinin emülsiyon içerisindeki oranı, mikroenkapsülasyon etkinliğini maksimize, ağızda ve midede açılımı minimize edecek şekilde istenebilirlik fonksiyonu yaklaşımı ve eş yükselti eğrilerinin üst üste yerleştirilmesi (Superimposing) yöntemleri kullanılarak optimize edilmiştir. CCRD deneme desenine göre üretilen kapsaisin mikrokapsüllerinin diğer özellikleri ise optimizasyon çalışmasına katılmamıştır. Optimum noktanın belirlenmesinde her bir yanıt için elde edilen ikinci dereceden polinomial modeller kullanılmıştır.

3.4. Emülsiyon Analizleri

Püskürterek soğutma yöntemi ile kapsaisin mikroenkapsülasyonu amacıyla üretilmiş olan tüm emülsiyonlara detayları aşağıda belirtildiği şekilde santrifüj stabilitesi, kinetik stabilite, emülsiyon yoğunluğu ve emülsiyon viskozitesi analizleri uygulanmıştır.

3.4.1. Santrifüj stabilitesi

Santrifüj stabilitesi (SS) analizinin gerçekleştirilebilmesi için 10 mL emülsiyon, 15 mL'lik falkon tüpü içerisine yerleştirilmiş, 4000 d/dk hızda (2133.33 g) 15 dakika boyunca santrifüj edilmiştir (Sciarini vd. 2009). Stabilite sonuçları Eşitlik 3.1'de verilen bağıntı üzerinden hesaplanmıştır.

$$SS (\%) = \frac{f_{ev}}{i_{ev}} \times 100 \quad (3.1)$$

Eşitlikte; f_{ev} , santrifüj sonrası emülsiyon hacmini (mL), i_{ev} , santrifüj öncesi emülsiyon hacmini (mL) ifade etmektedir.

3.4.2. Kinetik stabilite

Kapsaisin mikroenkapsülasyonu için hazırlanan emülsiyonlarda kinetik stabilitenin (KS) belirlenebilmesi amacıyla, 10 mL emülsiyon 15 mL'lik falkon tüpleri içerisine doldurulmuştur. Emülsiyon doldurulan tüpler 65 °C'de sabit tutulan su banyosu içerisine yerleştirilmiş (emülsiyonun erimiş halde kalabilmesi için) ve 2 saat süreyle bekletilmiştir. Bekleme süresinin, 15, 30, 60 ve 120. dakikalarında çökme miktarı belirlenmiş ve emülsiyondan ayrılan sıvı faz yüksekliği ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler üzerinden Eşitlik 3.2'de verilen bağıntı yardımıyla emülsiyonların kinetik stabiliteleri belirlenmiştir (Consoli vd. 2016).

$$KS (\%) = 100 - \frac{100 \cdot f_{af}}{v} \quad (3.2)$$

Eşitlikte; f_{af} , bekleme sonunda emülsiyondan ayrılan sıvı fazın yüksekliğini, v ise tüplere yerleştirilen emülsiyon hacmini ifade etmektedir.

3.4.3. Emülsiyon yoğunluğu ve viskozitesi

Kapsaisin mikroenkapsülasyonu için hazırlanan emülsiyonların yoğunluğu piknometrik yöntemle kütle/hacim oranından belirlenmiştir. Emülsiyonların görünür viskoziteleri yağ fazın erime sıcaklığının en az 5 °C üzerinde bir sıcaklıkta (mevcut çalışma için 65 °C kullanılmıştır) viskozimetre (Fungilab Expert Series, Barselona, İspanya) kullanılarak ölçülmüştür (Tratnik vd 2006).

Hazırlanan emülsiyonların reolojik ölçümleri viskozimetrenin daldırma probu (Kod: TR 8) ile gerçekleştirilmiş ve bu sayede kayma gerilimleri ve kayma hızları hesaplanmıştır. Tüm ölçümlerde sıcaklık 65±0.1 °C'de sabit tutulmuştur. Emülsiyonlara uygun reolojik model ve parametreler Newtonian akış modeli (Eşitlik 3.3), Bingham

plastik akış modeli (Eşitlik 3.4) ve Herschel-Bulkley akış modeli (Eşitlik 3.5) kullanılarak belirlenmiştir.

$$\tau = K\gamma \quad (3.3)$$

$$\tau = \tau_0 + K\gamma \quad (3.4)$$

$$\tau = \tau_0 + K\gamma^n \quad (3.5)$$

Formüllerde; τ_0 , kayma gerilimini (Pa), K, kıvam katsayısını (Pa.s), γ , kayma hızını (s^{-1}) ve n, akış davranış indeksini ($n < 1$ olduğu durumlarda pseudoplastik davranış, $n > 1$ olduğu durumlarda dilatant davranış ve $n = 1$ olduğu durumlarda Newtonian tipi davranış) ifade etmektedir.

3.5. Toz Ürün Analizleri

Püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilen kapsaisin tozlarına ve tüm depolama örneklerine nem, su aktivitesi, yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk, partikül yoğunluğu, akabilirlik, partikül morfolojisi (SEM), partikül boyut dağılımı (LLD), toplam kapsaisin miktarı, serbest kapsaisin miktarı, DSC ile erime sıcaklığı ve erime entalpisinin belirlenmesi, statik gastrointestinal model sistemde salınım tespiti ve Scoville yakıcılık indeksi analizleri uygulanmıştır. Ayrıca her bir toz ürünün üretimini takiben ürün verimleri ve mikroenkapsülasyon etkinlik değerleri hesaplanmıştır. Söz konusu analizlerin detayları aşağıda açıklanmıştır.

3.5.1. Nem oranı ve su aktivitesi

Mikroenkapsüle kapsaisin tozlarının nem oranları gravimetrik yöntemle belirlenmiş olup, bu yöntemle göre; darası alınmış petri kutuları içerisine 1 ± 0.5 g toz örnek tartılmış, sabit tartıma gelene kadar 70°C 'lik kurutma kabinde bekletilmiştir. Son tartımlar üzerinden kurumadde miktarı Eşitlik 3.6'daki bağıntı kullanılarak hesaplanmıştır (Sahin vd. 2009).

$$\text{Nem oranı (\%)} = \frac{ST-D}{BT} \times 100 \quad (3.6)$$

Bu eşitlikte ST; etüvden alınan petri ağırlığı+kuru örnek ağırlığını (g), D; petri darasını (g) ve BT; tartılan örnek miktarını (g) ifade etmektedir. Ayrıca toz örneklerin nem oranı, nem tayin cihazı (Kern DBS 60-3, Balingen, Almanya) kullanılarak da ölçülmüş, analiz sonuçları doğrulanmıştır.

Kapsaisin tozlarının su aktivitesi (a_w) değerleri ise su aktivitesi tayin cihazı Aqua Lab 4TE (Decagon Divices, USA) kullanılarak 25°C sıcaklıkta (oda sıcaklığı) ölçülmüştür.

3.5.2. Yığın yoğunluğu

Toz örneklerin yığın yoğunluğu değerleri, 25 mL hacme sahip silindirik ölçülü bir kap içerisine yaklaşık 2 g örneğin hava boşluğu kalmayacak şekilde doldurulması ve herhangi bir basınç uygulanmaksızın kütle/hacim oranının belirlenmesi ile hesaplanmıştır (Bhandari vd. 1999). Örneklerin yığın yoğunlukları kg/m^3 olarak ifade edilmiştir.

3.5.3. Sıkıştırılmış yoğunluk

Kapsaisin tozlarının sıkıştırılmış yoğunluk değerleri 2.00 ± 0.01 g örneğin 10 mL hacme sahip, silindirik ölçülü bir mezür içerisine doldurulup, 20 cm yükseklikten 3 saniyelik aralıklarla manuel olarak sert bir zemine vurulup, sıkıştırılması ile belirlenmiştir (Bhandari vd. 1999). Örneklerin sıkıştırılmış yoğunlukları kg/m^3 olarak ifade edilmiştir.

3.5.4. Partikül yoğunluğu

Mikroenkapsüle kapsaisin tozlarının partikül yoğunluklarını belirlemek amacıyla Barbosa-Canovas ve ark. (2005)'in kullandıkları yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem gere; sıvı piknometresi yardımıyla, çözgen olarak saf su kullanılarak örneklerin partikül yoğunlukları hesaplanmış ve hesaplamalarda 3.7'de görülen eşitlik kullanılmıştır.

$$\rho_p = \frac{(m_s - m_0)\rho}{(m_l - m_0) - (m_{sl} - m_s)} \quad (3.7)$$

Eşitlikte; m_s toz ürün ile doldurulmuş piknometre ağırlığını (g), m_0 , piknometre darasını (g), ρ , saf suyun yoğunluğunu (1.000 kg/m^3), m_l , saf su ile doldurulmuş piknometre ağırlığını (g) ve m_{sl} , toz ürün+saf su dolu piknometre ağırlığını (g) ifade etmektedir.

3.5.5. Akabilirlik (Carr Index)

Akabilirlik değeri yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri üzerinden hesaplanan boyutsuz bir değer olup, Carr indeks (CI) olarak ifade edilmiştir (Carr 1965). Örneklerin akabilirlik değerlerini hesaplamak amacıyla 3.8'de belirtilmiş olan bağıntı kullanılmıştır.

$$CI = ((\rho_t - \rho_b) / \rho_t) \times 100 \quad (3.8)$$

Bağıntıda; ρ_b örneklerin yığın yoğunluk değerlerini (kg/m^3), ρ_t ise sıkıştırılmış yoğunluk değerlerini (kg/m^3) belirtmektedir.

Carr (1965) yaptığı çalışmada, yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri üzerinden hesaplanan Carr Index (CI) değerlerini, 15'ten küçük olması durumunda çok iyi, 15-20 arasında ise iyi, 20-35 arasında ise zayıf, 35-45 arasında ise kötü ve 45'ten büyük ise çok kötü olarak tanımlamıştır.

3.5.6. Partikül morfolojisi (SEM)

Örneklerin morfolojik özellikleri İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında hizmet alımı yoluyla belirlenmiştir. Çekimler taramalı elektron mikroskobu (SEM) (Carl Zeiss 300VP, Birkerød, Danimarka) vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir.

3.5.7. Partikül boyut dağılımı (LLD)

Kapsaisin tozlarının partikül boyut dağılımı analizleri lazer ışığı kırınımlı (LLD) partikül boyut cihazı (Malvern Mastersizer, Model 2000, Royston, Birleşik Krallık) ile belirlenmiştir. Mikroenkapsüle kapsaisin tozlarının $D_{[4,3]}$ (μm) ve açıklık değerleri belirlenmiş olup, analizler 25 ± 1 °C’de gerçekleştirilmiştir. Analizlerde çözgen olarak saf su kullanılmıştır. Örneklerin partikül boyutları hacim ağırlıklı ortalama yarıçap ($D_{[4,3]}$) olarak ifade edilmiş olup, 3.9’da verilen bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır.

$$D_{[4,3]} = \frac{\sum n_i d_i^4}{\sum n_i d_i^3} \quad (3.9)$$

Formülde yer alan n_i , d_i çapına sahip partiküllerin sayısını belirtmektedir.

Açıklık değeri, belirli bir yığın içerisinde bulunan partiküllerin dağılımını ifade eden bir değer olup, 3.10’da gösterilen bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$\text{Açıklık} = \frac{d_{90} - d_{10}}{d_{50}} \quad (3.10)$$

Bağıntıda gösterilen d_{90} , %90 kümülatif hacme sahip eşdeğer hacimsel çapı, d_{50} , %50 kümülatif hacme sahip eşdeğer hacimsel çapı ve d_{10} %10 hacme sahip eşdeğer hacimsel çapı ifade etmektedir.

3.5.8. Toplam kapsaisin ve serbest kapsaisin miktarı

Püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilmiş olan mikroenkapsüle kapsaisin tozlarının toplam kapsaisin miktarını belirlemek amacıyla Consoli ve ark. (2016)’nin gallik asit için uygulamış oldukları yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemle göre toplam kapsaisin miktarı kromatografik olarak HPLC cihazı ile belirlenmiştir. Örneklerin toplam kapsaisin miktarlarını belirlemek amacıyla 200 mg toz örnek 50 mL’lik falkon tüpü içerisine tartılmış, üzerine 10 mL hekzan ilave edilmiştir. Elde edilen karışım 25 ± 1 °C sıcaklıkta, 60 W güçte ve 10 dakika boyunca ultrasonik su banyosunda bekletilmiştir. Süre sonunda karışımın üzerine 10 mL metanol ve 10 mL ultra saf su ilave edilerek tekrar aynı koşullar altında ultrasonik su banyosunda bekletilmiştir. Çözündürme işleminin ardından karışım, 4000 d/dk hızda 15 dk boyunca santrifüjleme işlemine tabi tutulmuş ve alt fazdan örnek alınmıştır. Alınan örnek 0.45 μm ’lik filtreden geçirilip HPLC’de analiz edilmiştir. Analizler aşağıda detayları verilen kromatografik şartlarda gerçekleştirilmiştir.

HPLC’de kullanılan kromatografi şartları; 60 °C kolon sıcaklığı, 1 μL örnek hacmi, 1.5 mL/dk akış hızı, UV-dedektör ile 222 nm dalga boyu ve 50:50 asetonitril:su mobil fazı olarak belirlenmiştir (Al Othman vd. 2011).

Mikroenkapsüle kapsaisin tozlarının kapsüllenemeyen ve dış duvar materyalinin (palm yağı) dışında kalan kapsaisin miktarını belirlemek amacıyla serbest kapsaisin analizi gerçekleştirilmiştir. Analizi gerçekleştirmek için, 200 mg toz örnek 50 mL'lik falkon tüpü içerisine tartılmış, üzerine 10 mL kloroform ilave edilmiştir. Elde edilen karışım 1 dakika boyunca vortekslelendikten sonra 10 dakika boyunca düz bir zeminde sabit bekletilmiştir. Süre sonunda karışımın üzerine 10 mL metanol ve 10 mL ultra saf su ilave edilerek tekrar 1 dakika vortekslenmiş ve 10 dakika boyunca düz bir zeminde sabit olarak bekletilmiştir. Ardından karışım, 4000 d/dk hızda 15 dk boyunca santrifüjleme işlemine tabi tutulmuş ve üst fazdan örnek alınmıştır (Consoli vd. 2016). Alınan örnek 0.45 µm'lik filtreden geçirilip HPLC'de toplam kapsaisin miktarının belirlenmesinde kullanılan aynı kromatografik koşullarda analiz edilmiştir (Al Othman vd. 2011).

3.5.9. DSC ile termal erime davranışının belirlenmesi

Püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilen mikroenkapsüle kapsaisin tozlarının ve kaplama işleminde duvar materyali olarak kullanılan palm yağının termal erime davranışları diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) (Perkin Elmer, DSC 6000, Massachusetts, ABD) ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, yaklaşık 6-7 mg örnek sızdırmaz alüminyum kaplar içerisine tartılmış ve kapakları hava almayacak şekilde kapatılmıştır. DSC fırını azot gazı ile dakikada 50 mL'lik bir akışla şartlandırılmıştır. Örnekler 25 °C ilk sıcaklıktan dakikada 15 °C'lik artışla 90 °C'lik son sıcaklığa ulaştırılmıştır. Örneklerin termal erime davranışlarının değerlendirileceği termogramlar cihazın yazılımı (Pyris Manager Software, Perkin Elmer, Massachusetts, ABD) sayesinde elde edilmiş ve bu termogramlar üzerinden örneklerin erime sıcaklıkları (T_m) ve erime entalpileri (ΔH) hesaplanmıştır.

3.5.10. Statik gastrointestinal model sistemde kapsaisin salınımı

Mikroenkapsüle kapsaisin tozlarının statik gastrointestinal model sistemde salınımlarını incelemek amacıyla, ağız (Minekus vd. 2014), mide ve bağırsak (Chang ve Nickerson 2018) model çözeltileri hazırlanmış, kapsaisin mikrokapsüllerinin vücut sıcaklığında (37 °C) bu çözeltiler içerisinde salınım miktarları HPLC cihazında kromatografik olarak belirlenmiştir. Model çözeltilerin hazırlanma aşamalarının detaylarına aşağıda değinilmiştir.

Ağız model çözeltisi hazırlama aşamaları;

- 5 mL KCl (0.5 mol L^{-1}),
- 5 mL KH_2PO_4 (0.5 mol L^{-1}),
- 0.85 mL NaCl (2 mol L^{-1}),
- 10 mL NaHCO_3 (1 mol L^{-1}),
- 5 mL $(\text{NH}_2)_2\text{CO}_3$ (0.5 mol L^{-1}),
- 145 mg α -amilaz
- Belirtilen kimyasallar karıştırılıp, karışımdan 10 mL ağız kapaklı cam bir şişe içerisine alınmıştır.

- Alınan karışımın üzerine 1 g kapsaisin mikrokapsülü tartılıp, 37 °C’de sabit tutulan çalkalamalı su banyosu içerisinde 100 d/dk hızda 30 saniye süreyle bekletilmiştir.

Mide model çözeltisi hazırlama aşamaları;

- 2 g NaCl ve 7 mL HCl (%36) 900 mL ultra saf su içerisinde çözündürülmüştür.
- 3.2 g pepsin bu çözelti içerisine ilave edilip çözündürüldükten sonra çözelti hacmi 1000 mL çizgisine tamamlanmıştır.
- Hazırlanan stok sıvının pH değeri 1 M NaOH veya 1 M HCl kullanılarak 1.2 değerine ayarlanmıştır.
- pH değeri ayarlanan çözeltiden 10 mL ağzı kapaklı cam bir şişe içerisine alınmıştır.
- Alınan karışımın üzerine 1 g kapsaisin mikropartikülü tartılıp, 37 °C’de sabit tutulan çalkalamalı su banyosu içerisinde 100 d/dk hızda 2 saat süreyle bekletilmiştir.

Bağırsak model çözeltisi hazırlama aşamaları;

- 6.8 g KH_2PO_4 ve 77 mL NaOH (0.2 N) 750 mL ultra saf su içerisinde çözündürülmüştür.
- Çözündürüldükten sonra 10 g pankreatin ilave edilip, tekrar karıştırılıp, çözündürülmüştür.
- Hazırlanan stok sıvının pH değeri 1 M NaOH veya 1 M HCl ile 6.8’e ayarlanmıştır.
- pH değeri ayarlanan çözeltiden 10 mL ağzı kapaklı cam bir şişe içerisine alınmıştır.
- Alınan karışımın üzerine 1 g kapsaisin mikropartikülü tartılıp, 37 °C’de sabit tutulan çalkalamalı su banyosu içerisinde 100 d/dk hızda 2 saat süreyle bekletilmiştir.

Model çözeltilerde bekleme sürelerinin sonunda elde edilen çözeltiler önce kaba filtre kağıdından, ardından 0.45 μm filtreden geçirilip, doğrudan HPLC cihazına enjekte edilmiş, toplam ve serbest kapsaisin miktarlarının belirlenmesi için kullanılan aynı kromatografi koşullarında analiz edilmiştir.

3.5.11. Scoville yakıcılık indeksi

Püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilen kapsaisin mikrokapsüllerinin Scoville yakıcılık indeksleri Topuz (2002) tarafından kullanılan yöntem ile hesaplanmıştır. Bu çalışmaya göre; örneklerin Scoville yakıcılık indekslerini belirlemek amacıyla, 1.00 ± 0.01 g örnek 50 mL’lik ölçülü balon içerisine tartılmış ve balon ölçüm çizgisine kadar %95’lik etanol ile tamamlanmıştır. Elde edilen çözelti 1 gün boyunca karanlık koşullarda bekletilmiş ve bekleme süresinin her 6 saatlik periyodunda çalkalanmıştır. 1 gün bekleme süresinin ardından ekstrakt %5’lik sakkaroz çözeltisi ile 100 mL’lik ölçülü balonlar içerisine değişik konsantrasyonlarda seyreltilmiştir. Analiz konusunda daha önceden eğitilmiş ve deneme analizleri gerçekleştirilmiş olan 5 adet paneliste yakıcılık bakımından en seyreltik olandan başlamak koşulu ile sırasıyla

tattırılmıştır. Panelistlerin yakıcılığı tanımlayabildiği ilk çözeltinin seyreltme faktörü belirlenmiştir. 5 panelistten en az 3'ünün yakıcılığı hissedebildiği en seyreltik çözeltinin seyreltme faktörü Scoville yakıcılık indeksi (Scoville heat unit) olarak kabul edilmiştir.

3.5.12. Ürün verimi ve mikroenkapsülasyon etkinliği

Püskürterek soğutma cihazına beslenen emülsiyon ve cihazdan elde edilen toz ürün üzerinden hesaplanan ürün verimi Eşitlik 3.11'de belirtilen bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır (Sahin-Nadeem ve Ozen 2014).

$$Verim (\%) = \frac{100 \times U}{E} \quad (3.11)$$

Eşitlikte; U, püskürterek soğutma cihazının ürün toplama kabından alınan toz partikül ağırlığını (g), E ise püskürterek soğutma cihazına beslenen emülsiyon ağırlığını (g) ifade etmektedir.

Mikroenkapsülasyon etkinliği değeri mikroenkapsüller içerisine yüklenen kapsaisin miktarı ve kapsüllenemeyip dışarda kalan kapsaisin miktarı üzerinden hesaplanan bir değer olup, çekirdek materyalinin % kaç etkinlikle yüklenebildiğini belirtmektedir. Kapsaisin mikrokapsüllerinin mikroenkapsülasyon etkinliği değerleri Consoli ve ark (2016)'da rapor edilen yöntemle belirlenmiş olup, hesaplamalarda Eşitlik 3.12'de verilen bağıntı kullanılmıştır.

$$ME\% = \frac{TK-SK}{EK} \times 100 \quad (3.12)$$

Bağıntıda yer alan ME, yüzde mikroenkapsülasyon etkinliğini, TK, toplam kapsaisin miktarını (mg/kg), SK, serbest kapsaisin miktarını (mg/kg) ve EK, emülsiyondaki kapsaisin konsantrasyonunu (mg/L) ifade etmektedir.

3.6. Depolama

Depolama denemeleri, optimum işlem koşullarında ve püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilmiş kapsaisin mikrokapsüllerinin ALPE ambalaj materyali içerisine yerleştirildikten sonra 4 °C sıcaklıkta buzdolabı koşullarında ve 25 °C sıcaklıkta oda koşullarında 60 gün (2 ay) süre ile depolanması ile gerçekleştirilmiştir. Ancak 25 °C'de depolanan örneklerde depolamanın 30. gününden itibaren küflenme gözlenmiş (Şekil 3.4), analiz hatası olabileceği düşünülerek 25 °C'de tutulan örnek için yeniden optimum koşullarda üretim yapıp, 60 günlük depolama süreci başlatılmıştır. Fakat doğrulama denemesinde de 30. gün sonunda aynı örnekte küflenme gözlenince ambalaj materyalinin değiştirilmesine karar verilmiştir. Bu nedenle 25 °C'de depolanan örnekler için ALPE ambalaj materyali yerine vakum paketlenme yapılmış (Şekil 3.5) ve depolamaya bu şekilde devam edilmiştir. Depolama denemeleri 2 paralel şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. 25 °C’de depolanan ve 30. depolama gününde küflenmeye başlayan kapsaisin tozları



Şekil 3.5. Küflenme problemine çözüm olarak vakum ambalaj tekniği ile paketlenmiş, 25 °C’de depolanan kapsaisin tozları

3.6.1. Depolama analizleri

Depolama denemeleri boyunca örneklere depolama sürecinin her 15 günlük periyodunda metodolojide belirtilen tüm toz analizlerinin yanı sıra detayları aşağıda belirtilen şekilde peroksit analizi uygulanmış, örneklerin oksidatif stabiliteleri belirlenmiştir.

3.6.1.1. Peroksit analizi

Peroksit sayısı, yağlarda bulunan aktif oksijen miktarının bir ölçüsü olup, 1 kg yağda bulunan peroksit oksijeninin mili eşdeğer (mEq) gram olarak miktarıdır. Peroksit sayısı tayininin esası, potasyum iyodürün yağdaki peroksit oksijeni ile okside olarak iyodun serbest hale geçmesi ve bu serbest haldeki iyodun da sodyum tiyosülfat ile titre edilerek miktarının bulunmasıdır.

Püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilmiş kapsaisin tozlarında depolama boyunca oksidatif stabilitenin belirlenmesi amacıyla peroksit analizleri yapılmış ve analiz literatür çalışmaları doğrultusunda gerçekleştirilmiştir (Kasimoglu vd. 2018). Uygulanan yöntemine göre; 2.5 g toz örnek erlen içerisine yerleştirilip, üzerine 20 mL asetik asit:izooktan (50:50) karışımı eklenmiştir. Erlen çalkalanarak yağın çözünmesi sağlanmıştır. Ardından karışımın üzerine 1 mL doymuş potasyum iyodür çözeltisi ilave edilip, 1 dakika boyunca çalkalanmıştır. Elde edilen karışım 5 dakika boyunca karanlık bir ortamda bekletilmiş ve bekleme süresinin sonunda 1 mL nişasta çözeltisi (saf su ile hazırlanmış %1'lik) ilave edilmiştir. Kısa süreli çalkalama işleminin ardından çözelti 0.002 N sodyum tiyosülfat çözeltisi ile siyah-mavi renk şeffaf olana kadar titre edilmiştir. Titrasyonda harcanan sodyum tiyosülfat çözeltisinin miktarı kaydedilip, peroksit sayısı 3.13'te gösterilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$PS (mEq \text{ peroksit/kg örnek}) = S \times N \times 100 / g \text{ örnek} \quad (3.13)$$

Bağıntıda; PS, peroksit sayısını, S, titrasyonda harcanan sodyum tiyosülfat miktarını (mL) ve N titrasyonda kullanılan sodyum tiyosülfatın normalitesini ifade etmektedir.

3.7. Model Gıda Denemeleri

Püskürterek soğutma yöntemi ile optimum koşullarda üretilen mikroenkapsüle kapsaisin tozları model gıdalar içerisinde denenerek tüketici beğenisi ve mikroenkapsüle kapsaisin tozlarının gıda sistemlerinde verdiği tepkiler ölçülmüştür. Model gıda olarak seçilen gıdalar farklı gıda sistemlerini temsil etmiş olup, bu bağlamda günlük tüketilen gıdalar olarak süt, ayran ve salata sosu, ısıl işlem görmüş şekerli gıda olarak sade kek, ısıl işlem görmüş tuzlu gıda olarak ekmek, yağlı emülsiyonu temsilen mayonez ve asidik gıdaları temsilen portakal suyu seçilmiştir. Ancak model gıda denemeleri esnasında içerisine mikroenkapsüle kapsaisin tozu ilave edilen portakal suyu, asidik yapısından, su oranının yüksek olmasından ve yağ içermemesinden dolayı mikroenkapsüle tozları çözmemiş (Şekil 3.6), bu nedenle portakal suyu model gıda denemelerinden çıkarılmıştır.



Şekil 3.6. Portakal suyu içerisinde çözünmeyen kapsaisin tozları

3.7.1. Model gıdaların hazırlanışı ve servis edilmesi

Model gıdaların hazırlanabilmesi için öncelikle püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilen mikroenkapsüle kapsaisin tozlarından gıdalar içerisine ne kadar ilave edileceğine karar verilmiştir. Duyusal analizler, literatür çalışmaları (Anonim 10; Nolden ve Hayes 2018) da göz önünde bulundurularak 3 örnek üzerinden gerçekleştirilmiş, bu örneklerin detayları aşağıda verilmiştir.

- 1. Örnek: İçerisine herhangi bir şey katkılanmamış model gıda (Kontrol örneği)
- 2. Örnek: 100 g son ürüne mikroenkapsüle kapsaisin tozu (0.25 g) eklenmiş model gıda
- 3. Örnek: 100 g son ürüne saf kapsaisin (0.00075 g) eklenmiş model gıda (Anonim 11; Janssens vd. 2013)

Örnekler panelistlere 1, 2 ve 3 sırası ile tattırılmış, panelistlerden örneklerde hissettikleri yakıcı tada göre yoğunluk (Şekil 3.7) ve beğeni skalası (Şekil 3.8) olmak üzere 2 farklı skalayı doldurmaları istenmiştir. Duyusal analizler daha önceden eğitilmiş 10 panelist tarafından gerçekleştirilmiş, aşırı sapma gösteren panelistlerin verileri hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Tarih:

Panelistin Adı-Soyadı:

Değerlendirilen Örnek Kodu:

Değerlendirilen Örnek: Mayonez

Sizlere sunulan örnekleri tattıktan sonra hissettiğiniz/hissedemediğiniz acı tadı aşağıda verilen skala üzerinde uygun olan yoğunluk değeri ile tanımlayınız. İlgi ve alakanız için teşekkürler.

100	→	İnanılmaz derecede yoğun (100)
90		
80		
70		
60		
50	→	Çok güçlü yoğunlukta (53.3)
40		
30	→	Güçlü yoğunlukta (35.4)
20		
10	→	Hafif yoğunlukta (17.2)
	→	Zayıf yoğunlukta (6.1)
0	→	Tespit edilmesi oldukça zor (1.4)

Şekil 3.7. Model gıda denemelerinde kullanılan yoğunluk skası

Tarih:

Panelistin Adı-Soyadı:

Değerlendirilen Örnek: Sade Kek

Sizlere sunulan örnekleri tattıktan sonra hissettiğiniz/hissedemediğiniz acı tattan yola çıkarak örnekleri sevip sevmediğinizi solda yer alan skala üzerinde uygun olan puanla değerlendiriniz (Değerlendirme puanları en altta yer alan tablo üzerindedir). Ayrıca sağda yer alan skalada da en iyi ve en kötü örneği işaretlemenizi rica ederiz. İlgili ve alakanız için teşekkürler.

Beğeni Değerlendirmesi		
Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3

En Beğenilmeyen		En Beğenilen
☐	Örnek 1	☐
☐	Örnek 2	☐
☐	Örnek 3	☐

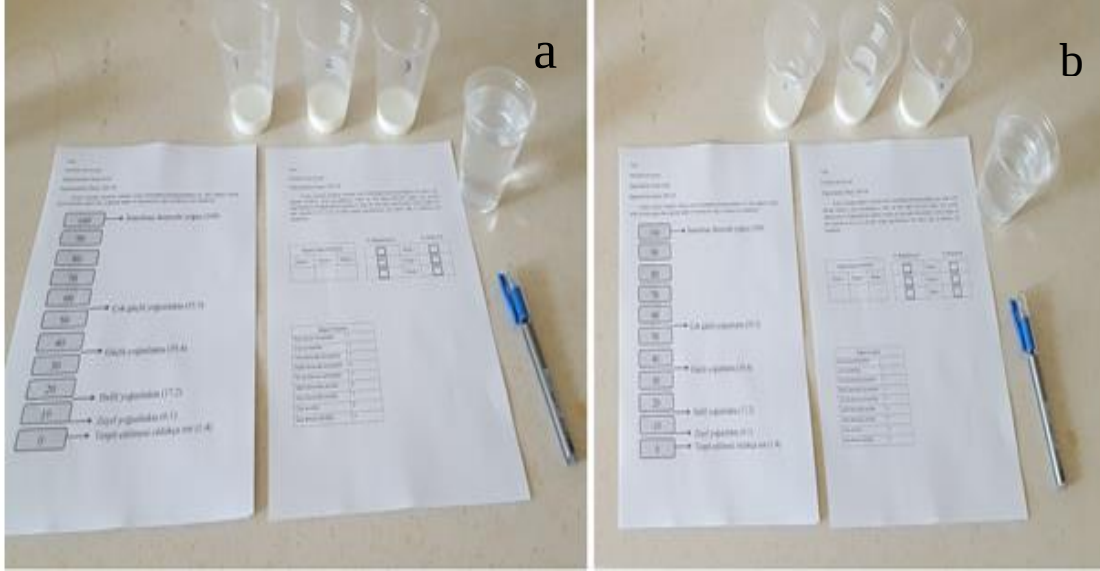
Beğeni Puanları	
Son derece sevmedim	1
Çok sevmedim	2
Orta derecede sevmedim	3
Hafif derecede sevmedim	4
Ne sevdim ne sevmedim	5
Hafif derecede sevdim	6
Orta derecede sevdim	7
Çok sevdim	8
Son derece sevdim	9

Şekil 3.8. Model gıda denemelerinde kullanılan beğeni skalası

(Depolama Pazartesi günü başlatıldığı ve 5. ve 6. depolama günü hafta sonuna denk geldiği için panelist bulmakta sıkıntı yaşanmış, aynı panelistlerle devam edip standart sapmayı düşük tutmak istendiği için hafta sonuna denk gelen analizler yapılmamıştır.)

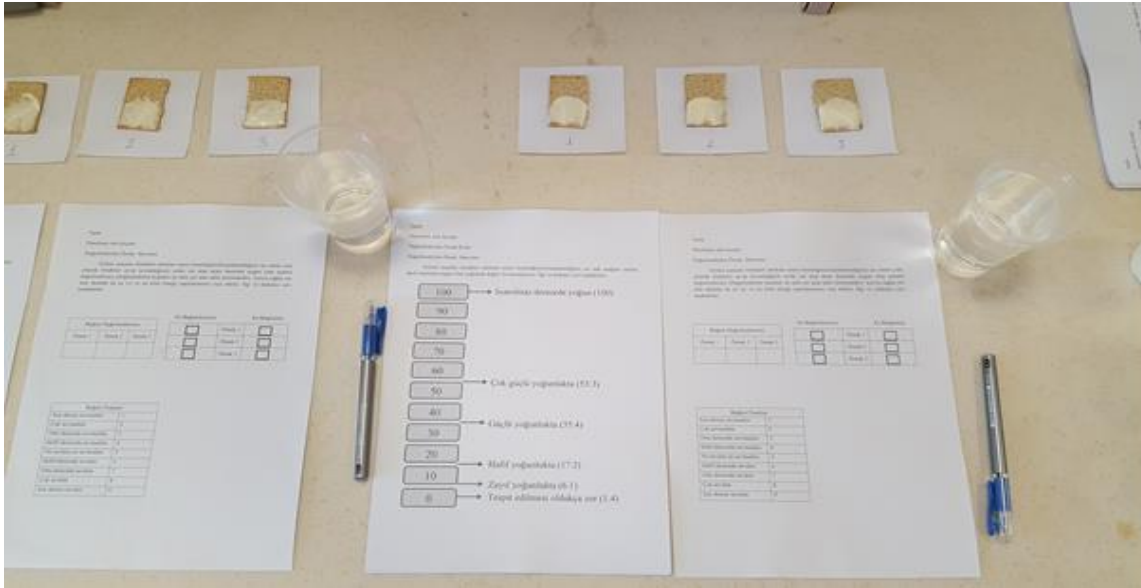
Model gıda denemesi için kullanılan gıdalar buzdolabı koşullarında 7 günlük depolama işlemine tabi tutulmuş, 5 gün boyunca tadım yaptırılmış ve mikroenkapsüle kapsaisin tozlarının açılımı gözlenmiştir. Tadımlar Pazartesi günü başlatıldığı, 5 ve 6. günleri hafta sonu tatiline denk geldiği için panelist bulmakta sıkıntı yaşanmış, aynı panelistlerle devam edip standart sapmayı düşük tutmak istendiği için hafta sonuna denk gelen analizler gerçekleştirilememiştir. 7. ve son gün analizleri devam eden haftanın Pazartesi gününde yapılmıştır. Her gün analiz için buzdolabı koşullarından çıkarılan örnek oda sıcaklığına gelince tadım yaptırılmıştır. Her tadım arasında panelistlerden ağızlarını su ve ekmek ile temizlemeleri istenmiş, her tadım arası en az 3 dakika tat alma duyularının nötrlenmesi için beklenmiştir.

Ayran (Şekil 3.9 a) ve UHT süt (Şekil 3.9 b) örnekleri için öncelikli olarak gramaj belirlenmiş, belirlenen gramajlar üzerinden katkılama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Katkılamanın ardından örnekler 5000 d/dk hızda 30 saniye boyunca karıştırılmış ve tadım öncesi 1-2 kez çalkalanarak servis edilmiştir.



Şekil 3.9. Model gıda denemelerinden ayran (a) ve UHT süt (b) örneklerine ait görüntüler

Mayonezin hazırlanabilmesi için doğrudan 100 g son ürün için belirlenen miktarlar mayonez örnekleri içerisine katılmış, 5000 d/dk hızda 30 saniye boyunca karıştırılmıştır. Servis edilmeden önce kaşık yardımıyla karıştırılıp, nötr tat vermesi ve tatma kolaylığı sağlaması için kepekli bisküviler üzerinde panelistlere sunulmuştur (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Model gıda denemelerinden mayonez örneklerine ait görüntüler

Sade kek yapımı için 100 g son üründe istenen miktarları sağlamak amacıyla öncelikli olarak kekte pişirme kaybının yüzdesel olarak oranı belirlenmiştir. Bu amaçla herhangi bir katkılama yapılmadan kek pişirilmiştir. Kek pişirmek amacıyla piyasadan temin edilmiş olan hazır kek karışımı (Dr. Oetker Sade Kek Karışımı, Dr. Oetker Gıda San. ve Tic. A.Ş., Torbalı, İzmir) kullanılmış, bu karışıma ek olarak paket üzerinde yer alan hazırlama önerilerinde belirtildiği üzere, 4 adet yumurta, 350 g toz şeker, 200 ml süt, 125 g yumuşak margarin, 100 mL sıvı yağ ve 1 paket şekerli vanilin ilave edilmiştir. Karışım ev tipi mikser yardımıyla 5 dakika boyunca çırpılmıştır. Elde edilen kek hamuru 25x10 ebatlarındaki kek kalıbı içerisine yerleştirilmiş ve 180 °C sıcaklığa sahip fırında 30 dakika boyunca pişirilmiştir. Ardından pişirme kaybı hesaplanmış ve kek örneklerinde pişirme kaybı %20 olarak belirlenmiştir. Hesaplanan yüzdesel kayıp üzerinden yine 100 g son üründe 0.25 g kapsaisin mikrokapsülü ve 0.00075 g saf kapsaisin olacak şekilde tartımlar yapılmış ve kek hamuru pişirilmiştir. Pişirme işleminin ardından kek örnekleri oda sıcaklığına soğutulmuş, her bir paneliste 2x2 cm dilimler şeklinde kesilip servis edilmiştir (Şekil 3.11).



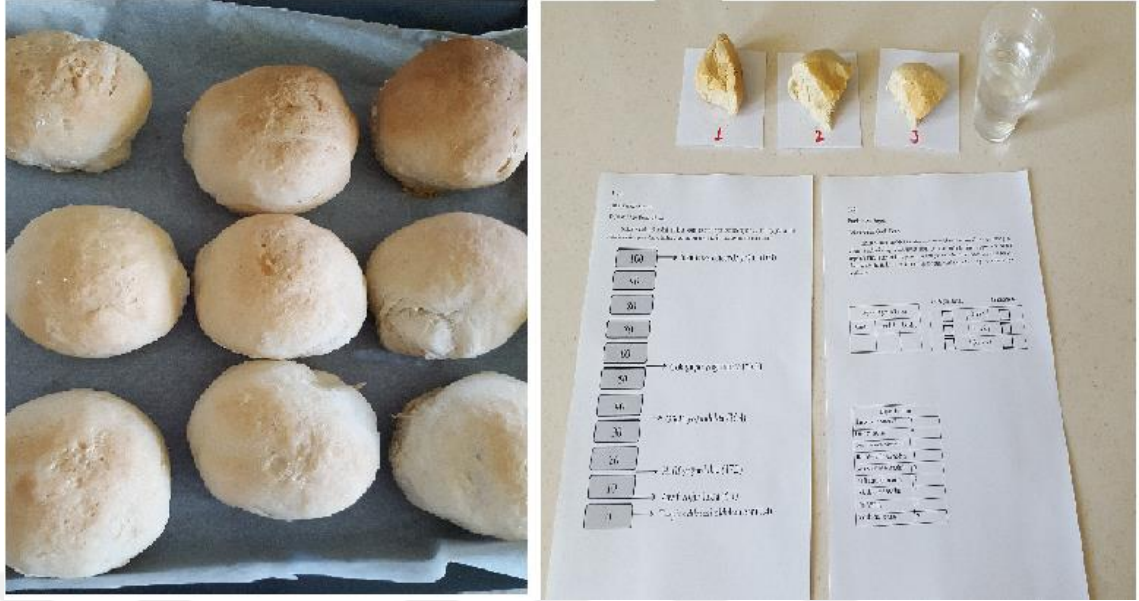
Şekil 3.11. Model gıda denemelerini gerçekleştirmek amacıyla pişirilmiş olan kek örnekleri ve bu örneklerin panelistlere servis edilişini gösteren görüntüler

Salata sosunun hazırlanabilmesi için, 250 mL zeytinyağı içerisine 25 mL limon suyu eklenip, üzerine 2 g kekik ve 2 g tuz ilavesi yapılmıştır. Elde edilen karışımın öncelikli olarak gramajı belirlenmiş, belirlenen gramaj üzerinden katkılama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Katkılamanın ardından örnekler 5000 d/dk hızda 30 saniye boyunca karıştırılmış ve tadım öncesi 1-2 kez çalkalanarak servis edilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Model gıda denemelerini gerçekleştirmek amacıyla hazırlanmış olan salata sosu örnekleri ve bu örneklerin panelistlere servis edilişini gösteren görüntüler

Ekmek yapımı için 100 g son üründe istenen miktarları sağlamak amacıyla öncelikli olarak ekmekte pişirme kaybının yüzdesel olarak oranı belirlenmiştir. Bu amaçla herhangi bir şey katılanmadan ekmek pişirilmiştir. Ekmek pişirmek amacıyla kullanılacak olan un miktarı belirlenmiş, bu miktarın %60'ı kadar su, %2'si kadar tuz ve %2'si kadar kuru maya bir yoğurma kabı içerisine alınmıştır. Yaklaşık yarım saatlik bir elle yoğurma işlemi boyunca un ilavesi yavaş yavaş yapılmış ve ardından elde edilen hamur 30 dakika boyunca oda sıcaklığında dinlenmeye bırakılmıştır. Bu süre sonunda, hamur orta boyutlarda (yaklaşık 200 g) olacak şekilde küçük parçalara ayrılmış, elle yuvarlak şekil verilmiş ve yine oda sıcaklığında 15 dakika dinlenmeye bırakılmıştır. Ekmek hamurları son fermentasyon için 32 °C sıcaklığa ve yaklaşık %85 mutlak neme sahip fermentasyon kabini içerisinde 1 saat süreyle bekletilmiştir. Mayalama işlemi gerçekleşmiş olan ekmek hamuru 200 °C fırında 20 dakika boyunca pişirilmiştir. Pişirme işleminin ardından kayıp hesaplanmış ve ekmek örneklerinde pişirme kaybı %14 olarak belirlenmiştir. Hesaplanan bu değer üzerinden yine 100 g son üründe 0.25 g kapsaisin mikrokapsülü ve 0.00075 g saf kapsaisin olacak şekilde tartımlar yapılmış ve ekmek pişirilmiştir. Pişirme işleminin ardından ekmek örnekleri oda sıcaklığına soğutulmuş, her bir paneliste 3x3 cm dilimler şeklinde kesilip servis edilmiştir (Şekil 3.13)



Şekil 3.13. Model gıda denemelerini gerçekleştirmek amacıyla hazırlanmış olan ekmek örnekleri ve bu örneklerin panelistlere servis edilmesini gösteren görüntüler

3.8. İstatistiksel Analizler

Püskürterek soğutma yöntemi ile enkapsülasyon işleminde bağımsız değişken olarak seçilen homojenizasyon hızı, ayçiçek yağının palm yağı içerisindeki oranı, püskürterek soğutma cihazı giriş sıcaklığı ve emülsiyon içerisindeki kapsaisin oranının, mikrokapsülasyon etkinliği ve gastrointestinal model sistemde ağız ve mide ortamlarındaki salınım üzerine etkisini belirlemek için Design-Expert paket programı kullanılmıştır. Elde edilen veriler, Design-Expert paket programı (Stat-Ease Inc., Version 10, Minneapolis, ABD) dahilinde ANOVA analizi ile değerlendirilmiştir.

Kapsaisin mikrokapsüllerinin deneysel olarak elde edilen analiz verilerinin birbirleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla SPSS (Statistical Package for the Social Science) paket programı (Version 23.0, IBM Inc., New York, ABD) kullanılarak pearson korelasyon ilişki analizi yapılmıştır.

Ayrıca depolama analizleri sonucunda elde edilen sonuçlara varyans analizi uygulanmış, önemli bulunan ana varyasyon kaynakları ortalamaları Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi'ne tabi tutulmuştur. Varyans analizi ve Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi SAS Institute (Cary, NC, ABD) tarafından hazırlanan "The SAS system for Windows V7" isimli istatistiksel yazılım programı kullanılarak yapılmıştır.

Model gıda denemelerinde elde edilen acı yoğunluğu skorlarına depolama süresinin etkisini (bir bağımlı, bir bağımsız değişken) inceleyebilmek amacıyla SPSS (Statistical Package for the Social Science) paket programı (Version 23.0, IBM Inc., New York, ABD) kullanılarak basit doğrusal regresyon analizleri ve hata terimleri arasındaki korelasyonu belirleyebilmek için Durbin-Watson istatistikleri uygulanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kapsaisin İçeren Emülsiyonların Özellikleri

4.1.1. Emülsiyonların santrifüj stabiliteleri

Emülsiyonun özelliklerinde meydana gelen herhangi bir değişikliğe karşı gösterilen direnç olarak tanımlanan emülsiyon stabilitesi, elde edilen emülsiyonun dış etmenlere karşı ne kadar stabil bir davranış gösterdiğini belirlemektedir. Bir emülsiyonun çökme hızı ve çökmenin meydana geldiği mekanizma, emülsiyonun bileşimine, emülsiyonun hazırlandığı çevre koşullarına ve proses şartlarına göre değişiklik göstermektedir (Dickinson 1993; McClement 1999).

Tez çalışması kapsamında püskürterek soğutma cihazı ile kapsaisin mikroenkapsülasyonu için hazırlanmış olan emülsiyonların protein ve stabilizatör tipi literatürde daha önce konu ile ilgili yapılmış olan bir çalışma referans alınarak seçilmiştir (Varhan 2018). Bu çalışmada kapsaisin mikroenkapsülasyonu için maksimum santrifüj stabilitesi ve kinetik stabiliteyi veren emülsiyon karışımı belirlenmiş, yapılan istatistiki analizler sonucunda en uygun protein tipinin peyniraltı suyu proteini ve en uygun stabilizatörün de soya lesitini olduğu rapor edilmiştir. Bu nedenle tez çalışmasında da optimize edilen bu bileşenler kullanılmıştır.

Kapsaisin içeren emülsiyonlara uygulanan santrifüj stabilitesi analizinin deneysel sonuçları Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Çizelge 4.1'de gösterilen ortalama sonuçlar incelendiği zaman, kapsaisin içeren emülsiyonların santrifüj stabilitesi değerlerinin %85 ile %99 arasında değişiklik gösterdiği görülmektedir.

Literatürde konu ile ilgili yapılmış çalışmalar incelendiğinde, araştırmacıların emülsiyon stabilitesi üzerinde emülsiyon ajanı tipinin en önemli parametre olduğunu ve doğru emülsiyon ajanı seçimi ile yüksek stabilitede emülsiyonlar elde edilebileceğini rapor ettikleri görülmektedir. Mevcut tez çalışmasında hazırlanan kapsaisin içeren emülsiyonlarda kullanılan emülsiyon ajanı ve stabilizatör tipi daha önceki bir optimizasyon çalışmasına göre (Varhan 2018) en yüksek santrifüj stabilitesini veren emülsiyon ajanı ve stabilizatör olduğu için, tüm emülsiyonların yüksek santrifüj stabilitesi gösterdiği düşünülmektedir.

Çalışmada elde edilen santrifüj stabilitesi değerleri, literatürde konu ile ilgili yapılmış olan çalışmalardan bazıları ile paralellik gösterirken (Consoli vd. 2016), bazı çalışmalardan (Yıldırım 2015) oldukça yüksek bulunmuştur. Kapsaisin içeren emülsiyonların santrifüj stabilitesi değerleri ile püskürtmeli soğutma yöntemi ile gallik asidin mikroenkapsülasyonunun yapıldığı bir literatür çalışmasında elde edilen santrifüj stabilitesi sonuçlarının paralellik gösterdiği gözlenmiştir (Consoli vd. 2016).

Konu ile ilgili yapılmış çalışmalardan bir diğerinde, mayonez emülsiyonu oluşturmak için farklı emülsiyon ajanı tipleri kullanılmış, emülsiyonlara santrifüj stabilitesi analizi uygulanmış ve analiz sonuçlarının %34 ile %74 arasında değiştiği rapor edilmiştir (Yıldırım 2015).

Çizelge 4.1. Kapsaisin içeren emülsiyonlara ait santrifüj stabilitesi analizinin ortalama sonuçları

Den. No.	SS (%)
1	89.00 ± 0.00
2	95.00 ± 0.00
3	85.00 ± 0.00
4	90.00 ± 0.00
5	90.50 ± 0.70
6	89.00 ± 0.00
7	89.00 ± 0.00
8	90.00 ± 0.00
9	85.00 ± 0.00
10	89.50 ± 0.00
11	89.00 ± 0.00
12	95.00 ± 0.00
13	95.00 ± 0.00
14	95.00 ± 0.00
15	85.00 ± 0.00
16	89.00 ± 0.00
17	90.25 ± 1.77
18	90.00 ± 0.00
19	99.00 ± 0.00
20	95.00 ± 0.00
21	89.50 ± 0.71
22	90.00 ± 0.00
23	90.50 ± 0.71
24	89.50 ± 0.00
25	89.00 ± 0.00
26	89.00 ± 0.00
27	90.00 ± 0.00
28	90.00 ± 0.00
29	89.00 ± 0.00
30	89.00 ± 0.00

SS: Santrifüj stabilitesi

Kapsaisin içeren emülsiyonların santrifüj stabilitesi değerlerinin CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden nasıl ve ne ölçüde etkilendiğini ortaya koymak için Design-Expert paket programı kullanılarak ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. ANOVA analizine ait sonuçlar Çizelge 4.2’de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Kapsaisin içeren emülsiyonların santrifüj stabiliteleri üzerine bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu

VK	SD	HKT	SS (%)
			<i>p</i>
Model	14	177.97	0.15
A	1	25.01	0.08
B	1	24.00	0.09
C	1	1.50	0.65
D	1	0.38	0.82
AB	1	3.06	0.52
AC	1	20.25	0.11
AD	1	1.00	0.71
BC	1	18.06	0.13
BD	1	0.56	0.78
CD	1	2.25	0.58
A²	1	0.22	0.86
B²	1	72.89	0.66
C²	1	0.91	0.72
D²	1	0.39	0.82
Kalıntı	15	110.17	
Model Uyumsuzluğu	10	108.84	0.00*
Saf Hata	5	1.33	
Toplam	29	288.14	

* $p < 0.05$ seviyesinde istatistiki açıdan önemli

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, HKT: Hata kareler toplamı, A: Homojenizasyon hızı, B: Ayçiçek yağı oranı, C: Sıcaklık, D: Kapsaisin oranı, SS: Santrifüj stabilitesi

ANOVA analizi sonuçlarına göre, santrifüj stabilitesi sonuçları ile model uyumsuzluğu görülmektedir ($p > 0.05$). ANOVA analizine göre, model uygunsuzluğu istatistiki açıdan önemli ($p < 0.05$) bulunmuştur. Kapsaisin içeren emülsiyonların santrifüj stabiliteleri üzerinde hiçbir bağımsız değişkenin önemli etkisi olmadığı görülmüştür.

4.1.2. Emülsiyonların kinetik stabiliteleri

Kapsaisin içeren emülsiyonlara uygulanan kinetik stabilite analizinin ortalama sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kapsaisin içeren emülsiyonlara ait kinetik stabilite analizinin ortalama sonuçları

Den. No.	Kinetik Stabilite (%)			
	15 dk	30 dk	60 dk	120 dk
1	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00	85.00 ± 0.00
2	100.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00	85.00 ± 0.00	80.00 ± 0.00
3	90.00 ± 0.00	87.00 ± 0.00	80.00 ± 0.00	75.00 ± 0.00
4	100.00 ± 0.00	95.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00	85.00 ± 0.00
5	100.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00	85.00 ± 0.00	80.00 ± 0.00
6	100.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00	88.00 ± 0.00	85.00 ± 0.00
7	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00	85.00 ± 0.00
8	95.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00	87.50 ± 3.54
9	95.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00	80.00 ± 0.00	75.00 ± 0.00
10	100.00 ± 0.00	99.00 ± 0.00	80.00 ± 0.00	75.00 ± 0.00
11	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	95.00 ± 0.00	85.00 ± 0.00
12	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00	85.00 ± 0.00
13	100.00 ± 0.00	93.00 ± 2.82	88.00 ± 0.00	80.00 ± 0.00
14	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	85.00 ± 0.00	80.00 ± 0.00
15	87.00 ± 0.00	85.00 ± 0.00	80.00 ± 0.00	73.00 ± 0.00
16	100.00 ± 0.00	99.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00	85.00 ± 0.00
17	100.00 ± 0.00	95.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00	85.00 ± 0.00
18	90.00 ± 0.00	85.00 ± 0.00	80.00 ± 1.41	75.00 ± 0.00
19	100.00 ± 0.00	95.00 ± 0.00	89.00 ± 0.00	88.00 ± 0.00
20	100.00 ± 0.00	99.00 ± 0.00	95.00 ± 0.00	80.00 ± 0.00
21	100.00 ± 0.00	99.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00	80.00 ± 0.00
22	87.50 ± 3.53	85.00 ± 0.00	80.00 ± 0.00	75.00 ± 0.00
23	90.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00	80.00 ± 0.00	75.00 ± 0.00
24	95.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00	85.00 ± 0.00	80.00 ± 0.00
25	100.00 ± 0.00	95.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00	85.00 ± 0.00
26	90.50 ± 0.71	85.00 ± 0.00	80.00 ± 0.00	75.00 ± 0.00
27	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	85.00 ± 0.00	80.00 ± 0.00
28	100.00 ± 0.00	95.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00	85.00 ± 0.00
29	100.00 ± 0.00	90.00 ± 0.00	85.00 ± 0.00	80.00 ± 0.00
30	100.00 ± 0.00	85.00 ± 0.00	80.00 ± 0.00	75.00 ± 0.00

Çizelge 4.3'te gösterilen ortalama sonuçlar incelendiği zaman, kapsaisin içeren emülsiyonların kinetik stabilite değerlerinin zamana bağlı azalma eğiliminde olduğu, %87-100 (15. dk) değerlerinden, %73-88 (120. dk) değerlerine düştüğü görülmektedir.

Kapsaisin içeren emülsiyonların kinetik stabilite değerlerinin de santrifüj stabilitesi değerlerine benzer şekilde, püskürtmeli soğutma yöntemi ile gallik asidin mikroenkapsülasyonunun yapıldığı bir çalışmada elde edilen kinetik stabilite sonuçları ile paralellik gösterdiği gözlenmiştir (Consoli vd. 2016).

Emülsiyon ajanı tipinin emülsiyon stabilitesinde en önemli faktör olduğu bilgisi göz önünde bulundurulduğunda, mevcut çalışmada elde edilen yüksek stabilite sonuçlarının sabit emülsiyon ajanı ve stabilizatör kullanımından kaynaklandığı

düşünülmektedir. Ayrıca emülsiyon oluşturma aşamasında referans olarak kullanılan çalışmada (Varhan 2018) en yüksek kinetik stabiliteyi veren emülsiyon ajanı ve stabilizatör, mevcut çalışmada da kullanıldığı için literatür çalışmaları ile uyumlu yüksek kinetik stabilite değerleri elde edildiği sonucuna varılmıştır.

Kapsaisin içeren emülsiyonların kinetik stabilite değerlerinin CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden nasıl ve ne ölçüde etkilendiğini ortaya koymak için Design-Expert paket programı kullanılarak ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. ANOVA analizine ait sonuçlar Çizelge 4.4'te sunulmuştur.

Çizelge 4.4. Kapsaisin içeren emülsiyonların kinetik stabiliteleri üzerine bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu

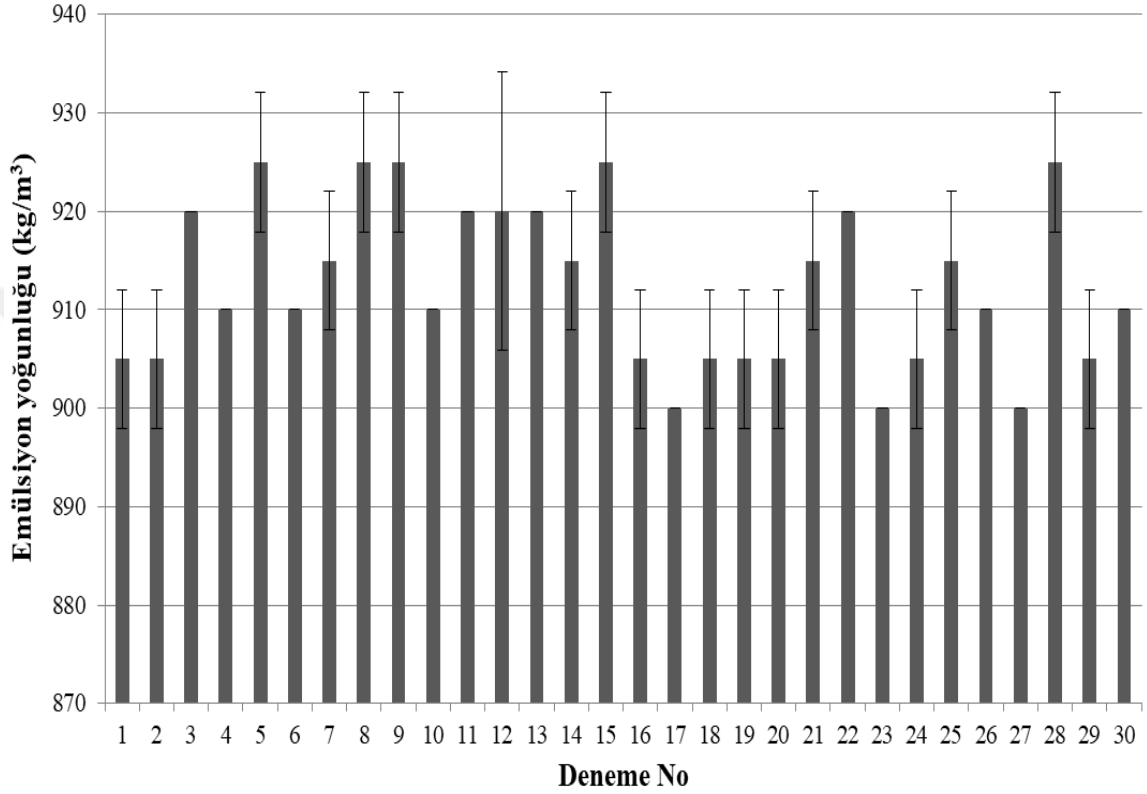
VK	SD	15. dk KS (%)		30. dk KS (%)		60. dk KS (%)		120. dk KS (%)	
		HKT	p	HKT	p	HKT	p	HKT	p
Model	14	179.15	0.91	306.80	0.85	257.67	0.76	154.28	0.96
A	1	0.38	0.91	0.17	0.94	4.17	0.70	0.84	0.86
B	1	22.04	0.38	6.00	0.69	54.00	0.18	0.84	0.86
C	1	32.67	0.28	73.50	0.18	8.17	0.59	0.01	0.98
D	1	2.04	0.78	24.00	0.44	2.84	1.00	8.76	0.59
AB	1	10.56	0.53	2.25	0.81	25.00	0.35	37.52	0.28
AC	1	3.06	0.73	1.00	0.87	6.25	0.63	13.14	0.51
AD	1	10.56	0.54	110.25	0.11	2.25	0.77	0.01	0.98
BC	1	10.56	0.54	0.25	0.93	16.00	0.45	5.64	0.67
BD	1	3.06	0.74	1.14	1.00	25.00	0.35	15.02	0.49
CD	1	10.56	0.54	6.25	0.69	6.25	0.63	13.14	0.51
A²	1	4.76	0.68	0.19	0.94	0.19	0.93	1.79	0.81
B²	1	19.05	0.41	76.19	0.18	92.19	0.08	43.22	0.25
C²	1	14.58	0.46	4.76	0.73	0.19	0.93	3.75	0.72
D²	1	29.76	0.31	0.19	0.94	8.05	0.59	3.75	0.72
Kalıntı	15	398.02		578.00		410.50		453.56	
Model Uyumsuzluğu	10	322.81	0.21	394.67	0.49	310.50	0.32	353.56	0.27
Saf Hata	5	75.21		183.33		100.00		100.00	
Toplam	29	577.17		884.80		668.17		607.84	

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, HKT: Hata kareler toplamı, A: Homojenizasyon hızı, B: Ayçiçek yağı oranı, C: Sıcaklık, D: Kapsaisin oranı, KS: Kinetik stabilite

ANOVA analizine göre, kinetik stabilite sonuçları ile model uyumsuzluğu tüm yanıtlar için önemsiz ($p>0.05$) bulunmakla birlikte, model parametreleri yine de önemli etki göstermemiştir.

4.1.3. Emülsiyonların yoğunlukları ve viskoziteleri

Kapsaisin içeren emülsiyonların piknometrik olarak belirlenen emülsiyon yoğunluğu değerleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Farklı işlem koşullarında hazırlanan tüm emülsiyonların emülsiyon yoğunluklarının 900 kg/m^3 ile 925 kg/m^3 arasında değiştiği ve yoğunluklar arasında farklı işlem koşullarının belirgin bir farklılığa neden olmadığı saptanmıştır.



Şekil 4.1. Kapsaisin içeren emülsiyonların yoğunluk değerleri

Kapsaisin içeren emülsiyonlara uygulanan viskozite analizinin sonuçları Çizelge 4.5’te verilmiştir. Çizelge 4.5 üzerinde, kayma gerilimi (τ_0), kıvam katsayısı (K) ve akış davranış indeksi (n) gösterilmiş olup, R^2 değerleri hesaplanmıştır.

Akış davranış indeksi n’in, $n < 1$ olduğu durumlarda emülsiyon pseudoplastik, $n > 1$ olduğu durumlarda dilatant ve $n = 1$ olduğu durumda da Newtonian olarak adlandırılmaktadır. Bu durumda, 12. deneme dilatant akış davranışı gösterirken, 1, 2, 10, 12, 15, 16, 18 ve 23 numaralı denemeler Newtonian tipi akış göstermiştir. Belirtilen denemelerin dışında kalan denemeler ise pseudoplastik akış davranışı sergilemektedirler.

Çizelge 4.5. Kapsaisin içeren emülsiyonların hesaplanan reolojik parametreleri ve R² değerleri

Deneme No	T ₀ (Pa)	K (Pa s)	n	R ²
1	2.28 ± 2.28	0.36 ± 0.15	1.03 ± 0.06	1.00
2	5.37 ± 0.40	0.19 ± 0.07	1.01 ± 0.06	1.00
3	1.46 ± 0.56	0.30 ± 0.09	0.92 ± 0.05	1.00
4	4.48 ± 0.22	0.65 ± 0.32	0.94 ± 0.03	1.00
5	5.84 ± 2.89	0.63 ± 0.41	0.93 ± 0.08	1.00
6	16.89 ± 2.55	4.22 ± 3.75	0.63 ± 0.18	0.98
7	5.33 ± 0.13	0.31 ± 0.03	0.92 ± 0.02	1.00
8	13.84 ± 4.47	1.05 ± 0.01	0.68 ± 0.02	0.99
9	20.49 ± 0.77	1.71 ± 0.32	0.58 ± 0.03	0.99
10	6.04 ± 1.01	0.21 ± 0.09	0.99 ± 0.09	1.00
11	27.17 ± 4.92	3.90 ± 1.86	0.42 ± 0.12	0.99
12	11.18 ± 5.40	0.21 ± 0.11	1.13 ± 0.01	1.00
13	18.49 ± 3.72	1.51 ± 0.61	0.61 ± 0.08	0.99
14	0.68 ± 0.68	1.92 ± 1.59	0.73 ± 0.22	0.98
15	5.70 ± 0.01	0.21 ± 0.04	0.99 ± 0.05	1.00
16	3.20 ± 0.18	0.17 ± 0.00	1.05 ± 0.00	1.00
17	8.07 ± 0.53	0.37 ± 0.20	0.89 ± 0.11	1.00
18	5.58 ± 1.31	0.25 ± 0.07	0.96 ± 0.04	1.00
19	3.51 ± 1.03	0.35 ± 0.01	0.90 ± 0.02	1.00
20	2.79 ± 0.44	1.72 ± 0.16	0.61 ± 0.02	0.99
21	5.42 ± 0.17	2.00 ± 0.81	0.60 ± 0.07	1.00
22	10.14 ± 2.49	3.30 ± 0.29	0.50 ± 0.01	0.98
23	5.47 ± 3.92	0.20 ± 0.07	1.00 ± 0.04	1.00
24	18.96 ± 2.59	3.92 ± 1.34	0.45 ± 0.08	0.99
25	4.30 ± 0.18	0.38 ± 0.01	0.89 ± 0.00	1.00
26	12.68 ± 3.85	1.34 ± 0.36	0.64 ± 0.05	0.99
27	24.66 ± 1.70	1.92 ± 0.14	0.54 ± 0.00	0.98
28	8.66 ± 0.78	0.92 ± 0.20	0.70 ± 0.03	0.99
29	5.74 ± 2.15	1.15 ± 0.04	0.66 ± 0.00	1.00
30	8.00 ± 1.41	0.44 ± 0.35	0.95 ± 0.21	1.00

τ₀, kayma gerilimi, K, kıvam katsayısı, n, akış davranış indeksi

Mikroenkapsülasyon işleminde besleme çözeltisinin sahip olduğu reolojik özelliklerin son ürün kalitesini, parçacık boyutunu ve parçacık boyut dağılımını etkileyeceği de bildirilmiştir. Yüksek viskoziteye sahip olan emülsiyonlar atomizasyon işlemi esnasında parçalanmaya sebep olacağından damlacık oluşumunu zorlaştırmaktadır. Bu sebepten dolayı daha küçük damlacıklar ve parçacık boyutları elde edebilmek için emülsiyon viskozitesinin düşük olması tercih edilmektedir (Varhan 2018). Mevcut çalışmada kapsaisin içeren emülsiyonların kıvam katsayıları 0.17 Pa.s ile 4.22 Pa.s arasında değişiklik göstermiş olup, literatür bilgilerine kıyasla tüm emülsiyonlar düşük/paralel kıvam katsayısı vermiştir (Kocabıyık 2014; Matos-Jr vd. 2015; Varhan 2018).

Kapsaisin içeren emülsiyonların reolojik parametrelerinin CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden nasıl ve ne ölçüde etkilendiğini ortaya koymak için Design-Expert paket programı kullanılarak ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. ANOVA analizine ait sonuçlar Çizelge 4.6’da sunulmuştur.

Çizelge 4.6. Kapsaisin içeren emülsiyonların reolojik parametreleri üzerine bağımsız değişkenlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu

VK	SD	T ₀ (Pa)		K (Pa s)		n	
		HKT	p	HKT	p	HKT	p
Model	10	923.28	0.00*	26.32	0.02*	0.69	0.04*
A	1	37.63	0.24	0.011	0.91	0.032	0.30
B	1	1.12	0.83	0.063	0.79	7.004	0.96
C	1	0.04	0.97	1.07	0.28	0.02	0.40
D	1	172.99	0.01*	3.81	0.05*	0.12	0.05*
AB	1	7.79	0.59	1.55	0.20	6.642	0.63
AC	1	34.77	0.26	5.90	0.02	0.14	0.03*
AD	1	365.05	0.00*	5.43	0.02*	0.21	0.01*
BC	1	35.85	0.25	5.20	0.02*	0.05*	0.17
BD	1	2.90	0.74	0.30	0.56	0.041	0.23
CD	1	265.14	0.00*	2.99	0.08	0.06	0.14
Kalıntı	19	500.62		16.79		0.53	
Model Uyumsuzluğu	14	224.72	0.96	15.12	0.10	0.40	0.46
Saf Hata	5	275.90		1.67		0.12	
Toplam	29	1423.90		43.11		1.22	

* $p < 0.05$ seviyesinde istatistiki açıdan önemli

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, HKT: Hata kareler toplamı, A: Homojenizasyon hızı, B: Ayçiçek yağı oranı, C: Sıcaklık, D: Kapsaisin oranı, τ_0 : kayma gerilimi, K: kıvam katsayısı, n: akış davranış indeksi,

Çizelge 4.6’da verilen ANOVA analizi sonuçlarına göre, kapsaisin içeren emülsiyonların reolojik parametreleri üzerine emülsiyon içerisindeki kapsaisin oranının istatistiki açıdan önemli ($p < 0.05$) etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra emülsiyondaki kapsaisin oranının diğer model değişkenleri ile interaksiyonlarının da reolojik parametreler üzerinde istatistiki olarak önemli etkileri belirlenmiştir. Kapsaisin içeren emülsiyonlar hazırlanırken, emülsiyondaki kapsaisin oranı arttırıldıkça palm yağı miktarı azaltıldığından ve palm yağı miktarı doğrudan emülsiyon viskozitesine etki ettiğinden, emülsiyonların reolojik parametreleri üzerinde kapsaisin oranının önemli etkisinin olduğu düşünülmüştür. Ayrıca ANOVA analizi sonuçlarına göre kapsaisin içeren emülsiyonların reolojik parametrelerinin tamamının model ile uyumlu olduğu ($p < 0.05$), model uyumsuzluğunun hiçbir parametre üzerinde istatistiki açıdan önemli olmadığı ($p > 0.05$) görülmüştür.

4.2. Püskürterek Soğutma Yöntemi İle Kapsaisin Mikrokapsülleri Üretimi İçin Optimum İşlem Koşullarının Belirlenmesi

CCRD deneme desenine göre (Çizelge 3.1) kapsaisin mikrokapsülü üretiminde etkili bağımsız değişkenler, homojenizasyon hızı (10000-20000 d/dk), ayçiçek yağının palm yağı içerisindeki oranı (%0.5-1.5), püskürterek soğutma cihazına hava giriş sıcaklığı (10-20 °C) ve emülsiyon içerisindeki kapsaisin oranı (%0.1-0.5) olarak belirlenmiştir. Optimizasyon çalışmasında bu bağımsız değişkenlerin püskürterek soğutma yöntemi ile kapsaisin mikrokapsülü üretiminde, üretilen mikrokapsüllerin gastrointestinal model sistemde ağızda ve midede salınımları ile mikrokapsülasyon etkinlik değerleri üzerine etkileri incelenmiştir. Model eşitliğindeki katsayıların belirlenmesi ve modelin oluşturulması amacıyla tasarlanan deneme planına göre elde edilen deneysel sonuçlar Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. CCRD deneme planından yanıtlar için elde edilmiş olan deneysel sonuçlar

Den. No.	Emülsiyondaki Kapsaisin (mg/kg)	AS (mg/kg)	MS (mg/kg)	ME (%)
1	26.60	1.49 ± 0.00	5.68 ± 0.03	97.95 ± 0.03
2	26.60	1.46 ± 0.03	6.31 ± 0.03	95.73 ± 0.08
3	26.60	1.49 ± 0.02	5.65 ± 0.07	97.80 ± 0.08
4	26.60	1.44 ± 0.00	6.31 ± 0.02	95.82 ± 0.37
5	26.60	5.74 ± 0.01	10.50 ± 0.00	94.53 ± 0.03
6	26.60	5.90 ± 0.04	10.70 ± 0.00	93.74 ± 0.19
7	26.60	5.72 ± 0.22	10.51 ± 0.02	94.24 ± 0.64
8	26.60	5.90 ± 0.01	10.73 ± 0.01	93.89 ± 1.03
9	53.20	2.90 ± 0.03	12.84 ± 0.13	97.83 ± 0.08
10	53.20	4.50 ± 0.14	12.62 ± 0.10	96.08 ± 0.22
11	53.20	2.87 ± 0.02	12.97 ± 0.02	97.69 ± 0.04
12	53.20	4.40 ± 0.00	12.62 ± 0.01	96.09 ± 0.05
13	53.20	7.37 ± 0.02	20.80 ± 0.01	94.17 ± 0.05
14	53.20	8.05 ± 0.07	23.52 ± 0.03	92.28 ± 0.22
15	53.20	7.39 ± 0.04	20.82 ± 0.11	94.24 ± 0.16
16	53.20	8.04 ± 0.03	23.50 ± 0.08	92.38 ± 0.03
17	39.90	2.08 ± 0.02	8.01 ± 0.02	97.80 ± 0.15
18	39.90	2.68 ± 0.01	9.36 ± 0.05	95.63 ± 0.57
19	39.90	2.40 ± 0.01	8.18 ± 0.04	97.48 ± 0.02
20	39.90	2.39 ± 0.01	8.17 ± 0.01	97.39 ± 0.07
21	39.90	1.38 ± 0.01	4.71 ± 0.01	98.17 ± 0.00
22	39.90	10.18 ± 0.01	29.79 ± 0.01	78.48 ± 0.01
23	13.30	0.84 ± 0.03	2.62 ± 0.10	97.66 ± 0.11
24	66.50	2.43 ± 0.02	13.12 ± 0.01	97.09 ± 0.18
25	39.90	2.37 ± 0.00	8.15 ± 0.03	97.59 ± 0.04
26	39.90	2.39 ± 0.01	8.17 ± 0.04	97.31 ± 0.32
27	39.90	2.40 ± 0.01	8.15 ± 0.01	97.60 ± 0.16
28	39.90	2.39 ± 0.03	8.18 ± 0.01	97.61 ± 0.04
29	39.90	2.38 ± 0.03	8.15 ± 0.06	97.59 ± 0.04
30	39.90	2.40 ± 0.00	8.16 ± 0.04	97.53 ± 0.27

AS: Ağızda salınım MS: Midede salınım ME: Mikrokapsülasyon etkinliği

İşlem değişkenlerinin her bir yanıt üzerindeki etkisi varyans analizi (ANOVA) tablosu yardımıyla belirlenmiştir. %95 güven seviyesinde, ağızda salınım, midede salınım ve mikroenkapsülasyon etkinliği üzerinde etkili olan bağımsız değişkenler Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Her bir yanıt üzerinde bağımsız değişkenlerin etkisinin önemini gösteren ANOVA tablosu

İşlem Değişkenleri	HKT		
	AS (mg/kg)	MS (mg/kg)	ME (%)
Homojenizasyon Hızı (d/dk)	1.46	3.55	11.74
Ayçiçek Yağı Oranı (%)	0.00	0.00	0.00
Giriş Sıcaklığı (°C)	109.06*	470.33*	175.45*
Kapsaisin Oranı (%)	15.96*	370.48*	0.69

* %95 güven seviyesinde istatistiki açıdan önemli

HKT: Hata kareler toplamı, AS: Ağızda salınım, MS: Midede salınım, ME: Mikroenkapsülasyon etkinliği

Püskürterek soğutma cihazının giriş sıcaklığı, tüm yanıtlar üzerinde önemli ($p < 0.05$) etkiye sahipken, emülsiyon içerisindeki kapsaisin oranı ağızda ve midede salınım üzerinde önemli ($p < 0.05$) etkiye sahip bulunmuştur. Bunun yanı sıra bağımsız değişkenlerden homojenizasyon hızı ve ayçiçek yağının palm yağı içerisindeki yüzdesel oranı hiçbir yanıt üzerinde önemli ($p > 0.05$) etki göstermemiştir.

4.2.1. Modelin oluşturulması

Optimizasyon çalışmasında, lineer regresyon analizi ile çalışmada yer alan işlem değişkenleri ve her bir yanıt arasındaki ilişki irdelenmiştir. Bunun için modellere her bir değişkenin öncelikle lineer etki terimleri, daha sonra Kuadratik etki terimleri ve son olarak interaksiyon etki terimleri sırası ile toplu halde eklenmiş ve kareler toplamındaki artış ile model uygunsuzluğu testi (Lack of fit) değerleri belirlenmiştir. Her bir yanıt için oluşturulmuş olan varyans analizi tablosu Ek 1’de verilmiştir.

Ek 1’de verilen sonuçlara göre, her bir yanıt için modelleri geliştirmek amacıyla Kuadratik terimlerin eklenmesinin önerildiği gözlenmiştir. Bu durumda tüm yanıtlar için en uygun modelin ikinci dereceden polinomiyal model olduğu sonucuna varılmıştır. Deneyisel olarak elde edilmiş olan verilerin ikinci dereceden polinomiyal modele uydurulmasına ilişkin varyans analizi tablosu Çizelge 4.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Her bir yanıt üzerinde terimlerin etkisini gösteren ANOVA tablosu

VK	SD	AS (mg/kg)		MS (mg/kg)		ME (%)	
		HKT	p	HKT	p	HKT	p
Model	14	162.99	0.00*	1065.7	0.00*	334.52	0.00*
A	1	1.46	0.26	3.55	0.46	11.74	0.10
B	1	1.35	0.97	4.59	0.99	4.17	0.97
C	1	109.06	0.00*	470.33	0.00*	175.45	0.00*
D	1	15.96	0.00*	370.48	0.00*	0.69	0.68
AB	1	0.00	0.97	0.00	0.99	0.04	0.91
AC	1	0.12	0.74	1.62	0.61	0.44	0.74
AD	1	1.10	0.33	0.61	0.75	0.20	0.82
BC	1	0.00	0.97	0.00	0.99	0.00	0.97
BD	1	0.00	0.98	0.00	0.99	0.00	0.97
CD	1	0.09	0.77	22.76	0.07	0.86	0.65
A²	1	1.97	0.20	7.69	0.28	0.64	0.69
B²	1	2.03	0.19	4.43	0.41	0.01	0.94
C²	1	34.30	0.00*	195.44	0.00*	139.05	0.00*
D²	1	0.18	0.05*	2.90	0.50	0.00	0.97
Kalıntı	15	16.49		94.52		60.70	
Model Uyumsuzluğu	10	16.49	0.09	94.52	0.07	60.63	0.08
Saf Hata	5	0.00		0.00		0.066	
Toplam	29	179.47		1160.08		395.22	

* p < 0.05 seviyesinde istatistiki açıdan önemli

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, HKT: Hata kareler toplamı, A: Homojenizasyon hızı, B: Ayçiçek yağı oranı, C: Sıcaklık, D: Kapsaisin oranı, AS: Ağızda salınım, MS: Midede salınım, ME: Mikroenkapsülasyon etkinliği

Çizelge 4.9’da gösterilen veriler incelendiğinde, tüm regresyon modellerinin %95 güven seviyesinde istatistiki açıdan önemli olduğu belirlenmiştir. p -değeri 0.05’ten büyük etkiye sahip olan terimler model hiyerarşisine zarar vermeden modelden çıkarılmıştır. Ayrıca çizelgede kalıntı hata, saf deneysel hata ve model uyumsuzluğu olarak ayrılmıştır. Her bir yanıt için ikinci dereceden polinomial model %95 güven seviyesinde önemli ve model uyumsuzluğu %95 güven seviyesinde önemsiz olarak belirlenmiştir.

Modellerin deneysel verileri ne ölçüde karşıladığını belirten regresyon katsayısı (R^2), düzeltilmiş regresyon katsayısı (R^2_{adj}) ve varyasyon katsayıları (CV) belirlenmiş, ayrıca, bir regresyon modelinin daha sonra yapılacak gözlemler için bir tahminleme modeli olarak kullanılabilmesi için Adequate Precision, Pred- R^2 ve PRESS istatistikleri kullanılmıştır. Modellerin uygunluğunun test edilmesi için kullanılan istatistiki değerler Çizelge 4.10’da verilmiştir.

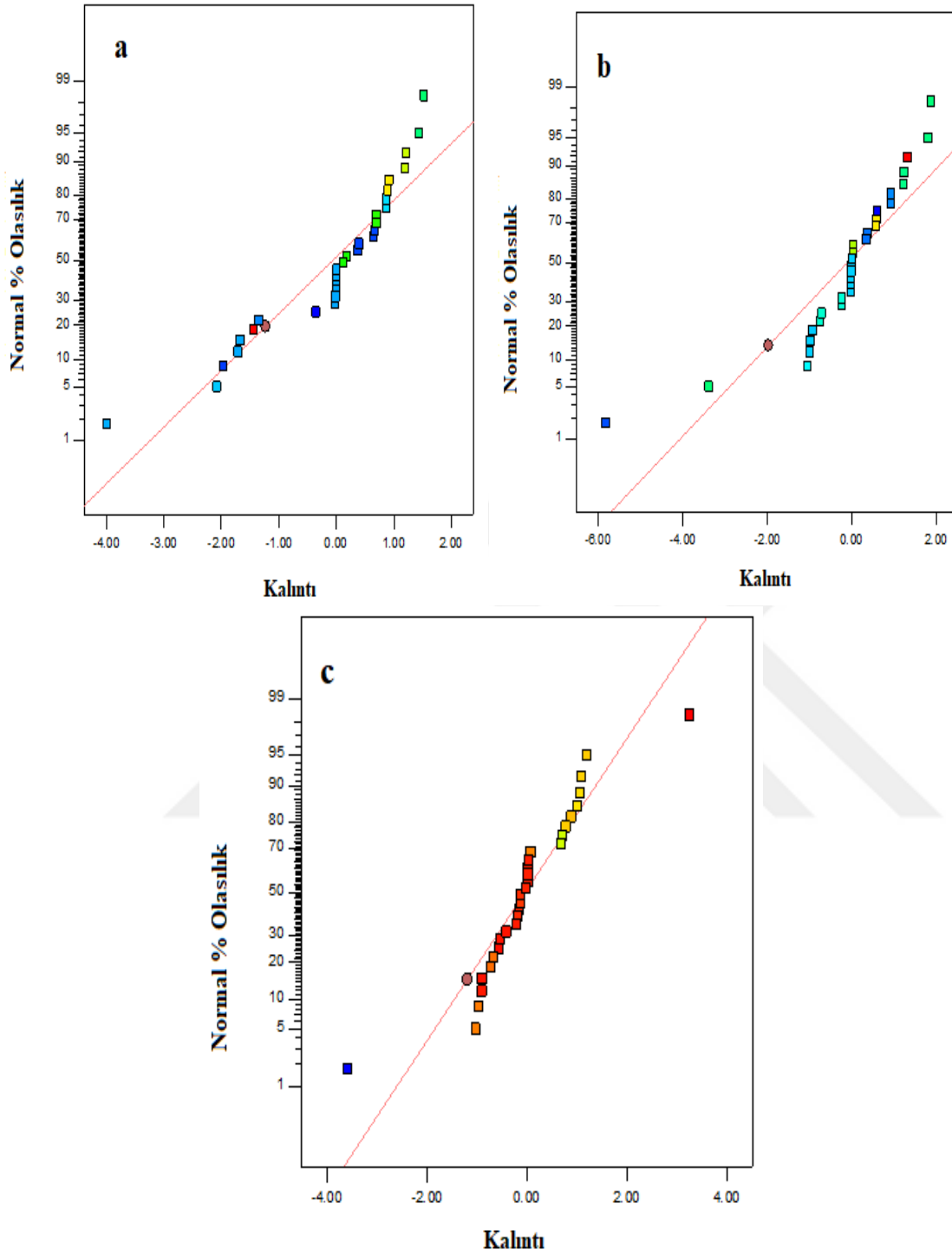
Çizelge 4.10. Model uygunluğunun test edilebilmesi için kullanılan istatistikler

	AS (mg/kg)	MS (mg/kg)	ME (%)
R^2	0.91	0.92	0.85
R^2_{adj}	0.82	0.84	0.70
Pred-R^2	0.47	0.53	0.12
CV %	27.73	22.21	2.10
PRESS	94.96	544.42	349.35
Adequate Precision	13.61	14.70	11.15

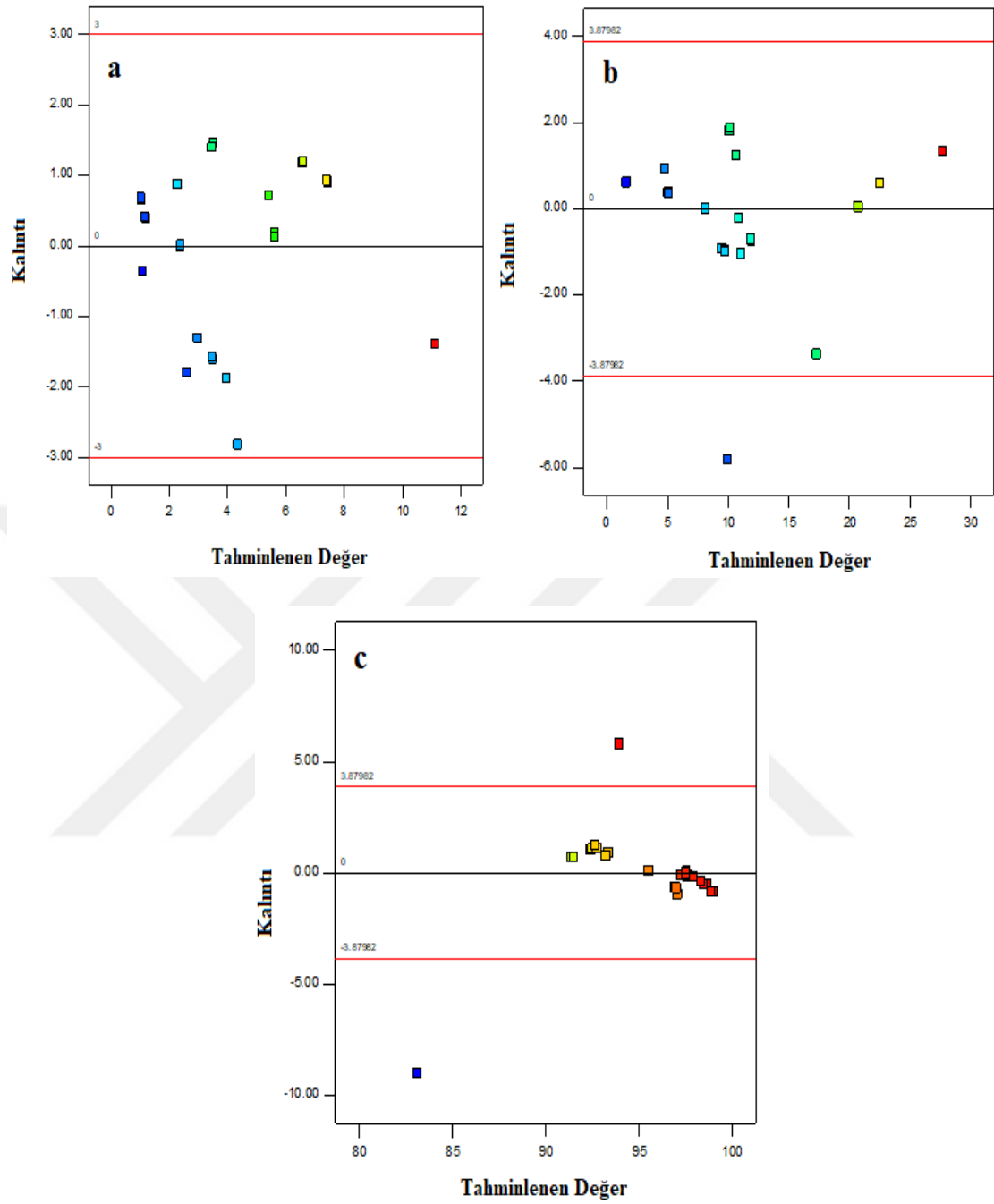
AS: Ağızda salınım, MS: Midede salınım, ME: Mikroenkapsülasyon etkinliği

Model parametreleri en küçük kareler yöntemi ile ve bu parametrelerin modeldeki önemliliğinin test edilmesi varyans analizi kullanılarak yapılmıştır. Kalıntı analizleri, kalıntıların normal olasılık grafiği, kalıntıların model tahminlerine karşı çizildiği grafik ve kalıntıların deneme sırasına karşı çizildiği grafikler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

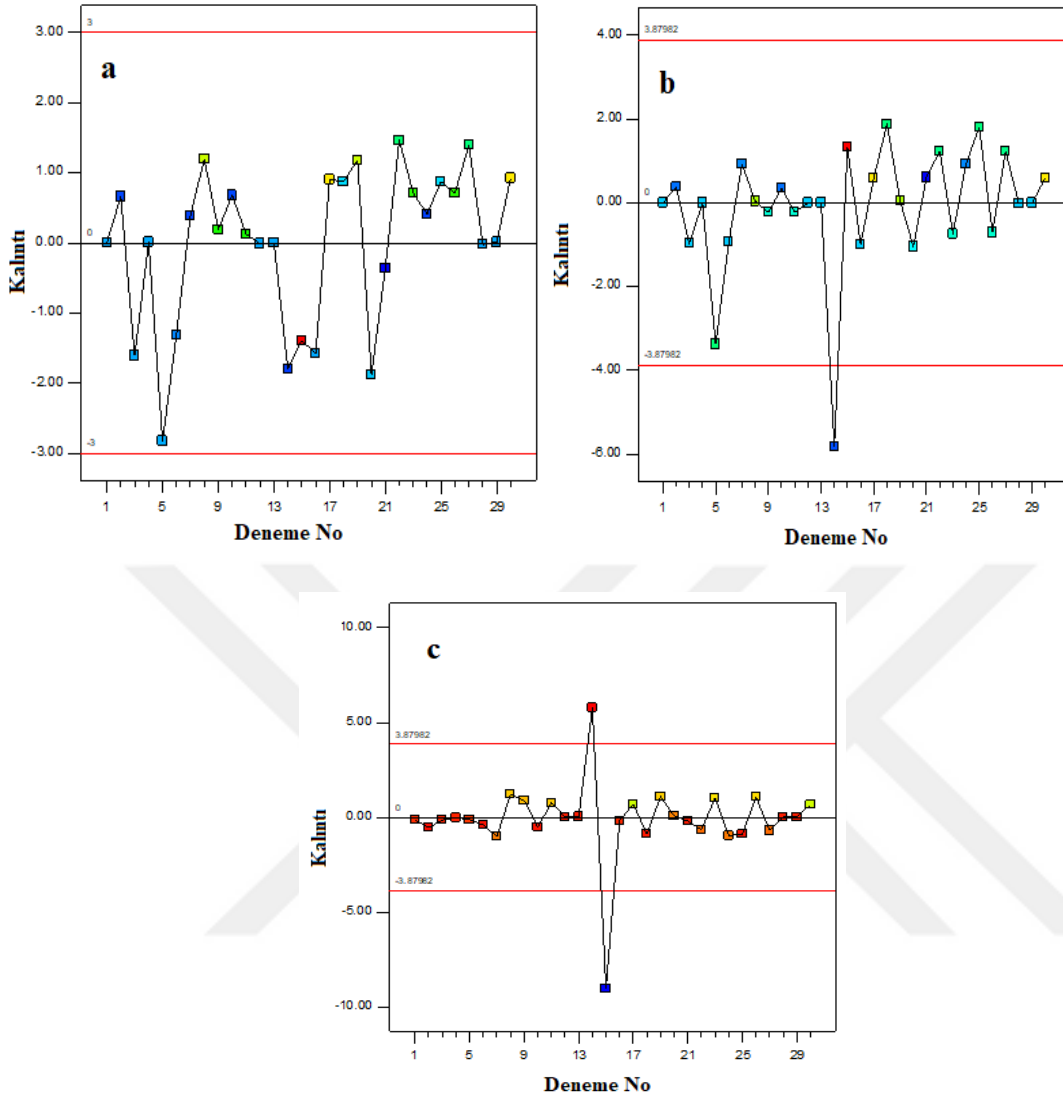
Her bir yanıt için, normal olasılık grafikleri Şekil 4.2’de, kalıntıya karşı model tahminleri grafiği Şekil 4.3’te ve deneme sırasına karşı kalıntı grafikleri Şekil 4.4’te gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Her bir yanıt için normal % olasılık grafikleri (a) ağızda salınım, (b) midede salınım, (c) mikroenkapsülasyon etkinliği



Şekil 4.3. Her bir yanıt için kalıntıya karşı model tahminleri grafikleri (a) ağızda salınım, (b) midede salınım, (c) mikrokapsülasyon etkinliği



Şekil 4.4. Her bir yanıt için deneme sırasına karşı kalıntı grafikleri (a) ağızda salınım, (b) midede salınım, (c) mikroenkapsülasyon etkinliği

4.2.1.1. Ağızda salınım miktarının modelin yanıtı olarak incelenmesi

Püskürterek soğutma cihazında farklı koşullar altında CCRD deneme planı izlenerek üretilen kapsaisin mikrokapsüllerinin ağızda salınım miktarları Çizelge 4.7’de verilmiştir. Elde edilen verilerden ve bu verilere uygulanan istatistiksel analizlerden yola çıkılarak, üretilen kapsaisin mikrokapsüllerinin gastrointestinal model sistemde ağızda salınım miktarlarının, püskürterek soğutma cihazı giriş sıcaklığından ve emülsiyon içerisindeki kapsaisin oranından etkilendiği görülmüştür (Çizelge 4.8). Püskürterek soğutma giriş sıcaklığı yükseldikçe, mikroenkapsülasyon etkinliği düşmekte, kapsülleme oranı azalmakta, serbest kapsaisin miktarı yükselmekte ve tüm bu değişimlere bağlı olarak mikrokapsüllerin ağızda açılım oranları artmaktadır. Ayrıca yine emülsiyon içerisindeki kapsaisin oranı arttıkça, maksimum yükleme miktarı aşıldığından, kapsül yüzeyinde kapsaisin kalmakta, mikroenkapsülasyon etkinliği düşmekte ve ağızda salınım oranı yükselmektedir. Bunlar haricinde diğer model

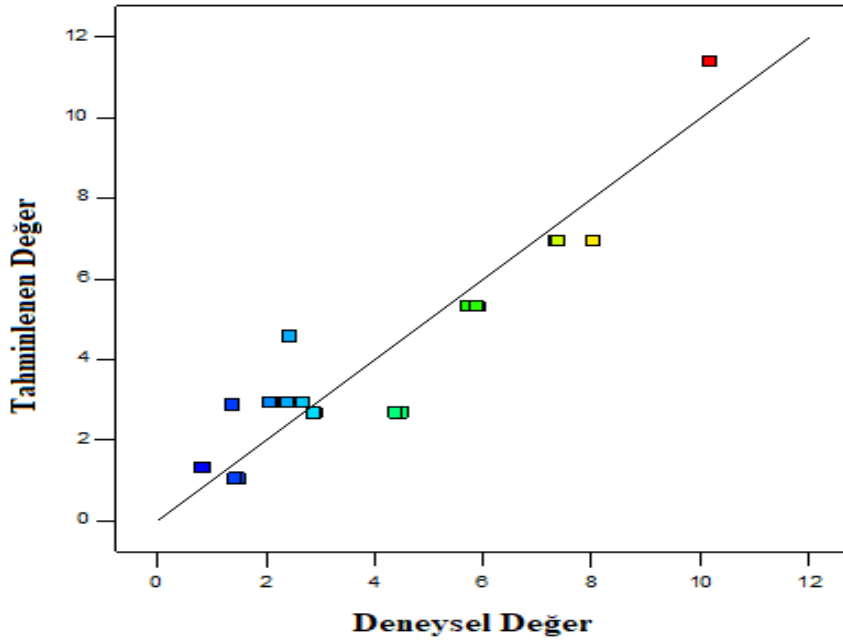
değişkenleri olan ayçiçek yağı oranı ve homojenizasyon hızının ağızda salınım miktarı üzerinde istatistiki açıdan önemsiz ($p>0.05$) olduğu bulunmuştur.

Optimizasyon çalışmasında kullanılan, ağızda salınım değerleri için regresyon analizi sonucunda elde edilen ikinci dereceden polinomial model, kodlanmış değişkenler cinsinden Eşitlik 4.1’de gösterilmiştir. (Eşitlikteki değerler, önemsiz değişkenlerin çıkarılmasıyla indirgenmiş değerler üzerinden verilmiştir.)

$$AS (mg/kg) = 2.94 + 2.13 * C + 0.82 * D + 1.05 * C^2 \quad (4.1)$$

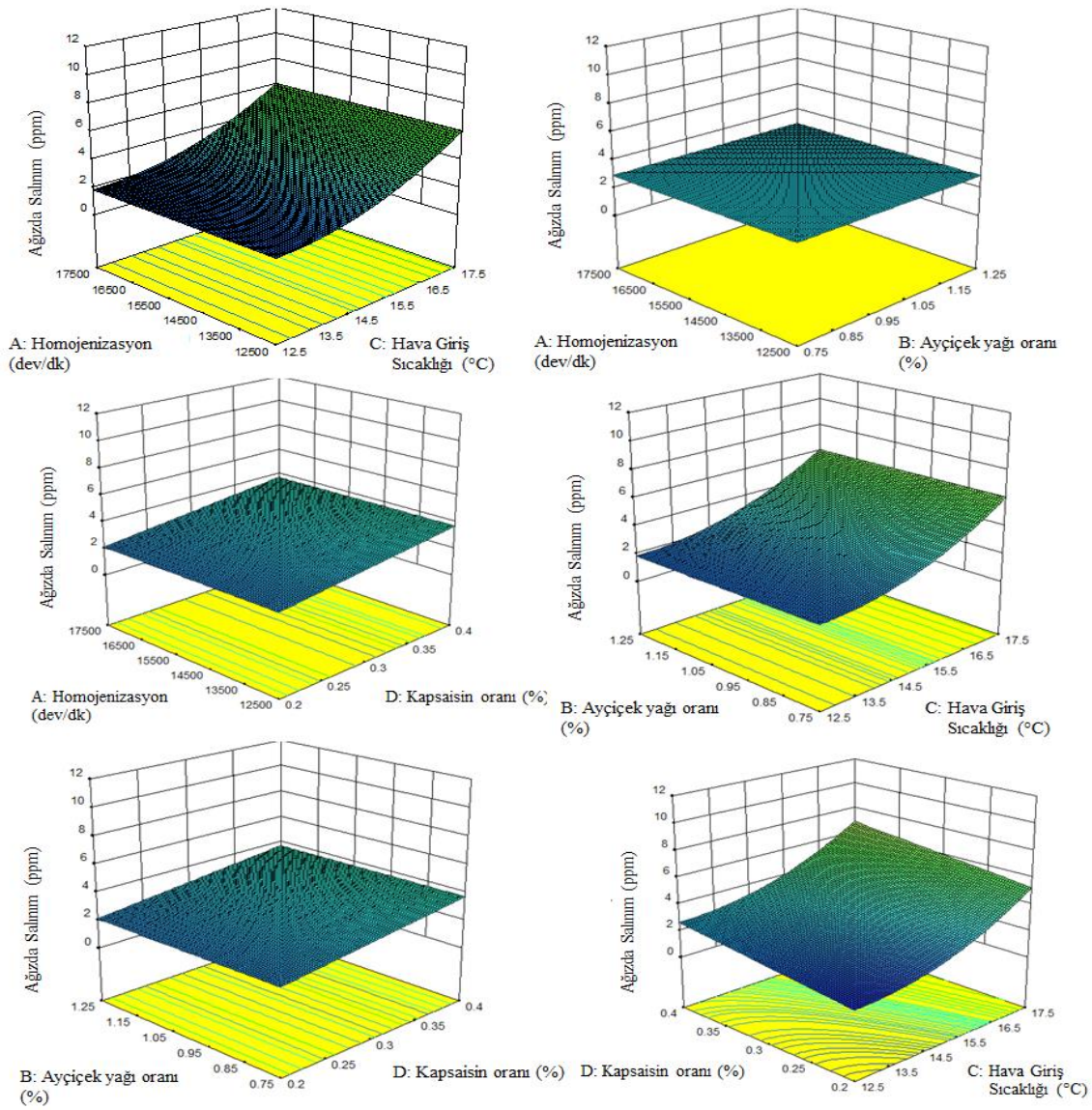
Eşitlikte; AS, ağızda salınım miktarını, C, püskürterek soğutma cihazı giriş sıcaklığını ve D, emülsiyondaki kapsaisin oranını ifade etmektedir.

Ağızda salınım değerleri için Eşitlik 4.1’den tahminlenen değerler ile deneysel değerler arasındaki ilişki Şekil 4.5’te verilmiştir. Ağızda salınım değerleri için modelden tahminlenen değerler ile deneysel verilerin uyum içerisinde olduğu Şekil 4.5’te görülmektedir.



Şekil 4.5. Ağızda salınım değerleri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler

İşlem değişkenlerinin kapsaisin mikrokapsüllerinin ağızda salınım değerleri üzerindeki etkilerinin gözlemlenebilmesi için elde edilen modeller kullanılarak yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri oluşturulmuştur. Bu grafiklerin oluşturulabilmesi için işlem değişkenlerinden herhangi biri deneysel tasarımın merkez noktasında sabit tutulmuş, diğer iki değişkenin sonsuz sayıdaki kombinasyonları çıkarılmıştır. Şekil 4.6’da ağızda salınım üzerinde etkili ve etkisiz olan faktörlere ait yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri yer almaktadır.



Şekil 4.6. Kapsaisin mikrokapsülü ağızda salınım değeri için, işlem değişkenlerinin etkisini ve etkisizliğini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi, kapsaisin mikrokapsüllerinin gastrointestinal model sistemde ağızda salınım miktarları, giriş sıcaklığı ve kapsaisin oranının merkez noktalarında sabit kalırken, giriş sıcaklığının yükselmesiyle birlikte artmaktadır. Giriş sıcaklığının azalmasıyla birlikte düşen ağızda salınım miktarı, kapsaisin oranındaki artışla da yükselmektedir. Yine Şekil 4.6’dan görüleceği üzere, kapsaisin mikrokapsüllerinin ağızda salınım miktarları, giriş sıcaklığının ve emülsiyondaki kapsaisin oranının merkez noktalarını aştıktan sonra artış göstermektedir.

EK 2’de verilen Pearson Korelasyon Analizi sonuçlarına göre, ağızda salınım miktarı ile midede salınım miktarı arasında pozitif yönlü %77 oranında korelasyon sağlandığı görülmüştür. Ayrıca ağızda salınım oranı, giriş sıcaklığı ile %63 (pozitif yönlü), toplam kapsaisin miktarı ile %84 (pozitif yönlü) ve mikroenkapsülasyon etkinliği ile %80 (negatif yönlü) korelasyon sağlamıştır.

Ayrıca statik gastrointestinal model sistemde kapsaisin mikrokapsüllerinin ağızda salınımları üzerine giriş sıcaklığının etkisini gösteren grafik EK 3'te verilmiştir.

4.2.1.2. Midede salınım miktarının modelin yanıtı olarak incelenmesi

Çizelge 4.7'de gösterildiği üzere, farklı üretim koşullarında üretilen kapsaisin mikrokapsüllerinin gastrointestinal model sistemde midede salınım miktarları 2.62 mg/kg ile 29.79 mg/kg arasında değişiklik göstermiştir.

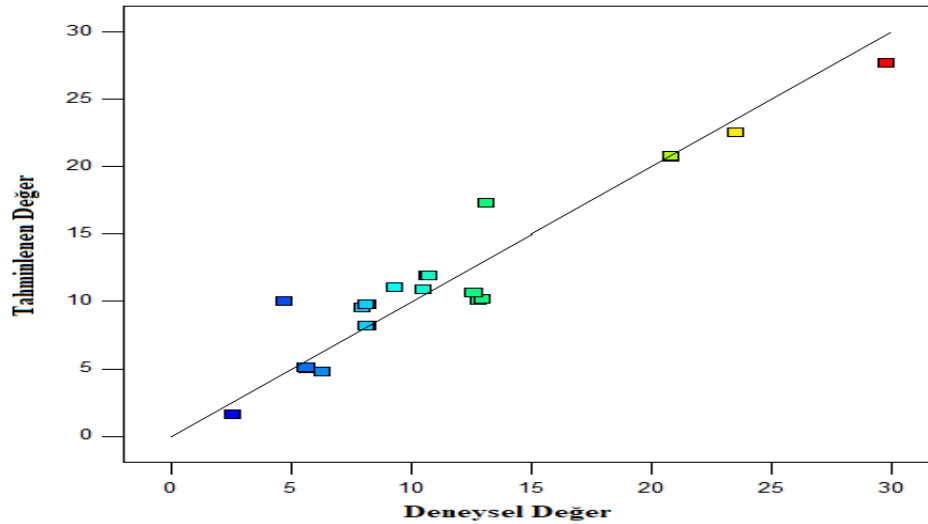
Kapsaisin mikrokapsüllerinin midede salınım oranları üzerine en etkili işlem değişkenlerinin ANOVA analizi sonucunda, püskürterek soğutma giriş sıcaklığı ve emülsiyondaki kapsaisin oranı olduğu bulgulanmıştır (Çizelge 4.8). Giriş sıcaklığındaki artış ile birlikte kapsaisin mikrokapsüllerinin midede salınım değerleri artmıştır. Ayrıca emülsiyondaki kapsaisin miktarı arttıkça, mikroenkapsülasyon etkinliği düşüp, serbest kapsaisin miktarı arttığından midede salınım oranı da artış göstermiştir.

Kapsaisin mikrokapsüllerinin midede salınım oranı için regresyon analizi sonucunda elde edilen ikinci dereceden polinomial model, kodlanmış değişkenler cinsinden Eşitlik 4.2'de gösterilmiştir. (Eşitlikteki değerler, önemsiz değişkenlerin çıkarılmasıyla indirgenmiş değerler üzerinden verilmiştir.)

$$MS = 9.28 + 4.43 * C + 3.93 * D + 2.53 * C^2 \quad (4.2)$$

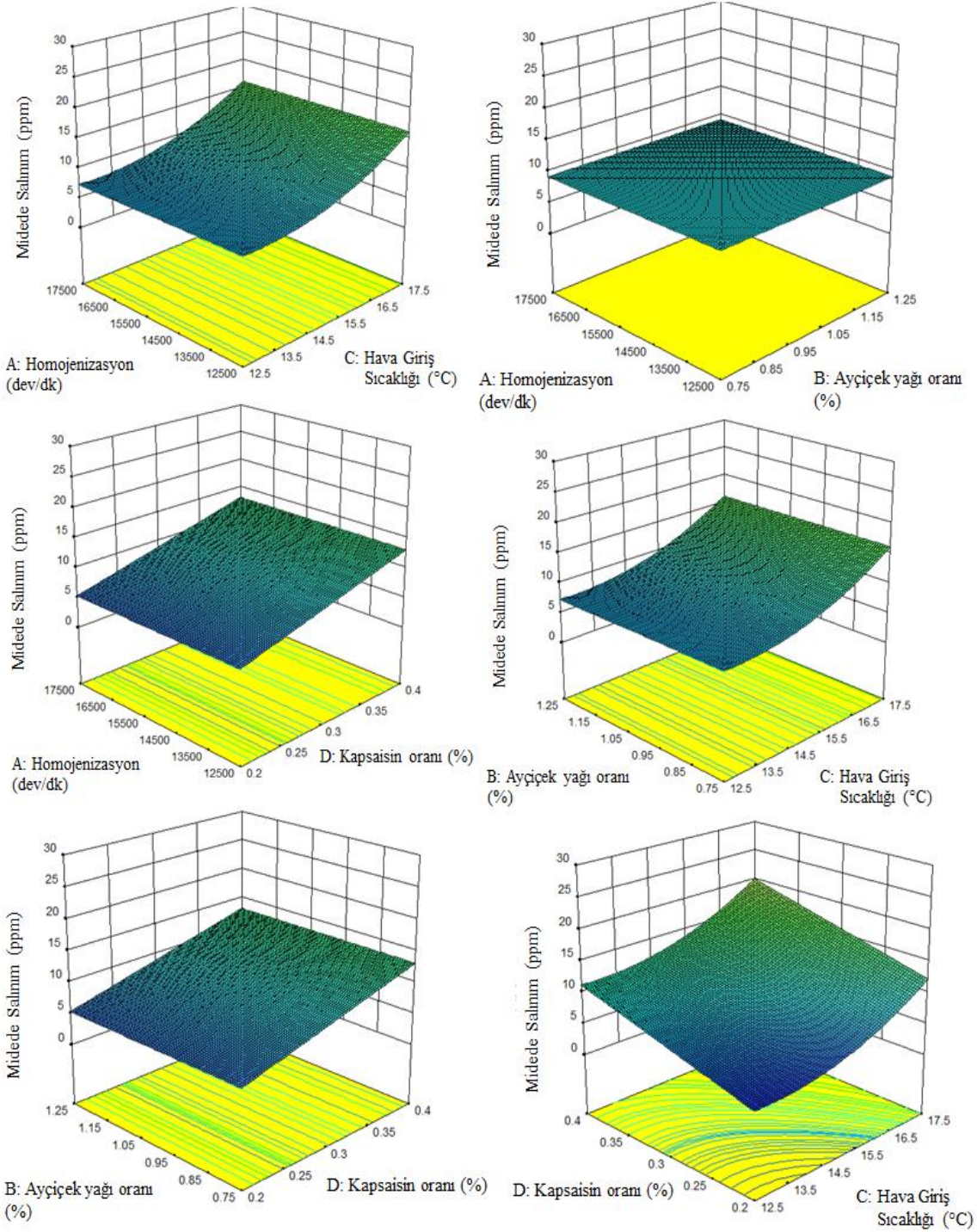
Eşitlikte; MS, midede salınımı, C, püskürterek soğutma giriş sıcaklığını ve D, emülsiyondaki kapsaisin oranını ifade etmektedir.

Midede salınım oranı için Eşitlik 4.2'den tahminlenen değerler ve deneysel değerler arasındaki ilişki Şekil 4.7'de verilmiştir. Şekil 4.7 incelendiğinde, midede salınım miktarı için modelden tahminlenen değerler ile deneysel verilerin uyum içerisinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7. Midede salınım değerleri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler

İşlem değişkenlerinin kapsaisin mikrokapsüllerinin midede salınım değerleri üzerindeki etkilerinin gözlemlenebilmesi için elde edilen modeller kullanılarak yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri oluşturulmuştur. Şekil 4.8’de midede salınım üzerinde etkili ve etkisiz olan faktörlere ait yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri yer almaktadır.



Şekil 4.8. Kapsaisin mikrokapsülü midede salınım değeri için, işlem değişkenlerinin etkisini ve etkisizliğini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi, kapsaisin mikrokapsüllerinin gastrointestinal model sistemde midede salınım miktarları, giriş sıcaklığı ve kapsaisin oranının artmasıyla birlikte artmaktadır. Yine Şekil 4.8’den görüleceği üzere, kapsaisin mikrokapsüllerinin midede salınım miktarları giriş sıcaklığının ve emülsiyondaki kapsaisin oranının merkez noktalarını aştıktan sonra artış göstermektedir.

EK 2’de verilen Pearson Korelasyon Analizi sonuçlarına göre, midede salınım miktarı ile giriş sıcaklığı arasında pozitif yönlü %63 oranında korelasyon sağlandığı görülmüştür. Ayrıca midede salınım miktarı, emülsiyondaki kapsaisin oranı ile %56 (pozitif yönlü), toplam kapsaisin miktarı ile %56 (pozitif yönlü), serbest kapsaisin miktarı ile %91 (pozitif yönlü) ve mikrokapsülasyon etkinliği ile %78 (negatif yönlü) korelasyon sağlamıştır.

Ayrıca statik gastrointestinal model sistemde kapsaisin mikrokapsüllerinin midede salınımları üzerine giriş sıcaklığının etkisini gösteren grafik EK 3’te verilmiştir.

4.2.1.3. Mikrokapsülasyon etkinliğinin modelin yanıtı olarak incelenmesi

Püskürterek soğutma cihazı ile farklı üretim koşullarında üretilen kapsaisin mikrokapsüllerinin mikrokapsülasyon etkinlikleri %78.48 ile %98.17 arasında değişiklik göstermiştir (Çizelge 4.7).

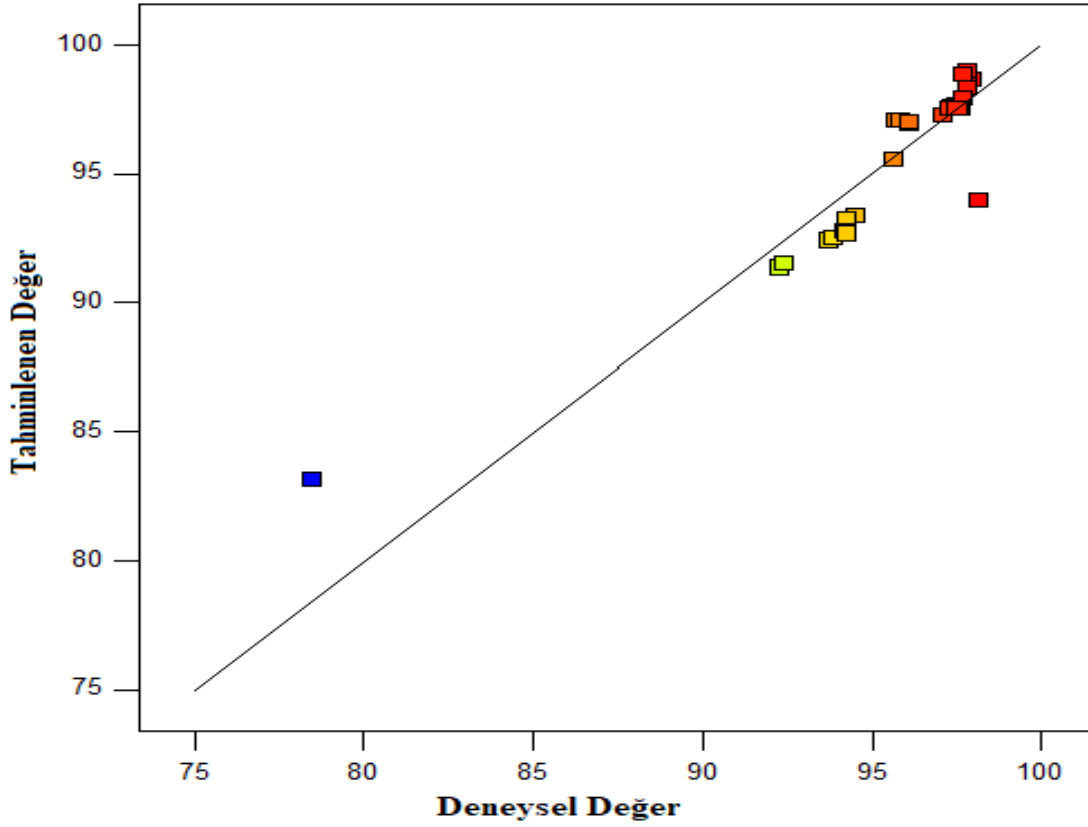
Kapsaisin mikrokapsüllerinin mikrokapsülasyon etkinlikleri üzerine etkili olan tek işlem değişkeninin ANOVA analizi sonuçlarına göre, püskürterek soğutma giriş sıcaklığı olduğu bulgulanmıştır (Çizelge 4.8). Giriş sıcaklığındaki artış ile birlikte kapsaisin mikrokapsüllerinin mikrokapsülasyon etkinlikleri düşmüş, en düşük etkinlik sonucu olan %78.48 değeri en yüksek giriş sıcaklığı olan 20 °C’de hesaplanmıştır. Püskürterek soğutma giriş sıcaklığı dışında herhangi bir model değişkeninin mikrokapsülasyon etkinliği değerleri üzerinde önemli bir etkisi gözlenmemiştir ($p>0.05$).

Kapsaisin mikrokapsüllerinin mikrokapsülasyon etkinliği değerleri için regresyon analizi sonucunda elde edilen ikinci dereceden polinomial model, kodlanmış değişkenler cinsinden Eşitlik 4.3’te gösterilmiştir. (Eşitlikteki değerler, önemsiz değişkenlerin çıkarılmasıyla indirgenmiş değerler üzerinden verilmiştir.)

$$ME (\%) = 97.44 + 9.66471 * C - 0.35821 * C^2 \quad (4.3)$$

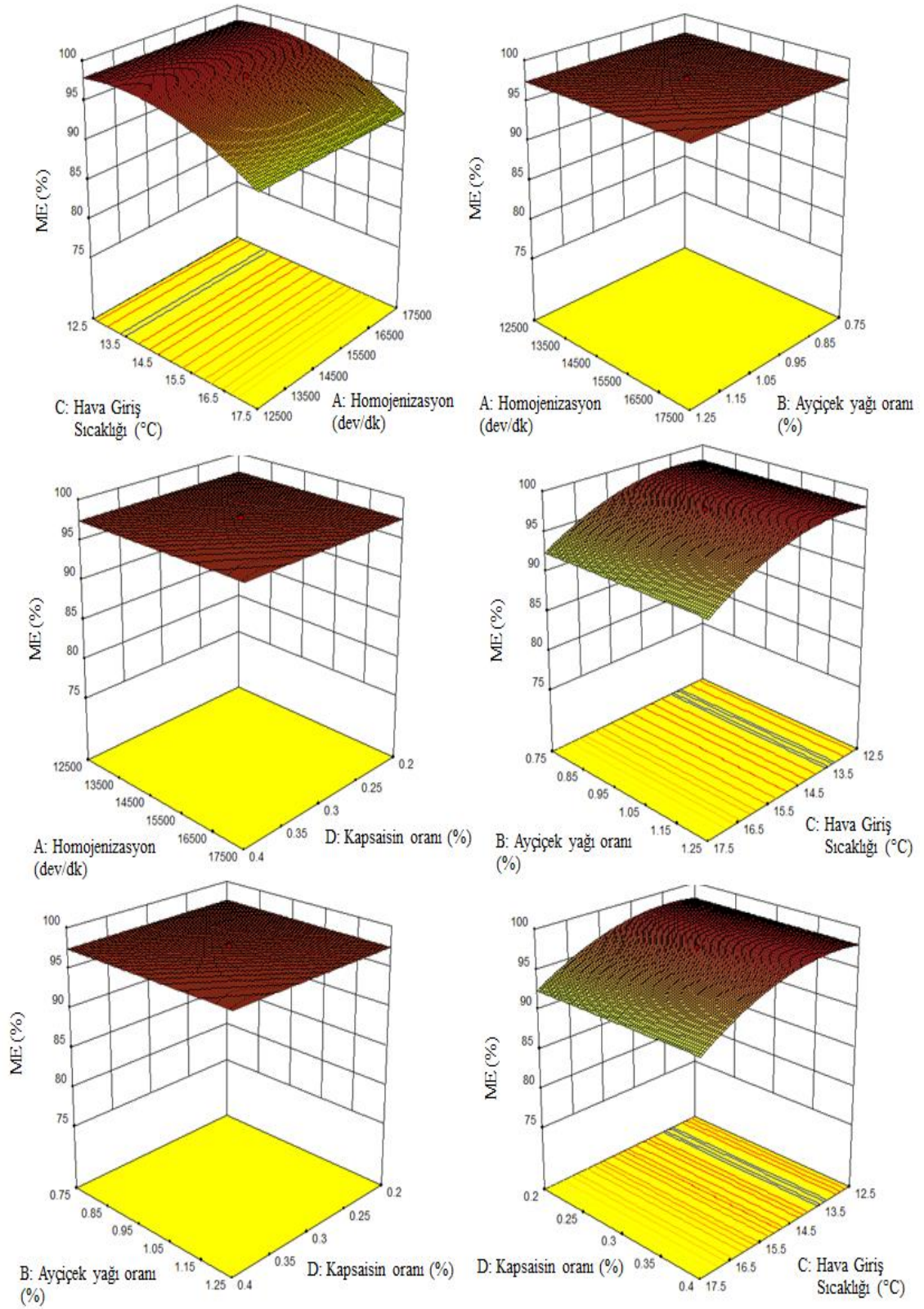
Eşitlikte; ME, mikrokapsülasyon etkinliğini, C, püskürterek soğutma giriş sıcaklığını ifade etmektedir.

Mikrokapsülasyon etkinliği değeri için Eşitlik 4.3’ten tahminlenen değerler ve deneysel değerler arasındaki ilişki Şekil 4.9’da verilmiştir. Şekil 4.9 incelendiğinde, mikrokapsülasyon etkinliği değerleri için modelden tahminlenen değerler ile deneysel verilerin uyum içerisinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.9. Mikroenkapsülasyon etkinliği değerleri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler

İşlem değişkenlerinin kapsaisin mikrokapsüllerinin mikroenkapsülasyon etkinliği değerleri üzerindeki etkilerinin gözlemlenebilmesi için elde edilen modeller kullanılarak yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri oluşturulmuştur. Bu grafiklerin oluşturulabilmesi için işlem değişkenlerinden herhangi biri deneysel tasarımın merkez noktasında sabit tutulmuş, diğer iki değişkenin sonsuz sayıdaki kombinasyonları çıkarılmıştır. Şekil 4.10'da mikroenkapsülasyon etkinliği üzerinde etkili ve etkisiz olan faktörlere ait yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri yer almaktadır.



Şekil 4.10. Mikroenkapsülasyon etkinliği değeri için, işlem değişkenlerinin etkisini ve etkisizliğini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri

Şekil 4.10’da görüldüğü gibi, kapsaisin mikrokapsüllerinin mikroenkapsülasyon etkinliği değerleri, püskürterek soğutma giriş sıcaklığı değerinin artmasıyla birlikte azalmaktadır. En yüksek giriş sıcaklığı değeri olan 20 °C’de üretilen kapsaisin mikrokapsülleri, %78.48 ile en düşük mikroenkapsülasyon etkinliği değerine sahip olmuştur. Yine Şekil 4.10’dan görüleceği üzere, kapsaisin mikrokapsüllerinin mikroenkapsülasyon etkinliği değerleri üzerine homojenizasyon hızı, ayçiçek yağı oranı ve emülsiyondaki kapsaisin oranının istatistiki açıdan önemli ($p>0.05$) bir etkisi gözlenmemiştir.

EK 2’de verilen Pearson Korelasyon Analizi sonuçlarına göre, mikroenkapsülasyon etkinliği ile ağızda salınım miktarı arasında negatif yönlü %80, midede salınım miktarı arasında da negatif yönlü %78 oranında korelasyon sağlandığı tespit edilmiştir. Ayrıca mikroenkapsülasyon etkinliği değeri, giriş sıcaklığı ile %66 (negatif yönlü) ve serbest kapsaisin miktarı ile %95 (negatif yönlü) korelasyon sağlamıştır.

4.2.2. Kapsaisin mikrokapsüllerinin özellikleri

4.2.2.1. Kapsaisin mikrokapsüllerinin nem oranları ve su aktivitesi değerleri

CCRD deneme desenine göre üretilmiş olan 30 adet farklı kapsaisin mikrokapsülünün gravimetrik olarak nem değerleri ve su aktivitesi ölçüm cihazı yardımıyla su aktivitesi değerleri belirlenmiştir. Elde edilen bu deneysel veriler Çizelge 4.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11’de yer alan ortalama deneysel verilere göre, kapsaisin mikrokapsüllerinin nem içerikleri %5.27 ile %5.73 değerleri arasında değişiklik göstermiştir. Kapsaisin mikroenkapsülasyonunda beklenildiği üzere, üretim parametrelerinin değişmesi nem değerini etkilememekle birlikte, emülsiyonda %6 su içeriğine sahip olan tüm örnekler, yaklaşık olarak aynı sonuçları vermiştir. Yüksek sıcaklık uygulaması olmadığı için tüm emülsiyonlar ilk etapta sahip oldukları su içeriğini korumuştur. Bunun yanında tüm örneklerde meydana gelen yaklaşık %1’lik su kaybının, emülsiyon hazırlamada kullanılan protein ve/veya stabilizatör tarafından hapsedildiği veya üretim esnasında kısa süreli maruz kalınan yüksek sıcaklıkla kaybolduğu düşünülmektedir.

Toz örneklerin su aktivitesi değerlerine göz atıldığında ise, nem değeri sonuçlarına benzer olarak tüm örneklerin birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Örneklerin su aktivitesi değerlerinin 0.3843 ile 0.3888 değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir. Emülsiyonların hazırlanmasında kullanılan protein ve stabilizatör tipinin sabit kalmasından ve bu nedenle tüm emülsiyonlarda su bağlama oranının aynı olmasından dolayı elde edilen örneklerde su aktivitesi değerinin değişmediği düşünülmektedir.

Çizelge 4.11. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait nem ve su aktivitesi analizlerinin ortalama sonuçları

Deneme No	Nem (%)	a_w
1	5.27 ± 0.03	0.388 ± 0.001
2	5.50 ± 0.03	0.387 ± 0.001
3	5.45 ± 0.02	0.385 ± 0.002
4	5.66 ± 0.06	0.384 ± 0.003
5	5.56 ± 0.03	0.385 ± 0.004
6	5.55 ± 0.00	0.384 ± 0.001
7	5.52 ± 0.06	0.385 ± 0.000
8	5.46 ± 0.04	0.386 ± 0.002
9	5.50 ± 0.01	0.388 ± 0.002
10	5.53 ± 0.12	0.386 ± 0.006
11	5.50 ± 0.08	0.388 ± 0.004
12	5.51 ± 0.10	0.385 ± 0.005
13	5.57 ± 0.18	0.387 ± 0.001
14	5.52 ± 0.14	0.387 ± 0.002
15	5.40 ± 0.04	0.388 ± 0.000
16	5.69 ± 0.01	0.385 ± 0.004
17	5.58 ± 0.09	0.385 ± 0.007
18	5.55 ± 0.00	0.386 ± 0.001
19	5.56 ± 0.02	0.385 ± 0.001
20	5.54 ± 0.04	0.385 ± 0.002
21	5.59 ± 0.02	0.387 ± 0.002
22	5.64 ± 0.01	0.387 ± 0.003
23	5.73 ± 0.09	0.387 ± 0.005
24	5.35 ± 0.01	0.384 ± 0.006
25	5.51 ± 0.04	0.388 ± 0.001
26	5.46 ± 0.01	0.386 ± 0.004
27	5.59 ± 0.04	0.387 ± 0.002
28	5.63 ± 0.01	0.387 ± 0.003
29	5.50 ± 0.01	0.386 ± 0.002
30	5.48 ± 0.00	0.385 ± 0.003

 a_w : Su aktivitesi

Su aktivitesi değeri 0.60'dan küçük olan toz ürünlerin genellikle mikrobiyolojik olarak stabil olduğu literatür çalışmalarında belirtilmekte (Labuza ve Shafiur Rahman 2007) olup, bu literatür bilgisi doğrultusunda mevcut çalışmada elde edilen kapsaisin mikrokapsüllerinin mikrobiyal açıdan stabil olacağı öngörülmektedir.

Konu ile ilgili literatürde yapılmış benzer çalışmalarda, su aktivitesi değerinin emülsiyon veya dispersiyonun su içeriği ve emülsiyon veya dispersiyon bileşenlerinin bağladığı su içeriğine göre değişiklik gösterebileceği bildirilmiştir. Literatür çalışmalarında püskürtürerek soğutma yöntemi ile elde edilen toz partiküllerde su aktivitesi değeri 0.46-0.60 arasında değişmiştir (Martins vd. 2012; Martins vd. 2013).

Kapsaisin içeren emülsiyonların nem ve su aktivitesi değerlerinin CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden nasıl ve ne ölçüde etkilendiğini ortaya koymak için Design-Expert paket programı kullanılarak ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. ANOVA analizine ait sonuçlar Çizelge 4.12’de sunulmuştur.

Çizelge 4.12. Kapsaisin mikrokapsüllerinin nem ve su aktivitesi değerlerine ait ANOVA tablosu

VK	SD	Nem Oranı (%)		a_w Değeri	
		HKT	<i>p</i>	HKT	<i>p</i>
Model	14	0.061	0.95	0.209	0.52
A	1	0.015	0.29	0.187	0.28
B	1	0.106	0.77	0.165	0.31
C	1	0.806	0.43	0.150	0.92
D	1	0.010	0.37	0.104	0.42
AB	1	0.390	0.58	0.525	0.56
AC	1	0.562	0.51	0.144	0.34
AD	1	0.506	0.84	0.306	0.17
BC	1	0.012	0.34	0.517	0.08
BD	1	0.039	0.58	0.455	0.59
CD	1	0.400	0.86	0.156	0.33
A²	1	0.119	0.99	0.155	0.40
B²	1	0.429	0.85	0.187	0.28
C²	1	0.457	0.55	0.353	0.63
D²	1	0.114	0.76	0.953	0.44
Kalıntı	15	0.20		0.231	
Model	10	0.17	0.04*	0.198	0.04*
Uyumsuzluğu					
Saf Hata	5	0.022		0.330	
Toplam	29	0.26		4.41	

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, HKT: Hata kareler toplamı, A: Homojenizasyon hızı, B: Ayçiçek yağı oranı, C: Sıcaklık, D: Kapsaisin oranı

Çizelge 4.12’de yer alan ANOVA tablosu incelendiğinde kapsaisin mikrokapsüllerinin nem ve su aktivitesi değerleri üzerinde model uyumsuzluğunu belirten değerlerin önemli ($p < 0.05$) etkisi olduğu gözlenmektedir. CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden hiç birinin kapsaisin mikrokapsüllerinin nem ve su aktivitesi değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli ($p > 0.05$) etkisi olmadığı belirlenmiştir.

4.2.2.2. Kapsaisin mikrokapsüllerinin yığın yoğunluğu

Yığın yoğunluğu değeri ürünün ambalajlanması, taşınması ve pazarlanması açısından önemli bir faktördür (Shishir vd. 2014). Yığın yoğunluğu partikül çapı ve partikül boyut dağılımına bağlı olarak değişmektedir (Barbosa-Canovas vd. 2005).

CCRD deneme desenine göre üretilmiş olan 30 adet farklı kapsaisin mikrokapsülünün yığın yoğunluğu değerleri belirlenmiş ve analizler sonucunda elde edilen ortalama deneysel veriler Çizelge 4.13'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait yığın yoğunluğu analizlerinin ortalama sonuçları

Deneme No	Yığın Yoğunluğu (kg/m ³)
1	235.00 ± 7.00
2	238.00 ± 3.00
3	230.00 ± 0.00
4	240.00 ± 0.00
5	240.00 ± 0.00
6	233.00 ± 5.00
7	248.00 ± 4.00
8	240.00 ± 7.00
9	251.00 ± 6.00
10	248.00 ± 3.00
11	255.00 ± 0.00
12	237.00 ± 5.00
13	238.00 ± 6.00
14	240.00 ± 0.00
15	225.00 ± 5.00
16	223.00 ± 7.00
17	240.00 ± 6.00
18	244.00 ± 4.00
19	244.00 ± 4.00
20	238.00 ± 4.00
21	238.00 ± 6.00
22	206.00 ± 5.00
23	245.00 ± 7.00
24	241.00 ± 8.00
25	231.00 ± 5.00
26	247.00 ± 3.00
27	238.00 ± 2.00
28	235.00 ± 1.00
29	234.00 ± 1.00
30	217.00 ± 4.00

Kapsaisin mikrokapsüllerine uygulanan yığın yoğunluğu analizi sonuçlarına göre, örneklerin yığın yoğunluğu değerlerinin 206 kg/m³ ile 255 kg/m³ arasında değiştiği belirlenmiştir. Kapsaisin mikropartiküllerinin yığın yoğunluğu sonuçları birbirine yakın bulunmuş ve bu sonuçların üretim parametrelerinden etkilenmediği görülmüştür.

Yığın yoğunluğu değeri, mikroenkapsülasyon işlemi esnasında kullanılan taşıyıcı maddelerin molekül ağırlığı ile yakından ilişkili bir değer olup, yüksek molekül

ağırlığına sahip taşıyıcılar partiküller arasındaki boşlukları daha kolay doldurup, daha az yer kaplayarak yüksek yığın yoğunluğu değerlerine sebep olabilmektedir. Ayrıca yığın yoğunluğu değeri taşıyıcının molekül ağırlığından ziyade elde edilen mikropartikülün su içeriğinden de etkilenmekte olup, yüksek su içeriğine sahip ürünler daha yüksek yığın yoğunluğu değeri vermektedirler (Mahdavi vd. 2016). Tüm bu kriterler ışığında, mevcut çalışmada elde edilen mikropartiküllerin sabit nem içeriği ve sabit kaplama materyaline sahip olmasından dolayı yığın yoğunluğu değerlerinin birbirine yakın olarak belirlendiği düşünülmektedir.

Kapsaisin mikrokapsüllerinin yığın yoğunluğu değerlerinin CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden nasıl ve ne ölçüde etkilendiğini ortaya koymak için Design-Expert paket programı kullanılarak ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Kapsaisin mikrokapsüllerinin yığın yoğunluğu değerlerine ait ANOVA tablosu

VK	SD	Yığın Yoğunluğu (kg/m ³)	
		HKT	p
Model	14	1.87	0.09
A	1	8.20	0.72
B	1	5.45	0.37
C	1	5.18	0.01*
D	1	1.93	0.86
AB	1	0.161	0.62
AC	1	0.241	0.85
AD	1	0.254	0.54
BC	1	0.104	0.90
BD	1	0.411	0.16
CD	1	0.428	0.06
A²	1	0.147	0.15
B²	1	0.129	0.17
C²	1	0.175	0.12
D²	1	0.180	0.11
Kalıntı	15	9.83	
Model Uyumsuzluğu	10	4.94	0.03*
Saf Hata	5	4.89	
Toplam	29	2.85	

* $p < 0.05$ seviyesinde istatistiki açıdan önemli

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, HKT: Hata kareler toplamı, A: Homojenizasyon hızı, B: Ayçiçek yağı oranı, C: Sıcaklık, D: Kapsaisin oranı

Çizelge 4.14'te yer alan ANOVA analizine göre, kapsaisin mikrokapsüllerinin yığın yoğunluğu değerlerinin model ile uyumsuz olduğu gözlenmektedir ($p > 0.05$). Bunun yanı sıra, CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden püskürterek soğutma giriş sıcaklığının üretilen kapsaisin mikrokapsüllerinin yığın yoğunluğu değerleri

üzerinde istatistiki açıdan önemli ($p<0.05$) bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Kapsaisin mikrokapsülasyonunda giriş sıcaklığının artmasıyla birlikte elde edilen toz partiküllerinin yapışkanlığının artmasından dolayı püskürterek soğutma giriş sıcaklığının yığın yoğunluğu değeri üzerinde önemli etkisi olduğu değerlendirilmiştir. CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden sıcaklık haricinde herhangi bir değişkenin ise kapsaisin mikrokapsüllerinin yığın yoğunluğu değerleri üzerine istatistiki açıdan önemli etkisi gözlenmemiştir.

EK 2’de verilen Pearson Korelasyon Analizi sonuçlarına göre, mikrokapsüle kapsaisin tozlarının yığın yoğunluğu değerleri ile sıkıştırılmış yoğunluk değerleri arasında negatif yönlü %78 oranında korelasyon bulunduğu görülmektedir.

4.2.2.3. Kapsaisin mikrokapsüllerinin sıkıştırılmış yoğunluğu

Sıkıştırılmış yoğunluk, toz partiküllerde, taşıma, depolama ve satış aşamalarında oldukça önemli bir kriter olup, yüksek sıkıştırılmış yoğunluğa sahip olan materyaller, düşük sıkıştırılmış yoğunluğa sahip materyallerle kıyaslandığında daha küçük hacimli ambalajlarda taşınabilmekte ve aynı zamanda daha küçük ambalaj materyallerine daha çok ürün sığdırılabilmektedir (Mahdavi vd. 2016).

CCRD deneme desenine göre üretilmiş olan 30 adet farklı kapsaisin mikrokapsülünün sıkıştırılmış yoğunluk değerleri belirlenmiş ve analizler sonucunda elde edilen ortalama deneysel veriler Çizelge 4.15’te gösterilmiştir.

Mevcut çalışmada kapsaisin mikrokapsüllerinin sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin 344 kg/m^3 ile 524 kg/m^3 arasında değiştiği belirlenmiştir. Kapsaisin mikrokapsüllerinin yığın yoğunluğu analizi sonuçlarına göre tüm örnekler yaklaşık 2 katına kadar sıkıştırılmış, bu da daha küçük ambalaj materyallerine daha fazla ürün koyabilmeyi olanaklı kılmıştır. Sıkıştırılmış yoğunluk değeri yığın yoğunluk değeri ile yakından ilişkili bir değer olup, yığın yoğunluğunu etkileyen parametrelerden doğrudan etkilenmektedir (Varhan 2018). Bu nedenle mevcut çalışmada değerlerin belli bir aralık içerisinde belirlenmesinde sabit nem içeriği ve sabit kaplama materyali kullanımının etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca literatürde palm yağı gibi oldukça konsantre taşıyıcılar ile mikrokapsüle edilen toz ürünlerin diğer mikrokapsülasyon yöntemleri ile elde edilen toz ürünlere kıyasla sıkıştırılabilirliklerinin yüksek olduğu rapor edilmiştir (Fernandes vd. 2014)

Çizelge 4.15. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait sıkıştırılmış yoğunluk analizlerinin ortalama sonuçları

Deneme No	Sıkıştırılmış Yoğunluk (kg/m ³)
1	485.00 ± 5.00
2	475.00 ± 5.00
3	487.00 ± 2.00
4	480.00 ± 2.00
5	479.00 ± 5.00
6	466.00 ± 3.00
7	484.00 ± 1.00
8	480.00 ± 7.00
9	471.00 ± 8.00
10	503.00 ± 2.00
11	511.00 ± 1.00
12	477.00 ± 5.00
13	479.00 ± 6.00
14	480.00 ± 0.00
15	451.00 ± 4.00
16	452.00 ± 2.00
17	457.00 ± 3.00
18	467.00 ± 4.00
19	524.00 ± 5.00
20	480.00 ± 0.00
21	477.00 ± 3.00
22	344.00 ± 2.00
23	489.00 ± 1.00
24	482.00 ± 5.00
25	475.00 ± 0.00
26	484.00 ± 4.00
27	471.00 ± 5.00
28	480.00 ± 0.00
29	476.00 ± 4.00
30	451.00 ± 8.00

Kapsaisin mikrokapsüllerinin sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden nasıl ve ne ölçüde etkilendiğini ortaya koymak için Design-Expert paket programı kullanılarak ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. ANOVA analizine ait sonuçlar Çizelge 4.16’da sunulmuştur.

Çizelge 4.16. Kapsaisin mikrokapsüllerinin sıkıştırılmış yoğunluk değerlerine ait ANOVA analizi

VK	SD	Sıkıştırılmış Yoğunluk (kg/m ³)	
		HKT	p
Model	14	0.017	0.04*
A	1	8.45	0.89
B	1	4.46	0.35
C	1	6.18	0.00*
D	1	2.87	0.81
AB	1	0.186	0.54
AC	1	0.34	0.97
AD	1	0.804	0.68
BC	1	0.199	0.53
BD	1	0.280	0.45
CD	1	0.416	0.36
A²	1	0.578	0.91
B²	1	0.249	0.09
C²	1	0.481	0.00*
D²	1	0.830	0.20
Kalıntı	15	7.23	
Model Uyumsuzluğu	10	6.59	0.08
Saf Hata	5	6.39	
Toplam	29	0.025	

* $p < 0.05$ seviyesinde istatistiki açıdan önemli

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, HKT: Hata kareler toplamı, A: Homojenizasyon hızı, B: Ayçiçek yağı oranı, C: Sıcaklık, D: Kapsaisin oranı

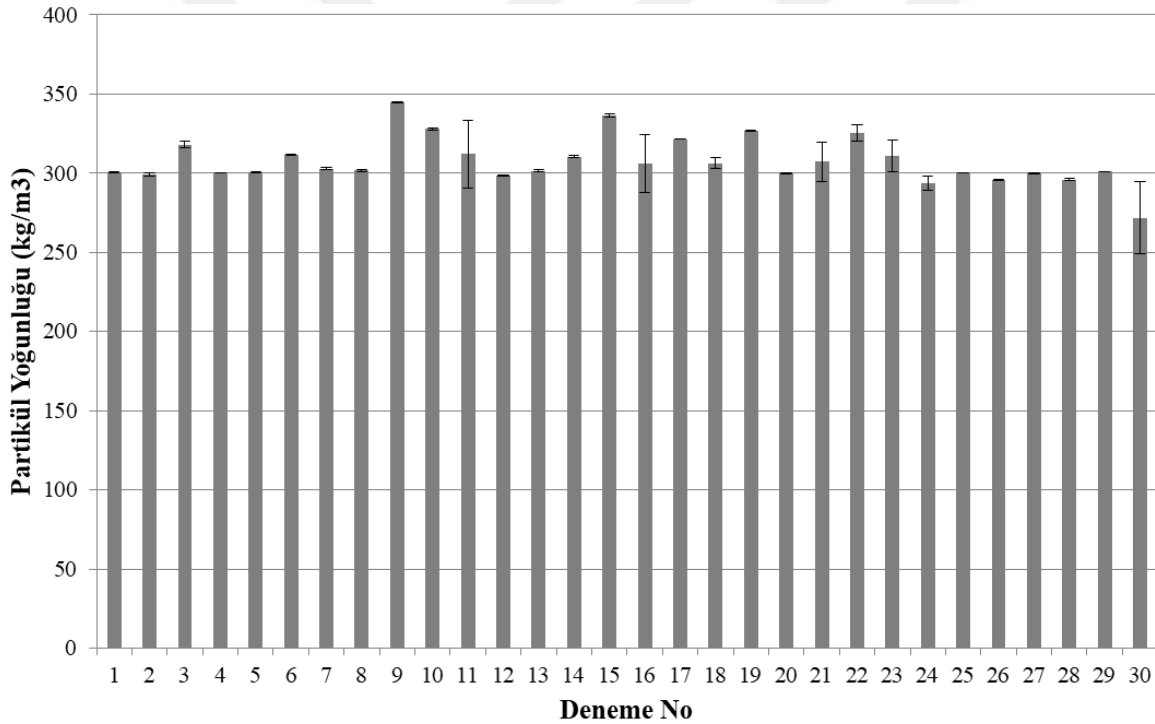
Çizelge 4.16’da yer alan ANOVA analizine göre, kapsaisin mikrokapsüllerinin sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin model ile uyumlu olduğu gözlenmektedir ($p < 0.05$). Sıkıştırılmış yoğunluk daha önce de belirtildiği gibi yığın yoğunluğu değeri ile doğrudan ilişkili bir değer olduğu için CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden yığın yoğunluğunu etkileyen faktörler sıkıştırılmış yoğunluk değerini de etkilemişlerdir. CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden püskürterek soğutma giriş sıcaklığının üretilen kapsaisin mikrokapsüllerinin sıkıştırılmış yoğunluk değerleri üzerinde istatistiki açıdan önemli ($p < 0.05$) etkisi olduğu belirlenmiştir. Kapsaisin mikroenkapsülasyonunda giriş sıcaklığının artmasıyla birlikte elde edilen toz partiküllerinin yapışkanlığının artmasından dolayı yığın yoğunluğu değeri yükselmiş ve yığın yoğunluğu değerine bağlı bir değer olan sıkıştırılmış yoğunluk değerinin de püskürterek soğutma giriş sıcaklığından önemli ölçüde etkilendiği değerlendirilmiştir. CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden sıcaklık haricinde herhangi bir değişkenin kapsaisin

mikrokapsüllerinin sıkıştırılmış yoğunluk değerleri üzerine istatistiki açıdan önemli ($p>0.05$) bir etkisi gözlenmemiştir.

EK 2’de verilmiş olan Pearson Korelasyon Analizi sonuçlarına göre, kapsaisin mikrokapsüllerinin sıkıştırılmış yoğunluk değerleri ile Carr Index değerleri arasında pozitif yönlü %43 oranında korelasyon belirlenmiştir. Ayrıca, kapsaisin mikrokapsüllerinin mikroenkapsülasyon etkinlikleri ile de pozitif yönlü %81’lik bir korelasyon bulunduğu görülmektedir. Mikroenkapsülasyon etkinliği düşük olan örneklerin fiziki olarak yapışkanlık özelliği göstermesinden dolayı sıkıştırılmış yoğunluk değerleri ile aralarında korelasyon olduğu sonucuna varılmıştır.

4.2.2.4. Kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül yoğunluğu

Partikül yoğunluğu toz ürünün yığın yapısı ve partikül büyüklüğü ile doğrudan ilişkili bir özellik olup; CCRD deneme desenine göre üretilmiş olan 30 adet farklı kapsaisin mikrokapsülünün partikül yoğunluğu değerleri belirlenmiş ve analizler sonucunda elde edilen ortalama deneysel veriler Şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait partikül yoğunluğu analizinin ortalama sonuçları

Partikül yoğunluğu, kurutma sıcaklığından, üretilen ürünün partikül büyüklüğünden, atomizasyon koşullarından ve beslenen ürünün niteliklerinden (emülsiyon, dispersiyon vb.) etkilenen bir değer olup, mevcut çalışmada elde edilen kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül yoğunluk değerleri 271 kg/m^3 ile 344 kg/m^3 arasında değişiklik göstermiştir.

Farklı taşıyıcılar kullanılarak konjuge linoleik asidin mikrokapsülasyonunun yapıldığı bir çalışmada, elde edilen partikül yoğunluğu değerlerinin taşıyıcılardan etkilendiği rapor edilmiştir (Jimenez vd. 2010). Mevcut çalışmada örneklerin partikül yoğunlukları arasındaki farkın üretim sıcaklığının değişmesinden ve/veya beslenen emülsiyon bileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Söz konusu değerler literatürde yapılan benzer bir çalışma ile paralellik göstermektedir (Fernandes vd. 2014).

Kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül yoğunluğu değerlerinin CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden nasıl ve ne ölçüde etkilendiğini ortaya koymak için Design-Expert paket programı kullanılarak ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. ANOVA analizine ait sonuçlar Çizelge 4.17’de sunulmuştur.

Çizelge 4.17. Kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül yoğunluğu değerlerine ait ANOVA analizi

VK	SD	Partikül Yoğunluğu (kg/m ³)	
		HKT	p
Model	14	3.28	0.32
A	1	3.55	0.18
B	1	2.31	0.27
C	1	1.23	0.93
D	1	1.96	0.31
AB	1	2.67	0.24
AC	1	0.88	0.49
AD	1	1.10	0.44
BC	1	0.27	0.23
BD	1	1.14	0.44
CD	1	0.48	0.61
A²	1	0.63	0.08
B²	1	0.59	0.09
C²	1	0.81	0.06
D²	1	1.02	0.46
Kalıntı	15	2.74	
Model Uyumsuzluğu	10	2.12	0.04*
Saf Hata	5	6.20	
Toplam	29	6.03	

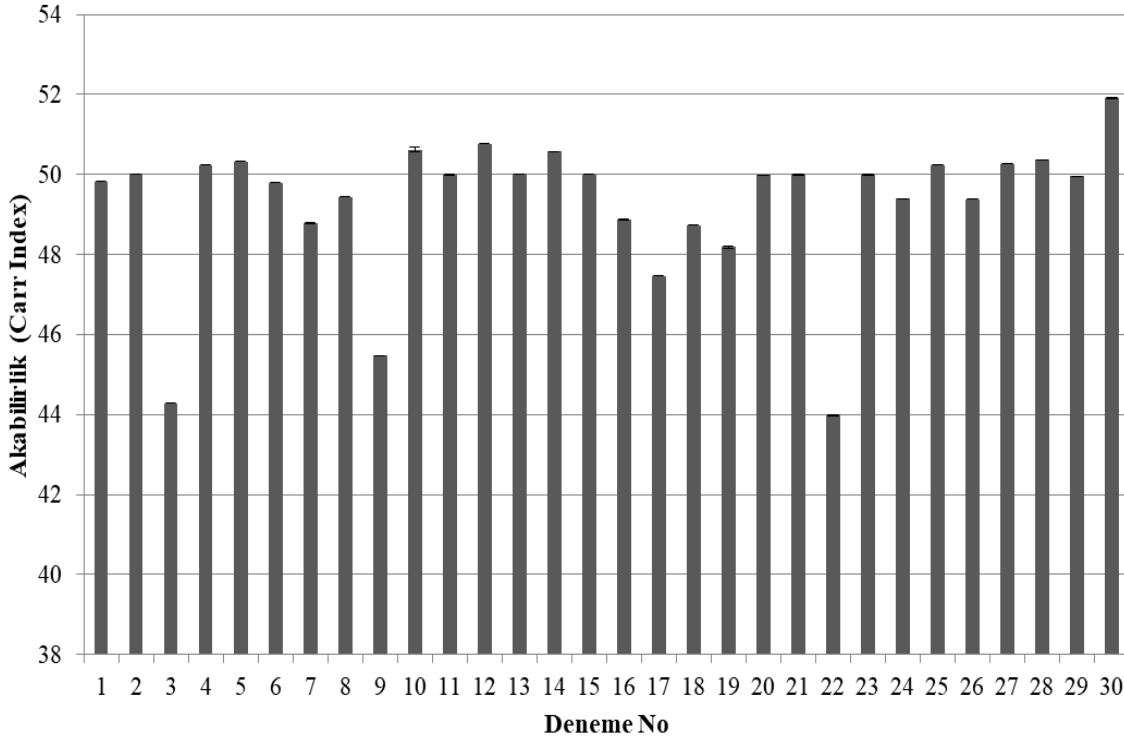
VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, HKT: Hata kareler toplamı, A: Homojenizasyon hızı, B: Ayçiçek yağı oranı, C: Sıcaklık, D: Kapsaisin oranı

Çizelge 4.17’de yer alan ANOVA analiz sonuçları incelendiğinde kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül yoğunluğu değerlerinin model ile uyumsuz ($p>0.05$) olduğu

görülmektedir. CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden hiç birisinin kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül yoğunluğu değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli etkisi bulunmamıştır.

4.2.2.5. Kapsaisin mikrokapsüllerinin akabilirlik indeksi (Carr Index)

CCRD deneme desenine göre üretilmiş olan 30 adet farklı kapsaisin mikrokapsülünün akabilirlik değerleri, kapsaisin mikrokapsüllerinin yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri üzerinden matematiksel olarak hesaplanmıştır. Akabilirlik değeri boyutsuz olup, hesaplamalar sonucu elde edilen veriler Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait akabilirlik indeksi sonuçları

Püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilen kapsaisin mikrokapsüllerinin akabilirlik sonuçları 43.98 ile 51.90 arasında değişmiştir. Carr (1965) yaptığı çalışmada, yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri üzerinden hesaplanan Carr Index (CI) değerlerini, 15’ten küçük olması durumunda çok iyi, 15-20 arasında ise iyi, 20-35 arasında ise zayıf, 35-45 arasında ise kötü ve 45’ten büyük ise çok kötü olarak tanımlamıştır. Carr (1965)’ın yaptığı bu tanımlamaya göre, mevcut çalışmada püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilen kapsaisin mikrokapsüllerinin akabilirlik özelliğinin kötü tanımlanmasına karşılık geldiği saptanmıştır.

Toz ürünlerin akış özellikleri, bu ürünlerin yığın halinde bulunduğu durumlarda (taşıma, depolama vb.) büyük öneme sahiptir. Toz ürün küçük boyutlardaki taneciklerden oluşan tanecikli bir katı ise, partiküller arasında meydana gelen, sürtünme, yapışma ve bağlanma faktörlerinden dolayı ürünün bir yerden başka bir yere taşınması oldukça zorlaşmaktadır (Koç vd. 2011). Mevcut çalışmada yığın yoğunluğu ve

sıkıştırılmış yoğunluk değerleri arasındaki yüksek farklılık, elde edilen partiküllerin küçük boyutlu olması ve kullanılan kaplama materyalinin palm yağı gibi yapışkan özellik gösterebilen bir materyal olmasından dolayı akabilirlik değerlerinin kötü olarak belirlendiği değerlendirilmiştir.

Kapsaisin mikrokapsüllerinin akabilirlik değerlerinin CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden nasıl ve ne ölçüde etkilendiğini ortaya koymak için Design-Expert paket programı kullanılarak ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. ANOVA analizine ait sonuçlar Çizelge 4.18’de sunulmuştur.

Çizelge 4.18. Kapsaisin mikrokapsüllerinin akabilirlik değerlerine ait ANOVA analizi

VK	SD	Akabilirlik (Carr Index)	
		HKT	p
Model	14	43.59	0.57
A	1	8.34	0.14
B	1	0.01	0.94
C	1	1.22	0.55
D	1	0.25	0.79
AB	1	0.048	0.90
AC	1	9.74	0.11
AD	1	0.05	0.90
BC	1	0.56	0.69
BD	1	6.47	0.19
CD	1	0.12	0.85
A²	1	4.88	0.25
B²	1	0.85	0.62
C²	1	13.41	0.06
D²	1	0.01	0.94
Kalıntı	15	51.56	
Model Uyumsuzluğu	10	48.02	0.02*
Saf Hata	5	3.54	
Toplam	29	95.14	

* $p < 0.05$ seviyesinde istatistiki açıdan önemli

A: Homojenizasyon hızı, B: Ayçiçek yağı oranı, C: Sıcaklık, D: Kapsaisin oranı, HKT: Hata kareler toplamı, VK: Varyasyon kaynağı

Çizelge 4.18’de yer alan ANOVA analizi incelendiğinde kapsaisin mikrokapsüllerinin akabilirlik değerlerinin model ile uyumsuz ($p > 0.05$) olduğu görülmektedir. Ayrıca model uyumsuzluğunun da akabilirlik değerleri üzerindeki etkisinin istatistiki açıdan önemli ($p < 0.05$) olduğu bulgulanmıştır. CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden hiç birisinin kapsaisin mikrokapsüllerinin akabilirlik değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli etkisi bulunamamıştır.

4.2.2.6. Kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül morfolojisi (SEM) görüntüleri

Püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilen kapsaisin mikrokapsüllerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri EK 4'te verilmiştir.

Mikrokapsüllerin morfolojisi, kolloidal sistemlerin genel özelliklerinin belirlenmesinde büyük öneme sahiptir. Partiküllerin boyutları ve morfolojileri çekirdek materyalinin fizikokimyasal özelliklerine, duvar materyalinin kompozisyonuna ve enkapsülasyon yöntemine göre değişiklik göstermektedir. Toz partiküllerin morfolojisi, bu partiküllerin akabilirlik ve ıslanabilirlik değerlerini de etkilemektedir (Peleg ve Mannheim 1973).

Püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilen kapsaisin mikrokapsüllerinin SEM görüntüleri (Ek 4) incelendiğinde şekil ve boyut açısından önemli farklılıkların olduğu göze çarpmaktadır. Püskürterek soğutma yönteminde hazırlanan emülsiyonların soğuk hava içerisine atomizasyonu nedeni ile materyal içerisindeki suyun uzaklaştırılması sağlanamadığı için (kütle transferi gerçekleşmez) küresel şekilde katılmış kapsaisin mikrokapsülleri elde edildiği görülmüştür. En düşük sıcaklıkta (10 °C) atomizasyonu gerçekleşen emülsiyondan elde edilen mikrokapsüllerin (21. Deneme) diğer denemelerde elde edilen mikrokapsüllere kıyasla partikül boyutu daha küçük olmuş ve partiküller homojen dağılıma sahip olarak gözlenmiştir.

Literatürde palm yağı kullanılarak tek tabaka ve palm yağı ile farklı proteinler kullanılarak çift tabaka kaplama yapılan bir çalışmada, tek tabaka kapsüllerin çift tabaka kapsüllere kıyasla homojen olmayan dağılım gösterdiği ve kümeleşmeye meyilli olduğu rapor edilmiştir (Varhan 2018). Bu nedenden dolayı mevcut çalışmada çift kaplama yöntemi sayesinde düzgün küresel şekilli ve homojen dağılım gösteren mikrokapsüller elde edildiği düşünülmektedir.

Homojenizasyon hızının partikül morfolojisi üzerine oldukça etkili olduğu SEM görüntülerinden açıkça anlaşılmakta olup, yüksek homojenizasyon hızı ile hazırlanan emülsiyonlardan elde edilen kapsaisin mikrokapsüllerinin yüzeylerinin, düşük homojenizasyon hızlarında hazırlanan emülsiyonlardan elde edilen kapsaisin mikrokapsüllerinin yüzeylerine nazaran delikli/parçalı olduğu görülmektedir. Ayrıca ayçiçek yağı oranının yüksek olduğu emülsiyonlardan elde edilen mikrokapsüllerde topaklanma meydana geldiği görülmektedir. Mevcut çalışmadaki SEM görüntülerine benzer düzgün küresel şekilli partiküller literatürde konu ile alakalı yapılmış çalışmalarda da elde edilmiştir (Guo vd. 2005; Alvim vd. 2013; Consoli vd. 2016).

4.2.2.7. Kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül boyut dağılımı

Püskürterek soğutma yöntemi ile farklı koşullarda üretilmiş olan kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül çapları (hacim ağırlıklı ortalama yarıçap- $D_{[4,3]}$) ve açıklık değerleri lazer ışığı kırınımlı (LLD) partikül boyut cihazı yardımıyla belirlenmiş olup, elde edilen veriler, Çizelge 4.19'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.19. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait $D_{[4,3]}$ ve açıklık değerlerinin ortalama sonuçları

Deneme No	$D_{[4,3]}$ (µm)	Açıklık
1	103.56 ± 0.56	1.40 ± 0.06
2	100.12 ± 0.81	1.41 ± 0.03
3	104.52 ± 0.77	1.36 ± 0.03
4	101.13 ± 0.77	1.38 ± 0.00
5	142.52 ± 0.81	1.95 ± 0.00
6	140.12 ± 0.56	2.00 ± 0.00
7	141.50 ± 0.54	1.94 ± 0.06
8	140.42 ± 0.09	1.93 ± 0.07
9	100.13 ± 0.13	1.31 ± 0.08
10	100.56 ± 0.10	1.44 ± 0.04
11	108.85 ± 0.25	1.46 ± 0.09
12	100.97 ± 0.42	1.40 ± 0.04
13	140.44 ± 0.78	1.96 ± 0.03
14	143.52 ± 0.43	1.94 ± 0.01
15	141.56 ± 0.44	1.94 ± 0.00
16	140.40 ± 0.59	1.93 ± 0.00
17	120.13 ± 0.66	1.65 ± 0.07
18	119.89 ± 0.30	1.66 ± 0.04
19	121.56 ± 0.31	1.63 ± 0.06
20	120.13 ± 0.74	1.62 ± 0.02
21	80.82 ± 0.54	1.11 ± 0.03
22	166.68 ± 0.45	2.33 ± 0.09
23	122.50 ± 0.78	1.66 ± 0.09
24	121.47 ± 0.09	1.68 ± 0.03
25	121.52 ± 0.13	1.66 ± 0.01
26	120.89 ± 0.16	1.64 ± 0.04
27	121.89 ± 0.22	1.68 ± 0.07
28	118.57 ± 0.56	1.65 ± 0.03
29	123.54 ± 0.75	1.63 ± 0.01
30	121.85 ± 0.42	1.60 ± 0.00

Mikroenkapsüle partiküllerin boyut ve şekil açısından karakterize edilmesi oldukça önemli olup, püskürterek soğutma yönteminde emülsifikasyon, soğutma havasının hızı ve sıcaklığı, atomizasyon basıncı, besleme akış hızı ve atomizasyon tipi partikül boyutunu doğrudan etkileyen değerlerdir (Schubert 1987). Ayrıca partikül boyutunu ve dağılımını etkileyen diğer sebepler, taşıyıcı olarak kullanılan lipid bazlı materyalin bileşimi, çekirdek materyalin kompozisyonu, stabilizatörlerin varlığı, konsantrasyonu ve türü, mikrokapsüllerin yükleme oranı gibi değişkenler olarak sıralanabilmektedir (Pongpaibul 1988; Kentepozidou ve Kiparissides 1995; Favaro-Trindade vd. 2016).

Kapsaisin mikrokapsüllerinin Çizelge 4.19’da yer alan ortalama sonuçları incelendiğinde, $D_{[4,3]}$ değerlerinin 80.82 µm ile 166.68 µm arasında ve açıklık değerlerinin ise 1.11 ile 2.33 değerleri arasında değiştiği görülmektedir.

Kapsaisin mikrokapsüllerinin SEM fotoğraflarından da görüldüğü üzere, partikül yüzeylerinin yapışkanlık özelliğinden ötürü topaklanma meydana gelmiş ve partikül boyutu ($D_{[4,3]}$) değerleri literatürde yer alan diğer kurutma yöntemlerinde (püskürterek kurutma vb.) elde edilen partikül boyutu ($D_{[4,3]}$) değerlerinden yüksek bulunmuştur. Partikül boyut değerlerinin diğer kurutma yöntemlerine kıyasla daha yüksek bulgulanmasının bir diğer sebebinin, kaplama materyali olan palm yağı olduğu, yağ bazlı bu materyalin yapışma ve topaklanmaya daha meyilli olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Ayrıca püskürterek soğutma yönteminde materyal içerisindeki su yeterince ortamdan uzaklaştırılamadığı için, bu durum topaklanmaya ve partikül boyutunun büyük hesaplanmasına neden olabilmektedir (Consoli vd. 2016).

Kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül boyutu ve açıklık değerlerinin CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden nasıl ve ne ölçüde etkilendiğini ortaya koymak için Design-Expert paket programı kullanılarak ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. ANOVA analizine ait sonuçlar Çizelge 4.20’de sunulmuştur.

Çizelge 4.20. Kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül boyutu ve açıklık değerlerine ait ANOVA analizi

VK	SD	$D_{[4,3]}$ (µm)		Açıklık	
		HKT	p	HKT	p
Model	14	9757.09	0.00*	1.99	0.00*
A	1	11.10	0.13	7.04	0.43
B	1	1.27	0.60	3.37	0.59
C	1	9694.63	0.00*	1.97	0.00*
D	1	9.60	0.96	1.04	0.76
AB	1	7.81	0.20	3.30	0.10
AC	1	10.11	0.15	5.06	0.51
AD	1	1.43	0.57	5.62	0.82
BC	1	11.94	0.12	1.40	0.27
BD	1	2.16	0.49	3.30	0.10
CD	1	2.02	0.98	7.56	0.42
A²	1	2.48	0.46	3.64	0.57
B²	1	0.23	0.82	4.07	0.55
C²	1	11.05	0.13	1.13	0.07
D²	1	1.03	0.63	1.50	0.26
Kalıntı	15	116.90		0.017	
Model	10	103.60	0.23	0.013	0.28
Uyumsuzluğu					
Saf Hata	5	13.30		3.73	
Toplam	29	9823.91		2.01	

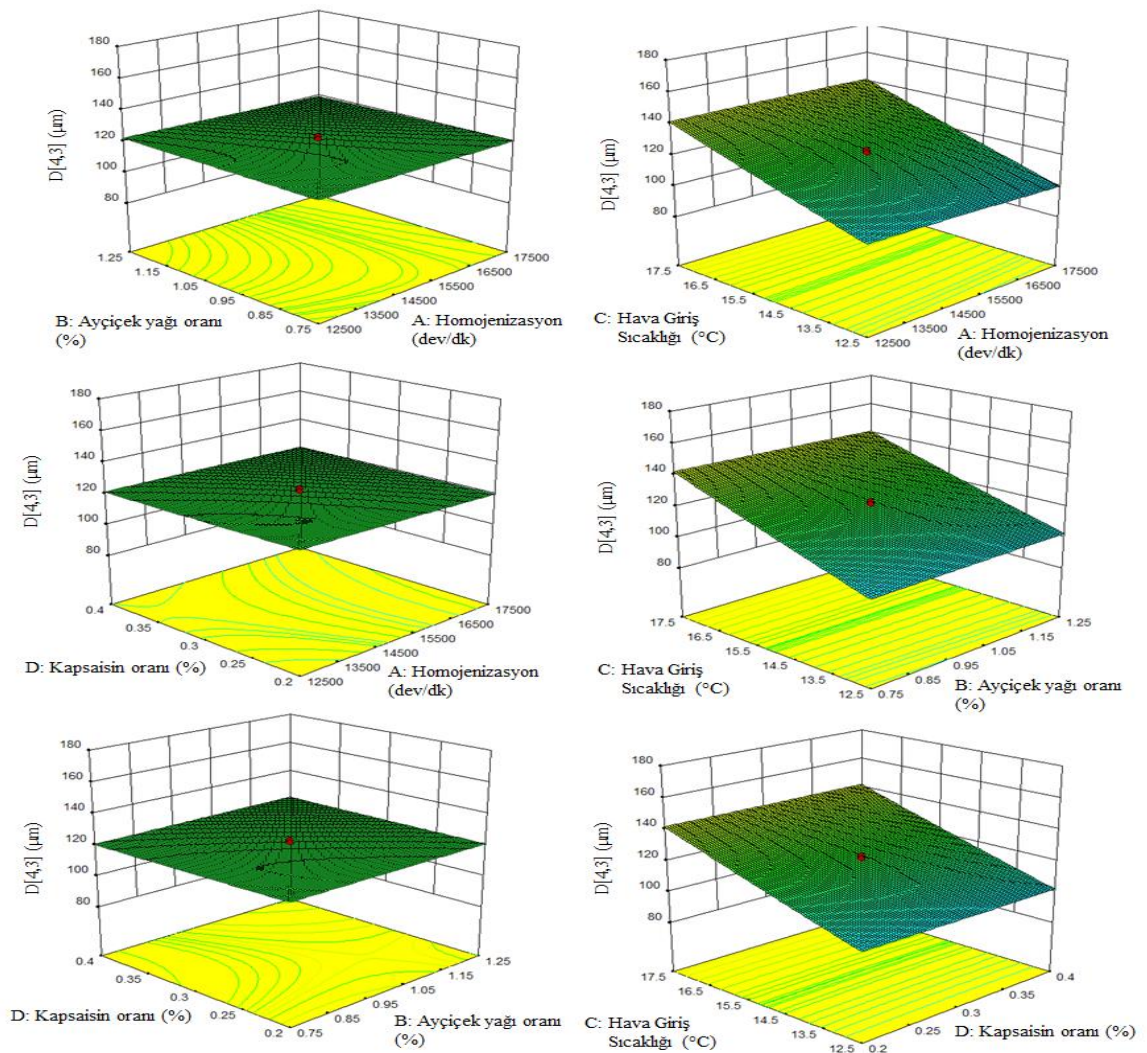
* p < 0.05 seviyesinde istatistiki açıdan önemli

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, HKT: Hata kareler toplamı, A: Homojenizasyon hızı, B: Ayçiçek yağı oranı, C: Sıcaklık, D: Kapsaisin oranı

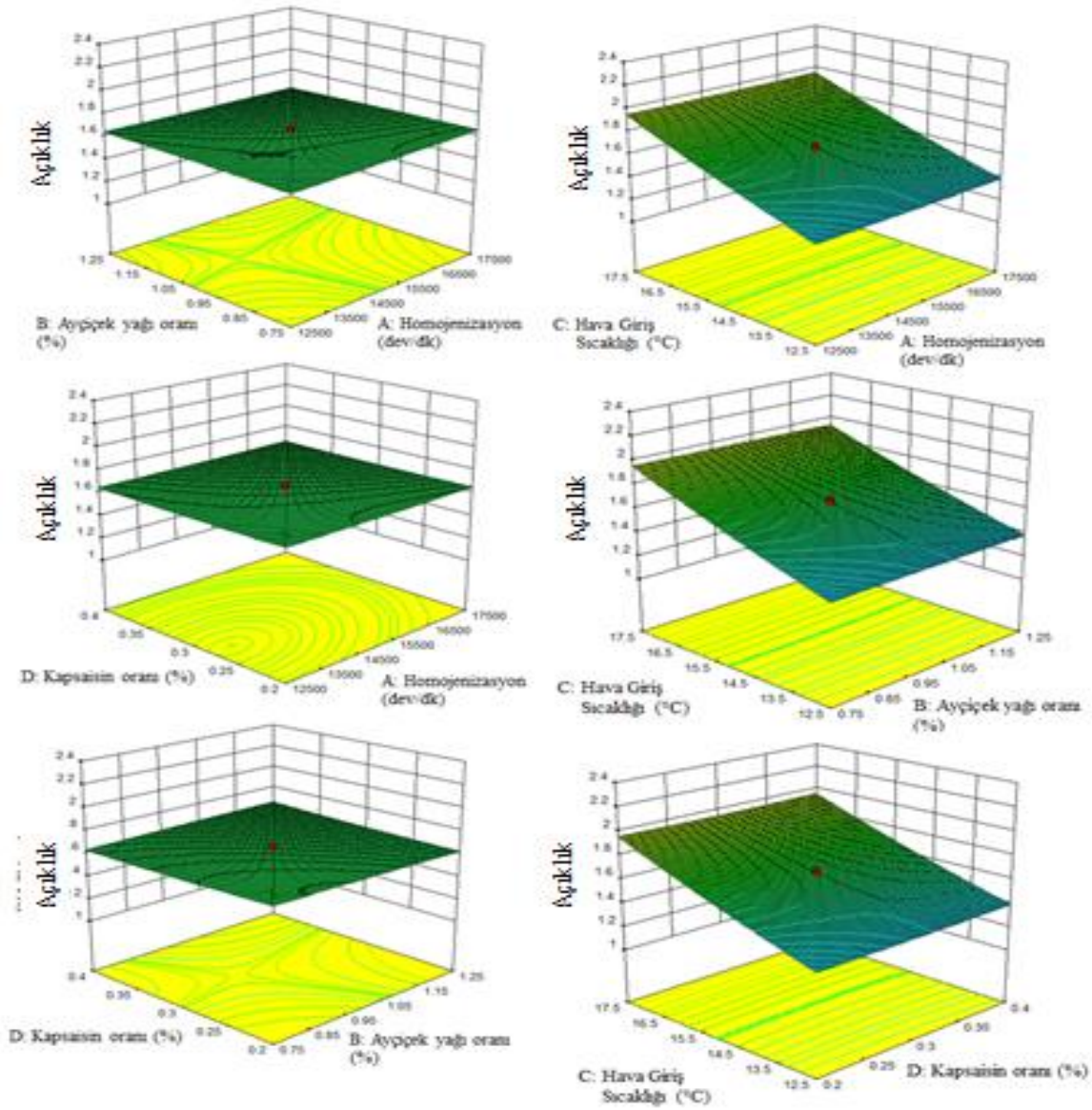
Kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül boyutu ve açıklık değerleri üzerine etkili olan işlem değişkeninin ANOVA analizi sonucunda, püskürterek soğutma giriş sıcaklığı

olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Model ile istatistiki açıdan uyumlu ($p<0.05$) olduğu belirlenen partikül boyutu ve açıklık değerlerinin, CCRD deneme deseninin diğer değişkenleri olan emülsiyondaki kapsaisin oranı, homojenizasyon hızı ve ayçiçek yağının palm yağı içerisindeki oranından etkilenmediği görülmüştür. Püskürterek soğutma giriş sıcaklığı yükseldikçe, elde edilen toz partiküllerin yapışma oranının arttığı, partiküllerin boyutlarının püskürterek soğutma giriş sıcaklığı artışına paralel olarak önemli ($p<0.05$) düzeyde büyüdüğü tespit edilmiştir.

İşlem değişkenlerinin kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül boyutu ve açıklık değerleri üzerindeki etkilerinin gözlemlenebilmesi için elde edilen modeller kullanılarak yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri oluşturulmuştur. Şekil 4.13'te $D_{[4,3]}$ değerlerine ve Şekil 4.14'te açıklık değerlerine ait yanıt yüzey grafikleri yer almaktadır.



Şekil 4.13. Kapsaisin mikrokapsüllerinin $D_{[4,3]}$ değerleri için işlem değişkenlerinin etkisini ve etkisizliğini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri



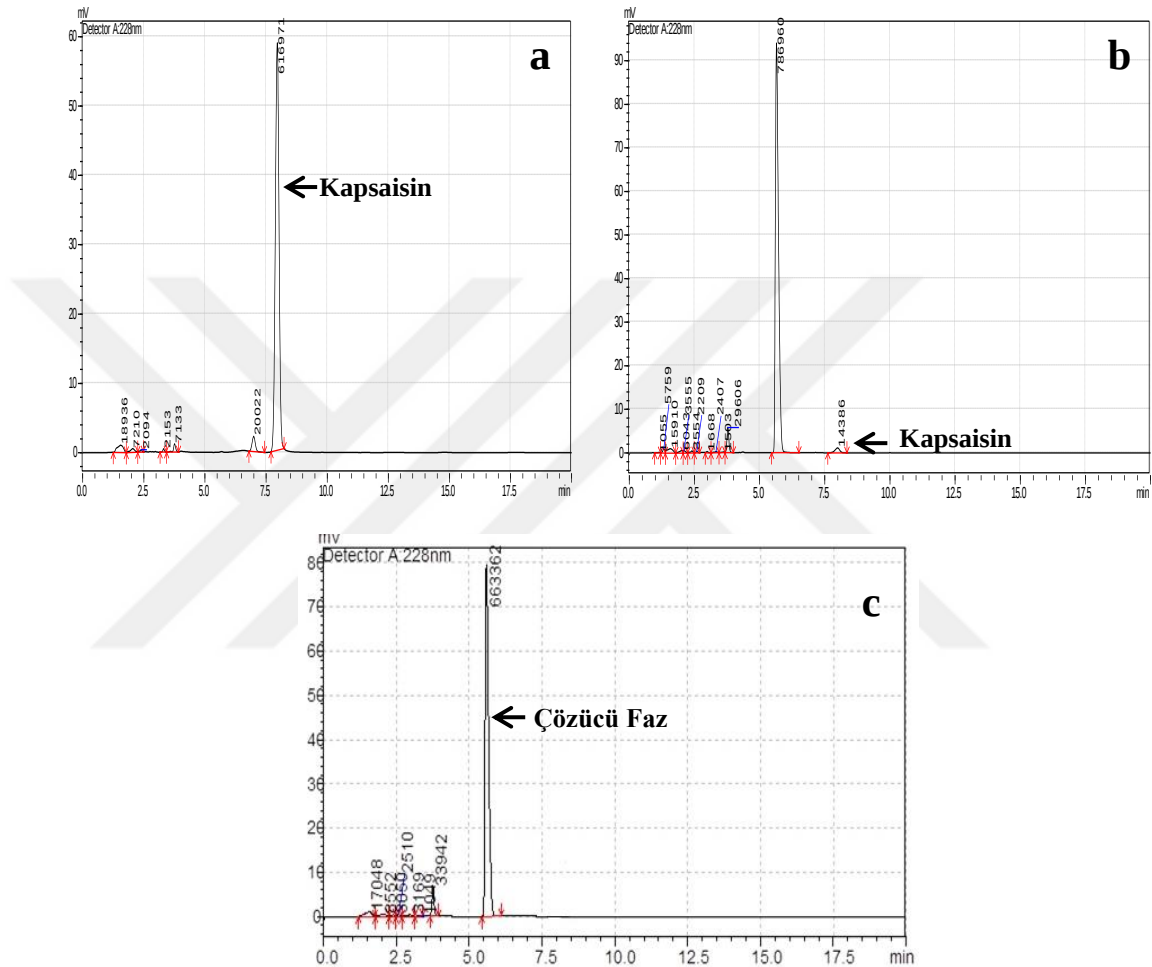
Şekil 4.14. Kapsaisin mikrokapsüllerinin açıklık değeri için, işlem değişkenlerinin etkisini ve etkisizliğini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri

Literatürde konu ile ilgili yapılmış çalışmalarda da püskürterek soğutma yönteminde su yeterince uzaklaştırılmadığı için, topaklanma gözlemlendiği ve bu nedenle partikül boyutlarının büyük olduğu rapor edilmiştir (Maschke vd. 2007; Alvim vd. 2013; Pedroso vd. 2013).

4.2.2.8. Kapsaisin mikrokapsüllerinin toplam ve serbest kapsaisin değerleri

CCRD deneme desenine göre üretilmiş olan 30 adet farklı kapsaisin mikrokapsülünün kromatografik olarak HPLC cihazı yardımıyla toplam kapsaisin ve serbest kapsaisin miktarları belirlenmiştir. Elde edilen bu deneysel veriler ve emülsiyonların içerdikleri kapsaisin miktarları Çizelge 4.21’de gösterilmiştir.

Toplam kapsaisin analizi sonucunda HPLC cihazından elde edilen örnek bir kromatogram Şekil 4.15 a’da, serbest kapsaisin miktarı analizi sonucunda elde edilen örnek bir kromatogram ise Şekil 4.15 b’de verilmiştir. Serbest kapsaisin analizleri esnasında Şekil 4.15 b’de de görüldüğü gibi 5.5 ve 6. dakikalar arasında oldukça büyük bir pik elde edilmiştir. Bu pikin serbest kapsaisin analizinde çözücü faz olarak kullanılan kloroformdan kaynaklandığı Şekil 4.15 c’deki kromatogram ile doğrulanmıştır.



Şekil 4.15. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait örnek bir **a)** toplam kapsaisin kromatogramı; **b)** serbest kapsaisin kromatogramı; **c)** çözücü faz pikinin doğrulama kromatogramı

Örneklerin Çizelge 4.21’de verilen toplam ve serbest kapsaisin miktarlarına bakıldığı zaman, tüm örneklerde toplam kapsaisin miktarının ortalama olarak %0.24 kayıpla geri kazanılabildiği, serbest kapsaisin miktarlarının ise sıcaklıkla ve emülsiyonda kullanılan kapsaisin miktarı ile doğrudan ilişkili olarak değişik miktarlarda hesaplandığı görülmüştür. En yüksek serbest kapsaisin miktarı 8.42 ± 0.03 mg/kg ile 20 °C giriş sıcaklığında üretilen örneklerde belirlenirken, en düşük serbest kapsaisin miktarı 0.26 ± 0.06 mg/kg ile emülsiyonunda %0.1 kapsaisin içeren örnekte belirlenmiştir. Diğer örneklerde serbest kapsaisin miktarları ortalama olarak 1.46 ± 0.91 mg/kg şeklinde kaydedilmiştir.

Serbest kapsaisin miktarı, kapsüllenemeyen, dış duvar materyalinin (palm yağı) dışında kalan veya herhangi bir nedenden dolayı kaybolan kapsaisin miktarını ifade etmekte olup, mevcut çalışmada sıcaklıkla ve emülsiyona eklenen kapsaisin oranıyla değişerek farklı miktarlarda belirlenmiştir. Püskürterek soğutma sisteminde giriş sıcaklığı yükseldikçe mikroenkapsülasyon etkinliği düşeceğinden yüksek sıcaklıklarda daha yüksek serbest kapsaisin belirlenmiştir. Sıcaklık haricinde yüksek konsantrasyonlarda çekirdek materyali ilavesi de kaplama materyaline tutunmayı azaltacağından, mevcut çalışmada emülsiyona eklenen kapsaisin miktarı arttıkça serbest kapsaisin miktarı da artmıştır (Consoli vd. 2016).

Çizelge 4.21. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait toplam ve serbest kapsaisin analizlerinin ortalama sonuçları

Deneme No	Emülsiyondaki Kapsaisin (mg/kg)	Toplam Kapsaisin (mg/kg)	Serbest Kapsaisin (mg/kg)
1	26.60	26.59 ± 0.01	0.53 ± 0.00
2	26.60	26.47 ± 0.02	1.01 ± 0.01
3	26.60	26.57 ± 0.01	0.56 ± 0.04
4	26.60	26.50 ± 0.08	1.01 ± 0.01
5	26.60	26.55 ± 0.01	1.40 ± 0.00
6	26.60	26.56 ± 0.04	1.62 ± 0.01
7	26.60	26.52 ± 0.10	1.45 ± 0.07
8	26.60	26.60 ± 0.28	1.63 ± 0.01
9	53.20	53.10 ± 0.11	1.05 ± 0.07
10	53.20	53.08 ± 0.04	1.96 ± 0.08
11	53.20	53.08 ± 0.12	1.10 ± 0.14
12	53.20	53.09 ± 0.01	1.97 ± 0.04
13	53.20	52.99 ± 0.01	2.89 ± 0.04
14	53.20	53.04 ± 0.03	3.95 ± 0.09
15	53.20	52.99 ± 0.01	2.85 ± 0.07
16	53.20	53.04 ± 0.18	3.89 ± 0.20
17	39.90	39.85 ± 0.05	0.82 ± 0.01
18	39.90	39.83 ± 0.02	1.67 ± 0.21
19	39.90	39.85 ± 0.06	0.95 ± 0.07
20	39.90	39.82 ± 0.01	0.96 ± 0.04
21	39.90	39.72 ± 0.01	0.55 ± 0.01
22	39.90	39.74 ± 0.04	8.42 ± 0.03
23	13.30	13.25 ± 0.04	0.26 ± 0.06
24	66.50	66.23 ± 0.13	1.67 ± 0.01
25	39.90	39.87 ± 0.01	0.93 ± 0.00
26	39.90	39.69 ± 0.18	0.86 ± 0.06
27	39.90	39.86 ± 0.06	0.91 ± 0.00
28	39.90	39.90 ± 0.02	0.95 ± 0.01
29	39.90	39.89 ± 0.00	0.95 ± 0.01
30	39.90	39.82 ± 0.10	0.91 ± 0.01

Kapsaisin mikrokapsüllerinin toplam ve serbest kapsaisin değerlerinin CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden nasıl ve ne ölçüde etkilendiğini ortaya koymak için Design-Expert paket programı kullanılarak ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. ANOVA analizine ait sonuçlar Çizelge 4.22’de sunulmuştur.

Çizelge 4.22. Kapsaisin mikrokapsüllerinin toplam ve serbest kapsaisin miktarlarına ait ANOVA analizi

VK	SD	Toplam Kapsaisin (mg/kg)		Serbest Kapsaisin (mg/kg)	
		HKT	p	HKT	p
Model	14	4213.82	0.00*	61.50	0.00*
A	1	6.66	0.86	1.98	0.10
B	1	1.66	0.93	2.34	0.98
C	1	1.06	0.50	28.66	0.00*
D	1	4213.77	0.00*	7.33	0.00*
AB	1	1.40	0.44	9.76	0.96
AC	1	9.50	0.06	2.88	0.94
AD	1	2.25	0.33	0.41	0.44
BC	1	2.50	0.91	9.76	0.96
BD	1	1.00	0.83	8.26	0.97
CD	1	9.02	0.06	1.26	0.18
A²	1	7.61	0.85	0.11	0.68
B²	1	2.97	0.91	1.97	0.95
C²	1	0.017	0.11	20.95	0.00*
D²	1	0.013	0.02*	1.20	0.96
Kalıntı	15	0.035		9.86	
Model Uyumsuzluğu	10	5.31	0.99	9.85	0.22
Saf Hata	5	0.03		5.48	
Toplam	29	4213.85		71.36	

* p < 0.05 seviyesinde istatistiki açıdan önemli

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, HKT: Hata kareler toplamı, A: Homojenizasyon hızı, B: Ayçiçek yağı oranı, C: Sıcaklık, D: Kapsaisin oranı

Kapsaisin mikrokapsüllerinin toplam kapsaisin değerleri üzerine en etkili işlem değişkeninin ANOVA analizi sonucunda, emülsiyondaki kapsaisin oranı olduğu bulgulanmıştır ($p < 0.05$). Ayrıca, toplam kapsaisin miktarının emülsiyondaki kapsaisin

oranın karesinden de istatistiki açıdan önemli ($p<0.05$) şekilde etkilendiği belirlenmiştir. Model ile istatistiki açıdan uyumlu olduğu belirlenen toplam kapsaisin miktarı CCRD deneme deseninin diğer değişkenleri olan homojenizasyon hızı ve ayçiçek yağının palm yağı içerisindeki oranından etkilenmemiştir. Toplam kapsaisin analizinde kapsül içerisine yüklenmiş olan kapsaisin miktarında azalma olup olmadığı belirlendiği ve analizi gerçekleştirebilmek için tüm kapsül çözündürülüp, içerisindeki kapsaisin miktarı belirlendiği için söz konusu değerlerin emülsiyondaki kapsaisin miktarı hariç diğer işlem değişkenlerinden etkilenmediği değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.22’de görülen ANOVA analizi sonuçlarına göre, kapsaisin mikrokapsüllerinin serbest kapsaisin değerleri üzerine en etkili ($p<0.05$) işlem değişkenlerinin, püskürterek soğutma giriş sıcaklığı ve emülsiyondaki kapsaisin oranı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca serbest kapsaisin miktarının giriş sıcaklığının karesinden de istatistiki açıdan önemli ($p<0.05$) şekilde etkilendiği tespit edilmiştir. Model ile istatistiki açıdan uyumlu ($p<0.05$) olduğu belirlenen serbest kapsaisin miktarı CCRD deneme deseninin diğer değişkenleri olan homojenizasyon hızı ve ayçiçek yağının palm yağı içerisindeki oranından etkilenmemiştir.

EK 2’de verilmiş olan Pearson Korelasyon Analizi sonuçlarına göre, kapsaisin mikrokapsüllerinin serbest kapsaisin miktarları ile mikroenkapsülasyon etkinlik değerleri ile negatif yönlü %95 oranında korelasyon olduğu gözlenmektedir. Ayrıca mikroenkapsüle kapsaisin tozlarının serbest kapsaisin miktarlarının ağızda salınım miktarı ile pozitif yönlü %85 oranında ve midede salınım miktarı ile pozitif yönlü %91 oranında korelasyon sağlandığı görülmektedir.

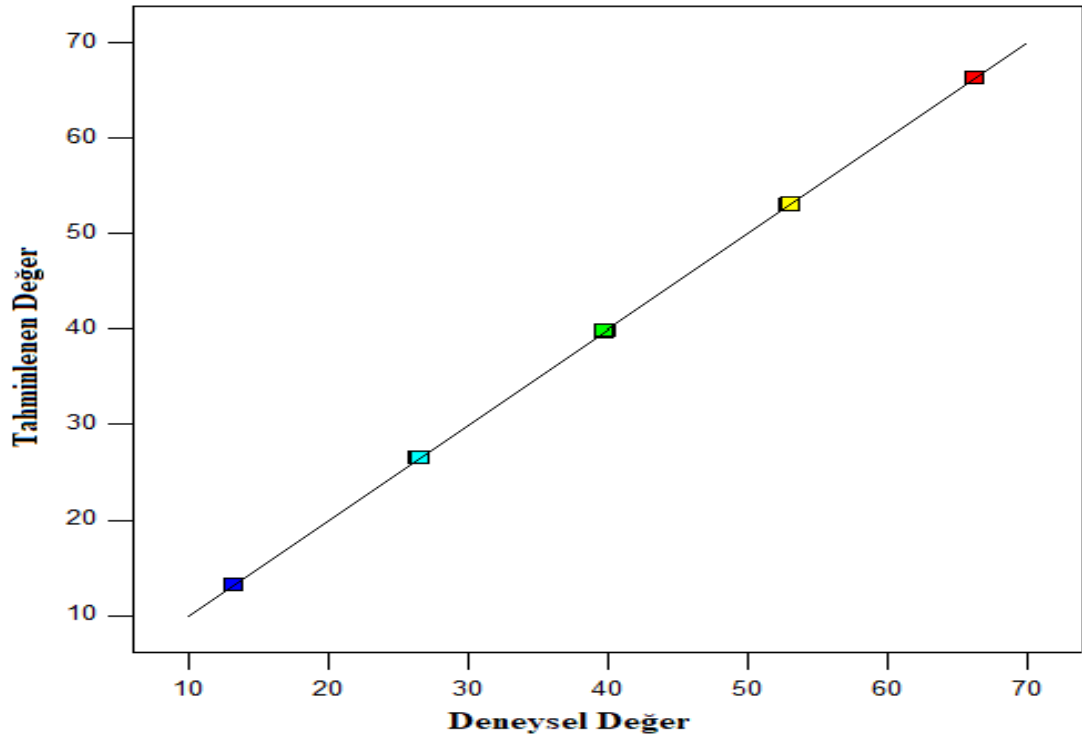
Kapsaisin mikrokapsüllerinin toplam ve serbest kapsaisin değerleri için regresyon analizi sonucunda elde edilen ikinci dereceden polinomial model, kodlanmış değişkenler cinsinden sırasıyla Eşitlik 4.4 ve Eşitlik 4.5’te gösterilmiştir. (Eşitlikteki değerler, istatistiki açıdan önemsiz değişkenlerin çıkarılmasıyla indirgenmiş değerler üzerinden verilmiştir.)

$$TK (mg/kg) = 39.84 + 13.25 * D - 0.026 * C^2 - 0.022 * D^2 \quad (4.4)$$

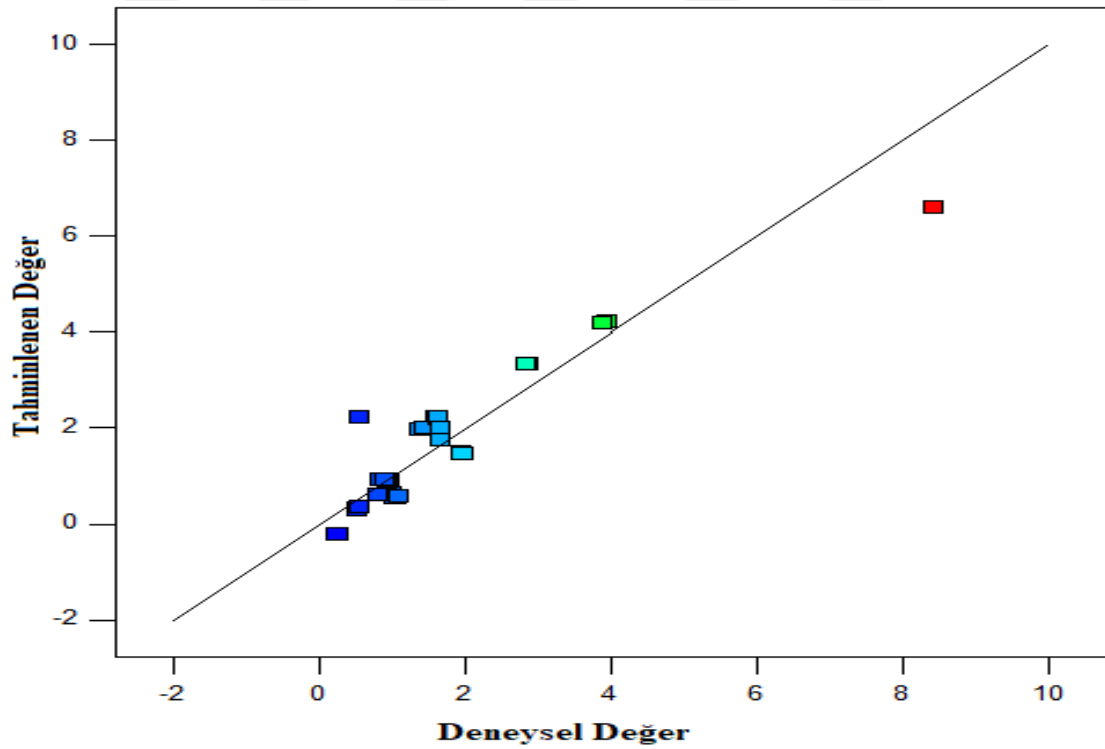
$$SK (mg/kg) = 0.96 + 1.09 * C - 0.55 * D - 0.87 * C^2 \quad (4.5)$$

Eşitliklerde; TK, toplam kapsaisin miktarını, SK, serbest kapsaisin miktarını, C, püskürterek soğutma giriş sıcaklığını ve D, emülsiyondaki kapsaisin oranını ifade etmektedir.

Kapsaisin mikrokapsüllerinin toplam kapsaisin değerleri için Eşitlik 4.4’ten tahminlenen değerler ile deneysel değerler arasındaki ilişki Şekil 4.16’da verilmiştir. Serbest kapsaisin değerleri için ise Eşitlik 4.5’ten tahminlenen değerler ile deneysel değerler arasındaki ilişki Şekil 4.17’de verilmiştir. Toplam ve serbest kapsaisin değerleri için modelden tahminlenen değerler ile deneysel verilerin uyum içerisinde olduğu Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de görülmektedir.

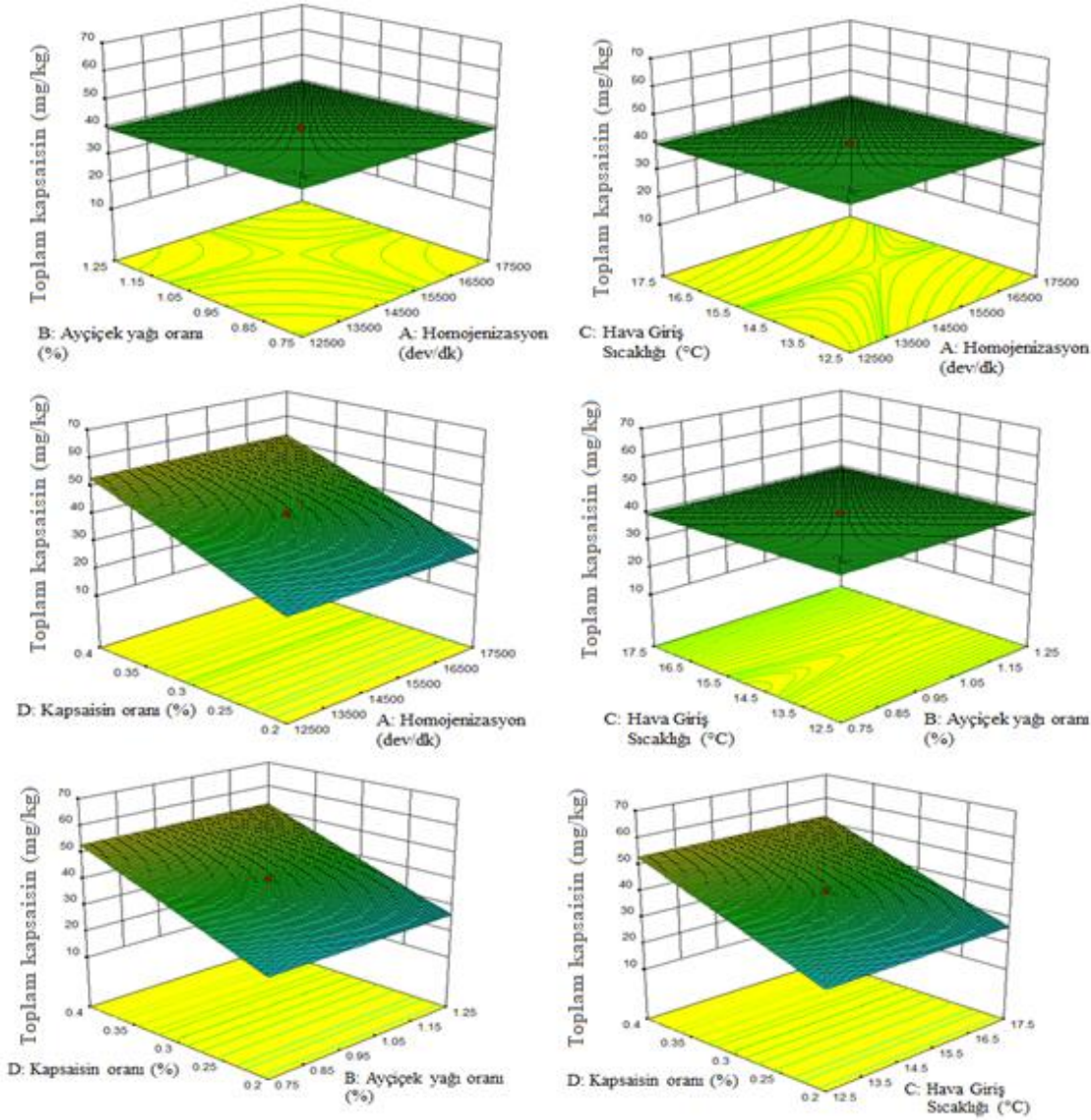


Şekil 4.16. Toplam kapsaisin değerleri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler

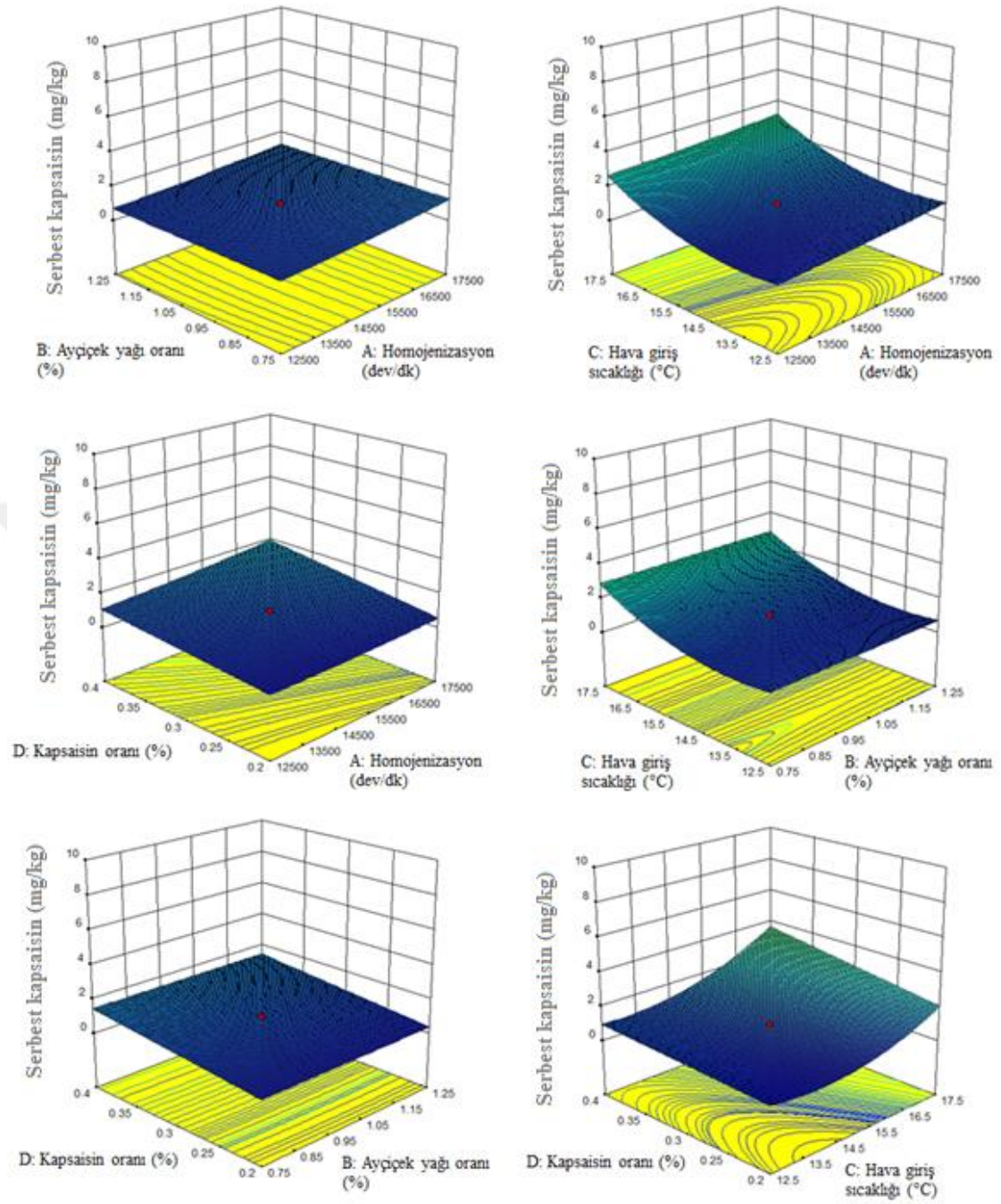


Şekil 4.17. Serbest kapsaisin değerleri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler

İşlem değişkenlerinin kapsaisin mikrokapsüllerinin toplam ve serbest kapsaisin miktarları üzerindeki etkilerinin gözlemlenebilmesi için elde edilen modeller kullanılarak yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri oluşturulmuştur. Bu grafiklerin oluşturulabilmesi için işlem değişkenlerinden herhangi biri deneysel tasarımın merkez noktasında sabit tutulmuş, diğer iki değişkenin sonsuz sayıdaki kombinasyonları çıkarılmıştır. Şekil 4.18'de toplam kapsaisin miktarlarına ve Şekil 4.19'da serbest kapsaisin miktarlarına ait yanıt yüzey grafiği ve eş yükselti eğrileri yer almaktadır.



Şekil 4.18. Kapsaisin mikrokapsüllerinin toplam kapsaisin miktarı için, işlem değişkenlerinin etkisini ve etkisizliğini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri



Şekil 4.19. Kapsaisin mikrokapsüllerinin serbest kapsaisin miktarı için, işlem değişkenlerinin etkisini ve etkisizliğini gösteren yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri

Şekil 4.18’de görüldüğü gibi, kapsaisin mikrokapsüllerinin toplam kapsaisin miktarları, emülsiyondaki kapsaisin oranının artmasıyla birlikte beklendiği şekilde artış göstermiştir.

Şekil 4.19 incelendiğinde, kapsaisin mikrokapsüllerinin serbest kapsaisin miktarlarının, artan giriş sıcaklığı ve emülsiyondaki kapsaisin oranı ile birlikte arttığı gözlenmektedir.

Literatürde kapsaisinin mikrokapsüle edilip, elde edilen mikrokapsüllerde toplam ve serbest kapsaisin miktarının belirlendiği bir çalışma bulunmamakla birlikte, konu ile ilgili benzer bir çalışma Consoli ve ark. (2016) tarafından gerçekleştirilmiştir. Söz konusu çalışmada püskürterek soğutma yöntemi ile gallik asit mikrokapsülasyonu gerçekleştirilmiş ve elde edilen mikrokapsüllerde toplam ve serbest gallik asit miktarı belirlenmiştir. Mevcut çalışmadaki sonuçlara benzer şekilde toplam gallik asit miktarının küçük kayıplarla geri kazanılabildiği, serbest gallik asit miktarının ise yükleme miktarı ve üretim sıcaklığına göre değişen miktarlarda hesaplanabileceği bildirilmiştir (Consoli vd. 2016).

Konuyla ilgili yapılmış bir diğer çalışmada, farklı konsantrasyonlarda oleik asit içeren emülsiyonlar püskürterek soğutma yöntemi mikrokapsüle edilmiş ve elde edilen toz ürünlerde konsantrasyona bağlı olarak serbest oleik asit miktarındaki değişim tespit edilmiştir. Sabit hava giriş sıcaklığı ve işlem parametrelerinde elde edilen oleik asit tozlarının serbest oleik asit miktarlarının yükleme miktarına bağlı olarak değişebileceği, yükleme miktarı arttıkça, serbest oleik asit miktarının da artacağı rapor edilmiştir (Morselli Ribeiro vd. 2012).

Glikozun püskürterek soğutma yöntemi ile mikrokapsülasyonunun gerçekleştirildiği bir çalışmada, glikozun farklı konsantrasyonlarının kullanılmasıyla hazırlanan 6 farklı emülsiyon formülasyonu mikrokapsüle edilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen toz örneklerin serbest glikoz miktarları üzerinde emülsiyondaki glikoz miktarının ve kullanılan taşıyıcının önemli etkiye sahip olduğu, yüklenen toplam glikoz miktarının ise yalnızca glikoz konsantrasyonuna göre değişiklik gösterdiği bildirilmiştir (Leonel vd. 2010).

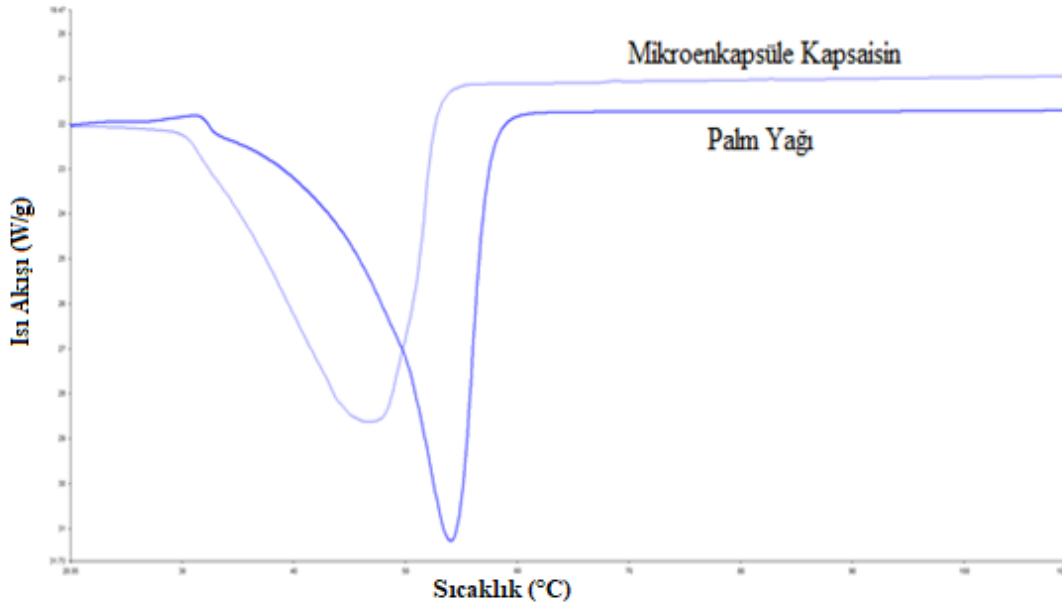
4.2.2.9. Kapsaisin mikrokapsüllerinin termal erime davranışları (DSC)

CCRD deneme desenine göre püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilen mikrokapsüle kapsaisin tozlarının ve taşıyıcı olarak kullanılan palm yağının termal erime davranışları diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ile gerçekleştirilmiştir. DSC analizi ile kapsaisin mikrokapsüllerinin ve kaplama materyalinin erime sıcaklığı (T_m) ($^{\circ}\text{C}$) ve erime entalpisi (ΔH) (J/g) değerleri belirlenmiştir. Elde edilen deneysel veriler Çizelge 4.23'te gösterilmiştir. Ayrıca kapsaisin mikrokapsülleri ve palm yağının termal erime davranışlarının belirlenebilmesi için elde edilen örnek bir termogram Şekil 4.20'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.23'te yer alan sonuçlar incelendiği zaman, kapsaisin mikrokapsüllerinin erime sıcaklıklarının $46.32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $51.43\text{ }^{\circ}\text{C}$, erime entalpilerinin ise 75.95 J/g ile 98.88 J/g arasında değiştiği görülmektedir. Kaplama materyali olarak kullanılan palm yağına uygulanan DSC analizi sonuçlarına göre ise, palm yağının erime sıcaklığı $55.53\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve erime entalpisi ise 80.58 J/g olarak hesaplanmıştır. Bulgulanan deneysel verilere göre, püskürterek soğutma yöntemi ile kapsaisin mikrokapsülasyonun palm yağının erime sıcaklığını düşürdüğü gözlenmiştir. Erime entalpisi değeri ise bazı uygulamalarda düşürülürken, bazılarında saf palm yağına göre daha yüksek hesaplanmıştır.

Çizelge 4.23. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait DSC analizlerinin ortalama sonuçları

Deneme No	Erime Sıcaklığı T_m (°C)	Erime Entalpisi ΔH (J/g)
1	46.73 ± 0.34	84.58 ± 2.40
2	47.89 ± 0.32	83.68 ± 1.92
3	48.32 ± 0.09	77.28 ± 0.65
4	47.97 ± 0.09	83.85 ± 0.72
5	46.32 ± 0.11	77.28 ± 4.39
6	48.05 ± 0.81	84.60 ± 4.11
7	50.50 ± 0.01	92.93 ± 0.29
8	50.79 ± 0.07	94.62 ± 0.47
9	50.69 ± 0.15	96.80 ± 0.68
10	51.16 ± 0.16	97.32 ± 0.52
11	51.02 ± 0.02	92.74 ± 1.09
12	47.58 ± 0.48	82.39 ± 0.28
13	51.01 ± 0.17	91.55 ± 0.73
14	48.75 ± 0.18	84.91 ± 1.49
15	51.33 ± 0.45	83.47 ± 0.96
16	51.10 ± 0.09	92.79 ± 1.38
17	51.43 ± 0.08	92.89 ± 1.39
18	48.72 ± 0.19	75.95 ± 3.00
19	51.31 ± 0.16	96.72 ± 0.87
20	51.34 ± 0.02	96.58 ± 0.96
21	51.10 ± 0.41	87.84 ± 3.46
22	50.70 ± 0.02	83.12 ± 1.26
23	51.09 ± 0.07	93.55 ± 0.99
24	51.12 ± 0.25	91.15 ± 0.09
25	50.93 ± 0.08	93.15 ± 0.93
26	51.03 ± 0.17	85.25 ± 0.63
27	51.26 ± 0.07	98.88 ± 0.53
28	50.68 ± 0.35	86.19 ± 1.30
29	51.03 ± 0.00	87.66 ± 0.12
30	50.94 ± 0.06	84.81 ± 0.05
Palm Yağı	55.53 ± 0.00	80.58 ± 0.00



Şekil 4.20. Kapsaisin mikrokapsülleri (1. Deneme) ve palm yağına ait örnek bir DSC termogramı

Literatür kaynaklarında belirtildiğine göre, püskürterek soğutma yönteminde, soğuk hava ile temas eden damlacıkların hızlı bir şekilde katılaşması, kristal yapıda ve polimorfik formda değişikliklere yol açabilmektedir. Ayrıca bu özellik, kristaliniteyi, taşıyıcının bariyer ve çözünme özelliklerini etkilemektedir. (Favaro-Trindade vd. 2016). Lipit bazlı taşıyıcılar, α (altıgen şekil), β' (ortorombik şekil) ve β (triklinik şekil) olarak adlandırılan üç farklı polimorfik formda kristalize olabilmektedirler ve α şekli daha az stabil ve daha düşük erime noktasına sahip iken; β şekli daha kararlı ve daha yüksek erime noktasına sahiptir (Windbergs vd. 2009). Literatür kaynaklarında en iyi bariyer özelliklerinin kristalli bir taşıyıcı ile elde edileceği belirtilirken, daha hızlı çözünmenin genellikle amorf bir sistemle elde edilebileceği rapor edilmiştir (Favaro-Trindade vd. 2016).

Literatürde konu ile ilgili yapılmış çalışmalardan birinde püskürterek soğutma yöntemi ile stearik asit mikrokapsülasyonu gerçekleştirilmiş ve elde edilen mikrokapsüllerin termal erime davranışları belirlenmiştir. Mevcut çalışmadaki sonuçlara benzer şekilde mikrokapsüllerin erime noktalarının 46.90 °C ile 58.40 °C arasında değiştiği ve erime entalpilerinin 76.3 J/g ile 145.5 J/g arasında hesaplandığı rapor edilmiştir (Morselli Ribeiro vd. 2012).

Kapsaisin mikrokapsüllerinin termal erime davranışlarının CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden nasıl ve ne ölçüde etkilendiğini ortaya koymak için Design-Expert paket programı kullanılarak ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. ANOVA analizine ait sonuçlar Çizelge 4.24'te sunulmuştur.

Çizelge 4.24. Kapsaisin mikrokapsüllerinin erime sıcaklıkları ve erime entalpilerine ait ANOVA analizi

VK	SD	Erime Sıcaklığı (°C)		Erime Entalpisi (J/g)	
		HKT	p	HKT	p
Model	14	45.20	0.12	686.43	0.23
A	1	2.70	0.23	28.94	0.36
B	1	2.71	0.23	0.04	0.97
C	1	1.34	0.39	1.47	0.83
D	1	10.81	0.09	61.30	0.19
AB	1	1.46	0.37	3.01	0.76
AC	1	0.18	0.75	15.71	0.50
AD	1	4.28	0.14	29.78	0.35
BC	1	7.80	0.04*	166.23	0.04*
BD	1	5.28	0.10	89.05	0.12
CD	1	0.56	0.58	83.66	0.13
A ²	1	6.32	0.07	69.15	0.16
B ²	1	0.76	0.52	59.20	0.20
C ²	1	2.06	0.29	48.02	0.24
D ²	1	1.36	0.39	4.27	0.72
Kalıntı	15	26.52		496.62	
Model Uyumsuzluğu	10	26.34	0.00*	341.20	0.04*
Saf Hata	5	0.18		155.42	
Toplam	29	71.72		1183.05	

* p < 0.05 seviyesinde istatistiki açıdan önemli

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, HKT: Hata kareler toplamı, A: Homojenizasyon hızı, B: Ayçiçek yağı oranı, C: Sıcaklık, D: Kapsaisin oranı

ANOVA analizi sonuçlarına göre, kapsaisin mikrokapsüllerinin erime sıcaklıkları ve erime entalpilerinin model ile istatistiki açıdan önemli ($p > 0.05$) olmadığı görülmüştür. Her iki termal erime özelliği üzerine ayçiçek yağı oranı ve giriş sıcaklığı interaksiyonunun istatistiki açıdan önemli etki ($p < 0.05$) gösterdiği belirlenmiştir.

4.2.2.10. Kapsaisin mikrokapsüllerinin gastrointestinal model sistem boyunca bağırsakta salınım değerleri

CCRD deneme desenine göre üretilen kapsaisin mikrokapsüllerinin ağızda ve midede salınım miktarları modelin yanıtları olarak belirlenirken, bağırsakta salınım

miktarları da kromatografik olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.25'te verilmiştir.

Çizelge 4.25. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait bağırsakta salınım miktarlarının ortalama sonuçları

Deneme No	Emülsiyondaki Kapsaisin (mg/kg)	Bağırsakta Salınım (mg/kg)*
1	26.60	24.18 ± 0.03
2	26.60	26.43 ± 0.02
3	26.60	24.12 ± 0.15
4	26.60	26.44 ± 0.00
5	26.60	24.70 ± 0.02
6	26.60	25.02 ± 0.01
7	26.60	24.66 ± 0.13
8	26.60	24.80 ± 0.02
9	53.20	48.48 ± 0.01
10	53.20	52.83 ± 0.04
11	53.20	48.49 ± 0.10
12	53.20	52.82 ± 0.03
13	53.20	49.03 ± 0.07
14	53.20	52.81 ± 0.10
15	53.20	49.02 ± 0.03
16	53.20	52.84 ± 0.07
17	39.90	38.08 ± 0.01
18	39.90	38.69 ± 0.05
19	39.90	37.74 ± 0.06
20	39.90	37.82 ± 0.04
21	39.90	39.13 ± 0.18
22	39.90	39.41 ± 0.06
23	13.30	13.03 ± 0.03
24	66.50	63.06 ± 0.04
25	39.90	38.10 ± 0.01
26	39.90	37.66 ± 0.04
27	39.90	37.76 ± 0.01
28	39.90	37.81 ± 0.06
29	39.90	38.06 ± 0.01
30	39.90	37.89 ± 0.04

* Bağırsakta salınım değerleri içerisine ağızda ve midede salınan kapsaisin miktarları da dahil edilmiştir

Literatürde kapsaisinin püskürterek soğutma yöntemi ile çift kaplama yapılarak toz haline getirildiği ve statik gastrointestinal model sistemde salınımının izlendiği herhangi bir çalışma bulunmamakla birlikte, konu hakkında çalışmalar genellikle kapsaisinin ilaç formülasyonları üzerinde yoğunlaşmıştır. Mevcut çalışmada kapsaisin mikrokapsüllerinin ağız ve midede açılımının engellenmesi temel hedef iken, literatürdeki çoğu çalışmada tam tersine ağızda ve/veya midede açılım hedeflenmiştir (Zhu vd. 2012; Wang vd. 2013; Lu vd. 2016).

Mevcut çalışmada kapsaisin mikroenkapsülasyonunda çift kaplama kullanılmıştır. Kapsaisin çekirdek materyal olarak kullanılırken, ilk kaplama protein ile gerçekleştirilmiş, üstteki ve ikinci kaplama ise palm yağı ile yapılmıştır. Ağız stok solüsyonunda amilaz enziminin varlığından dolayı palm yağı parçalanamamış ve kapsaisin dışarı salınamamıştır. Bu nedenle püskürterek soğutma yöntemi ile toz haline getirilen kapsaisin mikrokapsüllerinin ağızda salınım değerleri oldukça düşük hesaplanmıştır (Çizelge 4.7) Kapsaisin mikrokapsüllerinin midede salınım oranlarının (Çizelge 4.7) bağırsakta salınım oranlarından düşük olmasının temel sebebi ise yine enzim faktörü olup, midede bulunan pepsinin palm yağını parçalayamaması olarak düşünülmektedir. Bağırsakta ise lipaz enziminin varlığı (Zhu vd. 2012; Minekus vd. 2014) bilinmekte olup, lipaz palm yağını parçalayabilmiş ve tüm örneklerde kapsaisin dışarı salınmıştır. Bağırsakta örneklerdeki salınım beklendiği üzere yüksek çıkmış ve ortalama olarak %95.25’lik bir açılım sağlanmıştır.

Kapsaisin mikrokapsüllerinin bağırsakta salınım değerlerinin CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden nasıl ve ne ölçüde etkilendiğini ortaya koymak için Design-Expert paket programı kullanılarak ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. ANOVA analizine ait sonuçlar Çizelge 4.26’da sunulmuştur.

Çizelge 4.26. Kapsaisin mikrokapsüllerinin bağırsakta salınım değerlerine ait ANOVA analizi

VK	SD	Bağırsakta Salınım (mg/kg)	
		HKT	p
Model	14	3936.59	0.00*
A	1	21.17	0.07
B	1	6.00	0.97
C	1	5.70	0.92
D	1	3902.52	0.00*
AB	1	4.00	0.98
AC	1	1.68	0.13
AD	1	7.91	0.06
BC	1	2.50	0.95
BD	1	7.22	0.91
CD	1	0.59	0.36
A²	1	0.07	0.75
B²	1	0.27	0.53
C²	1	2.04	0.10
D²	1	0.03	0.83
Kalıntı	15	10.06	
Model Uyumsuzluğu	10	9.91	0.08
Saf Hata	5	0.15	
Toplam	29	3946.65	

* p <0.05 seviyesinde istatistiki açıdan önemli

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, HKT: Hata kareler toplamı, A: Homojenizasyon hızı, B: Ayçiçek yağı oranı, C: Sıcaklık, D: Kapsaisin oranı

Püskürterek soğutma yöntemiyle üretilen kapsaisin mikrokapsüllerinin bağırsakta salınım miktarları üzerine etkili olan tek işlem değişkeninin ANOVA analizi sonucunda, emülsiyon içerisindeki kapsaisin oranı olduğu bulgulanmıştır ($p<0.05$). Emülsiyondaki kapsaisin oranı arttıkça örneklerin bağırsakta salınım miktarlarının yükseldiği değerlendirilmiştir. Ayrıca bağırsakta salınım değerleri model ile istatistiki açıdan uyumlu bulunmuştur.

4.2.2.11. Kapsaisin mikrokapsüllerinin Scoville yakıcılık indeksi değerleri

Kapsaisin içeren bir gıdanın yakıcı olma seviyesi genellikle Scoville yakıcılık birimi ile tanımlanmaktadır. Scoville yakıcılık indeksi acı biberlerin içerdiği kapsaisinoid miktarına göre değişmekle birlikte, kapsaisinoid bileşimi de Scoville yakıcılık indeksi üzerinde oldukça önemli bir etmendir. Literatürde kapsaisinoid bileşiklerden kapsaisin miktarının arttıkça Scoville yakıcılık indeksinin arttığı belirtilmiştir. Saf kapsaisinin Scoville yakıcılık indeksinin literatürde 15 ile 16 milyon arasında değiştiği belirtilmektedir (Topuz 2002, Korel vd. 2002).

Püskürterek soğutma yöntemiyle üretilmiş olan kapsaisin mikrokapsüllerinin ve üretimlerde kullanılan saf kapsaisinin Scoville yakıcılık indeksi değerleri duyusal analiz yoluyla belirlenmiş, elde edilen veriler Çizelge 4.27’de sunulmuştur.

Mevcut çalışmada kullanılan saf kapsaisinin Scoville yakıcılık indeksi değeri 14 milyon 500 bin olarak bulunmuştur. Buna göre, saf kapsaisinin püskürterek soğutma yöntemi ile kapsüllenerek Scoville yakıcılık indeksi yaklaşık olarak 4500 kat azaltılmıştır. Örneklerin serbest kapsaisin miktarı arttıkça Scoville yakıcılık indekslerinin arttığı gözlenmiştir. Serbest kapsaisin miktarı en yüksek olan örneğin (20 °C’de püskürtülen örnek) Scoville yakıcılık indeksi de 15800 değeri ile en yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.27. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait Scoville yakıcılık indeksi analizinin ortalama sonuçları

Deneme No	Scoville Yakıcılık İndeksi
Saf Kapsaisin	14,500,000 ± 251.58
1	1000 ± 26.83
2	1900 ± 33.54
3	1000 ± 40.24
4	1900 ± 60.37
5	2650 ± 46.69
6	3050 ± 10.00
7	2750 ± 11.34
8	3050 ± 13.34
9	2000 ± 13.34
10	3700 ± 33.35
11	2075 ± 12.00
12	3700 ± 46.66
13	5450 ± 46.69
14	7450 ± 16.68
15	5375 ± 73.38
16	7350 ± 20.01
17	1550 ± 60.03
18	3150 ± 53.36
19	1800 ± 80.00
20	1800 ± 86.17
21	1050 ± 61.37
22	15800 ± 40.00
23	490 ± 60.03
24	3150 ± 32.01
25	1800 ± 18.67
26	1620 ± 21.34
27	1720 ± 49.36
28	1790 ± 17.38
29	1790 ± 17.22
30	1710 ± 18.56

Kapsaisin mikrokapsüllerinin Scoville yakıcılık indeksi değerlerinin CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden nasıl ve ne ölçüde etkilendiğini ortaya koymak için Design-Expert paket programı kullanılarak ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. ANOVA analizine ait sonuçlar Çizelge 4.28’de sunulmuştur.

Çizelge 4.28. Kapsaisin mikrokapsüllerinin Scoville yakıcılık indeksi değerlerine ait ANOVA tablosu

VK	SD	Scoville Yakıcılık İndeksi	
		HKT	p
Model	14	2.17	0.00*
A	1	7.04	0.09
B	1	0.00	1.00
C	1	1.01	0.00*
D	1	2.62	0.00*
AB	1	2500.00	0.97
AC	1	12656.25	0.94
AD	1	14.40	0.44
BC	1	1406.25	0.98
BD	1	2500.00	0.97
CD	1	4.46	0.18
A²	1	3.93	0.68
B²	1	8601.19	0.95
C²	1	7.36	0.00*
D²	1	4429.76	0.96
Kalıntı	15	3.43	
Model Uyumsuzluğu	10	3.43	0.09
Saf Hata	5	24283.33	
Toplam	29	2.51	

* p < 0.05 seviyesinde istatistiki açıdan önemli

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, HKT: Hata kareler toplamı, A: Homojenizasyon hızı, B: Ayçiçek yağı oranı, C: Sıcaklık, D: Kapsaisin oranı

Kapsaisin mikrokapsüllerinin Scoville yakıcılık indeksi değerleri üzerine en etkili işlem değişkenlerinin ANOVA analizi sonucunda, püskürterek soğutma giriş sıcaklığı ve emülsiyondaki kapsaisin oranı olduğu bulgulanmıştır ($p < 0.05$). Ayrıca yine ANOVA analizi sonuçlarına göre, Scoville yakıcılık indeksi değerlerinin giriş sıcaklığının karesinden de istatistiki açıdan önemli ($p < 0.05$) şekilde etkilendiği belirlenmiştir. Model ile istatistiki açıdan uyumlu olduğu belirlenen Scoville yakıcılık indeksi değerleri CCRD deneme deseninin diğer değişkenleri olan homojenizasyon hızı ve ayçiçek yağının palm yağı içerisindeki oranından etkilenmemiştir.

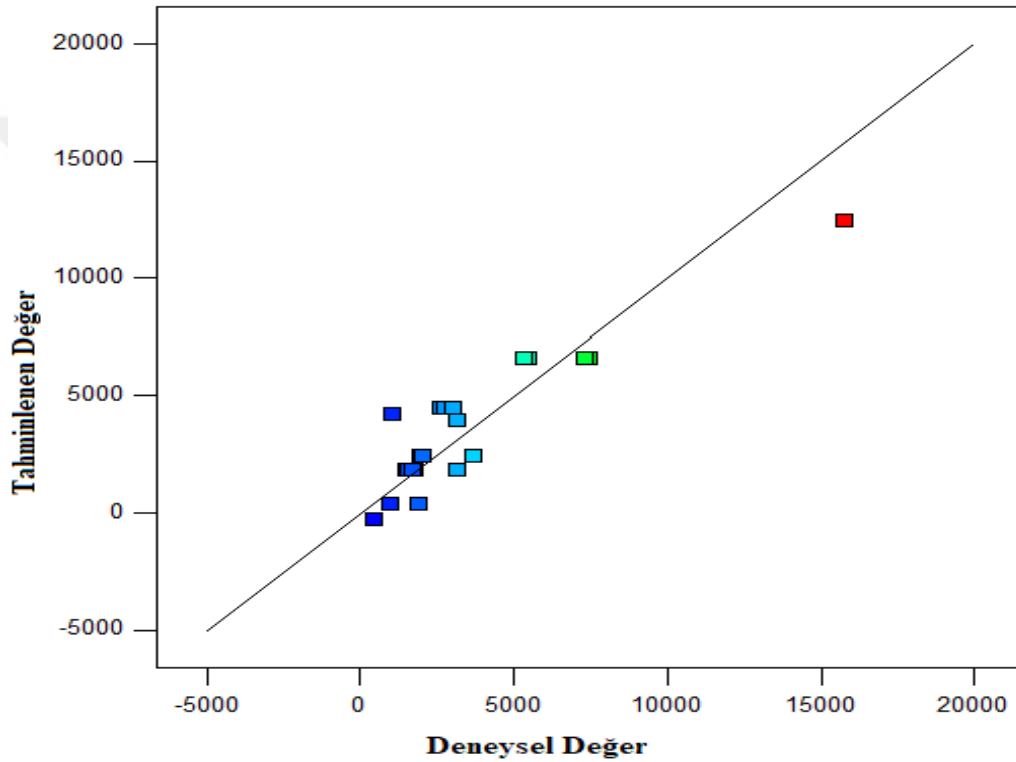
Kapsaisin mikrokapsüllerinin Scoville yakıcılık indeksi değerleri için regresyon analizi sonucunda elde edilen ikinci dereceden polinomial model, kodlanmış

değişkenler cinsinden Eşitlik 4.6'da gösterilmiştir. (Eşitlikteki değerler, istatistiki açıdan önemsiz değişkenlerin çıkarılmasıyla indirgenmiş değerler üzerinden verilmiştir.)

$$SYI = 1817.78 + 2056.25 * C + 1046.67 * D + 1628.61 * C^2 \quad (4.6)$$

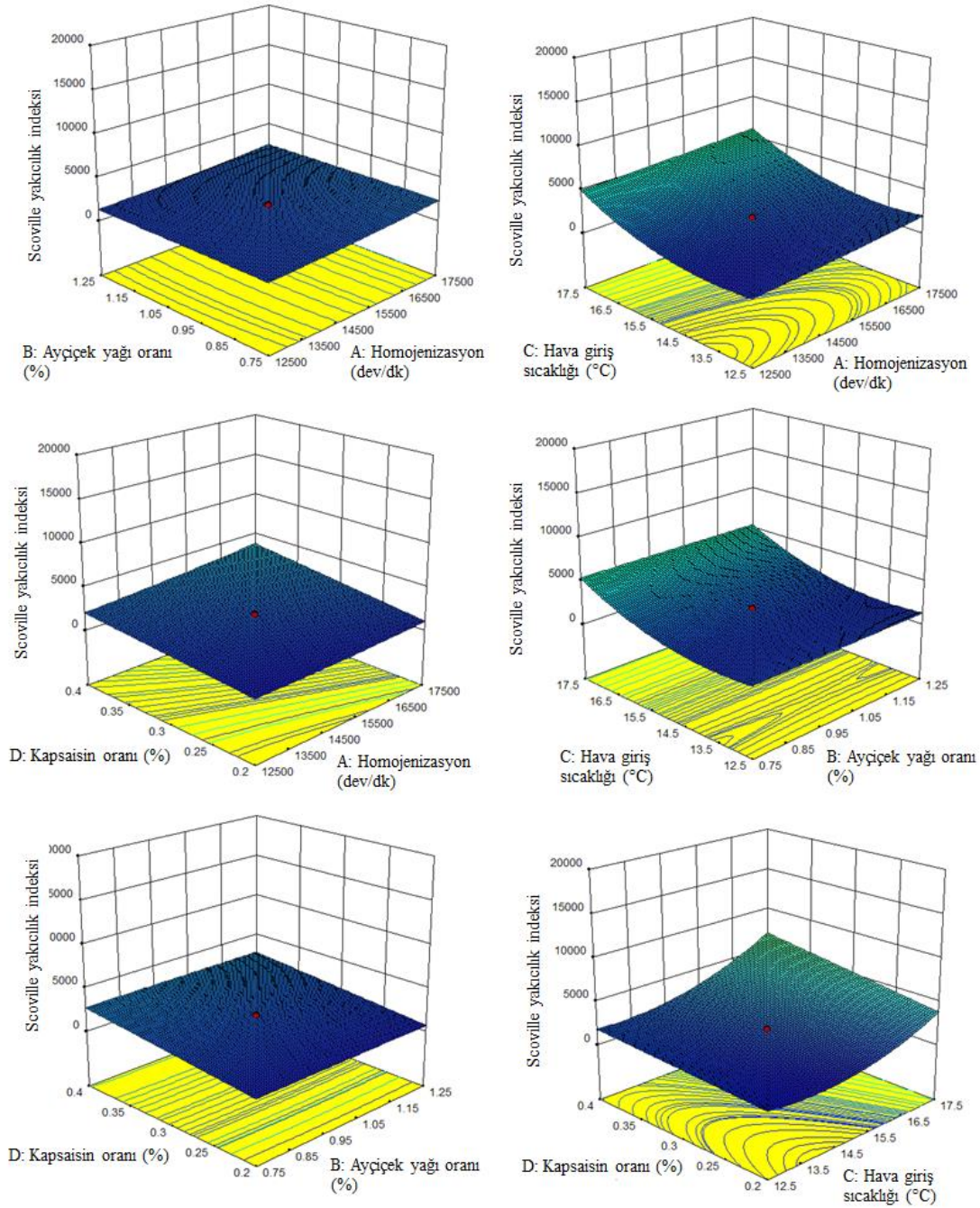
Eşitlikte; SYI, Scoville yakıcılık indeksini, C, püskürterek soğutma giriş sıcaklığını ve D, emülsiyondaki kapsaisin oranını ifade etmektedir.

Kapsaisin mikrokapsüllerinin Scoville yakıcılık indeksi değerleri için Eşitlik 4.6'dan tahminlenen değerler ile deneysel değerler arasındaki ilişki Şekil 4.21'de verilmiştir. Scoville yakıcılık indeksi değerleri için modelden tahminlenen değerler ile deneysel verilerin uyum içerisinde olduğu Şekil 4.21'de görülmektedir.



Şekil 4.21. Scoville yakıcılık indeksi değerleri için modelden tahminlenen değerlere karşı deneysel veriler

İşlem değişkenlerinin kapsaisin mikrokapsüllerinin Scoville yakıcılık indeksi değerleri üzerindeki etkilerinin gözlemlenebilmesi için elde edilen modeller kullanılarak yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri oluşturulmuştur. Şekil 4.22'de Scoville yakıcılık indeksi değerlerine ait yanıt yüzey grafikleri ve eş yükselti eğrileri yer almaktadır.



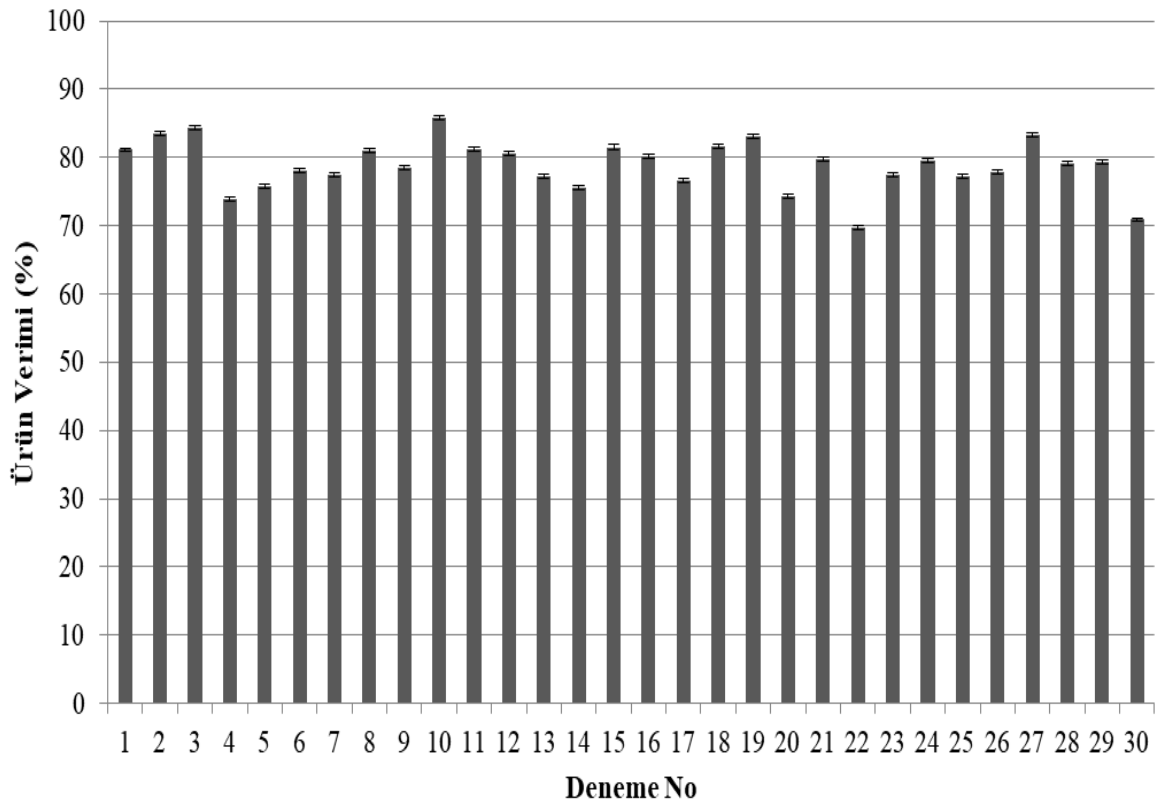
Şekil 4.22. Kapsaisin mikrokapsüllerinin Scoville yakıcılık indeksi değerleri için, işlem değişkenlerinin etkisini gösteren yanıt yüzey grafiği

Şekil 4.22’de görüldüğü gibi, kapsaisin mikrokapsüllerinin Scoville yakıcılık indeksi değerleri, giriş sıcaklığının artmasıyla birlikte artış göstermiştir. Giriş sıcaklığı yüksek olduğu durumlarda serbest kapsaisin miktarının artması, doğrudan Scoville yakıcılık indeksi değerlerini de etkilemiş ve Scoville yakıcılık indeksi değerleri de artmıştır.

Bosland (1994)'ın yaptığı sınıflandırmaya göre, 0-700 Scoville yakıcılık indeksine (SYI) sahip biberler yakıcı olmayan, 700-3000 SYI az yakıcı, 3000-25000 SYI orta yakıcı, 25000-70000 SYI yakıcı ve 80000 ve üzeri SYI çok yakıcı olarak bildirilmiştir. Bu sınıflandırmaya göre, mevcut çalışmada saf kapsaisinin püskürterek soğutma yöntemi ile kapsüllenmesiyle çok yakıcı sınıftan, az yakıcı ve yakıcı olmayan sınıfa kadar indirgenebildiği gözlenmiştir. Örnekler arasında yalnızca en yüksek giriş sıcaklığında üretilen örneğin orta yakıcı sınıfına girdiği belirlenmiştir.

4.2.2.12. Püskürterek soğutma işleminin ürün verimi

Püskürterek soğutma işleminin ürün verimi, cihaza beslenen emülsiyon ağırlığı ve üretim sonunda elde edilen ürün ağırlığı üzerinden matematiksel olarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.23'te gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Püskürterek soğutma işleminin kapsaisin mikrokapsülasyonu için ürün verimi değerleri

Elde edilen sonuçlara göre, püskürterek soğutma işleminin kapsaisin mikrokapsülasyonu için ürün verimi değerleri, %69.77 ile %85.82 arasında hesaplanmıştır. En düşük verim değeri, püskürterek soğutma giriş sıcaklığı en yüksek (20 °C) olan örnekte hesaplanmıştır. Yüksek sıcaklığın örneklerde yapışkanlığı artırması, bu nedenle partiküllerin kurutma silindiri ve siklona yapışmasından dolayı verim değerinin düşük kaldığı değerlendirilmiştir.

Farklı mikrokapsülasyon teknikleri ile kıyaslandığı zaman, literatür bilgilerine göre, elde edilen verim değerlerinin oldukça yüksek olduğu değerlendirilmiştir.

Literatürde yüksek ürün verimi, püskürterek soğutma yönteminin avantajlarından birisi olarak belirtilmiştir. Konu ile ilgili yapılmış çalışmalarda, püskürterek soğutma yöntemi ile emülsiyon ve/veya dispersiyonunun atomizasyonu sonucu elde edilen ürün verimi değerleri %75 ve üzerinde rapor edilmiştir (Maschke vd. 2007; Ilıc vd. 2009; Passerini vd. 2012).

Püskürterek soğutma cihazı ürün verimi değerlerinin CCRD deneme deseni bağımsız değişkenlerinden nasıl ve ne ölçüde etkilendiğini ortaya koymak için Design-Expert paket programı kullanılarak ANOVA analizi gerçekleştirilmiştir. ANOVA analizine ait sonuçlar Çizelge 4.29’da sunulmuştur.

Çizelge 4.29. Püskürterek soğutma işleminin ürün verimi değerlerine ait ANOVA analizi

VK	SD	Ürün Verimi (%)	
		HKT	p
Model	14	181.90	0.03*
A	1	5.20	0.55
B	1	6.86	0.50
C	1	73.54	0.04*
D	1	3.74	0.61
AB	1	22.63	0.23
AC	1	1.05	0.79
AD	1	2.18	0.70
BC	1	32.18	0.15
BD	1	3.91	0.61
CD	1	0.05	0.95
A²	1	10.60	0.40
B²	1	7.18	0.49
C²	1	6.05	0.52
D²	1	5.84	0.53
Kalıntı	15	218.10	
Model Uyumsuzluğu	10	163.16	0.63
Saf Hata	5	81.95	
Toplam	29	400.00	

* p < 0.05 seviyesinde istatistiki açıdan önemli

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, HKT: Hata kareler toplamı, A: Homojenizasyon hızı, B: Ayçiçek yağı oranı, C: Sıcaklık, D: Kapsaisin oranı

Püskürterek soğutma işleminin ürün verimi değerleri üzerine etkili olan tek işlem değişkeninin ANOVA analizi sonucunda, püskürterek soğutma giriş sıcaklığı olduğu

bulgulanmıştır ($p<0.05$). Ayrıca ürün verimi değerleri model ile istatistiki açıdan uyumlu ($p<0.05$) bulunmuştur.

4.3. Optimizasyon ve Sonuçlarının Deneysel Doğrulanması

Püskürterek soğutma yöntemi ile kapsaisin mikrokapsülü üretimi için işlem koşulları olarak seçilen homojenizasyon hızı, ayçiçek yağının palm yağı içerisindeki oranı, hava giriş sıcaklığı ve emülsiyon içerisindeki kapsaisin oranı, mikrokapsülasyon etkinliğini maksimize, ağızda ve midede açılımı minimize edecek şekilde, istenebilirlik fonksiyonu yaklaşımı ve eş yükselti eğrilerinin üst üste yerleştirilmesi (Superimposing) yöntemleri kullanılarak optimize edilmiştir. CCRD deneme desenine göre üretilen kapsaisin mikrokapsüllerinin diğer özellikleri ise optimizasyon çalışmasına katılmamıştır. Optimum noktanın belirlenmesinde her bir yanıt için elde edilen ikinci dereceden polinomial modeller kullanılmıştır.

İstenebilirlik fonksiyonu yaklaşımı uygulandığında optimum nokta için birbirine yakın 10 çözüm bulunmuştur. Söz konusu çözümler Çizelge 4.30'da verilmiştir. Program tarafından belirlenen bu çözümlerden, birinci çözümde elde edilen faktör seviyeleri seçilmiştir. Bu noktada belirlenen faktör seviyeleri, homojenizasyon hızı 14550 d/dk, ayçiçek yağının palm yağı içerisindeki oranı %1, giriş sıcaklığı 12.93 °C ve emülsiyondaki kapsaisin oranı %0.27 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.30. İstenebilirlik fonksiyonu yaklaşımı ile belirlenen optimum noktalar

No	H (d/dk)	A (%)	S (°C)	K (%)	AS (mg/kg)	MS (mg/kg)	ME (%)	İstenebilirlik
1	14550.00	1.00	12.93	0.27	2.92	15.72	98.37	0.97
2	14553.89	1.00	12.93	0.27	2.92	15.72	98.37	0.97
3	14555.61	1.00	12.93	0.27	2.93	15.72	98.37	0.97
4	14530.41	1.00	12.94	0.27	2.93	15.72	98.37	0.97
5	14531.42	1.00	12.93	0.27	2.92	15.72	98.37	0.97
6	14541.28	1.00	12.94	0.27	2.93	15.72	98.37	0.97
7	14517.85	1.00	12.94	0.27	2.92	15.72	98.37	0.97
8	14510.78	1.00	12.94	0.27	2.92	15.72	98.37	0.97
9	14539.58	1.00	12.93	0.27	2.92	15.72	98.37	0.97
10	14474.99	0.99	12.96	0.25	2.92	15.74	98.40	0.97

H; Homojenizasyon, A; Ayçiçek yağı oranı, S; Sıcaklık, K; Kapsaisin oranı, AS; Ağızda salınım, MS; Midede salınım, ME; Mikrokapsülasyon etkinliği

Optimum nokta sonuçlarının doğrulanması amacıyla, belirlenen matematiksel optimum noktada (homojenizasyon hızı 14550 d/dk, ayçiçek yağının palm yağı

içerisindeki oranı %1, giriş sıcaklığı 12.93 °C ve emülsiyondaki kapsaisin oranı %0.27) püskürterek soğutma yöntemi ile kapsaisin tozu üretimi yapılmıştır. Optimum noktada 5 adet doğrulama denemesi yapılmış ve bu denemelerden elde edilen sonuçlar ile modelden tahminlenen değerler Çizelge 4.31’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.31. Optimum nokta doğrulama denemelerine ait sonuçlar

Deneme No.	Ağızda Salınım (mg/kg)	Midede Salınım (mg/kg)	Mikroenkapsülasyon Etkinliği (%)
1	2.86	15.12	98.22
2	2.89	15.20	98.26
3	2.80	15.16	98.18
4	2.82	15.11	98.02
5	2.80	15.13	98.09
Ortalama	2.83	15.14	98.15
Modelden Tahminlenen	2.92	15.72	98.37

Her bir yanıt için, optimum nokta doğrulama denemelerinden elde edilen ortalama sonuçlar ile modelden tahminlenen değerler arasında istatistiksel açıdan önemli bir fark olup olmadığı tek örnek t–testi uygulanarak belirlenmiş olup, tek örnek t–testi SPSS (Statistical Package for the Social Science) paket programı (Version 23.0, IBM Inc., New York, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir yanıt için tek örnek t–testi sonuçları Çizelge 4.32’de verilmiştir.

Çizelge 4.32. Optimum noktada ortalama deneysel değerlerin modelden tahminlenen değerler ile karşılaştırılması

Yanıtlar	Tahminlenen Değer	Deneysel Değer	SH ^a	Fark	% Hata ^b	p–Değeri
ME (%)	98.37	98.15	0.043	-0.21	0.2241	0.008*
Ağız (mg/kg)	2.92	2.83	0.018	-0.086	3.1802	0.008*
Mide (mg/kg)	15.72	15.14	0.016	-0.576	3.8309	0.000*

a Ortalama standart hata b % Hata = $(|y_{den} - y_{tah}|/y_{den}) \times 100$

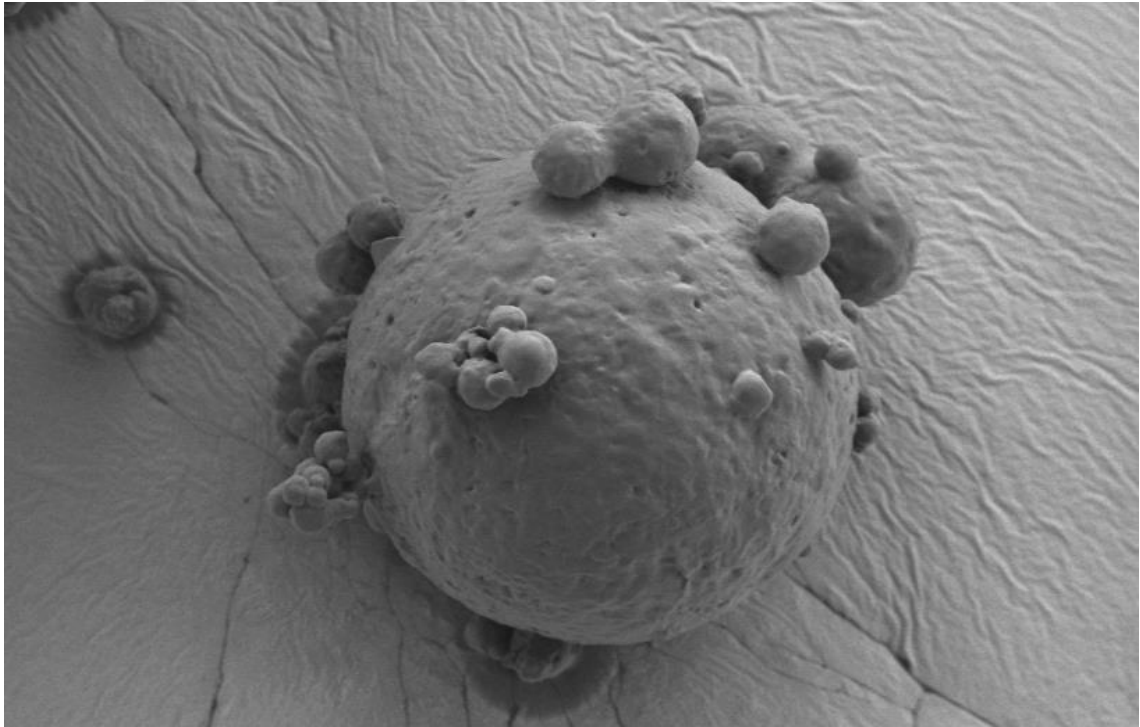
Doğrulama denemeleri sonucunda elde edilen kapsaisin mikropartikülleri analiz sonuçlarına göre tüm yanıtlar modelden tahminlenen değerlere oldukça yakın bulunmuştur.

4.3.1. Optimum noktada üretilen kapsaisin mikrokapsüllerinin özellikleri

İstenebilirlik fonksiyonu yaklaşımı yardımıyla elde edilen püskürterek soğutma optimum işlem koşullarında (14550 d/dk homojenizasyon hızı, %1 ayçiçek yağı oranı, 12.93 °C giriş sıcaklığı ve %0.27 kapsaisin oranı) üretilen örneğe ait analiz sonuçları Çizelge 4.33’te, SEM görüntüsü ise Şekil 4.24’te verilmiştir.

Çizelge 4.33. Optimum noktada üretilen kapsaisin mikrokapsüllerinin özellikleri

Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	Değer
Nem (%)	5.52 ± 0.02
Su Aktivitesi	0.38 ± 0.00
Yığın Yoğunluğu (kg/m ³)	240.00 ± 10.01
Sıkıştırılmış Yoğunluk (kg/m ³)	470.00 ± 15.13
Partikül Yoğunluğu (kg/m ³)	300.00 ± 12.11
Akabilirlik (Carr Index)	48.93 ± 0.20
D _[4,3] (µm)	121.70 ± 1.21
Açıklık	1.66 ± 0.08
Emülsiyondaki Toplam Kapsaisin (mg/kg)	35.91 ± 0.00
Toplam Kapsaisin (mg/kg)	35.83 ± 0.09
Serbest Kapsaisin (mg/kg)	0.58 ± 0.02
Ağızda Salınım (mg/kg)	2.81 ± 0.04
Midede Salınım (mg/kg)	15.15 ± 1.10
Bağırsakta Salınım (mg/kg)	35.75 ± 0.12
Scoville Yakıcılık İndeksi	1090 ± 50.00
Ürün Verimi (%)	88.82 ± 2.56
Mikroenkapsülasyon Etkinliği (%)	98.35 ± 1.11

**Şekil 4.24.** Optimum noktada üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x2500)

Bu aşamadan sonra depolama işlemi için optimum noktada (14550 d/dk homojenizasyon hızı, %1 ayçiçek yağı oranı, 12.93 °C giriş sıcaklığı ve %0.27

kapsaisin oranı) 5 adet üretim gerçekleştirilmiş ve örnekler paçal edildikten sonra depolamaya alınmıştır.

4.4. Depolama

Püskürterek soğutma yöntemi ile optimum noktada üretilen kapsaisin mikrokapsülleri depolama stabilitelerinin belirlenebilmesi amacıyla, 4 °C’de buzdolabı koşullarında ve 25 °C’de oda sıcaklığında olmak üzere iki farklı koşul altında depolanmıştır. Depolama işlemi her iki koşulda da 60 gün süreyle gerçekleştirilmiş olup, örnekler alüminyum kaplı polietilen (ALPE) ambalaj materyali içerisinde depolamaya tabi tutulmuştur. Depolamanın her 15 günlük periyodunda, optimizasyon aşamasında üretilen örnekler uygulanan tüm analizler depolama örneklerine de uygulanmıştır. Ayrıca depolama aşamasında örneklerdeki oksidatif stabilitenin belirlenebilmesi amacıyla her 15 günlük periyotta ve depolama başlangıcında peroksit analizleri yürütülmüştür.

Depolama analizleri esnasında 4 °C’de depolanan örneklerde 60 gün depolama süreci boyunca herhangi bir sorun ortaya çıkmazken, 25 °C’de depolanan örneklerde 30. depolama gününden sonra küflenme gözlenmiştir. 30. depolama gününden sonra 25 °C’de depolanan örneklerde analizler durdurulmuş, yeniden üretim yapılmış ve doğrulama amacıyla 60 günlük yeni bir depolama süreci başlatılmıştır. Ancak tekrar başlatılan depolama sürecinde de yine 30. depolama gününden sonra küflenme gözlenmiştir. Küflenme gözlenen örnekler uygulanan nem oranı ve su aktivitesi analizlerinin sonuçlarına göre, örneklerin nem oranları 0, 15 ve 30. depolama günlerinde sırasıyla 5.52 ± 0.03 , 6.14 ± 0.02 ve 7.71 ± 0.04 olarak belirlenirken, su aktivitesi değerleri 0, 15 ve 30. depolama günlerinde sırasıyla 0.3869 ± 0.00 , 0.4446 ± 0.00 ve 0.6972 ± 0.00 olarak belirlenmiştir. Su aktivitesi değeri 0.60’dan küçük olan toz ürünlerin genellikle mikrobiyolojik olarak stabil olduğu literatürde belirtilmekte (Labuza ve Shafiur Rahman 2007) olup, küflenmenin 30. depolama gününün sonunda örneklerin 0.6 su aktivitesi değeri sınırını aştıkları için meydana geldiği düşünülmüştür. Bu nedenle kullanılan ambalaj materyalinin oda sıcaklığında (25 °C) gerçekleştirilen depolamalarda nem geçirgenliğinin yüksek olabileceği (Koç vd. 2010) değerlendirilmiş olup, mevcut çalışmada kullanılan ambalajlama yönteminin değiştirilmesine karar verilmiştir. Bu aşamadan sonra yeniden üretim yapılmış ve örnekler vakum ambalajlanarak 25 °C’de tekrar depolanmaya başlanmıştır. Bu örneklerde 4 °C’de olduğu şekilde 60 günlük depolama sürecinin sonuna kadar herhangi bir küflenme gözlenmemiştir. Bu nedenlerden dolayı tez çalışmasının ilerleyen bölümlerindeki sonuçlar, ALPE paketlenmiş ve 4 °C’de depolanmış örnekler ile vakum paketlenme tekniği ile paketlenmiş ve 25 °C’de depolanmış örnekler üzerinden verilecektir.

4.4.1. Depolama örneklerinin fizikokimyasal özellikleri

4 °C’de buzdolabı koşullarında ve 25 °C oda koşullarında 60 gün boyunca depolamaya tabi tutulan kapsaisin mikrokapsüllerine, depolamanın her 15 günlük periyodunda, nem, su aktivitesi, yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk, partikül yoğunluğu, akabilirlik, partikül boyut dağılımı (LLD), toplam kapsaisin, serbest kapsaisin, gastrointestinal model sistemde salınım, Scoville yakıcılık indeksi ve peroksit analizleri uygulanmıştır.

Nem ve su aktivitesi değerleri toz formdaki gıdaların depolanmasında önemli bir faktör olup, ürünün akabilirliğini, mikrobiyal, fiziksel ve kimyasal bozulmasını da etkilemektedir (Sims 1989; Botrel vd. 2011). Bu nedenle, kapsaisin mikrokapsüllerinin nem ve su aktivitesi değerleri depolama uygulamalarında kontrol altında tutulması gereken parametrelerin başında gelmektedir. Püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilmiş olan kapsaisin mikrokapsüllerinin 60 günlük depolama süresi boyunca nem ve su aktivitesi değerlerindeki değişim Çizelge 4.34'te verilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen verilere ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.35'te ve önemli bulunan varyasyon kaynaklarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.36'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.34. Örneklerin depolamaya bağlı nem ve su aktivitesi sonuçları

Depolama Sıcaklığı	Depolama Süresi (gün)	Nem(%)	Su Aktivitesi
4 °C	0	5.51 ± 0.01	0.3871 ± 0.00
	15	5.53 ± 0.02	0.3880 ± 0.00
	30	5.52 ± 0.00	0.3876 ± 0.00
	45	5.54 ± 0.01	0.3877 ± 0.00
	60	5.54 ± 0.02	0.3875 ± 0.00
25 °C	0	5.51 ± 0.03	0.3872 ± 0.00
	15	5.51 ± 0.03	0.3876 ± 0.00
	30	5.52 ± 0.02	0.3872 ± 0.00
	45	5.53 ± 0.01	0.3873 ± 0.00
	60	5.53 ± 0.01	0.3877 ± 0.00

Sonuçlara göre, kapsaisin mikrokapsüllerinin nem ve su aktivitesi değerlerinin depolama süresi boyunca belirgin artışlar göstermediği, nem değerinin %5.51-5.54 arasında, su aktivitesi değerinin de 0.3871 ile 0.3880 arasında değiştiği gözlenmiştir.

Kapsaisin mikrokapsüllerinin depolama süresince nem ve su aktivitesi değerlerindeki değişim üzerinde, depolama süresi ve sıcaklığının nasıl ve ne ölçüde etkili olduğunu belirleyebilmek amacıyla varyans analizi uygulanmış, sonuçlar Çizelge 4.35'te verilmiştir.

Çizelge 4.35. Örneklerin depolamaya bağlı nem ve su aktivitesi değerlerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	Nem (%)		a _w	
		KO	F	KO	F
Depolama Sıcaklığı	1	0.08	18.78**	0.00	0.75
Depolama Süresi	4	0.06	13.78**	0.00	7.05**
Süre x Sıcaklık	4	0.00	0.44	0.00	2.95
Hata	10				

(*) $p < 0.05$ ve (**) $p < 0.01$ farklılık ifade eder. VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, F: F değeri

Varyans analizi sonuçlarına göre, kapsaisin mikrokapsüllerinin depolama boyunca nem değerlerindeki değişim üzerine depolama sıcaklığının ve depolama süresinin önemli ($p<0.01$) bir etkisinin olduğu görülmüştür. Depolama süresi ve depolama sıcaklığının interaksyonunun nem değerinde önemli ($p>0.05$) bir etkiye sahip olmadığı belirlenirken, örneklerin su aktivitesi değerleri üzerinde ise depolama süresinin istatistiki açıdan önemli etkisi ($p<0.01$) gözlenmiştir. Depolama sıcaklığı ve sıcaklık süre interaksyonunun su aktivitesi değeri üzerinde önemli bir etkisi belirlenmemiştir.

Çizelge 4.36. Örneklerin depolamaya bağlı nem ve su aktivitesi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

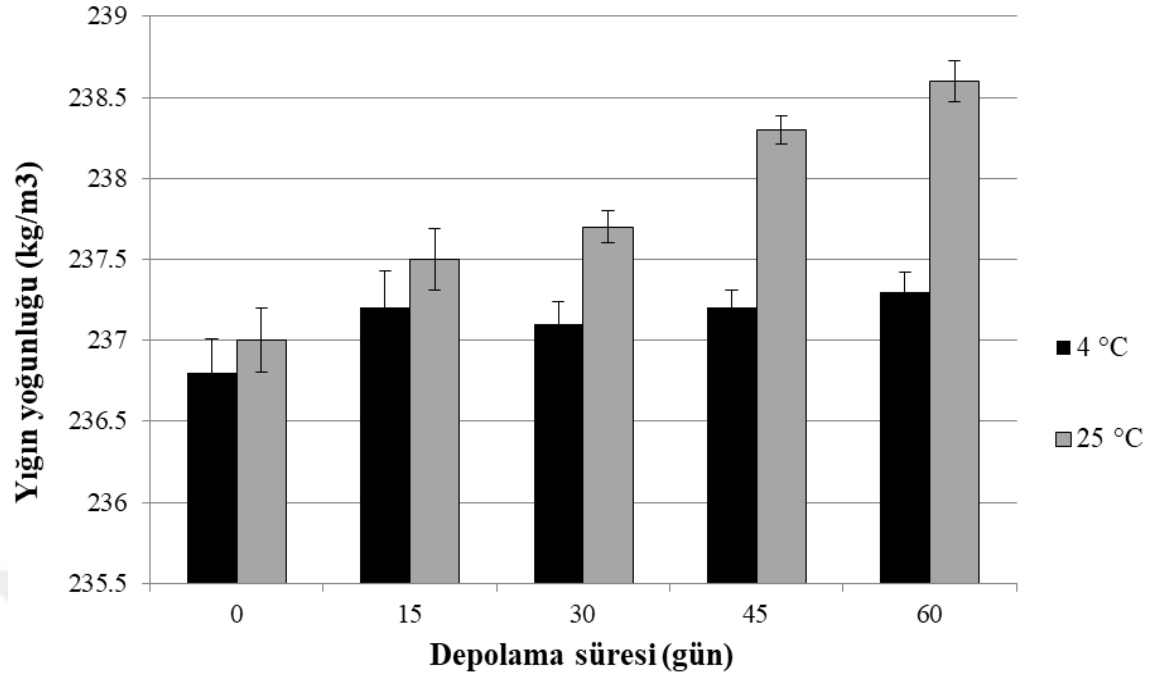
Depolama Süresi (gün)	Nem (%)	a_w
0	$5.52^c \pm 0.01$	$0.3871^c \pm 0.00$
15	$5.53^{bc} \pm 0.00$	$0.3875^{ab} \pm 0.00$
30	$5.53^b \pm 0.01$	$0.3873^{bc} \pm 0.00$
45	$5.55^a \pm 0.01$	$0.3875^{ab} \pm 0.00$
60	$5.55^a \pm 0.01$	$0.3877^a \pm 0.00$
Depolama Sıcaklığı (°C)		
4	$5.52^b \pm 0.01$	$0.3874^a \pm 0.00$
25	$5.53^a \pm 0.01$	$0.3875^a \pm 0.00$

Farklı harfler (a, b, c) ortalamaların $p<0.05$ düzeyinde farklı olduğunu gösterir.

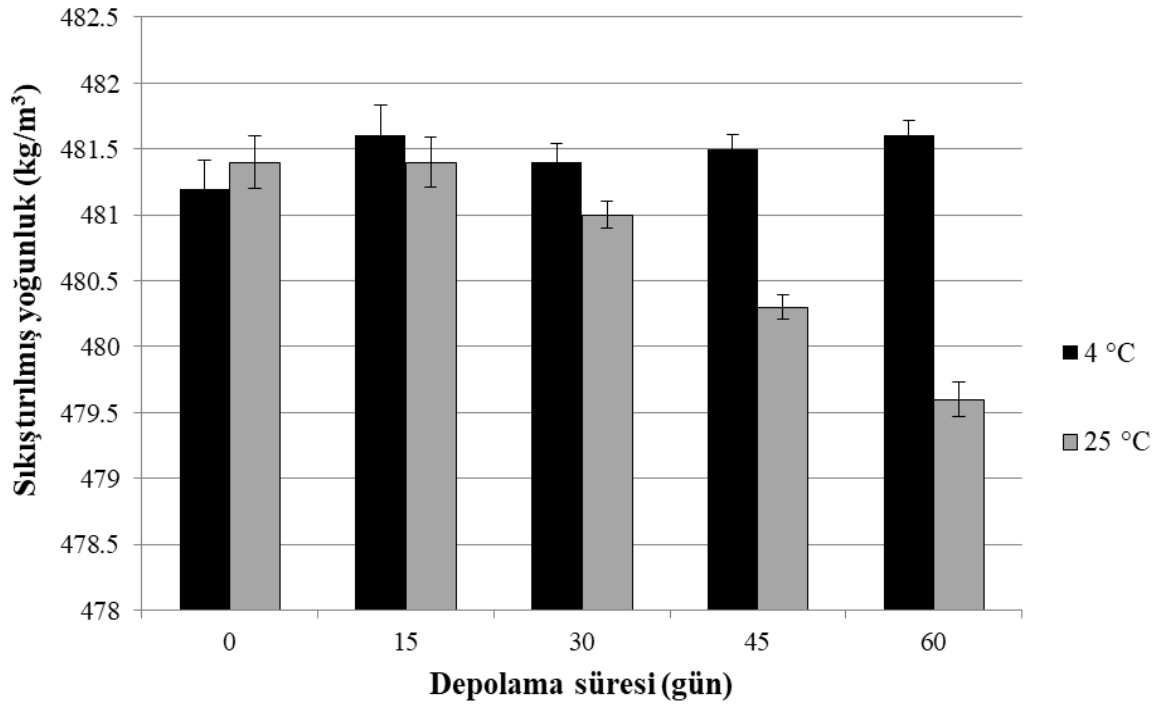
Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; 25 °C’de depolanan örneklerin nem değerlerinin 4 °C’de depolanan örneklerden daha yüksek olduğu, bunun yanı sıra depolama süresindeki artış ile birlikte nem değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. Kapsaisin mikrokapsüllerinin su aktivitesi değerlerinin depolama süresine bağlı olarak artış gösterdiği, depolama sıcaklığından ise etkilenmediği belirlenmiştir.

Depolama denemelerinde, ambalaj materyali olarak kullanılan ALPE’nin 4 °C’de depolanan örnekler için su buharı geçirgenliğinin oldukça düşük olduğu literatürde (Koç vd. 2015) belirtilmiş olup, bu nedenle kapsaisin mikrokapsüllerinin nem değerlerinde büyük değişimler gözlenmediği varsayılmıştır. Bir diğer depolama yöntemi olan vakum paketlenme için de aynı durum geçerli olduğundan, örneklerin nem ve su aktivitesi değerlerinin depolama boyunca büyük değişiklikler göstermediği değerlendirilmiştir.

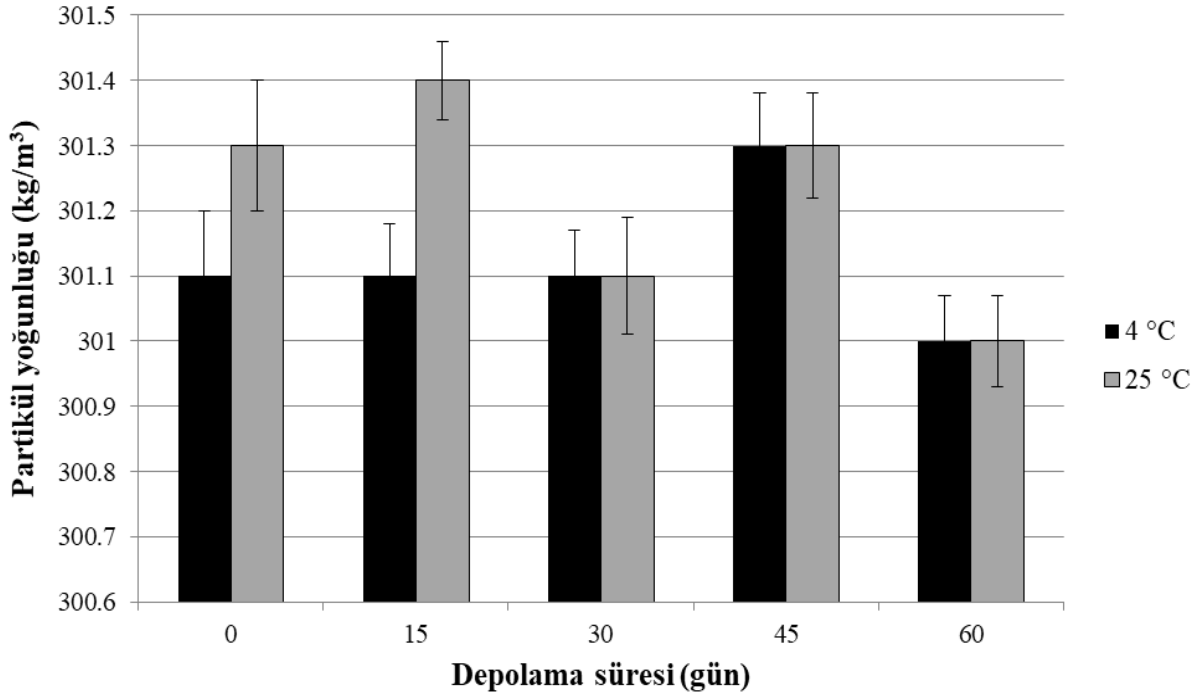
Püskürterek soğutma yöntemi ile üretilen kapsaisin mikrokapsüllerinin yığın yoğunluğu, sıkıştırılmış yoğunluk, partikül yoğunluğu ve akabilirlik analizleri sonucunda elde edilen ortalama sonuçlar sırasıyla Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’te verilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen verilere ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.37’de ve önemli bulunan varyasyon kaynaklarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.38’de gösterilmiştir.



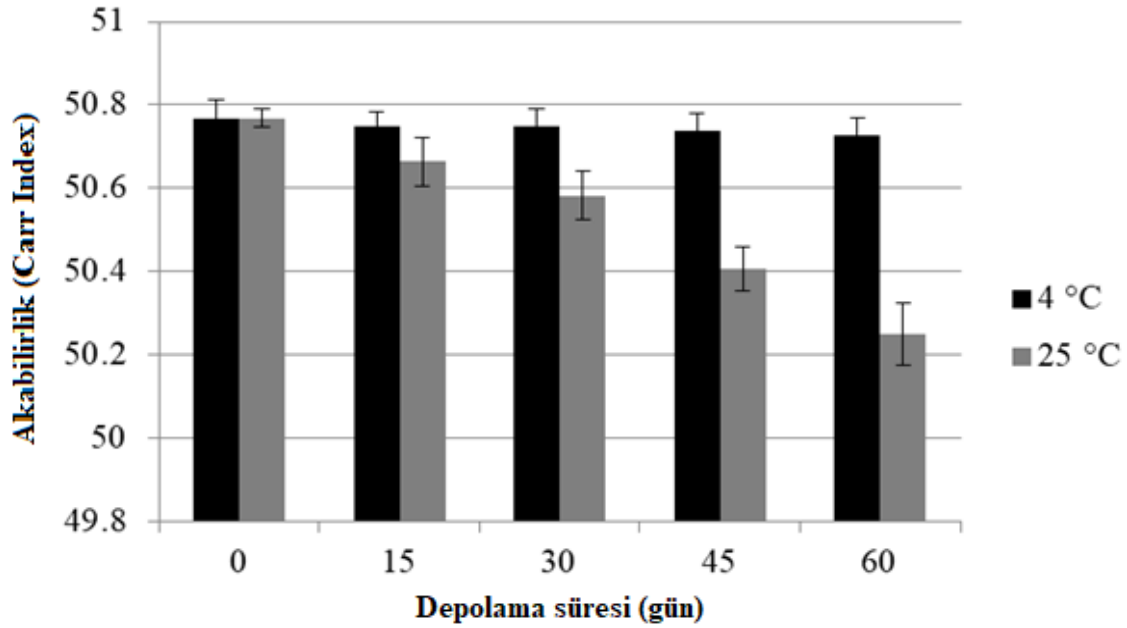
Şekil 4.25. Örneklerin depolamaya bağlı yığın yoğunluğu değerleri



Şekil 4.26. Örneklerin depolamaya bağlı sıkıştırılmış yoğunluk değerleri



Şekil 4.27. Örneklerin depolamaya bağlı partikül yoğunluğu değerleri



Şekil 4.28. Örneklerin depolamaya bağlı akabilirlik değerleri

Kapsaisin mikrokapsüllerinin yoğunluk ve akabilirlik analizlerinin ortalama sonuçları değerlendirildiğinde, yığın yoğunluğu değerlerinin, 236.9-238.5 kg/m³, sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin, 479.6-481.6 kg/m³, partikül yoğunluğu değerlerinin 301-301.4 kg/m³ ve akabilirlik değerlerinin de 50.25 ile 50.75 arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.37. Örneklerin depolamaya bağlı yoğunluk ve akabilirlik değerlerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	Yığın Yoğunluğu (kg/m ³)		Sıkıştırılmış Yoğunluk (kg/m ³)		Partikül Yoğunluğu (kg/m ³)		Akabilirlik	
		KO	F	KO	F	KO	F	KO	F
Depolama Sıcaklığı	1	0.00	136.03**	0.00	48.01**	2.66	36.00	0.23	98.18
Depolama Süresi	4	0.00	35.03**	0.00	9.45**	2.88	23.50	0.54	22.30
Süre x Sıcaklık	4	0.00	15.74**	0.00	14.56**	14.56	8.50	0.40	16.70
Hata	10								

(**) $p < 0.01$ farklılık ifade eder. VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması

Varyans analizi sonuçlarına göre, kapsaisin mikrokapsüllerinin depolama boyunca yığın yoğunluğu değerlerindeki değişim üzerine, depolama sıcaklığının, depolama süresinin ve süre x sıcaklık interaksiyonunun önemli ($p < 0.01$) düzeyde etkisinin olduğu görülmüştür. Sıkıştırılmış yoğunluk değeri, yığın yoğunluğu değeri ile doğrudan ilişkili bir değer olduğu için, yığın yoğunluğunu etkileyen tüm değişkenlerden etkilendiği gözlenmiştir. Kapsaisin mikrokapsüllerinin sıkıştırılmış yoğunluk değerleri üzerine, depolama sıcaklığının, depolama süresinin ve süre x sıcaklık interaksiyonunun önemli ($p < 0.01$) etkisinin olduğu görülmüştür. Örneklerin partikül yoğunluğu değerleri varyans analizi sonuçlarına göre, depolama süre ve sıcaklığındaki artıştan etkilenmemiş, depolama boyunca sabit kalmıştır. Yığın yoğunluğu ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri üzerinden hesaplanan akabilirlik değeri, depolama boyunca bu artış ve azalıştan etkilenmemiş ve sabit kalmıştır.

Çizelge 4.38. Örneklerin depolamaya bağlı yoğunluk ve akabilirlik değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Depolama Süresi (gün)	Yığın Yoğunluğu (kg/m ³)	Sıkıştırılmış Yoğunluk (kg/m ³)	Partikül Yoğunluğu (kg/m ³)	Akabilirlik
0	237.0 ^d ± 0.22	481.3 ^a ± 0.19	301.2 ^a ± 0.20	50.75 ^a ± 0.03
15	237.4 ^c ± 0.24	481.2 ^a ± 0.19	301.3 ^a ± 0.18	50.67 ^a ± 0.07
30	237.5 ^c ± 0.18	481.1 ^{ab} ± 0.24	301.3 ^a ± 0.16	50.63 ^a ± 0.11
45	237.8 ^b ± 0.19	480.7 ^b ± 0.23	301.3 ^a ± 0.17	50.64 ^a ± 0.20
60	238.1 ^a ± 0.21	480.4 ^c ± 0.26	301.0 ^a ± 0.21	50.64 ^a ± 0.29
Depolama Sıcaklığı (°C)				
4	237.2 ^b ± 0.28	481.3 ^a ± 0.22	301.1 ^a ± 0.20	50.71 ^a ± 0.03
25	237.9 ^a ± 0.22	480.6 ^b ± 0.21	301.2 ^a ± 0.19	50.69 ^a ± 0.21

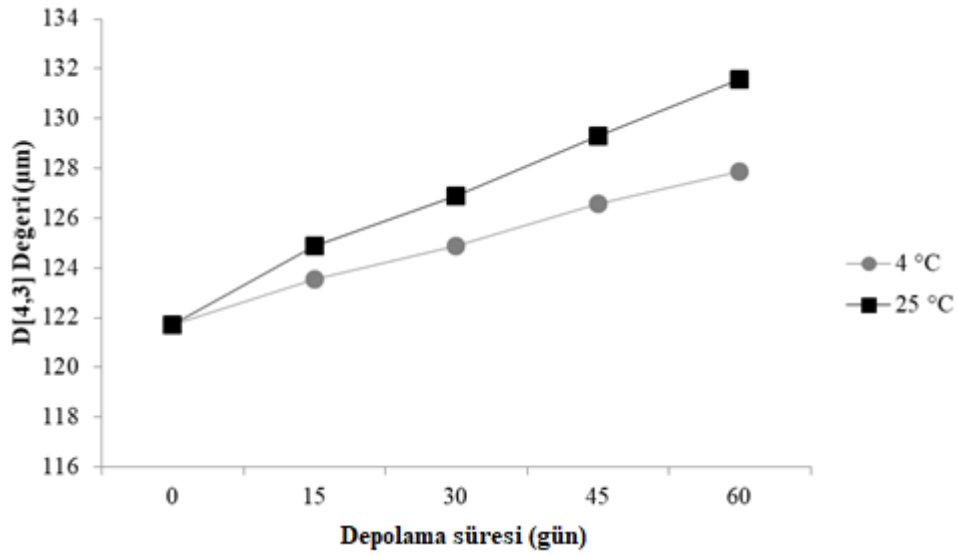
Farklı harfler (a, b, c) ortalamaların $p < 0.05$ düzeyinde farklı olduğunu gösterir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; 4 °C’de depolanan örneklerin yığın yoğunluğu değerlerinin 25 °C’de depolanan örneklerden daha düşük olduğu, bunun yanı sıra depolama süresindeki artış ile birlikte yığın yoğunluğu değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. Kapsaisin mikrokapsüllerinin sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin depolama boyunca süredeki ve sıcaklıktaki artış ile birlikte azaldığı tespit edilmiştir. Örneklerin partikül yoğunluğu ve akabilirlik değerlerinin depolama süre ve sıcaklığından etkilenmediği ve sabit kaldığı belirlenmiştir.

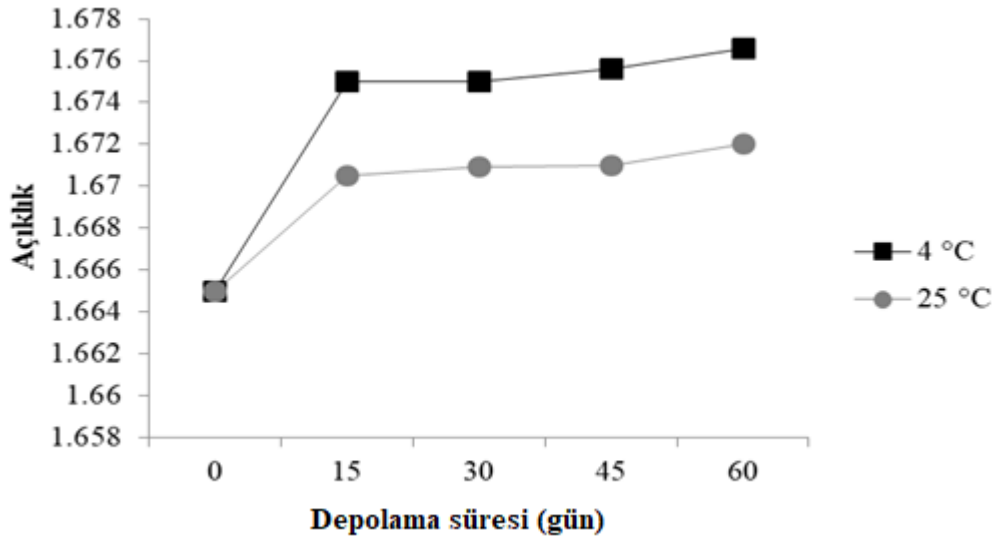
Depolama süre ve sıcaklığındaki artış ile birlikte tüm örneklerin yığın yoğunluğu değerlerinin yükseldiği ve bu durumla yakından ilişkili olarak sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin azaldığı görülmektedir. Kapsaisin mikrokapsüllerinin kaplama materyali olan palm yağı, depolama süresinin artması ile birlikte daha yapışkanimsı bir yapı kazandığı için yığın yoğunluğu değerleri artmış, ölçümler esnasında mezür cidarlarına yapışma göstermiştir. Ayrıca depolama sıcaklıklarından 4 °C’de daha stabil bir yapı gözlenirken, 25 °C’de örnekler daha yapışkan hal aldıkları için, yığın yoğunluğu değeri depolama sıcaklığından etkilenmiş, sıcaklıktaki artış ile birlikte yükselmiştir. Aynı sebeplerden ötürü örneklerin sıkıştırılmış yoğunluk değerleri depolama süresi ve sıcaklığındaki artış ile birlikte düşmüş, yapışmadan ötürü örnekler sıkıştırılamamıştır.

Literatürde konu ile ilgili yapılmış çalışmalardan birinde, bal tozlarının depolama süresi ve sıcaklığındaki artış ile birlikte, yığın yoğunluğu değerlerinin benzer şekilde yükseldiği ve bu duruma bağlı olarak sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin düştüğü rapor edilmiştir (Koç 2015). Teunou ve Fitzpatrick (2000) yaptıkları çalışmada, depolama süresindeki artış ile birlikte, un ve peyniraltı suyu proteininin yığın yoğunluğunun arttığını ve bu durumun örneklerin akabilirliğini etkilediğini bildirmişlerdir. Buğday unu ile yapılmış bir çalışmada, araştırmacılar, depolama süresindeki artış ile birlikte örneklerin yığın yoğunluğunun arttığını, söz konusu durumun toz ürünün kendi ağırlığı ile zamana bağlı sertleşmesinden ve yapıdaki nem içeriğinden kaynaklandığını rapor etmişlerdir (Domian ve Poszytek 2005).

Kapsaisin mikrokapsüllerine depolamanın her 15 günlük periyodunda uygulanan partikül boyut dağılımı (LLD) analizleri sonucunda elde edilen partikül çapı ve açıklık değerleri sırasıyla Şekil 4.29 ve Şekil 4.30’da gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Örneklerin depolama süresine bağlı $D_{[4,3]}$ değerleri ortalama sonuçları



Şekil 4.30. Depolama örneklerinin açıklık değerleri ortalama sonuçları

Kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül boyutları depolama süresi boyunca ortalama olarak, 121.72 µm ile 131.56 µm arasında belirlenirken, açıklık değerleri, 1.66 ile 1.67 arasında hesaplanmıştır.

Kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül çapı ve açıklık değerlerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.39’da ve önemli bulunan varyasyon kaynaklarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları Çizelge 4.40’ta gösterilmiştir.

Çizelge 4.39. Örneklerin depolamaya bağlı $D_{[4,3]}$ ve açıklık değerlerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	$D_{[4,3]}$ (μm)		Açıklık	
		KO	F	KO	F
Depolama Sıcaklığı	1	19.01	136.95**	0.00	0.36
Depolama Süresi	4	38.96	144.52**	0.00	0.41
Süre x Sıcaklık	4	1.95	121.21**	0.00	0.40
Hata	10				

(**) $p < 0.01$ farklılık ifade eder. VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, F: F değeri

Varyans analizi sonuçlarına göre, kapsaisin mikrokapsüllerinin depolama boyunca $D_{[4,3]}$ değerlerindeki değişim üzerine, depolama sıcaklığının, depolama süresinin ve süre x sıcaklık interaksiyonunun önemli ($p < 0.01$) etkisinin olduğu görülmüştür. Kapsaisin mikrokapsüllerinin akabilirlik değerleri ise, varyans analizi sonuçlarına göre, depolama süre ve sıcaklığındaki artıştan etkilenmemiş, depolama boyunca sabit kalmıştır.

Çizelge 4.40. Örneklerin depolamaya bağlı $D_{[4,3]}$ ve açıklık değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Depolama Süresi (gün)	$D_{[4,3]}$ (μm)	Açıklık
0	121.73 ^e $\pm$ 0.00	1.67 ^a $\pm$ 0.00
15	124.23 ^d $\pm$ 0.77	1.67 ^a $\pm$ 0.00
30	125.88 ^c $\pm$ 1.15	1.67 ^a $\pm$ 0.00
45	127.94 ^b $\pm$ 1.59	1.67 ^a $\pm$ 0.00
60	129.72 ^a $\pm$ 2.12	1.67 ^a $\pm$ 0.00
Depolama Sıcaklığı (°C)		
4	124.92 ^b $\pm$ 2.29	1.67 ^a $\pm$ 0.00
25	126.87 ^a $\pm$ 3.60	1.67 ^a $\pm$ 0.00

Farklı harfler (a, b, c, d) ortalamaların $p < 0.05$ düzeyinde farklı olduğunu gösterir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; 4 °C’de depolanan örneklerin $D_{[4,3]}$ değerlerinin 25 °C’de depolanan örneklerden daha düşük olduğu, bunun yanı sıra depolama süresindeki artış ile birlikte $D_{[4,3]}$ değerlerinin de arttığı belirlenmiştir. Kapsaisin mikrokapsüllerinin açıklık değerlerinin depolama boyunca süredeki ve sıcaklıktaki artış ile birlikte değişmediği gözlenmiştir.

Depolama örneklerinin depolama süresi ve sıcaklığı arttıkça topaklanmasının artması ve birbirine yapışmasından dolayı, partikül boyutlarının büyüdüğü

değerlendirilmiştir. Literatür çalışmalarında, partikül boyut özelliklerinin depolama koşullarından etkilenebileceği, artan sıcaklıkla birlikte, depolanan materyalin özelliğine bağlı olarak partikül boyutunun düşebileceği veya yükselebileceği rapor edilmiştir. Yağ bazlı materyallerle yapılan mikroenkapsülasyon işlemlerinde depolama sıcaklık ve süresinin oldukça önemli faktörler olduğu ve bu iki kriterdeki artışla birlikte yapışma oranının artacağı, bu durumun da partikül boyutunda büyümeye neden olabileceği literatür çalışmalarında bildirilmiştir (Kentepozidou ve Kiparissides 1995; Favaro-Trindade vd. 2016).

Kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül boyutlarındaki bu büyümenin, çekirdek materyali açısından yararlı olabileceği değerlendirilmiştir. Zira literatürde, büyük partiküllerin çekirdek materyalini, küçük partiküllere kıyasla daha yavaş serbest bıraktığı, partikül boyutunun kapsülleme verimliliği ile doğrudan ilintili olduğu rapor edilmiştir (Kurozawa vd. 2009; Favaro-Trindade vd. 2016).

Kapsaisin mikrokapsüllerine depolama süresi boyunca her 15 günlük periyotta kromatografik olarak toplam kapsaisin ve serbest kapsaisin analizleri uygulanmış, kaplama materyalinden dışarı salınan kapsaisin miktarı belirlenmiştir. Analizler sonucunda elde edilen ortalama sonuçlar Çizelge 4.41’de, bu sonuçlara ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.42’de ve önemli bulunan ana varyasyon kaynakları ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ise Çizelge 4.43’te verilmiştir.

Çizelge 4.41. Örneklerinin depolamaya bağlı toplam kapsaisin ve serbest kapsaisin sonuçları

Depolama Sıcaklığı	Depolama Süresi	Emülsiyondaki			
	(gün)	Kapsaisin (mg/kg)	TK (mg/kg)	SK (mg/kg)	ME (%)
4 °C	0	35.91	35.83 ± 0.02	0.58 ± 0.00	98.38 ± 0.00
	15	35.91	35.81 ± 0.00	0.58 ± 0.01	98.36 ± 0.02
	30	35.91	35.84 ± 0.01	0.59 ± 0.01	98.33 ± 0.02
	45	35.91	35.88 ± 0.06	0.61 ± 0.00	98.29 ± 0.03
	60	35.91	35.85 ± 0.03	0.61 ± 0.01	98.28 ± 0.02
25 °C	0	35.91	35.88 ± 0.06	0.58 ± 0.00	98.38 ± 0.00
	15	35.91	35.85 ± 0.03	0.60 ± 0.00	98.32 ± 0.00
	30	35.91	35.83 ± 0.00	0.63 ± 0.01	98.25 ± 0.02
	45	35.91	35.86 ± 0.04	0.63 ± 0.01	98.22 ± 0.02
	60	35.91	35.90 ± 0.06	0.64 ± 0.02	98.18 ± 0.04

TK; Toplam kapsaisin, SK; Serbest kapsaisin, ME; Mikroenkapsülasyon etkinliği

Ortalama sonuçlar incelendiğinde, kapsaisin mikrokapsüllerinin toplam kapsaisin değerlerinin depolama süresi ve sıcaklığı ile değişmediği, serbest kapsaisin miktarlarının ise, 0.58 mg/kg ile 0.64 mg/kg arasında değişiklik gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 4.42. Örneklerin depolamaya bağlı toplam kapsaisin ve serbest kapsaisin miktarlarına ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	Toplam Kapsaisin (mg/kg)		Serbest Kapsaisin (mg/kg)	
		KO	F	KO	F
Depolama Sıcaklığı	1	0.006	0.42	0.0001	49.00**
Depolama Süresi	4	0.0002	0.20	0.009	40.83**
Süre x Sıcaklık	4	0.009	0.20	0.008	4.28*
Hata	10				

(*) $p < 0.05$ ve (**) $p < 0.01$ farklılık ifade eder. VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, F: F değeri

Varyans analizi sonuçlarına göre, kapsaisin mikrokapsüllerinin depolama boyunca toplam kapsaisin değerlerindeki değişim üzerine, depolama sıcaklığının, depolama süresinin ve süre x sıcaklık interaksiyonunun önemli ($p > 0.05$) bir etkisi gözlenmemiştir. Kapsaisin mikrokapsüllerinin serbest kapsaisin değerleri ise varyans analizi sonuçlarına göre, depolama süre ve sıcaklığındaki artıştan etkilenmiş ve değişkenlerin serbest kapsaisin miktarı üzerine istatistiki açıdan önemli ($p < 0.01$) etkisi belirlenmiştir. Ayrıca, serbest kapsaisin miktarı üzerine süre x sıcaklık interaksiyonunun da istatistiki açıdan önemli ($p < 0.05$) etkisi tespit edilmiştir.

Çizelge 4.43. Örneklerin depolamaya bağlı toplam kapsaisin ve serbest kapsaisin değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Depolama Süresi (gün)	Toplam Kapsaisin (mg/kg)	Serbest Kapsaisin (mg/kg)
0	35.83 ^a ± 0.04	0.58 ^d ± 0.00
15	35.82 ^a ± 0.02	0.59 ^c ± 0.01
30	35.83 ^a ± 0.01	0.61 ^b ± 0.02
45	35.84 ^a ± 0.04	0.62 ^a ± 0.02
60	35.84 ^a ± 0.04	0.63 ^a ± 0.02
Depolama Sıcaklığı (°C)		
4	35.83 ^a ± 0.03	0.60 ^b ± 0.01
25	35.84 ^a ± 0.03	0.62 ^a ± 0.03

Farklı harfler (a, b, c, d) ortalamaların $p < 0.05$ düzeyinde farklı olduğunu gösterir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; 4 °C’de depolanan örneklerin serbest kapsaisin değerlerinin 25 °C’de depolanan örneklerden daha düşük olduğu, bunun yanı sıra depolama süresindeki artış ile birlikte serbest kapsaisin değerlerinin de

arttığı belirlenmiştir. Bu durumun palm yağının uzun süreli depolamalarında 25 °C sıcaklık değerinin uygun bir sıcaklık değeri olmaması ve depolama zamanının artışına bağlı olarak kapsülün kırılıp, kapsaisinin dışarı çıkmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kapsaisin mikrokapsüllerinin toplam kapsaisin değerlerinin depolama boyunca süredeki ve sıcaklıktaki artış ile birlikte değişmediği gözlenmiştir.

Depolama denemelerinde, sıcaklık ve sürenin etkisiyle birlikte, kaplama materyalinin çekirdek materyalini oldukça yavaş bir hızla dışarıya saldıgı, kapsülleme işleminin tüm depolama süreleri ve sıcaklıklarında %98 etkinlikle gerçekleştirildiği görülmüştür.

Depolama denemeleri boyunca, kapsaisin mikrokapsüllerinin 15 günde bir statik gastrointestinal model sistemde salınımları belirlenmiş, simüle ağız, mide ve bağırsak ortamında mikrokapsüllerin kırılma miktarı analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre elde edilen ortalama değerler Çizelge 4.44'te, bu değerlere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.45'te ve önemli bulunan ana varyasyon kaynakları ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ise Çizelge 4.46'da verilmiştir.

Çizelge 4.44. Örneklerin depolamaya bağlı statik gastrointestinal model sistemde salınım sonuçları

Depolama Sıcaklığı	Depolama Süresi (gün)	Emülsiyondaki Kapsaisin (mg/kg)	AS (mg/kg)	MS (mg/kg)	BS (mg/kg)
4 °C	0	35.91	2.82 ± 0.01	15.15 ± 0.00	35.74 ± 0.00
	15	35.91	2.83 ± 0.01	15.14 ± 0.01	35.76 ± 0.01
	30	35.91	2.83 ± 0.00	15.16 ± 0.01	35.75 ± 0.01
	45	35.91	2.84 ± 0.01	15.14 ± 0.01	35.74 ± 0.00
	60	35.91	2.83 ± 0.01	15.15 ± 0.00	35.74 ± 0.00
25 °C	0	35.91	2.81 ± 0.01	15.16 ± 0.00	35.78 ± 0.03
	15	35.91	2.84 ± 0.01	15.18 ± 0.00	35.81 ± 0.05
	30	35.91	2.88 ± 0.03	15.19 ± 0.01	35.76 ± 0.01
	45	35.91	2.89 ± 0.02	15.26 ± 0.02	35.74 ± 0.00
	60	35.91	2.89 ± 0.01	15.33 ± 0.01	35.72 ± 0.00

AS; Ağızda salınım, MS; Midede salınım, BS; Bağırsakta salınım

Kapsaisin mikrokapsüllerinin depolama süresi boyunca gastrointestinal sistemde salınım sonuçlarına bakıldığı zaman, örneklerin ağızda salınım miktarları 2.81 mg/kg ile 2.89 mg/kg arasında değişirken, midede salınım miktarları 15.15 mg/kg ile 15.33 mg/kg arasında değişiklik göstermiştir. Bağırsakta salınım miktarlarının ise depolama süresi boyunca yaklaşık olarak sabit kaldığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.45. Örneklerin depolamaya bağlı statik gastrointestinal model sistemde salınım miktarlarına ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	AS (mg/kg)		MS (mg/kg)		BS (mg/kg)	
		KO	F	KO	F	KO	F
Depolama Sıcaklığı	1	0.02	12.60**	0.03	385.94**	0.09	0.82
Depolama Süresi	4	0.01	8.17**	0.01	66.24**	0.06	1.13
Süre x Sıcaklık	4	0.00	4.60*	0.01	68.00**	0.001	0.53
Hata	10						

(*) $p < 0.05$ ve (**) $p < 0.01$ farklılık ifade eder.

VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, F: F değeri, AS: Ağızda salınım, MS: Midede salınım, BS: Bağırsakta salınım

Varyans analizi sonuçlarına göre, kapsaisin mikrokapsüllerinin depolama boyunca ağızda salınım miktarlarındaki değişim üzerine, depolama sıcaklığının ve depolama süresinin istatistiki açıdan önemli ($p < 0.01$) etkisi gözlenmiştir. Ayrıca süre x sıcaklık interaksiyonunun da ağızda salınım miktarı üzerine önemli ($p < 0.05$) etkisi belirlenmiştir. Kapsaisin mikrokapsüllerinin midede salınım değerleri ise varyans analizi sonuçlarına göre, depolama süre ve sıcaklığındaki artıştan etkilenmiş ve değişkenlerin midede salınım miktarı üzerine istatistiki açıdan önemli ($p < 0.01$) etkisi belirlenmiştir. Ayrıca, midede salınım miktarı üzerine süre x sıcaklık interaksiyonunun da istatistiki açıdan önemli ($p < 0.05$) etkisi tespit edilmiştir. Kapsaisin mikrokapsüllerinin bağırsakta salınım değerleri depolama değişkenlerinden etkilenmemiş ve değişkenlerin bağırsakta salınım değerleri üzerine istatistiki açıdan önemli etkisi ($p > 0.05$) bulunmamıştır.

Çizelge 4.46. Örneklerin depolamaya bağlı statik gastrointestinal model sistemde salınım değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Depolama Süresi (gün)	AS (mg/kg)	MS (mg/kg)	BS (mg/kg)
0	$2.82^c \pm 0.01$	$15.15^d \pm 0.01$	$35.75^a \pm 0.02$
15	$2.83^{bc} \pm 0.01$	$15.16^{cd} \pm 0.02$	$35.76^a \pm 0.03$
30	$2.85^{ab} \pm 0.02$	$15.18^c \pm 0.02$	$35.75^a \pm 0.01$
45	$2.86^a \pm 0.03$	$15.21^b \pm 0.08$	$35.74^a \pm 0.00$
60	$2.86^a \pm 0.03$	$15.25^a \pm 0.11$	$35.74^a \pm 0.01$
Depolama Sıcaklığı (°C)			
4	$2.83^b \pm 0.01$	$15.15^b \pm 0.01$	$35.74^a \pm 0.01$
25	$2.85^a \pm 0.03$	$15.23^a \pm 0.07$	$35.75^a \pm 0.03$

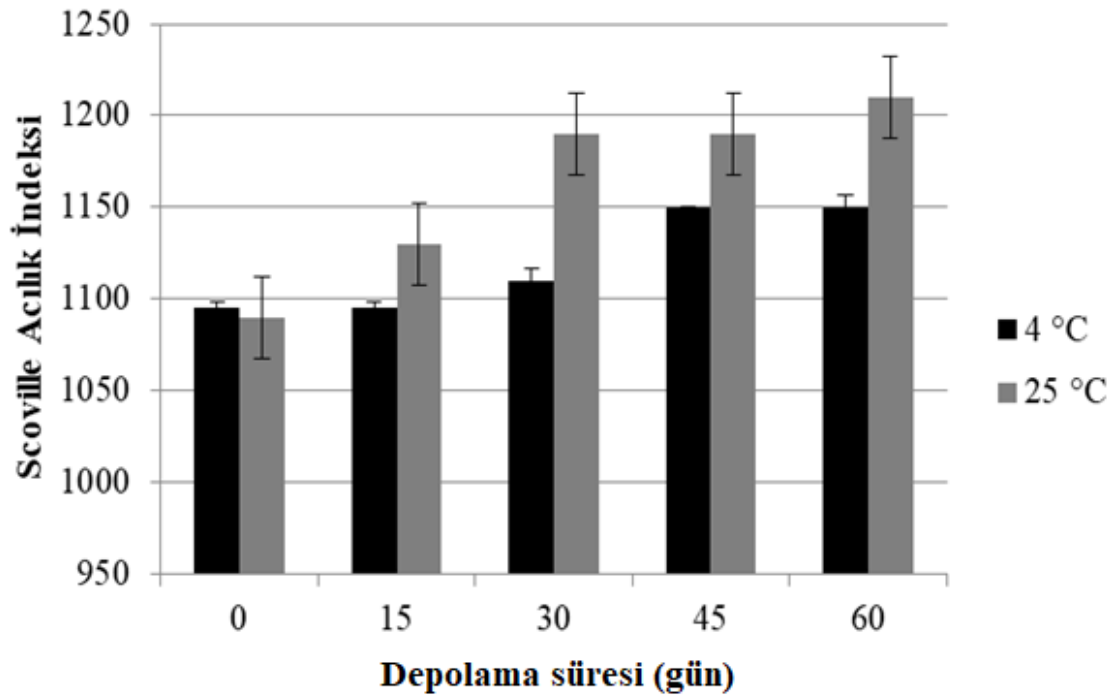
Farklı harfler (a, b, c, d) ortalamaların $p < 0.05$ düzeyinde farklı olduğunu gösterir.

AS; Ağızda salınım, MS; Midede salınım, BS; Bağırsakta salınım

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; ağızda salınım miktarlarının 4 °C’de depolanan örneklerde 25 °C’de depolanan örneklerle göre daha düşük olduğu, 25 °C’de depolanan örneklerde depolama süresinin artmasıyla birlikte ağızda salınım miktarının da arttığı görülmektedir. Aynı durum midede salınım değerleri için de geçerli olup, bağırsakta salınım değerleri beklendiği üzere depolama süresi boyunca sabit kalmıştır.

Kapsaisin mikrokapsüllerinin depolama süresi boyunca serbest kapsaisin miktarındaki artış ile doğru orantılı olarak ağızda salınım ve midede salınım miktarlarının da yükseldiği düşünülmüştür. Kaplama materyali olarak kullanılan palm yağının depolama periyodu boyunca yapışkanlığının artması ve çekirdek materyalini düşük bir hızla dışarı salmasından dolayı ağız ve midede salınım değerlerinin arttığı değerlendirilmiştir.

Depolama denemeleri boyunca her 15 günlük periyotta kapsaisin mikrokapsüllerine Scoville yakıcılık indeksi analizleri uygulanmış ve örneklerin verdikleri yakıcılık hissindeki değişiklikler belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre elde edilen ortalama değerler Şekil 4.31’de, bu değerlere ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.47’de ve önemli bulunan ana varyasyon kaynakları ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ise Çizelge 4.48’de verilmiştir.



Şekil 4.31. Örneklerin depolamaya bağlı Scoville yakıcılık indeksi sonuçları

Kapsaisin mikrokapsüllerinin depolama boyunca Scoville yakıcılık indeksi değerlerine bakıldığı zaman, örneklerin Scoville yakıcılık indeksi değerleri 1090 ile 1210 arasında değişiklik göstermiştir. Örneklerin Scoville yakıcılık indeksi ortalama değerlerine göre, 4 °C’de depolanan örneklerin Scoville yakıcılık indeksi değerlerindeki

artışın, 25 °C’de depolanan örneklerin Scoville yakıcılık indeksi değerlerindeki artışa göre daha yavaş olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.47. Örneklerin depolamaya bağlı Scoville yakıcılık indeksi değerlerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	Scoville Yakıcılık İndeksi	
		KO	F
Depolama Sıcaklığı	1	8820.00	441.00**
Depolama Süresi	4	5942.50	297.13**
Süre x Sıcaklık	4	832.50	41.63**
Hata	10		

(**) $p < 0.01$ farklılık ifade eder. VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, F: F değeri

Varyans analizi sonuçlarına göre, kapsaisin mikrokapsüllerinin depolama boyunca Scoville yakıcılık indeksi değerlerindeki değişim üzerine, depolama sıcaklığının ve depolama süresinin istatistiki açıdan önemli ($p < 0.01$) etkisi gözlenmiştir. Ayrıca süre x sıcaklık interaksiyonunun da Scoville yakıcılık indeksi üzerine önemli ($p < 0.01$) etkisi belirlenmiştir.

Çizelge 4.48. Örneklerin depolamaya bağlı Scoville yakıcılık indeksi değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Depolama Süresi (gün)	Scoville Yakıcılık İndeksi
0	1091.25 ^e ± 2.50
15	1116.25 ^d ± 22.13
30	1152.50 ^c ± 43.49
45	1171.25 ^b ± 24.62
60	1183.75 ^a ± 33.51
Depolama Sıcaklığı (°C)	
4	1122 ^b ± 27.71
25	1164 ^a ± 47.60

Farklı harfler (a, b, c, d) ortalamaların $p < 0.05$ düzeyinde farklı olduğunu gösterir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; Scoville yakıcılık indeksi değerlerinin 4 °C’de depolanan örneklerde 25 °C’de depolanan örneklere göre daha düşük olduğu, depolama süresinin artmasıyla birlikte Scoville yakıcılık indeksi değerlerinin de arttığı görülmektedir.

Püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilmiş kapsaisin mikrokapsüllerinde depolama boyunca oksidatif stabilitenin belirlenmesi amacıyla peroksit analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.49’da, bu sonuçlara ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.50’de ve önemli bulunan ana varyasyon kaynakları ortalamalarına ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları ise Çizelge 4.51’de verilmiştir.

Çizelge 4.49. Örneklerin depolamaya bağlı peroksit sonuçları

Depolama Sıcaklığı	Depolama Süresi (gün)	Peroksit Değeri (mEq)
4 °C	0	0.80 ± 0.02
	15	0.80 ± 0.03
	30	0.79 ± 0.04
	45	0.81 ± 0.03
	60	0.80 ± 0.02
25 °C	0	0.80 ± 0.03
	15	0.81 ± 0.02
	30	0.81 ± 0.03
	45	0.83 ± 0.02
	60	0.85 ± 0.01

Kapsaisin mikrokapsüllerinin peroksit değerlerinin 0.80 mEq ile 0.85 mEq arasında değiştiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.50. Örneklerin depolamaya bağlı peroksit değerlerine ait varyans analizi sonuçları

VK	SD	Peroksit Değeri (mEq)	
		KO	F
Depolama Sıcaklığı	1	0.009	15.21**
Depolama Süresi	4	0.0006	0.02*
Süre x Sıcaklık	4	0.0007	0.04*
Hata	10		

(*) $p < 0.05$ ve (**) $p < 0.01$ farklılık ifade eder. VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, F: F değeri

Varyans analizi sonuçlarına göre, kapsaisin mikrokapsüllerinin depolama boyunca peroksit değerlerindeki değişim üzerine, depolama sıcaklığının önemli ($p < 0.01$) etkisi

gözlenmiştir. Ayrıca depolama süresinin ve süre x sıcaklık interaksyonunun da peroksit değerleri üzerine önemli ($p<0.05$) etkisi belirlenmiştir.

Çizelge 4.51. Örneklerin depolamaya bağlı peroksit değerlerine ait Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçları

Depolama Süresi (gün)	Peroksit Değeri (mEq O ₂ /kg örnek)
0	0.80 ^c ± 0.01
15	0.81 ^{bc} ± 0.01
30	0.81 ^c ± 0.01
45	0.83 ^{ab} ± 0.01
60	0.83 ^a ± 0.03
Depolama Sıcaklığı (°C)	
4	0.81 ^b ± 0.01
25	0.83 ^a ± 0.02

Farklı harfler (a, b, c) ortalamaların $p<0.05$ düzeyinde farklı olduğunu gösterir.

Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi sonuçlarına göre; kapsaisin mikrokapsüllerinin peroksit değerlerinin 4 °C’de depolanan örneklerde 25 °C’de depolanan örneklere göre daha düşük olduğu, depolama süresinin artmasıyla birlikte peroksit değerlerinin de az miktarda arttığı görülmektedir.

Örneklerin depolama periyodu boyunca peroksit değerlerinin istatistiksel olarak önemli olmakla birlikte büyük farklılıklar göstermediği, düşük değerlerde seyrettiği görülmüştür. Bu durumun temel olarak, kaplama materyali olan palm yağının doymuş yağ oranının oldukça yüksek (~%65-85) olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Literatürde yapılan çalışmalarda, palm yağının kızartma işleminde 12 kez kullanılmasıyla bile peroksit değerinin ancak 5.42 mEq seviyelerine çıktığı rapor edilmiştir (Uslu 2014). Yapılan bir diğer çalışmada ise, başlangıç peroksit miktarının yüksek oluşuna bağlı olarak 5. kızartma işleminden sonra palm yağının 11.66 mEq peroksit içeriğine sahip olduğu, ancak bu değer in doymamış yağ içeriği yüksek olan ayçiçek yağına göre oldukça düşük kaldığı bildirilmiştir (Ramli vd. 2012).

4.5. Model Gıda Denemeleri

Optimum üretim koşullarında üretilen kapsaisin tozları model gıdalar içerisinde denenerek tüketici beğenisi ve mikrokapsüle kapsaisin tozlarının gıda sistemlerinde verdiği tepkiler ölçülmüştür. Model gıda olarak seçilen gıdalar farklı gıda sistemlerini temsil etmiş olup, bu bağlamda günlük tüketilen gıdalar olarak UHT süt, ayran ve salata sosu, ısıtılmış şekerli gıda olarak sade kek, ısıtılmış tuzlu gıda olarak ekmek ve yağlı emülsiyonu temsilen mayonez seçilmiştir. Tüketicilerden kapsaisin tozlarının metodolojide belirtilen şekilde katkılандığı model gıdaları beğeni ve acı yoğunluğu açısından değerlendirmeleri istenmiştir. Hazırlanan örneklerden 1 numaralı örnek kontrol örneği olarak sunulmuş ve içerisine herhangi bir katkı yapılmamıştır. 2 ve

3 numaralı örneklerde aynı oranda kapsaisin (0.00075 g/kg son ürün) bulunacak şekilde, 2 numaralı örneğe kapsaisin mikrokapsülü, 3 numaralı örneğe de saf kapsaisin ilave edilerek sunulmuştur. (Hesaplamalar 2 ve 3 numaralı örneklerde son üründe aynı oranda (0.75 mg/kg) kapsaisin bulunduracak şekilde yapılmıştır.) Model gıdalar 7 gün buzdolabı koşullarında (4 °C’de) depolamaya tabi tutulmuş ve depolamanın ilk 5 günü ile son günü (7.günü) duyusal analizleri gerçekleştirilmiştir.

Acı yoğunluğu 0 (Acının tespit edilmesi oldukça zor/Acı yok) ve 100 (İnanılmaz derecede yoğun acı) puanları arasında değerlendirilmiş olup, panelistlerin değerlendirmeleri sonucunda günlük tüketilen gıdalar, ayran, UHT süt ve salata sosu için elde edilen ortalama yoğunluk skorları Çizelge 4.52’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.52. Model gıdalardan ayran, UHT süt ve salata sosu örneklerine ait ortalama acı yoğunluğu skorları

Depolama süresi (gün)	Kontrol örneği*	Kapsaisin mikrokapsülü katkılı örnek*	Saf kapsaisin katkılı örnek*
Ayran			
0	0.00 ± 0.00	5.00 ± 0.50	100.00 ± 0.00
1	0.00 ± 0.00	5.00 ± 0.00	96.00 ± 2.00
2	0.00 ± 0.00	5.00 ± 0.00	96.00 ± 1.00
3	0.00 ± 0.00	6.00 ± 0.00	96.00 ± 1.00
4	0.00 ± 0.00	6.00 ± 0.00	99.00 ± 0.00
7	0.00 ± 0.00	6.00 ± 0.00	98.00 ± 2.00
UHT Süt			
0	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	99.00 ± 0.50
1	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	97.00 ± 2.00
2	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	98.00 ± 1.00
3	0.00 ± 0.00	4.00 ± 0.50	99.00 ± 1.00
4	0.00 ± 0.00	4.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00
7	0.00 ± 0.00	5.00 ± 0.40	97.00 ± 2.00
Salata Sosu			
0	0.00 ± 0.00	4.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00
1	0.00 ± 0.00	4.00 ± 0.50	100.00 ± 0.00
2	0.00 ± 0.00	5.00 ± 0.00	99.00 ± 0.50
3	0.00 ± 0.00	5.00 ± 0.50	98.00 ± 0.50
4	0.00 ± 0.00	5.00 ± 0.50	99.00 ± 1.00
7	0.00 ± 0.00	6.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00

* Tabloda gösterilen değerler 100’lük skalada alınan ortalama puanları gösterir.

Model gıda denemelerinde panelistlere tattırılan ayran örneklerinden 1 numaralı örnek içerisinde herhangi bir katkı bulunmadığı için beklenildiği üzere 7 gün depolama boyunca %0 acı yoğunluğu değerine sahip olmuştur. Kapsaisin mikrokapsülü katkılanan örneklerin (Örnek 2) depolamanın ilk günündeki acı yoğunluğu %5 olarak hissedilmiş, depolamanın ilerleyen günlerinde acı yoğunluğu artarak %6 değerine ulaşmıştır. Saf kapsaisin ilave edilmiş olan örneklerde (Örnek 3) acı yoğunluğu ilk depolama gününden itibaren %96'nın üzerinde belirlenmiştir.

Ayran örneklerine panelistlerin yapmış olduğu beğeni değerlendirmesinde 1 numaralı örnek (kontrol) 9 puan alırken, 2 numaralı örnek de (mikroenkapsüle kapsaisin tozu içeren örnek) ortalama olarak 9 puan almıştır. 3 numaralı saf kapsaisin katkılı olan örnek ise beğeni değerlendirmesinde ortalama olarak 3 puan almıştır. Genel beğeni değerlendirmesinde en çok beğenilen örnek 2 numaralı mikroenkapsüle kapsaisin katkılanan örnek olmuştur (Ek 5).

UHT süt örneklerinden 1 numaralı örnek ayran örneklerine benzer şekilde 7 gün depolama boyunca %0 acı yoğunluğu değerine sahip olmuştur. Mikroenkapsüle kapsaisin tozu katkılanan örnekler (Örnek 2) depolamanın ilk gününde yoğunluk skalasında %0 hissedilmiş, depolamanın ilerleyen günlerinde yakıcılık hissi bir miktar artarak %5 değerine ulaşmıştır. Saf kapsaisin tozu ilave edilmiş olan örneklerde (Örnek 3) acı yoğunluğu ilk depolama gününden itibaren %97'nin üzerinde belirlenmiştir. Süt örneklerinde mikroenkapsüle kapsaisin tozu katkılanan örneklerde yakıcılık hissinin neredeyse hiç hissedilmemesinin sebebinin insan dilinde bulunan TRPV1 (Transient Receptor Potential Vanilloid 1) reseptörü olduğu düşünülmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda kapsaisinın insan dilinde bağlandığı TRPV1 reseptörü ile aynı zamanda kazein de interaksiyona girmektedir (Por vd. 2013). Sütte bulunan kazeinin, mikroenkapsüle kapsaisin katkılı örneklerde bulunan kapsaisinden daha fazla olduğu düşünüldüğünde yakıcılık hissinin olduğundan az hissedilmesi beklenen bir sonuç olarak düşünülmüştür.

Süt örneklerine panelistlerin yapmış olduğu beğeni değerlendirmesinde 1 numaralı örnek (kontrol) 9 puan alırken, 2 numaralı örnek (mikroenkapsüle kapsaisin tozu içeren örnek) ortalama olarak 7 puan almıştır. 3 numaralı saf kapsaisin katkılı olan örnek ise beğeni değerlendirmesinde ortalama olarak 2 puan almıştır. Genel beğeni değerlendirmesinde en çok beğenilen örnek 1 numaralı kontrol örneği olmuştur (Ek 5).

Model gıda denemelerinde panelistlere tattırılan salata sosu örneklerinden 1 numaralı örnek yine beklendiği şekilde 7 gün depolama boyunca %0 acı yoğunluğu değerine sahip olmuştur. Mikroenkapsüle kapsaisin tozu katkılanan örnekler (Örnek 2) depolamanın ilk gününde yoğunluk skalasında ortalama olarak %4 hissedilmiş, depolamanın ilerleyen günlerinde yakıcılık hissi bir miktar artarak %6 değerine ulaşmıştır. Saf kapsaisin tozu ilave edilmiş olan örneklerde (Örnek 3) acı yoğunluğu ilk depolama gününden itibaren %98'in üzerinde belirlenmiştir.

Salata sosu örneklerine panelistlerin yapmış olduğu beğeni değerlendirmesinde 1 numaralı örnek (kontrol) 9 puan alırken, 2 numaralı örnek de (mikroenkapsüle kapsaisin tozu içeren örnek) ortalama olarak 9 puan almıştır. 3 numaralı saf kapsaisin katkılı olan örnek ise beğeni değerlendirmesinde ortalama olarak 4 puan almıştır. Genel beğeni

değerlendirmesinde en çok beğenilen örnek mikroenkapsüle kapsaisin katkılanan örnek olmuştur (Ek 5).

Panelistlerin değerlendirmeleri sonucunda ısıtılmış işlem görmüş şekerli gıdalardan sade kek, ısıtılmış işlem görmüş tuzlu gıdalardan ekmek ve yağlı emülsiyonu temsilen mayonez örnekleri için elde edilen ortalama yoğunluk skorları Çizelge 4.53'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.53. Model gıdalardan sade kek, ekmek ve mayonez örneklerine ait ortalama acı yoğunluğu skorları

Depolama Süresi (gün)	Kontrol örneği*	Kapsaisin mikrokapsülü katkılı örnek*	Saf kapsaisin katkılı örnek*
Sade Kek			
0	0.00 ± 0.00	28.00 ± 2.00	100.00 ± 0.00
1	0.00 ± 0.00	30.00 ± 3.00	99.00 ± 0.50
2	0.00 ± 0.00	33.00 ± 2.00	99.00 ± 0.50
3	0.00 ± 0.00	35.00 ± 2.00	100.00 ± 0.00
4	0.00 ± 0.00	35.00 ± 1.00	97.00 ± 2.00
7	0.00 ± 0.00	40.00 ± 5.00	98.00 ± 1.00
Ekmek			
0	0.00 ± 0.00	10.00 ± 2.00	97.00 ± 2.00
1	0.00 ± 0.00	10.00 ± 1.00	98.00 ± 1.00
2	0.00 ± 0.00	13.00 ± 2.00	99.00 ± 0.50
3	0.00 ± 0.00	15.00 ± 3.00	98.00 ± 0.50
4	0.00 ± 0.00	15.00 ± 1.00	99.00 ± 0.00
7	0.00 ± 0.00	18.00 ± 3.00	98.00 ± 2.00
Mayonez			
0	0.00 ± 0.00	3.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00
1	0.00 ± 0.00	3.00 ± 0.50	100.00 ± 0.00
2	0.00 ± 0.00	4.00 ± 0.50	99.00 ± 0.50
3	0.00 ± 0.00	5.00 ± 1.00	98.00 ± 1.00
4	0.00 ± 0.00	5.00 ± 1.00	99.00 ± 0.50
7	0.00 ± 0.00	5.00 ± 1.00	98.00 ± 2.00

* Tabloda gösterilen değerler 100'lük skalada alınan ortalama puanları gösterir.

Sade kek örneklerinden 1 numaralı örnek panelistlerden 7 gün depolama boyunca %0 acı yoğunluğu puanı almıştır. Mikroenkapsüle kapsaisin tozu katkılanan örnekler (Örnek 2) depolamanın ilk gününde yoğunluk skalasında ortalama olarak %28 hissedilmiş, depolamanın ilerleyen günlerinde yakıcılık hissi artarak %40 değerine ulaşmıştır. Saf kapsaisin tozu ilave edilmiş olan örneklerde (Örnek 3) acı yoğunluğu ilk

depolama gününden itibaren %97'nin üzerinde belirlenmiştir. Süt, ayran, salata sosu ve mayonez model gıdalarında herhangi bir ısıtma işlemi uygulanması olmadığı için mikrokapsüle kapsaisin tozları kapsülü koruyabilmiş, aynı oranda katkılanan saf kapsaisine göre oldukça düşük yoğunluk sonuçları vermiştir. Ancak kek örneklerinden mikrokapsüle kapsaisin tozu katkılanan örnekler diğer model gıdalara nazaran daha yüksek acı yoğunluğu sonuçları vermiştir. Bu durumun temel nedeninin kek pişirilmesi esnasında uygulanan ısıtma işlemi olduğu düşünülmektedir. Yağ bazlı kaplama materyaline sahip mikrokapsüller ısıtma işlemiyle açılma göstermiş ve bu nedenle acı yoğunluğu artmıştır. Literatür çalışmalarında kapsaisinin goblet hücreleri bulunan ve mukus zarıyla kaplı dokularda daha yoğun hissedilebileceği, sakkaroz çözeltisinin de insan dilinde bulunan goblet hücrelerini şişirdiği, belirginleştirdiği ve mukus salgısını arttırdığı rapor edilmiştir. Böylece şekerli gıdalarla veya şeker çözeltisi ile birlikte tüketilen yakıcı maddelerin daha yoğun bir şekilde yakıcılıklarının hissedileceği bildirilmiştir (Scoville 1912; Kostyra ve Barylko-Pikielna. 2010; Schneider vd. 2015). Bu nedenlerden dolayı, kek örneklerinde de diğer model gıdalara nazaran daha yüksek oranda şeker bulunmasının acının yoğunluğunu arttırmış olabileceği düşünülmüştür. Ancak ısıtma işlemi uygulamasına rağmen, mikrokapsüle kapsaisin tozu katkılı örnekler aynı miktarda saf kapsaisin katkılanmış olan örneklerle nazaran oldukça düşük acı yoğunluğuna sahip olmuştur.

Kek örneklerine panelistlerin yapmış olduğu beğeni değerlendirmesinde 1 numaralı örnek (kontrol) 9 puan alırken, 2 numaralı örnek (mikrokapsüle kapsaisin tozu içeren örnek) ortalama olarak 5 puan almıştır. 3 numaralı saf kapsaisin katkılı olan örnek ise beğeni değerlendirmesinde ortalama olarak 2 puan almıştır. Genel beğeni değerlendirmesinde en çok beğenilen örnek 1 numaralı kontrol örneği olmuştur (Ek 5).

Model gıda denemelerinde panelistlere tattırılan ekmek örneklerinden 1 numaralı örnek içerisinde herhangi bir katkı bulunmadığı için 7 gün depolama boyunca %0 acı yoğunluğu değerine sahip olmuştur. Mikrokapsüle kapsaisin tozu katkılanan örnekler (Örnek 2) depolamanın ilk gününde yoğunluk skalasında ortalama olarak %10 hissedilmiş, depolamanın ilerleyen günlerinde yakıcılık hissi artarak %18 değerine ulaşmıştır. Saf kapsaisin tozu ilave edilmiş olan örneklerde (Örnek 3) acı yoğunluğu ilk depolama gününden itibaren %97'nin üzerinde belirlenmiştir. Ekmek örneklerinde ısıtma işlemi uygulanması olmasına rağmen kapsaisin mikrokapsüllerinin stabilitesini koruduğu gözlenmiştir. Isıtma işlemi uygulanmayan model gıdalar ile ekmek örneklerinin acı yoğunluğu değerleri arasında çok büyük farklılıklar gözlenmemiştir. Ayrıca ısıtma işlemi gören bir diğer model gıda olan sade kek örneğine göre ekmek örneklerinde kapsaisin mikrokapsülleri daha az açılmış, yakıcılık daha az hissedilmiştir. Bunun en büyük nedeninin de yukarıda belirtildiği üzere şeker varlığı/yokluğu olduğu düşünülmektedir.

Ekmek örneklerine panelistlerin yapmış olduğu beğeni değerlendirmesinde 1 numaralı örnek (kontrol) 9 puan alırken, 2 numaralı örnek (mikrokapsüle kapsaisin tozu içeren örnek) ortalama olarak 8 puan almıştır. 3 numaralı saf kapsaisin katkılı olan örnek ise beğeni değerlendirmesinde ortalama olarak 3 puan almıştır. Genel beğeni değerlendirmesinde en çok beğenilen örnek 2 numaralı kapsaisin mikrokapsülü katkılanmış örnek olmuştur (Ek 5).

Model gıda denemelerinde panelistlere tattırılan mayonez örneklerinden 1 numaralı örnek içerisinde herhangi bir katkı bulunmadığı için beklenildiği üzere 7 gün

depolama boyunca %0 acı yoğunluğu değerine sahip olmuştur. Mikroenkapsüle kapsaisin tozu katkılanan örnekler (Örnek 2) depolamanın ilk gününde yoğunluk skalasında ortalama olarak %3 hissedilmiş, depolamanın ilerleyen günlerinde yakıcılık hissi bir miktar artarak %5 değerine ulaşmıştır. Saf kapsaisin tozu ilave edilmiş olan örneklerde (Örnek 3) acı yoğunluğu ilk depolama gününden itibaren %98'in üzerinde belirlenmiştir.

Mayonez örneklerine panelistlerin yapmış olduğu beğeni değerlendirmesinde 1 numaralı örnek (kontrol) 9 puan alırken, 2 numaralı örnek de (mikroenkapsüle kapsaisin tozu içeren örnek) ortalama olarak 9 puan almıştır. 3 numaralı saf kapsaisin katkılı olan örnek ise beğeni değerlendirmesinde ortalama olarak 5 puan almıştır. Genel beğeni değerlendirmesinde en çok beğenilen örnek 2 numaralı mikroenkapsüle kapsaisin katkılanan örnek olmuştur (Ek 5)

Depolama denemesinin model gıdalardaki kapsaisin salınımı (acı yoğunluğu) üzerinde nasıl bir etkisinin olduğunu belirleyebilmek amacıyla SPSS (Statistical Package for the Social Science) paket programı (Version 23.0, IBM Inc., New York, ABD) ile basit doğrusal regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tüm örnekler için Durbin-Watson istatistiği gerçekleştirilmiş, hata terimleri arasında korelasyon olup olmadığına bakılmıştır. Durbin-Watson değeri 0 ile 4 arasında yer alır. Eğer bu değer 2 civarında ise korelasyon olmadığı şeklinde yorumlanır ve istatistiki açıdan olumlu bir durumdur. 0'a yakın değerler yüksek pozitif korelasyonu, 4'e yakın değerler yüksek negatif korelasyonu belirtir.

UHT süt, ayran, salata sosu, sade kek, mayonez ve ekmek örneklerinin acı yoğunluğu değerlerine ait basit doğrusal regresyon analizi ve Durbin-Watson istatistiği sonuçları sırasıyla Çizelge 4.54, Çizelge 4.55, Çizelge 4.56, Çizelge 4.57, Çizelge 4.58 ve Çizelge 4.59'da, sunulmuştur.

Çizelge 4.54. UHT süt örneklerinin acı yoğunluğu değerlerine ait basit doğrusal regresyon analizi ve Durbin-Watson istatistiği sonuçları

VK	SD	UHT Süt				
		KO	F	R ²	Durbin-Watson	Pearson Korelasyonu
Depolama Süresi	1	24.01	19.93*	0.83	2.50	0.90**
Kalıntı	4	1.21				
Toplam	5					

(*) $p < 0.05$ ve (**) $p < 0.01$ farklılık ifade eder. VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, F: F değeri

Depolama denemeleri boyunca, UHT süt örneklerinden kapsaisin mikrokapsülü katkılanmış örneklerin kapsaisin salınım değerleri üzerine depolama süresinin istatistiki açıdan önemli ($p < 0.05$) etkisi bulgulanmıştır. R² değerleri 0.83 çıkan UHT süt örneklerinin, Durbin-Watson istatistik sonuçları 2.50 bulunmuştur. Ayrıca depolama süresi ile UHT süt örneklerinden kapsaisin salınım değerleri arasında pozitif yönlü %90 korelasyon sağlandığı görülmüştür. Bu değerlerden yola çıkılarak, UHT süt örneklerinden kapsaisin salınımı değerlerinin hata terimleri arasında korelasyon

bulunmadığı, depolama süresindeki artış ile birlikte kapsaisin salınımının arttığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.55. Ayran örneklerinin acı yoğunluğu değerlerine ait basit doğrusal regresyon analizi ve Durbin-Watson istatistiği sonuçları

VK	SD	Ayran				
		KO	F	R ²	Durbin-Watson	Pearson Korelasyonu
Depolama Süresi	1	1.16	13.50*	0.77	2.38	0.85**
Kalıntı	4	0.09				
Toplam	5					

(*) $p < 0.05$ ve (**) $p < 0.01$ farklılık ifade eder. VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, F: F değeri

Depolama denemeleri boyunca, ayran örneklerinden kapsaisin mikrokapsülü katkılanmış örneklerin kapsaisin salınım değerleri üzerine depolama süresinin istatistiki açıdan önemli ($p < 0.05$) etkisi bulgulanmıştır. R² değerleri 0.77 çıkan ayran örneklerinin, Durbin-Watson istatistik sonuçları 2.38 bulunmuştur. Ayrıca depolama süresi ile ayran örneklerinden kapsaisin salınım değerleri arasında pozitif yönlü %85 korelasyon sağlandığı görülmüştür. Bu değerlerden yola çıkılarak, ayran örneklerinden kapsaisin salınımı değerlerinin hata terimleri arasında korelasyon bulunmadığı, depolama süresindeki artış ile birlikte kapsaisin salınımının arttığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.56. Salata sosu örneklerinin acı yoğunluğu değerlerine ait basit doğrusal regresyon analizi ve Durbin-Watson istatistiği sonuçları

VK	SD	Salata Sosu				
		KO	F	R ²	Durbin-Watson	Pearson Korelasyonu
Depolama Süresi	1	2.41	23.05**	0.85	2.80	0.90**
Kalıntı	4	0.11				
Toplam	5					

(*) $p < 0.05$ ve (**) $p < 0.01$ farklılık ifade eder. VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, F: F değeri

Depolama denemeleri boyunca, salata sosu örneklerinden kapsaisin mikrokapsülü katkılanmış örneklerin kapsaisin salınım değerleri üzerine depolama süresinin istatistiki açıdan önemli ($p < 0.01$) etkisi bulgulanmıştır. R² değerleri 0.85 çıkan salata sosu örneklerinin, Durbin-Watson istatistik sonuçları 2.80 bulunmuştur. Ayrıca depolama süresi ile salata sosu örneklerinden kapsaisin salınım değerleri arasında pozitif yönlü %90 korelasyon sağlandığı görülmüştür. Bu değerlerden yola çıkılarak, salata sosu örneklerinden kapsaisin salınımı değerlerinin hata terimleri arasında korelasyon bulunmadığı, depolama süresindeki artış ile birlikte kapsaisin salınımının arttığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.57. Sade kek örneklerinin acı yoğunluğu değerlerine ait basit doğrusal regresyon analizi ve Durbin-Watson istatistiği sonuçları

VK	SD	Sade Kek				
		KO	F	R ²	Durbin-Watson	Pearson Korelasyonu
Depolama Süresi	1	84.70	70.58**	0.95	2.70	0.95**
Kalıntı	4	1.20				
Toplam	5					

(*) $p < 0.05$ ve (**) $p < 0.01$ farklılık ifade eder. VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, F: F değeri

Depolama denemeleri boyunca, sade kek örneklerinden kapsaisin mikrokapsülü katkılanmış örneklerin kapsaisin salınım değerleri üzerine depolama süresinin istatistiki açıdan önemli ($p < 0.01$) etkisi bulgulanmıştır. R² değerleri 0.95 çıkan sade kek örneklerinin, Durbin-Watson istatistik sonuçları 2.70 bulunmuştur. Ayrıca depolama süresi ile sade kek örneklerinden kapsaisin salınım değerleri arasında pozitif yönlü %95 korelasyon sağlandığı görülmüştür. Bu değerlerden yola çıkılarak, sade kek örneklerinden kapsaisin salınımı değerlerinin hata terimleri arasında korelasyon bulunmadığı, depolama süresindeki artış ile birlikte kapsaisin salınımının arttığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.58. Mayonez örneklerinin acı yoğunluğu değerlerine ait basit doğrusal regresyon analizi ve Durbin-Watson istatistiği sonuçları

VK	SD	Mayonez				
		KO	F	R ²	Durbin-Watson	Pearson Korelasyonu
Depolama Süresi	1	4.13	23.43**	0.85	2.20	0.90**
Kalıntı	4	0.18				
Toplam	5					

(*) $p < 0.05$ ve (**) $p < 0.01$ farklılık ifade eder. VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, F: F değeri

Depolama denemeleri boyunca, mayonez örneklerinden kapsaisin mikrokapsülü katkılanmış örneklerin kapsaisin salınım değerleri üzerine depolama süresinin istatistiki açıdan önemli ($p < 0.01$) etkisi bulgulanmıştır. R² değerleri 0.85 çıkan mayonez örneklerinin, Durbin-Watson istatistik sonuçları 2.20 bulunmuştur. Ayrıca depolama süresi ile mayonez örneklerinden kapsaisin salınım değerleri arasında pozitif yönlü %90 korelasyon sağlandığı görülmüştür. Bu değerlerden yola çıkılarak, mayonez örneklerinden kapsaisin salınımı değerlerinin hata terimleri arasında korelasyon bulunmadığı, depolama süresindeki artış ile birlikte kapsaisin salınımının arttığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.59. Ekmek örneklerinin acı yoğunluğu değerlerine ait basit doğrusal regresyon analizi ve Durbin-Watson istatistiği sonuçları

VK	SD	Ekmek				
		KO	F	R ²	Durbin-Watson	Pearson Korelasyonu
Depolama Süresi	1	3.41	21.09**	0.88	2.22	0.87**
Kalıntı	4	0.01				
Toplam	5					

(*) $p < 0.05$ ve (**) $p < 0.01$ farklılık ifade eder. VK: Varyasyon kaynağı, SD: Serbestlik derecesi, KO: Kareler ortalaması, F: F değeri

Depolama denemeleri boyunca, ekmek örneklerinden kapsaisin mikrokapsülü katkılanmış örneklerin kapsaisin salınım değerleri üzerine depolama süresinin istatistiki açıdan önemli ($p < 0.01$) etkisi bulgulanmıştır. R^2 değerleri 0.88 çıkan ekmek örneklerinin, Durbin-Watson istatistik sonuçları 2.22 bulunmuştur. Ayrıca depolama süresi ile ekmek örneklerinden kapsaisin salınım değerleri arasında pozitif yönlü %87 korelasyon sağlandığı görülmüştür. Bu değerlerden yola çıkılarak, ekmek örneklerinden kapsaisin salınımı değerlerinin hata terimleri arasında korelasyon bulunmadığı, depolama süresindeki artış ile birlikte kapsaisin salınımının arttığı sonucuna varılmıştır.

Literatürde konu ile ilgili yapılmış çalışmalardan birinde, saf kapsaisin katkılanmış 6 farklı model gıdanın acı yoğunluğu değerleri belirlenmiş olup, katkılama işlemi saf kapsaisinin farklı konsantrasyonlarında (0, 5, 10, 15 ve 20 mg/kg) gerçekleştirilmiştir. Mevcut çalışmadaki sonuçlara benzer şekilde, şeker çözeltisi model gıdasında 10'luk skalada en yüksek acı yoğunluğu değeri belirlenmiş olup, analiz 5 mg/kg'lık kapsaisin konsantrasyonundan sonra bırakılmıştır. Tuzlu ve tatlı süt kreması model gıdalarından ise tatlı kremada hissedilen acı yoğunluğunun tuzlu kremada hissedilenden daha yüksek olduğu, ancak kazein misellerinin TRPV1 reseptörü ile interaksiyonundan kaynaklı olarak kapsaisinin 10 ve 15 mg/kg'lık konsantrasyonlarına kadar çıkılabildiği rapor edilmiştir (Schneider vd. 2015).

Model gıdalara kapsaisin katkılanarak acı yoğunluğunun belirlendiği bir diğer çalışmada ise, saf kapsaisin düşük (0.50 mg/kg), orta (25 mg/kg) ve yüksek (125 mg/kg) yoğunlukta olmak üzere 3 farklı konsantrasyonda domates çorbası, un çorbası ve domates sosu içerisine ilave edilmiştir. Çalışma sonunda, kapsaisin katkılamasından sonra ısıtıl işlem uygulaması gören domates çorbası ve un çorbası model gıdalarında hissedilen acı yoğunluğunun, ısıtıl işlem görmemiş domates sosu model gıdasından daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (Kostyra ve Barylko-Pikielna 2010).

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, insan sağlığı üzerine pek çok faydası bulunan, acı biberin temel yakıcılık bileşeni kapsaisinin püskürterek soğutma yöntemi ile mikroenkapsülasyonu üzerine çalışılmıştır. Bu çalışmayı gerçekleştirmek için yola çıkılan temel fikir, ağız, mide ve/veya yemek borusu rahatsızlıklarından veya acıya hassas oluşlarından dolayı kapsaisini tüketemeyen kişilerin kapsaisinin sağlık üzerine olan faydalarından mahrum kalmamalarını sağlamak olmuştur. Bu bağlamda, püskürterek soğutma yöntemi sayesinde yağ bazlı bir kaplama materyali (palm yağı) ile kapsaisinin mikroenkapsülasyonu ve elde edilen mikrokapsüllerin palm yağı ile kaplanmasıyla ağızda ve midede yanma hissini minimize etmesi amaç edinilmiştir.

Püskürterek soğutma yöntemi ile kapsaisin mikrokapsülleri üretimi gerçekleştirdiğimiz bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Kapsaisin mikrokapsülleri üretmek amacıyla hazırlanan emülsiyonların santrifüj ve kinetik stabiliteleri literatürdeki çalışmalar ile uyumlu bulunmuştur. Santrifüj ve kinetik stabilize değerlerinin işlem parametrelerinden etkilenmediği belirlenmiştir. Tüm emülsiyonların yüksek santrifüj stabilitesine ve kinetik stabiliteye sahip olduğu belirlenmiştir.
- Emülsiyonların yoğunluk değerleri işlem parametrelerinden etkilenmemiş, farklı işlem koşullarında hazırlanan tüm emülsiyonların emülsiyon yoğunluklarının 900 kg/m^3 ile 930 kg/m^3 arasında değiştiği gözlenmiştir.
- Kapsaisin içeren emülsiyonlara uygulanan viskozite analizi sonuçlarına göre, emülsiyonların kıvam katsayıları 0.17 Pa.s ile 4.22 Pa.s arasında değişiklik göstermiş olup, literatür bilgilerine kıyasla tüm emülsiyonlar düşük/paralel kıvam katsayısı vermiştir.
- Optimizasyon çalışmasında kapsaisin mikrokapsüllerinin statik gastrointestinal model sistemde ağızda ve midede salınımını minimize, mikroenkapsülasyon etkinliğini maksimize eden püskürterek soğutma işlem koşulları 14550 d/dk homojenizasyon hızı, %1 ayçiçek yağı oranı, $12.93 \text{ }^\circ\text{C}$ giriş sıcaklığı ve %0.27 kapsaisin oranı olarak belirlenmiştir.
- Optimum nokta doğrulama denemeleri sonucunda elde edilen kapsaisin mikropartiküllerinin analiz sonuçlarına göre tüm yanıtlar modelden tahminlenen değerlere oldukça yakın bulunmuştur. Optimum işlem koşullarında kapsaisin mikrokapsüllerinin ağız ortamında 2.83 mg/kg ve mide ortamında 15.14 mg/kg salındığı gözlenmiştir. Kapsaisin mikrokapsüllerinin mikroenkapsülasyon etkinlik değeri 98.15 ± 1.15 olarak hesaplanmıştır.
- CCRD deneme desenine göre üretilen kapsaisin mikrokapsüllerinin nem değerleri %5.27 ile %5.73 değerleri arasında değişiklik göstermiştir. Kapsaisin mikrokapsüllerinin nem değerlerinin işlem parametrelerinden etkilenmediği belirlenmiştir. Örneklerin su aktivitesi değerleri de farklı işlem koşullarından

etkilenmemiş, su aktivitesinin 0.3843 ile 0.3888 değerleri arasında değiştiği belirlenmiştir

- Kapsaisin mikrokapsüllerine uygulanan yığın yoğunluğu analizi sonuçlarına göre, örneklerin yığın yoğunluğu değerlerinin 206.9 kg/m^3 ile 255.6 kg/m^3 arasında, sıkıştırılmış yoğunluk değerlerinin ise 344.3 kg/m^3 ile 523.9 kg/m^3 arasında değiştiği belirlenmiştir. Kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül yoğunluk değerleri 271.8 kg/m^3 ile 344.7 kg/m^3 arasında değişiklik göstermiş ve üretim parametrelerinden etkilenmemiştir.
- Püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilen kapsaisin mikrokapsüllerinin akabilirlik sonuçları 43.98 ile 51.90 arasında değişmiş olup, literatür bilgileri ışığında kapsaisin mikrokapsüllerinin kötü/çok kötü akabilirlik özelliği gösterdiği belirlenmiştir.
- Kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül morfolojilerini gösteren SEM görüntülerine göre, püskürterek soğutma yönteminin bir avantajı olarak tüm örneklerin düzgün küresel şekilli olduğu belirlenmiştir. Örneklerin morfolojik yapıları üzerinde giriş sıcaklığının önemli etkisi olduğu görülmüş, düşük sıcaklıkta üretilen örneklerin daha düzgün küresel şekle ve daha homojen bir dağılıma sahip olduğu belirlenmiştir.
- Kapsaisin mikrokapsüllerinin partikül boyut dağılımı (LLD) analizi sonuçlarına göre, literatürde yer alan farklı mikroenkapsülasyon tekniklerine göre mevcut çalışmada oldukça büyük çaplı partiküller elde edildiği, bu durumun palm yağına yapışkanimsı özelliğinden dolayı örneklerin topaklanmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.
- Toplam ve serbest kapsaisin analizi sonuçlarına göre, tüm örneklerde toplam kapsaisin miktarının ortalama olarak %0.24 kayıpla geri kazanılabildiği, serbest kapsaisin miktarlarının ise sıcaklıkla ve emülsiyonda kullanılan kapsaisin miktarı ile doğrudan ilişkili olarak değişik miktarlarda hesaplandığı görülmüştür. Toplam kapsaisin miktarı üzerindeki etkili değişkenin emülsiyondaki kapsaisin oranı olduğu bulgulanmıştır. Ayrıca toplam kapsaisin miktarı üzerinde giriş sıcaklığının ve emülsiyondaki kapsaisin oranının karesinin de istatistiki açıdan önemli etkisi kaydedilmiştir. Kapsaisin mikrokapsüllerinin serbest kapsaisin değerleri üzerine en etkili işlem değişkenlerinin, püskürterek soğutma giriş sıcaklığı ve emülsiyondaki kapsaisin oranı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca serbest kapsaisin miktarının giriş sıcaklığının karesinden de istatistiki açıdan önemli şekilde etkilendiği tespit edilmiştir.
- Kapsaisin mikrokapsüllerinin DSC analizi sonuçlarına göre, kapsaisin mikrokapsüllerinin erime sıcaklıklarının $46.32 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $51.43 \text{ }^{\circ}\text{C}$, erime entalpilerinin ise 75.95 J/g ile 98.88 J/g arasında değiştiği belirlenmiştir. Her iki termal erime özelliği üzerine ayçiçek yağı oranı ve giriş sıcaklığı interaksiyonunun istatistiki açıdan önemli etki gösterdiği belirlenmiştir.

- Scoville yakıcılık indeksi analizlerinin sonuçlarına göre, püskürterek soğutma yöntemi ile kapsülleme sonucunda saf kapsaisinin Scoville yakıcılık indeksi değerinin yaklaşık olarak 4500 kat azaltılabileceği belirlenmiştir.
- Depolama denemelerinden elde edilen analiz bulgularına göre, kapsaisin mikrokapsüllerinin depolama boyunca (2 ay) oldukça stabil kaldığı, depolama sıcaklığındaki artıştan büyük oranda etkilenmediği belirlenmiştir. Depolama boyunca gözlemlerimize göre 25 °C’de depolandığı takdirde vakum paketleme tekniği ile ambalajlanması gerektiği önerilmektedir.
- Kapsaisin mikrokapsüllerinin model gıdalara verdiği tepkiler ısı işlem görmüş ve görmemiş gıdalar arasında değişiklik göstermiştir. Mikrokapsüller ısı işlem görmüş gıdalarda daha yüksek acı yoğunluğuna sebebiyet verirken, ısı işlem uygulanmamış gıdalarda daha düşük acı yoğunlukları belirlenmiştir. Isı işlem görmüş gıdalarda dahi saf kapsaisin katkılanmış örneklerin verdiği acı yoğunluğuna göre kapsaisin mikrokapsülü katkılanmış örneklerin yaklaşık %80 oranında daha az acı yoğunluğu verdiği belirlenmiştir.
- Model gıda denemelerinde, ayran, salata sosu, ekmek ve mayonez örneklerinde kontrol grubuna göre kapsaisin mikrokapsülü katkılanmış örneklerin daha çok beğeni puanı aldığı belirlenmiştir.
- Tez çalışması sonucunda, kapsaisinin püskürterek soğutma yöntemi sayesinde başarı ile kapsüllenebileceği ve yakıcılık hissinin baskılanabileceği görülmüştür. Bu sebeple, sağlık problemlerinden veya hassasiyetinden ötürü kapsaisini tüketemeyen tüketiciler için çalışmadan elde edilen kapsaisin mikrokapsüllerinin alternatif bir gıda katkı maddesi olabileceği öngörülmüştür.
- Püskürterek soğutma yöntemi ile elde edilen kapsaisin mikrokapsüllerinin uygun ambalajlama yöntemi ile ambalajlandığı takdirde oda sıcaklığında dahi stabilitesini koruyan ve yüksek sıkıştırılmış yoğunluk değeri sebebiyle küçük ambalaj materyallerinde veya vakumla paketlenerek taşıma kolaylığı sağlayan bir gıda katkı maddesi olabileceği değerlendirilmiştir.
- Kapsaisinin püskürterek soğutma yöntemi ile kapsüllemesi ile özellikle soğuk olarak tüketilen (salata sosları, ketçap, mayonez, yoğurt, peynir vb.) pek çok gıdaya bileşen olarak katılmasının mümkün hale geleceği değerlendirilmiştir.
- Püskürterek soğutma yöntemi sayesinde ağızda ve midede salınımı minimize edilen kapsaisinin ağızda, yemek borusunda ve midede oluşturabileceği tahrişlerin önleneceği ve obezite prevalansını azalttığı bildirilen kapsaisinin diyet gıda ürünlerinde kullanım potansiyeli oluşturacağı öngörülmüştür.
- Kapsaisinin püskürterek soğutma yöntemi ile mikroenkapsülasyonunda tez çalışması boyunca karşılaşılan en büyük sıkıntılardan biri yakıcılık hissi baskılansa dahi elde edilen tozların vücut ile teması halinde tahrişlere neden olmasıdır. Bu nedenle gelecek çalışmalarda serbest kapsaisin miktarının en aza indirilmesi temel amaç olmalıdır.

- Devam eden çalışmalarda, kapsaisin mikroenkapsülasyonunda önce püskürterek kurutma ve/veya dondurarak kurutma yöntemleri ile ilk kapsüllemeyi gerçekleştirip, püskürterek soğutma ile ikinci veya üçüncü kapsülleme işlemini gerçekleştirmek, kapsaisinin yakıcılık hissini daha da çok baskılayacak, serbest kapsaisin miktarını en aza indirerek elde edilen toz ürünlerin tahrişlere sebebiyet vermesini engelleyecektir.



6. KAYNAKLAR

- Açu, M., Yerlikaya, O. ve Kınık Ö. 2014. Mikroenkapsülasyon ve süt teknolojisindeki yeri. *Akademik Gıda*, 12(1): 97-107.
- Akbaş, E. 2016. Kapsaisin yüklü nanoemulsiyonların tasarlanması ve karakterizasyonu. Yüksek lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Doğal ve Uygulamalı Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 197 s.
- Akgül, A. 1993. Baharat Bilimi ve Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Ankara, 451 s.
- Aktümsek, A. 2001. Anatomi ve Fizyoloji. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 464 s.
- Al Othman, Z.A., Ahmed, Y.B.H., Habila, M.A. and Ghafar, A.A. 2011. Determination of capsaicin and dihydrocapsaicin in capsicum fruit samples using High Performance Liquid Chromatography. *Molecules*, 16: 8919-8929.
- Alvim, I.D., de Souza, F. Koury, I.P., Jurt, T. and Dantas, F.B.H. 2013. Use of the spray chilling method to deliver hydrophobic components: physical characterization of microparticles. *Clénc Tecnol Aliment Campinas*, 33(1): 34-39.
- Alvim, I.D., Stein, M.A., Koury, I.P., Balardin, F., Dantas, H. and Cruz, C.V. 2016. Comparison between the spray drying and spray chilling microparticles contain ascorbic acid in a baked product application. *LWT-Food Sci Technol*, 65: 689-694.
- Anandakumar, P., Kamaraj, S., Jagan, S., Ramakrishnan, G., Asokkumar, S., Naveenkumar, C., Raghunandhakumar, S. and Devaki, T. 2012. Capsaicin inhibits benzo(a)pyrene-induced lung carcinogenesis in an *in vivo* mouse model. *Inflamm Res*, 61: 1169-1175.
- Anonim 1: <https://www.bbc.com/turkce/vert-fut-37753070> (Son erişim tarihi: 31.10.2018)
- Anonim 2: <https://www.msxlab.org/forum/genel-mesajlar/205430-biber-aci-midir.html> (Son erişim tarihi: 31.10.2018)
- Anonim 3: <https://plantstomata.wordpress.com/2016/09/24/stomata-in-capsicum-and-solanum-dicots/> (Son erişim tarihi: 25.07.2018)
- Anonim 4: <http://www.tohumcu.org/index.php?page=teknikbilgi1DetayT&pid=50> (Son erişim tarihi: 11.06.2018)
- Anonim 5: <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/3438?manu=&fgcd>. (Son erişim tarihi: 09.05.2018)
- Anonim 6: <http://www.kanserdeerkenteshis.com> (Son erişim tarihi: 29.07.2018)
- Anonim 7: <http://www.sindirim.gen.tr/fiziksel-ve-kimyasal-sindirim.html> (Son erişim tarihi: 28.07.2018)
- Anonim 8: https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0nsan_sindirim_sistemi (Son erişim tarihi: 27.07.2018)
- Anonim 9: <https://www.dersimiz.com/resimler/bak.php?q=sindirim-sistemi> (Son erişim tarihi: 28.07.2018)

- Anonim 10: <https://www.astm.org/Standards/E1083.htm> (Son erişim tarihi: 26.09.2018)
- Anonim 11: Opinion of the Scientific Committee on Food on Capsaicin, European Commission Health & Consumer Protection Directorate-General, <https://www.semanticscholar.org/> (Son erişim tarihi: 26.09.2018)
- Appelqvist, I.A.M., Golding, M., Vreeker, R. and Zuidam, N.J. 2007. Emulsions as delivery systems in foods. In: Lakkis, J.M. (Ed.), Encapsulation and Controlled Release Technologies in Food Systems, Blackwell Publishing, pp. 41–81.
- Arslan Tontul, S. 2017. Probiyotik mikroorganizmaların püskürterek dondurma ve kurutma teknikleriyle mikroenkapsüle edilerek probiyotik kek üretiminde kullanım imkanlarının araştırılması. Doktora tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 129 s.
- Artık, N., Kadakal, Ç ve Yemiş, O. 2001. Biberlerin capsaisin profilinin HPLC ile belirlenmesi üzerine araştırma. GAP II. Tarım Kongresi, 24-26 Ekim, Şanlıurfa.
- Asnin, L. and Park, S.W. 2013. Isolation and analysis of bioactive compounds in Capsicum peppers. *Crit Rev Food Sci*, 8398: 37–41.
- Aybak, H.Ç. 2007. Biber Yetiştiriciliği. Hasad Yayıncılık, 160 s.
- Baldwin, E.A., Nisperos, M.O., Hagenmaier, R.D., and Baker, R.A. 1997. Use of lipid in coatings for food product. *Food Technol*, 54(6): 56-64.
- Bansode, S.S., Banarjee, S.K., Gaikwad, D.D., Jadhav, S.L. and Thorat, R.M. 2010. Microencapsulation: a review. *Int J Pharm Sci Rev Res*, 1(2): 38-43.
- Barbosa-Canovas, G.V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P. and Yan, H. 2005. Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 372 p.
- Bartholomew, L.G. and Carlson, H.C. 1994. An unusual case of gastroenteritis. *Mayo Clin Proc*, 69: 675-676.
- Başaran, A. 2010. Tıbbi Biyoloji Ders Kitabı. Pelikan Yayıncılık, Ankara, 622 s.
- Başünel, H. 2016. Dilimlenerek dondurulan kırmızıbiberin bazı fiziksel ve kimyasal kalite özellikleri üzerin ön işlem olarak uygulanan ozmotik kurutmanın etkisi. Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 80 s.
- Bering, S., Bukhave, K., Henriksen, M., Sandstrom, B., Pariagh, S., Fairweather-Tait, S. J. and Lund, E.K. 2006. Development of a three-tier in vitro system, using Caco-2 cells, to assess the effects of lactate on iron uptake and transport from rye bread following in vitro digestion. *J Sci Food Agr*, 86: 2438-2444.
- Bhandari, B.R., D'Arcy, B.R. and Padukka, I. 1999. Encapsulation of lemon oil by paste method using β -cyclodextrin: Encapsulation efficiency and profile of oil volatiles. *J Agr Food Chem*, 47: 5194-5197.
- Bhat, B.G., Srinivasan, M.R. and Chandrasekhara, N. 1984. Influence of curcumin and capsaicin on the composition and secretion of bile in rats. *J Food Sci Technol*, 21: 225-227.

- Bosland, P.W. 1994. Chiles: History, cultivation and uses. In: Charalambous, G. (Ed.), *Spices, Herbs and Edible Fungi (Herbs)*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 347-336.
- Botrel, D.A., Borges, S.V., Fernandes, R.V., Viana, A.D., Costa J.M. and Marques, G.R. 2011. Evaluation of spray drying conditions on properties of microencapsulated oregano essential oil. *Int J Food Sci Technol*, 47: 2289-2296.
- Bourne, N., Bernstein, D.I. and Stanberry, L.R. 1999. Civamide (cis-capsaicin) for treatment of primary or recurrent experimental genital herpes. *Antimicrob Agents Ch*, 43(11): 2685-2688.
- Box, G.E. and Wilson, K.B. 1951. On the experimental attainment of optimum conditions. *J R Stat Soc B Met*, 13(1): 1-45.
- Box, G.E., Hunter, J.S. and Hunter, W.G. 2005. *Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery*, John Wiley and Sons, New Jersey, 633 p.
- Bozokalfa, M.K., Eşiyok, D. and Turhan, K. 2009. Patterns of phenotypic variation in a germplasm collection of pepper (*Capsicum annuum* L.) from Turkey. *Span J Agric Res*, 7 (1): 83-95.
- Brake, N.C. and Fennema, O.R. 1993. Edible coatings to inhibit lipid migration in confectionary product. *J Food Sci*, 58(6): 1422-1425.
- Bruns, R.E., Scarminio, I.S. and de Barros Neto, B. 2006. *Statistical Design-Chemometrics*, Elsevier B.V., Amsterdam, 422 p.
- Bublin, M., Radauer, C., Knulst, A., Wagner, S., Scheiner, O., Mackie, A.R., Millis, E.N. and Breiteneder, H. 2008. Effects of gastrointestinal digestion and heating on the allergenicity of the kiwi allergens Act d 1, actinidin, and Act d2, a thaumatin-like protein. *Mol Nutr Food Res*, 52: 1130-1139
- Buckton, G. and Darcy, P. 1995. The influence of additives on the recrystallisation of amorphous spray dried lactose. *Int J Pharma*, 121: 81-87.
- Buiatti, E. et al. 1989. A case-control study of gastric cancer and diet in Italy. *Int J Cancer*, 44: 611-616.
- Carr, R.L. 1965. Evaluating flow properties of solids. *Chem Engineer*, 72: 163-168.
- Castillo, E.D. 2007. *Process Optimization, a Statistical Approach*. Springer Science Business Media LLC, New York, 462 p.
- Caterina, M.J., Schumacher, M.A., Tominaga, M., Rosen, T.A., Levine, J.D. and Julius, D. 1997. The capsaicin receptor: a heat-activated ion channel in the pain pathway. *Int J Sci Nat*, 389: 816-824.
- Cazana, F.J.D., Puyol, M.R., Caballero, J.P., Jimenez, A.J. and Duarte, A.M. 1990. Effect of dietary hyperlipidemia-hypercholesterolemia on rat erythrocytes. *Int J Vitam Nutr Res*, 60: 393-397.
- Chambi, H.N.M., Alvim, I.D., Barrera-Arellano, D. and Grosso, C.R.F. 2008. Solid lipid microparticles containing water-soluble compounds of different molecular mass: Production, characterisation and release profiles. *Food Res Int*, 41(3): 229-236.

- Champagne, C.P. and Fustier, P. 2007. Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. *Curr Opin Biotech*, 18: 184-190.
- Chang, C. and Nickerson, M.T. 2018. Stability and in vitro release behavior of encapsulated omega fatty acid-rich oils in lentil protein isolate-based microcapsules. *Int J Food Sci Nutr*, 69 (1): 12-23.
- Chattertona, D.E.W., Rasmussen Heegaard, C.W., Sorensenb, E.S. and Petersenb, T.E. 2004. In vitro digestion of novel milk protein ingredients for use in infant formulas: Research on biological functions. *Trends Food Sci Tech*, 15: 373-383.
- Chen, J., Gaikwad, V., Holmes, M., Murray, B., Povey, M., Wang, Y. and Zhang, Y. 2011. Development of a simple model device for in vitro gastric digestion investigation. *Food Funct*, 2: 174-182.
- Chung, C., Sanguansri, L. and Augustin, M.A. 2011. In vitro lipolysis of fish oil microcapsules containing protein and resistant starch. *Food Chem*, 124: 1480-1489.
- Cichewicz, R.H. and Thorpe, P.A. 1996. The antimicrobial properties of chile peppers (*Capsicum species*) and their uses in Mayan medicine. *J Ethnopharmacol*, 52: 61-70.
- Consoli, L., Grimaldi, R., Sartori, T., Menegalli, F.C. and Hubinger, M.D. 2016. Gallic acid microparticles produced by spray chilling technique: Production and characterization. *LWT-Food Sci Technol*, 65: 79-87.
- Çomak Göçer, E.M., Ergin F. ve Küçükçetin A. 2016. Sindirim sistemi modellerinde probiyotik mikroorganizmaların canlılığı. *Akademik Gıda*, 14(2): 158-165.
- Çomak-Göçer, E.M. 2016. Farklı süt ürünleri üretiminde kullanılan *Lactobacillus acidophilus*'un dinamik *in vitro* gastrointestinal modelde canlılığı ve bazı probiyotik özelliklerinin belirlenmesi. Doktora tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 161 s.
- Contreras-Padilla, M.C. and Yahia, E.M. 1998. Changes in capsaicinoids during development, maturation and senescence of chili peppers and relation with peroxidase activity. *J Agr Food Chem*, 46: 2075-2079.
- Dasgupta, P. and Fowler, C.J. 1997. Chillies: From antiquity to urology *Br J Urol*, 80: 845-852.
- Deal, C.L. 1991. Effect of topical capsaicin: A double blind trial. *Clin Therap*, 13: 383-395.
- de Séze, M., Wiart, L., Ferrière, J., de Séze M.P., Joseph, P. and Barat, M. 1999. Intravesical instillation of capsaicin in urology: A review of the literature. *Eur Urol*, 36(4): 267-277.
- Demiray, E. ve Tülek Y. 2012. Kurutma işleminin kırmızı biberdeki renk maddelerine etkisi. *Gıda Teknolojisi Elektronik Dergisi*, 7 (3): 1-10.
- Demirhan, A. Mısır Çarşısı Drogları. Sermet Matbaası, İstanbul, 185 s.
- Derringer, G. and Suich, R. 1980. Simultaneous optimization of several response variables. *J Qual Technol*, 12(4): 214-219.

- Derry, S., Lloyd, R., Moore, R.A. and McQuay, H.J. 2009. Topical capsaicin for chronic neuropathic pain in adults (Review). *Cochrane Database of Syst Rev*, 7(4):. Art. No. CD007393
- Desai, K.G.H. and Park H.J. 2005. Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients. *Dry Technol*, 23: 1361-1394.
- Dian, N.L.H.M., Sudin, N. and Yusoff, M.S.A. 1996. Characteristics of microencapsulated palmbased oil as affected by type of wall material. *J Sci Food Agr*, 70: 422-426.
- Dickinson E. 1993. Protein-polysaccharide interactions in food colloids. In: Dickinson E. and Walstra, P. (Ed.), *Food Colloids and Polymers: Stability and Mechanical Properties*, Cambridge: Royal Society of Chemistry, pp. 77-93.
- Domian, E. and Poszytek, K. 2005. Wheat flour flowability as affected by water activity, storage time and consolidation. *Int Agrophys*, 19(2): 119-124.
- Drusch, S., Serfert, Y., Berger, A., Shaikh, M.Q., Ratzke, K., Zaporajtchenko, V. and Schwarz, K. 2012. New insights into the microencapsulation properties of sodiumcaseinate and hydrolyzed casein. *Food Hydrocolloid*, 27: 332-338.
- Favaro-Trindade, C.S., Okuro, P.K. and de Matos Jr., F.E. 2016. Encapsulation via Spray Chilling/Cooling/Congeeing. In: Mishra M. (Ed.), *Handbook of Encapsulation and Controlled Release*,. CRC Press, Boca Raton, pp. 71-88.
- Fernandes, R.V.B., Marques, G.R., Borges, S.V. and Botrel, D.A. 2014. Effect of solids content and oil load on the microencapsulation process of rosemary essential oil. *Ind Crop Prod*, 58: 173-181.
- Fıratlıgil-Durmuş, E. ve Evranuz, Ö. 2010. Kırmızıbiber tohum unu ve proteininin çözünürlük ve emülsiyon özellikleri. *İTÜ Dergisi*, 9(4): 33-44.
- Gadkari, P.V. and Balaraman, M. 2015. Catechins: Sources, extraction and encapsulation: A review. *Food Bioprod Proc*, 93: 122-138.
- Gamboa, O.D., Gonçalves, L.G. and Grosso, F.C. 2011. Microencapsulation of tocopherols in lipid matrix by spray chilling method. *Proc Food Sci*, 1: 1732-1739.
- Gareth-Leach, G. 1998. Production of a carotenoid-rich product by alginate entrapment and fluid bed drying of dumalielle salina. *J Sci Food Agr*, 76: 298-302.
- Garrett, D.A., Failla, M.L. and Sarama, R.J. 1999. Development of an in vitro digestion method to assess carotenoid bioavailability from meals. *J Agr Food Chem*, 47: 4301-4309.
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., and Saurel, R. 2007. Application of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Res Int*, 40: 1107-1121.
- Gibbs, B.F., Kermasha, S., Alli, I., and Mulligan, C.N. 1999. Encapsulation in the food industry: A review. *Int J Food Sci Nutr*, 50: 213-224.
- Glahn, R.P., Lee, O.A. and Miller, D.D. 1999. In vitro digestion/Caco-2 cell culture model to determine optimal ascorbic acid to Fe ratio in rice cereal. *J Food Sci*, 64: 925-928.

- Goldfrank, L.R. 2002. Goldfrank's Toxicologic Emergencies. McGraw-Hill, New York, 1167 p.
- Gouin, S. 2004. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends Food Sci Tech*, 15: 330-347.
- Green, R.J., Murphy, A.S., Schulz, B., Watkins, B.A. and Ferruzzi, M.G. 2007. Common tea formulations modulate in vitro digestive recovery of green tea catechins. *Mol Nutr Food Res*, 51: 1152-1162.
- Guerra, A., Etienne-Mesmin, L., Livrelli, V., Denis, S., Blanquet-Diot, S. and Alric, M., 2012. Relevance and challenges in modeling human gastric and small intestinal digestion. *Trends Biotechnol* 30(11): 591-600.
- Guilbert, S. and Gontard, N. 1994. Prolongation of the shelf-life of perishable food product using biodegradable films and coatings. *Lebens Wiss Technol*, 29: 10-17.
- Guo, Q.Y., Chan, L.W. and Heng, P.W.S. 2005. Investigation of the release of aspirin from spray-congealed micro-pellets. *J Microencapsul*, 22(3): 245-251.
- Gupta, S.S. and Ghosh, M. 2012. In vitro study of anti-oxidative effects of b-carotene and a-lipoic acid for nanocapsulated lipids. *LWT-Food Sci Technol*, 49: 131-138.
- Gürsoy, O., Kınık, Ö. ve Gönen, İ. 2005. Probiyotikler ve gastrointestinal sağlığa etkileri. *Türk Mikrobiyoloji Cemiyeti Dergisi*, 35: 136-148.
- Harrington, E.C. 1965. The desirability function, Industrial. *Qual Cont*, 21: 494-498.
- Hoffman, P.G., Lego, M.C. and Galetto, W.G. 1983. Separation and quantification of red pepper major heat principles by reverse-phase high pressure liquid chromatography. *J Agr Food Chem*, 31: 1326-1330.
- Hur, S.J., Lim, B.O., Decker, E.A. and McClements, D.J. 2011. In vitro human digestion models for food applications. *Food Chem*, 125: 1-12.
- Hussain, M.S. and Chandrasekhara, N. 1992. Effect of curcumin on cholesterol gallstone induction in mice. *Indian J Med Res*, 96: 288-291.
- Hussain, M.S. and Chandrasekhara, N. 1993. Influence of curcumin and capsaicin on cholesterol gallstone induction in hamsters and mice. *Nutr Res*, 13: 349-357.
- Ilic, I., Dreua, R., Burjakb, M., Homarb, M., Kerca, J. and Srcica, S. 2009. Microparticle size control and glimepiride microencapsulation using spray and processing conditions. *Adv Powder Technol*, 25 (1): 292-300.
- Iqbal, Q., Amjad, M., Asi, M.R., Ariño, A., Ziaf, K., Nawaz, A and Ahmad, T. 2015. Stability of capsaicinoids and antioxidants in dry hot peppers under different packaging and storage temperatures. *Foods*, 4: 51-64.
- Ito, K., Nakazato, T., Yamato, K., Miyakawa, Y., Yamada, T., Hozumi, N., Segawa, K., Ikeda, Y. and Kizaki, M. 2004. Induction of apoptosis in leukemic cells by homovanillic acid derivative, capsaicin, through oxidative stress: implication of phosphorylation of p53 at Ser-15 residue by reactive oxygen species. *Cancer Res*, 64: 1071-1078.

- İtik, N. 2011. Kapsaisin'in hücre öldürücü etkisinin araştırılması. Yüksek lisans tezi, Kafkas Üniversitesi, Kars, 43 s.
- İyidoğan, Y. 2015. Kapsaisin molekülünün moleküler modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 42 s.
- Jackson, L.S. and Lee, K. 1991. Microencapsulation and the food industry. *Lebensm Wiss u Technol*, 24: 289-297.
- Janssens, P.L.H.R., Hursel, R., Martens, E.A.P. and Westerterp-Plantega, M.S. 2013. Acute effects of capsaicin on energy expenditure and fat oxidation in negative energy balance. *PloS One*, 8(7): 1-7.
- Jimenez, M., Garcia, H.S. and Beristain, C.I. 2010. Effect of water activity on physical properties of conjugated linoleic acid (CLA) microcapsules. *J Food Proc Eng*. 33(3): 434-447.
- Jincheng, W. and Sihao, C. 2010. Preparation and characterization of microcapsules containing capsaicin. *J Appl Polym Sci*, 116: 2234-2241.
- Joe, B. and Lokesh, B.R. 1997. Prophylactic and therapeutic effects of n-3 PUFA, capsaicin & curcumin on adjuvant induced arthritis in rats. *J Nutr Biochem* 8: 397-407.
- Kadalkal, Ç., Poyrazoğlu, E., Yemiş, O. ve Artık, N. 2001. Kırmızıbiberlerde acılık ve renk bileşikleri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(3): 359-366.
- Kang, J.Y., Yeoh, K.G., Chia, H.P., Lee, H.P., Chia, Y.W., Guan, R. and Yap, I. 1995. Chili protective factor against peptic ulcer?. *Diges Dis Sci*, 40: 576-579.
- Kasimoglu, Z., Tontul, I., Soylu, A., Gulen, K. and Topuz, A. 2018. The oxidative stability of flavoured virgin olive oil: the effect of the water activity of rosemary. *J Food Meas Charact*, 12(3): 2080-2086.
- Kawada, T., Hagihara, K. and Iwai, K. 1986. Effects of capsaicin on lipid metabolism in rats fed a high fat diet. *J Nutr*, 116: 1272-1278.
- Kempaiah, R.K. and Srinivasan, K. 2002. Integrity of erythrocytes of hypercholesterolemic rats during spices treatment. *Mol Cell Biochem*, 236: 155-161.
- Kempaiah, R.K. and Srinivasan, K. 2004a. Influence of dietary curcumin, capsaicin and garlic on the antioxidant status of red blood cells and the liver in high-fat-fed rats. *Ann Nutr Metab*, 48: 314-320.
- Kempaiah, R.K. and Srinivasan, K. 2004b. Antioxidant status of red blood cells and liver in hypercholesterolemic rats fed hypolipidemic spices. *Int J Vitam Nutr Res*, 74: 199-208.
- Kentepozidou, A. and Kiparissides, C. 1995. Production of water-containing polymer microcapsules by the complex emulsion/solvent evaporation technique. Effect of process variables on the microcapsule size distribution. *J Microencapsul*, 12 (6): 627-638.
- Keogh, M.K. and O'Kennedy, B.T. 1999. Milk fat microencapsulation using whey proteins. *Int Dairy J*, 9: 657-663.

- Keshaw, S. 2004. The Gastrointestinal System at a Glance. Blackwell Science, United Kingdom, 117 p.
- Ki, P., Negulesco, J.A. and Murnane, M. 1982. Decreased total serum myocardial and aortic cholesterol levels following capsaicin treatment. *IRCS Med Sci*, 10: 446-447.
- Kocabıyık, F. 2014. The effect of microencapsulation of pistachio nut (*Pistachio vera* L.) oil on its physical properties. Yüksek lisans tezi, Gaziantep Üniversitesi Doğal ve Uygulamalı Bilimler Enstitüsü, Gaziantep, 102 s.
- Koç, B. 2008. Püskürtmeli kurutma yöntemi ile yoğurt tozu üretim koşullarının optimizasyonu. Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 205 s.
- Koç, B. ve Kaymak-Ertekin, F. 2010. Yanıt yüzey yöntemi ve gıda işleme uygulamaları. *Gıda*, 35(1): 63-70.
- Koç, M. 2009. Pastörize sıvı yumurtanın püskürtmeli kurutma yöntemi ile optimum kurutma koşullarının belirlenmesi ve mikroenkapsülasyonu. Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 229 s.
- Koç, M., Sakin, M. ve Ertekin, F. 2010. Mikroenkapsülasyon ve gıda teknolojisinde kullanımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16: 77-86.
- Koç, M. 2015. Farklı kurutma yöntemleri ile bal tozu üretim koşullarının optimize edilmesi ve depolama stabilitesinin belirlenmesi. Doktora tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 202 s.
- Koç, M., Güngör, Ö., Zungur, A., Yalçın, B., Selek, İ., Ertekin, F.K. and Ötles, S. 2015. Microencapsulation of extra virgin olive oil by spray drying: effect of wall materials composition, process conditions, and emulsification method. *Food Bioproc Technol*, 8 (2):301-318.
- Kogure, K., Goto, S., Nishimura, M., Yasumoto, M., Abe, K., Ohiwa, C., Sassa, H., Kusumi, T. and Terada, H. 2002. Mechanism of potent antiperoxidative effect of capsaicin. *Biochim Biophys Acta*, 1573: 84-92.
- Kong, F. and Singh, R.P. 2008. A model stomach system to investigate disintegration kinetics of solid foods during gastric digestion. *J Food Sci*, 73: 202-210.
- Korel, F., Bagdatlioglu, N., Balaban, M.O. and Hisil, Y. 2002. Ground red peppers: Capsaicinoids content, Scoville scores and discrimination by an electronic nose. *J Agr Food Chem*, 50: 3257-3261.
- Kostyra, E. and Barylko-Pikielna, U.D. 2010. Relationship of pungency and leading flavour attributes in model food matrices-temporal aspects. *Food Qual Prefer*, 21: 197-206.
- Kurozawa, E.L., Park, K.J. and Hubinger, M.P. 2009. Effect of maltodextrin and gum arabic on water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried chicken meat hydrolysate protein. *J Food Eng*, 91: 287-296.
- Labuza, T. and Shafiur Rahman, M. 2007. Water activity and food preservation. In: Shaifur Rahman, M. (Ed.), Handbook of food preservation, CRC Press, New York, pp. 1088.

- Lakkis, J.M. 2007. Introduction. encapsulation and controlled release. In: Lakkis, J.M. (Ed.), *Technologies in Food Systems*, Blackwell Publishing, USA, pp. 1-13.
- Lazić, Ž.R. 2004. *Design of Experiments in Chemical Engineering*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 620 p.
- Lee, C.Y., Kim, M., Yoon, S.W. and Lee, C.H. 2003. Short-term control of capsaicin on blood and oxidative stress of rats in vivo. *Phytother Res*, 17: 454-458.
- Lee, S.H., Krisanapun, C. and Baek, S.J. 2010. NSAID-activated gene-1 as a molecular target for capsaicin-induced apoptosis through a novel molecular mechanism involving GSK3 β , C/EBP β and ATF3. *Carcinogenesis*, 31: 719-728.
- Lejeune, M.P.G., Eva, M., Kovacs, M.R. and Westerterp-Plantenga, M.S. 2003. Effect of capsaicin on substrate oxidation and weight maintenance after modest body-weight loss in human subjects. *Br J Nutr* 90: 651-659.
- Leonel, A.J., Chambi, H.N.M., Barrera-Arellano, D., Pastore, H.O. and Grosso, C.R.F. 2010. Production and characterization of lipid microparticles produced by spray cooling encapsulating a low molar mass hydrophilic compound. *Food Sci Technol*, 30(1): 276-281.
- Lu, M., Cao, Y., Ho, C.T. and Huang, Q. 2016. Development of organogel-derived capsaicin nanoemulsion with improved bioaccessibility and reduced gastric mucosa irritation. *J Agr Food Chem*, 64: 4735-4741.
- Maggi, C.A., Barbanti, G., Santicioli, P., Misuri, D., Meli, A. and Turini, D. 1989. Cystometric evidence that capsaicin-sensitive nerves modulate the afferent branch of micturition reflex in humans. *J Urol*, 142(1): 150-155.
- Mahdavee-Khazaei, K., Jafari, S.M., Ghorbani, M. and Hemmati Kakhki, A. 2014. Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color. *Carbohydr Polym*, 105: 57-62.
- Mahdavi, S.A., Jafari, S.M., Assadpoor, E. and Dehnad, D. 2016. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. *Int J Biol Macromol*, 85: 379-385.
- Marin, A., Ferreres, F., Tomas-Barberan, F.A. and Gil, M.I. 2004. Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *J Agr Food Chem*, 52 (12): 3861-3869.
- Martins, R.M., Siqueira, S. and Freitas, A.P. 2012. Spray congealing of pharmaceuticals: Study on production of solid dispersions using Box-Behnken Design. *Dry Technol*, 30: 935-945.
- Martins, R.M., Siqueira, S., Machado, M.O. and Freitas, A.P. 2013. The effect of homogenization method on the properties of carbamazepine microparticles prepared by spray congealing. *J Microencapsul*, 30 (7): 692-700.
- Martins, I.M., Barreiro, M.F., Coelho, M. and Rodrigues, A.E. 2014. Microencapsulation of essential oils with biodegradable polymeric carriers for cosmetic applications. *Chem Eng J*, 245: 191-200.

- Maschke, A., Becker, C., Eyrich, D., Kiermaier, J., Blunk, T. and Göpferich, A. 2007. Development of a spray congealing process for the preparation of insulin-loaded lipid microparticles and characterization thereof. *Eur J Pharm Biopharm*, 65: 175-187.
- Materska, M., Piacente, S., Stochmal, A., Pizza, C., Oleszek, W. and Perucka, I. 2003. Isolation and structure elucidation of flavonoid and phenolic acid glycosides from pericarp of hot pepper fruit *Capsicum annuum* L. *Phytochemistry*, 63: 893-898.
- Matos-Jr, F.E., Comunian, T.A., Thomazini, M. and Favaro-Trindade, C.S. 2017. Effect of feed preparation on the properties and stability of ascorbic acid microparticles produced by spray chilling. *LWT-Food Sci Technol*, 75: 251-260.
- McCarthy, G.M. and McCarthy, D.J. 1991. Effect of topical capsaicin in the therapy of painful osteoarthritis of the hand. *J Rheumatol*, 19: 604-607.
- McClements, D.J. 1999. Food Emulsions; Principles, Practice, and Techniques, CRC Press, New Delhi, 632 p.
- McClements, D.J. 2012. Requirements for food ingredient and nutraceutical delivery systems. In: Garti, N. and Julian McClements, D., (Ed.), Encapsulation Technologies and Delivery Systems For Food Ingredients and Nutraceuticals, Woodhead Publishing Series in Food Science, New Delhi, pp. 3-18.
- Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, Bourlieu, C. and Dufour, C. 2014. A standardised static in vitro digestion method suitable for food—an international consensus. *Food Funct*, 5 (6): 1113-1124.
- Minguez-Mosquera, M.I. and Hornero-Mendez, D. 1993. Separation and quantification of the carotenoid pigments in red peppers (*Capsicum annuum* L.), paprika, and oleoresin by reversed-phase HPLC. *J Agr Food Chem*, 41 (10): 1616-1620.
- Monserenusorn, S. 1983. Subchronic toxicity studies of capsaicin and capsicum in rats. *Res Comm Chem Pathol Pharmacol*, 41: 95-100.
- Montgomery, D.C. 2001. Design and Analysis of Experiments, John Wiley and Sons, New York, 653 p.
- Mori, A., Lehmann, S., O'Kelly, J., Kumagai, T., Desmond, J.C., Pervan, M., McBride, W.H., Kizaki, M. and Koeffler, H.P. 2006. Capsaicin, a component of red peppers, inhibits the growth of androgen-independent, p53 mutant prostate cancer cells. *Cancer Res*, 66: 3222-3229.
- Morselli Ribeiro, M.D.M., Arellano, D.B. and Grosso, C.R.F. 2012. The effect of adding oleic acid in the production of stearic acid lipid microparticles with a hydrophilic core by a spray-cooling process. *Food Res Int*, 47(1): 38-44.
- Munin, A. and Edwards-Lévy, F. 2011. Encapsulation of natural polyphenolic compound; a review. *Pharmaceutics*, 3: 793-829.
- Myers, R.H., Montgomery, D.C., Vining G.G., Borror, C.M. and Kowalski, S.M. 2004. Response surface methodology: A retrospective and literature survey. *J Qual Technol*, 36(1): 53-77.

- Naidu, K.A. and Thippeswamy, N.B. 2002. Inhibition of human low density lipoprotein oxidation by active principles from spices. *Mol Cell Biochem*, 229: 19-23.
- Negulesco, J.A., Young, R.M. and Ki, P. 1983. Capsaicin lowers plasma cholesterol and triglycerides of lagomorphs. *Artery*, 12: 301-311.
- Negulesco, J.A., Noel, S.A., Newman, H.A., Naber, E.C., Bhat, H.B. and Witiak, D.T. 1987. Effects of pure capsaicinoids (capsaicin and dihydrocapsaicin) on plasma lipids and lipoprotein concentrations of turkey poults. *Atherosclerosis*, 64: 85-90.
- Nelson, E.K. 1919. The Constitution of Capsaicin, the Pungent Principle of Capsicum. *J Am Chem Soc*, 41: 1115-1121.
- Nolden, A.A. and Hayes, J.E. 2018. Perceptual and affective responses to sampled capsaicin differ by reported intake. *Food Qual Pref*, 55: 26-34.
- Okada, Y. and Okajima, H. 2001. Antioxidant effect of capsaicin on lipid peroxidation in homogeneous solution, micelle dispersions & liposomal membranes. *Redox Rep*, 6: 117-122.
- Okuro, P.K., de Matos-Jr, F.E. and Favaro-Trindade, C.S. 2013. Technological challenges for spray chilling encapsulation of functional food ingredients. *Food Technol Biotechnol*, 51(2): 171-182.
- O'Neil, M.J. 2001. The Merck Index-An Encyclopedia of Chemicals, Drugs and Biologicals. Emerald Group Publishing Limited, Whitehouse Station, New Jersey, 296 p.
- Oxley, J.D. 2012. Spray cooling and spray chilling for food ingredient and nutraceutical encapsulation. In: Garti, N. and Julian McClements, D., (Ed.), Encapsulation Technologies and Delivery Systems For Food Ingredients and Nutraceuticals, Woodhead Publishing Series in Food Science, New Delhi, pp. 110-130,
- Park, J.S., Choi, M.A., Kim, B.S., Han, I.S., Kurata, T. and Yu, R. 2000. Capsaicin protects against ethanol-induced oxidative injury in the gastric mucosa of rats. *Life Sci*, 67: 3087-3093.
- Passerini, N., Perissutti, B., Albertini, B., Franceschini, E., Lenaz, D. and Hasa, D. 2012. A new approach to enhance oral bioavailability of Silybum marianum dry extract: Association of mechanochemical activation and spray congealing. *Phytomedicine*, 19 (2): 96-103.
- Paucar, O.C., Tulini, F.L., Thomazini, M., Balieiro, J.C.C., Pallone, E.M.J.A. and Favaro-Trindade, C.S. 2016. Production by spray chilling and characterization of solid lipid microparticles loaded with vitamin D3. *Food Bioprod Process*, 100: 344-350.
- Pedroso, D.L., Dogenski, M., Thomazini, M., Heinemann, R.J.B. and Favaro-Trindade, C.S. 2013. Microencapsulation of *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* and *Lactobacillus acidophilus* in cocoa butter using spray chilling technology. *Braz J Microbiol*, 44(3): 777-783.
- Peleg, M. and Mannheim, C.H. 1973. Effect of conditioners on the flow properties of powdered sucrose. *Powder Technol*, 35: 2352-2357.

- Polovic, N.D., Pjanovic, R.V., Burazer, L.M., Velickovic, S.J., Jankow, R.M. and Velickovic, T.D.C. 2008. Acid-formed pectin gel delays major incomplete kiwi fruit allergen Act c 1 proteolysis in in vitro gastrointestinal digestion. *J Agr Food Chem*, 89: 8-14.
- Pongpaibul, Y., Maruyama, K. and Iwatsuru, M. 1988. Formation and in-vitro evaluation of theophylline-loaded poly(methyl methacrylate) microspheres. *J Pharm Pharmacol*, 40 (8): 530-533.
- Por, E.D., Gomez, R., Akopian, A.N. and Jeske, N.A. 2013. Phosphorylation regulates TRPV1 association with β -arrestin-2. *Biochem J*, 451(1): 9-11.
- Prasad, N.S., Raghavendra, R., Lokesh, B.R. and Naidu, K.A. 2004. Spice phenolics inhibit human PMNL 5-lipoxygenase. *Prostagl Leukotr Essent Fatty Acids*, 70: 521-528.
- Rains, C. and Bryson, H.M. 1995. Topical capsaicin. A review of its pharmacological properties and therapeutic potential in post-herpetic neuralgia, diabetic neuropathy and osteoarthritis. *Drug Aging*, 7: 317-328.
- Ramli, N., Nafar, M. and Jaswir, I. 2012. Oxidative stability of blend oil during deepfat frying of potato chips. *Pakistan J Nutr*, 11(9): 730-734.
- Razavi, R. et al. 2006. TRPV1 +sensory neurons control b-cell stress and islet inflammation in autoimmune diabetes. *Cell*, 127: 1123-1135.
- Reddy, A.C.P. and Lokesh, B.R. 1992. Studies on spice principles as antioxidants in the inhibition of lipid peroxidation of rat liver microsomes. *Mol Cell Biochem*, 111: 117-124.
- Reddy, A.C.P. and Lokesh, B.R. 1994. Studies on anti-inflammatory activity of spice principles and dietary n-3 polyunsaturated fatty acids on Carrageenan induced inflammation in rats. *Ann Nutr Metab*, 38: 349-358.
- Reyes, L.H., Encinar, J.R., Marchante-Gayón, J.M., Alonso, J.I. and Sanz-Medel, A. 2006. Selenium bioaccessibility assessment in selenized yeast after “in vitro” gastrointestinal digestion using two-dimensional chromatography and mass spectrometry. *J Chromatogr A*, 1110: 108-116.
- Sagis, L.M.C. 2015. Microencapsulation and Microspheres for Food Applications. Academic Press, London, 248 p.
- Sahin, H., Topuz A., Pischetsrieder, M. and Ozdemir F. 2009. Effect of roasting process on phenolic, antioxidant and browning properties of carob powder. *Eur Food Res Technol*, 230: 155-161.
- Sahin-Nadeem, H. and Özen, M.A. 2014. Physical properties and fatty acid composition of pomegranate seed oil microcapsules prepared by using starch derivates/whey protein blends. *Eur J Lipid Sci Tech*, 116: 847-856.
- Salimath, B.P., Sundaresh, C.S. and Srinivas, L. 1986. Dietary components inhibit lipid peroxidation in erythrocyte membrane. *Nutr Res*, 6: 1171-1178.
- Salvim, M.O., Thomazini, M., Pelaquim, F.P., Urbano, A., Moraes, I.C. and Favaro-Trindade, C.S. 2015. Production and structural characterization of solid lipid

- microparticles loaded with soybean protein hydrolysate. *Food Res Int*, 76: 689-696.
- Sambaiah, K., Satyanarayana, M.N. and Rao, M.V.L. 1978. Effect of red pepper and capsaicin on fat absorption and liver fat in rats. *Nutr Rep Int*, 18: 521-529.
- Sambaiah, K. and Satyanarayana, M.N. 1980. Hypocholesterolemic effect of red pepper and capsaicin. *Indian J Exp Biol*, 18: 898-899.
- Sannaveerappa, T., Westlund, S., Sandberg, A.S. and Undeland, I. 2007. Changes in the antioxidative property of herring (*Clupea harengus*) press juice during a simulated gastrointestinal digestion. *J Agr Food Chem*, 55: 10977-10985.
- Sartori, T., Consoli, L., Dupas-Hubinger, M. and Cecilia-Menegalli, F. 2015. Ascorbic acid microencapsulation by spray chilling: Production and characterization. *LWT-Food Sci Technol*, 63: 353-360.
- Satyanarayana, M.N. 2006. Capsaicin and gastric ulcers. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 46: 275-328.
- Schneider, D.J., Seuß-Baum, I., Nachtsheim, R. and Schlich, E. 2013. Perception of heat intensity affected by capsaicin in different model food matrices. Hochschule Fulda University of Applied Sciences, 1: 35-35.
- Schrooyen, P.M.M., van der Meer, R. and de Kruif, C.G. 2001. Microencapsulation: its application in nutrition. *P Nutr Soc*, 60: 475-479.
- Schubert, H. 1987. Food particle technology. Part II. Some specific cases. *J Food Eng*, 6: 83-102.
- Sciarini, L.S., Maldonado, F., Ribotta, P.D., Perez, G.T. and Leon, A.E. 2009. Chemical composition and functional properties of *Gleditsia triacanthos* gum. *Food Hydrocolloid*, 23 (2): 306-313.
- Scoville, W.L. 1912. Note on Capsicum. *J Am Pharm Assn*, 1: 453-454.
- Shishir, M.R.I., Taip, F.S., Aziz, N.A. and Talib, R.A. 2014. Physical properties of spray-dried pink guava (*Psidium guajava*) powder. *Agric Agric Sci Proc*, 2: 74-81.
- Shpigelman, A., Israeli, G. and Livney, Y.D. 2010. Thermally-induced protein-polyphenol co-assemblies: beta lactoglobulin-based nanocomplexes as protective nanovehicles for EGCG. *Food Hydrocolloid*, 24: 735-743.
- Sillick, M. and Gregson, C.M. 2012. Spray chill encapsulation of flavors within anhydrous erythritol crystals. *LWT-Food Sci Technol*, 48(1): 107-113.
- Sims, R.J. 1989. Spray dried emulsion. *Develop Food Sci*, 19: 495-509.
- Srinivasan, M.R., Sambaiah, K., Satyanarayana, M.N. and Rao, M.V.L. 1980. Influence of red pepper and capsaicin on growth, blood constituents and nitrogen balance in rats. *Nutr Rep Int*, 21: 455-467.
- Srinivasan, M.R. and Satyanarayana, M.N. 1987. Influence of capsaicin, curcumin and ferulic acid in rats fed high fat diets. *J Biosci*, 12: 143-152.

- Srinivasan, K. and Sambaiah, K. 1991. Effect of spices on cholesterol-7 α hydroxylase activity and on serum and hepatic cholesterol levels in the rat. *Int J Vitam Nutr Res*, 61: 364-369.
- Srinivasan, K. 2016. Biological activities of red pepper (*Capsicum annuum*) and its pungent principle capsaicin: A review. *Crit Rev Food Sci*, 56: 1488-1500.
- Stanberry, L.R., Bourne, N., Bravo, F.J. and Bernstein, D.I. 1992. Capsaicin-sensitive peptidergic neurons are involved in the zosteriform spread of herpes simplex virus infection. *J Med Virol*, 38(2): 142-146.
- Sweat, K.G., Broatch, J., Borrer, C., Hagan, K. and Cahill, T.M. 2016. Variability in capsaicinoid content and Scoville heat ratings of commercially grown Jalapeño, Habanero and Bhut Jolokia peppers. *Food Chem*, 210: 606-612.
- Şener, E. ve Şahin, S. 2010. Kapsaisin: Farmakokinetik, toksikolojik ve farmakolojik özellikleri. *Hacettepe Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, 29: 149-163.
- Teunou, E. and Fitzpatrick, J.J. 2000. Effect of storage time and consolidation on food powder flowability. *J Food Eng*, 43(2): 97-101.
- Thevenet, F. 1988. Acacia gums stabilizers for flavor encapsulation. *Am Chem S*, 590: 37-44.
- Topuz, A. 2002. Farklı gamma ışınlama dozlarının ve depolamanın kırmızı pul biberin (*Capsicum annuum* L.) bazı kimyasal, mikrobiyolojik ve duyu kalitesi üzerine etkileri. Doktora tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 149 s.
- Topuz, A. and Ozdemir, F. 2004. Influences of gamma irradiation and storage on the capsaicinoids of sun-dried and dehydrated paprika. *Food Chem*, 86: 509-515.
- Topuz, A. and Ozdemir, F. 2007. Assessment of carotenoids, capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) grown in Turkey. *J Food Compos Anal*, 20: 596-602.
- Topuz, A., Dincer, C., Ozdemir, K.S., Feng, H. and Kushad, M. 2011. Influence of different drying methods on carotenoids and capsaicinoids of paprika (Cv., Jalapeno). *Food Chem*, 129: 860-865.
- Tratnik, L., Bozanic, R., Hergec, Z. and Drgalic, I. 2006. The quality of plain and supplemented kefir from goat's and cow's milk. *Int J Dairy Technol*, 59(1): 40-46.
- Tsui, H., Razavi, R., Chan, Y., Yantha, J. and Dosch, H.M. 2007. Sensing autoimmunity in type 1 diabetes. *Trends Mol Med*, 13: 405-413.
- Uslu, N. 2014. Kızartma tekerrür sayısının farklı bitkisel yağların fizikokimyasal özellikleri üzerine etkisinin belirlenmesi. Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 67 s.
- Ünal, E. ve Erginkaya, Z. 2010. Probiyotik mikroorganizmaların mikroenkapsülasyonu. *Gıda*, 35(4): 297-304.
- Vallejo, F., Gil-Izquierdo, A., Pearez-Vicente, A. and Garciaa-Viguera, C. 2004. Inflorescence phenolic digestion study of broccoli inflorescence phenolic compounds, glucosinolates, and vitamin C. *J Agr Food Chem*, 52: 135-138.

- Varhan, E. 2018. Sprey soğutma yöntemi ile kapsaisin mikroenkapsülasyonu üzerine farklı kaplama materyallerinin etkisi. Yüksek lisans tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın, 118 s.
- Varhan, E. ve Koç, M. 2018. Gıda bileşenlerinin sprej soğutma yöntemi ile enkapsülasyonu. *Food and Health*, 4(3): 202-212.
- Verit, A., Yeni, E. ve Ünal D. 2001. Tarihten günümüz ürolojisine kırmızı acı biber. *Türk Üroloji Dergisi*, 27(4): 399-402.
- Vilstrup, P. 2001. Microencapsulation of Food Ingredients. Leatherhead Food RA Publishing, Surrey, 255 p.
- Wang, J., Dong, X., Chen, S and Lou, J. 2013. Microencapsulation of capsaicin by solvent evaporation and thermal stability study of microcapsules. *Colloid J+*, 75(1): 26-33.
- Wegmüller, R., Zimmermann, M.B., Bühr, V.G., Windhab, E.J. and Hurrell, R.F. 2006. Development, stability, and sensory testing of microcapsules containing iron, iodine, and vitamin A for use in food fortification. *J Food Sci*, 71(2): 181-187.
- Westerterp-Plantenga, M.S., Smeets, A. and Lejeune, M.P.G. 2004. Sensory and gastro intestinal satiety effects of capsaicin on food intake. *Int J Obesity*, 29: 682-688.
- Wickham, M., Faulks, R. and Mills, C. 2009. In vitro digestion methods for assessing the effect of food structure on allergen breakdown. *Mol Nutr Food Res*, 53: 952-958.
- Windbergs, M., Strachan, C.J. and Kleinebudde, P. 2009. Investigating the principles of recrystallization from glyceride melts. *Am Assoc Pharm Sci*, 10 (4): 1224-1233.
- Wolf, B.W., Bauer, L.L. and Fahey, G.C. 1999. Effects of chemical modification on in vitro rate and extent of food starch digestion: An attempt to discover a slowly digested starch. *J Agr Food Chem*, 47: 4178-4183.
- Xing, F., Cheng, G., Yang, B. and Ma, L. 2004. Microencapsulation of capsaicin by the complex coacervation of gelatin, acacia and tannins. *J Appl Polym Sci*, 91: 2669-2675.
- Xing, F., Cheng, G and Yi, K. 2006. Study on the antimicrobial activities of the capsaicin microcapsules. *J Appl Polym Sci*, 102: 1318-1321.
- Yajima, T., Umeki, N. and Itai, S. 1999. Optimum spray congealing conditions for masking the bitter taste of clarithromycin in wax matrix. *Chem Pharm Bull*, 47: 220-225.
- Yaldiz, G., Ozguven, M and Sekeroglu, N. 2010. Variation in capsaicin contents of different *Capsicum* species and lines by varying drying parameters. *Ind Crop Prod*, 32: 434-438.
- Yallapu, M.M., Gupta, B.K., Jaggi, M. and Chauhan, S.C. 2010. Fabrication of curcumin encapsulated PLGA nanoparticles for improved therapeutic effects in metastatic cancer cells. *J Colloid Interf Sci*, 351: 19-29.
- Yazgan, B., Yazgan, Y. ve Naziroglu, M. 2016. Ağrı moleküler yollarında TRPV1 katyon kanalının önemi. *Fırat Tıp Dergisi*, 21(1): 1-10.

- Yazıhan, N. 2017. İnsan sindirim sistemi ve gıda uygulamalarında kullanılan modeller. *Süt Dünyası*, 63: 1-7.
- Yıldırım, M. 2015. Stability of double emulsions for food applications. Yüksek lisans tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 129 s.
- Yilmaz, Z., Renton, T., Yiangou, Y., Zakrzewska, J., Chessell, I.P., Bountra, C. and Anand, P. 2007. Burning mouth syndrome as a trigeminal small fibre neuropathy: Increased heat and capsaicin receptor TRPV1 in nerve fibres correlates with pain score. *J Clin Neurosci*, 14: 864-871.
- Zhang, Q., Abe, T., Takahashi, T. and Sasahara, T. 1996. Variations in in vitro starch digestion of glutinous rice flour. *J Agr Food Chem*, 44: 2672-2674.
- Zhu, G., Xiao, Z., Zhou, R. and Yi, F. 2012. Fragrance and flavor microencapsulation technology. *Adv Mat Res*, 535: 440-445.
- Zoet, F.D., Grandia, J. and Sibeijn, M. 2011. Encapsulated fat soluble vitamin, NL Patent, 050668
- Zungur, A. 2013. Mikroenkapsülasyon işleminin ekstra sızma zeytinyağı tozunun depolanması sırasında oksidatif stabilite, sorpsiyon ve fiziksel kalite kriterleri üzerine etkisi. Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 169 s.

7. EKLER

EK-1. Her bir yanıt için oluşturulmuş olan varyans analizi tabloları

Çizelge 7.1. Ağızda salınım sonuçları için ardışık model kareler toplamı

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri
Ortalama	428.88	1	428.88		
Lineer	126.47	4	31.62	14.91	0.82
2FI	1.31	6	0.22	0.08	0.99
Kuadratik	35.21	4	8.80	8.01	0.00*
Kübik	2.56	8	0.32	0.16	0.99
Kalıntı	13.92	7	1.99		
Toplam	608.35	30	20.28		

Çizelge 7.2. Ağızda salınım sonuçları için model uygunsuzluğu testi

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri
Lineer	53.00	20	2.65	18381.85	0.02*
2FI	51.69	14	3.69	25612.41	0.00*
Kuadratik	16.49	10	1.65	11434.81	0.96
Kübik	13.92	2	6.96	48281.99	0.06
Saf Hata	7208	5	1442		

Çizelge 7.3. Ağızda salınım sonuçları için model istatistikleri

Varyasyon Kaynağı	Standart Hata	R ²	Adj-R ²	Pred R ²	PRESS
Lineer	1.46	0.7047	0.6574	0.5705	77.09
2FI	1.65	0.7120	0.5604	0.2799	129.24
Kuadratik	1.05	0.9081	0.8224	0.4709	94.96
Kübik	1.41	0.9224	0.6786	-10.16	2004.67

EK-1'in devamı

Çizelge 7.4. Midede salınım sonuçları için ardışık model kareler toplamı

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri
Ortalama	3832.62	1	3832.62		
Lineer	844.36	4	211.09	16.71	0.94
2FI	24.99	6	4.17	0.27	0.95
Kuadratik	196.21	4	49.05	7.78	0.00*
Kübik	64.19	8	8.02	1.85	0.22
Kalıntı	30.33	7	4.33		
Toplam	4992.70	30	166.42		

Çizelge 7.5. Midede salınım sonuçları için model uygunsuzluğu testi

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri
Lineer	315.72	20	15.79	123812.5	0.00*
2FI	290.73	14	20.77	162933.5	0.00*
Kuadratik	94.52	10	9.45	74130.83	0.21
Kübik	30.33	2	15.16	118952.8	0.00*
Saf Hata	6375	5	1275		

Çizelge 7.6. Midede salınım sonuçları için model istatistikleri

Varyasyon Kaynağı	Standart Hata	R ²	Adj-R ²	Pred R ²	PRESS
Lineer	3.55	0.7278	0.6843	0.5999	464.18
2FI	3.91	0.7494	0.6175	0.4167	676.70
Kuadratik	2.51	0.9185	0.8425	0.5307	544.42
Kübik	2.08	0.9739	0.8917	-2.7648	4367.51

EK-1'in devamı

Çizelge 7.7. Mikroenkapsülasyon etkinliği sonuçları için model kareler toplamı

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri
Ortalama	2475	1	2475		
Lineer	187.89	4	46.97	5.66	0.22
2FI	1.55	6	0.26	0.024	0.99
Kuadratik	145.08	4	36.27	8.96	0.00*
Kübik	60.10	8	7.51	87.15	0.89
Kalıntı	0.60	7	0.086		
Toplam	2749	30	9162.21		

Çizelge 7.8. Mikroenkapsülasyon etkinliği sonuçları için model uygunsuzluğu testi

Varyasyon Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri
Lineer	207.26	20	10.36	789.39	0.00*
2FI	205.71	14	14.69	1119.25	0.00*
Kuadratik	60.63	10	6.06	461.87	0.39
Kübik	0.54	2	0.27	20.48	0.00*
Saf Hata	0.066	5	0.013		

Çizelge 7.9. Mikroenkapsülasyon etkinliği sonuçları için model istatistikleri

Varyasyon Kaynağı	Standart Hata	R ²	Adj-R ²	Pred R ²	PRESS
Lineer	2.88	0.4754	0.3915	0.2072	313.33
2FI	3.29	0.4793	0.2053	-0.0150	401.16
Kuadratik	2.01	0.8464	0.7031	0.1161	349.35
Kübik	0.29	0.9985	0.9937	0.8038	77.53

EK-2. Pearson korelasyon analizi sonuçları

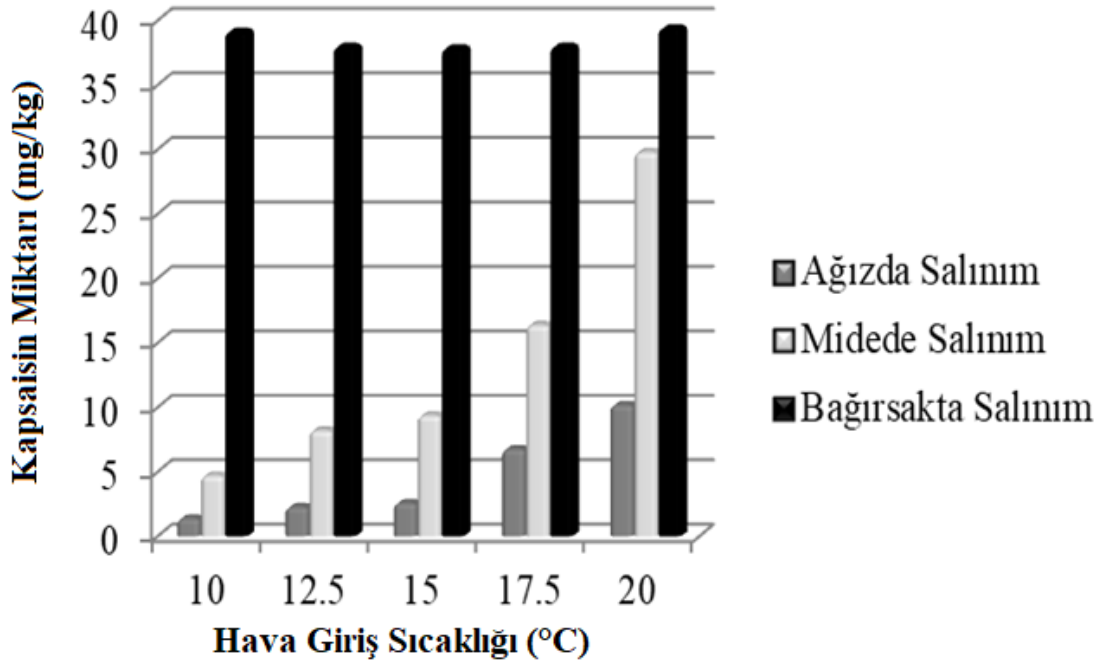
Çizelge 7.10. Kapsaisin mikrokapsüllerine ait analiz verilerinin Pearson korelasyon analiz sonuçları

		H	A	S	K	YY	SY	CI	PY	SS	KS15	KS30	KS60	KS120	TK	YK	ME	AGIZ	MIDE
H	$\frac{H}{t}$	1																	
A	$\frac{A}{t}$	1.000 0.000	1																
S	$\frac{S}{t}$	1.000 0.000	1.000 0.000	1															
K	$\frac{K}{t}$	1.000 0.000	1.000 0.000	1.000 0.000	1														
YY	$\frac{YY}{t}$	0.778 -0.054	0.466 -0.138	0.019 -0.426*	0.891 0.026	1													
SY	$\frac{SY}{t}$	0.922 -0.19	0.478 -0.135	0.005 -0.50**	0.858 -0.034	0.000 -0.78**	1												
CI	$\frac{CI}{t}$	0.112 0.296	0.942 -0.014	0.551 -0.113	0.789 0.051	0.315 0.435*	0.016 0.435*	1											
PY	$\frac{PY}{t}$	0.196 -0.243	0.300 -0.196	0.940 0.014	0.340 0.181	0.434 0.148	0.606 -0.098	0.001 -0.59**	1										
SS	$\frac{SS}{t}$	0.114 0.295	0.122 -0.289	0.705 0.072	0.850 0.036	0.500 0.128	0.243 0.220	0.110 0.298	0.243 -0.220	1									
KS15	$\frac{KS15}{t}$	0.894 0.025	0.301 -0.195	0.206 -0.238	0.755 0.059	0.249 0.217	0.23 0.413*	0.003 0.526**	0.43 -0.371*	0.019 0.424*	1								
KS30	$\frac{KS30}{t}$	0.943 0.014	0.665 0.082	0.122 0.288	0.384 0.165	0.065 0.341	0.028 0.401*	0.078 0.326	0.782 -0.053	0.065 0.341	0.000 0.715**	1							
KS60	$\frac{KS60}{t}$	0.678 0.079	0.128 0.284	0.561 -0.111	1.000 0.000	0.288 0.200	0.100 0.306	0.111 0.297	0.170 -0.257	0.40 0.377*	0.00 0.674**	0.000 0.705**	1						
KS120	$\frac{KS120}{t}$	0.845 0.037	0.845 0.037	0.983 0.004	0.527 -0.120	0.380 0.166	0.093 0.312	0.231 0.226	0.233 -0.225	0.041 0.370	0.000 0.655**	0.001 0.587**	0.000 0.860**	1					
TK	$\frac{TK}{t}$	0.999 0.000	1.000 0.000	0.998 -0.001	0.000 1.000**	0.890 0.026	0.862 -0.033	0.789 0.051	0.339 0.181	0.851 0.036	0.748 0.061	0.381 0.166	0.995 0.001	0.533 -0.118	1				
YK	$\frac{YK}{t}$	0.379 0.167	0.992 0.002	0.000 0.634**	0.084 0.321	0.000 -0.58**	0.000 -0.773	0.045 -0.368	0.159 0.264	0.696 0.074	0.086 -0.318	0.440 -0.146	0.285 -0.202	0.337 -0.182	0.086 0.319	1			
ME	$\frac{ME}{t}$	0.362 -0.172	0.986 -0.003	0.000 -0.66**	0.826 -0.042	0.001 0.582**	0.000 0.812**	0.023 0.414*	0.248 -0.218	0.785 -0.052	0.060 0.348	0.217 0.232	0.295 0.198	0.466 0.138	0.832 -0.040	0.000 -0.950**	1		
AGIZ	$\frac{AGIZ}{t}$	0.636 0.090	0.989 -0.003	0.000 0.637**	0.109 0.298	0.024 -0.412	0.003 -0.53**	0.415 -0.154	0.184 0.249	0.812 0.045	0.412 -0.155	0.783 -0.053	0.671 -0.081	0.854 -0.035	0.111 0.297	0.000 0.849**	0.000 -0.802**	1	
MIDE	$\frac{MIDE}{t}$	0.772 0.055	0.997 0.001	0.000 0.637**	0.001 0.565**	0.020 -0.422*	0.001 -0.58**	0.195 -0.243	0.091 0.314	0.846 0.037	0.253 -0.215	0.791 -0.050	0.491 -0.131	0.444 -0.145	0.001 0.564**	0.000 0.911**	0.000 -0.776**	0.000 0.909**	1

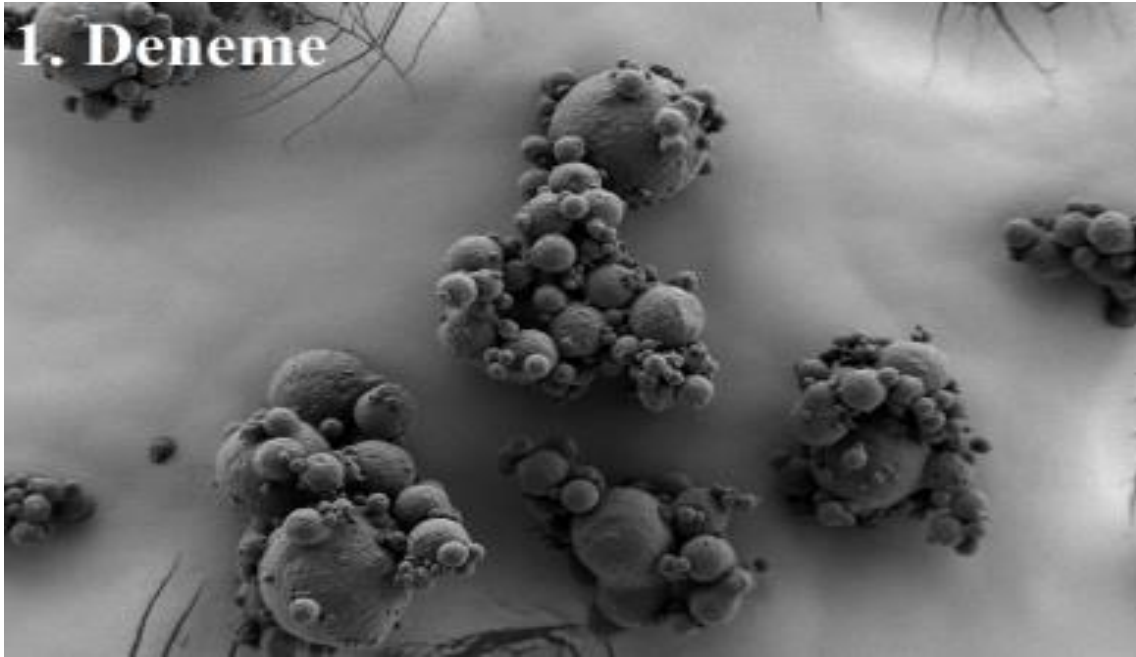
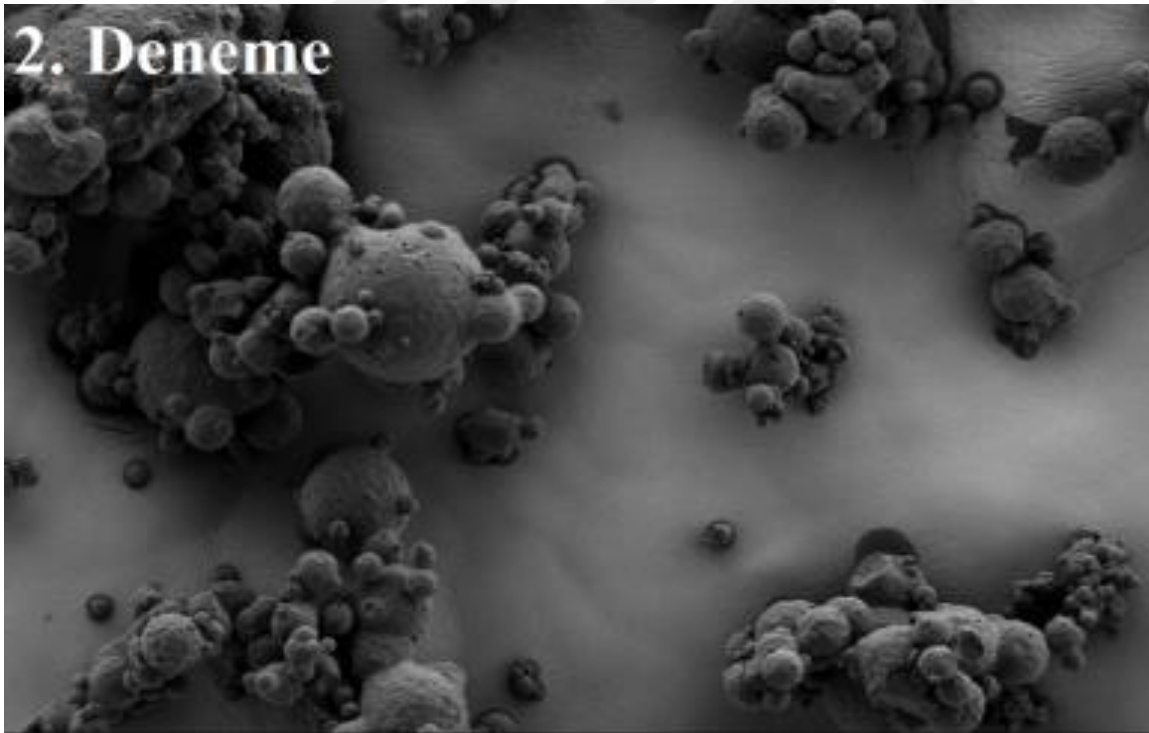
* $p < 0.05$ düzeyinde önemli, ** $p < 0.01$ düzeyinde önemli

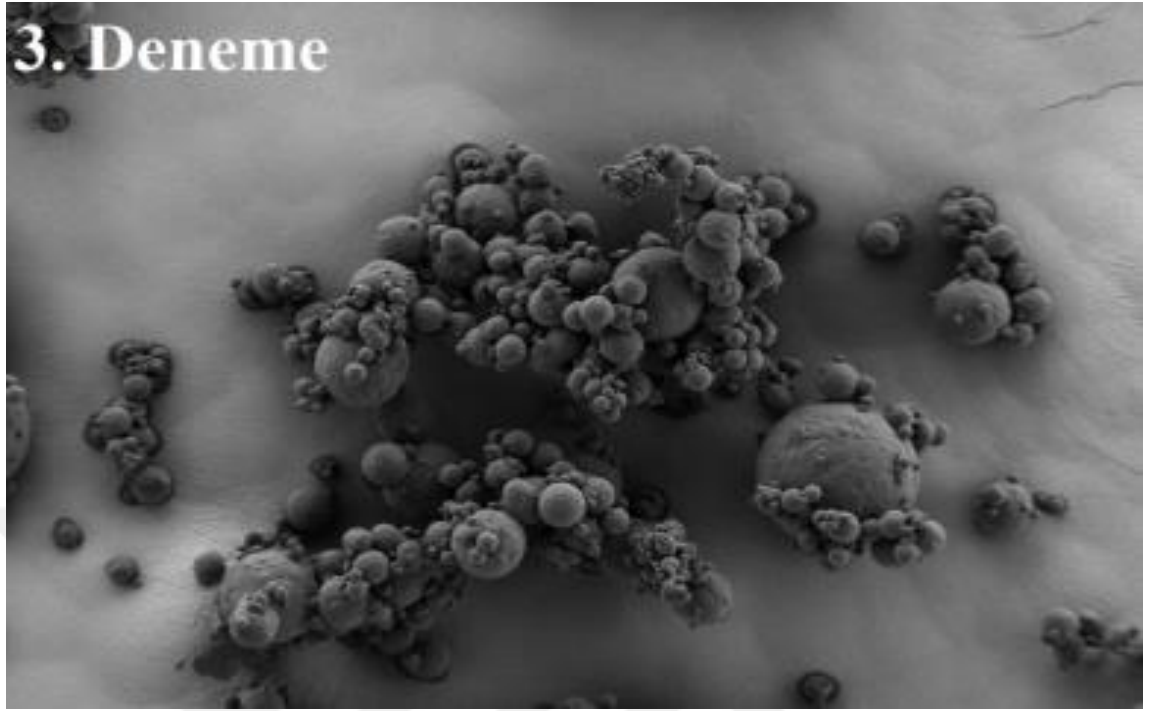
H; Homojenizasyon hızı, A; Ayçiçek yağı oranı, S; Sıcaklık, K; Kapsaisin oranı, YY; Yığın yoğunluğu, SY; Sıkıştırılmış yoğunluk, CI; Akabilirlik, PY; Partikül yoğunluğu, SS; Santrifluj stabilitesi, KS; Kinetik stabilite, TK; Toplam kapsaisin, YK; Serbest kapsaisin, ME; Mikroenkapsülasyon etkinliği, AGIZ; Ağızda salınım, MIDE; Midede salınım

EK-3. Kapsaisin mikrokapsüllerinin statik gastrointestinal model sistemde salınımları üzerine giriş sıcaklığının etkisini gösterir grafik

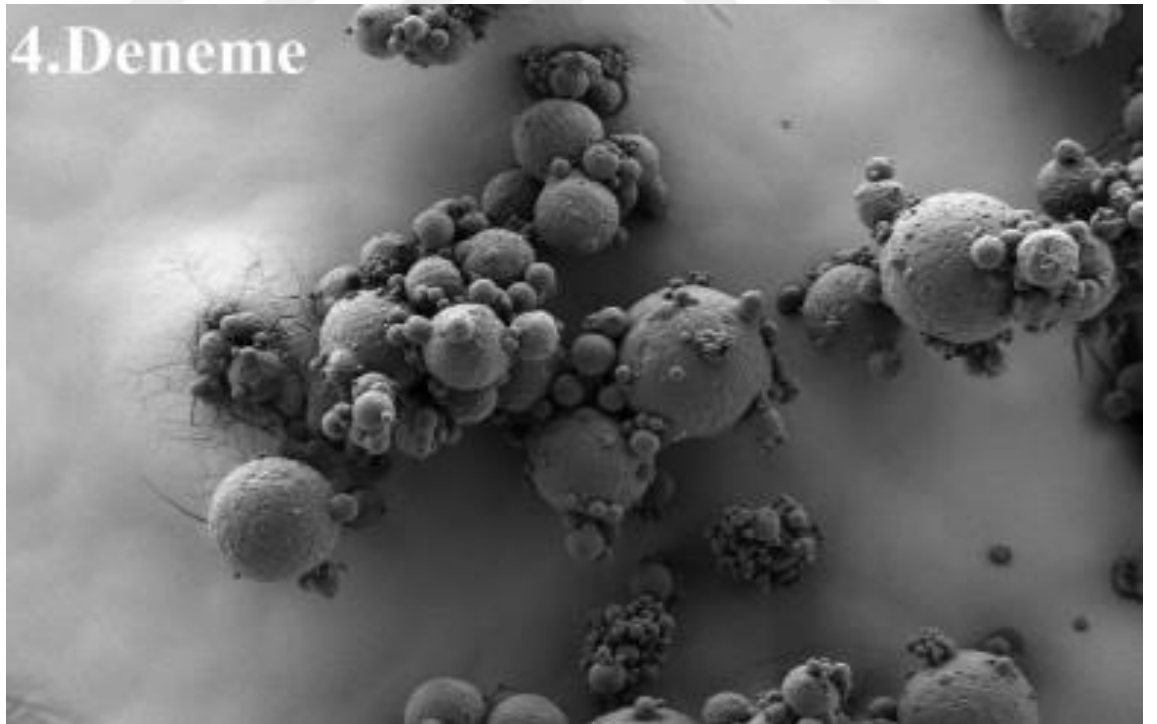


Şekil 7.1. Kapsaisin mikrokapsüllerinin statik gastrointestinal model sistemde salınımları üzerine giriş sıcaklığının etkisi

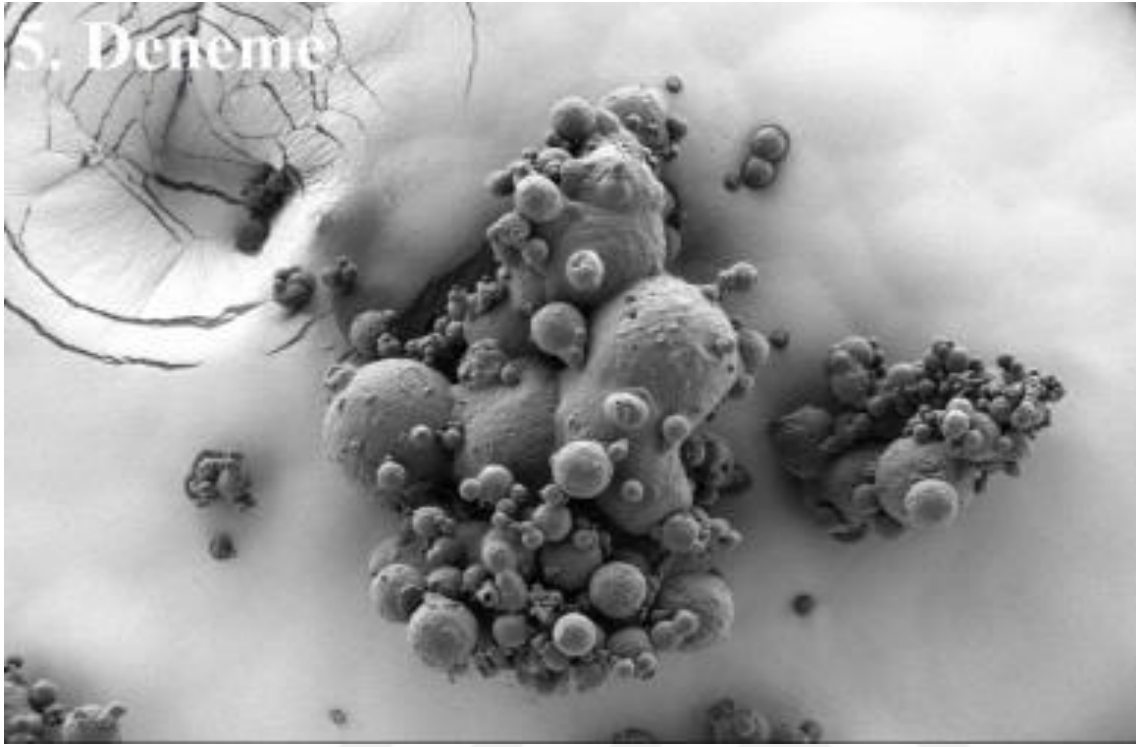
EK-4. Kapsaisin mikrokapsüllerinin SEM görüntüleri**Şekil 7.2.** 1. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)**Şekil 7.3.** 2. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

EK-4'ün devamı

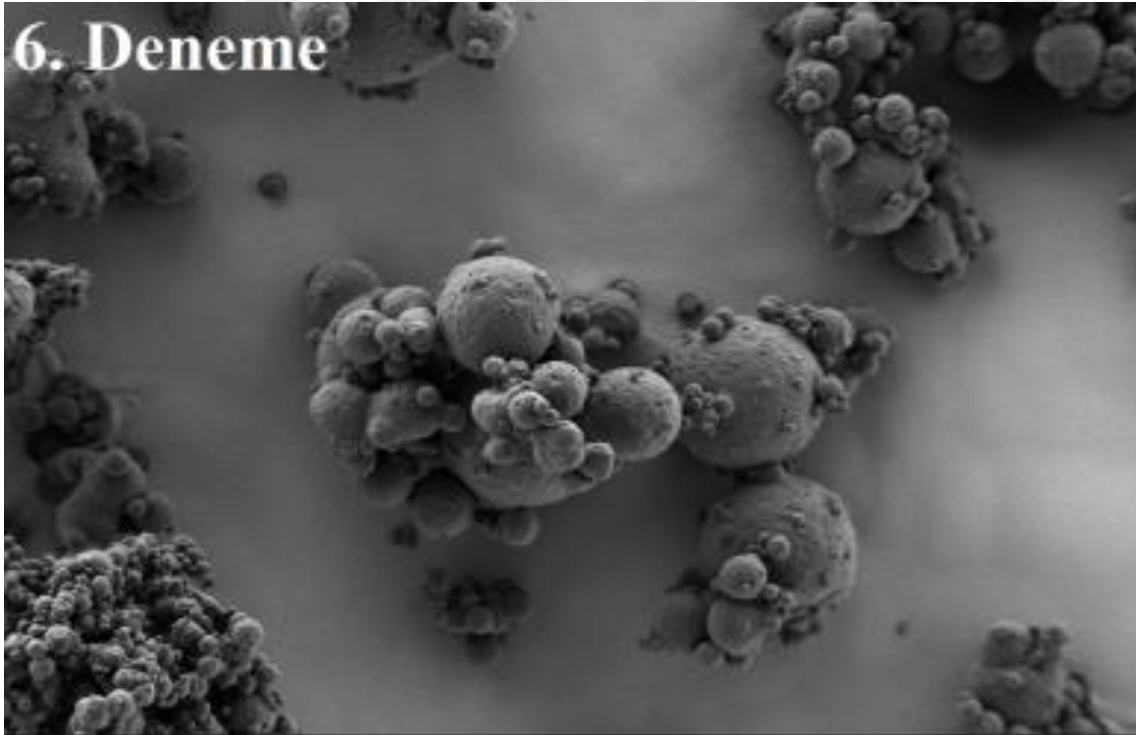
Şekil 7.4. 3. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)



Şekil 7.5. 4. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

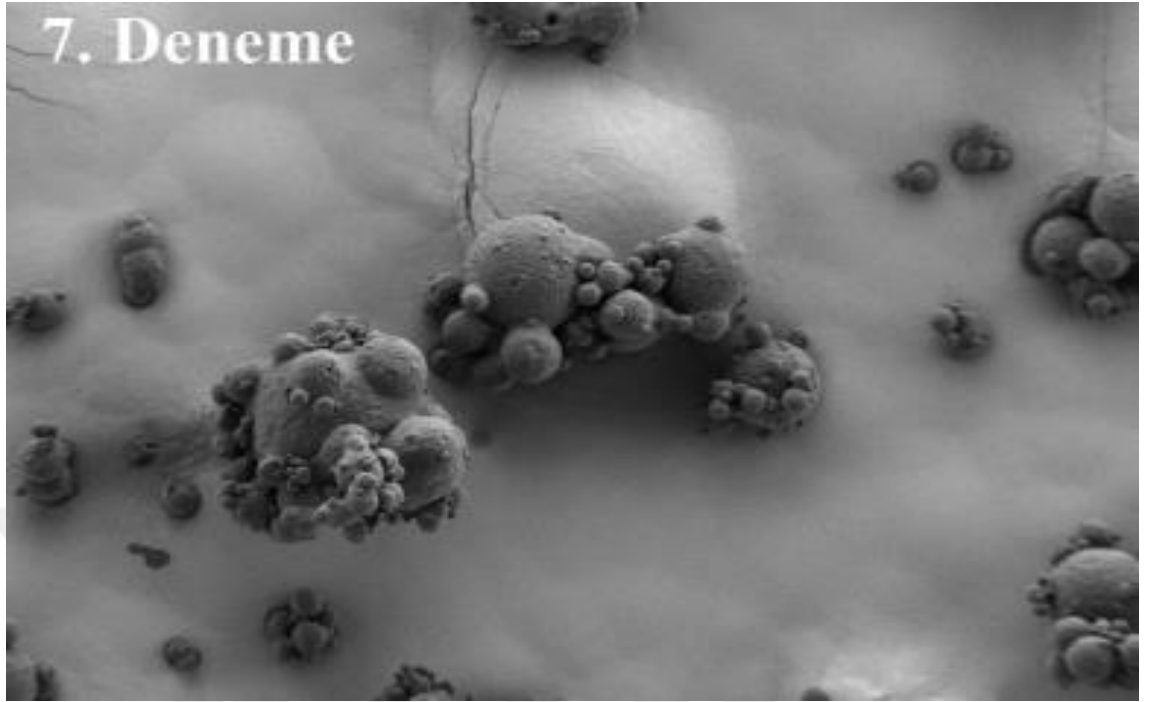
EK-4'ün devamı

Şekil 7.6. 5. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

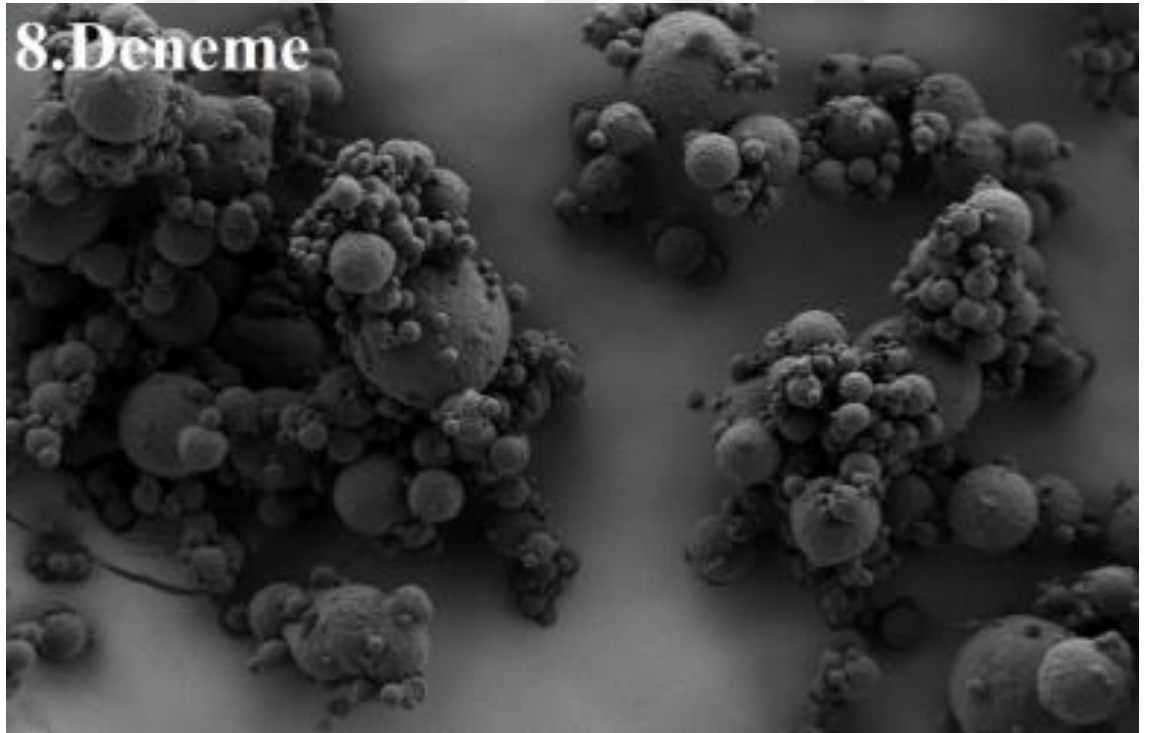


Şekil 7.7. 6. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

EK-4'ün devamı

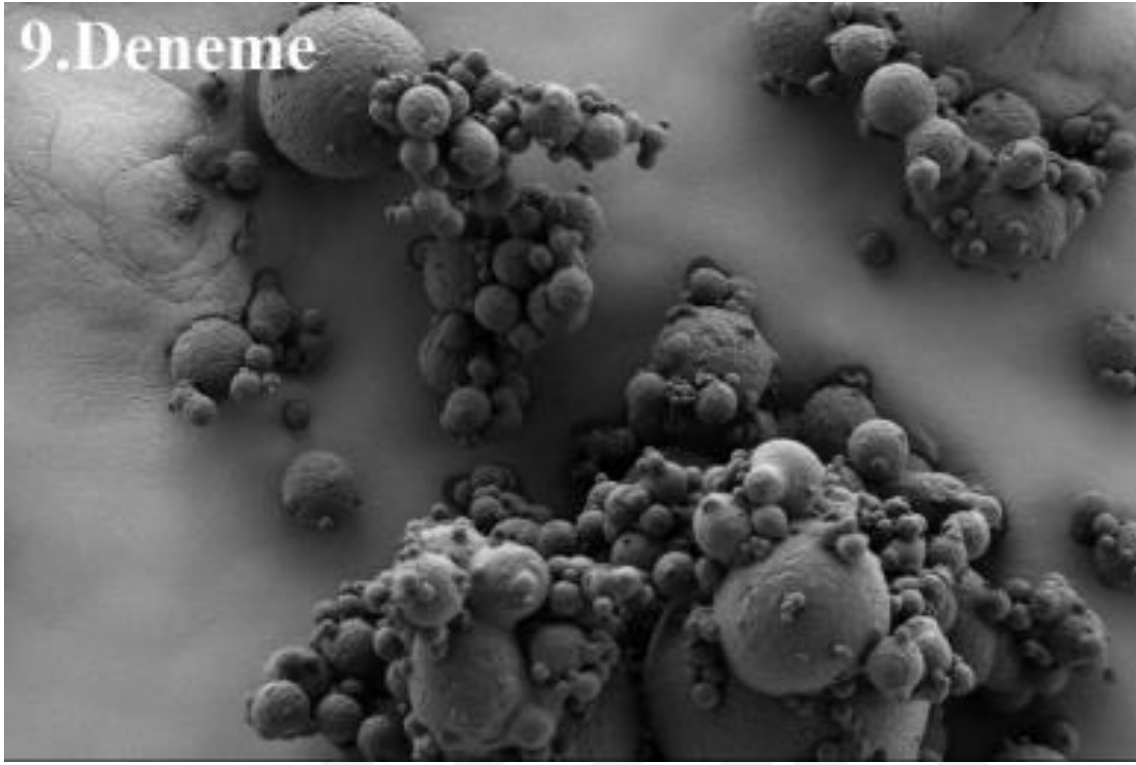


Şekil 7.8. 7. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

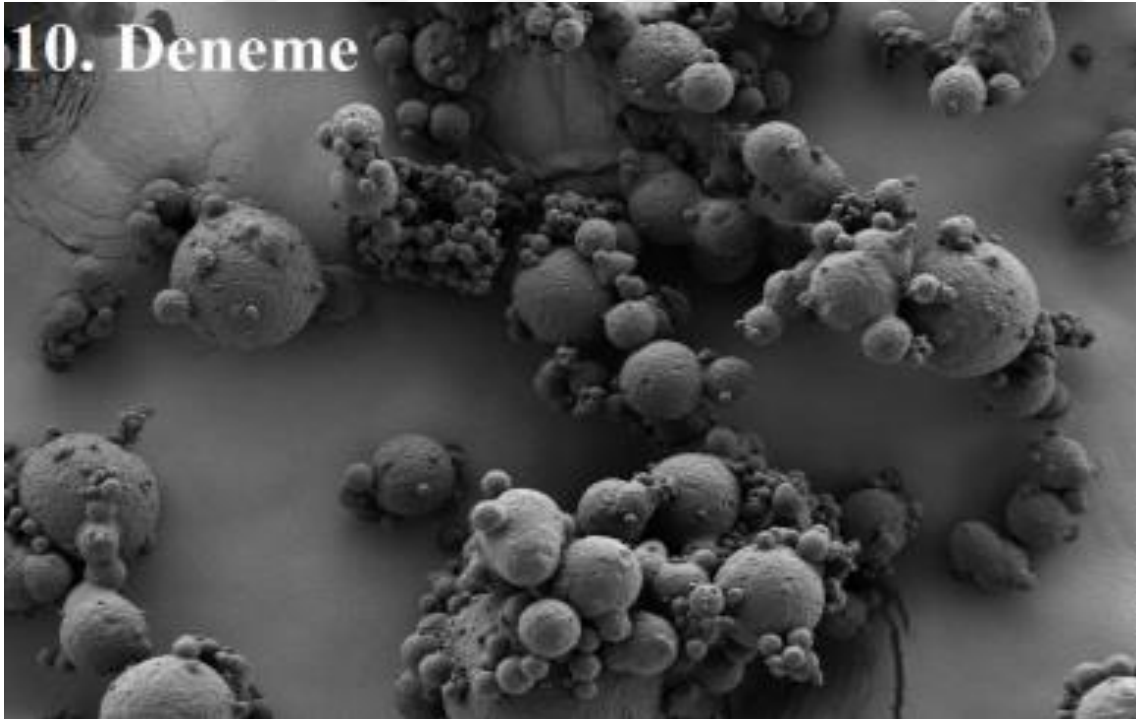


Şekil 7.9. 8. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

EK-4'ün devamı

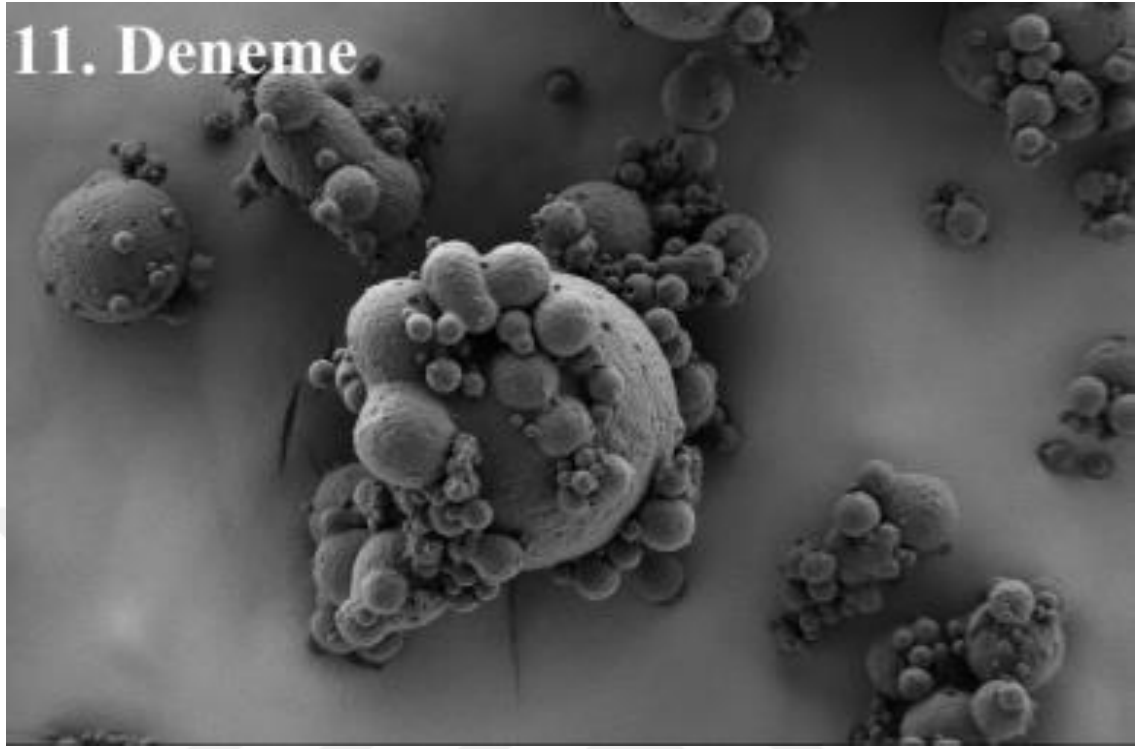


Şekil 7.10. 9. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

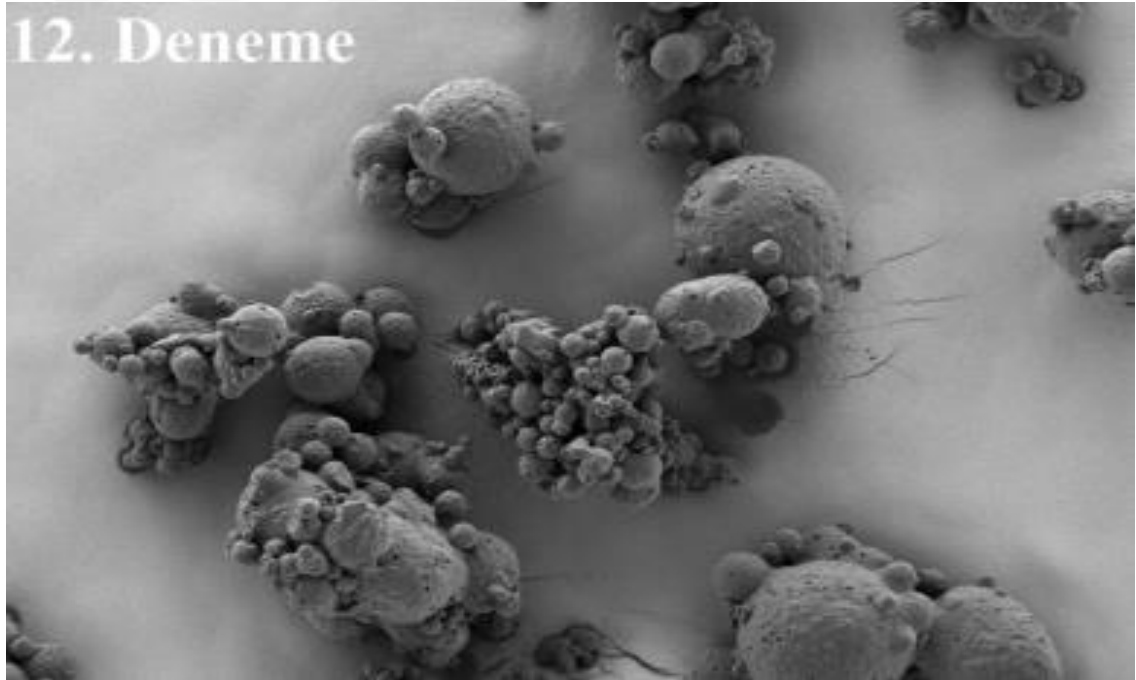


Şekil 7.11. 10. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

EK-4'ün devamı

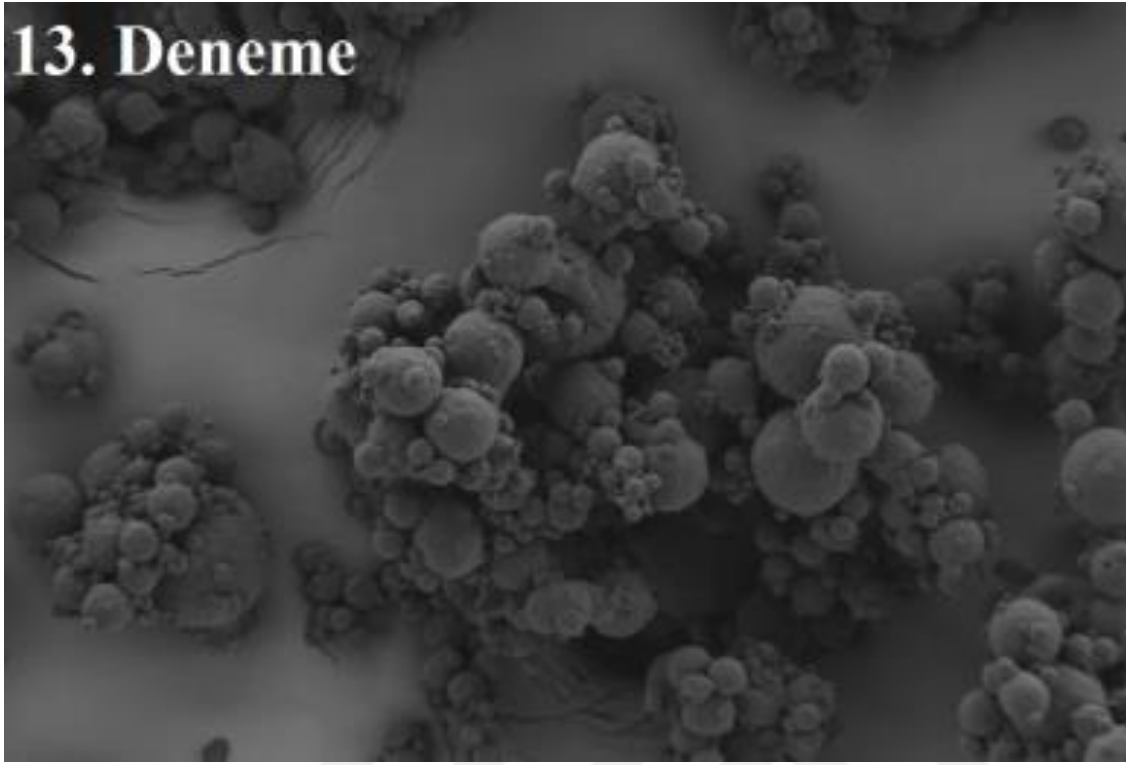


Şekil 7.12. 11. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

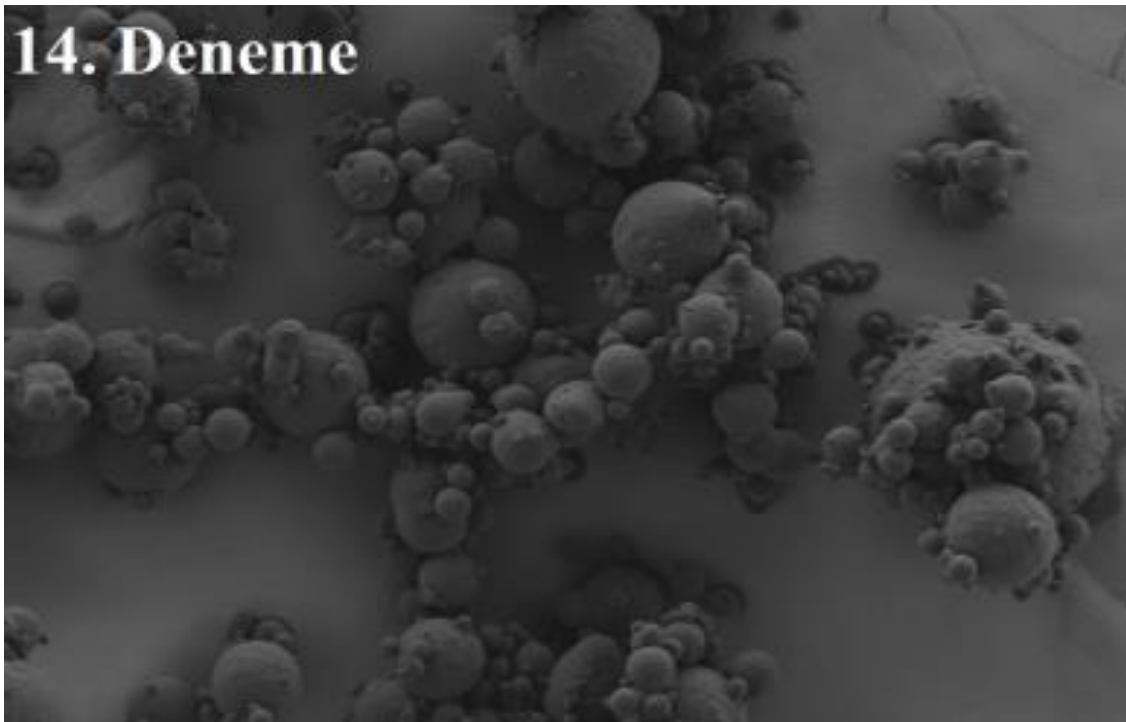


Şekil 7.13. 12. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

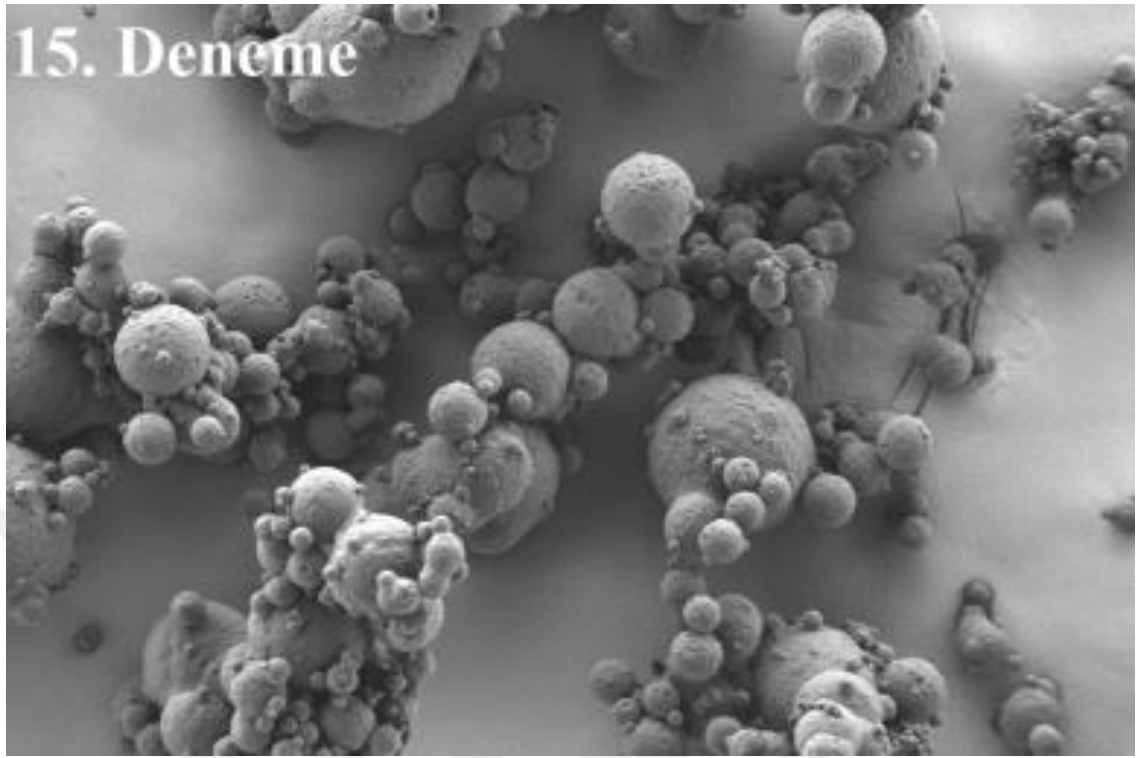
EK-4'ün devamı



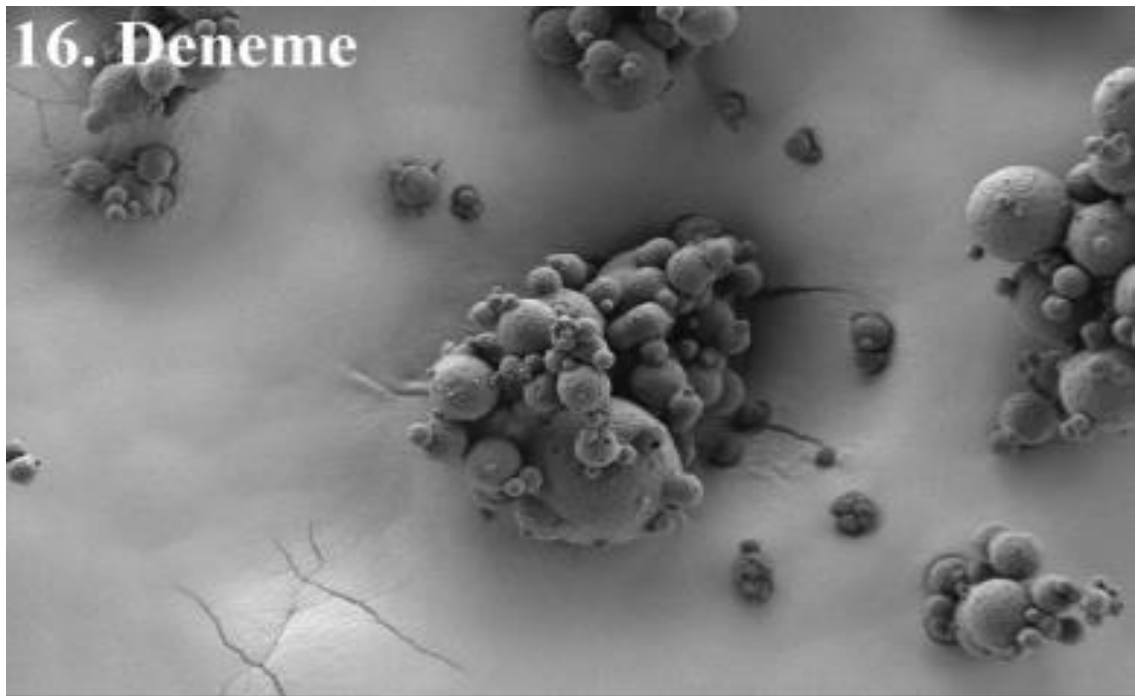
Şekil 7.14. 13. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)



Şekil 7.15. 14. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

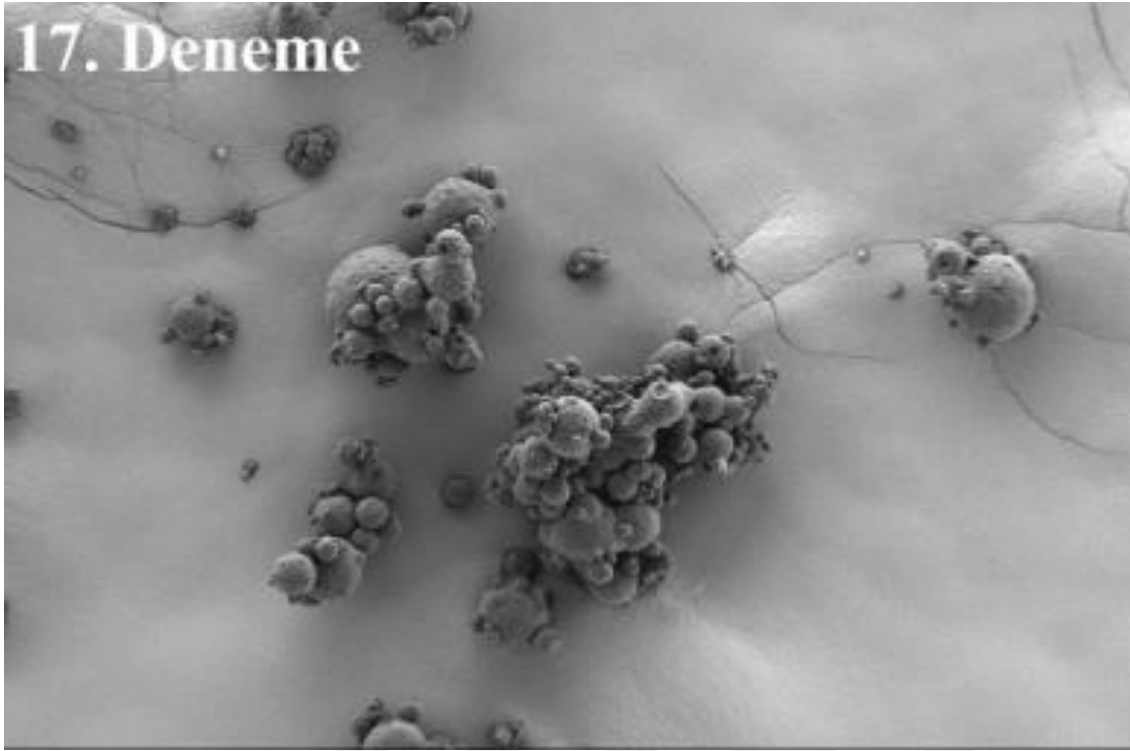
EK-4'ün devamı

Şekil 7.16. 15. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

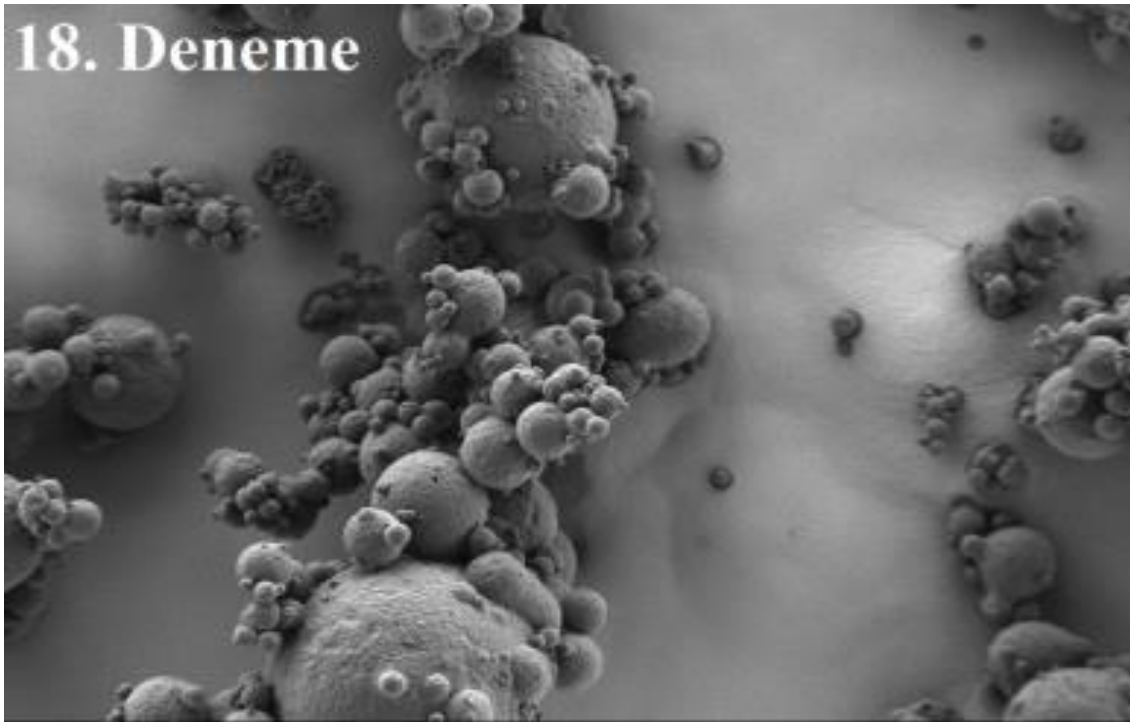


Şekil 7.17. 16. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

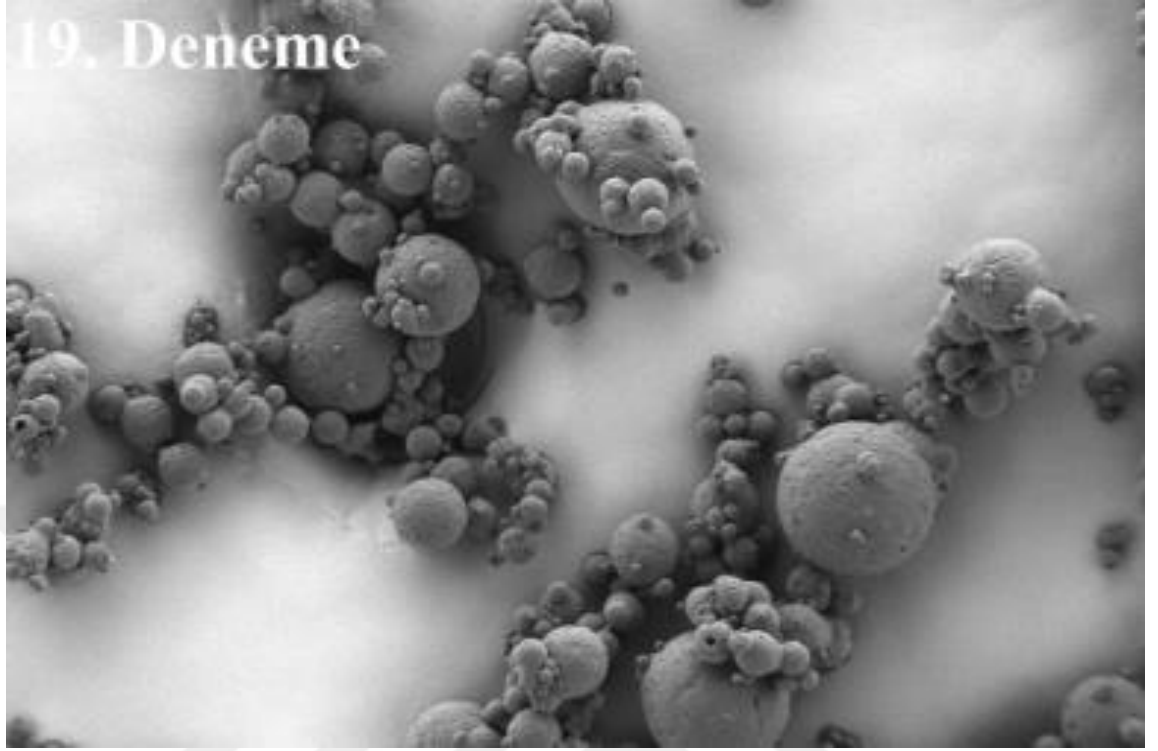
EK-4'ün devamı



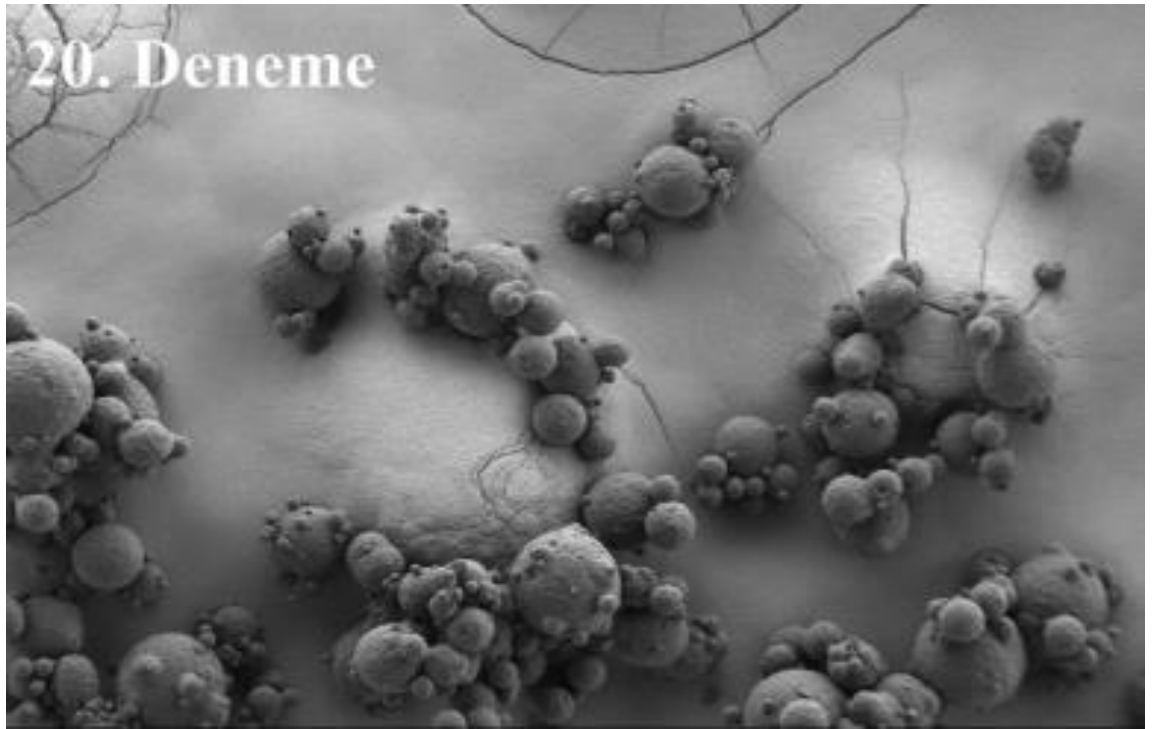
Şekil 7.18. 17. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)



Şekil 7.19. 18. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

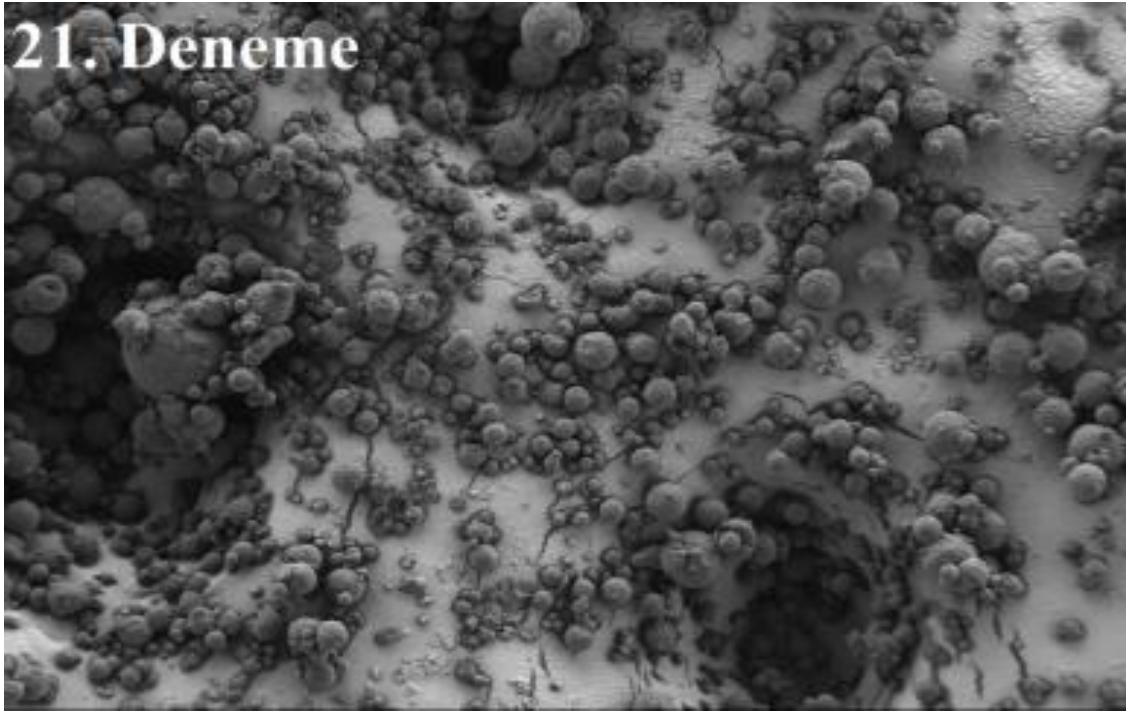
EK-4'ün devamı

Şekil 7.20. 19. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

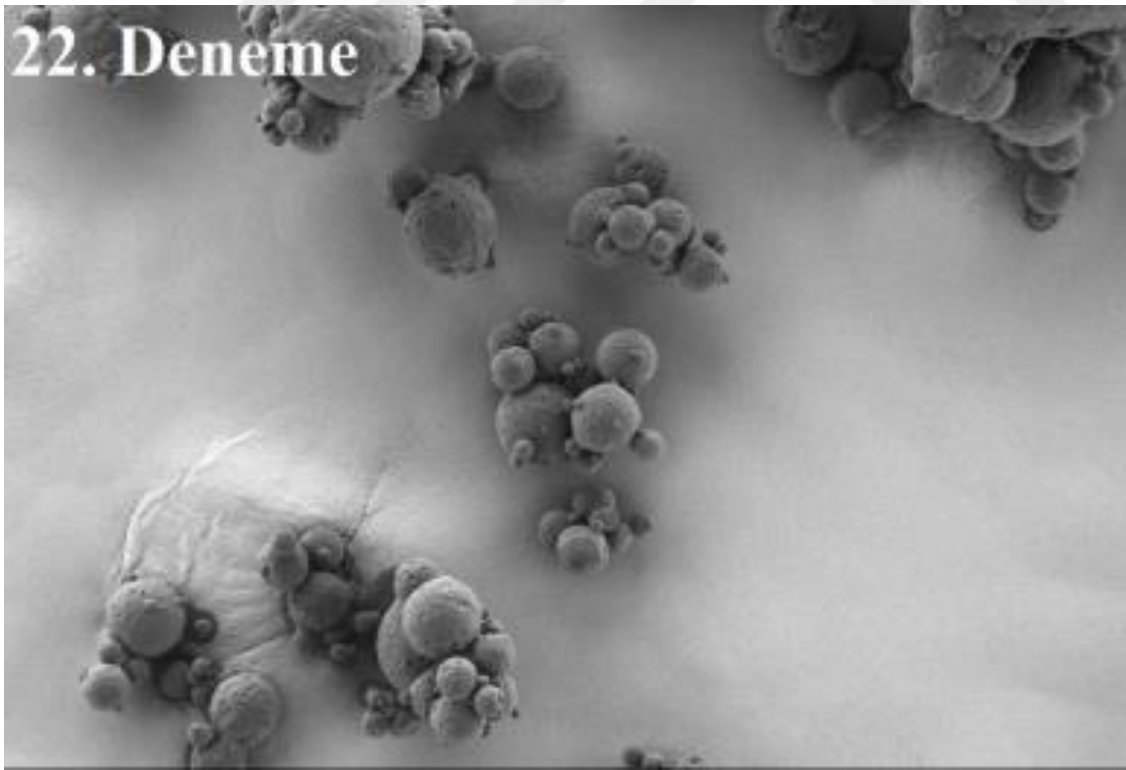


Şekil 7.21. 20. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

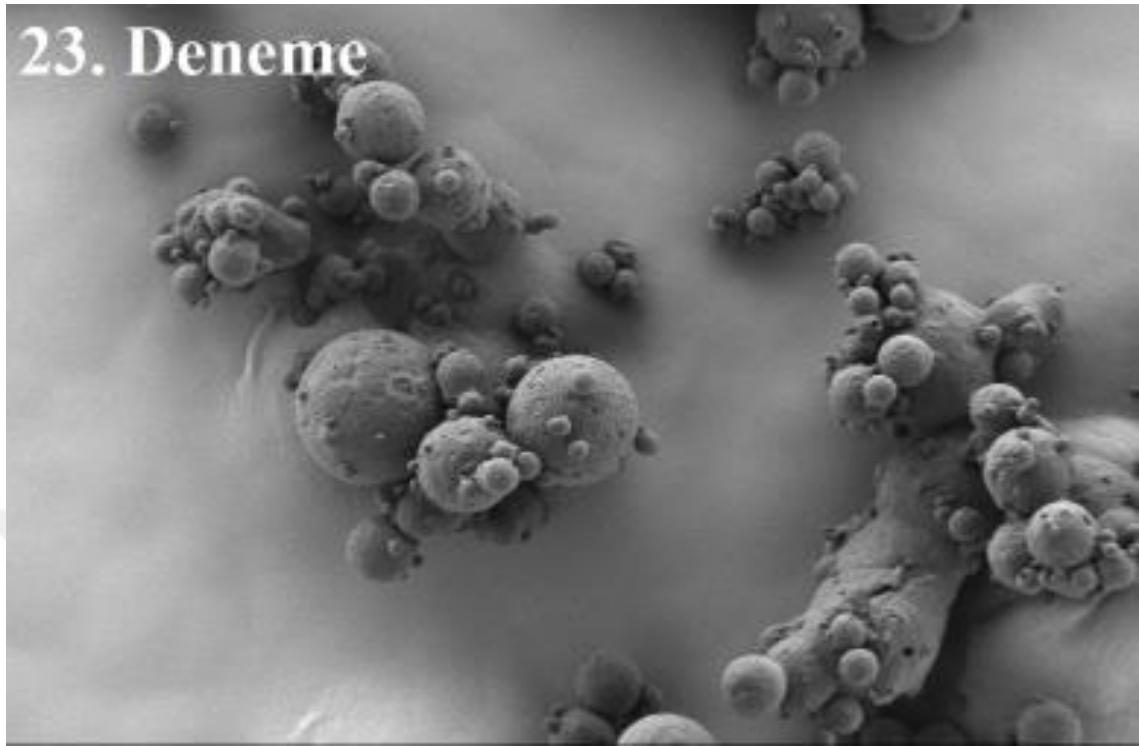
EK-4'ün devamı



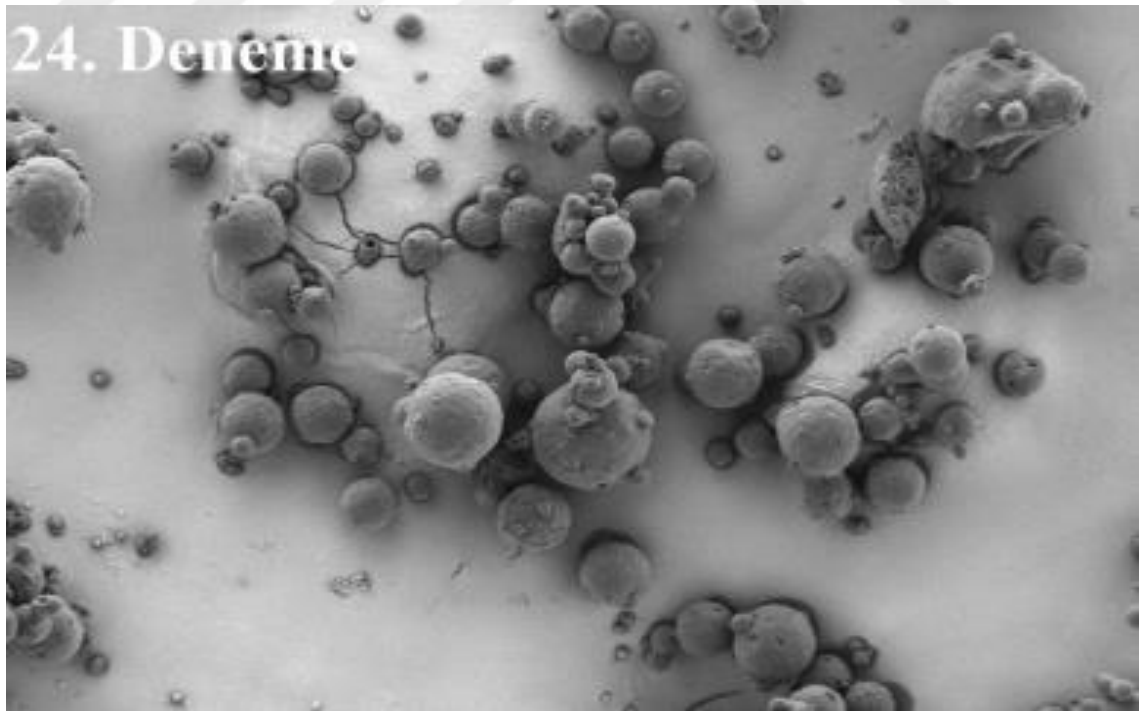
Şekil 7.22. 21. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x250)



Şekil 7.23. 22. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

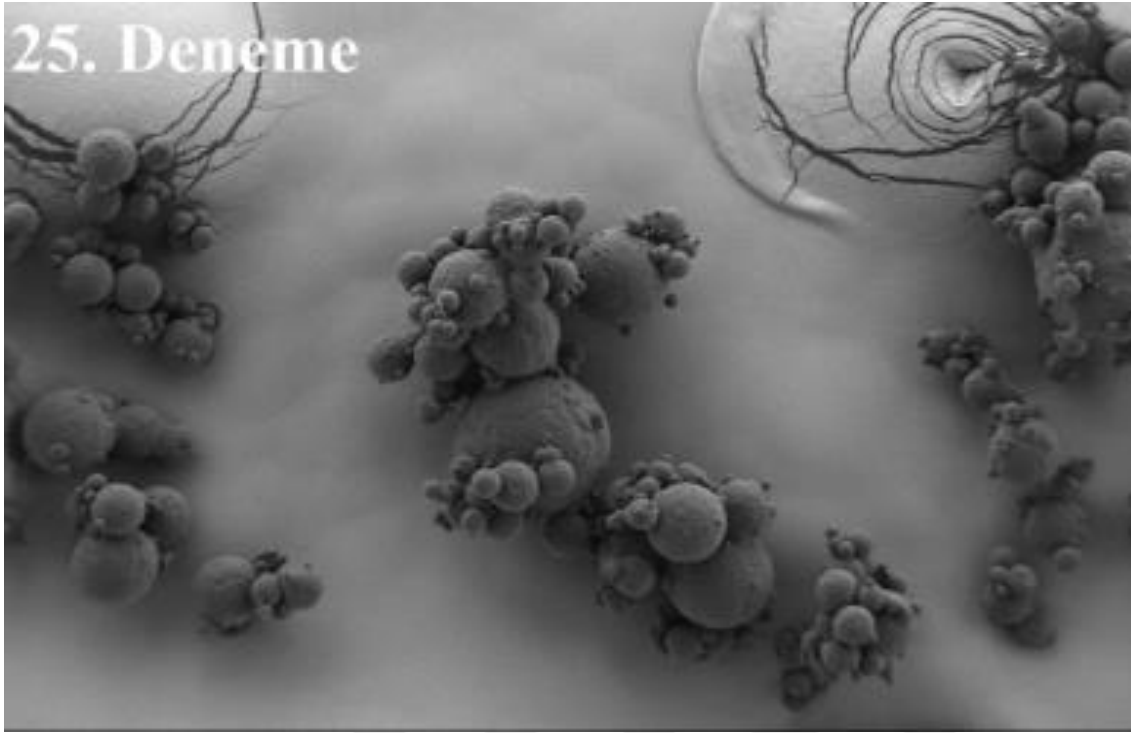
EK-4'ün devamı

Şekil 7.24. 23. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

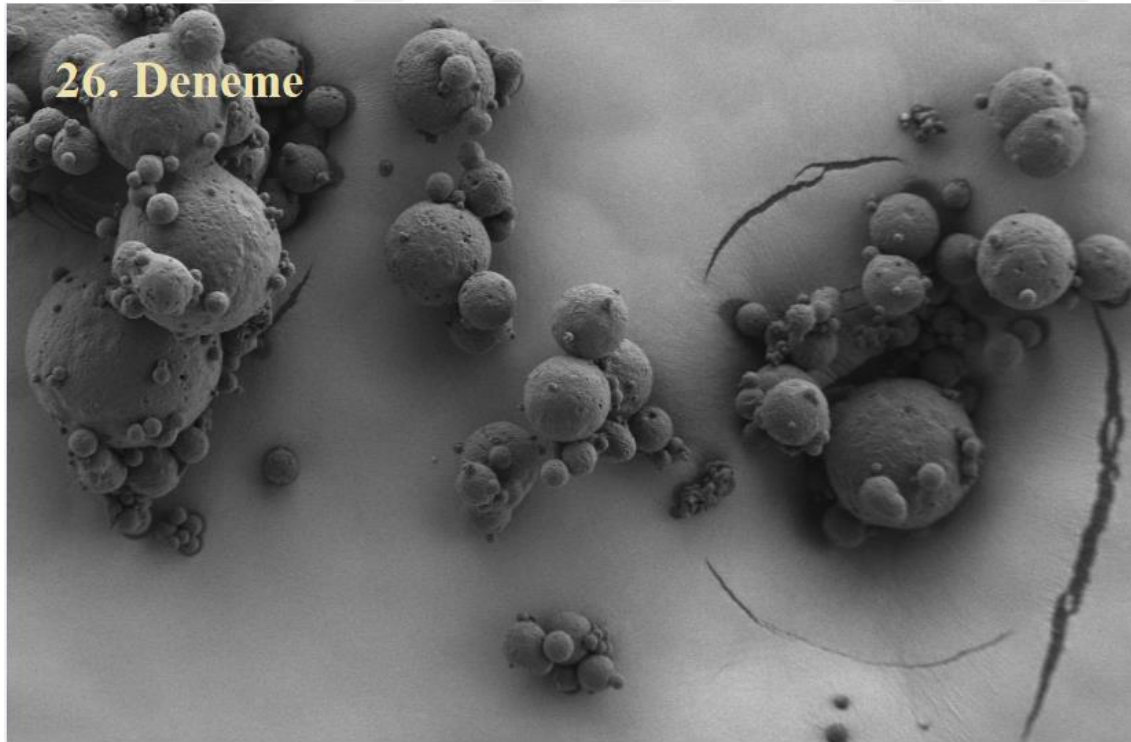


Şekil 7.25. 24. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

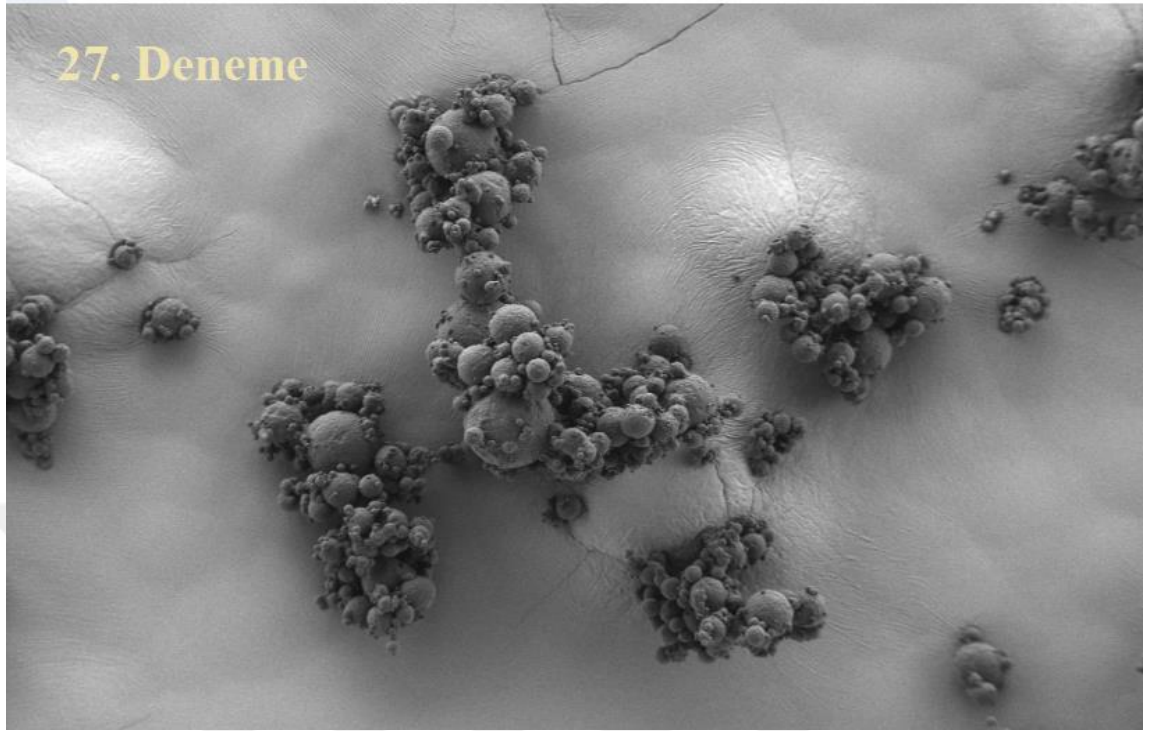
EK-4'ün devamı



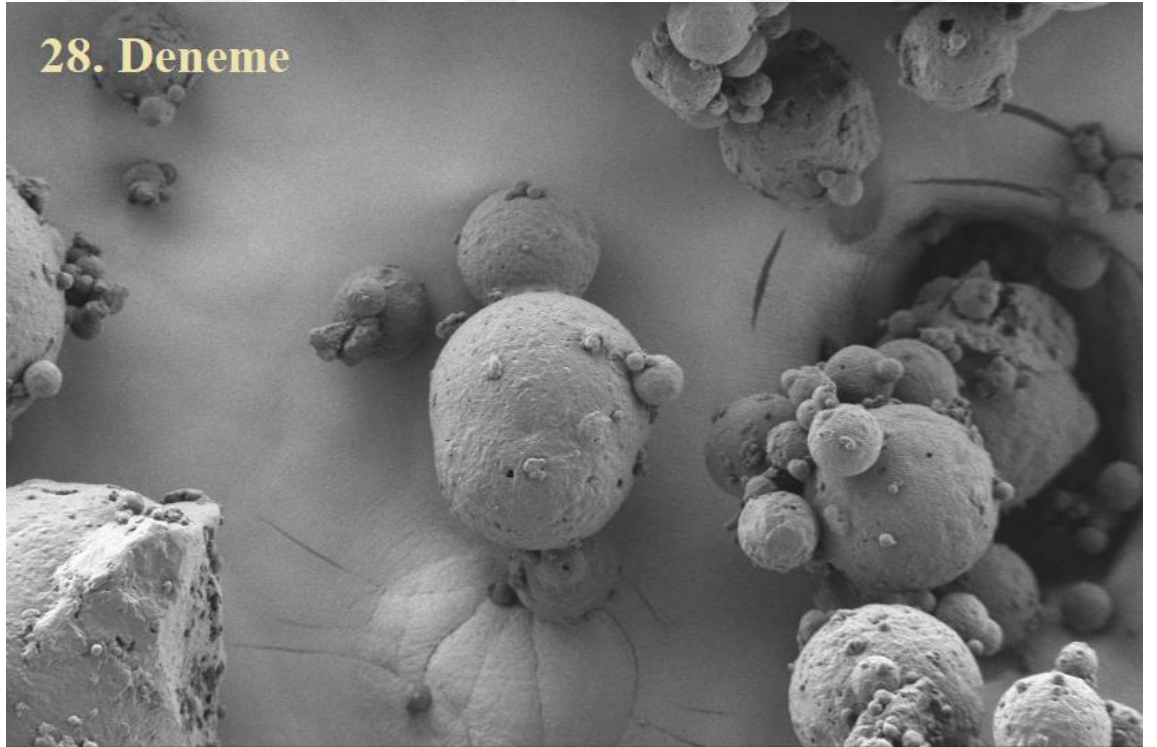
Şekil 7.26. 25. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)



Şekil 7.27. 26. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

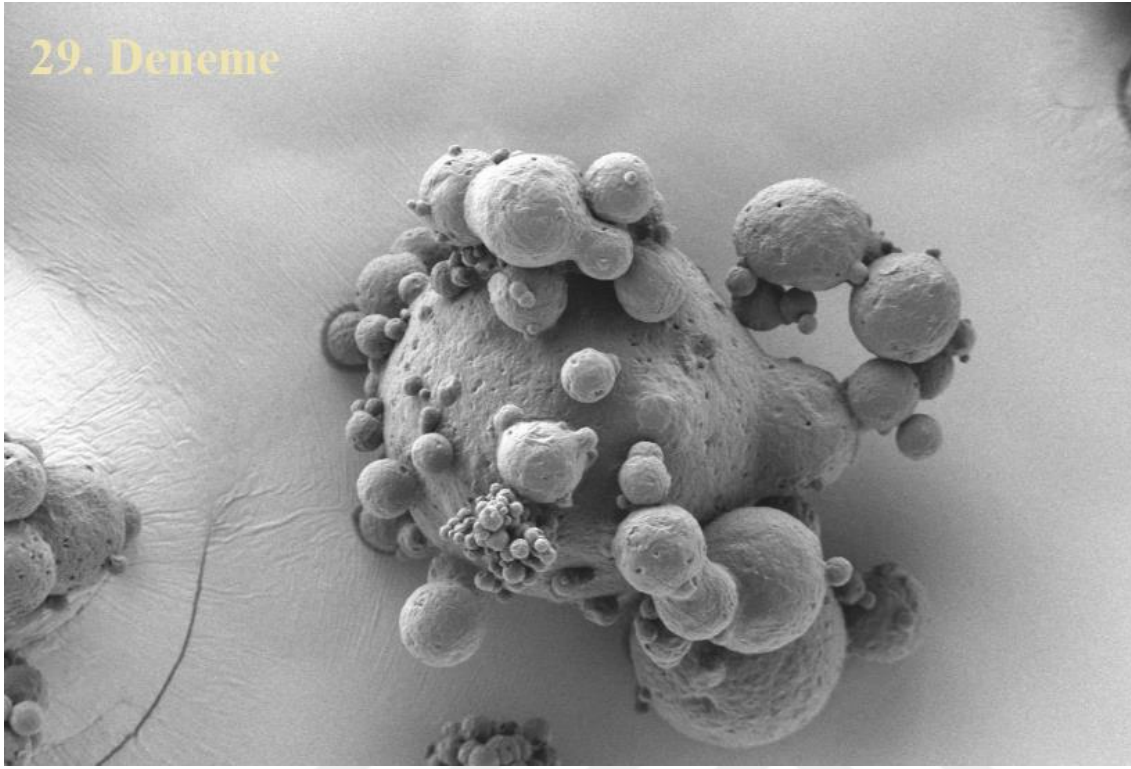
EK-4'ün devamı

Şekil 7.28. 27. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

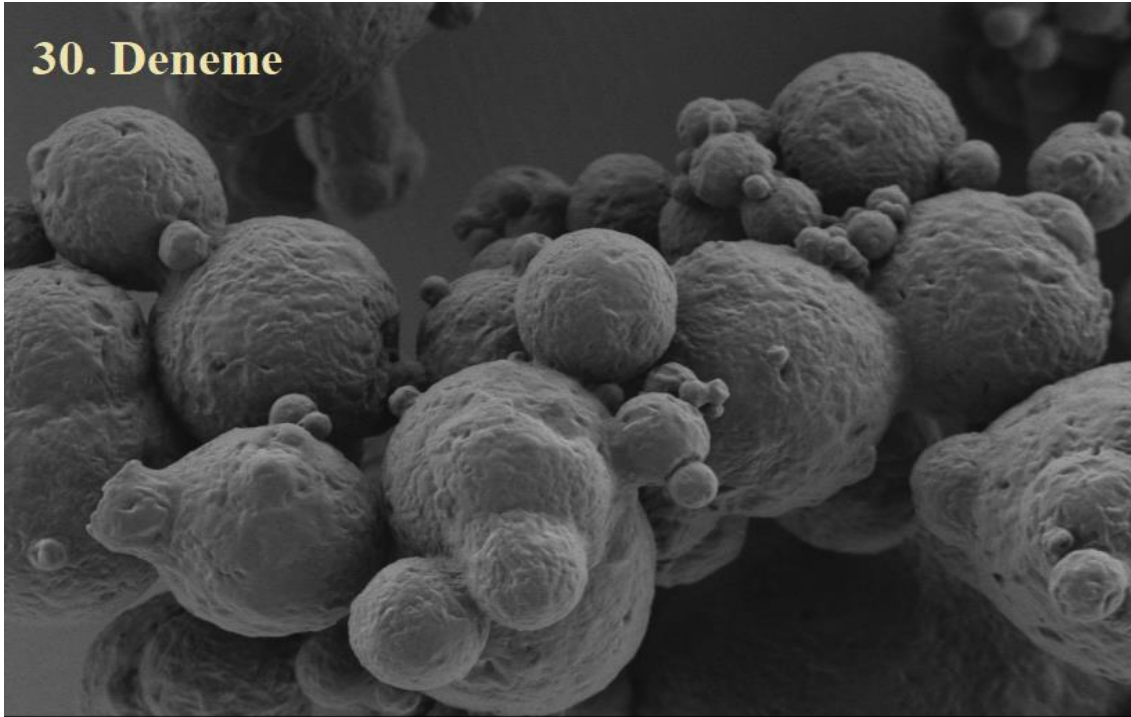


Şekil 7.29. 28. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x500)

EK-4'ün devamı



Şekil 7.30. 29. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x1000)



Şekil 7.31. 30. denemede üretilen kapsaisin mikrokapsüllerine ait SEM görüntüsü (x2500)

EK-5. Model gıdalara panelistler tarafından verilen beğeni puanları**Çizelge 7.11. Model gıdalara panelistler tarafından verilen beğeni puanları**

Model gıda çeşidi	Depolama süresi (gün)	Kontrol örneği*	Kapsaisin mikrokapsülü katkı örneği*	Saf kapsaisin katkı örneği*	En beğenilen örnek
Ayran	1	9.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	4.00 ± 0.80	Kapsaisin mikrokapsülü katkı örneği
	2	9.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	4.00 ± 0.60	
	3	9.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	3.00 ± 0.50	
	4	9.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	3.00 ± 0.40	
	5	9.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	3.00 ± 0.30	
	6	9.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	3.00 ± 0.60	
	7	9.00 ± 0.00	8.00 ± 0.70	3.00 ± 0.40	
UHT Süt	1	9.00 ± 0.00	8.00 ± 0.40	3.00 ± 0.70	Kontrol örneği
	2	9.00 ± 0.00	8.00 ± 0.60	2.00 ± 0.70	
	3	9.00 ± 0.00	7.00 ± 0.50	2.00 ± 0.90	
	4	9.00 ± 0.00	7.00 ± 0.80	2.00 ± 0.80	
	5	9.00 ± 0.00	7.00 ± 0.90	2.00 ± 0.70	
	6	9.00 ± 0.00	6.00 ± 0.70	2.00 ± 0.80	
	7	9.00 ± 0.00	6.00 ± 0.40	2.00 ± 0.20	
Salata sosu	1	9.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	5.00 ± 0.50	Kapsaisin mikrokapsülü katkı örneği
	2	9.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	4.00 ± 0.80	
	3	9.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	5.00 ± 0.80	
	4	9.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	4.00 ± 0.50	
	5	9.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	4.00 ± 0.60	
	6	9.00 ± 0.00	8.00 ± 0.80	4.00 ± 0.70	
	7	9.00 ± 0.00	8.00 ± 0.90	3.00 ± 0.60	
Sade kek	1	9.00 ± 0.00	6.00 ± 0.50	2.00 ± 0.70	Kontrol örneği
	2	9.00 ± 0.00	6.00 ± 0.40	2.00 ± 0.90	
	3	9.00 ± 0.00	5.00 ± 0.60	2.00 ± 0.90	
	4	9.00 ± 0.00	5.00 ± 0.30	2.00 ± 0.50	
	5	9.00 ± 0.00	5.00 ± 0.20	2.00 ± 0.30	
	6	9.00 ± 0.00	5.00 ± 0.10	2.00 ± 0.40	
	7	9.00 ± 0.00	5.00 ± 0.50	2.00 ± 0.70	
Ekmek	1	9.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	4.00 ± 0.60	Kapsaisin mikrokapsülü katkı örneği
	2	9.00 ± 0.00	8.00 ± 0.70	3.00 ± 0.70	
	3	9.00 ± 0.00	9.00 ± 0.60	3.00 ± 0.80	
	4	9.00 ± 0.00	8.00 ± 0.40	3.00 ± 0.50	
	5	9.00 ± 0.00	8.00 ± 0.50	3.00 ± 0.90	
	6	9.00 ± 0.00	8.00 ± 0.70	3.00 ± 0.80	
	7	9.00 ± 0.00	8.00 ± 0.50	3.00 ± 0.50	
Mayonez	1	9.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	5.00 ± 0.60	Kapsaisin mikrokapsülü katkı örneği
	2	9.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	5.00 ± 0.50	
	3	9.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	5.00 ± 0.50	
	4	9.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	5.00 ± 0.40	
	5	9.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	5.00 ± 0.90	
	6	9.00 ± 0.00	8.00 ± 0.70	4.00 ± 0.90	
	7	9.00 ± 0.00	8.00 ± 0.60	4.00 ± 0.90	

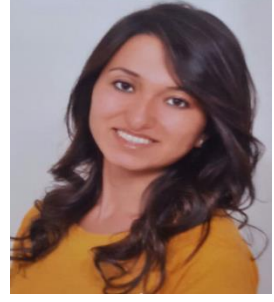
* Tabloda gösterilen değerler 9'luk skalada alınan puanları gösterir.

ÖZGEÇMİŞ

Zehra GÜNEL

zehrakasimoglu@akdeniz.edu.tr

zehragidam.07@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora	Akdeniz Üniversitesi
2014-	Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği ABD, Antalya
Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2012-2014	Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği ABD, Antalya
Lisans	Selçuk Üniversitesi
2007-2012	Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Konya

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler (SCI, SSCI, Arts and Humanities)

1. Topcu, Y., Dogan, A., **Kasimoglu, Z.**, Sahin-Nadeem, H., Polat, E. and Erkan, M. (2015). “The effects of UV radiation during the vegetative period on antioxidant compounds and postharvest quality of broccoli (*Brassica oleracea* L.)”. *Plant Physiology and Biochemistry*, 93:56-65.
2. Tontul, I., **Kasimoglu, Z.**, Asik S., Atbakan T. and Topuz, A. (2018). “Functional properties of chickpea protein isolates dried by refractance window drying”. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109:1253-1259.
3. Topcu, Y., Dogan, A., Sahin-Nadeem, H., Polat, E., **Kasimoglu, Z.** and Erkan M. (2018). “Morphological and biochemical responses of broccoli florets to supplemental ultraviolet-B illumination”. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 259:1-10.

4. **Kasimoglu, Z.**, Tontul, I., Soylu, A., Gulen, K. and Topuz, A. (2018). "The oxidative stability of flavoured virgin olive oil: the effect of the water activity of rosemary". *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3): 2080-2086.
5. **Gunel, Z.**, Tontul, I., Dincer, C., Topuz, A. and Sahin-Nadeem, H. (2018). "Influence of microwave, the combined microwave/hot air and only hot air roasting on the formation of heat-induced contaminants of carob powder". *Food Additives and Contaminants, Part A*, 35(12): 2332-2339.

Uluslararası Diğer Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

1. **Kasimoglu, Z.**, Yildirim, A., Alkan, S., Topuz, A. and Sahin-Nadeem, H. (2016). "Microencapsulation of chestnut seedcoat's water extract by spray drying". *Journal of Ongoing Chemical Research*, 2 (2): 34-44

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında (Proceeding) Basılan Bildiriler

1. **Kasımoğlu Z.** and Şahin-Nadeem H. (2014). Effects of combined microwave-hot air roasting on the physicochemical and sensory properties of carob powder. Functional Foods, Nutraceuticals, Natural Health Products, and Dietary Supplements, İstanbul, Turkey, October 14-17, page 199. (Özet Bildiri)
2. Şahin-Nadeem H. and **Kasımoğlu Z.** (2014). Sugar composition and D-pinitol content of carob powders as affected by different roasting processes. Functional Foods, Nutraceuticals, Natural Health Products, and Dietary Supplements, İstanbul, Turkey, October 14-17, page 193. (Özet Bildiri)
3. **Kasımoğlu Z.**, Menzek F., Bulgur S. and Topuz A. (2016). Determination of some physicochemical properties of water-insoluble crude fiber produced from brewed black tea waste. XIIth International Conference on Food Physicists, Debrecen, Hungary, July 6-8, page 49. (Özet Bildiri, En iyi poster ikincilik ödülü)
4. Şahin-Nadeem H., **Kasımoğlu Z.**, Yıldırım A., Alkan S. and Topuz A. (2016). Microencapsulation of chestnut seedcoat's water extract by spray drying. 2nd Congress on Food Structure & Design, Antalya, Turkey, November 26-28, pages 150-151. (Özet Bildiri)
5. **Kasımoğlu Z.** and Şahin-Nadeem H. (2017). Determination of antioxidant properties and volatiles in raw and pickled green/black olives. 1st International Congress on Medicinal and Aromatic Plants, Konya, Turkey, May 9-12. (Özet Bildiri)
6. **Kasımoğlu Z.**, Şahin-Nadeem H. and Topuz A. (2017). Rosmarinic acid contents and antioxidant properties of different oregano / thyme species. 1st

International Congress on Medicinal and Aromatic Plants, Konya, Turkey, May 9-12. (Sözlü Bildiri)

7. Aşık S., Atbakan T., **Kasımoğlu Z.** and Topuz A. (2017). Optimization of herbal tea formulation. 1st International Congress on Medicinal and Aromatic Plants, Konya, Turkey, May 9-12. (Özet Bildiri)
8. Atbakan T., Aşık S., **Kasımoğlu Z.** and Topuz A. (2017). Total phenolic content and sensory properties of mixed herbal tea produced from different aromatic plants. 1st International Congress on Medicinal and Aromatic Plants, Konya, Turkey, May 9-12. (Özet Bildiri)
9. Dogan A., Topcu Y., Polat E., Sahin Nadeem H., **Kasimoglu Z.** and Erkan M. (2017). The effects of UV-B illumination on morphological and biochemical properties of broccoli florets. International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies, Nevşehir, Turkey, May 15-17. (Sözlü Bildiri)
10. Varhan E., **Kasimoglu Z.**, Koc M. and Sahin-Nadeem H. (2018). The effect of different wall materials on the production of suppressed-pungent capsaicin microparticles. 21st International Drying Symposium, Valencia, Spain, 11-14 September (Tam Metin Bildiri)
11. **Günel, Z.**, Parlak, A., Adsoy, M. and Topuz, A. Some physicochemical properties of Turkish coffee fortified with apricot kernel powder. 13th International Conference of Food Physicists, Antalya, Oct 23-25 2018 (Özet Bildiri)

Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler

1. Şahin Nadeem H., Özen M.A. ve **Kasımoğlu Z.** (2015). Hızlandırılmış Oksidasyon Testinin Nar Çekirdek Yağı Mikroenkapsüllerinin Yağ Asidi Bileşimine Etkisi. İç Anadolu Bölgesi 2. Gıda ve Tarım Kongresi, Nevşehir, Türkiye, 28-30 Nisan. (Sözlü Bildiri)
2. **Kasımoğlu Z.** ve Şahin Nadeem H. (2015). Ön-Yüz (Front-Face) Floresans Spektroskopisi ve Gıda Analizlerinde Kullanımı. İç Anadolu Bölgesi 2. Gıda ve Tarım Kongresi, Nevşehir, Türkiye, 28-30 Nisan. (Özet Bildiri)
3. Doğan A., Topçu Y. , **Kasımoğlu Z.**, Şahin Nadeem H., Polat E. ve Erkan M. (2015). Farklı Dozlarda UV-B Işın Uygulamalarının Brokkolide Bitki Gelişimi ve Baş Kalitesi Üzerine Etkileri. VII. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi, Çanakkale, Türkiye, 25-29 Ağustos. (Özet Bildiri)
4. **Kasımoğlu Z.**, Başunal H. Ve Topuz A. (2016). Vakum İmpregnasyon Teknolojisi ve Gıda Endüstrisinde Kullanımı. Türkiye 12. Gıda Kongresi, Edirne, Türkiye, 05-07 Ekim. (Özet Bildiri)

Projeler

1. Geleneksel Türk Gıdaları Odaklı Sağlığı Geliştirici Gıdalar Üzerine Bir Araştırma ve Eğitim Ağı Kurulması. AB Destekli Diğer Projeler, 110 O 797, **Bursiyer** (Tamamlandı)
2. Mikrodalga, Mikrodalga+Sıcak Hava ve Yalnız Sıcak Hava Kullanılan Kavurma İşlemlerinin Keçiyoynuzu Tozunun Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerine Etkisi. TÜBİTAK (1002) Projesi, 113 O 819, **Yardımcı Araştırmacı** (Tamamlandı)
3. Farklı Koşullarda Kavurma ile Elde Edilen Keçiyoynuzu Tozunda Isıl Kontaminant Oluşumunun Ön Yüz (Front-Face) Floresans Spektroskopisi ile İzlenebilirliği. BAP Araştırma Projesi, 2013.01.0102.016, **Yardımcı Araştırmacı** (Tamamlandı)
4. Yakıcılık Hissi Baskılanmış Kapsaisin Mikropartiküllerin Üretimi ve Ürün Stabilesinin Belirlenmesi. TÜBİTAK (1001) Projesi, 116 O 499, **Bursiyer** (Tamamlandı)

Ödüller / Patentler / Sertifikalar / Katılım Belgeleri

1. Lise birinciliği, Özel Safa Ali Rıza Özderici Anadolu Lisesi, Kayseri, 2007
2. Kuruluş İçi Kalite Tetkikçisi Eğitim Sertifikası, Kayzer Kalibrasyon ve Mühendislik, Konya, 2010
3. ISO 22000 Gıda Güvenliği Yönetim Sistemi Eğitim Sertifikası, Kayzer Kalibrasyon ve Mühendislik, Konya, 2010
4. ISO 9001:2008 Kalite Yönetim Sistemi Eğitim Sertifikası, Kayzer Kalibrasyon ve Mühendislik, Konya, 2010
5. Onur Belgesi, Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dekanlığı, 2011
6. İleri istatistiki analizler/Temel Kemometri/ Bilimsel Yayın Amaçlı İstatistik Eğitimi Kursu Katılım Belgesi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 29-31 Ağustos 2014
7. En iyi poster ikincilik ödülü “Determination of some physicochemical properties of water-insoluble crude fiber produced from brewed black tea waste” XIIth International Conference on Food Physicists, Debrecen, Hungary, July 6-8 2016, page 49
8. Shimadzu Gaz Kromatografisi Cihazı Eğitimi Sertifikası, Ant Teknik, 2018, Aydın
9. Shimadzu HPLC Cihazı Eğitimi Sertifikası, Ant Teknik, 2018, Aydın

10. Antalya Organize Sanayi Bölgesi (AOSB) Ar-Ge ve İnovasyon Proje Pazarı, Tarım-Gıda-Kimya-Biyoteknoloji Kategorisi, Proje Birinciliği, “Yakıcılık Hissi Baskılanmış Kapsaisin Mikropartikülleri Üretimi”, 29-30 Mart 2018, Antalya.
11. Akdeniz İş Sağlığı ve Güvenliği Farkındalık Sempozyumu Katılım Belgesi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 10 Mayıs 2018
12. XIIIth International Conference of Food Physicists, Organizasyon Komitesi Üyesi, Antalya, Türkiye, Ekim 2018
13. XIIIth International Conference of Food Physicists, Proceeding Book Editor, Antalya, Türkiye, Ekim 2018

