



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



**EJDER MEYVESİ (*Hylocereus polyrhizus*)'NİN
FERMANTASYONU İLE YÜKSEK BETASİYANİN
İÇERİKLİ TOZ ÜRÜN ELDESİ VE FONKSİYONEL
İÇECEK GELİŞTİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Büşra YILMAZ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir
2024

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**EJDER MEYVESİ (*Hylocereus polyrhizus*)'NİN
FERMANTASYONU İLE YÜKSEK BETASİYANİN
İÇERİKLİ TOZ ÜRÜN ELDESİ VE FONKSİYONEL
İÇECEK GELİŞTİRİLMESİ**

Büşra YILMAZ

Danışmanı: Doç. Dr. Seda ERSUS

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Gıda Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

İzmir
2024

Büşra YILMAZ tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “**EJDER MEYVESİ (*Hylocereus polyrhizus*)’NİN FERMANTASYONU İLE YÜKSEK BETASIYANİN İÇERİKLİ TOZ ÜRÜN ELDESİ VE FONKSİYONEL İÇECEK GELİŞTİRİLMESİ**” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 12/09/2024 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Doç. Dr. Seda ERSUS

Raportör Üye : Doç. Dr. Şebnem ŞİMŞEK

Üye : Prof. Dr. Neriman BAĞDATLIOĞLU

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**Ejder Meyvesi (*Hylocereus polyrhizus*)’nin Fermantasyonu İle Yüksek Betasiyanin İçerikli Toz Ürün Eldesi Ve Fonksiyonel İçecek Geliştirilmesi**” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

12/ 09 / 2024

Büşra YILMAZ

ÖZET**EJDER MEYVESİ (*Hylocereus polyrhizus*)’NİN FERMANTASYONU
İLE YÜKSEK BETASİYANİN İÇERİKLİ TOZ ÜRÜN ELDESİ VE
FONKSİYONEL İÇECEK GELİŞTİRİLMESİ**

YILMAZ, Büşra

Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Seda ERSUS

Eylül 2024, 128 sayfa

Tez çalışmasında ejder meyvesinde baskın olarak bulunan betalainlerin (betasiyanin ve betaksantin) olmak üzere renk maddelerinin yüksek verimlilikte ekstraksiyonun sağlanması ve pigment stabilitesinin artırılması amacıyla fermantasyon işlemi uygulanmıştır. Ultrases destekli yüksek verimlilikte ekstrakte edilen renk maddeleri maltodekstrin, akasya zımkı ve guar zımkı kaplama maddeleri kullanarak mikroenkapsüle edilmiştir. Pembe renkli doğal renk maddesinin sağlıklı içecek formülasyonlarında kullanım potansiyeli belirlenmiştir. Fermantasyon işleminde inokulum olarak *Saccharomyces cerevisiae* mayası kullanılmıştır. Maya üretimi ve ekstraksiyon parametreleri Design Expert programı ile Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM) kullanılarak optimize edilmiştir. Maya üretiminde optimum süre, 54 sa; pH değeri, 4,5; glukoz miktarı, 20,35 g/L ve OD değeri 32,40 olarak belirlenmiştir. Renk maddelerinin ekstraksiyonunda ise ultrases süresi 20 dk, katı:çözücü oranı 1:7 (ağ:h) olarak tespit edilmiştir, ekstraksiyon sıcaklığı bu koşullarda 50 °C olarak ölçülmüştür. Optimum koşullarda ekstrakte edilen renk maddesinde bulunan betasiyanin miktarı 58,30 mg/L olarak belirlenmiştir. Mikroenkapsüle örneklerin 4 hafta süreyle 4 ve 25 °C’de depolanmasında en yüksek pigment stabilitesi guar zımkı örneklerde bulunmuştur. Guar zımkı ile mikroenkapsüle edilen fermente örneklerin üretim sonrası fenolik madde içeriği 161,69 mg/100g KM, betasiyanin 136,97±4,12 mg/100g KM, betaksantin 79,04±4,51 mg/100g KM, toplam betalain 216,01±6,32 mg/100g KM, L*değeri 27,04±0,02, a* değeri 37,53±0,03, b* değeri 2,53±0,01, kroma değeri 37,61±0,03, hue açısı 0,07±0,01 bulunmuştur. Depolama sonunda betasiyanin değeri 4 °C’de %3,59, 25 °C’de %18,97 azalmıştır. Guar zımkı içeren

içecek formülasyonu geliştirildiği çalışmada duyuşal analiz sonuçlarına göre örneklerin rengi 5 puan üzerinden 4,58 puan ortalaması almıştır.

Anahtar kelimeler: Ejder meyvesi, betalain, fermantasyon, mikroenkapsülasyon, ultrases destekli ekstraksiyon, doğal renk maddesi



ABSTRACT**PRODUCTION OF POWDER PRODUCT WITH HIGH
BETACYANIN CONTENT BY FERMENTATION OF DRAGON
FRUIT (*Hylocereus polyrhizus*) AND FUNCTIONAL BEVERAGE
DEVELOPMENT**

YILMAZ, Büşra

MSc in Food Engineering

Supervisor: Doc. Dr. Seda ERSUS

September 2024, 128 pages

In the thesis study, fermentation process was applied in order to provide high efficiency extraction of color substances, mainly betalains (betacyanin and betaxanthin) found in dragon fruit, and to increase pigment stability. Ultrasound-assisted high efficiency extracted color substances were microencapsulated using maltodextrin, acacia gum and guar gum coating materials. The potential of pink natural color substance to be used in healthy beverage formulations was determined. *Saccharomyces cerevisiae* yeast was used as inoculum in the fermentation process. Yeast production and extraction parameters were optimized using Response Surface Methodology (RSM) with Design Expert program. The optimum time in yeast production was determined as 54 h; pH value as 4,5; glucose amount as 20,35 g/L and OD value as 32,40. In the extraction of colorants, the ultrasound duration was determined as 20 min, the solid:solvent ratio was determined as 1:7 (w:v), and the extraction temperature was measured as 50 °C under these conditions. The amount of betacyanin in the colorant extracted under optimum conditions was determined as 58,30 mg/L. The highest pigment stability was found in guar gum samples when microencapsulated samples were stored at 4 and 25 °C for 4 weeks. Post-production phenolic content of fermented samples microencapsulated with guar gum was found as 161,69 mg/100g DM, betacyanin 136,97±4,12 mg/100g DM, betaxanthin 79,04±4,51 mg/100g DM, total betalain 216,01±6,32 mg/100g DM, L* value 27,04±0,02, a* value 37,53±0,03, b* value 2,53±0,01, chroma value 37,61±0,03, hue angle 0,07±0,01. At the end of storage, betacyanin value decreased by 3,59% at 4 °C and 18,97% at 25 °C. According to the sensory analysis results in the study in which the beverage formulation containing guar gum was developed, the color of the samples received an average of 4.58 points out of 5 points.

Key words: Dragon fruit, betalain, fermentation, microencapsulation, ultrasound-assisted extraction, natural colorant



ÖNSÖZ

Bu çalışmada, betalain ekstraksiyonunda fermantasyon işleminin farklı hidrokolloidlerle mikrokapsüle edilen toz renk maddelerine etkisi araştırılmış; elde edilen ürünlerin fiziksel, kimyasal ve duyuşal özellikleri incelenmiştir. Çalışma, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilmiştir.

Ejder meyvesinin zengin betalain içeriğindeki betasiyaninlerin yüksek miktarda ve stabil hale getirilmesi, endüstriyel kullanımı açısından büyük önem taşımaktadır. Betalain ekstraksiyonu ve üretimi için birçok optimizasyon yöntemi literatürde yer almakta olup, bu çalışma kapsamında fermantasyon ve enkapsülasyon koşulları geliştirilmiş ve mayaların kullanımıyla elde edilecek renk maddesi üzerine araştırmalar yapılmıştır.

Bu yönüyle çalışma, hem bilimsel hem de endüstriyel açıdan değerli bir katkı sunmaktadır.

İZMİR

12/09/2023

Büşra YILMAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAMI)	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAMI)	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAMI)	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1 Betalain Yapısı ve Özellikleri	4
2.2 Doğal Betalain Kaynakları	6
2.3 Doğal Betalain Kaynağı: Ejder Meyvesi	7
2.3.1 Besin değerleri ve sağlık yararları	8
2.3.2 Ejder meyvesi yetiştiriciliği	10
2.4 Yüksek Betasiyanin İçerikli Betalain Ekstraksiyon ve Stabilizasyonu	10
2.4.1 Pigment ekstraksiyonu	11
2.4.2 Betalain stabilizasyonu	14
2.5 Enkapsülasyon	17
2.6 Dondurarak Kurutma (Liyofilizasyon)	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM	22
3.1 Materyal	22
3.2 Çalışma Planı	23
3.3 Metot	25

3.3.1 Üretim yöntemleri	25
3.3.2 Analiz yöntemleri.....	34
4 BULGULAR VE TARTIŞMA	41
4.1 Ejder meyvesinin fizikokimyasal analiz sonuçları.....	41
4.2 Maya Üretimi ve Fermantasyon İşlemi.....	44
4.2.1.1 Maya üretim parametrelerinin Box-Behnken deney tasarımı ile optimizasyonu 44	
4.2.2 Fermantasyon koşullarının belirlenmesi	49
4.3 Ekstraksiyon.....	51
4.3.1 Ekstraksiyon solventi	52
4.3.2 Yanıt Yüzey Methodu (RSM) kullanılarak ultrases süresi ve katı:çözgen oranının optimizasyonu.....	53
4.3.3 Sürekli ve kademeli betalain ekstraksiyon deneme sonuçları.....	56
4.4 Mikrokapsülasyon çalışmaları	58
4.5 Stabilité Çalışması.....	60
4.5.1 Mikrokapsüle örneklerin nem değeriindeki değışim.....	61
4.5.2 Mikroenkapsüle örneklerin farklı sıcaklıklarda depolanması süresince toplam fenolik madde miktarındaki değışimi	62
4.5.3 Mikroenkapsüle örneklerin betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain miktarlarındaki değışimi	66
4.5.4 Mikrokapsüle toz örneklerin renk değeriindeki değışim	76
4.6 Fonksiyonel İçecek Geliştirilmesi.....	87
4.7 Duyusal Analiz.....	89
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	91
KAYNAK DİZİNİ	97
TEŞEKKÜR.....	114
ÖZGEÇMİŞ	115
EKLER.....	117

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2. 1 Betalain pigmenti a) Betanin (Betanidin R=H), b) Indikaksantin, c) Betalamik asit (Zhang vd., 2008)	4
Şekil 2. 2 Betalain stabilitesini etkileyen faktörler (Esatbeyoglu vd., 2015)	15
Şekil 2. 3 Dondurarak kurutma şematik gösterimi	21
Şekil 3. 1 Fonksiyonel özellikte toz renk maddesi üretimi akım şeması	24
Şekil 3. 2 Fermantasyon işlemi akım şeması	28
Şekil 3. 3 Ekstraksiyon işlem basamakları	30
Şekil 3. 4 Fonksiyonel içecek üretiminde kullanılan girdiler	34
Şekil 4. 1 OD çıktısına göre optimizasyonu yapılan parametrelerin etkisini gösteren perturbasyon (etki) grafiği	47
Şekil 4. 2 Fermentasyon süre, pH değeri ve glukoz konsantrasyonunun maya optik yoğunluk (OD) değerine etkisi	48
Şekil 4. 3 Katı-sıvı ve karanlık-aydınlık ortam denemeleri. (a)Kontrol grubu katı-sıvı, (b)karanlık ortam katı-sıvı, (c) aydınlık ortam katı-sıvı	50
Şekil 4. 4 Farklı süre ve maya konsantrasyonlarında gerçekleştirilen fermantasyonlarda toplam şeker ve betalain konsantrasyonundaki değişimi	51
Şekil 4. 5 . Soldan sağa sırasıyla (60:40), (70:30), (80:20), (90:10) etanol:su kullanılan ekstraktlar	52
Şekil 4. 6 Ultrases süresi ve katı:çözgen oranının betasiyanin konsantrasyonuna etkisi	55

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAMI)

Şekil

Sayfa

Şekil 4. 7 Ekstraksiyon denemeleri sonunda elde edilen katı ve sıvı faz görüntüleri
a) sürekli ekstraksiyon, b) kademeli ekstraksiyon ilk santrifüj, c) kademeli ekstraksiyon son santrifüj..... 57

Şekil 4. 8 Fermente (F) ve fermente olmayan (NF) meyvelerin (0,1:100), (0,3:100) ve (0,5:100) (a:h) oranlarında guar zamkı ile elde edilen toz örnekleri 58

Şekil 4. 9 (+4 °C) ve (+25 °C)'de depolanan paketler 61

Şekil 4. 10 Maltodekstrin kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) toplam fenolik madde içeriğine etkisi (mg/100g KM)..... 63

Şekil 4. 11 Akasya zamkı kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) toplam fenolik madde içeriğine etkisi (mg/100g KM)..... 64

Şekil 4. 12 Guar zamkı kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) toplam fenolik madde içeriğine etkisi (mg/100g KM)..... 65

Şekil 4. 13 Maltodekstrin kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) betasiyanin içeriğine etkisi (mg/100g KM) 66

Şekil 4. 14 Akasya zamkı kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) betasiyanin içeriğine etkisi (mg/100g KM) 68

Şekil 4. 15 Guar zamkı kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) betasiyanin içeriğine etkisi (mg/100g KM) 69

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAMI)

Şekil

Sayfa

Şekil 4. 16 Maltodekstrin kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) betaksantin içeriğine etkisi (mg/100g KM) 70

Şekil 4. 17 Akasya zamkı kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) betaksantin içeriğine etkisi (mg/100g KM) 71

Şekil 4. 18 Maltodekstrin kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) betasiyanin içeriğine etkisi (mg/100g KM) 72

Şekil 4. 19 Maltodekstrin kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) toplam betalain içeriğine etkisi (mg/100g KM) 73

Şekil 4. 20 Akasya zamkı kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) toplam betalain içeriğine etkisi (mg/100g KM) 74

Şekil 4. 21 Guar zamkı kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) toplam betalain içeriğine etkisi (mg/100g KM) 75

Şekil 4. 22 Maltodekstrin kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) L* değerine (renk açıklığı) etkisi 77

Şekil 4. 23 Akasya zamkı kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) L* değerine (renk açıklığı) etkisi 78

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAMI)

Şekil

Sayfa

Şekil 4. 24 Guar zankı kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) L* değerine (renk açıklığı) etkisi 79

Şekil 4. 25 Maltodekstrin kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) a* değerine (kırmızılık-yeşillik) etkisi 80

Şekil 4. 26 Akasya zankı kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) a* değerine (kırmızılık-yeşillik) etkisi 81

Şekil 4. 27 Maltodekstrin kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) a değerine (kırmızılık-yeşillik) etkisi 82

Şekil 4. 28 Tez çalışması kapsamında geliştirilen fonksiyonel içecek 88

Şekil 4. 29 Duyusal analiz sonuçlarından elde edilen radar grafik 90

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge

Sayfa

Çizelge 2. 1 Betasiyanin gruplarının çeşitli bitkilerdeki yapısal özellikleri.....5

Çizelge 2. 2 Bazı meyve ve bitkilere ait betasiyanin, betalain ve toplam betalain miktarları (mg/g KM) 7

Çizelge 2. 3 Ejder meyvesine ait besin değerleri, 100 g taze meyve (Thokchom vd., 2019).....9

Çizelge 2. 4 Betalain ekstraksiyon ve stabilizasyon uygulamalarının yapıldığı çalışmalar.....13

Çizelge 2. 5 Renk pigmentlerinin mikroenkapsülasyonu ile ilgili gerçekleştirilen araştırmalar 19

Çizelge 3. 1 Maya üretimi optimizasyon çalışması için seçilen değişkenler
26

Çizelge 3. 2 Maya üretimi ve optimizasyon çalışması için Box-Behnken deney tasarımı 27

Çizelge 3. 3 Ultrases süresi ve katı:çözgen oranının optimizasyon çalışması için RSM deney deseni 31

Çizelge 4. 1 Taze ejder meyvesinin fizikokimyasal analiz sonuçları.....41

Çizelge 4. 2 Literatür çalışması.....43

ÇİZELGELER DİZİNİ (devamı)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4. 3 Maya üretimi ve optimizasyon çalışması için Box-Behnken deney tasarımı.....	44
Çizelge 4. 4 Maya üretimi ve optimizasyon çalışması için Box-Behnken deney tasarımı sonuçları	44
Çizelge 4. 5 Optimize edilmiş biyokütle sonuçlarına göre ANOVA tablosu.....	45
Çizelge 4. 6 Optimize edilmiş OD sonuçlarına göre ANOVA Testi	46
Çizelge 4. 7 Aydınlık-karanlık ve sıvı-katı kültür ortamlarında fermente edilmiş ejder meyvesinin betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain miktarları	49
Çizelge 4. 8 Farklı konsantrasyonlarda etanol:su kullanılarak hazırlanmış ejder meyvesi ekstraktlarının L*, a* ve b* değerleri	52
Çizelge 4. 9 Farklı konsantrasyonlarda etanol:su kullanılarak hazırlanmış ejder meyvesi ekstraktlarının betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain içerikleri....	53
Çizelge 4. 10 Ultrases süresi ve katı:çözgen oranının optimizasyon çalışması için RSM deney tasarımı sonuçları	54
Çizelge 4. 11 Optimize edilmiş sonuçların ANOVA testi	54
Çizelge 4. 12 Sürekli ve kademeli ekstraksiyon işlemleri ile elde edilen ekstraktlarının betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain içerikleri	57
Çizelge 4. 13 Guar zamkı içeren örneklerin analiz sonuçları	59

ÇİZELGELER DİZİNİ (devamı)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4. 14 Kuru madde analiz sonuçları.....	61
Çizelge 4. 15 Renk kroma değerleri	85
Çizelge 4. 16 Renk hue açısı değerleri	86
Çizelge 4. 17 Fonksiyonel içecek üretiminde girdiler ve özellikleri.....	88
Çizelge 4. 18 Duyusal değerlendirme	89

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
°C	Santigrat derece
L*	Aydınlık-karanlık renk değeri
a*	Kırmızılık-yeşillik renk değeri
b*	Sarılık-mavilik renk değeri
UAE	Ultrases destekli ekstraksiyon
MD	Maltodekstrin
GG	Guar zımkı
GA	Akasya zımkı
F	Fermente edilen örnek
K	Kontrol (fermente olmayan örnek)
Kısaltmalar	
µm	mikrometre
mm	milimetre
cm	santimetre
h	hacim
ağ	ağırlık
g	gram
kg	kilogram
L	Litre
mL	mililitre
sn	saniye
dk	dakika
sa	saat

1. GİRİŞ

Ejder meyvesi, ülkemizde son yıllarda popülerlik kazanmaya başlayan bir kaktüs meyvesidir. Göz alıcı görüntüsü ile tüketicilerin dikkatini çeken bu meyve, kırmızı kabuk-beyaz et ve kırmızı kabuk-kırmızı et olmak üzere farklı kombinasyonlarda bulunmaktadır. Özellikle kırmızı ejder meyvesi olarak bilinen *Hylocereus polyrhizus* cinsi hem etinde hem de kabuğunda yüksek miktarda betalain pigmenti içermesi nedeniyle dikkat çekmektedir (Özcan ve Bilek, 2018). Renk, tüketicilerin gıda ürünlerini kabul etmesinde en önemli faktörlerden biridir. Görsel çekiciliği artırmak amacıyla şekerlemeler, gazlı içecekler, tatlılar gibi birçok gıda ürününde renk maddeleri kullanılmaktadır (Naseer et al., 2019). Günümüzde doğal içeriklere olan talep artışı sebebiyle, gıdaların renklendirilmesinde sentetik maddeler yerine doğal renk maddeleri tercih edilmektedir (Özcan ve Bilek, 2018).

Doğal renk maddelerinin başlıca sınıfları arasında klorofiller, karotenoidler, flavonoidler ve betalainler bulunmaktadır. Her biri, farklı renkler ve biyolojik işlevler sağlayan çeşitli türev alt gruplarından oluşmaktadır. Betalainler, tozlaşmayı arttırarak üremeyi sağlamak için hayvanların dikkatini çekmek gibi işlevlere sahiptir (Solovchenko et al., 2019). Ayrıca, tüketildiğinde insan vücudunda antioksidan ve antiradikal özellikler gibi biyolojik etkilere sahip oldukları bilinmektedir (Martins et al., 2017; Vulic et al., 2013; Wang and Yang, 2010; Serra vd., 2013).

Betalainler, suda çözünür ve azot içeren pigmentler olup, kırmızı-mor renkli betasiyaninler ve sarı renkli betaksantinler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Bu pigmentler, betalamik asidin imonyum konjugatlarıdır ve sırasıyla siklo-dopa ile amino asitler veya aminlerle birleşerek oluşurlar. Betalain bileşikleri, Türk Gıda Kodeksi'nin Gıda Katkı Maddeleri Tebliğinde pancar kökü kırmızısı adıyla bilinen bir betasiyanin formu olan betanin (E-162) maddesi olarak gıda renklendiricisi şeklinde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, zengin biyoaktif özelliklere ve güçlü antioksidan aktiviteye sahip pigmentlerdir (Carreón-Hidalgo et al., 2022). Su içinde çözünürlüklerinin daha yüksek olması ve zayıf asidik özellik gösteren ortamlarda daha stabil olmaları ile diğer doğal renk bileşenleri

yerine alternatif oluşturmaktadırlar (Özcan ve Bilek, 2018). Stabiliteleri diğer doğal renk pigmentlerinden yüksek olmasına karşın, sentetik renk pigmentlerine göre gıda içerisinde stabiliteleri düşüktür. Bu durum, betalain pigment grubunun stabilitesinin ve ekstraksiyon veriminin geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir (Mahayothee et al., 2019). Vaillant ve arkadaşları (2005) tarafından yapılan çalışmada, ejder meyvesi betasiyaninlerinin termal stabilitesinin pH değeri ile azaldığı, ancak bir renklendirici olarak endüstriyel kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, pitaya betasiyaninleri ile 3 ile 5 pH değer aralığında benzer bir termal stabilite sağladığı saptanmıştır.

Betalain pigmentleri, ejder meyvesinin yanı sıra Caryophyllales takımından Amaranthaceae ve Cactaceae familyalarına ait kırmızı ve sarı pancar (*Beta vulgaris* L. sp. *vulgaris*), amarant (*Amaranthus* sp.) ve kaktüs meyvesinde (*Opuntia* ve *Hylocereus* genera) de yaygın olarak bulunmaktadır (Carreón-Hidalgo et al., 2022). Ticari olarak en sık kullanılan betalain kaynağı kırmızı pancar köküdür; ancak bu kaynağın bazı dezavantajları bulunmaktadır. Toprakla direkt temas sonucu mikroorganizmaların gelişmesi, yüksek nitrat seviyeleri içermesi ve geosminler ile pirazin türevlerinin neden olduğu toprak tadı gibi olumsuzluklar, alternatif betalain kaynakları arayışını desteklemiştir (Rodriguez, 2016).

Mahayothee ve arkadaşlarının 2019 yılında ejder meyvesi pigmenti ile yaptıkları çalışmada, meyve yapısında bulunan yedi betasiyanin tanımlanmıştır: betanin, izobetanin, fillokaktin, izofilokaktin, betanidin 5-O-(6-O-3-hidroksibutiril)-b-glukozit, izobetanidin 5-O-(6-O-3 hidroksibutiril)-b-glukozit ve dekarboksilatlı fillokaktin. Bu çalışmada, ejder meyvesinin betasiyanin içeriğinin yüksek olduğu ve pancar ile karşılaştırıldığında en yakın alternatif kaynak olduğu bulgulanmıştır (Hidalgo et al., 2022). Türkiye'de Ege Bölgesi'nden Akdeniz'in kıyı illerine kadar hem açıkta hem de örtüaltı yetiştiriciliği yapılan ejder meyvesi, gelecekte daha geniş bir yetiştiricilik potansiyeline sahip olduğu düşünülmektedir.

Bu kapsamda, meyvenin hasat sonrası süresinin kısa olması göz önünde bulundurularak meyvenin değerlendirilmesi için işlenmesi ve atık miktarının azaltılması; fermantasyon teknolojileri kullanılarak meyveden katma değeri yüksek fermente bir ürün üretilmesi için gereken koşulların belirlenmesi

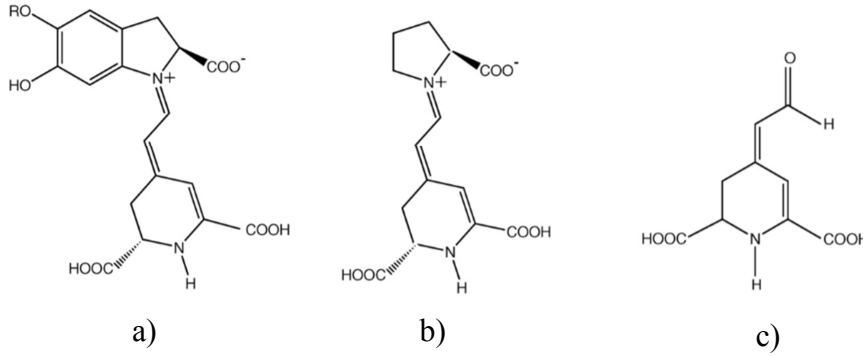
hedeflenmektedir. Aynı zamanda, önemli bir bileşen olan betasiyanin eldesi ve stabilitesinin artırılması sağlanırken, oluşan ürünün antioksidan aktivitesi ve fenolik içeriği gibi diğer özelliklerinin de iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu şekilde, meyvenin kullanım alanı artırılarak tüketici portföyü genişletilecek ve daha sağlıklı bir toplum hedefine ulaşılabilecektir. Ayrıca, Türkiye'de ejder meyvesi yetiştiriciliğinin artırılması ile ekonomiye katkı sağlanması da hedeflenmektedir. Bu tez çalışmasının amacı, ejder meyvesinin fermantasyonu ile elde edilen betalain pigmentlerinin ekstraksiyon, stabilizasyon ve mikroenkapsülasyon süreçlerini incelemektir. Meyvede bulunan doğal renk maddesi betalainlerin, betasiyanin konsantrasyonunun artırılmasında ve stabilite özelliklerinde fermantasyon prosesinin etkileri ortaya konulacaktır. Betasiyanin içeriği yüksek kaliteli betalain içeriğine sahip ve stabilitesi yüksek doğal renk maddesi elde etmek amacıyla ejder meyvesinden renk maddelerinin ekstraksiyonu, mikroenkapsülasyonu ve içeceklerde doğal renklendirici olarak kullanım potansiyeli araştırılacaktır.

2. GENEL BİLGİLER

Betalain yapısı ve özellikleri tez kapsamında betalain kaynağı olarak kullanılan ejder meyvesinin genel özelliklerine ait bilgiler ile betalainin doğal kaynaklardan ekstraksiyonu, stabilizasyon özellikleri, enkapsülasyon yöntemleri ve mikroenkapsülasyon işleminin etkinliğinin fermantasyon teknolojisi ve dondurarak kurutma yöntemi ile artırılmasını konu alan çalışmaların literatür bilgileri derlenmiştir.

2.1 Betalain Yapısı ve Özellikleri

Betalainler, bitki pigmentleri arasında benzersiz bir sınıf oluşturan, azot içeren, suda çözünür bileşiklerdir. Bu pigmentler, özellikle Caryophyllales takımına ait bitkilerde ve bazı yüksek mantarlarda bulunur (Strack et al, 2003). Betalainlerin temel yapı taşı betalamik asittir. Betasiyaninler, betalamik asidin siklo-dopa ile imonyum konjugatlarını içerirken, betaksantinler betalamik asidin amino asitler veya aminlerle konjugatlarını içerir. Bu kimyasal yapı, betalainlerin geniş bir renk yelpazesi sunmasını sağlar; betasiyaninler kırmızıdan mora, betaksantinler ise sarıdan turuncuya kadar değişen tonlarda renklere sahiptir. Betalainin farklı formlardaki kimyasal görüntüsü Şekil 2.1 de verilmiştir.



Şekil 2. 1 Betalain pigmenti a) Betanin (Betanidin R=H), b) Indikaksantin, c) Betalamik asit (Zhang vd., 2008)

Kimyasal olarak betalainler, betalamik asidin farklı bileşiklerle konjugasyonu sonucu oluşan türevlerdir. Pancar ve ejder meyvesinde en sık rastlanan betasiyanin olan betanin, betalamik asidin siklo-dopa ile konjugatıdır.

Betasiyanin gruplarının çeşitli bitkilerdeki yapısal özellikleri ve ejder meyvesinin pigment profili Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2. 1 Betasiyanin gruplarının çeşitli bitkilerdeki yapısal özellikleri

Betasiyanin Grubu	Pigment Adı	Kaynak
Betanin grubu	Filloaktin	<i>Cactaceae</i> çiçek ve meyveler
	2'-Apiosil-filloaktin	Yılbaşı kaktüsü çiçekleri
	5''-O-E-Feruloilapiosil-betanin	<i>Phytolacca americana</i> meyve ekstraktları
	Hyloserenin	<i>Hylocereus polyrhizus</i>
Amarantin grubu	Amarantin	<i>Amaranthaceae</i> familyası
Gomfrenin grubu	Gomfrenin I	<i>Gomphrena globosa</i>
	Gomfrenin II	<i>Gomphrena globosa</i>
	Gomfrenin III	<i>Gomphrena globosa</i>
2-Deskarboksil-betanin grubu	2-Deskarboksil-betanidin	<i>Carpobrotus acinaciformis</i> , sarı pancar tüylü kök kültürleri
	2-Deskarboksil-betanin	Sarı pancar tüylü kök kültürleri
	6'-O-Malonil-2-deskarboksil-betanin	Sarı pancar tüylü kök kültürleri

Betalainler, suya çözünür pigmentlerdir ve geniş bir pH aralığında (pH 3-7) stabil kalabilirler (Stintzing and Carle, 2004). Bu özellikleri, özellikle düşük asitli gıdaların renklendirilmesinde betalainlerin kullanımını cazip kılar. Betalainlerin renk stabilitesi, çevresel faktörlere karşı duyarlılık gösterir. Sıcaklık, ışık, oksijen varlığı, metal iyonları ve redoks enzimler gibi faktörler betalainlerin renk stabilitesini etkileyebilir (Esatbeyoglu et al., 2015).

Betalainlerin bir diğer önemli özelliği antioksidan aktiviteleridir. Lipid peroksidasyonunu ve oksidasyonunu inhibe etme potansiyeline sahiptirler, bu da onları beslenme ve sağlık açısından değerli kılar (Kanner et al., 2001). Ayrıca, betalainlerin anti-enflamatuar etkileri ve antiradikal aktiviteleri üzerine yapılan çalışmalar, bu pigmentlerin sağlık üzerindeki olumlu etkilerini desteklemektedir (Martins et al., 2017; Vulic et al., 2013; Wang and Yang, 2010; Serra vd., 2013).

Günümüzde doğal içeriklere olan talep artışı sebebiyle, gıdaların renklendirilmesinde ya da renk artırmak için sentetik maddeler yerine doğal renk maddeleri kullanılmaktadır (Özcan ve Bilek, 2018). Betalainler, özellikle gıda endüstrisinde doğal renk maddesi olarak yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Avrupa Birliği tarafından E-162 olarak tanımlanan betalainler; jöleler, yoğurtlar, süt ürünleri, sporcu takviyeleri, şekerlemeler ve içecekler gibi çeşitli gıdaların renklendirilmesinde kullanılır (Ravichandran et al., 2019). Doğal pigmentlere olan talebin artması, betalainlerin gıda renklendirmesinde yeniden keşfedilmesine ve kullanım alanlarının genişlemesine yol açmıştır.

2.2 Doğal Betalain Kaynakları

Betalain pigmentleri, ticari olarak en sık kırmızı pancar kökünden elde edilmektedir (Rodriguez, 2016). Bunun yanı sıra, betalainler, ejder meyvesi (*Hylocereus spp.*), Caryophyllales takımına ait Amaranthaceae ve Cactaceae familyalarına ait kırmızı ve sarı pancar (*Beta vulgaris L. sp. vulgaris*), amarant (*Amaranthus spp.*) ve kaktüs meyvesi (*Opuntia* ve *Hylocereus* cinsleri) gibi bitkilerde de yaygın olarak bulunmaktadır. Farklı bitkilerdeki betalain miktarları, bitkinin türü, yetiştirilme koşulları ve hasat zamanı gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Aynı bitki türü içinde dahi bu faktörlere bağlı olarak farklılıklar görülebilmektedir. Bu farklılıklar, betalainlerin biyoaktif bileşen olarak kullanımı açısından büyük önem taşımaktadır (Carreón-Hidalgo et al., 2022).

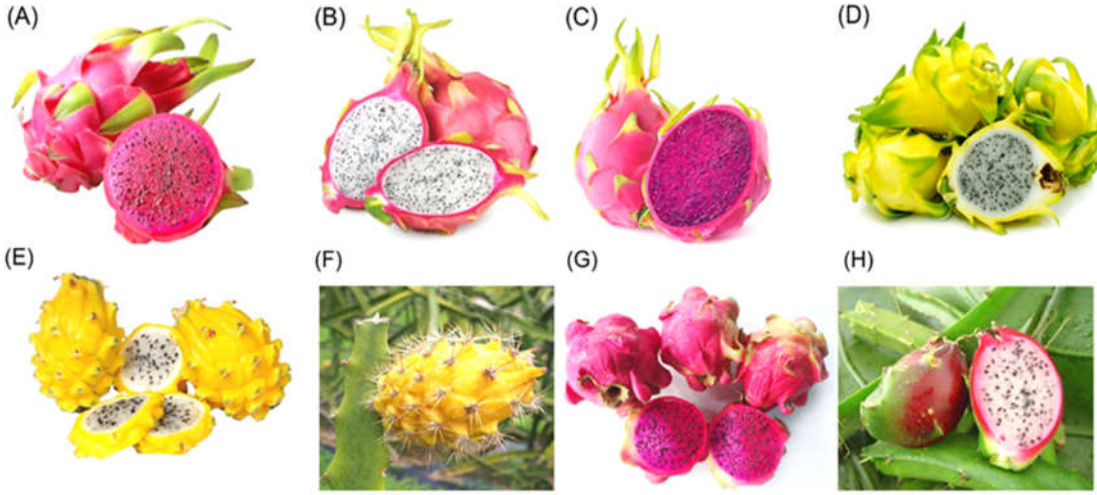
Betalainlerin, renk stabilitesi ve biyoyararlanımı gibi özellikleri, kaynak bitkinin yetiştirilme koşulları ve genetik yapısıyla doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, betalain içeriği yüksek bitki türlerinin seçilmesi ve uygun yetiştirme tekniklerinin uygulanması, betalainlerin ticari üretiminde verimliliği artırmak için kritik öneme sahiptir (Rodriguez, 2016). Çizelge 2.2'de bazı sebze ve meyvelerin içerdiği betalain, betasiyanin ve betaksantin miktarları listelenmiştir.

Çizelge 2. 2 Bazı meyve ve bitkilere ait betasiyanin, betalain ve toplam betalain miktarları (mg/g KM)

Meyve-sebzeler	Toplam betalain	Betasiyanin	Betaksantin	Kaynak
Kırmızı pancar	4,06±0,01	2,48±0,01	1,58±0,01	Silva vd., 2018
Kırmızı pancar konsantresi	8,16±0,01	4,39±0,01	3,76±0,01	Özcan ve Bilek, 2018
Amarant (<i>Amaranthus hypochondriacus</i> var.)	1,49	1,07	0,42	Tabio-Garcia vd., 2021
Kırmızı ejder meyvesi (Pitaya)	4,87±0,01	2,97±0,01	1,90±0,01	Yılmaz ve Ersus, 2023
Dikenli armut (<i>Opuntia</i>)	1,79±0,01	0,86±0,01	0,93±0,02	Brahmi vd., 2022
Begonvil	5,81±0,01	4,78 ± 0,03	1,03 ± 0,03	Kuhn vd., 2021
Begonvil	5,51±0,01	2,79±0,01	2,73±0,01	Kugler vd., 2007
Hanım düğmesi çiçeği	168,7±0,1 mg/kg (taze meyve)	93,7±0,1 mg/kg (taze meyve)	75,0±0,1 mg/kg (taze meyve)	Kugler vd., 2007
Mor isveç pazısı	75,4±0,01 mg/kg (taze meyve)	51,1 ± 0,8 mg/kg (taze meyve)	24,3 ± 0,3 mg/kg (taze meyve)	Kugler vd., 2004

2.3 Doğal Betalain Kaynağı: Ejder Meyvesi

Ejder meyvesi, Cactaceae ailesinden *Hylocereus* cinsi ile bilinen popüler bir tropik meyvedir. Meyvenin yaygın adı ejder meyvesi olmakla birlikte, kabuğunda bulunan pullar sebebiyle "pullu meyve" anlamına gelen pitaya olarak da isimlendirilmektedir (Wybraniec, 2001). Türlerin kökeni Orta Amerika olup, ilk olarak Meksika'da keşfedilmiştir. Genellikle farklı et ve kabuk renk kombinasyonlarında dört ana türü bulunmaktadır. Türkiye'de yetiştirildiği bilinen türler arasında *Hylocereus undatus* (kırmızı kabuk-beyaz et) ve *Hylocereus costaricensis* (kırmızı kabuk-kırmızı et) yer almaktadır (Costa et al., 2022). Farklı *Hylocereus* türlerine ait görüntüler Şekil 2.3 de verilmiştir.



Şekil 2. 3. *Hylocereus* türleri (A) *Hylocereus polyrhizus*, (B) *H. undatus*, (C) *H. costaricensis*, (D) *H. megalanthus*, (E) *Selenicereus megalanthus*, (F) *S. megalanthus*, (G) *H. purpusii*, and (H) *H. trigonus* (Tarte et al., 2023).

Kırmızı ejder meyvesi veya pitaya (*Hylocereus polyrhizus*), egzotik görünümü ve sağlık özellikleri nedeniyle uluslararası pazarda yüksek talep gören tropikal bir meyvedir. Carrera ve arkadaşlarının (2021) yapmış oldukları çalışmada, meyvede bilinen en az yedi betasiyanin tanımlanmıştır: betanin, izobetanin, fillokaktin, izofilokaktin, betanidin, izobetanidin ve hylocerenin. Betanin, serbest radikal süpürme aktivitesi, düşük yoğunluklu lipoprotein oksidasyonuna karşı koruma, DNA hasarını önleme, antioksidan indüksiyonu, gen düzenleyici aktivite ve anti-enflamatuar aktivite gibi çeşitli potansiyel sağlık faydaları gösteren en yaygın çalışılan betasiyanindir (Tarte et al., 2023).

Potansiyel faydalarına rağmen, meyve kısa raf ömrü nedeniyle ticari açıdan dezavantajlı olabilir ve bu da taşıma, depolama ve satış süreçlerinde kayıplara yol açabilir. Taze kırmızı ejder meyvesi, 10 °C'de maksimum 14 gün ve oda sıcaklığında 5 gün dayanabilir, bu da diğer meyvelere kıyasla nispeten kısa bir süredir (Choo et al., 2018). Bu nedenle, ejder meyvesinin işlenmesi ve saklama koşullarının iyileştirilmesi, ticari değerinin artırılması açısından önemlidir.

2.3.1 Besin değerleri ve sağlık yararları

Meyve, B₁, B₂, B₃ ve C vitaminleri, lif içeriği, kalsiyum (Ca), demir (Fe) ve fosfor (P) gibi mineraller açısından zengindir. Ayrıca, düşük karbonhidrat içeriği

ve yağsız olması, meyvenin beslenme açısından değerini artırmaktadır. Ejder meyvesi 100 gramında yaklaşık olarak: 8,5 mg kalsiyum, 22,5 mg fosfor, 1,9 mg demir 20,5 mg C vitamini içerir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2. 3 Ejder meyvesine ait besin değerleri, 100 g taze meyve (Thokchom et al., 2019)

Besin Değeri	Miktar
Su	87 g
Protein	1,1 g
Yağ	0,4 g
Lif	3,0 g
Karbonhidrat	11,0 g
Demir	1,9 mg
B₁ vitamini	0,04 mg
B₂ vitamini	0,05 mg
B₃ vitamini	0,16 mg
C vitamin	20,5 mg
Kalsiyum	8,5 mg
Fosfor	22,5 mg

Kırmızı etli ejder meyveleri, olgunlaşma sürecinde pigmentlenmekte ve şekerler ile antioksidanlar açısından zenginleşerek iyi bir tat ve çıtır özellik kazanmaktadır. Ayrıca, yüksek miktarda C vitamini, betalainler, hidroksisinamatlar ve flavonoidler gibi antioksidanlar içerir (Arivalagan et al., 2021). Meyvenin tohumları ise %50 oranında temel yağ asitleri olan linoleik asit ve linolenik asitten oluşmaktadır (Boyapati et al., 2023).

Sağlık faydaları:

Ejder meyvesi kilo vermeye yardımcı olma, sindirimi iyileştirme, kandaki LDL kolesterolünü azaltma ve bağışıklık sistemini güçlendirme gibi birçok sağlık faydasına sahiptir. Hidroksisinamatlar, kanseri önlemeye yardımcı olurken, flavonoidler beyin hücreleri ve kan damarları üzerinde etkili olup kalp hastalığı riskini azaltmaktadır. Ayrıca, bakterilere ve mantarlara karşı koruma sağlayarak vücudun genel işleyişine katkıda bulunur (Rathi et al., 2023; Tarte et al., 2023).

2.3.2 Ejder meyvesi yetiştiriciliği

Global üretim:

Dünya genelinde birçok ülkede başarılı bir şekilde yetiştirilmektedir. Vietnam, dekar başına ortalama 3000 kg verimle en yüksek üretim oranına sahip ülkelerden biridir. Diğer ülkeler de benzer başarılar göstermekte ve ejder meyvesi yetiştiriciliğinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu ülkeler arasında Avustralya, Kamboçya, Çin, İsrail, Japonya, Nikaragua, Peru, Filipinler, İspanya, Sri Lanka, Tayvan, Tayland, Güneybatı ABD ve Vietnam bulunmaktadır (Mizrahi and Nerd, 1999; Nobel and de la Barrera, 2002).

Türkiye’de yetiştiricilik:

Türkiye’de ejder meyvesi yetiştiriciliği yaklaşık 10 yıldır devam etmektedir (Gübbük et al., 2017). Yetiştiricilik, İzmir’den Akdeniz bölgesinin kıyı hattı boyunca yer alan Mersin, Antalya ve Adana başta olmak üzere birçok ilde yapılmaktadır. Türkiye’de dekar başına ortalama verim 2500 kg olarak kaydedilmiştir (Seday ve Aksoy, 2017). Ege Bölgesi’nden Akdeniz’in tüm kıyı illerine kadar hem açıkta hem de örtü altında yetiştiricilik yapılmaktadır.

Antalya İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Akdeniz Üniversitesi ve Batı Akdeniz Araştırma Enstitüsü (BATEM) ortak çalışma yürütmüş ve bu çalışmalar pozitif sonuçlar vermiştir. Ayrıca, "Bloody Mary" ve "Cosmic Charlie" çeşitlerinin tescili BATEM tarafından gerçekleştirilmiştir (Gübbük et al., 2017). Bu alanda yapılan çalışmalar, Türkiye’de ejder meyvesi yetiştiriciliği adına olumlu gelişmeler olarak kabul edilmektedir. Yerli üreticilerin desteklenmesi ve bu alandaki çalışmaların devam etmesi, meyve veriminin artmasına olanak sağlayacaktır.

2.4 Yüksek Betasiyanin İçerikli Betalain Ekstraksiyon ve Stabilizasyonu

Betalainin içerdiği betasiyanin formu bulunduğu meyve ve sebzelere kırmızı-mor renk veren moleküldür. Gıda ürünlerini farklı teknolojik uygulamaların kullanımında ısısal işlemler, asit etkisi, depolanma süresi gibi farklı

durumlar betasiyanin yapısında istenmeyen değişikliklere neden olmaktadır (Sutor-Swiezy et al., 2024).

2.4.1 Pigment ekstraksiyonu

Pigmentlerin ve diğer hücre içi bileşiklerin yan ürünlerden geri kazanılması için kütle transfer dirençlerinin azaltılması ve çözücü-örnek temasının artırılması gerekmektedir. Geleneksel yöntemler arasında damıtma, çözücü ekstraksiyonu, maserasyon, ısıtma ve Soxhlet ekstraksiyonu bulunur (Dang-Bao and Tran, 2023; Sutor-Swiezy et al., 2024). Bu yöntemler zaman, enerji ve çözücü tüketimi bakımından dezavantajlara sahiptir ve düşük ekstraksiyon verimi ile termostabil bileşiklerin kaybına yol açabilir. Bu dezavantajların üstesinden gelmek için, yeni teknolojiler keşfedilmektedir. Bunlar arasında süperkritik akışkan ekstraksiyonu (Lacerda et al., 2024), mikrodalga destekli ekstraksiyon (Hazervazifteh et al., 2023), ultrases destekli ekstraksiyon (Mehta vd., 2024), yüksek basınçlı homojenizasyon (Gali et al., 2020), darbeli elektrik alanları (Pramudika and Paramita, 2024), enzim destekli (Patil et al., 2021) uygulama yöntemler, bulunur. Bu teknolojiler, ekstraksiyon verimini artırma, ekstraksiyon süresini ve enerji tüketimini azaltma potansiyeline sahiptir (Hazervazifteh et al., 2023; Lacerda et al., 2024)

Ultrases destekli ekstraksiyon (UAE), yan ürünlerden doğal pigmentlerin geri kazanılmasında en çok araştırılan ve etkili teknolojilerden biridir. Bu teknoloji, belirli özelliklere (frekans, genlik ve dalga boyu) sahip ses dalgalarının uygulanması ile fiziksel ve kimyasal değişikliklere neden olur. Ultrasesik transdüserler tarafından üretilen ultrases, elektrik enerjisini istenen frekans ve yoğunlukta akustik dalgalara dönüştürür. Ekstraksiyon ve işleme süresinin kısaltılması, enerji tüketiminin ve çözücü kullanımının azalması, ekstraksiyon veriminin artırılması ve ısısal bileşenlerin düşük veya kabul edilemez verimlerde ekstrakte edilmesini sağlayan koşullarda ekstrakte edilmesi ultrases sistemlerinin avantajlarıdır (Rodrigez-Felix et al., 2023; Mehta et al., 2024).

UAE işlemi ile betalain içeriği zengin pancar kabuğu, dikenli armut kabuğu, ejder meyvesi kabuğu ve kinoa tohumu kabuğu gibi yan ürünlerin kullanıldığı çalışmalarda verimli sonuçlar elde edilmiştir (Fernando et al., 2021; Badawy et

al., 2022; Li et al., 2022; Casalvara et al., 2024). Ekstraksiyon verimi ve betalain içeriğini en üst düzeye çıkarmak için güç seviyesi, genlik seviyesi, ekstraksiyon süresi, çözücü türü ve konsantrasyonu ve katı:sıvı oranı gibi faktörlerin uygun şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Çözücü olarak suyun veya suyla karıştırılmış organik çözücülerin kullanımı, ekstraksiyon verimini artırmaktadır (Casalvara et al., 2024). Betalain ekstraksiyon ve stabilizasyonun uygulandığı literatür çalışmaları Çizelge 2.4 de sunulmuştur.



Çizelge 2. 4 Betalain ekstraksiyon ve stabilizasyon uygulamalarının yapıldığı çalışmalar

Ham madde	Metot	Deneysel koşullar	Sonuç ve Veriler	Referans
Dikenli armut (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	US destekli	Glisserol konsantrasyonu (%20-50), Numune/çözücü oranı (1:10-1:20), Sıcaklık (30-60 °C) Süre (10-30 dakika)	Betalain içeriği 858.28 mg/L'ye ulaşmış ve %93.76 enkapsülasyon verimliliği sağlanmıştır. Termal stabilite testleri (80-180 °C; 30 ve 60 dakika), daha yüksek sıcaklıklar ve daha uzun sürelerde betalainlerin bozunumunu göstermiştir.	Mehta vd., 2024
	Enkapsülasyon	Glisserol (%23.15), Numune/çözücü oranı (1:10), Sıcaklık (31.15 °C) Süre (10,43 dk)		
	Stabilite (Termal)			
Pancar (Beta vulgaris L.)	Öteklik çözümler (DESs)	Çalışmada, kolın klorür, alkoller, organik asitler ve şekerlerden sentezlenen 10 farklı DES kullanılmıştır.	Betasianin, betaksantin ve toplam betalain için aralıklı srasıyla 23.68–702.17, 21.49–467.77 ve 45.17–1169.94 mg kg ⁻¹ . Optimum koşullar altında, betalain, betasianin ve betaksantin verimleri 1192.17 ± 23.63, 738.83 ± 17.87 ve 453.34 ± 5.93 mg kg ⁻¹	Kaba vd., 2024
	Stabilite (Işık)	Optimum koşullar srasıyla 10.75 molar oran, %30.83 su içeriği ve 30 °C olarak kaydedilmiştir.		
	US destekli	Ekstraksiyon ışık korumalı ortamda 275 W ve 20 kHz'de ultrasonik prob (QR1000 Ultrasonic, Ecosonics, Indianapolis, IN, Brezilya) kullanılmıştır.		
Ejder meyvesi	Enkapsülasyon (Spray kurutucu)	Mikroenkapsülasyon, spray kurutucuda gerçekleştirilmiştir. Kapsülleme bileşiği maltodekstürün 10 DE (ingredien) (%15) seçilmiştir.	En iyi deneysel koşullar %30 etanol konsantrasyonu, 40 mL/g çözücü/numune oran ve 20 dakikalık ultrason daldırma süresi olarak belirlenmiştir.	Vierra vd., 2024
	Stabilite (Depolama)			
	Etanol ekstraksiyonu	%96 etanol (45°C'de 1 saat)		
Ejder meyvesi kabuğu	Enkapsülasyon (Liyofilizatör)	Mikro kristalin selüloz (MCC) kullanılarak dondurarak kurutma tekniği destekli kapsülleme yapıldı. Kapsülasyon (1:3, 1:5 ve 1:10) oranlarıyla hazırlandı.	Betasianin içeriği 208.8 mg/100 g kuru madde olarak belirlenmiştir. Toplam fenolik içerik ise 307.9 mg GAE/100 g kuru madde	Dang-Boo and Iron, 2023
		Sitrik asit miktarı (0-1.5 %)		
	Mikrodalgada destekli ekstraksiyon	MAE parametrelerinin (MP: 200-700 W, görev döngüsü: 0.17-0.83, işlem süresi: 0.5-15.5 dakika) uygulandı. En uygun koşullar 1.4 % sitrik asit, 0.17 görev döngüsü, ve 200 W gücünde 12.7 dakika mikrodalgada radyasyon maruziyeti %96 beklenti değeri ile belirlendi.		
Kırmızı pancar			Optimum koşullarda, betasianin (198 mg/L), TPC içeriği (1.78 mg/L), DPPH süpürme kapasitesi (%73) ve enerji tüketimi (2235 J/g H ₂ O)	Hazeravazfeh vd., 2023
Malabar ıspanağı (Basella alba L.)	Soxhlet ekstraksiyonu	Kontrolli termal dekarboksülasyon ve katyon değişirici kolon kullanılmıştır.	Betasianinlerin toplam konsantrasyonu, 42.0 mg/100 g olarak belirlenmiştir.	Sutor-Swiezy vd., 2024
Amarant tohumları	US ve mikrodalgada destekli	Üç farklı yöntem: maserasyon, mikrodalgada destekli ekstraksiyon ve ultrases destekli ekstraksiyon kullanılmıştır. Tüm yöntemlerde, su veya metanol-su karışımı (20:80 v/v; pH 5) kullanılmıştır.	Ultrases en yüksek betalain içeriği (225 ± 20 mg/100 g), fenolik bileşimlerin ve antioksidan aktivitenin 20% suhi-metanol kullanıldığında mikrodalgada destekli ekstraksiyon ile elde edildiğini göstermiştir.	Garcia-Campoy vd., 2024

2.4.2 Betalain stabilizasyonu

Betalainlerin stabilitesi, pH değeri, sıcaklık, ışık ve oksijen gibi çevresel faktörlere karşı hassasiyetleri nedeniyle sınırlıdır. Bu nedenle, betalainlerin stabilizasyonu üzerine yapılan araştırmalar büyük önem taşır (Linares and Rojas, 2022). Betalain stabilitesini olumlu ve olumsuz etkileyen faktörler Şekil 2.2 de verilmiştir.

pH değeri: Betalainler, nötr ve hafif asidik pH değer aralığında daha stabildir. pH değeri 4-6 aralığında betalainler renklerini korur, ancak daha yüksek veya daha düşük pH değerlerinde renk kaybı meydana gelebilir.

Sıcaklık: Betalainler, yüksek sıcaklıklara karşı duyarlıdır. Isıl işlemler sırasında betalainlerin stabilitesini korumak için düşük sıcaklık ve kısa süreli işlemler tercih edilmelidir.

Işık ve oksijen: Betalainler, ışık ve oksijen ile temas ettiğinde hızla bozulabilir. Bu nedenle, ekstraktların karanlık ve oksijensiz ortamlarda saklanması stabiliteyi artırabilir.

Katkı maddeleri: Antioksidanlar ve koruyucular gibi katkı maddeleri, betalainlerin stabilitesini artırmada etkili olabilir. Askorbik asit gibi antioksidanlar, betalainlerin oksidatif bozunmasını engelleyebilir.

Mikroenkapsülasyon: Mikroenkapsülasyon, betalainlerin stabilitesini artırmak için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Bu yöntemle betalainler, polimerik bir matris içinde kapsüllenecek çevresel faktörlere karşı korunur. Maltodekstrin, gum arabik ve modifiye nişasta gibi maddeler mikroenkapsülasyon için kullanılabilir.

Stabilizasyon yöntemleri, betalainlerin renk, tat ve besin değerini koruyarak, gıdalarda kullanımını artırabilir. Bu konudaki araştırmalar, betalainlerin daha geniş bir yelpazede gıda ürünlerinde kullanılmasına olanak tanıyacak yeni yöntemlerin geliştirilmesine katkıda bulunabilir (Esatbeyoglu vd., 2015).

 Yüksek betalain içeriği	Düşük betalain içeriği 
Yüksek derecede glukozilasyon	Düşük derecede glukozilasyon
Yüksek derecede asilasyon	Düşük derecede asilasyon
Düşük aw değeri	Yüksek aw değeri
Matris	Enzimler (POD, PPO, glukozidaz)
pH değeri 3 ila 7	pH değeri < 3 veya > 7
Antioksidanlar	
Şelat ajanları	
Düşük sıcaklık	
Işığın eliminasyonu	

Şekil 2. 2 Betalain stabilitesini etkileyen faktörler (Esatbeyoglu vd., 2015)

Vaillant ve arkadaşları (2005) betasiyaninin termal stabilitesinin pH değeri ile azaldığı, ancak bir renklendirici olarak endüstriyel kullanımla uyumlu kaldığını vurgulayan bir çalışma yapmıştır. Ayrıca bu çalışmaya göre ejder meyvesi betasiyaninleri, 3 ile 5 pH değer aralığında benzer termal stabilite sunmaktadır (Vaillant et al., 2005).

Literatür araştırmasında betalainlerin ekstraksiyonu sırasında renk stabilitesini korumak konusunda son yıllarda fermentasyon uygulamalarına rastlanmaktadır (Casteller et al., 2008; Lim et al., 2022)

Lim ve arkadaşları (2022) ksantan gum ve karboksimetil selülozun farklı kompozisyonlarda hidrokolloid çözeltileri dahil edilerek fermente edilmiş kırmızı ejder meyvesinden içecek elde ederek betasiyanin stabilitesini iyileştirmeyi amaçlayan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda hidrokolloid

konsantrasyonu arttıkça numunelerin viskozitelerinin önemli ölçüde arttığı ve 25 °C'de dört haftalık depolama sonrasında betasiyanin kaybının %60,55'ten %30,66'ya azaldığı saptanmıştır. Kaktüs meyvesinin meyve suyu ve homojenize formunun kullanıldığı diğer bir çalışmada ise örneklerin farklı *Saccharomyces cerevisiae* suşları kullanılarak fermantasyonu gerçekleştirilmiş ve yüksek konsantrasyonda, düşük viskozitede betasiyanin renk maddesi elde etmek için tüm koşullar optimize edilmiştir (Castellar et al., 2008). Araştırma sonuçlarına göre fermantasyonun ısıya, oksijene, ışığa, pH değerine ve neme karşı oldukça hassas özellik gösteren betasiyanin renk maddesinin proses sonrası yüksek oranda korunması ve renk kaybının azalmasına olumlu etkileri bulunmuştur (Castellar, 2008; Lim et al., 2022).

Fermantasyon işleminin, pigment stabilitesini arttırması ve renk kaybını azaltmasının yanı sıra fermantasyonda kullanılan mayanın gıda ürünleri içerisindeki şekeri tüketerek renk maddesi eldesinden sonra uygulanan saflaştırma ve ekstraksiyon işlemlerini desteklediği çalışmalar bulunmaktadır. Saflaştırma işlemlerinde istenmeyen şekerlerin elimine ya da yok edilmesi için maliyet ve işlem kolaylığı açısından alternatif bir teknik olarak kullanılmaktadır (Pourrat et al., 1988).

Pourrat ve arkadaşları (1988), kırmızı pancar boyasının fermantasyonu sırasında betalainlerle birlikte bulunan şeker moleküllerinin, betasiyaninlerin parçalanıp zarar görmeden elimine edildiğini göstermiştir. Benzer şekilde, Sravan Kumar ve arkadaşları (2015), *Basella rubra* ekstraktının *Saccharomyces cerevisiae* ile fermentasyonunun ardından, şeker içeriğinin bir göstergesi olan toplam çözünür kuru madde içeriğinde %72'lik bir azalma olduğunu bildirmiştir.

Ayrıca fermantasyon materyali olarak kullanılan *Saccharomyces cerevisiae* mayalarının da betalain açısından destekleyici bir form olduğu literatürde yer almaktadır. Grewal ve arkadaşlarının (2018) yaptığı çalışmada, *Saccharomyces cerevisiae* suşları betalainlerin mikrobiyal üretiminde kullanılan önemli bir heterolog konakçı organizma olarak belirlenmiştir. Glukozdan betanin üretiminin tamamlandığı bir mikrobiyal sistem geliştirilmiştir. Bu çalışmada, glukozdan 17 mg/L betanin üretimi sağlanmıştır, bu da yaklaşık olarak 10 g/L pancar ekstresinin renk yoğunluğuna eşdeğer olarak bulunmuştur.

Ekstraksiyon verimini arttırmada fermantasyondan daha sık rastlanılan işlemlerden bir tanesi de ultrases kullanımıdır. Ultrases destekli renk ekstraksiyonu, önemli ve son zamanlarda fazla ilgi görmeye başlayan bir yöntemdir (Radziejewska-Kubzdela et al., 2020; Zia et al., 2020). Bu teknik akustik kavitasyon oluşturularak yüksek frekanslı ses dalgası ile hücre duvarının parçalanması prensibine dayanır. Çözücünün türbülans (akış) etkileriyle dolaşımı ve çalkalanmasını kolaylaştırarak hücrelere daha iyi nüfuz etmesi sağlanır. Hedef bileşiklerin çözücüye daha yüksek difüzyonu gerçekleşir (Zia et al., 2020). Bu yöntemin bir başka avantajı ise düşük sıcaklıklarda çalışılarak ekstrakte edilen biyoaktif bileşiklerin daha iyi korunmasıdır (Heffels et al., 2017; Marathe et al., 2017; Marsol-Vall et al., 2020; Radziejewska-Kubzdela et al., 2020).

Silva, Silva ve Bolanho (2018) kırmızı pancar ekstraktlarından UAE ile betalain eldesi için yaptıkları çalışmada etanolün suya oranı, zaman ve sıcaklık değişkenlerinin betasiyanin ile betaksantin üzerine etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışmada 165 W güç ve 25 kHz frekans ile ultrases banyosu kullanılmıştır. Çözgen olarak %0, 50, 100 oranlarında etanol-su; 30, 45, 60 °C sıcaklıklarında ve 30, 60, 90 dk sürelerde ekstraksiyon gerçekleştirilip elde edilen ekstraktlar için analizler yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda betalain ekstraktlarında betasiyanin seviyelerinin (0,11–4,24 mg/g) betaksantinlerden (0,02-2,89 mg/g) daha yüksek olduğu ortaya koyulmuştur.

Le ve Le (2021) kırmızı etli ejder meyvesinde betasiyanin ve fenolik bileşiklerin geliştirilmesi ve kaybın azaltılması için ultrases uygulaması ve enzimatik işlemlerin kombine etkileri kullanılmıştır. En yüksek betasiyanin salınımını içeren optimum koşul 18,4 dakikalık ultrases ve 33 °C'de 88,5 dk'lık enzimatik işlem olmuştur. Bu çalışma ultrases destekli enzimatik işlemin betasiyanine yönelik optimizasyonunun mümkün olduğunu doğrular niteliktedir.

2.5 Enkapsülasyon

Enkapsülasyon, bir aktif maddenin koruyucu bir duvar malzemesi içine hapsedilmesi sürecidir. Bu teknoloji, biyoaktif bileşenlerin istenmeyen çevresel koşullardan korunması için fiziksel bir engel oluşturur. Kapsüllenmiş malzemeler, nem, ısı ve diğer aşırı koşulların etkilerinden koruyarak stabiliteyi artırır ve

etkinliği korur. Bu nedenle, kapsülleme teknolojisi gıda endüstrisinde giderek daha fazla kullanılmaktadır (Nedovic et al., 2013; Neha and Karisma, 2018).

Elde edilen kapsüller, partikül çaplarına göre farklı kategorilere ayrılır:

1. Nanoenkapsülasyon
2. Mikroenkapsülasyon
3. Makroenkapsülasyon

Partikül çapı 0,2 µm'den küçük olan kapsüller nanoenkapsülasyon olarak adlandırılırken, 0,2 µm ile 5 mm arasında olanlar mikroenkapsülasyon olarak tanımlanır. 5 mm'den büyük olan kapsüller ise makroenkapsülasyon kategorisine girer (Tekin, 2018).

Belirli bir uygulama için uygun enkapsülasyon yönteminin seçimi, kapsüllerin boyutu, biyobozunurluğu, çekirdek ve kaplama materyallerinin fizikokimyasal özellikleri, kullanım alanı, çekirdekten aktif madde salınım mekanizması (salınım ortamı ve süresi) ve maliyet gibi faktörlere bağlı olarak değişir (Nedovic et al., 2013; Neha and Karisma, 2018; Tekin vd., 2023).

Renk maddelerinin mikroenkapsülasyonunda kullanılan yaygın yöntemler şunlardır:

- Püskürtme kurutma
- Dondurarak kurutma (Liyofilizasyon)
- Koaservasyon
- Emülsiyon oluşturma

Renk pigmentlerinin mikroenkapsülasyonunda kullanılan yukarıdaki yöntemlerin yer aldığı çalışmalar Çizelge 2.5 de verilmiştir.

Çizelge 2. 5 Renk pigmentlerinin mikroenkapsülasyonu ile ilgili gerçekleştirilen araştırmalar

Yöntem	Hammadde	Kaplama materyali	Çekirdek materyali	Kaynak
Dondurarak kurutma	Safran yaprağı	Arap zımkı ve maltodekstrin	Antosiyanin	<i>Khazaei vd., 2014</i>
Püskürtmeli kurutma	Yağ içinde disperse likopen (%10 likopen)	Modifiye nişasta	Likopen	<i>Rocha vd., 2012</i>
Püskürtmeli kurutma	Siyah havuç	Maltodekstrin	Antosiyanin	<i>Ersus ve Yurdagel, 2007</i>
Püskürtmeli kurutma	Ispanak	Agave Frukta ve Maltodekstrin	Klorofil	<i>Femat-Castañeda vd., 2019</i>
Dondurarak kurutma	Böğürtlen	Maltodekstrin	Antosiyanin	<i>Yamashita vd., 2017</i>
Püskürtmeli kurutma	Pancar ekstraktı	Arap zımkı ve maltodekstrin	Betalain	<i>Janiszewska, 2014</i>
Püskürtmeli kurutucu	Ejder meyvesi	Plastik film	Betalain	<i>Vieira vd., 2024</i>
Akışkan yatak kurutucu	Kırmızı pancar	Yumurta albümini	Betalain	<i>Morales-Huerta vd., 2023</i>
Koaservasyon	Kırmızı pancar	Kitosan ve negatif yüklü İran sakızı	Betalain	<i>Namazzadeh vd., 2022</i>
Koaservasyon	Ejder meyvesi	Pektin	Betasiyanin	<i>Rahayuningsih vd., 2021</i>
Dondurarak kurutma	Ejder meyvesi kabuğu	Maltodekstin+ arap zımkı, maltodekstrin+karbo ksometil selüloz, maltodekstrin+karag enan, maltodekstrin	Betasiyanin	<i>Putri vd., 2021</i>

Gıda, ilaç ve biyokimya endüstrisinde en sık kullanılan yöntem püskürterek kurutma yöntemi olarak bilinir. Enkapsülasyon için, kapsüllerin iç kısmında yani çekirdeğinde bulunması gereken materyal, kaplama materyalleri ile homojen bir karışım elde edilerek hazırlanır ve püskürterek kurutma cihazına beslenir. Cihazın kendi kazanında sıcak havayla karşılaşması sağlanarak oluşan kapsüller cihazın toplama kabında birikir (Estevinho et al., 2013).

2.6 Dondurarak Kurutma (Liyofilizasyon)

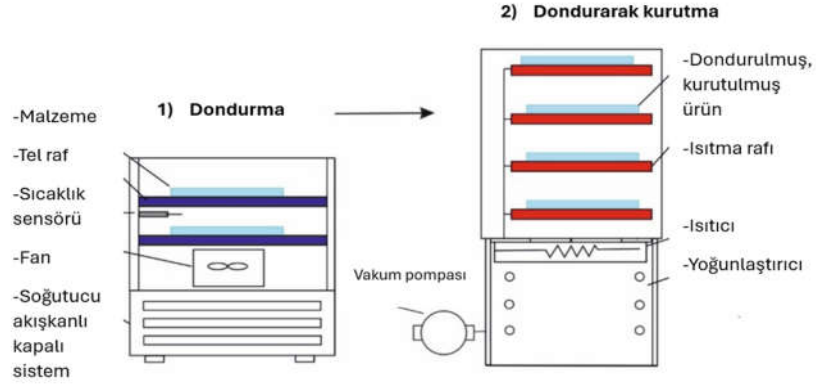
Dondurarak kurutma ya da liyofilizasyon, donmuş durumdaki suyun süblimasyon yoluyla uzaklaştırılması işlemidir. Bu süreçte, gıda önce dondurulur

ve ardından yüksek vakum altında su buzu süblimasyon yoluyla doğrudan buharlaşır, yani erimeden buhar haline geçer. Açığa çıkan su buharı genellikle çok düşük sıcaklıkta bir yüzeyde yoğunlaşır. Süblimasyon ısısı, yiyeceğe çeşitli yöntemlerle sağlanır (Berk, 2018).

Dondurarak kurutma, bir laboratuvar tekniği olarak 19. yüzyılın sonunda biliniyordu, ancak endüstriyel sürece II. Dünya Savaşı'ndan sonra geçiş yapmıştır (Flosdorf, 1949; King and Labuza, 1970; King, 1971, 1975). İlk ticari uygulamalar, tıp alanında antibiyotikler, canlı hücreler, kan plazması gibi ürünler için farmasötik endüstride başlamış olup, bu sektör hala dondurarak kurutmanın en büyük kullanıcısıdır (Oetjen and Haseley, 2004; Pical, 2007; Santivarangkna et al., 2011). Gıda endüstrisinde ise dondurarak kurutma işlemlerine 1950'lerin sonlarında rastlanmıştır (Berk, 2018).

Dondurarak kurutma yöntemi, işlenecek materyalin öncelikle dondurulmasını ve daha sonra buz kristallerinin süblimasyon yoluyla uzaklaştırılmasını içerir (Toledo, 2004). Bu süreç iki aşamadan oluşur. İlk aşamada ürün şoklama yöntemiyle dondurulur ve içerdiği su buz haline getirilir. Bu aşamada donmuş suyun (buz kristalleri) süblimasyonu gerçekleşir (Pikal et al., 1990; Oetjen and Haseley, 2004).

İkinci aşama ise, süblimasyon yoluyla ürün içindeki buz halinde bulunan suyun uzaklaştırıldığı esas kurutma işlemini takiben, kalan suyun uzaklaştırıldığı desorpsiyon kurutmasıdır. Bu aşamada, katı matris üzerinde adsorbe olmuş çoğu donmamış su uzaklaştırılır. Dondurarak kurutma genellikle %1-3 nihai nem içeriğine kadar devam eder ve bu sayede ürünün kalitesi korunur (Toledo, 2004). Dondurarak kurutma sisteminin şematik gösterimi Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2. 3 Dondurarak kurutma şematik gösterimi

Gıda endüstrisinde, ticari olarak dondurarak kurutma, diğer kurutma yöntemlerine göre üstün kalite sunması ve düşük sıcaklıklar kullanılması nedeniyle ilgi görmektedir. Bu işlem, lezzet, renk ve görünümü korur, ısıya duyarlı besin maddelerinin termal hasarını en aza indirir. Sürecin tamamı katı halde gerçekleştiği için büzülme ve diğer yapısal değişiklikler büyük ölçüde azalır. Bu nedenle ürünün aromasının bozulmadan korunması, işlem sonrası ürünün fiziksel ve yapısal özelliklerinin iyi kalması ve biyoaktif maddelerin kaybının minimal düzeyde olması yöntemin avantajları arasında yer almaktadır (Gouin, 2004; Berk, 2018).

Bu yöntemin dezavantajları ise, diğer yöntemlere kıyasla enerji tüketiminin yüksek olması, işlemin uzun sürmesi, maliyetinin yüksek olması olarak sıralanabilir (Zuidam, 2010).

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Mikroenkapsülasyon işleminde kullanmak üzere yüksek betasiyanin içeren betalain elde edilmesi amacıyla hammadde olarak seçilen kırmızı ejder meyvesi (*Hylocereus polyrhizus*) Eylül ve Ekim ayları içinde yerli bir üreticiden satın alınmıştır. Meyveler işleme alınincaya kadar -25 ± 1 °C'de Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü pilot tesisinde muhafaza edilmiştir. Tüm üretimlerde kullanılmak üzere hammadde tek partiden seçilmiştir.

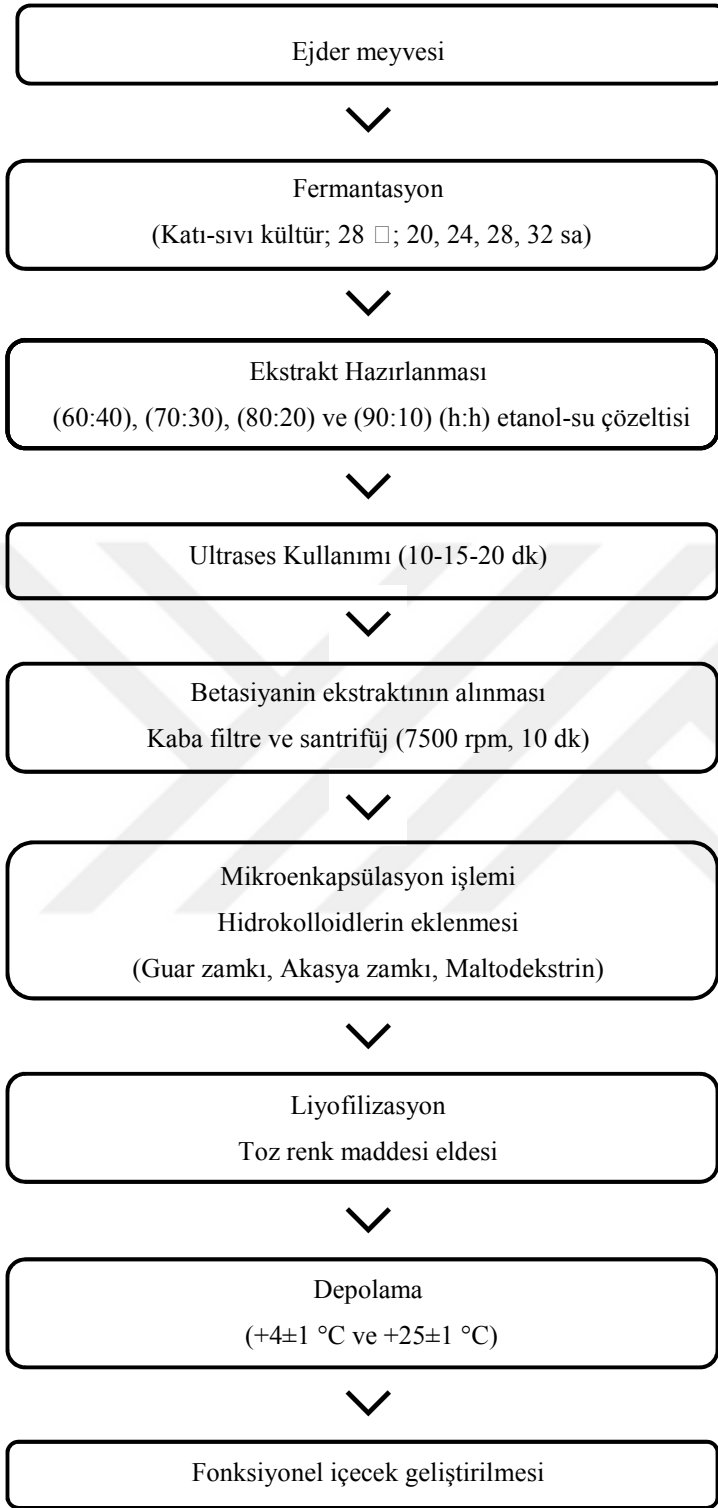
Fermantasyon işleminde kullanılacak olan starter mikroorganizma (*Saccharomyces cerevisiae*) E.Ü., Biyomühendislik Bölümünden temin edilerek Potato Dextrose Agar (PDA) besiyerinde 28 °C sıcaklıkta 24 sa inkübe edilerek geliştirilmiştir. Çalışmada kaplama ürünü olarak kullanılan maltodekstrin, akasya zankı ve guar zankı ile analizlerde kullanılan diğer kimyasallar İzdelta firmasından temin edilmiştir.

Çalışılması planlanan tür içerisinde bulunan betalain formunda hem betasiyanin hem betaksantin bulunmaktadır. Çalışma kapsamında ekstraksiyon verimini arttırarak alınması hedeflenen pigment betasiyanindir. Bu sebeple ekstrakt edilecek renk maddesi betalain olurken konsantrasyonunu ve stabilitesini arttırmak istediğimiz bileşen betasiyanin olacağı için yapılacak analizler de betasiyanin üzerinden olacaktır.

3.2 Çalışma Planı

Bu tez çalışmasında, yüksek betasiyanin içerikli betalain renk maddesinin stabilitesine fermentasyon işleminin etkisi incelenmiştir. Çalışmada, Ultra-Turrax T25 basic IKA-WERKE marka homojenizatör (14000 rpm’de 2 dk.) yardımı ile meyve homojen hale getirildikten sonra maya ilave edilerek fermente edilmiştir. Fermentasyon süresi tamamlanan ejder meyvesinden betalain ekstraksiyonunda çözücü olarak etanol-su kullanılmıştır. Çözgen ekstraksiyonu problu tip BANDELIN marka ultrases kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Amplitude: %100, 10-15-20 dk). Elde edilen süspanse karışım NUVE NF 800R santrifüj ile (7500 rpm, 10 dk) sıvı ve katı faz olarak ayrıştırılmıştır. Daha sonra, çözücü vakum altında 60 °C’de uzaklaştırılmıştır. Parametreler ön denemeler ile elde edilmiştir.

Mikroenkapsülasyon işlemi için farklı hidrokolloidlerin kullanımı test edilmiştir. Her kaplama maddesi için uygun nem değerine ulaşmak amacıyla farklı °Briks değerleri belirlenmiştir. Ekstrakta hidrokolloid ilave edilerek, liyofilizasyon yöntemiyle mikrokapsüle toz ürünler elde edilmiştir. Çalışma planı kapsamında gerçekleştirilecek tüm aşamalar Şekil 3.1’de akım şeması şeklinde verilmiştir.



Şekil 3. 1 Fonksiyonel özellikte toz renk maddesi üretimi akım şeması

3.3 Metot

3.3.1 Üretim yöntemleri

3.3.1.1 Fermantasyon

Maya Üretimi

Maya ekstraktı, Potato Dextrose Agar (PDA) besiyeri üzerinde, 28 °C sıcaklıkta 24 sa boyunca inkübe edilerek geliştirilmiştir. PDA besiyeri hazırlanması amacıyla, 250 mL hacimli bir Schott şişesine 200 mL distile su 7,8 g PDA hazır besiyeri eklenmiş ve homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırılmıştır. Elde edilen karışım, kaynatılmış ve 121 °C'de 15 dk otoklavda sterilize edilmiştir. Sterilizasyon işlemi tamamlandıktan sonra, 17 mL hacimdeki besiyeri aseptik koşullar altında steril petri kaplarına dökülmüştür. Agarın jelleşmesi için petri kaplarının kapakları yarı açık bırakılarak 20-25 dk süreyle ultraviyole ışık altında bekletilmiştir (Aslan and Sargin, 2023).

Jelleşme işlemi tamamlandıktan sonra, aseptik koşullarda stok kültürden bir öze yardımıyla mikroorganizma hücreleri alınmış ve agar yüzeyine zarar vermeden besiyeri üzerine ekilmiştir. Ekim işlemi sonrasında, petri kapları 28 °C sıcaklıkta 24 sa inkübe edilerek mikroorganizmaların gelişimi sağlanmıştır. İnkübasyon süresi sonunda, mikroorganizmalar üretim için uygun hale gelmiştir. Örnekler kullanılıncaya dek +4 °C sıcaklıkta saklanmıştır.

Starter kültür (*Saccharomyces cerevisiae*) aşı ortamı optimizasyonu

Üretim süreçlerinde kullanılacak mayanın optimum parametrelerin belirlenmesi için Box-Behnken yöntemi ile bir çalışma yürütülmüştür. Çalışmada sabit değişken olarak; karıştırma hızı (200 rpm), sıcaklık (28 °C), maya ekstraktı (17 g/L) bağımlı değişken olarak; optik yoğunluk ve biyokütle, bağımsız değişken olarak ise fermantasyon süresi (24-72 sa), pH değeri (4-5) ve glukoz konsantrasyonu (15-25 g/L) ise belirlenmiştir. Deney tasarımı yer alan değişkenler Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

Modelin uyumu, programın çıktıları olan uyum katsayısı (R^2), düzeltilmiş uyum katsayısı ($Adj-R^2$), Fisher testi (F-değeri) ve uyumsuzluk (lack of fit) değerleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 3. 1 Maya üretimi ve optimizasyon çalışması için seçilen değişkenler

Sabit Değişkenler		
Karıştırma hızı (200 rpm)	Sıcaklık (28 °C)	Maya ekstraktı (17 g/L)
Bağımsız Değişkenler		
Süre (24-72 sa)	pH değeri (4-5)	Glukoz (15-25 g/L)
Bağımlı Değişkenler		
Optik yoğunluk	Biyokütle (g/L)	

Verilen değerler temel alınarak gerçekleştirilen optimizasyon çalışması 250 mL hacimli erlenmeyerlerde 50 mL çalışma hacmi ile gerçekleştirilmiştir. 50 mL distile su içerisine 0,85 g besin mayası ve 0,1 g pepton ilave edilmiştir ve hazırlanan fraksiyonlara göre (15-25 g/L) glukoz ilave edilerek ortam karıştırılmıştır. Deney tasarımı yer alan fraksiyonlara göre ortamın pH değeri asit düzenleyiciler ile (0,1 M NaOH ya da 0,1 M HCl) ile ayarlanmıştır. Hazırlanan erlenmeyerlere pamuk tıkaç yerleştirilerek 121 °C'de 15 dk otoklavda sterilizasyon gerçekleştirilmiştir. Sterilizasyon işlemi sonucunda oda sıcaklığına soğutulan erlenmeyerlere stok kültürden mikroorganizma inokülasyonu aseptik koşullarda steril özeler ile gerçekleştirilmiştir. İnokülasyon sonrasında erlenmeyerler 28 °C'de 200 rpm karıştırma hızında çalkalamalı inkübatöre alınarak (24-72 sa) boyunca inkübe edilmiştir.

Optimizasyon işlemi sonucunda optimum parametrelerin belirlenmesi için biyokütle konsantrasyonu (g/L) ve OD değeri dikkate alınmıştır. Maya üretimi ve optimizasyon çalışması için Design Expert programı kullanılarak hazırlanan Box-Behnken deney tasarımı Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3. 2 Maya üretimi ve optimizasyon çalışması için Box-Behnken deney tasarımı

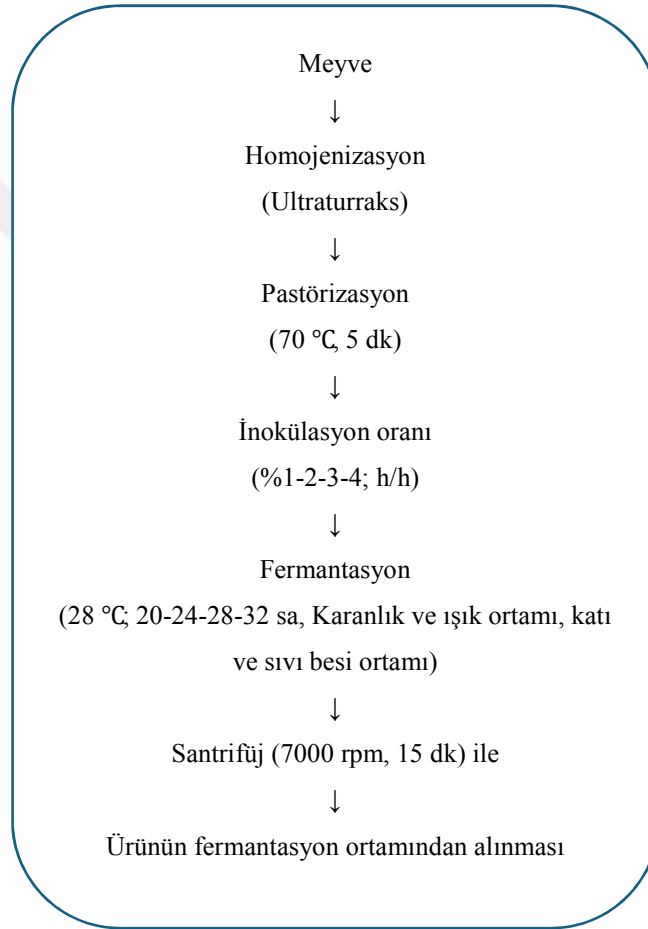
Deneme	Süre (sa)	pH değeri	Glukoz (g/L)
1	72	5,0	20
2	72	4,5	15
3	72	4,5	25
4	72	4,0	20
5	48	4,5	20
6	48	4,5	20
7	24	4,5	15
8	48	4,5	20
9	48	4,0	15
10	48	5,0	15
11	24	5,0	20
12	48	4,5	20
13	48	5,0	25
14	48	4,5	20
15	48	4,0	25
16	24	4,0	20
17	24	4,5	25

Ejder meyvesinin fermantasyon koşullarının belirlenmesi

Ejder meyvesinin aşı ortamı olarak kullanılacağı denemelerde büyüme ortamı olarak homojenize meyve püresi kullanılmıştır. Çeşitli parametrelerin betasiyanin içeriğine etkisinin incelenmesi amacıyla farklı koşullar kullanılarak fermantasyon denemeleri yapılmıştır. İncelenen parametreler maya inokülasyon oranı 100 (%1-2-3-4; h/h), fermantasyon süresi (20, 24, 28, 32 sa), katı-sıvı ve aydınlık-karanlık büyüme ortamlarıdır.

Fermantasyon denemeleri hem sıvı hem katı ortamda eş zamanlı olarak sürdürülmüştür. Çalışmalar 250 mL hacimli erlenmeyerlerde gerçekleştirilmiştir. Her iki grup için 20 g meyve tartılmıştır. Sıvı ortam denemelerinde kullanılacak örneklerin üzerine 20 mL distile su ilave edildikten sonra homojen hale gelene kadar karıştırılmıştır. Hazırlanan tüm örneklerin ağzı pamuk ile kapatılıp otoklav kullanılarak 75 °C’de 5 dk pastörize edilmiştir.

Fermantasyon denemeleri %2 (h/h) inokülasyon oranında, 28 °C’de 24 sa; karanlık ve ışık alan iki farklı ortamda gerçekleştirilmiştir. İnkübasyon katı ortam örneklerine statik olarak uygulanırken sıvı ortam örneklerine 200 rpm karıştırma hızında çalkalamalı inkübatörde uygulanmıştır. Denemeler sonunda meyvelerin pH değeri ve betasiyanin miktarı analiz edilerek üretim boyunca kullanılacak fermantasyon ortamı belirlenmiştir. Fermantasyon işlemi boyunca yürütülen süreç Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3. 2 Fermantasyon işlemi akım şeması

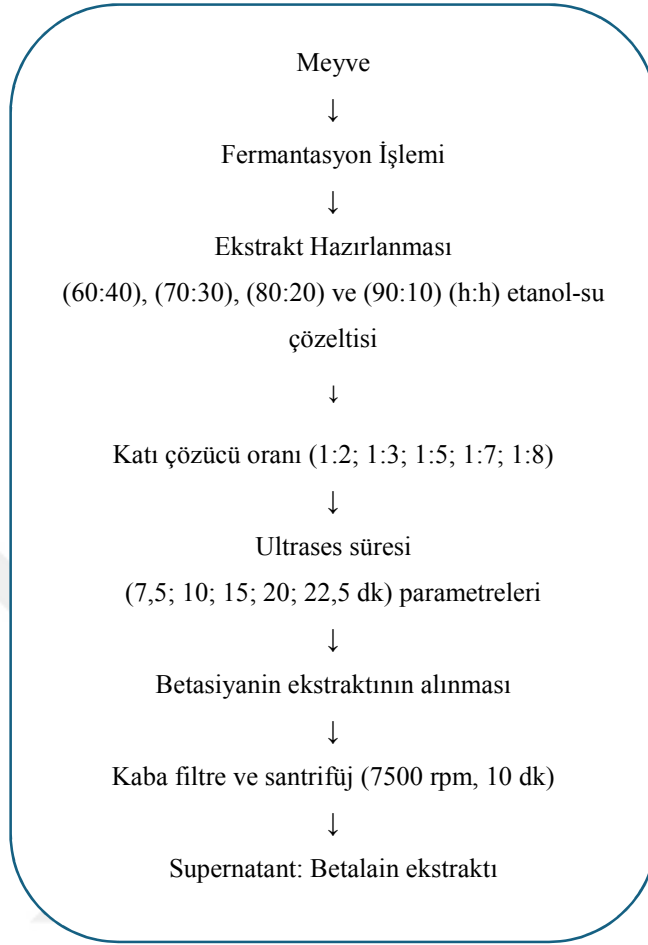
Gerçekleştirilen çalışmalar ışığında istatistiksel önem göz önünde bulundurularak katı-sıvı ve aydınlık-karanlık ortam koşullarının çalışmaya etkisi incelenmiştir. Belirlenen koşullar kullanılarak fermantasyon süresinin tespit edilmesi için mayanın çalıştığı sıcaklık sabit tutularak (28 °C), tüm örnekler %2 (h/h) oranında mikroorganizma aşılanmış ve örnekler 20, 24, 28 ve 32 sa inkübasyona bırakılmıştır. Her deneme sonucunda betasiyanin miktarı hesaplanarak optimum fermentasyon süresi tespit edilmiştir.

Belirlenen ortam koşulları ile fermantasyon süresi ve sıcaklığı sabit tutularak farklı maya oranları (%1-2-3-4; h/h) ile prosedür tekrarlanmıştır. Denemeler sonunda betasiyanin miktarları hesaplanarak en yüksek değerin olduğu inokülasyon oranı bulunmuştur.

3.3.1.2 Ekstraksiyon

Ekstraksiyon işleminde kullanılacak etanol-su karışımının (60:40), (70:30), (80:20) ve (90:10) (h:h) oranları, %95 güven aralığında Duncan çoklu karşılaştırma testi (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) kullanılarak belirlenmiştir.

Katı çözücü oranı (1:2; 1:3; 1:5; 1:7; 1:8) ve ultrases süresi (7,5; 10; 15; 20; 22,5 dk) parametreleri, Design Expert programında yanıt yüzey metodunun (RSM) Merkezi Birleşik Tasarımı (CCRD: Central Composite Rotatable Design) kullanılarak analiz edilmiştir. Her bir bağımlı değişken için çoklu regresyon analiz yöntemiyle bir matematiksel model oluşturulmuş ve modeldeki önemli terimler varyans analizi (ANOVA) ile belirlenmiştir. Modelin doğruluğu, uyumsuzluk testi (lack of fit) ve Fisher test değeri (F-değeri) ile değerlendirilmiştir. İşlem basamakları Şekil 3.3'de yer almaktadır.



Şekil 3. 3 Ekstraksiyon işlem basamakları

Ekstraksiyon solventi

Ekstraksiyon solventi için (60:40), (70:30), (80:20) ve (90:10) (h:h) etanol-su çözelti oranları ile denemeler yapılmıştır. Homojen püre haline getirilmiş ejder meyvesi ve fermente edilmiş meyveler 1:5 oranında ekstraksiyon solvent ile karıştırılmıştır. Elde edilen çözelti homojenizatör (Ultra-turrax, IKA-WERKE) ile 2 dk süre ile 15500 rpm devrinde homojenize edilmiştir. İşlem sonunda 7000 rpm, 10 dk boyunca santrifüj uygulanmıştır. Elde edilen süpernatantın betasiyanin içerikleri ile CIE lab renk değerleri olan L^* (+, aydınlık) değeri, a^* (+, kırmızılık) değeri ve b^* (+, sarılık) değeri ölçülmüştür.

Ekstraksiyon İşlem Parametrelerinin Optimizasyonu

Proses taze ejder meyvesi püresi ve fermantasyon işleminden sonra elde edilen fermente ejder meyvesi ile gerçekleştirilmiştir. Fermente ve fermente edilmemiş meyve püreleri 3:1, 5:1 ve 10:1 arasında değişen farklı çözücü/katı oranlarında belirlenen etanol konsantrasyonuna sahip ekstraksiyon solventi ile muamele edildikten sonra, 100 W sabit güçte farklı ekstraksiyon sürelerinde (15, 20, 25 dk) ultrases uygulamaları gerçekleştirilmiştir. İşlem sonunda 7000 rpm 15 dk santrifüj edilmiş ve ayrılan sıvı faz betasiyanin analizi için ekstrakt olarak kullanılmıştır.

Çizelge 3. 3 Ultrases süresi (US) ve katı:çözgen oranının optimizasyon çalışması için RSM deney deseni

Deneme	US Süre, dk	Katı:çözgen
1	10,0	3
2	15,0	2
3	15,0	5
4	10,0	7
5	22,5	5
6	15,0	5
7	7,5	5
8	20,0	7
9	20,0	3
10	15,0	5
11	15,0	8

Gerçekleştirilen çalışma Design Expert 7.0 programı kullanılarak oluşturulan deneme deseni Çizelge 3.3'te verilmiştir. Deneme deseni üçü merkez nokta olacak şekilde toplam 11 denemeden oluşmaktadır. Bağımsız değişkenler katı:çözücü oranı ve ultrases süresi iken yanıt değişkeni olarak betasiyanin içeriği seçilmiştir.

Sürekli ve kademeli ekstraksiyon denemeleri

Betasiyanin verimini arttırmak için kademeli ekstraksiyon yöntemi ile denemeler gerçekleştirilmiştir. Sürekli ekstraksiyon işleminde meyveler (70:30) etanol-su çözeltisi ile 1:7 katı: çözgen oranında muamele edildikten sonra 10 dk

ultrases işlemine tabi tutulmuştur. İşlem sonrası çözelti 6000 rpm 20 dk santrifüj edilmiştir. Santrifüjden elde edilen ekstraktın betasiyanin, betaksantin, toplam betalain analizleri yapılmıştır.

Kademeli ekstraksiyon işlemi 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk kademede püre formundaki 100 g meyve ekstraksiyon çözgeni kullanılmadan santrifüj edilmiştir. Sıvı kısım alınarak katı faz 350 mL (70:30) etanol-su çözeltisi eklendikten sonra 10 dk ultrases uygulanmıştır. İşlem sonrası çözelti 6000 rpm 20 dk santrifüj edilmiştir. Sıvı kısım toplanırken katı kısma 350 mL (70:30) etanol-su çözeltisi eklendikten sonra 6000 rpm 20 dk santrifüj işlemi tekrarlanmıştır. Toplanan sıvı faz manyetik karıştırıcıda 10 dk 350 rpm karıştırıldıktan sonra analizler gerçekleştirilmiştir.

3.3.1.3 Enkapsülasyon

Enkapsülasyon işlemi hem fermente hem fermente olmayan kontrol örneklerinde gerçekleştirilmiştir. (3.3.1.2.) bölümünde yer alan prosedür kullanılarak ekstraksiyon işlemi uygulanmıştır. Elde edilen ekstrakt içinden makromolekülleri uzaklaştırılarak yalnızca betalain ve çözgenin bulunduğu kısmı almak için kaba filtre ile santrifüj (7500 rpm, 10 dk) uygulaması gerçekleştirilerek maltodekstrin, akasya zımkı ve guar zımkı olmak üzere üç farklı hidrokolloid ile mikroenkapsülasyon denemeleri yapılmıştır.

Çalışma da elde edilen ekstrakt içindeki etanol vakumlu evaporatörde 60 °C'de buharlaştırılmıştır. Maltodekstrin denemelerinde Ersus ve Yurdagel (2007)'in uyguladıkları işlem basamakları takip edilmiştir. Maltodekstrin kaplama maddesi ilave edilecek ekstraktın suda çözünür katı madde değeri 20 °Briks derecesine ayarlanmış ve 300 rpm 30 dk 40 °C sıcaklıkta ısı karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Akasya zımkı ile mikroenkapsülasyon işleminde ise Nthimole, Kaseke ve Fawole (2022)'nin uyguladığı üretim yönetimi kullanılmıştır. Mikroenkapsülasyonda, 150 mL ekstrakta 15 g akasya zımkı ilave edilerek son ekstrakt 10 °Briks değerine ayarlanmıştır. Ekstrakt ısı karıştırıcıda 300 rpm'de 30 dk boyunca 40 °C sıcaklıkta karıştırılmıştır. Elde edilen karışımlar buz kalıplarına alınarak -18 °C'de 24 sa dondurulmuştur.

Literatür araştırmasında guar zampının tek kullanıldığı mikroenkapsülasyon çalışmasına rastlanmadığı için duvar malzemesi olarak guar zampı kullanılacak mikroenkapsülasyon üretiminde farklı oranlarda denemeler gerçekleştirilmiştir. Guar zampı denemeleri fermente ve fermente olmayan meyveler ile gerçekleştirilmiştir. Ekstrakt çözeltisine (0,1:100), (0,3:100) ve (0,5:100) (a:h) oranlarında guar zampı ilave edilmiştir. Ekstraktlar ısı karıştırıcıda 300 rpm'de 30 dk boyunca 40 °C sıcaklıkta karıştırılmıştır. Elde edilen karışımlar buz kalıplarına alınarak -18 ± 2 °C'de 24 sa dondurulmuştur.

Dondurarak kurutma

Çalışmalarda Liyolife marka (FD5CT serisi, 253.3.6/22/194 numaralı cihaz) dondurarak kurutma cihazı kullanılmıştır. Dondurulmuş ürünlerin erimesini engellemek için cihaz dondurma evresinde çalıştırılıp erime olmadan proses başlatılmıştır. Kurutma işlemi için liyofilizatör sıcaklık profili 30 °C'de 6 sa, 40 °C'de 9 sa ve 50 °C'de 6 sa olmak üzere toplam 21 saatte gerçekleştirilmiştir.

3.3.1.4 Stabilite Çalışması

Dondurarak kurutma işleminden sonra elde edilen mikrokapsüle toz renk maddeleri 4 hafta süre ile oda sıcaklığında (25 ± 1 °C) ve buzdolabında (4 ± 1 °C) depolanmıştır. Fonksiyonel toz ürünler ışık geçirgenliği olmayan doypack ambalajlar içinde muhafaza edilmiştir. Kullanılan doypack ambalaj malzemesi içten dışa doğru 100 µ polietilen (PE), 9 µ alüminyum (Al) ve 12 µ polietilen tereftalattır (PET). Malzeme nem, ışık geçirmez ve gıda kullanımına uygundur. Örneklerin nem değerleri, toplam betalain miktarları, toplam fenolik madde miktarları ve renk analizleri yapılmıştır.

3.3.1.5 Fonksiyonel İçecek Üretimi

Çalışma kapsamında 4 ve 25 °C sıcaklıklarda stabilitesi belirlenen toz renk maddelerinden en yüksek stabiliteye sahip ürün fonksiyonel özellikte içecek üretiminde kullanılmıştır. İçecek geliştirilmesinde Gupta ve arkadaşlarının (2023) yapmış oldukları çalışmadan yararlanılmıştır. Ürün formülasyonunda betalain mikrokapsülleri, askorbik asit, sitrik asit, agave aroması, sodyum eritorbat ve

silikon dioksit yer almaktadır (Şekil 3.4). Gerekli girdi miktarları ön denemelerle bulunmuştur.



Şekil 3. 4 Fonksiyonel içecek üretiminde kullanılan girdiler

3.3.2 Analiz yöntemleri

Belirlenen analizler taze ejder meyvesine, fermantasyon etkinliği (maya üretimi optimizasyonu) belirlenirken maya ekstraktına, meyve fermantasyonunun etkinliği belirlenirken fermente meyveye ve depolama analizleri için elde edilen toz renk maddesi örneklerine uygulanmıştır. Analizler en az 3 tekrar olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması süresince hammaddeye; toplam kuru madde (%), suda çözünür kuru madde (°Brix), pH değeri, titrasyon asitliği (% sitrik asit), renk değerleri (L^* , a^* , b^*), toplam şeker içeriği (g glukoz/100g KM), antioksidan kapasitesi (%DPPH), toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g KM), toplam betalain miktarı (mg/100g KM), toz ürünlere; toplam kuru madde (%), renk değerleri (L^* , a^* , b^*), toplam fenolik madde miktarı (mg GAE/100 g KM), toplam betalain miktarı (mg/100g KM) analizleri uygulanırken maya optimizasyonu için fermantasyon işleminde optik yoğunluk (OD) değeri ve biyokütle tayini gerçekleştirilmiştir.

3.3.2.1 Toplam kuru madde (KM) tayini:

Analiz hammadde ve toz ürün özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Toplam kuru madde analizinde kullanılacak olan 60*15 mm boyutlarındaki cam petri kapları vakumlu etüvde (Nüve EV 018, Türkiye) 65 °C'de sabit ağırlık kaydedilinceye kadar bekletilmiştir. Blend edilen taze meyve 3-4 g tartılarak, toz renk maddeleri 0,5-0,7 g tartılarak sabit ağırlığa gelinceye dek vakumlu etüvde 65 °C'de kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan petri kapları desikatörde soğutulmuştur. Soğuyan örnekler tartıldıktan sonra aşağıda verilen denklem ile kuru madde değerleri hesaplanmıştır (AOAC, 1990). Ölçümler üçer tekrar olarak gerçekleştirilmiştir.

$$\%KM = \frac{M_3 - M_1}{M_2} * 100 \quad (\text{Denklem 3.1})$$

M₁: Sabit tartıma gelen cam petri kabının darası (g)

M₂: Örnek miktarı (g)

M₃: Örnek + petri kabının son ağırlığı (g)

3.3.2.2 Suda çözünür kuru madde analizi:

Püre formundaki taze ejder meyvesi kaba filtre kağıdından geçirildikten sonra, toz örnekler saf su ile karıştırılıp kaba filtre kağıdından geçirildikten sonra dijital refraktometre (Hanna HI, Romanya) ile suda çözünür kuru madde miktarı ölçülmüştür (Cemeroğlu, 2013).

3.3.2.3 pH Değeri Tayini:

Örneklerin pH değerleri potansiyometrik yöntem ile pH-metre (Inolab WTW, Almanya) kullanılarak belirlenmiştir (Cemeroğlu, 2013).

3.3.2.4 Titrasyon Asitliği Tayini:

Blend edilmiş taze ejder meyvesi homojenize edildikten sonra pH değeri 8,1'e kadar 0,1 N NaOH ile titrasyon uygulanmış ve sarf edilen baz miktarı kaydedilmiştir.

Asitlik miktarı (%), Denklem 2 ile hesaplanmıştır.

$$\%TA = \frac{V * e}{M} * 100 \quad (\text{Denklem 3.2})$$

V: Sarf edilen 0,1 N NaOH miktarı (mL)

e: 1 mL 0,1 N NaOH eşdeğeri asit miktarı (g)

M: Örnek miktarı (g)

3.3.2.5 Renk Tayini:

Taze ejder meyvesi Ultra-turrax marka homojenizatör ile püre formuna getirildikten sonra renk kabının 25 mm çizgisine kadar doldurulmuştur. Hunter-Lab kolorimetresi (Colorflex model, Management Company, USA) renk ölçüm cihazı ile CIELAB renk değerleri L* (aydınlık), a* (+a*: kırmızı, -a*: yeşil) ve b* (+b*: sarı, -b*: mavi) değerleri ölçülmüştür. Kroma (C) ve Hue açısı (h°) değerleri Denklem 3 ve 4 ile hesaplanmıştır (Cemeroğlu, 2010).

$$C = ((a^*)^2 + (b^*)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Denklem 3.3})$$

$$h^{\circ} = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (\text{Denklem 3.4})$$

3.3.2.6 Toplam Şeker Analizi:

Taze ejder meyvesi ve toz örnekler içerisindeki şeker uygun seyreltme oranlarında ultra saf su ile ekstrakte edilmiştir. Çözelti kaba filtre kağıdından geçirildikten sonra Fenol-Sülfirik asit yöntemi ile şeker analizi gerçekleştirilmiştir (Dubois, 1956). Standart grafik elde etmek için 0-100 µg/mL oranlarında glukoz çözeltisi hazırlanıp, standart eğri oluşturulmuştur. Elde edilen grafik kullanılarak

örnekteki şeker miktarını glukoz cinsinden belirlenmiştir. Tüm ekstraktlar 490 nm dalga boyunda UV-Spektrofotometre ile belirlenmiştir.

3.3.2.7 Betalain ekstraktının hazırlanması:

Renk maddesi örneklerinden ve taze ejder meyvesinden elde edilen ekstraktlara toplam betalain, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite analizleri uygulanmıştır. Ekstratlar taze meyve için 5 g tartılıp 50 mL %80'lik etanol: su çözeltisi ile muamele edildikten sonra homojenize edilmiştir. Santrifüj (g, sıcaklık, süre) sonrası ayrılan sıvı faz ekstrakt olarak kullanılmıştır.

3.3.2.8 Betalain miktarının belirlenmesi:

Betalain miktarı, Nouairi vd. (2021)'e göre UV-spektrofotometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ekstraktın betasiyanin miktarı 538 nm, betaksantin miktarı ise 480 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Örneklerin toplam betalain, betasiyanin ve betaksantin miktarı aşağıda verilen formüller ile hesaplanmıştır.

$$Betasiyanin \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{A * SF * M_w}{e * l} * 1000 \text{ (Denklem 3.5)}$$

$$Betaksantin \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{A * SF * M_w}{e * l} * 1000 \text{ (Denklem 3.6)}$$

$$Toplam betalain \left(\frac{mg}{L} \right) = Betasiyanin \left(\frac{mg}{L} \right) + Betaksantin \left(\frac{mg}{L} \right) \text{ (Denklem 3.7)}$$

A: absorpsiyon, SF: seyreltme faktörü, l: ışın yolu (1 cm), e: molar absorpsiyon katsayısı (L/mol cm), Betasiyanin için MW=550 g/mol; e=60 L/mol cm, Betaksantin için MW=308 g/mol; e=48 L/mol cm

Yukarıdaki denklemler kullanılarak elde edilen veriler 100 gram kuru madde içeriğinde hesaplanmıştır.

3.3.2.9 Toplam fenolik madde miktarı tayini:

Ekstraktların toplam fenolik madde miktarı Folin-Ciocalteu reaktifi ile spektrofotometrik olarak belirlenmiştir (Tekin vd., 2023). Folin-Ciocalteu reaktifi saf su ile 10 kat seyreltilerek kullanılmıştır. 2,5 mL Folin reaktifi 0,5 mL örnek ekstraktı ile muamele ettikten sonra 4 dk karanlıkta inkübe edilmiştir. Tüplerin üzerine 2 mL Na₂CO₃ çözeltisi (75 g/L) eklenmiştir. Daha sonra örnek tüpleri 50 °C su banyosunda 5 dk bekletilip soğuduktan sonra UV spektrofotometre ile 760 nm'de absorbans okunmuştur.

Toplam fenolik madde miktarının belirlenmesi amacıyla gallik asit çözeltileri 10-50 ppm aralığında hazırlanıp aynı işlemler bu çözeltiler için de uygulanarak gallik asit standart eğrisi çizilmiştir (Bilek, 2010). Örneklerin fenolik madde miktarı mg gallik asite eşdeğer/100 g KM olarak hesaplanmıştır.

3.3.2.10 Antioksidan kapasitesi analizi:

Ekstraktların antioksidan kapasiteleri Blois (1958) tarafından rapor edilmiş DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) metoduna göre bazı modifikasyonlarla belirlenmiştir. Analiz için örnek, kör ve kontrol olarak üç karışım hazırlanmıştır. Örnek karışımı için tüplere 0,5 mL örnek, 0,3 mL DPPH çözeltisi ve 3 mL etanol eklenmiştir. Kör, DPPH çözeltisi içermeyen 3,3 mL etanol ve 0,5 mL örnek karıştırılarak hazırlanmıştır. Kontrol, örnek içermeyen 3,5 mL etanol ve 0,3 mL DPPH radikal çözeltisi karıştırılarak elde edilmiştir. Karışımlar UV spektrofotometre ile 517 nm dalga boyunda okunmuş, aşağıdaki denklem ile antioksidan kapasite yüzdesi hesaplanmıştır.

$$\%AK = 100 - \left(\frac{Abs(\text{örnek}) - Abs(\text{kör})}{Abs(\text{kontrol})} * 100 \right) \text{ (Denklem 3.8)}$$

Her örnek için üç paralel analiz sonucu hesaplanan % antioksidan kapasite değerlerinin ortalaması alınmış ve farklı konsantrasyonlara karşılık gelen değerlere karşı grafik çizilerek EC50 değeri hesaplanmıştır.

3.3.2.11 Optik Yoğunluk (OD) değerinin belirlenmesi:

Fermantasyon sonunda örneklerden 1 mL alınır ve 600 nm dalga boyunda UV spektrofotometre kullanılarak absorbans değerleri kaydedilir. Kontrol grubu olarak steril besin ortamı kullanılmıştır. Spektrofotometrik ölçümlerde elde edilen sonucun 1,000 ve üzeri olmaması dikkate alınmıştır, okunan değer 1,000 üzerinde olması halinde seyreltme işlemi uygulanarak sonuçlar alınmıştır (Kasavi vd., 2012).

3.3.2.12 Biyokütle tayini:

Biyokütle tayini için 65 °C, 515-775 mmHg basınç değerine ayarlanmış vakumlu etüvde (Nüve EV 018, Türkiye) sabit ağırlığa getirilen 50 mL'lik santrifüj tüpleri kullanılmıştır. Tüpler içerisine fermentasyona tabi tutulmuş örneklerden 25 mL alınmış ve 6000 rpm, 9 dk santrifüj edilmiştir. İşlem sonunda elde edilen süpernatant (sıvı faz) besin ortamı ve hücre atıklarını bulundururken pellet (katı faz) mikroorganizmaları içermektedir. Süpernatant ve pellet fazları dekantasyon yöntemi ile birbirinden ayrılarak süpernatant faz uzaklaştırılmış ve pellet içeren tüpler 60 °C'de 24 sa vakumlu etüvde kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Kuru hücreleri içeren tüplerin ağırlıkları kaydedilmiştir. Örnek ilave edilmeden önceki ağırlığa olan farkı hesaplanarak kuru biyokütle miktarı hesaplanmıştır. Biyokütle değeri g/L cinsinden belirtilmiştir (Kasavi vd., 2012).

3.3.2.13 Duyusal analiz:

Tez kapsamında optimizasyon ve denemeler sonucunda elde edilen yüksek betasiyanin içerikli mikrokapsüle betalain renk maddesi kullanılarak geliştirilen fonksiyonel içeceğe duyusal analiz testi uygulanmıştır. Fonksiyonel içeceğin duyusal nitelikleri ve kabulü, standart 5 puanlık bir hedonik ölçek kullanılarak değerlendirilmiştir. Renk, aroma, tat, doku (viskozite) ve genel kabul edilebilirlik gibi çeşitli ürün özellikleri üzerinde bir değerlendirme yapılmıştır. Hepsi 20 ila 35 yaşları arasında olan on üç eğitimli paneliste değerlendirmeleri için 1 ila 5 puan arasında değişen bir ölçek sağlanmıştır. Panelistlere "5 - çok beğenildi, 4 - beğenildi, 3 - orta derecede beğenildi, 2 - beğenilmedi ve 1 - çok beğenilmedi"

(Keerthana ve diğeri, 2020) şeklinde değerlendirilen puanları atamaları talimatı verilmiştir.

3.3.2.14 İstatistiksel değerlendirme:

Bu çalışmada elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirilmesi SPSS paket programı (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Varyans analizi (ANOVA) kullanılarak parametrelerin sonuçlar üzerindeki etkisi belirlenmiş ve ortalamalar arasındaki farklar Duncan çoklu karşılaştırma testi ile %95 güven aralığında ($P<0,05$) tespit edilmiştir.

Optimizasyon çalışmaları, Design-Expert (Statease Inc., Minneapolis, MN, USA) adlı istatistik programı kullanılarak Yanıt Yüzey Metodu (Response Surface Methodology, RSM) ve Box-Behnken Tasarımı ile yapılmıştır. Elde edilen her bir bağımlı değişken için çoklu regresyon analiz yöntemiyle bir matematiksel model oluşturulmuş ve modeldeki anlamlı değişkenler varyans analizi (ANOVA) ile belirlenmiştir. Modelin doğruluğu, programın ANOVA çıktıları olan uyum eksikliği (lack of fit), uyum katsayısı (R^2) ve Fisher test değeri (F-değeri) ile değerlendirilmiştir.

Tüm analizler tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve verilerin güvenilirliği sağlanmıştır.

4 BULGULAR VE TARTIŞMA

Betalain ekstraksiyon koşulları ve fermantasyon koşullarının optimizasyonuna ait sonuçlar bu bölümde verilmiştir. Ejder meyvesinden fermantasyon teknolojisi kullanılarak elde edilen betalain renk maddesinin fonksiyonel özelliklerini ve stabilitesini iyileştirmek için hidrokolloidlerle mikroenkapsülasyonuna ilişkin analiz sonuçları bu bölümde yer almaktadır.

4.1 Ejder meyvesinin fizikokimyasal analiz sonuçları

Homojenizatör kullanılarak püre haline getirilen ejder meyvesinin pH değeri, titrasyon asitliği, toplam kuru madde ve suda çözünür kuru madde değerleri, renk değerleri (L^* , a^* , b^* , C^* ve hue), toplam şeker miktarı, antioksidan kapasitesi, toplam fenolik madde miktarı ve toplam betalain (Betasiyanin+Betaksantin) içeriği Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4. 1 Taze ejder meyvesinin fizikokimyasal analiz sonuçları

Analizler	Kırmızı Ejder Meyvesi
pH değeri	5,09±0,01
Titrasyon asitliği (% sitrik asit)	11,00±0,02
Kuru madde (%)	15,22±0,02
Suda çözünür kuru madde (°Brix)	14,60±0,05
Renk değerleri	
L^*	6,18±0,03
a^*	33,02±0,06
b^*	-2,59±0,06
Hue açısı	0,08±0,01
Kroma açısı	33,32±0,19
Toplam şeker (g/100g)	7,30±0,38
Antioksidan kapasitesi (%)	88,47±0,10
Toplam Fenolik Madde (mg GAE/100g KM)	351,36±0,77
Toplam Betalain Miktarı (mg/100g KM)	
Betasiyanin	177,50±1,68
Betaksantin	58,32±1,80
Toplam Betalain	235,82±3,42

Ejder meyvesine uygulanan analizler sonucunda elde edilen veriler mevcut literatürle uyumlu olup gerçekleştirilen literatür çalışmasına ait değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Ejder meyvesi ile yapılan bu çalışmada elde edilen pH değeri 5,08-5,10 aralığında olup, literatürde belirtilen 4,57-5,58 aralığı ile uyumludur (Nur et al., 2023; Ghorband et al., 2021). Titrasyon asitliği $\%11,00 \pm 0,02$ olarak tespit edilmiştir ve bu değer literatürde $\%0,15-0,19$ aralığında rapor edilmiştir (Arivalagan et al., 2021). Kuru madde oranı $\%15,20-15,24$ arasında, suda çözünür kuru madde oranı ise $14,60 \pm 0,05$ °Brix olarak belirlenmiştir ve bu sonuçlar literatürde bildirilen değerlerle örtüşmektedir (Liaotrakoon et al., 2013b; Nur et al., 2023). Renk değerleri $L^* 6,18 \pm 0,03$, $a^* 33,02 \pm 0,6$ ve $b^* 2,59 \pm 0,06$ olarak ölçülmüştür ve literatürle uyumludur (Ghorband et al., 2023). Toplam şeker miktarı $7,30 \pm 0,38$ g/100 g olarak bulunmuş ve literatürde bildirilen 4,66-5,89 g/100 g değerleriyle tutarlıdır (Nur et al., 2023; Arivalagan et al., 2021). Antioksidan aktivite $\%88,47 \pm 0,15$ olarak belirlenmiş olup, literatürde bildirilen değerlerden daha yüksektir (Manan et al., 2019; Zitha et al., 2022). Toplam fenolik madde miktarı $351,36 \pm 0,77$ mg GAE/100 g KM olarak ölçülmüş ve literatürde belirtilen değerlerle karşılaştırıldığında yüksektir (Zitha et al., 2022; Arivalagan et al., 2021). Betasiyanin miktarı $177,50 \pm 1,68$ mg/100 g KM olarak tespit edilmiş olup, literatürde belirtilen değerlerden daha yüksektir (Mahayothee et al., 2019; Zitha et al., 2022). Sonuç olarak, bu çalışma, ejder meyvesinin zengin besin içeriğini ve yüksek antioksidan kapasitesini göstermekte ve literatürdeki bulgularla uyumlu sonuçlar sunmaktadır.

Çizelge 4. 2 Literatür çalışması

Analiz	Analiz Sonucu	Literatür sonucu	Referans
pH değeri	5,08-5,10	4,57-4,59	Ghorband vd., 2023
		5,50-5,58	Nur vd., 2023
		4.26-4.98	Esquivel vd., 2007
Titrasyon asitliği (%sitrik asit)	11,00±0,02	0,15-0,19	Arivalagan vd., 2021
KM (%)	15,20-15,24	%15,93-16,19	Liaotrakoon ve arkadaşlarının (2013b)
		%13,02-14,28	Ghorband vd., 2023
		%16,03-16,37	Arivalagan vd., 2021
Suda çözünür kuru madde (°Brix)	14,60±0,05	11,40-11,46	Ghorband vd., 2023
		13,6-14,0	Nguyen vd., 2021
Renk değerleri L* a* b* hue kroma açısı (**Hue açısı, renk tonunu ifade eden bir değerdir. 0° kırmızı-mor Kroma değeri açısında ise en parlak renk 50°)	6,18±0,03 33,02±0,06 -2,59±0,06 0,08±0,01 33,32±0,19	20,92-21,28 5,88-6,38 0,65-0,67	Ghorband vd., 2023
		3,35-3,67 2,67-3,25 1,24-1,62	Nguyen vd., 2021
		29.56±0.64 36.68±1.29, -5.19±0.57 39.06±1.27 352.23±0.93	Mahayothee ve arkadaşları (2019)
		4,66-5,22	Nur vd., 2023
		4,85-5,89	Arivalagan vd., 2021
		61,36-63,38	Ghorband vd., 2023
		73.38 ±2.24%	Manan vd., 2019
		377,59-603,69 mg/100g KM	Zitha vd., 2022
		34,85-36,5 (mg GAE/100g taze meyve)	Arivalagan vd., 2021
		14,05-14,77	Ghorband vd., 2023
Betasiyanin (mg/100 g KM)	177,50±1,68	12,5-16,3 (mg/100 g taze meyve)	Arivalagan vd., 2021
		84.18±11.04; 119.50±19.37	Mahayothee 2019
		7,09-250,19 mg/100g	Zitha vd., 2022 (Depolama analizi)

4.2 Maya Üretimi ve Fermantasyon İşlemi

4.2.1.1 Maya üretim parametrelerinin Box-Behnken deney tasarımı ile optimizasyonu

Maya konsantrasyonunu etkileyen parametrelerden süre, pH değeri ve glukoz konsantrasyonunun üretim sonundaki optik yoğunluk ve biyokütle konsantrasyonuna etkisi araştırılmıştır. Üretim parametreleri, ön denemeler yapılarak optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon çalışmaları için Design Expert 7.0 ile hazırlanan Box-Behnken deney tasarımı kullanılmıştır. Program içerisinde kullanılan değişkenler Çizelge 4.3’de, optimizasyon çalışmasında oluşturulan deney tasarımı ve sonuçları ise Çizelge 4.4’de yer almaktadır.

Çizelge 4. 3 Maya üretimi ve optimizasyon çalışması için Box-Behnken deney tasarımı

Sabit Değişkenler		
Karıştırma hızı (200 rpm)	Sıcaklık (28 °C)	Maya ekstraktı (17 g/L)
Bağımsız Değişkenler		
Süre (24-72 sa)	pH değeri (4-5)	Glukoz (15-25 g/L)
Bağımlı Değişkenler		
Optik yoğunluk	Biyokütle (g/L)	

Çizelge 4. 4 Maya üretimi ve optimizasyon çalışması için Box-Behnken deney tasarımı sonuçları

Deneme no	Bağımsız değişken			Bağımlı değişken	
	Süre (sa)	pH değeri	Glukoz (g/L)	OD	Biyokütle (g/L)
1	72	5,0	20	25,12	11,98
2	72	4,5	15	21,48	11,28
3	72	4,5	25	24,06	13,52
4	72	4,0	20	24,98	13,94
5	48	4,5	20	31,75	17,2
6	48	4,5	20	31,97	18
7	24	4,5	15	10,86	15,06
8	48	4,5	20	32,16	17,92
9	48	4,0	15	26,57	15,38
10	48	5,0	15	25,69	14,28
11	24	5,0	20	14,53	16,76

12	48	4,5	20	31,09	15,84
13	48	5,0	25	28,65	14,96
14	48	4,5	20	31,57	16,68
15	48	4,0	25	27,54	15,24
16	24	4,0	20	15,01	8,9
17	24	4,5	25	14,92	12,24

Deney tasarımı, beşi merkez olmak üzere 17 denemeden oluşmaktadır. Bağımsız değişkenler fermantasyon süresi (24, 48, 72 sa), pH değeri (4, 4.5, 5) ve glukoz konsantrasyonu (15, 20, 25 g/L); bağımlı değişkenler ise optik yoğunluk ve biyokütle olarak seçilmiştir. Uyum katsayısı (R^2), ayarlanmış uyum katsayısı (Adj- R^2), Fisher test değeri (F) ve uyum eksikliğine göre model uyumu değerlendirilmiştir. Biyokütle ve OD çıktıları incelendiğinde sonuçlar modelin anlamlılığını ve yapılan optimizasyon testinin başarılı olarak sonuçlandığını göstermiştir.

4.2.1.1 Fermantasyon süresi, ortam pH değeri ve başlangıç glukoz konsantrasyonunun optik yoğunluk ve biyokütle değerine etkisi

Optimizasyon sonucunda biyokütle ve optik yoğunluk değerlerinin ANOVA testi gerçekleştirilmiştir. Biyokütle konsantrasyonu sonuç tabloları Çizelge 4.5'te OD değerlerinin tabloları ise Çizelge 4.6'te verilmiştir.

Çizelge 4. 5 Optimize edilmiş biyokütle sonuçlarına göre ANOVA tablosu

Model parametreleri	Kareler toplamı	df	F-değeri	P-değeri	Önem düzeyi
Model	91,47	9	6,18	0,0127	Anlamlı
A-Süre	0,63	1	0,38	0,5563	
B-pH değeri	2,55	1	1,55	0,2527	
C-Glukoz konsantrasyonu	2,000E-004	1	1,217E-004	0,9915	
AB	24,11	1	14,67	0,0065	
AC	6,40	1	3,89	0,0890	
BC	0,17	1	0,10	0,7584	
A ²	42,00	1	25,56	0,0015	
B ²	6,25	1	3,80	0,0921	
C ²	4,99	1	3,04	0,1250	

Kalıntı	11,50	7			
Uyum Eksikliği (Lack of fit)	7,73	3	2,73	0,1779	Anlamsız
Saf hata (Pure Error)	3,77	4			
	Katsayı				
R²	0,8883				
Ayarlanmış R²	0,7446				
Standart Sapma	1,28				

Çizelge 4. 6 Optimize edilmiş OD sonuçlarına göre ANOVA Testi

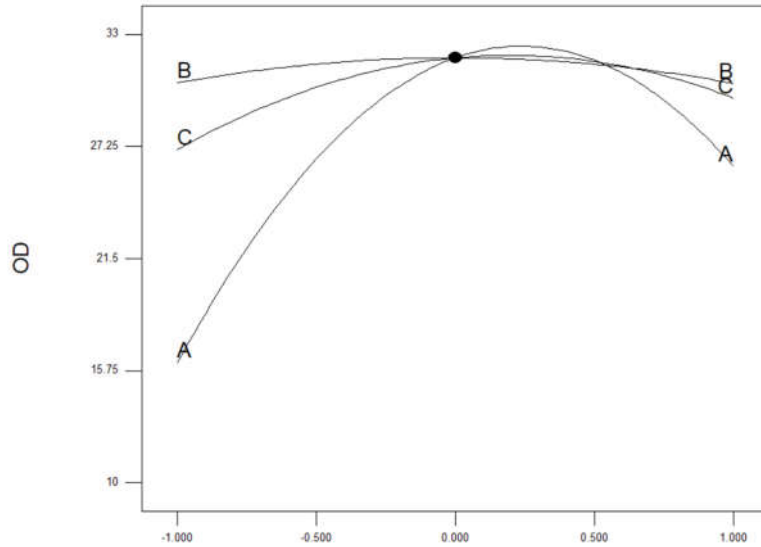
Model parametreleri	Kareler toplamı	Df	F-değeri	P-değeri	Önem düzeyi
Model	773.86	9	319.61	< 0.0001	Anlamlı
A-Süre	203.21	1	755.35	< 0.0001	
B-pH değeri	1.512E-003	1	5.622E-003	0.9423	
C-Glukoz konsantrasyonu	13.97	1	51.91	0.0002	
AB	0.096	1	0.36	0.5689	
AC	0.55	1	2.04	0.1967	
BC	0.99	1	3.68	0.0966	
A²	471.42	1	1752.29	< 0.0001	
B²	7.10	1	26.40	0.0013	
C²	48.07	1	178.67	< 0.0001	
Kalıntı	1.88	7			
Uyum Eksikliği (Lack of fit)	1.04	3	1.64	0.3149	Anlamsız
Saf hata (Pure Error)	0.84	4			
	Katsayı				
R²	0.9976				
Ayarlanmış R²	0.9945				
Standart Sapma	0.52				

Yanıt yüzey yönteminde OD değerinin, süre (A), pH değeri (B) ve glukoz konsantrasyonu (C) parametrelerine bağlı model denklemi aşağıda verilmiştir (Denklem 4.1).

$$\text{OD değeri} = 31,79 + 5,04A - 0,014B + 1,32C + 0,16AB - 0,37AC + 0,50BC - 10,58A^2 - 1,30B^2 - 3,38C^2 \quad (\text{Denklem 4.1})$$

ANOVA testi sonuçlarına göre, biyokütle ve OD çıktıları incelendiğinde R^2 uyum katsayıları sırasıyla 0,8883 ve 0,9976 olarak hesaplanmıştır, Optimizasyon çalışmasının başarılı sayılması için R^2 değerinin %95'in üstünde olması beklenmektedir (Swamy ve ark., 2014), OD sonuçlarına göre yapılan ANOVA testi sonucunda elde edilen R^2 değerinin %99,76 olarak görülmesi, modelin anlamlılığını ve yapılan optimizasyon testinin başarılı olarak sonuçlandığını göstermiştir, Parametrelerin optimum değerlerinin belirlenmesi, R^2 değeri %95'in üzerinde olan OD çıktısına göre yapılmıştır.

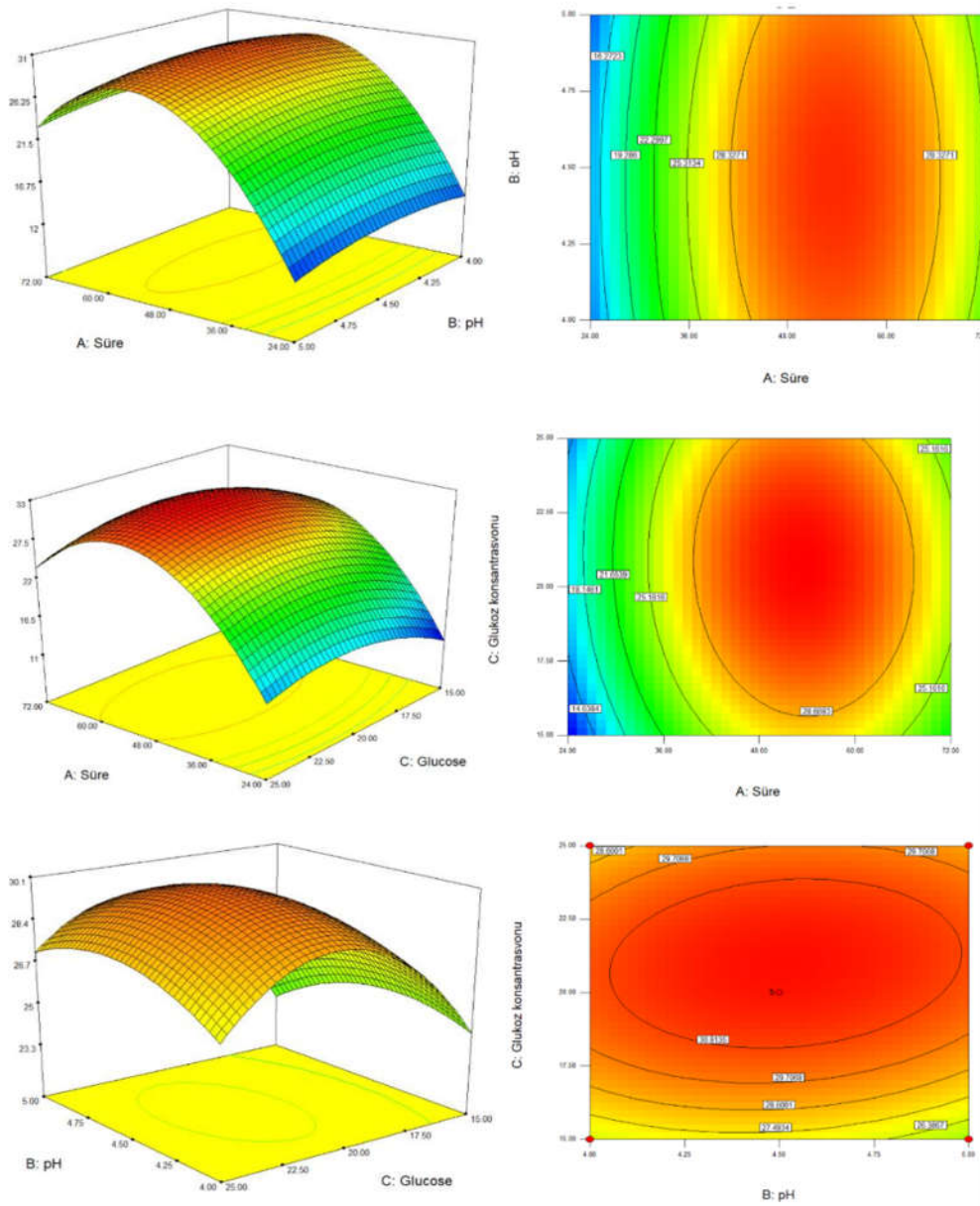
Fermentasyon süresi, pH değeri ve glukoz konsantrasyonunun maya optik yoğunluk (OD) değerine etkisi Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 1 OD çıktısına göre optimizasyonu yapılan parametrelerin etkisini gösteren perturbasyon (etki) grafiği

Şekil 4.1'de sunulan grafikte, A parametresi (süre) incelendiğinde, en düşük süre olan 24 saatin yetersiz kaldığı ve en yüksek değer olan 72 saatte mikrobiyal aktivitenin azaldığı görülmüştür. A parametresi (süre) için optimum değer 48 saate yakın olduğu tespit edilmiştir. B parametresi (pH değeri) incelendiğinde, ortamın asitliğinin üretilen biyokütle üzerinde önemli bir etkisi olmadığı, ancak

merkez değerin (4.5) en iyi sonuç verdiği anlaşılmaktadır. C parametresi (glukoz miktarı) incelendiğinde, merkez değer olan 20 g/L glukozun en yüksek sonucu vermektedir. En düşük ve en yüksek değerlerin, merkez değer kadar verimli bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 4. 2 Fermentasyon süre, pH değeri ve glukoz konsantrasyonunun maya optik yoğunluk (OD) değerine etkisi

Bağımsız değişkenlerin OD değeri üzerine etkisi Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Fermentasyon koşullarının optik yoğunluğa etkisi, ANOVA varyans analizi kullanılarak belirlenmiştir. Optimum nokta, Design Expert programının Box-Behnken yöntemi ile saptanmıştır. Yapılan teorik optimizasyon sonucunda,

Design Expert 7.0 programı, optimum değerleri süre: 54 saat, pH değeri: 4,55 ve glukoz miktarı: 20,35 g/L olarak belirlemiştir. Bu değerlere göre, teorik olarak elde edilecek optik yoğunluk (OD) değeri 32,40 olarak öngörülmüştür. Proje sürecinde inokülasyon ortamı için bu değerler kullanılacaktır.

4.2.2 Fermantasyon koşullarının belirlenmesi

4.2.2.1 Karanlık/aydınlık, katı/sıvı ortamlarının belirlenmesi

Doğal pigmentlerin ekstraksiyonu katı-sıvı ekstraksiyonu yöntemiyle gerçekleştirilir. Bu işlem sıvı çözügen ile katı materyalin muamele edilmesi sonucunda karışımın çöktürülerek istenilen pigmentin sıvı faz ile alınması şeklindedir. Ekstraksiyon işleminde verimliliğinin en yüksek olduğu teknolojiler ve işlemler tercih edilmektedir.

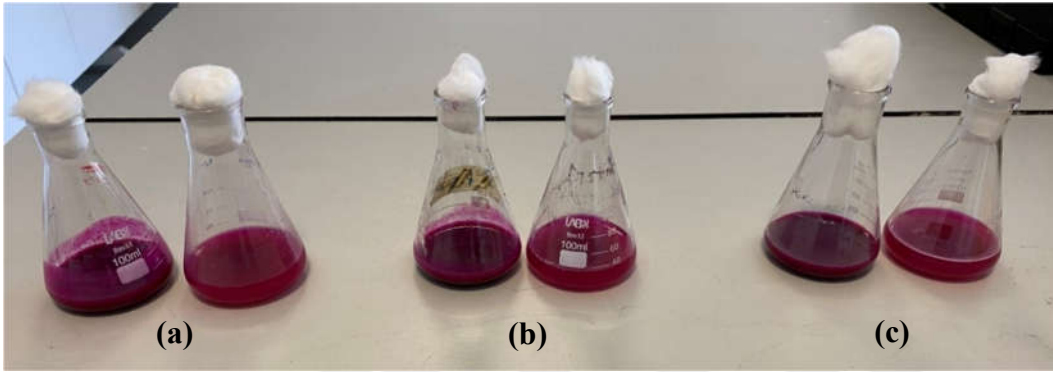
Fermantasyon koşullarının belirlenmesi için, katı ve sıvı kültür ortamlarındaki meyvelere mikroorganizma aşılması yapılmıştır. Denemeler aydınlık ve karanlık ortamlarda tekrarlanmış olup, tüm uygulamalarda mikroorganizma olarak *S. cerevisiae* kullanılmıştır. Katı kültür ortamında, 20 gram meyve homojenize edilerek hazırlanmış, sıvı kültür ortamı ise 20 gram homojenize meyveye 20 mL saf su ilave edilerek hazırlanmıştır (Şekil 4.3). %2 inokulum (h/h) eklenen meyvelere 24 saat fermantasyon işlemi uygulanmıştır. Fermente meyvelerde betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4. 7 Aydınlık-karanlık ve sıvı-katı kültür ortamlarında fermente edilmiş ejder meyvesinin betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain miktarları

Renk maddesi	Aydınlık- sıvı	Aydınlık- katı	Karanlık- sıvı	Karanlık- katı
Betasiyanin (mg/L)	31,23±0,75 ^c	42,32±0,59 ^b	32,03±0,27 ^c	57,15±0,80^a
Betaksantin (mg/L)	15,21±0,11 ^c	15,65±0,27 ^c	17,80±0,09 ^b	19,17±1,19^a
Toplam Betalain (mg/L)	46,45±0,74 ^d	58,27±0,52 ^b	49,83±0,29 ^c	76,32±0,46^a

^{a-d} Aynı satır üzerinde farklı harfler kullanılarak işaretlenen gruplar arası fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05).

Aydınlık-sıvı, aydınlık-katı, karanlık-sıvı ve karanlık-katı ortamlarında gerçekleştirilen fermantasyon işlemi sonrasında örneklerin betasiyanin ve toplam betalain değerleri incelenmiştir (Şekil 4.3). Bu çalışmada, karanlık-katı ortamda gerçekleştirilen fermantasyon sonucunda, örneklerde en yüksek betasiyanin değeri $57,15 \pm 0,80$ mg/L ve toplam betalain değeri $76,32 \pm 0,46$ mg/L olarak tespit edilmiştir. Elde edilen veriler, istatistiksel analizler sonucunda anlamlı fark göstermiştir ($p < 0,05$).



Şekil 4. 3 Katı-sıvı ve karanlık-aydınlık ortam denemeleri. (a)Kontrol grubu katı-sıvı, (b)karanlık ortam katı-sıvı, (c) aydınlık ortam katı-sıvı

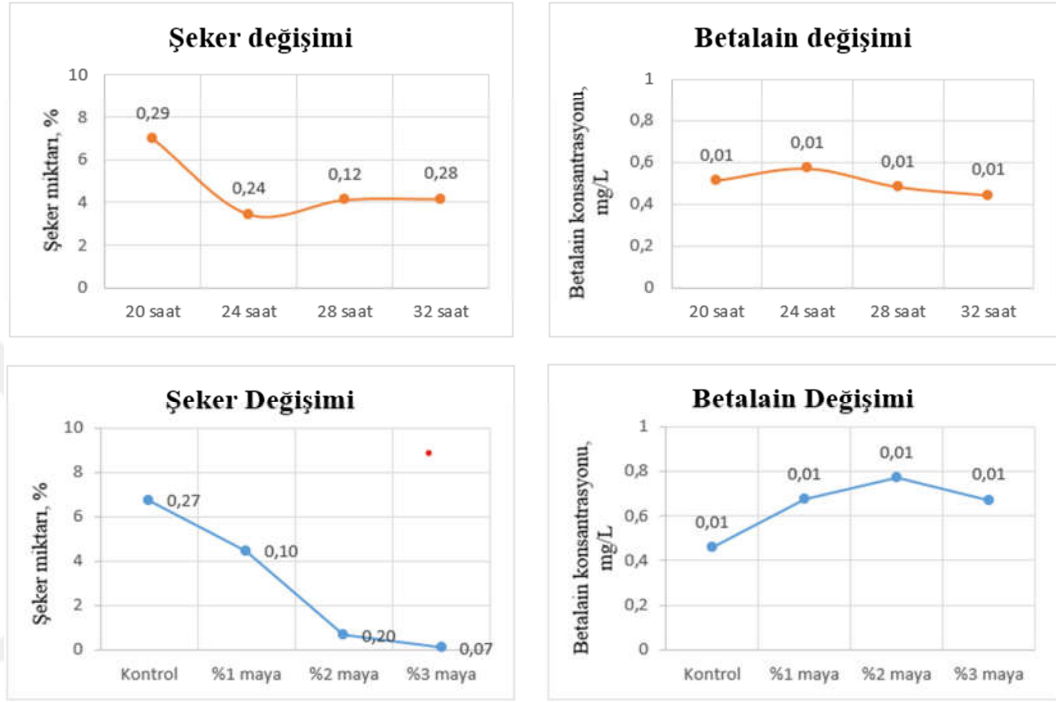
4.2.2.2 Fermantasyon süresi ve inokulum miktarının belirlenmesi

Fermantasyon süresi ve inokulum miktarını belirlerken gerçekleştirilen denemeler, karanlık ve katı ortam kullanılarak yapılmıştır. Kontrol grubu olarak inokulum ilave edilmeyen örnekler kullanılmıştır. Fermente edilen örneklerde inokulum miktarını optimize etmek için %1, %2 ve %3 (h/h) oranlarında maya ekstraktı ilave edilmiş 24 saat boyunca fermantasyon işlemine tabi tutulmuştur. Fermantasyon süresi optimizasyonu için %2 (h/h) maya ekstraktı ile inoküle edilen örneklere 20, 24, 28 ve 32. saatlerde pH değerleri okunmuş, betasiyanin, betaksantin, toplam betalain ve toplam şeker analizleri yapılmıştır.

İnokulum miktarının belirlenmesi sürecinde, şeker miktarının maya oranı arttıkça azaldığı bulgulanmıştır. Betalain konsantrasyonunun ise %2 maya oranından sonra düşmeye başladığı tespit edilmiştir. İnokulasyon süresi denemelerinde, şeker miktarının en düşük değere 24 saatlik fermantasyon sonunda ulaştığı ve en yüksek betalain miktarının da aynı süre sonunda analiz edildiği

belirlenmiştir. Sonuçlar, SPSS programı kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiş ve sonuçlar arasında anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p<0,05$).

Fermantasyon işlemi sırasında şeker ve betalain miktarlarına göre değişim Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4. 4 Farklı süre ve maya konsantrasyonlarında gerçekleştirilen fermantasyonlarda toplam şeker ve betalain konsantrasyonundaki değişimi

Elde edilen sonuçlara göre, katı kültür ve karanlık ortamda, 24. saat sonunda %2 inokulum ile fermente edilmiş meyvelerin en iyi renk maddesi değerlerini verdiği tespit edilmiştir. Literatürde, Casteller ve arkadaşlarının (2008) kaktüs meyvesi kullanarak yaptıkları fermantasyon çalışmasında da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Homojenize meyve püresini *Saccharomyces cerevisiae* mayası ile fermente ederek yaptıkları çalışmada, optimum fermantasyon süresini 24 saat olarak belirlemişlerdir.

4.3 Ekstraksiyon

Ekstraksiyonda çözücü olarak etanol-su karışımı kullanılmıştır. Çözücü daha sonra vakum altında 60 °C'de uzaklaştırılmıştır. Elde edilen betalain

ekstraktında etanol tamamen uzaklaştığında refraktometrik kuru madde değeri %5 olarak ölçülmüştür.

4.3.1 Ekstraksiyon solventi

Ekstraksiyon solventi için (60:40), (70:30), (80:20) ve (90:10) (h/h) etanol-su çözelti oranları ile denemeler yapılmıştır. Hazırlanan ekstraktların görüntüleri Şekil 4.5 de verilmiştir.



Şekil 4. 5 . Soldan sağa sırasıyla (60:40), (70:30), (80:20), (90:10) etanol:su kullanılan ekstraktlar

Ekstraktların betasiyanin içerikleri ile CIE lab renk değerleri olan L^* (+, aydınlık) değeri, a^* (+, kırmızılık) değeri ve b^* (+, sarılık) değeri ölçülmüştür. Renk değerleri Çizelge 4.8 de, betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain miktarı analiz sonuçları Çizelge 4.9'da paylaşılmıştır.

Çizelge 4. 8 Farklı konsantrasyonlarda etanol:su kullanılarak hazırlanmış ejder meyvesi ekstraktlarının L^* , a^* ve b^* değerleri

	60:40 (etanol: su)	70:30 (etanol: su)	80:20 (etanol: su)	90:10 (etanol: su)
L^*	$0,09 \pm 0,01^a$	$0,09 \pm 0,01^a$	$0,09 \pm 0,01^a$	$0,09 \pm 0,01^a$
a^*	$0 \pm 0,01^a$	$0,02 \pm 0,03^a$	$0,01 \pm 0,02^a$	$0,01 \pm 0,02^a$
b^*	$0 \pm 0,01^a$	$0,01 \pm 0,01^a$	$-0,02 \pm 0,04^a$	$0,00 \pm 0,02^a$

^a Aynı satır üzerinde işaretlenen gruplar arası istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır ($p > 0,05$).

Çizelge 4. 9 Farklı konsantrasyonlarda etanol:su kullanılarak hazırlanmış ejder meyvesi ekstraktlarının betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain içerikleri

Renk maddesi (mg/L)	60:40 (etanol:su)	70:30 (etanol:su)	80:20 (etanol:su)	90:10 (etanol:su)
Betasiyanin	38,59±0,13 ^c	42,17±0,49 ^a	41,74±0,25 ^b	37,33±0,121 ^d
Betaksantin	16,61±0,11 ^c	19,43±0,45 ^a	18,53±0,23 ^b	17,54±0,25 ^d
Toplam Betalain	55,20±0,22 ^c	61,60±0,94 ^a	60,28±0,28 ^b	54,86±0,20 ^d

^{a-d} Aynı satır üzerinde farklı harfler kullanılarak işaretlenen gruplar arası fark istatistiksel olarak anlamlıdır ($p<0,05$).

Farklı çözeltiler kullanılarak yapılan ekstraksiyon işlemlerinin renk değerleri üzerinde belirgin bir etkisi yoktur. Benzer çalışmalar, betalain pigmentlerinin geniş bir pH değer aralığında ve çeşitli çözücü ortamlarında renk kararlılığını koruduğunu rapor etmiştir (Manchali vd., 2012; Gauray Pandey vd., 2018). Bu çalışmada, L^* , a^* ve b^* renk değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur ($p>0.05$).

Betasiyanin ve toplam betalain analizlerinde en yüksek değerler, 70:30 (h:h) etanol-su çözeltilisi kullanılan örneklerde elde edilmiştir. Bu durum, etanolün betalain pigmentlerinin ekstraksiyonunda daha etkili bir çözücü olduğu tespit edilmiştir. Etanol, hücre duvarlarını ve hücre zarlarını daha etkili bir şekilde geçerek betalain pigmentlerini hücreden dışarı çekebilme yeteneğine sahiptir. Etanol-su karışımlarının, polar ve apolar bileşiklerin ekstraksiyonunu optimize ederek daha yüksek betalain verimi sağladığını gösteren diğer çalışmaları desteklemektedir (Özcan ve Bilek, 2018; Payokovic ve Krsnik-Rasol, 2011; Herbach ve ark., 2006). Betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain içeriklerinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($p<0.05$).

4.3.2 Yanıt Yüzey Methodu (RSM) kullanılarak ultrases süresi ve katı:çözgen oranının optimizasyonu

Ekstraksiyon işlemine, ultrases süresi ve katı:çözgen oranının (bağımsız değişkenler) etkilerinin saptanmasında Response Surface Method (RSM) deney

tasarımı kullanılmıştır. Bağımsız değişkenlerin etkilerinin belirlenmesi amacıyla bağımlı değişken olarak betasiyanin içeriği seçilmiştir. Program, üç orta nokta olmak üzere toplam 11 deneyden oluşan bir tasarım belirlemiştir. Optimum değerlerinin belirlenmesi için Design Expert 7.0 programı ile Response Surface Method (RSM) deney tasarımı kullanılmış her bir koşuldaki betasiyanin miktarları Çizelge 4. 10 da verilmiştir.

Çizelge 4. 10 Ultrases süresi ve katı:çözgen oranının optimizasyon çalışması için RSM deney tasarımı sonuçları

Deneme	US Süre, dk	Katı:çözgen	Betasiyanin içeriği, mg/L
1	10,0	3	45,2138
2	15,0	2	49,9001
3	15,0	5	52,1054
4	10,0	7	49,0035
5	22,5	5	57,4137
6	15,0	5	52,0141
7	7,5	5	48,6892
8	20,0	7	60,0018
9	20,0	3	55,9824
10	15,0	5	52,0043
11	15,0	8	54,0164

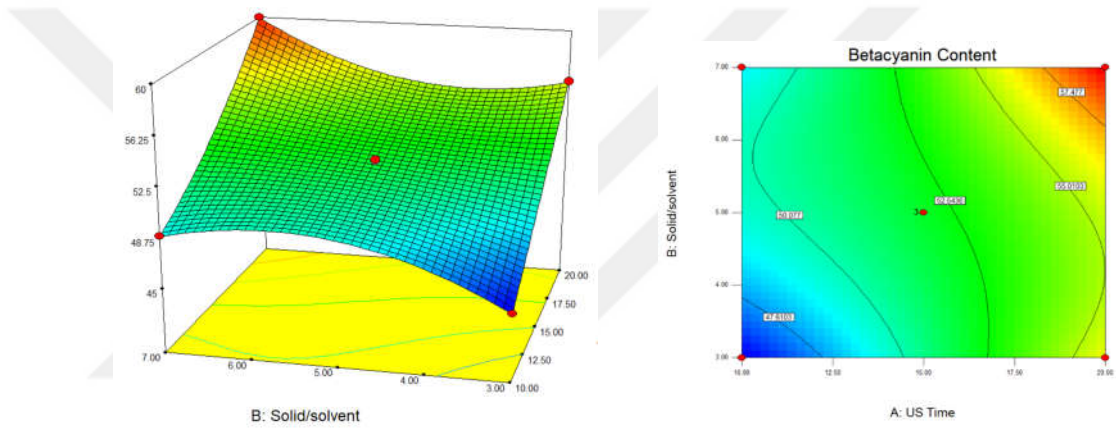
Çizelge 4.10 da yer alan betasiyanin içeriği 45,21 ile 60,00 mg/L arasındadır. Elde edilen optimizasyon sonuçları Çizelge 4.11’de yer almaktadır.

Çizelge 4. 11 Optimize edilmiş sonuçların ANOVA testi

	Kareler toplamı	Karelerin ortalaması	F-değeri	p-değeri	
Model	182	26	2631,97	<0,0001	Anlamlı
A-US Süresi	37,84	37,84	3831,04	<0,0001	
B-Katı:çözgen oranı	8,41	8,41	850,84	<0,0001	
Lack of Fit	0,023	0,023	6,89	0,1196	Anlamsız

$$\text{Betasiyanin içeriği (mg/L): } 52,05 + 2,91A + 1,37B + 0,057AB + 0,47A^2 - 0,019B^2 + 0,58A^2B + 2,53AB^2 \quad (\text{Denklem 4.2})$$

Program çıktısı olarak elde edilen US süresi ve katı:çözgen oranının betasiyanin konsantrasyonuna etkisi Şekil 4.6 da verilmiştir. Uyumsuzluk (lack of fit) testlerinin anlamsız (not significant) olarak belirtilmesi, hata payının düşük olduğunu göstermektedir (Montgomery, 2012). ANOVA testi sonuçlarına göre, çıktılar için program içerisinde hesaplanan modelin anlamlılığını gösteren R^2 değeri %95,98 olarak verilmiştir. Betasiyanin içeriği değerlendirildiğinde, elde edilen teorik optimum ultrases süresi 20 dakika ve katı:çözücü oranı ise 1:7 olarak belirlenmiştir. Çalışmanın, çeşitli bitki kaynaklarından betalainlerin UAE üzerine bulguları, literatürde bildirilenlerle yakından örtüşmektedir (Nacz & Shahidi, 2004; Rodríguez-Solana vd., 2015).



Şekil 4. 6 Ultrases süresi ve katı:çözgen oranının betasiyanin konsantrasyonuna etkisi

Bu çalışmada elde edilen optimum ultrases süresi koşulları literatür ile benzerlik göstermektedir. Raj ve Dash, (2020), ejder meyvesi kabuğu için UAE koşullarını 5-25 dk aralığında optimize etmiş ve optimum ekstraksiyon süresinin 20 dk olduğunu bulmuşlardır. Maran ve arkadaşları (2015), begonvil çiçeğinden doğal pigmentlerin UAE'sini optimize etmiş ve optimum ekstraksiyon süresinin 37 dk olduğunu bulmuşlardır, bu süre 15-45 dk aralığındadır. Bu, ejder meyvesi kabuğuna kıyasla daha uzun ekstraksiyon süresi, bitki materyalinin farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olabilir.

Rodríguez-Félix ve arkadaşları (2023), ejder meyvesinin *Stenocereus thurberi* türü kullanılarak meyvenin posasından betalain ekstraksiyonu için 10-30 dk aralığında bir ekstraksiyon süresi ile optimum koşulları 27 dk olarak

bildirmişlerdir. Bu sonuç, mevcut çalışmanın bulgularıyla tutarlı bir sonuç taşımaktadır.

Oktaý ve arkadaşları (2024), hint inciri için UAE'yi optimize etmiş ve 30-90 dk aralığında optimum ekstraksiyon süresinin 30 dk olduğunu bulmuşlardır.

Silva ve arkadaşları (2018), kırmızı pancardan betalainlerin UAE'sini incelemiş ve 90 dk olan optimum ekstraksiyon süresini bildirmişlerdir, bu diğer materyallere göre önemli ölçüde daha uzundur. Bu, kırmızı pancarın yoğun ve lifli doğası nedeniyle uzun süreli ultrases maruziyeti gerektirebilir.

Çeşitli bitki kaynaklarından betalainlerin optimum ekstraksiyon koşulları, bitki matrisi ve hedeflenen spesifik bileşiklerden büyük ölçüde etkilenecek bazı değişkenlikler göstermektedir. Bu çalışmanın bulguları, UAE'nin ekstraksiyon süresini ve çözücü kullanımını azaltırken yüksek ekstraksiyon verimliliğini korumaktadır. Betasiyanin içeriği için teorik optimum ultrases süresi olan 20 dk ve katı-çözücü oranı olan 1:7, yukarıdaki literatürler ile önemli ölçüde benzerlik göstererek çalışmada kullanılan ekstraksiyon modelini doğrulamaktadır.

Farklı çalışmalarda optimum koşullardaki küçük farklılıklar, ekstraksiyon parametrelerinin belirli bitki materyallerine ve istenen bileşiklere göre uyarlanmasının önemini vurgulamaktadır.

4.3.3 Sürekli ve kademeli betalain ekstraksiyon deneme sonuçları

Sürekli ekstraksiyon işleminde meyveler (70:30) etanol-su çözeltisi ile 1:7 katı: çözen oranında muamele edildikten sonra 20 dk ultrases işlemine tabi tutulmuştur. İşlem sonrası çözelti 6000 rpm 20 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüjden elde edilen ekstraktın betasiyanin, betaksantin, toplam betalain analizleri yapılmıştır (Çizelge 1.).

Kademeli ekstraksiyon işlemi 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk kademe de püre formundaki 100 g meyve ekstraksiyon çözgeni kullanılmadan santrifüj edilmiştir. Sıvı kısım alınarak katı faz 350 mL (70:30) etanol-su çözeltisi eklendikten sonra 10 dk ultrases uygulanmıştır. İşlem sonrası çözelti 6000 rpm 20

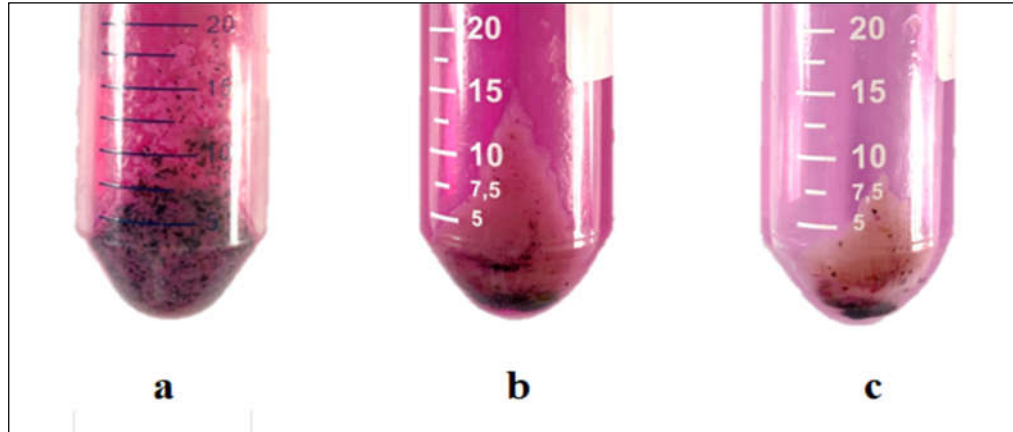
dakika santrifüj edilmiştir. Sıvı kısım toplanırken katı kısma 350 mL (70:30) etanol-su çözeltisi eklendikten sonra 6000 rpm 20 dakika santrifüj işlemi tekrarlanmıştır. Toplanan sıvı faz manyetik karıştırıcıda 10 dk 350 rpm karıştırıldıktan sonra analizler gerçekleştirilmiştir. Üretimler ve analizler üçer tekerrür ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.12’de paylaşılmıştır.

Çizelge 4. 12 Sürekli ve kademeli ekstraksiyon işlemleri ile elde edilen ekstraktlarının betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain içerikleri (mg/100g KM)

	Sürekli ekstraksiyon			Kademeli ekstraksiyon		
	1.deneme	2.deneme	3.deneme	1.deneme	2.deneme	3.deneme
Betasiyanin	159,53±5,16 ^c	144,98±5,03 ^d	139,81±3,19 ^d	197,55±2,66 ^b	205,29±1,68 ^a	194,20±4,25 ^b
Betaksantin	77,58±5,54 ^d	63,54±3,50 ^c	62,83±3,09 ^c	95,97±3,50 ^a	91,01±2,30 ^{ab}	88,58±4,20 ^c
Toplam betalain	237,11±0,62 ^c	208,52±4,63 ^d	202,65±5,76 ^d	293,52±6,12 ^a	296,30±1,91 ^a	282,78±7,64 ^b

^{a-c} Aynı satır üzerinde farklı harfler kullanılarak işaretlenen gruplar arası fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05).

Sürekli ekstraksiyon ve kademeli ekstraksiyon işleminde ultrases uygulaması sonrasında gerçekleştirilen santrifüj sonunda elde edilen katı ve sıvı faz Şekil 4.7’de paylaşılmıştır.



Şekil 4. 7 Ekstraksiyon denemeleri sonunda elde edilen katı ve sıvı faz görüntüleri a) sürekli ekstraksiyon, b) kademeli ekstraksiyon ilk santrifüj, c) kademeli ekstraksiyon son santrifüj

Literatürde sürekli ve kademeli ekstraksiyonunu kapsayan bir çalışmayla karşılaşılmamıştır. Sürekli ekstraksiyon denemelerinde betasiyanin konsantrasyonu 139,81 ile 159,53 mg/100g KM bulunurken en iyi değer kademeli ekstraksiyon sonucunda betasiyanin 194,20 ile 205,29 mg/100g KM olarak

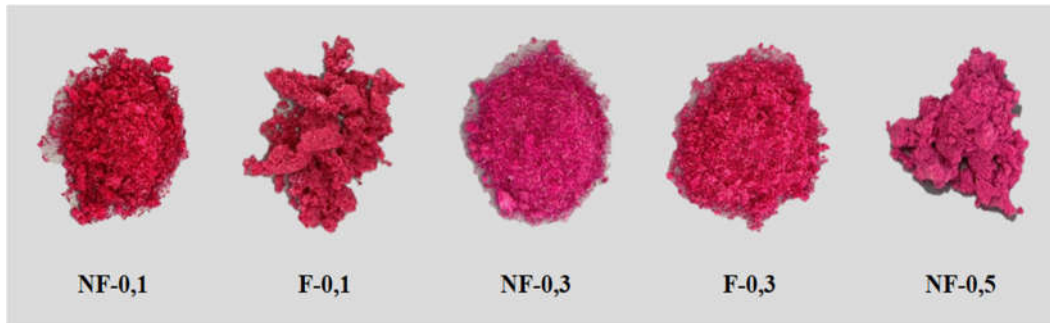
hesaplanmıştır. Ekstraksiyon denemeleri sonunda elde edilen veriler ışığında üretime kademeli ekstraksiyon ile devam edilmiştir.

Tüm değerler için kademeli ekstraksiyon işleminin daha yüksek verimde gerçekleştiği bulgulanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0,05$).

4.4 Mikroapsülasyon çalışmaları

Bu çalışmada, kırmızı ejder meyvesi (*Hylocereus polyrhizus*) ekstraktlarının mikroapsülasyonunda kaplama malzemesi olarak GG (guar zamk), GA (akasya zamk) ve MD (maltodekstrin) kullanılmıştır. Fermente edilmemiş kontrol örnekleri (K) ile fermente edilmiş meyve ekstraktları (F) kullanılarak ifade edilmiştir.

Guar zamk denemeleri, fermente ve fermente olmayan kontrol örnekleri ile gerçekleştirilmiştir. Hidrokolloid oranları (0,1:100), (0,3:100) ve (0,5:100) (a/h) denenmiştir. Fermente meyveye (0,5:100) zamk ilave edilen örnekte kuruma gerçekleşmezken diğer örnekler dondurularak kurutulmuştur (Şekil 4.8).



Şekil 4. 8 Fermente (F) ve fermente olmayan (K) meyvelerin (0,1:100), (0,3:100) ve (0,5:100) (ağ:h) oranlarında guar zamk ile elde edilen toz örnekleri

Elde edilen mikroenapsül örneklerinin nem, renk (L^* , a^* , b^*), toplam fenolik madde, betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain konsantrasyonu analiz sonuçları Çizelge 4.13'te sunulmaktadır.

Çizelge 4. 13 Guar zamkı içeren örneklerin analiz sonuçları

	K-0,1	F-0,1	K-0,3	F-0,3	K-0,5
KM (%)	95,94±0,01 ^b	95,15±0,01 ^c	98,50±0,09 ^a	98,39±0,02 ^a	92,69±0,11 ^d
Renk	27,05±0,07 ^c	27,99±0,04 ^b	27,03±0,05 ^c	27,04±0,01 ^c	32,53±0,03 ^a
L*	32,52±0,12 ^e	37,01±0,07 ^d	41,31±0,05 ^b	37,53±0,02 ^c	44,23±0,12 ^a
a*	3,46±0,13 ^b	11,46±0,09 ^a	(-)0,36±0,01 ^e	2,53±0,15 ^c	2,08±0,01 ^d
b*					
Betasiyanin (mg/100g KM)	161,43±2,23 ^a	121,39±0,42 ^b	113,0,5±5,22 ^c	163,59±1,97 ^a	86,33±2,96 ^d
Betaksantin (mg/100g KM)	114,75±1,64 ^a	90,73±0,26 ^b	80,49±4,44 ^c	63,68±1,32 ^d	42,68±2,16 ^c
Toplam betalain (mg/100g KM)	276,18±3,87 ^a	212,12±0,67 ^c	193,55±9,66 ^d	227,27±3,27 ^b	129,01±3,54 ^e
Toplam fenolik (mg GAE/100g KM)	115,05±1,79 ^a	89,92±1,28 ^b	91,49±2,03 ^b	84,20±2,22 ^c	93,07±2,92 ^b

^{a-c} Aynı satır üzerinde farklı harfler kullanılarak işaretlenen gruplar arası fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05).

Kuru madde yüzdesi K-0,3 (%98,50±0,09) ve F-0,3 (%98,39±0,02) örneklerinde en yüksek, K-0,5 (%92,69±0,11) örneğinde ise en düşük olarak ölçülmüştür. Bu durum, F-0,3 koşulunun kuru madde içeriğinin korunmasında etkili olduğunu göstermektedir. Literatürde, benzer çalışmalarda farklı kaplama maddelerinin kuru madde içeriği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Örneğin, Ersus ve Yurdagel (2007), maltodekstrin ile yapılan mikroenkapsülasyonun kuru madde içeriğini artırdığını belirtmiştir.

Aydınlık özelliği gösteren L* değeri açısından en yüksek değer K-0,5 (44,23±0,12) örneğinde, en düşük değer ise K-0,1 (27,05±0,07) örneğinde gözlemlenmiştir. a* değerleri incelendiğinde, en yüksek değer F-0,1 (11,46±0,07) örneğinde, en düşük değer ise K-0,3 (-0,36±0,01) örneğinde tespit edilmiştir. b* değeri açısından ise en yüksek değer K-0,5 (32,53±0,03) örneğinde, en düşük değer ise K-0,1 (3,46±0,13) örneğinde bulunmuştur. Bu sonuçlar, renk değerlerinin koşullara bağlı olarak önemli ölçüde değişebileceğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, Nthimole, Kaseke ve Fawole (2022) tarafından akasya zamkı kullanılarak yapılan mikroenkapsülasyon çalışmalarıyla da uyumludur.

Betasiyanin içeriği en yüksek K-0,1 ($163,59 \pm 2,23$ mg/100g) örneğinde, en düşük ise K-0,5 ($86,33 \pm 2,96$ mg/100g) örneğinde gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, betaksantin içeriği en yüksek K-0,1 ($114,75 \pm 1,64$ mg/100g) örneğinde, en düşük K-0,5 ($42,68 \pm 2,16$ mg/100g) örneğinde tespit edilmiştir. Toplam betalain içeriği açısından ise K-0,1 ($276,18 \pm 3,87$ mg/100g) örneği en yüksek değere sahipken, K-0,5 ($129,01 \pm 3,54$ mg/100g) örneği en düşük değeri göstermiştir.

Toplam fenolik madde içeriği en yüksek K-0,1 ($115,05 \pm 1,79$ mg GAE/100g KM) örneğinde, en düşük ise F-0,3 ($84,20 \pm 2,22$ mg GAE/100g KM) örneğinde ölçülmüştür. K-0,5 örneği ($93,07 \pm 2,92$ mg GAE/100g KM) ile diğer örnekler arasında orta seviyede fenolik madde içeriğine sahiptir. Bu durum, fenolik madde içeriğinin koşullara göre farklılık gösterdiğini ve K-0,1 koşulunun fenolik madde zenginleştirilmesinde avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, farklı koşulların ürün özellikleri üzerindeki etkilerini ortaya koymuş ve betalain pigmentlerinin ekstraksiyonu ve stabilizasyonu süreçlerinde hem betalain hem de fenolik madde içeriği açısından en yüksek değerleri sağlayan oranların belirlenmesini sağlamıştır. Kontrol örneği için K-0,1 oranı tercih edilmeli, fermente örnek için ise F-0,3 oranı tercih edilmelidir. Bu bulgular, bu alandaki çalışmalar için önemli bir referans noktası oluşturabilir.

4.5 Stabilite Çalışması

Elde edilen koşullar doğrultusunda etanolü uçurulmuş ekstraktlara maltodekstrin, akasya zıncı ve guar zıncı ilave edilerek dondurarak kurutma uygulanmıştır. Stabilite çalışması boyunca ürünler fotoğraflanmıştır. Depolama çalışması fotoğrafları EK-4'te yer almaktadır. Elde edilen ürünler 4 ± 1 °C ve 25 ± 1 °C sıcaklık değerlerinde depolanmak üzere hava ve ışık geçirmeyen paketler içerisinde saklanmıştır. Ambalajlar etiketlenerek analiz gününe kadar belirlenen koşullarda depolanmıştır (Şekil 4.9).

Hava ve ışık geçirmeyen paketlerde saklanan örneklerle 0, 1, 2, 3 ve 4. haftalarda KM, betasiyanin, betaksantin, toplam betalain, toplam fenolik madde ve renk analizleri uygulanmıştır.



Şekil 4. 9 (+4 °C) ve (+25 °C)'de depolanan paketler

4.5.1 Mikrokapsüle örneklerin nem değerindeki değişim

Toz örneklerin kuru madde (%) içeriklerinin haftalık değişimleri Çizelge 4.14 de verilmiştir.

Çizelge 4. 14 Toz örneklerin kuru madde analiz sonuçları

Kuru madde (%)	0.hafta	1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta
MD4(F)	98,26±0,22 ^{aA}	98,17±0,12 ^{aA}	98,34±0,20 ^{aA}	98,81±0,14 ^{aA}	98,36±0,13 ^{aA}
MD25(F)	98,26±0,22 ^{aA}	98,51±0,40 ^{aA}	98,47±0,16 ^{aA}	98,62±0,15 ^{aA}	98,38±0,12 ^{abA}
MD4(K)	98,26±0,58 ^{aA}	98,04±0,47 ^{aA}	98,12±0,26 ^{aA}	98,65±0,94 ^{aA}	98,25 ±0,21 ^{aA}
MD25(K)	98,26±0,58 ^{aA}	98,42±0,36 ^{aA}	98,46±0,29 ^{aA}	98,56±0,23 ^{aA}	98,26±0,22 ^{abA}
GA4(F)	98,86±1,02 ^{aA}	98,36±0,30 ^{aA}	98,74±0,34 ^{aA}	98,11±0,78 ^{aA}	98,18±0,17 ^{abA}
GA25(F)	98,86±1,02 ^{aA}	98,36±0,30 ^{aA}	98,74±0,34 ^{aA}	98,11±0,78 ^{aA}	98,18±0,17 ^{abA}
GA4(K)	98,29±0,07 ^{aA}	98,19±0,13 ^{aA}	98,39±0,20 ^{aA}	98,82±1,16 ^{aA}	98,79±0,13 ^{abA}
GA25(K)	98,29±0,07 ^{aA}	98,19±0,13 ^{aA}	98,39±0,20 ^{aA}	98,82±1,16 ^{aA}	98,79±0,13 ^{abA}
GG4(F)	98,22±0,77 ^{aA}	98,05±0,74 ^{aA}	98,22±0,31 ^{aA}	98,18±0,28 ^{aA}	98,44±0,54 ^{abA}
GG25(F)	98,22±0,77 ^{aA}	98,05±0,74 ^{aA}	98,22±0,31 ^{aA}	98,18±0,28 ^{aA}	98,44±0,54 ^{abA}
GG4(K)	98,36±0,28 ^{aA}	98,13±0,49 ^{aA}	98,26±0,55 ^{aA}	98,57±0,66 ^{aA}	98,60±0,34 ^{abA}
GG25(K)	98,36±0,28 ^{aA}	98,13±0,49 ^{aA}	98,26±0,55 ^{aA}	98,57±0,66 ^{aA}	98,60±0,34 ^{abA}

^{a-b} Aynı satır üzerinde farklı harfler kullanılarak işaretlenen gruplar arası fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05).

^A Aynı sütun üzerinde farklı harfler kullanılarak işaretlenen gruplar arası fark istatistiksel olarak önemlidir (p<0,05).

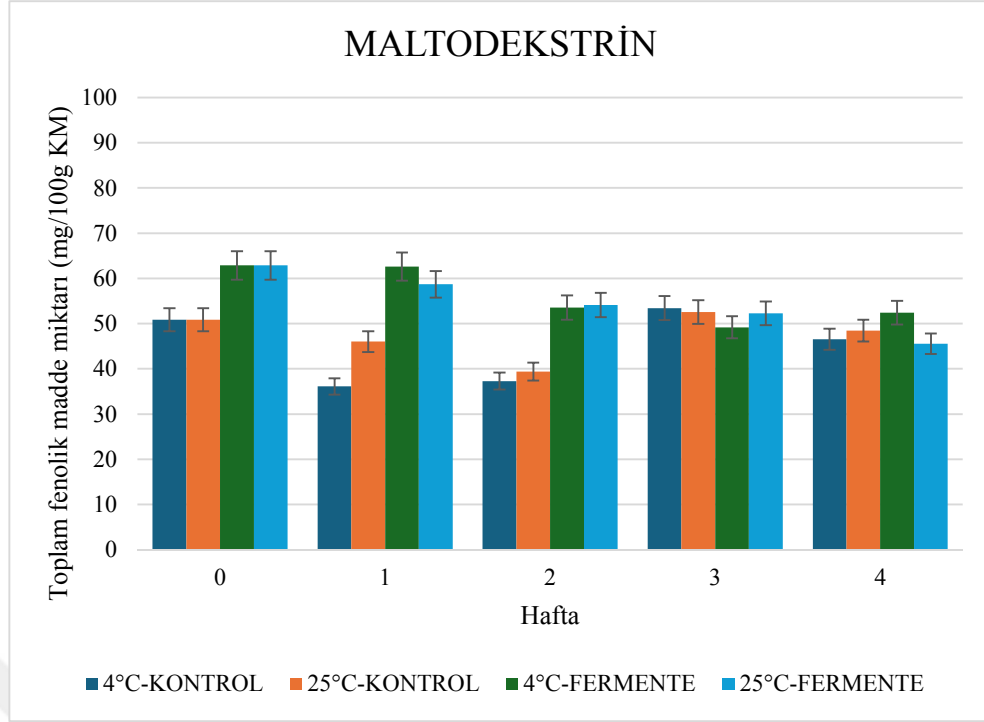
MD: maltodekstrin, GA: akasya zımkı, GG: guar zımkı, F: fermente edilen meyve, NF: fermente edilmeyen kontrol örnekleri

Farklı kaplama materyali ve depolama sıcaklıklarının, kuru madde içeriği üzerindeki etkileri değerlendirildiğinde maltodekstrin ve akasya zmkı, her iki sıcaklıkta da yüksek stabilite sağlarken, guar gamın nem çekici özellikleri nedeniyle daha fazla değişiklik göstermiştir. Literatürdeki benzer çalışmalar, bu bulguları desteklemekte ve maltodekstrin ile akasya zmkının, biyoaktif bileşenlerin stabilitesini artırmada etkili olduğunu göstermektedir (Fang & Bhandari, 2010; Tonon et al., 2011).

Bu bulgular, kapsüllenmiş toz örneklerin depolama koşullarının ve kullanılan kapsülleme ajanlarının, ürün stabilitesi üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermektedir. Özellikle maltodekstrin ve akasya zmkının tercih edilmesi, daha uzun raf ömrü ve yüksek stabilite sağlayabilir.

4.5.2 Mikroenkapsüle örneklerin farklı sıcaklıklarda depolanması süresince toplam fenolik madde miktarındaki değişimi

Bu çalışmada fermente edilmiş ve edilmemiş örneklerin toplam fenolik madde içeriği (TPC) farklı sıcaklıklarda (4 °C ve 25 °C) 4 hafta boyunca değerlendirilmiştir. TPC sonuçları, maltodekstrin, akasya zmkı ve guar zmkı ile kaplanmış örneklerin depolama süresi boyunca gösterdiği değişiklikler EK 1. de verilmiştir. Fermentasyonun fenolik bileşiklerin stabilitesi üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, fermente edilen ve edilmeyen örnekler karşılaştırılmıştır (Şekil 4.10). Ayrıca farklı sıcaklıklarda saklanan örneklerde fenolik madde içeriğinin zamana bağlı olarak nasıl değiştiği analiz edilmiştir.



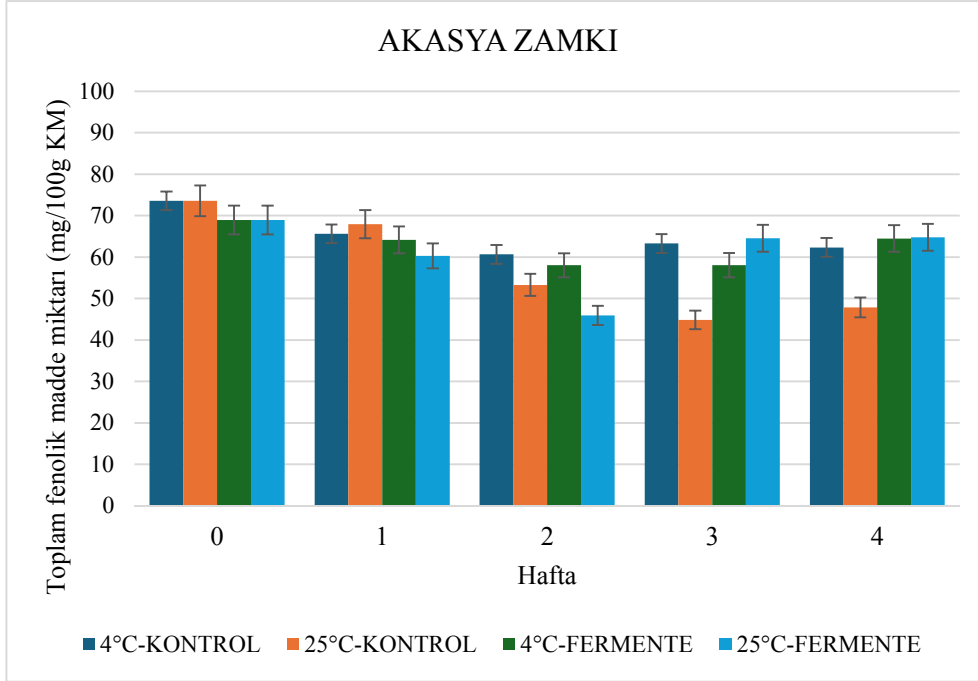
Şekil 4. 10 Maltodekstrin kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4 °C ve 25 °C) toplam fenolik madde içeriğine etkisi (mg/100g KM)

Maltodekstrin kaplı fermente edilmiş örneklerde, başlangıçtaki toplam fenolik madde içeriği, fermente edilmemiş örneklere göre önemli ölçüde daha yüksektir (62,88 mg/100g KM'ye karşı 50,86 mg/100g KM). Bu durum, fermentasyonun fenolik bileşiklerin korunmasına olumlu katkı sağladığını göstermektedir. Depolama süresi boyunca her iki sıcaklıkta da fenolik madde içeriğinde bir azalma gözlemlenmiş, ancak 4 °C'de depolanan fermente edilmiş örneklerde bu azalma daha yavaş olmuştur. 4 hafta sonunda, fermente edilmiş ve 4 °C'de saklanan örneklerde toplam fenolik madde içeriği 52,41 mg/100g KM'ye düşerken, 25 °C'de depolanan örneklerde bu değer 45,53 mg/100g KM'ye kadar azalmıştır. Aynı zamanda, fermente edilmemiş örneklerde de benzer bir azalma gözlemlenmiş, ancak başlangıçtaki fenolik madde içeriğinin daha düşük olması nedeniyle toplam kayıplar daha belirgin olmuştur. 4 °C'de depolanan fermente edilmemiş örneklerde TPC değeri 46,57 mg/100g KM'ye, 25 °C'de depolanan örneklerde ise 48,44 mg/100g KM'ye düşmüştür.

Sonuç olarak, maltodekstrin kaplamanın fenolik bileşiklerin korunmasında koruyucu etkisi olduğu söylenebilir. Fermentasyon süreci, başlangıçta fenolik bileşiklerin miktarını artırırken, daha düşük sıcaklıkta depolanan örnekler genel olarak daha stabil bir fenolik madde içeriği sergilemiştir. 25 °C'de depolanan

örneklerde, özellikle fermente edilmiş örneklerde daha büyük kayıplar bulunurken sıcaklığın fenolik madde stabilitesini olumsuz etkilemektedir.

Akasya zamkının fenolik maddelerin stabilitesini nasıl etkilediği, özellikle depolama sıcaklığı ve fermentasyon süreçleri açısından değerlendirilmiş ve veriler Şekil 4.11’de bulunmaktadır.



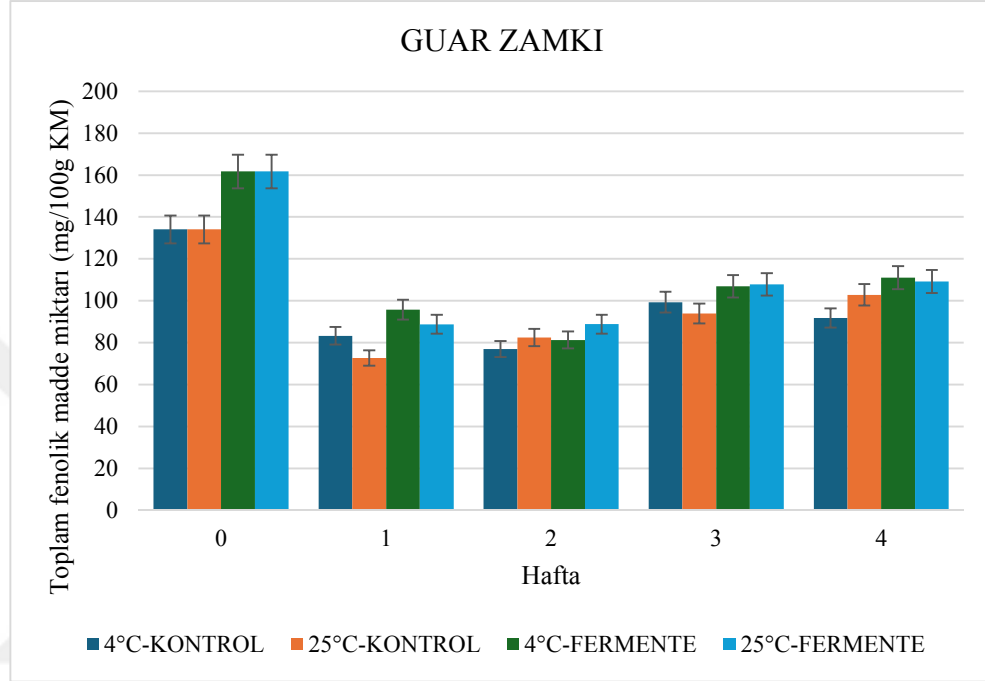
Şekil 4. 11 Akasya zamkы kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4 °C ve 25 °C) toplam fenolik madde içeriğine etkisi (mg/100g KM)

Akasya zamkы kaplı fermente edilmemiş örneklerde başlangıçtaki toplam fenolik madde içeriği (73,56 mg/100g KM), fermente edilmiş örneklerden (68,94 mg/100g KM) biraz daha yüksektir. Fermentasyonun başlangıçta fenolik madde içeriği azalırken depolama süresi boyunca fermente edilmiş örnekler genel olarak daha kararlı bir fenolik madde içeriğine sahiptir. 4 °C’de depolanan fermente edilmemiş örneklerde 4 hafta sonunda TPC 62,32 mg/100g KM’ye düşerken, 25 °C’de depolanan örneklerde bu değer 47,89 mg/100g KM’ye kadar düşmüştür. Bu durum, yüksek sıcaklığın fenolik madde kaybını hızlandırmaktadır.

Fermente edilmiş örneklerde ise 4 °C’de depolama sırasında fenolik madde içeriği 68,94 mg/100g KM’den 64,48 mg/100g KM’ye düşerken, 25 °C’de depolanan örneklerde bu düşüş daha yavaş olup 64,76 mg/100g KM olarak kaydedilmiştir. Akasya zamkы kaplaması, fenolik maddelerin korunmasında fermente örnekler için daha etkin bir koruma sağlamış ve yüksek sıcaklıkların

olumsuz etkisini azaltmıştır. Bu da akasya zamkının, özellikle fermente edilmiş örneklerde fenolik bileşiklerin stabilitesine yardımcı olmaktadır.

Guar zamkının fenolik bileşiklerin stabilitesi üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan analiz sonuçları sıcaklık ve fermentasyonun fenolik madde kayıplarını nasıl etkilediği Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4. 12 Guar zamkı kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4 °C ve 25 °C) toplam fenolik madde içeriğine etkisi (mg/100g KM)

Guar zamkı kaplı örneklerde başlangıç TPC değerleri, fermente edilmemiş örneklerde 134,05 mg/100g KM, fermente edilmiş örneklerde ise 161,69 mg/100g KM olarak ölçülmüştür. Fermente edilmiş örnekler, diğer kaplama maddelerine kıyasla başlangıçta en yüksek fenolik madde içeriğine sahiptir. 4 hafta sonunda, 4 °C’de depolanan fermente edilmemiş örneklerde fenolik madde içeriği 91,77 mg/100g KM’ye düşerken, 25 °C’de depolananlarda 102,86 mg/100g KM’ye daha az bir azalma kaydedilmiştir. Bu veriler ile fermente edilmemiş guar zamkı kaplı örneklerde 25 °C’de daha iyi bir stabilitenin sağlandığı tespit edilmiştir.

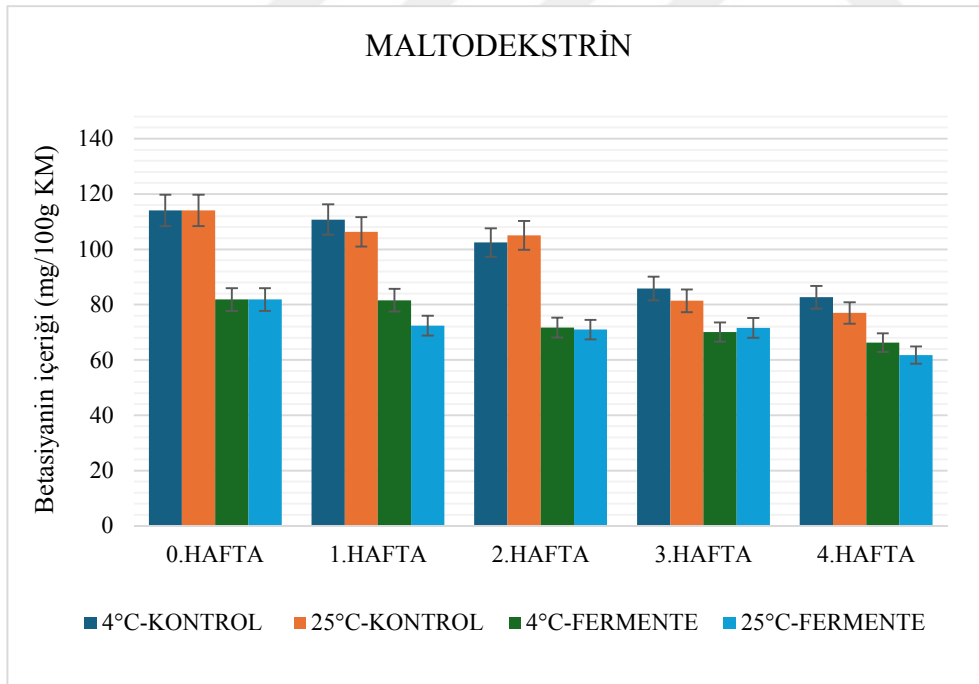
Fermente edilmiş örneklerde ise 4 °C’de depolananların fenolik madde içeriği 161,69 mg/100g KM’den 111,04 mg/100g KM’ye düşerken, 25 °C’de depolanan örneklerde bu değer 109,23 mg/100g KM’ye düşmüştür. Guar zamkı, özellikle fermente edilmiş örneklerde fenolik bileşiklerin korunmasında daha etkili olmuştur. 25 °C’de depolanan fermente örneklerde nispeten yüksek bir

fenolik madde stabilitesi sağlanmıştır. Bu da guar zımkının, fenolik bileşiklerin korunmasında diğer zımkılara kıyasla daha güçlü bir etki sunduğunu göstermektedir.

4.5.3 Mikroenkapsüle örneklerin betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain miktarlarındaki değişimi

Betasiyanin içeriği

Fermente ve fermente olmayan kontrol örneklerinin betasiyanin içeriklerindeki değişim EK 2.' de verilmiştir. Maltodekstrin ile kaplanmış fermente ve fermente edilmemiş örneklerin betasiyanin içerikleri, farklı sıcaklıklarda (4 °C ve 25 °C) 4 hafta boyunca analiz edilmiştir. Betasiyanin pigmentlerinin stabilitesini etkileyen sıcaklık ve faktörleri incelemek amacıyla yapılan bu çalışma, özellikle maltodekstrin kaplamasının pigment stabilitesini nasıl etkilediğini ve fermentasyonun bu içerikler üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Araştırmaya ait sonuçlar Şekil 4. 13 de verilmiştir.

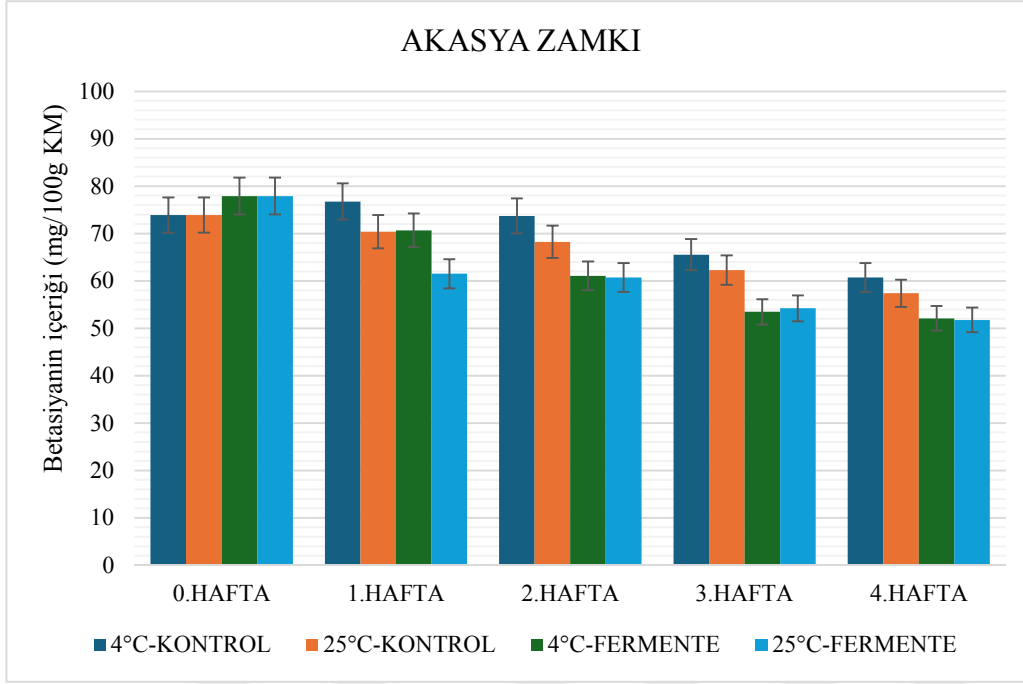


Şekil 4. 13 Maltodekstrin kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4 °C ve 25 °C) betasiyanin içeriğine etkisi (mg/100g KM)

Maltodekstrin kaplı örneklerde başlangıç betasiyanin içeriği, fermente edilmemiş kontrol grubunda daha yüksek bulunmuştur (114,09 mg/100g KM), fermente edilmiş örneklerde ise 81,87 mg/100g KM olarak ölçülmüştür. Depolama süresince her iki sıcaklıkta da betasiyanin içeriklerinde bir azalma gözlemlenmiştir. 4 °C’de depolanan fermente edilmemiş örneklerde 4. hafta sonunda betasiyanin içeriği 82,66 mg/100g KM’ye düşerken, fermente edilmiş örneklerde 66,28 mg/100g KM olarak kaydedilmiştir. 25 °C’deki kontrol örneklerinde betasiyanin kaybı daha belirgin olmuş, başlangıçtaki 114,09 mg/100g KM, 4 hafta sonunda 82,66 mg/100g KM’ye düşmüştür.

Fermente edilmiş örneklerde 25 °C’deki depolama sırasında betasiyanin içeriği 4 hafta sonunda 66,28 mg/100g KM’ye düşerken, fermente edilmemiş kontrol grubunda ise bu değer 82,66 mg/100g KM’ye gerilemiştir. Genel olarak fermente edilmemiş örneklerde başlangıç betasiyanin içeriği daha yüksek olmasına rağmen, depolama sırasında her iki grupta da azalmalar görülmüştür. Düşük sıcaklıklarda (4 °C) depolanan fermente örnekler daha stabil bir pigment koruması sağlarken, 25 °C’de depolanan örneklerde stabil özellik göstermemektedir.

Şekil 4. 14 de akasya zambının, betasiyanin korunmasında olduğu gibi pigment stabilitesi üzerinde de koruyucu bir etkiye sahip olup olmadığı incelenmiştir.

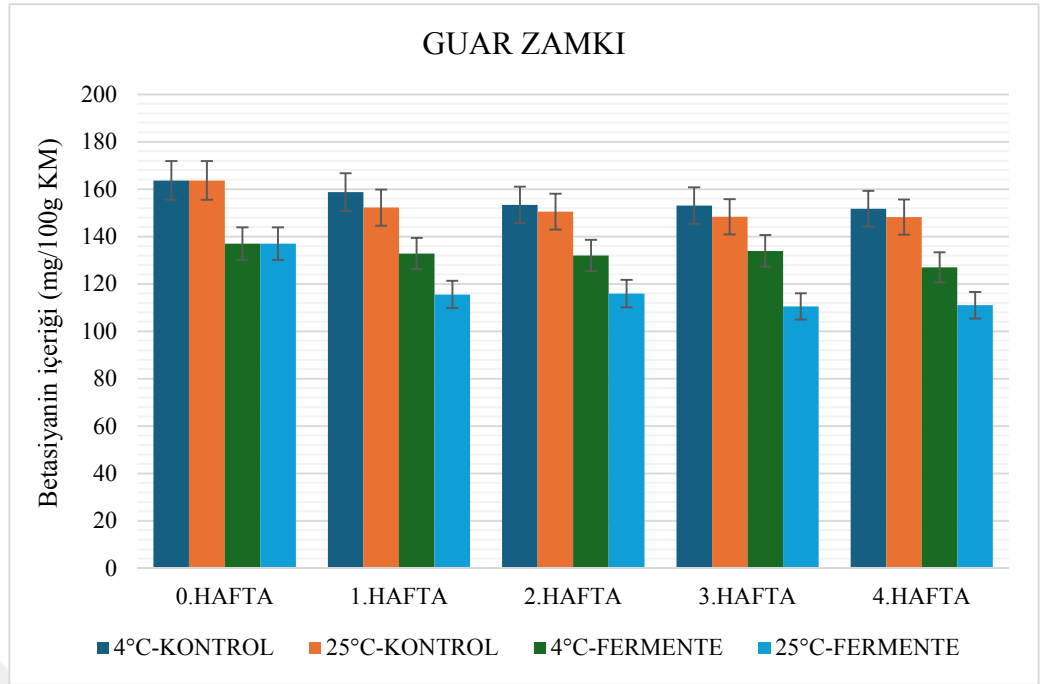


Şekil 4. 14 Akasya zamkı kaplı fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4 °C ve 25 °C) betasiyanin içeriğine etkisi (mg/100g KM)

Akasya zamkı kaplı fermente edilmemiş örneklerde başlangıç betasiyanin içeriği 4 °C'de 76,76 mg/100g KM, fermente edilmiş örneklerde ise 77,91 mg/100g KM olarak ölçülmüştür. 4 hafta boyunca depolama sırasında her iki grup da azalma göstermiş, fermente edilmemiş örneklerde 4 °C'de betasiyanin içeriği 60,75 mg/100g KM'ye düşerken, fermente edilmiş örneklerde bu değer 52,09 mg/100g KM olmuştur. 25 °C'deki fermente edilmemiş örneklerde 4 hafta sonunda betasiyanin içeriği 57,40 mg/100g KM'ye gerilemiştir.

Fermente edilmiş akasya zamkı kaplı örneklerde 4 °C ve 25 °C'de depolama sırasında betasiyanin kaybı, özellikle yüksek sıcaklıklarda daha belirgin olmuştur. 25 °C'de depolanan fermente edilmiş örneklerde başlangıç betasiyanin içeriği 77,91 mg/100g KM'den 51,77 mg/100g KM'ye düşmüştür. Genel olarak akasya zamkı kaplaması, pigmentlerin stabilitesini düşük sıcaklıklarda nispeten daha iyi korumuş, ancak sıcaklık arttıkça betasiyanin kayıpları hızlanmıştır.

Guar zamkının pigmentlerin stabilitesini koruma potansiyeli, özellikle fermentasyonun ve depolama sıcaklığının bu bileşiklerin korunmasına etkisini anlamak açısından araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına ait grafik Şekil 4. 15'te verilmektedir.



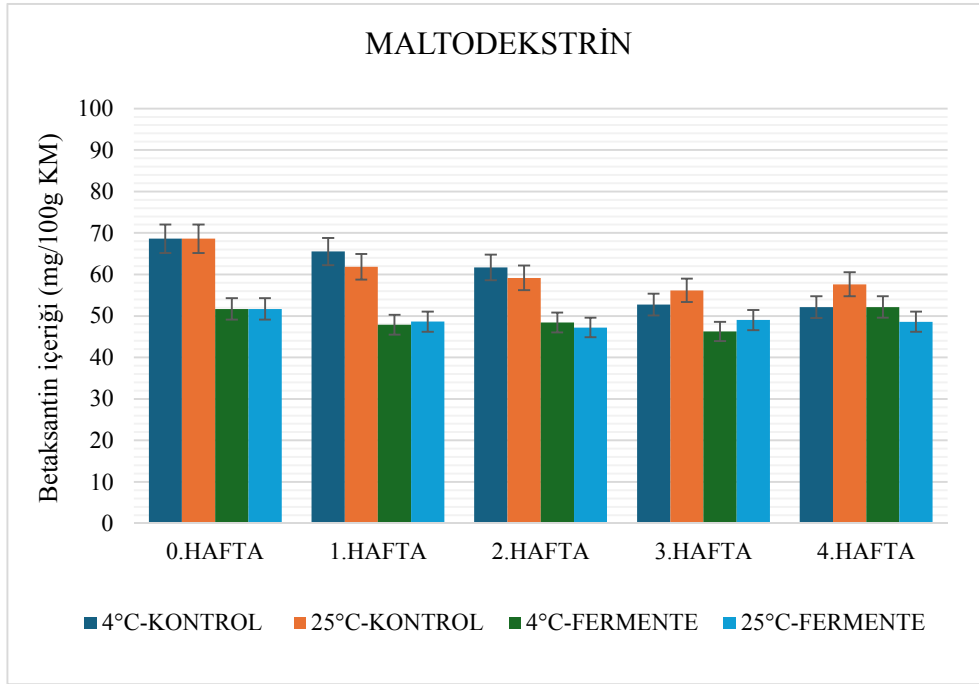
Şekil 4. 15 Guar zamkı kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4 °C ve 25 °C) betasiyanin içeriğine etkisi (mg/100g KM)

Guar zamkı kaplı fermente edilmemiş örnekler başlangıçta en yüksek betasiyanin içeriğine sahip grup olarak kaydedilmiştir (163,64 mg/100g KM). Fermente edilmiş guar zamkı kaplı örneklerde ise başlangıç betasiyanin içeriği 136,97 mg/100g KM olarak ölçülmüştür. 4 °C'de depolanan fermente edilmemiş örneklerde betasiyanin içeriği 4 hafta sonunda 127,05 mg/100g KM'ye düşerken, fermente edilmiş örneklerde bu değer 110,07 mg/100g KM olarak ölçülmüştür. 25 °C'de depolanan fermente edilmemiş örneklerde başlangıç betasiyanin içeriği 163,64 mg/100g KM'den 148,24 mg/100g KM'ye, fermente edilmiş örneklerde ise 110,98 mg/100g KM'ye düşmüştür.

Guar zamkı kaplı örneklerde betasiyanin içeriklerinde özellikle 25 °C'de daha fazla kayıplar gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklık, fermente edilmiş örneklerde daha belirgin pigment kaybına neden olmuştur. Guar zamkı kaplaması, özellikle düşük sıcaklıklarda (4 °C) betasiyanin pigmentlerinin stabilitesini korumada daha başarılı bir performans sergilemiştir.

Betaksantin içeriği

Maltodekstrin kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerin betaksantin içerikleri, 4 °C ve 25 °C’de 4 hafta boyunca izlenmiştir (EK 3). Bu çalışma, maltodekstrin kaplamasının betaksantin pigmentlerinin stabilitesine etkisini ve depolama sıcaklığının pigment kayıplarındaki rolünü anlamaya yönelik olarak yapılmıştır. Fermentasyonun betaksantin içeriğine olan etkisi de bu kapsamda analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Şekil 4. 16 da bulunmaktadır.

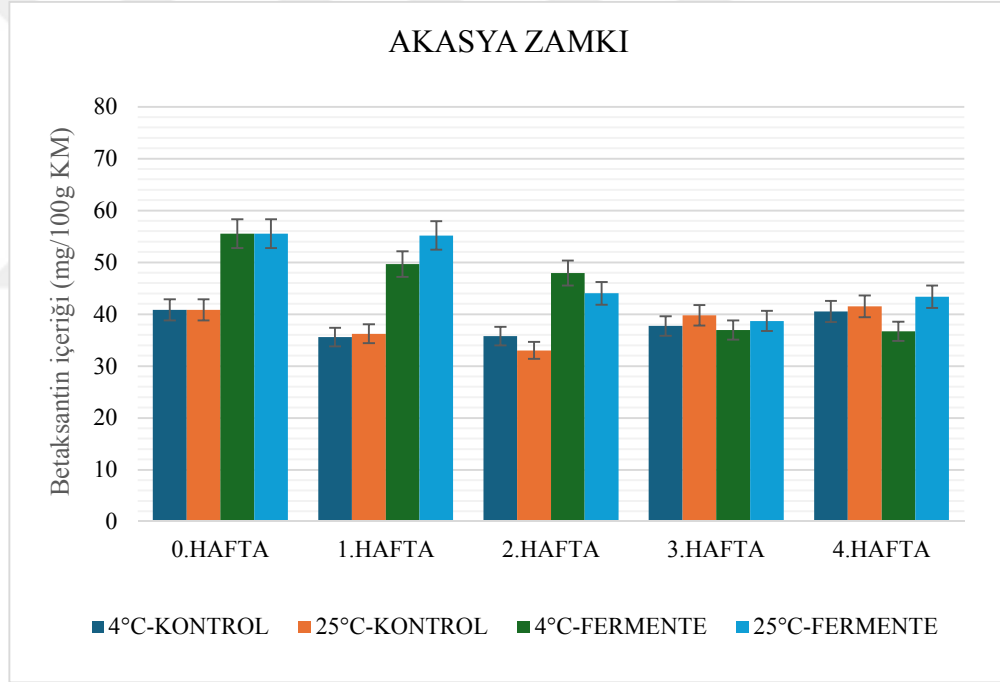


Şekil 4. 16 Maltodekstrin kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4 °C ve 25 °C) betaksantin içeriğine etkisi (mg/100g KM)

Maltodekstrin kaplı örneklerde başlangıç betaksantin içeriği, fermente edilmemiş kontrol grubunda 68,62 mg/100g KM, fermente edilmiş örneklerde ise 51,68 mg/100g KM olarak ölçülmüştür. Depolama süresince, her iki grupta da betaksantin içerikleri azalma eğiliminde olmuş, ancak 4 °C’de depolanan fermente edilmiş örneklerde stabilite daha iyi korunmuştur. 4 hafta sonunda 4 °C’de depolanan fermente edilmemiş kontrol örneklerinde betaksantin içeriği 52,11 mg/100g KM, fermente edilmiş örneklerde ise 52,16 mg/100g KM olarak kaydedilmiştir. Bu durum, düşük sıcaklığın betaksantin stabilitesini korumada etkili olduğunu göstermektedir.

25 °C’de depolanan fermente edilmemiş kontrol örneklerinde ise betaksantin kaybı daha belirgin olmuştur. Başlangıç betaksantin içeriği 68,62 mg/100g KM’den 48,59 mg/100g KM’ye düşmüştür. Fermente edilmiş örneklerde de benzer şekilde bir azalma gözlemlenmiş, 4 hafta sonunda betaksantin içeriği 52,16 mg/100g KM’den 48,59 mg/100g KM’ye düşmüştür. Bu veriler, daha düşük sıcaklıkta depolanan örneklerin betaksantin stabilitesini daha iyi koruduğunu ve 25 °C’de daha hızlı pigment kayıplarının yaşandığını ortaya koymaktadır.

Akasya zamkının betaksantin pigmentlerinin korunmasındaki etkisini ve fermentasyonun bu pigmentler üzerindeki rolünü araştıran bu çalışma, depolama sıcaklığının pigment kayıplarındaki etkisini değerlendirmektedir. Çalışmanın sonuçlarını içeren grafik Şekil 4. 17 de yer almaktadır.



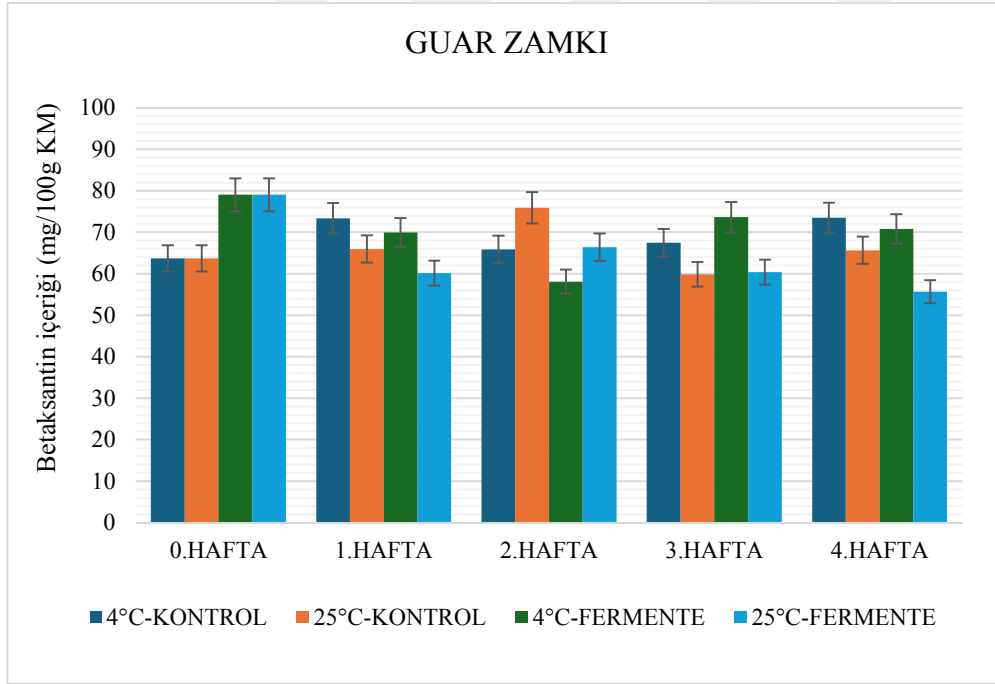
Şekil 4. 17 Akasya zamk kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4 °C ve 25 °C) betaksantin içeriğine etkisi (mg/100g KM)

Akasya zamk kaplı örneklerde başlangıç betaksantin içeriği, fermente edilmemiş kontrol grubunda 40,86 mg/100g KM, fermente edilmiş örneklerde ise 55,52 mg/100g KM olarak ölçülmüştür. 4 hafta boyunca depolama süresince her iki grupta da betaksantin içeriklerinde bir azalma gözlemlenmiş, özellikle 4 °C’de depolanan fermente edilmemiş kontrol örneklerinde betaksantin içeriği 40,53

mg/100g KM'ye kadar yükselmiştir. Fermente edilmiş akasya zankı kaplı örneklerde ise betaksantin içeriği 36,70 mg/100g KM'ye düşmüştür.

25 °C'de depolanan fermente edilmemiş kontrol örneklerinde başlangıç betaksantin içeriği 40,86 mg/100g KM'den 41,52 mg/100g KM'ye düşerken, fermente edilmiş örneklerde bu değer 55,52 mg/100g KM'den 43,39 mg/100g KM'ye düşmüştür. Akasya zankı kaplaması, düşük sıcaklıkta daha iyi pigment koruması sağlamış, ancak yüksek sıcaklıkta betaksantin kayıpları daha belirgin olmuştur.

Guar zankının betaksantin pigmentlerinin korunmasındaki etkisini anlamak amacıyla yapılan bu çalışma, depolama sıcaklığının pigment kayıplarındaki rolünü araştırmaktadır. Guar zankına ait betaksantin değerleri Şekil 4. 18 de yer almaktadır.



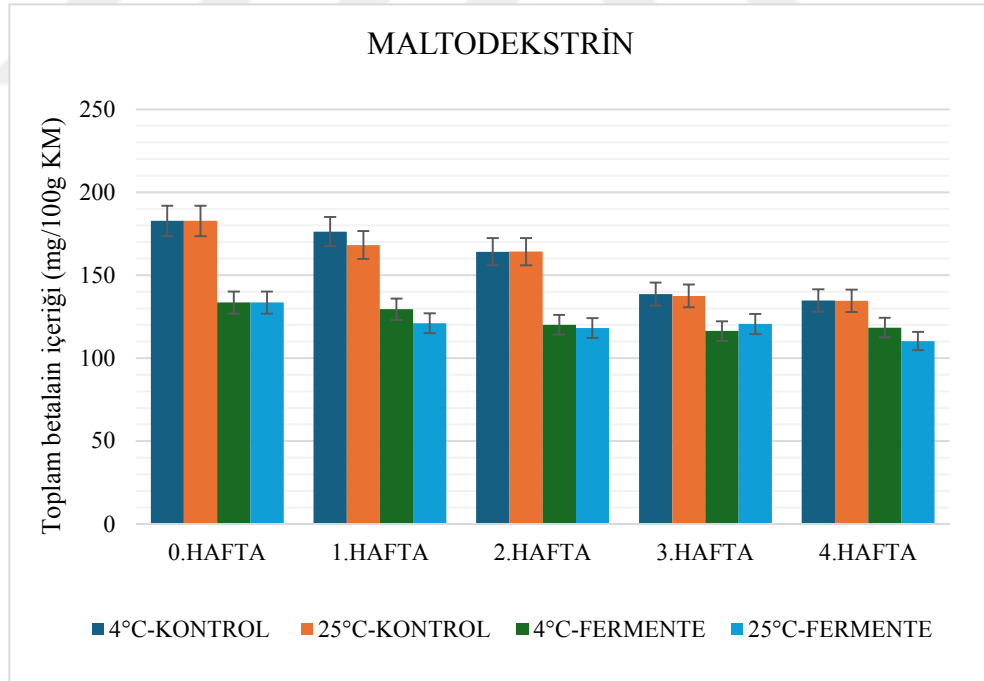
Şekil 4. 18 Maltodekstrin kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4 °C ve 25 °C) betasiyanin içeriğine etkisi (mg/100g KM)

Guar zankı kaplı örneklerde başlangıç betaksantin içeriği, fermente edilmemiş kontrol grubunda 63,70 mg/100g KM, fermente edilmiş örneklerde ise 79,04 mg/100g KM olarak ölçülmüştür. Depolama süresince her iki grupta da azalma gözlemlenmiş, 4 °C'de depolanan fermente edilmemiş örneklerde 4 hafta sonunda betaksantin içeriği 73,48 mg/100g KM'ye yükselirken, fermente edilmiş örneklerde bu değer 70,79 mg/100g KM olmuştur.

25 °C’de depolanan örneklerde, fermente edilmemiş kontrol grubunda başlangıç betaksantin içeriği 63,70 mg/100g KM’den 65,65 mg/100g KM’ye yükselmiştir. Fermente edilmiş guar zımkı kaplı örneklerde ise bu değır 79,04 mg/100g KM’den 55,70 mg/100g KM’ye düşmüştür. Bu sonuçlar, guar zımkı kaplamasının özellikle fermente edilmiş örneklerde betaksantin stabilitesini koruma potansiyelini ortaya koymakta, ancak yüksek sıcaklıkların pigment kayıplarını hızlandırdığını göstermektedir.

Toplam betalain içeriği

Fermente ve fermente edilmemiş kontrol örneklerine ait toplam betalain içerikleri EK 4. de sunulmaktadır. Maltodekstrin kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerin toplam betalain içerikleri, 4 °C ve 25 °C’de 4 hafta boyunca analiz edilmiştir. Maltodekstrin kaplamasının betalain pigmentlerinin stabilitesine etkisini ve farklı sıcaklıklarda depolamanın pigment kaybını nasıl etkilediğini anlamak amacıyla yapılan bu çalışmaya ait sonuçlar Şekil 4.19 da verilmiştir.



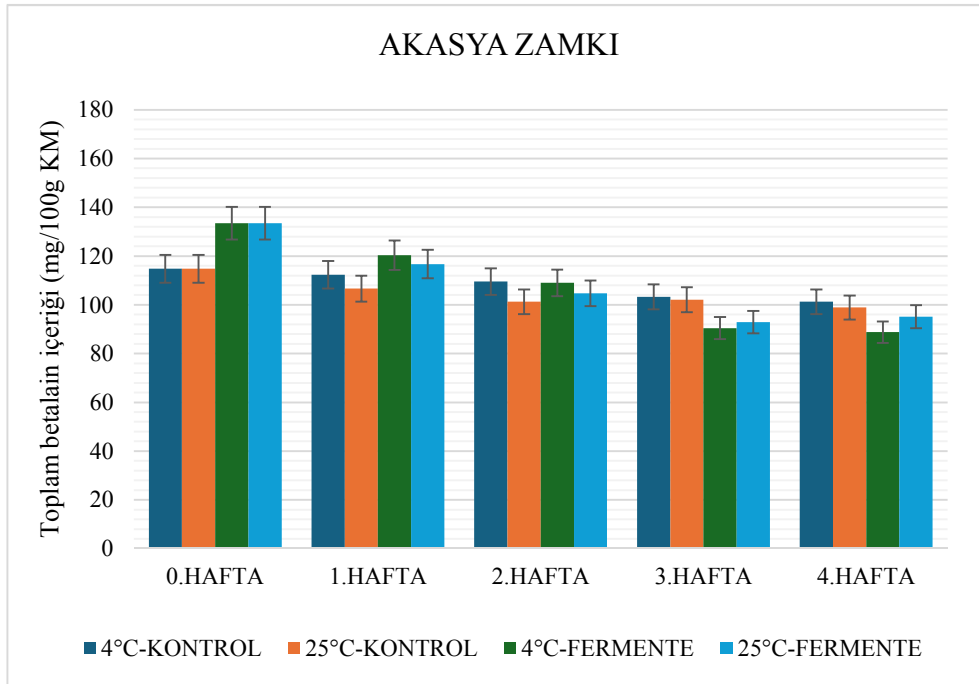
Şekil 4. 19 Maltodekstrin kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4 °C ve 25 °C) toplam betalain içeriğine etkisi (mg/100g KM)

Maltodekstrin kaplı örneklerde başlangıçta fermente edilmemiş kontrol grubu, fermente edilmiş gruptan daha yüksek toplam betalain içeriğine sahiptir. 4 °C’de fermente edilmemiş kontrol grubunda toplam betalain içeriği 182,71

mg/100g KM olarak ölçülmüş, fermente edilmiş örneklerde ise bu değer 133,56 mg/100g KM olmuştur. 4 hafta boyunca depolama sırasında her iki grupta da toplam betalain içeriklerinde bir azalma gözlemlenmiştir. 4 hafta sonunda, 4 °C'de fermente edilmemiş kontrol grubu 134,77 mg/100g KM'ye düşerken, fermente edilmiş örneklerde bu değer 118,43 mg/100g KM'ye gerilemiştir.

25 °C'de depolanan örneklerde betalain kayıpları daha belirgin olmuş, fermente edilmemiş kontrol grubunda toplam betalain içeriği 182,71 mg/100g KM'den 110,33 mg/100g KM'ye düşmüştür. Fermente edilmiş örneklerde ise başlangıçtaki 133,56 mg/100g KM'den 110,33 mg/100g KM'ye bir azalma gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, düşük sıcaklıkta depolamanın betalain stabilitesini korumada daha etkili olduğunu ve yüksek sıcaklıklarda pigment kayıplarının hızlandığını göstermektedir.

Akasya zamkı kaplı örneklerde toplam betalain içerikleri, 4 °C ve 25 °C'de 4 hafta boyunca izlenmiştir (Şekil 4. 20). Bu çalışmada akasya zamkı kaplamasının betalain pigmentlerinin stabilitesine olan etkileri incelenmiş ve depolama sıcaklığının pigment kayıplarındaki rolü değerlendirilmiştir. Fermentasyonun toplam betalain içerikleri üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

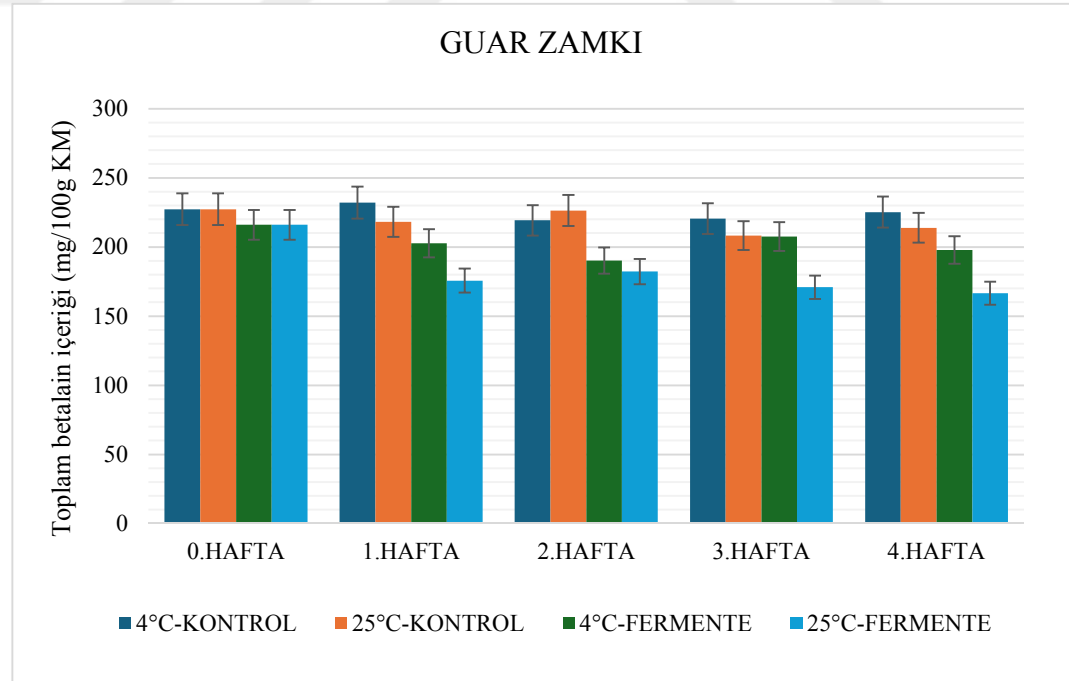


Şekil 4. 20 Akasya zamkı kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4 °C ve 25 °C) toplam betalain içeriğine etkisi (mg/100g KM)

Akasya zımkı kaplı fermente edilmemiş örneklerde başlangıç toplam betalain içeriği 4 °C’de 114,76 mg/100g KM, fermente edilmiş kontrol örneklerinde ise 133,44 mg/100g KM olarak ölçülmüştür. Depolama süresi boyunca her iki grupta da toplam betalain içeriğinde azalma gözlemlenmiştir. 4 hafta sonunda fermente edilmemiş kontrol örneğinde toplam betalain içeriği 101,27 mg/100g KM’ye, fermente edilmiş örneklerde ise 88,78 mg/100g KM’ye düşmüştür.

25 °C’de depolanan fermente edilmemiş örneklerde toplam betalain içeriği başlangıçta 114,76 mg/100g KM iken, 4 hafta sonunda 98,92 mg/100g KM’ye düşmüştür. Fermente edilmiş örneklerde ise başlangıçtaki 133,44 mg/100g KM’den 95,16 mg/100g KM’ye bir azalma gözlenmiştir. Akasya zımkı kaplaması, betalain stabilitesini düşük sıcaklıklarda daha iyi korumuş, ancak yüksek sıcaklıkta betalain kayıpları daha belirgin hale gelmiştir.

Guar zımkının betalain pigmentlerinin korunmasındaki rolünü ve depolama sıcaklığının betalain kayıplarını nasıl etkilediği araştırılmaktadır. Araştırma sonuçları Şekil 4.21 de verilmiştir.



Şekil 4. 21 Guar zımkı kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4 °C ve 25 °C) toplam betalain içeriğine etkisi (mg/100g KM)

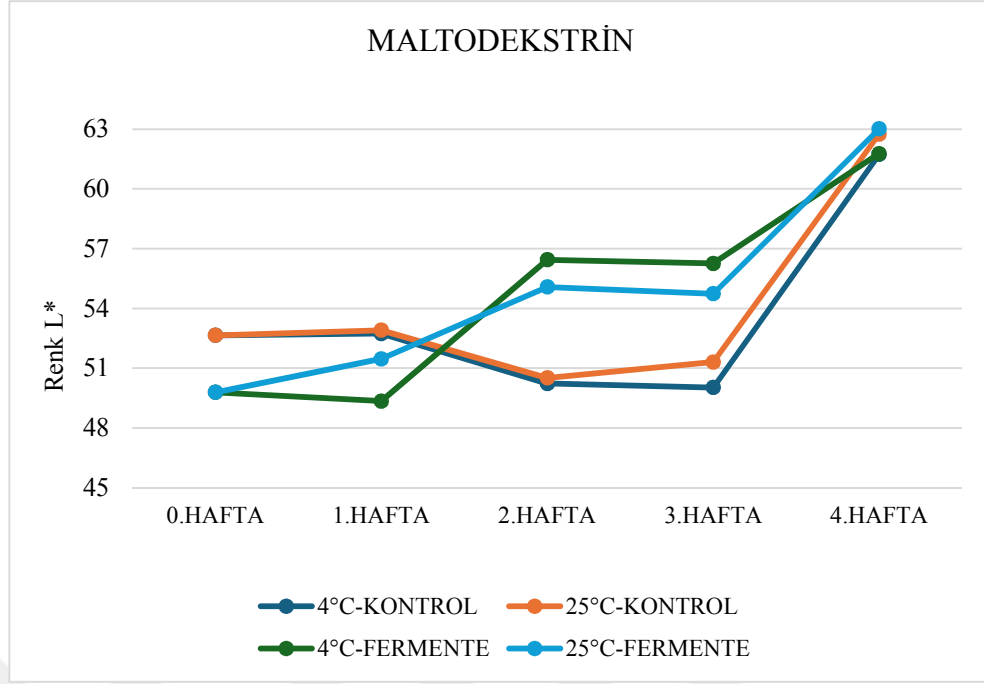
Guar zımkı kaplı fermente edilmemiş örneklerde başlangıç toplam betalain içeriği 4 °C'de 227,34 mg/100g KM olarak ölçölmüş, fermente edilmiş örneklerde ise 216,01 mg/100g KM olmuştur. 4 hafta boyunca depolama sırasında her iki grupta da betalain içeriği azalmış, ancak fermente edilmemiş kontrol grubunda 4 hafta sonunda betalain içeriği 225,23 mg/100g KM'ye, fermente edilmiş örneklerde ise 197,84 mg/100g KM'ye düşmüştür.

25 °C'de depolanan fermente edilmemiş örneklerde toplam betalain içeriği başlangıçtaki 227,34 mg/100g KM'den 213,90 mg/100g KM'ye düşerken, fermente edilmiş örneklerde bu değeri 216,01 mg/100g KM'den 166,69 mg/100g KM'ye düşmüştür. Guar zımkı kaplaması, betalain stabilitesini özellikle düşük sıcaklıklarda daha iyi korumuş, ancak yüksek sıcaklıkta betalain kayıpları gerçekteşmiştir.

4.5.4 Mikrokapsüle toz örneklerin renk değeriindeki değerişim

L* Değeri

Mikrokapsüle edilmiş fermente ve fermente edilmemiş örneklerin L* (aydınlık) değeri, 4 °C ve 25 °C'de 4 hafta boyunca incelenmiştir (EK 5). L* değeri, rengin açıklık düzeyini belirler; yüksek L* değeri daha açık renkleri, düşük L* değeri ise daha koyu renkleri ifade eder. Maltodekstrin kaplı örneklerine ait L* değeri Şekil 4. 22 de verilmiştir. Bu çalışma, depolama sıcaklığı ve fermentasyonun toz formundaki örneklerin renk stabilitesi üzerindeki etkilerini anlamayı amaçlamaktadır.

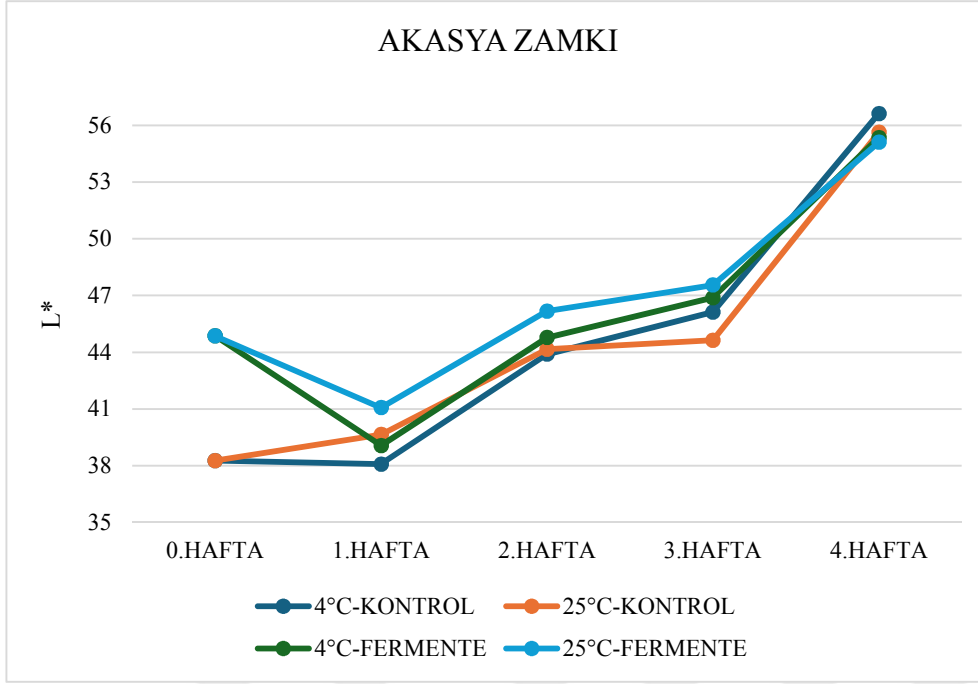


Şekil 4. 22 Maltodekstrin kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) L* değerine (aydınlık) etkisi

Grafiğe göre, L* değerleri depolama süresi boyunca her iki sıcaklıkta da artış eğilimi göstermiştir. Başlangıçta 4°C’de fermente edilmemiş kontrol grubunun L* değeri 52,65 iken, 25°C’de fermente edilmiş örneklerde bu değer 49,79 olarak düşmüştür. Depolama süresi boyunca hızlı bir şekilde artarak 4. haftanın sonunda 61,73 değerine ulaşmıştır. Her iki sıcaklıkta da 4 hafta boyunca fermente ve kontrol örneklerinde L* değerlerinin genel olarak arttığı ve daha açık renklerin olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle 25 °C’de depolanan fermente örnekler, 4. hafta sonunda en yüksek L* değerine ulaşmıştır.

4°C’de depolanan örneklerde ise L* değerleri 2. haftada hafif bir artış gösterip daha sonra dengelenmiş ve 4. hafta sonunda tekrar yükselmiştir. Sonuç olarak, düşük sıcaklıkta depolanan örnekler daha stabil bir renk değişimi sergilerken, yüksek sıcaklıkta depolanan örneklerde daha hızlı bir renk açılması gözlemlenmiştir. Bu durum, maltodekstrin kaplamasının ve düşük sıcaklıkların renk stabilitesini korumada etkili olduğunu göstermektedir.

Akasya zambının pigment stabilitesine olan etkisini ve depolama sıcaklığının bu örneklerin renk stabilitesi üzerindeki etkisini araştırılmıştır. Sonuç verileri Şekil 4. 23 de sunulmaktadır.

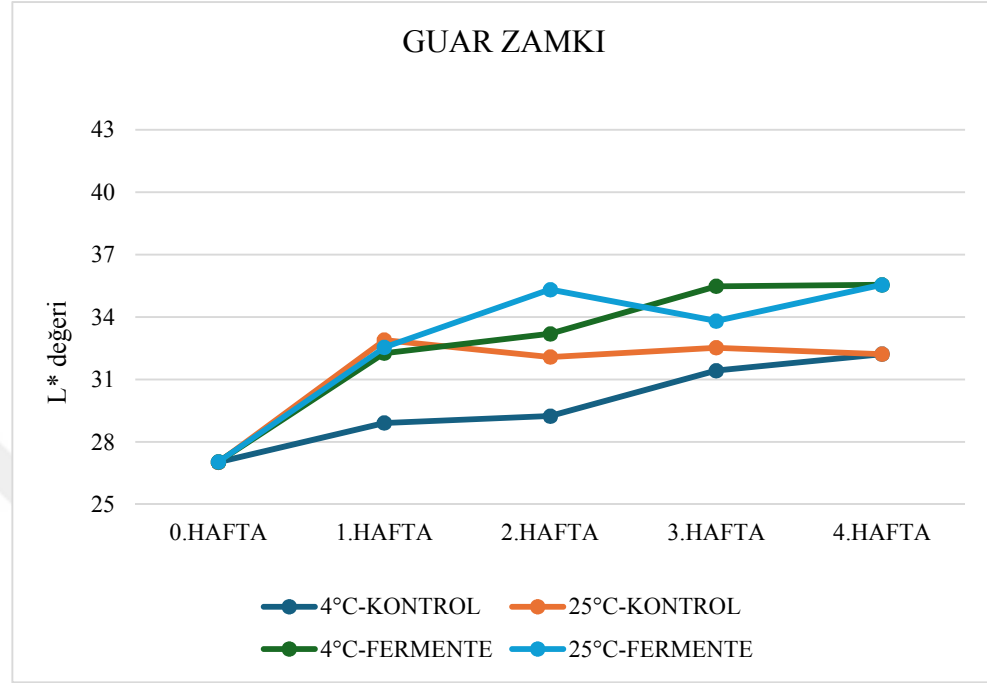


Şekil 4. 23 Akasya zamkı kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4 °C ve 25 °C) L* değerine (aydınlık) etkisi

Grafiğe göre, 0. hafta L* değerleri başlangıçta hem 4 °C’de hem de 25 °C’de fermente edilmemiş örneklerde daha düşük başlamıştır. Fermente edilmiş örnekler ise daha yüksek L* değerleri ile daha açık bir renk göstermiştir. 4. hafta sonunda tüm örneklerde L* değerleri belirgin şekilde artış göstermiş, 25°C’de depolanan fermente edilmiş örnekler en yüksek L* değerine ulaşmıştır. Özellikle 25 °C’deki fermente edilmiş örneklerde 2. haftadan itibaren renk açıklığında hızlı bir artış gözlemlenmiştir. 4 °C’de depolanan örnekler ise daha yavaş bir artış göstermiştir.

Depolama sıcaklığının artışıyla birlikte L* değerlerinin yükseldiği ve renk açılmasının hızlandığı gözlemlenmiştir. Bu da yüksek sıcaklığın renk değişimlerini hızlandırdığına işaret etmektedir. 4 °C’de depolanan kontrol ve fermente edilmiş örneklerde L* değerleri daha stabil bir şekilde artmıştır, ancak genel olarak düşük sıcaklıklarda renk değişimi daha kontrollü gerçekleşmiştir. Bu veriler, akasya zamkının, özellikle düşük sıcaklık koşullarında pigment stabilitesini koruma potansiyelini ortaya koymaktadır.

Guar zamkının pigment stabilitesine etkisini ve depolama sıcaklıklarının renk stabilitesi üzerindeki rolünü incelemektedir. Araştırma sonuçları Şekil 4. 24'te verilmiştir.



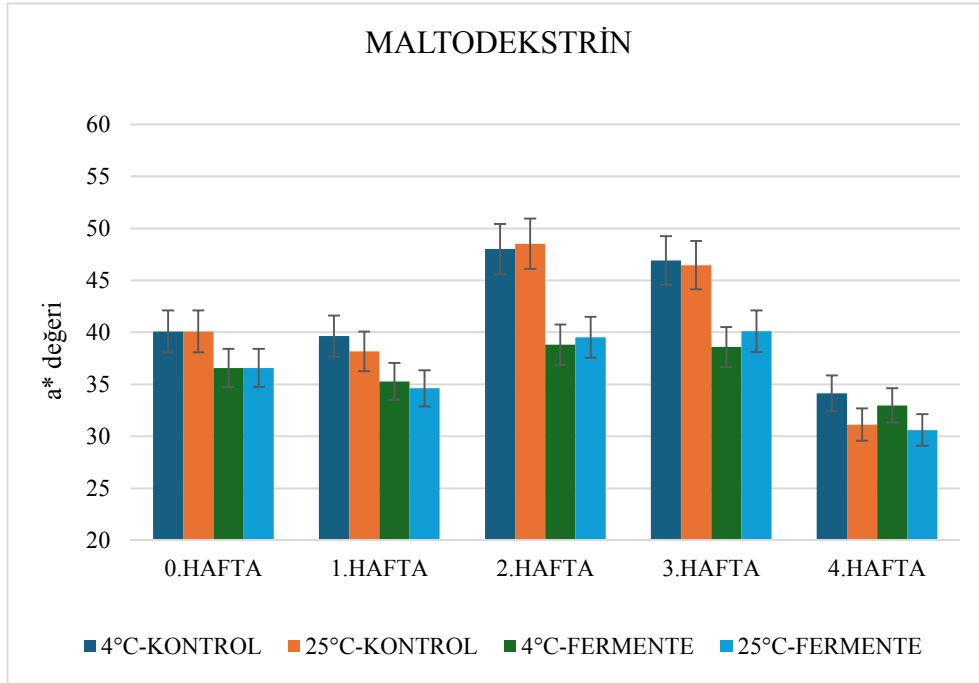
Şekil 4. 24 Guar zamkılı kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4°C ve 25°C) L* değerine (aydınlık) etkisi

Grafiğe göre, başlangıçta tüm örneklerin L* değerleri düşük seviyede başlamıştır, bu da örneklerin koyu renkte olduğunu gösterir. Özellikle 25 °C'de fermente edilmiş örneklerin L* değeri başlangıçta 27,04 değerinde en düşük seviyededir ancak 1. hafta sonunda hızlı bir artış göstermiştir. 4. haftanın sonunda 25 °C'de depolanan fermente edilmiş örneklerin L* değeri 35,55 ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Bu durum, yüksek sıcaklığın renk açılmasını hızlandığını göstermektedir.

4 °C'de depolanan örnekler ise daha düşük L* değerleriyle başlamış ve zamanla daha yavaş bir artış göstermiştir. 4. haftanın sonunda 4 °C'de depolanan kontrol ve fermente edilmiş örneklerde L* değerleri sırasıyla 32,22 ve 35,55 olarak kalmıştır. Genel olarak, düşük sıcaklıkta depolanan örneklerde renk değişimi daha stabil olurken, 25 °C'de depolanan fermente edilmiş örneklerde hızlı bir renk açılması yaşanmıştır. Guar zamkılı kaplı örneklerin L* değerlerindeki

değişimler, depolama sıcaklığının bu pigmentler üzerindeki etkisini ve düşük sıcaklığın renk stabilitesini daha iyi koruduğunu ortaya koymaktadır.

Örnekler üzerinde gerçekleştirilen Hunter renk sistemine ait a^* değeri sonuçları EK 6' da verilmiştir. Maltodekstrin kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerin a^* (kırmızılık/yeşillik) değerleri, 4 °C ve 25 °C'de 4 hafta boyunca izlenmiştir (Şekil 4. 25). a^* değeri, kırmızılık-yeşillik eksenini gösterir; pozitif a^* değerleri kırmızı tonlarını, negatif a^* değerleri ise yeşil tonlarını ifade eder. Bu çalışma, depolama sıcaklığının ve fermentasyonun toz formundaki örneklerin renk tonlarındaki değişimlere etkisini araştırılmıştır.

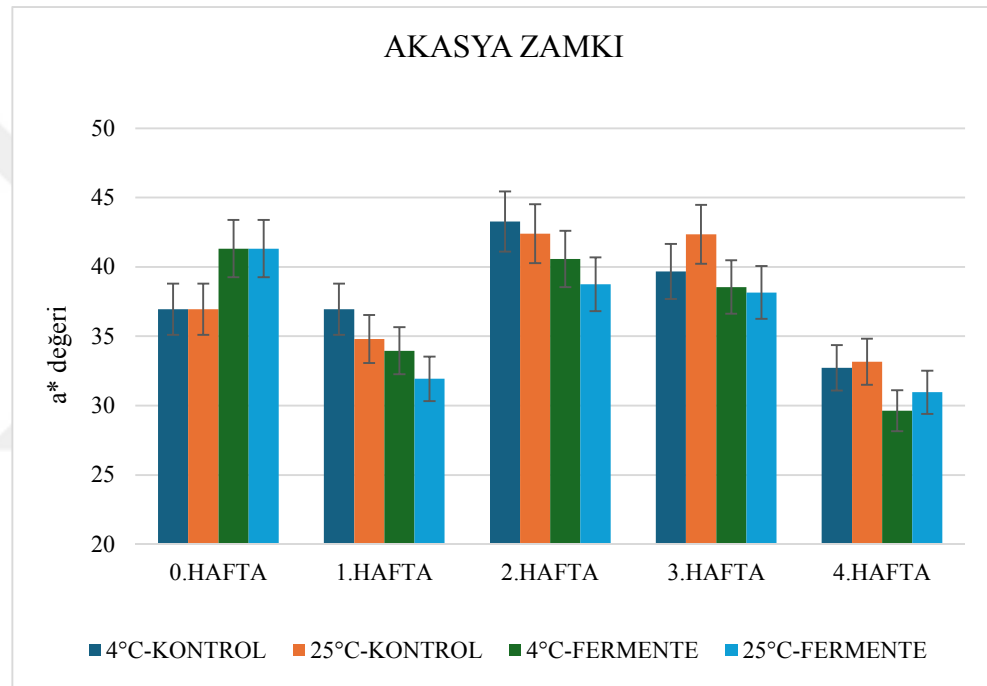


Şekil 4. 25 Maltodekstrin kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4 °C ve 25 °C) a^* değerine (kırmızılık-yeşillik) etkisi

Grafığe göre, maltodekstrin kaplı örneklerin a^* değerleri başlangıçta oldukça düşük seviyelerde başlamış, bu da renk tonunun kırmızıdan ziyade nötr olduğunu göstermektedir. Özellikle 4 °C'de fermente edilmiş örneklerde a^* değeri başlangıçta en düşük degerdedir. 1. haftada tüm gruplarda a^* değerlerinde belirgin bir artış gözlemlenmiş, genel olarak, a^* değerleri boyunca örnekler arasında büyük farklılıklar gözlemlenmemiştir.

4 °C ve 25 °C'de depolanan örnekler arasında büyük farklar bulunmamakla birlikte, 25 °C'de depolanan fermente edilmiş örneklerin 2. haftadan itibaren a^* değerlerinde düşüş yaşanmıştır. Bu veriler, depolama süresince maltodekstrin kaplamasının ve fermentasyonun a^* değerleri üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığını, ancak sıcaklık değişimlerinin etkisi olduğu belirlenmiştir.

Depolama sıcaklıklarının ve fermentasyonun akasya zımkı kaplı örneklerde a^* değerlerine olan etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonuçları Şekil 4. 26 da yer almaktadır.



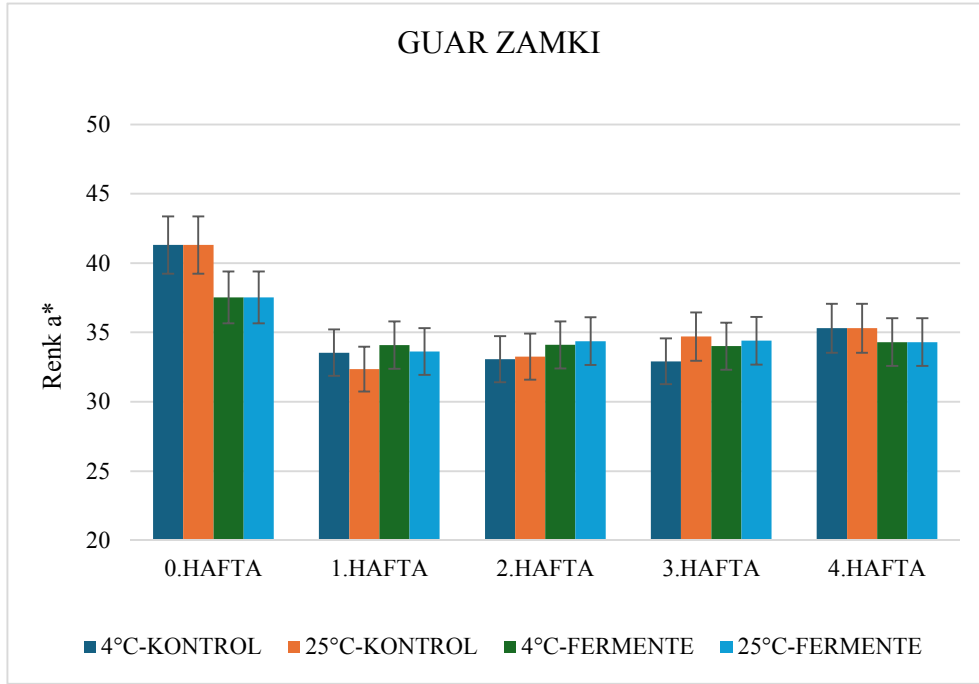
Şekil 4. 26 Akasya zımkı kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4 °C ve 25 °C) a^* değerine (kırmızılık-yeşillik) etkisi

Grafiğe göre, akasya zımkı kaplı örneklerde a^* değerleri başlangıçta nötr seviyelerde ve depolama süresi boyunca önemli değişiklikler göstermemiştir. Özellikle 2. haftada a^* değerleri tüm gruplarda artış göstermiştir. 4 °C'de fermente edilmemiş kontrol grubunun a^* değerleri başlangıçta oldukça düşük olup 2. haftaya kadar artış sergilemiştir. Aynı durum 25 °C'de fermente edilmiş örnekler için de gözlemlenmiştir.

Depolama süresi boyunca tüm örneklerde a^* değerleri düşük olarak bulunmuştur. Bu durumda renk tonlarının kırmızı yerine nötr veya yeşil tonlarına

daha yakın olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, akasya zankı kaplaması ve farklı depolama sıcaklıkları a^* değerleri üzerinde belirgin bir etki yaratmamıştır.

Depolama sıcaklıklarının ve fermentasyonun guar zankı kaplı toz örneklerin renk tonlarındaki değişimlere olan etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan çalışma sonuçları Şekil 4. 27 de verilmektedir.



Şekil 4. 27 Maltodekstrin kaplı fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4 °C ve 25 °C) a^* değerine (kırmızılık-yeşillik) etkisi

Grafiğe göre, guar zankı kaplı örneklerde a^* değerleri başlangıçta nötr iken depolama süresi boyunca istatistiksel olarak fark bulunmamaktadır. 1. haftada fermente edilmiş ve edilmemiş örneklerde artış görülmüş, ancak 2. haftadan itibaren a^* değerleri sabit kalmıştır. Özellikle 25 °C’de depolanan örnekler başlangıçta daha düşük a^* değerleri ile başlamış, zamanla çok az artış göstermiştir.

Guar zankı kaplı gruplar 4 hafta boyunca, a^* değerlerinde genel olarak büyük bir değişim göstermeden sabit kalmıştır. Depolama sıcaklıkları ve fermentasyonun, guar zankı kaplı örneklerin a^* değerleri üzerinde istatistiksel olarak bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, guar zankı kaplaması ve

sıcaklık farklılıkları, a^* değerlerinin stabilitesini koruma noktasında etkili olmuştur.

b^* Değeri

Çizelge 4. 15 de maltodekstrin, akasya zımkı ve guar zımkı kaplı toz örneklerin depolama sıcaklığı (4 °C ve 25 °C) ve fermentasyon durumuna bağlı olarak Hunter renk sistemi b^* (sarı-mavi) değerlerindeki değişimleri özetlenmiştir. b^* değeri, bir örneğin sarı veya mavi tonlarını gösterir; pozitif değerler sarı, negatif değerler ise mavi tonlarını ifade eder. Yapılan analizler, depolama süresince sarı tonlarında azalma ve mavi tonlara kayma eğilimini ortaya koymuş olup, her bir kaplama maddesinin ve sıcaklık koşulunun bu değişim üzerindeki etkileri vurgulanmıştır.

Çizelge 4. 15 Fermente ve fermente edilmemiş örneklerde depolama süresi (hafta) ve sıcaklığın (4 °C ve 25 °C) b^* değerine (kırmızılık-yeşillik) etkisi

			0.hafta	1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta
4 °C	MD	F	4,54±0,01 ^{aA}	3,93±0,03 ^{bB}	-7,12±0,03 ^{dD}	-7,16±0,02 ^{dD}	-0,12±0,02 ^{eC}
		K	-6,41±0,03 ^{lB}	-6,36±0,01 ^{gB}	-13,22±0,04 ^{lD}	-12,68±0,01 ^{lC}	-5,26±0,01 ^{lA}
	GA	F	-4,73±0,01 ^{eC}	0,78±0,01 ^{dA}	-4,58±0,01 ^{dC}	-5,01±0,02 ^{eD}	0,57±0,02 ^{dB}
		K	-3,05±0,01 ^{dC}	-2,82±0,01 ^{lB}	-9,47±0,01 ^{hD}	-9,50±0,01 ^{hD}	-1,87±0,01 ^{gA}
	GG	F	2,53±0,01 ^{bD}	8,98±0,01 ^{aA}	7,93±0,01 ^{bB}	7,14±0,01 ^{aC}	7,30±0,01 ^{aC}
		K	-0,29±0,01 ^{eD}	1,92±0,01 ^{cA}	1,59±0,01 ^{cB}	0,03±0,02 ^{dC}	1,56±0,01 ^{bB}
25 °C	MD	F	4,54±0,01 ^{aA}	3,95±0,01 ^{bB}	-6,83±0,02 ^{lD}	-7,15±0,01 ^{lE}	-0,36±0,01 ^{lC}
		K	-6,41±0,03 ^{lC}	-6,24±0,03 ^{gB}	-13,46±0,01 ^{lE}	-12,91±0,01 ^{kD}	-4,62±0,01 ^{hA}
	GA	F	-4,73±0,01 ^{eC}	0,98±0,01 ^{dA}	-4,93±0,01 ^{eD}	-5,13±0,01 ^{eE}	0,83±0,01 ^{cB}
		K	-3,05±0,01 ^{dB}	-2,90±0,01 ^{lB}	-9,52±0,02 ^{hC}	-9,29±0,03 ^{gC}	-1,99±0,01 ^{gA}
	GG	F	2,53±0,01 ^{bE}	9,02±0,01 ^{aA}	8,32±0,03 ^{aB}	6,46±0,01 ^{bD}	7,30±0,01 ^{aC}
		K	-0,29±0,01 ^{eE}	0,46±0,01 ^{eC}	0,10±0,01 ^{dD}	1,13±0,02 ^{cB}	1,48±0,01 ^{bA}

^{a-j} Aynı satır üzerinde farklı harfler kullanılarak işaretlenen gruplar arası fark istatistiksel olarak önemlidir ($p<0,05$).

^{A-E} Aynı sütun üzerinde farklı harfler kullanılarak işaretlenen gruplar arası fark istatistiksel olarak önemlidir ($p<0,05$).

Maltodekstrin kaplı örneklerde, 0. hafta b^* değerleri fermente örneklerde pozitif başlayarak sarı tonlarına yakın bir renk gösterirken, fermente edilmemiş örneklerde b^* değeri negatif başlamış, bu da örneklerin daha maviye yakın bir renkte olduğunu göstermiştir. 4 °C'de depolanan fermente edilmemiş örneklerde b^* değeri başlangıçta -6,41 olup, 4. haftada -5,26'ya yükselmiştir. Fermente örneklerde ise b^* değeri başlangıçtaki 4,54'ten 4. hafta sonunda -0,12'ye kadar

düşmüştür. 25 °C'de benzer bir eğilim gözlenmiş, sarı tonlar yerini mavi tonlara bırakmıştır. Bu, sıcaklık ve fermentasyonun b^* değerlerini önemli ölçüde değiştirdiğini göstermektedir.

Akasya zambak kaplı örneklerde başlangıç b^* değerleri, fermente edilmiş örneklerde sarı tonlarına yakın (-4,73), fermente edilmemiş örneklerde ise nötr veya hafif mavi tonlarına yakın (0,78) başlamıştır. 4 hafta boyunca, fermente edilmiş örneklerde b^* değerleri önce pozitif olup sonra negatif değerlere kaymıştır, bu da sarı tonlardan mavi tonlara geçişi işaret etmektedir. 25 °C'de fermente edilmemiş örneklerde b^* değeri başlangıçta nötr iken (0,29), 4. haftada hafif pozitif bir değere (1,48) ulaşmıştır. Sarı tonların azaldığı ve mavi tonların baskın hale geldiği gözlemlenmiştir.

Guar zambak kaplı örneklerde, başlangıç b^* değerleri fermente edilmiş örneklerde pozitif olup sarı tonları daha baskın göstermiştir (yaklaşık 2,53), fermente edilmemiş örneklerde ise nötr veya mavi tonlarına daha yakındır. Depolama sırasında sarı tonların korunmaya çalışıldığı, ancak zamanla azalma yaşandığı görülmüştür. 4 °C'de depolanan fermente edilmemiş örneklerde b^* değerleri daha stabil seyretmiştir. 25 °C'de depolanan örneklerde ise sarı-mavi tonlarında hafif dalgalanmalar gözlemlenmiştir. Guar zambak kaplaması sarı tonların stabilitesini bir ölçüde korumuş, ancak depolama süresince maviye kayma eğilimi gözlenmiştir.

Kroma değeri

Kroma değeri, örneklerin renginin canlılığını veya doygunluğunu göstermektedir. Çizelge 4.16 da MD, GA ve GG ile mikrokapsüle edilmiş fermente (F) ve kontrol (K) örneklerin 0-4 hafta boyunca zamanla renk kroma değerlerindeki değişim verilmektedir.

Çizelge 4. 16 Renk kroma değerleri

	0.hafta	1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta
MD4(F)	36,87±0,06 ^{fc}	35,50±0,03 ^{db}	39,45±0,03 ^{ga}	39,25±0,10 ^{eb}	32,97±0,07 ^{ce}
MD4(K)	40,60±0,03 ^{cc}	40,14±0,17 ^{ad}	49,80±0,05 ^{ba}	48,59±0,13 ^{ab}	34,55±0,13 ^{be}
GA4(F)	41,59±0,08 ^{aa}	33,96±0,09 ^{id}	40,83±0,07 ^{eb}	38,87±0,09 ^{ic}	29,64±0,61 ^{ie}
GA4(K)	37,07±0,01 ^{ec}	37,04±0,09 ^{cc}	44,29±0,08 ^{ca}	40,80±0,08 ^{db}	32,77±0,02 ^{cd}
GG4(F)	37,61±0,03 ^{da}	35,25±0,09 ^{db}	35,01±0,14 ^{ic}	34,75±0,09 ^{hd}	35,07±0,08 ^{ac}
GG4(K)	41,31±0,06 ^{ba}	33,59±0,17 ^{gc}	33,11±0,09 ^{kd}	32,92±0,04 ^{ee}	35,34±0,03 ^{ab}
MD25(F)	36,86±0,05 ^{ic}	34,84±0,20 ^{ed}	40,12±0,02 ^{ib}	40,74±0,11 ^{da}	30,61±0,59 ^{ez}
MD25(K)	40,60±0,03 ^{cc}	38,68±0,13 ^{bd}	50,35±0,12 ^{aa}	48,22±0,21 ^{bb}	31,47±0,10 ^{de}
GA25(F)	41,59±0,07 ^{aa}	31,94±0,08 ^{id}	39,07±0,04 ^{hb}	38,50±0,12 ^{ic}	30,97±0,07 ^{ez}
GA25(K)	37,07±0,01 ^{eb}	34,93±0,19 ^{ec}	43,45±0,33 ^{da}	43,36±0,04 ^{ca}	33,22±0,15 ^{cd}
GG25(F)	37,61±0,03 ^{db}	34,81±0,10 ^{ed}	49,29±0,08 ^{ba}	35,00±0,10 ^{gc}	35,07±0,08 ^{ac}
GG25(K)	41,31±0,06 ^{ba}	32,37±0,46 ^{he}	33,25±0,16 ^{kd}	34,72±0,03 ^{hc}	35,33±0,03 ^{ab}

*Aynı sütunda bulunan küçük harflerle gösterilen değerler P<0,05 güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

** Aynı satırda bulunan büyük harflerle gösterilen değerler P<0,05 güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

Başlangıçta en yüksek renk kroma değeri GA4(F) örneğinde (41,59±0,8) ve en düşük renk kroma değeri MD4(F) örneğinde (36,87±0,6) ölçülmüştür. Dört hafta sonunda, renk kroma değeri en yüksek olan örnek MD4(F) (32,97±0,7) iken, en düşük renk kroma değeri GA4(F) örneğinde (29,64±0,6) tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, GA kaplama materyalinin renk kroma değerini korumada daha etkili olduğunu, MD kaplama materyalinin ise bu konuda yetersiz kaldığını göstermektedir.

Fermentasyonun etkisi incelendiğinde, fermente edilmemiş kontrol örneklerinin (K) genellikle daha yüksek renk kroma değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle, GA4(K) ve GA4(F) örnekleri arasında fermentasyonun renk kroma stabilitesi üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı, her iki durumda da renk kroma değerinin zamanla azaldığı tespit edilmiştir. Ancak, GG gruplarında fermentasyonun renk kroma stabilitesini olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir.

Depolama sıcaklığının etkisi değerlendirildiğinde, 25 °C'de depolanan örneklerin renk kroma değerlerinde daha belirgin bir azalma olduğu görülmüştür. Örneğin, GA25(F) örneği başlangıçta $41,59 \pm 0,8$ renk kroma değerine sahipken, 4. hafta sonunda $30,67 \pm 0,7$ değerine düşmüştür. Buna karşılık, GG25(K) örneği başlangıçta $41,31 \pm 0,6$ renk kroma değerine sahip olup, 4. hafta sonunda $35,33 \pm 0,8$ değerini korumuştur. Bu bulgular, düşük sıcaklıkta depolamanın renk kroma stabilitesini artırdığını göstermektedir.

Hue açısı değeri

Çizelge 4.17'ye göre farklı kaplama malzemeleri (MD, GA ve GG) ile mikrokapsüle edilmiş fermente (F) ve kontrol (K) örneklerin 0-4 hafta boyunca zamanla renk hue açısı değerlerindeki değişim incelenmiştir. Renk hue açısı, bir rengin tonu ve temel rengin ne kadar sapma gösterdiğini ifade eder ve bu çalışmada düşük hue açısı değerleri tercih edilmektedir (Prieto-Santiago vd., 2020).

Çizelge 4. 17 Renk hue açısı değerleri

	0.hafta	1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta
MD4(F)	$0,12 \pm 0,01^{bB}$	$0,11 \pm 0,01^{cC}$	$0,18 \pm 0,01^{eA}$	$0,18 \pm 0,01^{gA}$	$0 \pm 0,01^{gD}$
MD4(K)	$0,16 \pm 0,01^{aC}$	$0,16 \pm 0,01^{bC}$	$0,27 \pm 0,01^{bA}$	$0,26 \pm 0,01^{bB}$	$0,15 \pm 0,01^{bD}$
GA4(F)	$0,11 \pm 0,01^{cB}$	$0,02 \pm 0,01^{eC}$	$0,11 \pm 0,01^{hB}$	$0,13 \pm 0,01^{hA}$	$0,02 \pm 0,01^{eD}$
GA4(K)	$0,08 \pm 0,01^{dC}$	$0,08 \pm 0,01^{dD}$	$0,22 \pm 0,01^{dB}$	$0,23 \pm 0,01^{cA}$	$0,06 \pm 0,01^{eE}$
GG4(F)	$0,07 \pm 0,01^{eD}$	$0,26 \pm 0,01^{aA}$	$0,23 \pm 0,01^{cB}$	$0,21 \pm 0,01^{cC}$	$0,21 \pm 0,01^{aC}$
GG4(K)	$0,01 \pm 0,01^{iC}$	$0,06 \pm 0,01^{eA}$	$0,05 \pm 0,01^{iB}$	$0 \pm 0,01^{jD}$	$0,05 \pm 0,01^{dB}$
MD25(F)	$0,12 \pm 0,01^{bC}$	$0,11 \pm 0,01^{cD}$	$0,17 \pm 0,01^{fB}$	$0,18 \pm 0,01^{gA}$	$0,01 \pm 0,01^{fE}$
MD25(K)	$0,16 \pm 0,01^{aC}$	$0,16 \pm 0,01^{bB}$	$0,27 \pm 0,01^{bA}$	$0,27 \pm 0,01^{aA}$	$0,15 \pm 0,01^{bD}$
GA25(F)	$0,11 \pm 0,01^{cC}$	$0,03 \pm 0,01^{iD}$	$0,13 \pm 0,01^{gB}$	$0,13 \pm 0,01^{hA}$	$0,03 \pm 0,01^{eE}$
GA25(K)	$0,08 \pm 0,01^{dB}$	$0,08 \pm 0,01^{dB}$	$0,22 \pm 0,01^{dA}$	$0,22 \pm 0,01^{dA}$	$0,06 \pm 0,01^{cC}$
GG25(F)	$0,07 \pm 0,01^{eE}$	$0,26 \pm 0,01^{aB}$	$0,80 \pm 0,01^{aA}$	$0,19 \pm 0,01^{iD}$	$0,21 \pm 0,01^{aC}$
GG25(K)	$0,01 \pm 0,01^{iCD}$	$0,01 \pm 0,01^{eC}$	$0 \pm 0,01^{jD}$	$0,03 \pm 0,01^{iB}$	$0,04 \pm 0,01^{dA}$

*Aynı sütunda bulunan küçük harflerle gösterilen değerler $P < 0,05$ güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

** Aynı satırda bulunan büyük harflerle gösterilen değerler $P < 0,05$ güven aralığında haftalar arası farkı ifade etmektedir.

Başlangıçta en yüksek renk hue açısı değeri GG25(K) örneğinde ($0,10 \pm 0,0$) ve en düşük değer GA4(F) örneğinde ($0,11 \pm 0,0$) ölçülmüştür. Dört hafta sonunda, renk hue açısı değeri en yüksek olan örnek GG4(F) ($0,21 \pm 0,0$) iken, en düşük renk hue açısı değeri GA4(F) örneğinde ($0,02 \pm 0,01$) tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, GA kaplama materyalinin renk hue açısı değerini korumada daha etkili olduğunu, GG kaplama materyalinin ise bu konuda yetersiz kaldığını göstermektedir.

Fermentasyonun etkisi incelendiğinde, fermente edilmemiş kontrol örneklerinin (K) genellikle daha düşük renk hue açısı değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle, GA4(K) ve GA4(F) örnekleri arasında fermentasyonun renk hue açısı stabilitesi üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı, her iki durumda da renk hue açısı değerinin zamanla azaldığı tespit edilmiştir. Ancak, GG gruplarında fermentasyonun renk hue açısı stabilitesini olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir.

Depolama sıcaklığının etkisi değerlendirildiğinde, 25 °C'de depolanan örneklerin renk hue açısı değerlerinde daha belirgin bir azalma olduğu görülmüştür. Örneğin, GA25(F) örneği başlangıçta $0,11 \pm 0,0$ renk hue açısı değerine sahipken, 4. hafta sonunda $0,02 \pm 0,01$ değerine düşmüştür. Buna karşılık, GG25(K) örneği başlangıçta $0,10 \pm 0,0$ renk hue açısı değerine sahip olup, 4. hafta sonunda $0,04 \pm 0,0$ değerini korumuştur. Bu bulgular, düşük sıcaklıkta depolamanın renk hue açısı stabilitesini artırdığını göstermektedir.

4.6 Fonksiyonel İçecek Geliştirilmesi

Tez çalışması kapsamında 4 °C ve 25 °C'de stabilitesi belirlenen toz renk maddelerinden en yüksek stabiliteye sahip guar zankı ile mikrokapsüle edilen toz renk maddesi, fonksiyonel özellikte içecek üretiminde kullanılmıştır. Üretimde kullanılan girdiler Çizelge 4.18'de verilmiştir.

Çizelge 4. 18 Fonksiyonel içecek üretiminde girdiler ve özellikleri

Girdiler	Özellikler
Su	
GG toz betalain mikrokapsülleri	Renk maddesi
Askorbik asit	C vit kaynağı ve antioksidan
Sitrik asit	Lezzet verici ve koruyucu
Agave aroması	Aroma verici
Sodyum eritorbat	Renk ve tat stabilizasyonu
Silikon dioksit	Stabilizör ve berraklaştırıcı

Gerekli girdi miktarları ön denemelerle bulunmuş ve nihai ürün formülasyonu optimize edilmiştir. Elde edilen içeceğin toz formu ve su ile karıştırılarak elde edilen fonksiyonel içecek Şekil 4.24 de yer almaktadır.



Şekil 4. 28 Tez çalışması kapsamında geliştirilen fonksiyonel içecek

4.7 Duyusal Analiz

Hedonik test ile gerçekleştirilen duyusal analiz sonuçları, geliştirilen fonksiyonel içeceğin renk, aroma, tat ve genel kabul edilebilirlik açısından olumlu bir algı oluşturduğunu göstermektedir. Panelistler tarafından verilen puan ortalamaları Çizelge 4.19 da sunulmuştur. Ürünün rengi ve aroması, panelistler tarafından en yüksek puanları almış olup, bu durum betalain pigmentlerinin ve agave aromasının tüketici beğenisini kazandığını göstermektedir. Tat açısından da yüksek puanlar alan ürün, tat ve aroma uyumunun başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.

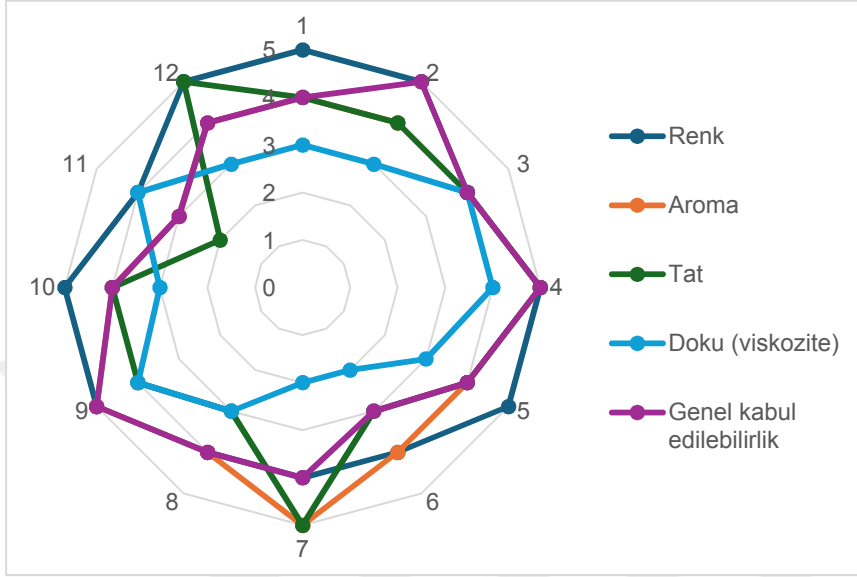
Çizelge 4. 19 Duyusal değerlendirme

Özellik	Puan Ortalaması
Renk	4,58±0,49
Aroma	4,17±0,55
Tat	3,92±0,86
Doku (viskozite)	3,17±0,69
Genel kabul edilebilirlik	4,08±0,64

Ürünün rengi (4.58) ve aroması (4.25), panelistler tarafından yüksek puanlar almış olup, betalain pigmentlerinin ve agave aromasının tüketici beğenisini kazandığını göstermektedir. Tat açısından da yüksek puanlar alan ürün (4.25), tat ve aroma uyumunun başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.

Ancak, dokunun (viskozite) diğer özelliklere kıyasla daha düşük puan alması (3.08), geliştirici ekip için dikkate alınması gereken önemli bir alan olduğunu işaret etmektedir. Daha düşük doku puanının başlıca nedeni, ağızda aşırı dağılım ve yapışkan bir his yaratması olarak belirlenmiştir. Bu durum, kullanılan mikrokapsülleme teknolojisinin ve formülasyonda yer alan bileşenlerin dokusal özellikleri üzerindeki etkisini optimize etme gerekliliğini ortaya koymaktadır. Mikrokapsülleme sırasında partikül boyutunun ve dağılımının daha homojen hale getirilmesi, dokusal özelliklerin iyileştirilmesine katkıda bulunabilir.

Genel kabul edilebilirlik açısından, ürün yüksek puanlar almış olup (4.33), bu durum tüketicilerin genel olarak üründen memnun olduğunu göstermektedir. Duyusal testin radar grafiği Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4. 29 Duyusal analiz sonuçlarından elde edilen radar grafik

Radar grafiği, geliştirilen fonksiyonel içeceğin renk, aroma, tat, doku (viskozite) ve genel kabul edilebilirlik açısından panelistlerin değerlendirmelerini göstermektedir. Ürünün renk, aroma ve genel kabul edilebilirlik özellikleri en yüksek puanları alırken, doku (viskozite) diğer özelliklere göre daha düşük puan almıştır. Bu durum, dokusal özelliklerin iyileştirilmesi gerektiğini işaret etmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ejder meyvesinden fermantasyon teknolojisi kullanılarak elde edilen betalain renk maddesinin fonksiyonel özelliklerini ve stabilitesini iyileştirmek için hidrokolloidlerle mikroenkapsülasyonuna ilişkin analiz sonuçları bu bölümde yer almaktadır.

1. Türkiye de yetiştirilen ejder meyvesinden elde edilen sonuçlar literatürde belirtilen bulgularla genel olarak uyum göstermektedir Antioksidan aktivite ($88,47 \pm 0,15$) ve toplam fenolik madde miktarı ($351,36 \pm 0,77$ mg GAE/100 g KM) literatürde bildirilen değerlerden daha yüksektir (Manan ve ark., 2019; Arivalagan ve ark., 2021; Zitha ve ark., 2022). Betasiyanin miktarı $177,50 \pm 1,68$ mg/100 g KM olarak tespit edilmiş olup, literatürde belirtilen değerlerden daha yüksektir (Mahayothee ve ark., 2019; Zitha ve ark., 2022).

2. Fermantasyonda kullanılacak maya konsantrasyonunu etkileyen parametrelerden süre, pH değeri ve glukoz konsantrasyonunun üretim sonundaki optik yoğunluk ve biyokütle konsantrasyonuna etkisi araştırılmıştır. Üretim parametreleri için optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve Design Expert 7.0 ile hazırlanan Box-Behnken deney tasarımı kullanılmıştır. Program içerisinde kullanılan bağımsız değişkenler fermantasyon süresi (24, 48, 72 sa), pH değeri (4, 4.5, 5) ve glukoz konsantrasyonu (15, 20, 25 g/L); bağımlı değişkenler ise optik yoğunluk ve biyokütle olarak seçilmiştir. Optimizasyon sonucunda biyokütle ve optik yoğunluk (OD) değerlerinin ANOVA testi gerçekleştirilmiştir. Biyokütle ve OD çıktıları incelendiğinde R^2 uyum katsayıları sırasıyla 0,8883 ve 0,9976 olarak hesaplanmıştır. Parametrelerin optimum değerlerinin belirlenmesi, R^2 değeri %95'in üzerinde olan OD çıktısına göre yapılmıştır, Teorik olarak belirlenen optimum değerler sırasıyla; süre: 54 saat, pH değeri: 4,5, glukoz miktarı: 20,35 g/L olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre elde edilecek OD değeri 32,40 olarak öngörülmüştür,

3. Fermantasyon koşullarının belirlenmesi için, katı ve sıvı kültür ortamlarında denemeler yapılmış, tüm uygulamalarda mikroorganizma olarak

S. cerevisiae kullanılmıştır. Fermente meyvelerde betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain analizleri yapılmıştır. Karanlık-katı ortamda gerçekleştirilen fermantasyon sonucunda, örneklerde en yüksek betasiyanin değeri $57,15 \pm 0,80$ mg/L ve toplam betalain değeri $76,32 \pm 0,46$ mg/L olarak tespit edilmiştir. Elde edilen veriler, istatistiksel analizler sonucunda anlamlı fark göstermiştir ($p < 0,05$).

4. Fermantasyon süresi ve inokulum miktarını belirlemek için denemeler gerçekleştirilmiştir. Fermente edilen örneklerde inokulum miktarını optimize etmek için %1, %2 ve %3 (h/h) oranlarında maya ekstraktı, 32 saat boyunca fermantasyon işlemine tabi tutulmuştur. 20, 24, 28 ve 32. saatlerde meyvelerin pH değerleri okunmuş, betasiyanin, betaksantin, toplam betalain ve toplam şeker analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, 24. saat sonunda %1 inokulum ile fermente edilmiş meyvelerin en iyi renk maddesi değerlerini verdiği tespit edilmiştir.

5. Ekstraksiyonda çözücü olarak etanol-su karışımı kullanılmıştır. Ekstraksiyon solventi için (60:40), (70:30), (80:20) ve (90:10) (h/h) etanol-su çözelti oranları ile denemeler yapılmıştır. Ekstraktların betasiyanin içerikleri ile CIE lab renk değerleri olan L^* (+, aydınlık) değeri, a^* (+, kırmızılık) değeri ve b^* (+, sarılık) değeri ölçülmüştür. Farklı oranlardaki çözgenlerin renk değerleri üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Benzer çalışmalar, betalain pigmentlerinin geniş bir pH değer aralığında ve çeşitli çözücü ortamlarında renk kararlılığını koruduğunu rapor etmiştir (Manchali vd., 2012; Gauray Pandey vd., 2018). Betasiyanin ve toplam betalain analizlerinde en yüksek değerler, 70:30 (h:h) etanol-su çözeltisi kullanılan örneklerde elde edilmiştir. Etanol-su karışımlarının, polar ve apolar bileşiklerin ekstraksiyonunu optimize ederek daha yüksek betalain verimi sağladığını gösteren diğer çalışmaları desteklemektedir (Özcan ve Bilek, 2018; Payokovic ve Krsnik-Rasol, 2011; Herbach ve ark., 2006). Betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain içeriklerinde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir ($p < 0,05$).

6. Ekstraksiyon parametrelerinin ön denemeleri yapılarak optimizasyon çalışmaları için Design Expert programında Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Program içerisinde kullanılan bağımsız değişkenler US süresi (15-25 dk), çözücü:kati oranları (3:1- 10:1); bağımlı değişken ise betasiyanin konsantrasyonu olarak seçilmiştir. ANOVA testi ile belirlenen betasiyanin içeriği değerlendirildiğinde, elde edilen teorik optimum ultrases süresi 20 dakika ve kati:çözücü oranı ise 1:7 olarak belirlenmiştir.

7. Belirlenen üretim koşulları kullanılarak verim arttırmak adına kademeli ekstraksiyon yöntemi ile denemeler gerçekleştirilmiştir. Kademeli ekstraksiyon işlemi 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Denemeler sonunda elde edilen ürünlerin betaksantin, betasiyanin ve toplam betalain miktarları belirlenmiştir. Tüm değerler için kademeli ekstraksiyon işleminin daha yüksek verimde gerçekleştiği bulgulanmıştır. En iyi değer kademeli ekstraksiyon sonucunda betasiyanin 194,20 ile 205,29 mg/100g KM olarak hesaplanmıştır. Literatür araştırmasında betalain ekstraksiyonunda sürekli ve kademeli ekstraksiyonu kapsayan bir çalışmayla karşılaşılmamıştır.

8. Elde edilen toz renk maddesi üretimi için mikroenkapsülasyon denemeleri maltodekstrin, akasya zımkı ve guar zımkı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Maltodekstrin denemelerinde Ersus ve Yurdagel (2007)'in uyguladıkları işlem basamakları takip edilmiştir. Akasya zımkı ile mikroenkapsülasyon işlemi ise Nthimole, Kaseke ve Fawole (2022)'nin uyguladığı üretim yönetimi kullanılmıştır. Guar zımkı ilavesi için ön denemeler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen mikroenkapsül örneklerinin nem, renk (L^* , a^* , b^*), toplam fenolik madde, betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain konsantrasyonu analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre (0,3:100) oranı en yüksek değerleri vermektedir. Ancak tüm sonuçlar için kontrol örnekleri fermente örneklerden daha yüksek değerlere sahiptir.

9. Stabilité çalışmasında, farklı kaplama maddeleri (maltodekstrin, akasya zımkı, guar zımkı) kullanılarak fermente ve fermente edilmemiş toz örneklerin stabiliteleri, çeşitli depolama koşullarında incelenmiştir. Pigment

stabiliteeri, fenolik bileşikler, betalain bileşenleri (betasiyanin, betaksantin, toplam betalain) ve Hunter renk sistemi (L^* , a^* , b^*) değerleri üzerinden değerlendirilmiştir. Depolama sıcaklığı (4°C ve 25°C) ve fermentasyonun bu bileşenler üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Fermente edilmiş örneklerde, fermente edilmemiş örneklere göre başlangıç fenolik madde içeriği daha yüksek bulunmuştur. Depolama süresi boyunca fenolik madde içeriklerinde hem fermente edilmiş hem de fermente edilmemiş örneklerde bir azalma gözlemlenmiştir. Ancak, 4°C 'de depolanan örneklerde fenolik madde kaybı daha yavaş olmuştur. Maltodekstrin kaplı fermente edilmiş örnekler, 4 hafta sonunda en stabil fenolik madde içeriğine sahip olmuştur. Bu durum, düşük sıcaklığın ve maltodekstrin kaplamasının fenolik bileşiklerin korunmasına olumlu etkisini ortaya koymuştur.

10. Fermente edilen örneklerde betalain pigmentleri (betasiyanin, betaksantin ve toplam betalain) başlangıçta daha yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur. Ancak, depolama süresi boyunca betalain pigmentlerinde kayıplar gözlemlenmiştir. 4°C 'de depolanan örnekler, 25°C 'ye kıyasla betalain pigmentlerini daha iyi korumuştur. Kaplama maddeleri arasında guar zımkı kaplı örnekler, betalain pigmentlerinin stabilitesini koruma açısından en iyi sonucu vermiştir. Bu durum, düşük sıcaklık koşullarının ve guar zımkının betalain pigmentlerinin korunmasında önemli olduğunu göstermektedir.

11. Renk stabilitesi analizlerinde, L^* (açıklık), a^* (kırmızılık-yeşillik) ve b^* (sarı-mavi) değerleri depolama süresince değerlendirilmiştir:

*L Değerleri:** Tüm örneklerde L^* değerlerinde depolama süresi boyunca bir artış gözlenmiş, bu da örneklerin zamanla daha açık renkte olduğunu göstermiştir. 25°C 'de depolanan örneklerde L^* değerlerinde daha hızlı bir artış görülmüştür. Özellikle maltodekstrin kaplı fermente edilmiş örnekler, 4. hafta sonunda en yüksek L^* değerine ulaşmıştır. Bu durum, sıcaklığın renk açıklığı üzerindeki etkisini doğrulamaktadır.

*a Değerleri:** a^* değerleri, örneklerde genel olarak düşük seviyede kalmış ve büyük bir değişiklik göstermemiştir. Fermente ve fermente edilmemiş örneklerde a^* değerleri daha çok nötr veya yeşil tonlarına yakın olmuştur.

Bu, sıcaklık ve fermentasyonun a^* değerleri üzerinde sınırlı bir etkisinin olduğunu göstermektedir.

b Değerleri: b^* değerleri, sarı-mavi eksenini ifade etmekte olup, örneklerde zamanla sarı tonlardan mavi tonlara doğru bir kayma gözlenmiştir. Depolama sıcaklığı arttıkça sarı tonlarının azaldığı ve mavi tonların baskın hale geldiği tespit edilmiştir. Maltodekstrin kaplı fermente edilmiş örneklerde sarı tonlarının hızlı bir şekilde azaldığı gözlemlenmiş, 25°C'deki örnekler en büyük renk değişimlerini sergilemiştir. Akasya zankı ve guar zankı kaplı örneklerde de benzer eğilimler gözlenmiş olup, düşük sıcaklığın b^* değerlerinin stabil kalmasında daha etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

12. Tez çalışması kapsamında +4°C ve +25°C'de stabilitesi belirlenen toz renk maddelerinden en yüksek stabiliteye sahip olan ürün, fonksiyonel özellikte içecek üretiminde kullanılmıştır. Duyusal analiz sonuçları, geliştirilen fonksiyonel içeceğin renk, aroma, tat ve genel kabul edilebilirlik açısından olumlu bir algı oluşturduğunu göstermektedir. Ürünün rengi ve aroması, panelistler tarafından en yüksek puanları almış olup, bu durum betalain pigmentlerinin ve agave aromasının tüketici beğenisini kazandığını göstermektedir. Ürünün renk, aroma ve genel kabul edilebilirlik özellikleri en yüksek puanları alırken, doku (viskozite) diğer özelliklere göre daha düşük puan almıştır. Bu durum, dokusal özelliklerin iyileştirilmesi gerektiğini işaret etmektedir.

Bu çalışma kapsamında, ejder meyvesinden fermentasyon teknolojisi kullanılarak elde edilen betalain pigmentlerinin stabilitesini ve fonksiyonel özelliklerini iyileştirmek amacıyla maltodekstrin, akasya zankı ve guar zankı gibi hidrokolloidlerle mikroenkapsülasyon işlemi uygulanmıştır. Farklı fermentasyon koşulları, kaplama maddeleri ve depolama sıcaklıklarının (4°C ve 25°C) betalain pigmentlerinin stabilitesi, toplam fenolik madde içeriği ve renk değerleri (L^* , a^* , b^*) üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Sonuçlar, fermente edilen örneklerde betalain ve fenolik bileşiklerin başlangıçta daha yüksek olduğunu, ancak zamanla azalma eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur. 4°C'de

depolanan örneklerin, 25°C'ye kıyasla daha iyi bir pigment ve renk stabilitesi sergilediği gözlemlenmiştir. Guar zankı kaplı örnekler, betalain pigmentlerinin stabilitesini koruma açısından en iyi sonucu vermiştir. Renk analizlerinde ise depolama süresi boyunca L* değerlerinde genel bir artış, a* değerlerinde nötr ya da yeşil tonlara yakın bir seyir, b* değerlerinde ise sarıdan mavi tonlarına doğru bir kayma gözlemlenmiştir. Mikroenkapsül edilen betalain pigmentlerinin fonksiyonel bir içecekte kullanımı ile geliştirilen ürün, renk, aroma ve genel kabul edilebilirlik açısından tüketiciler tarafından olumlu geri dönüşler almıştır. Bu bulgular, betalain pigmentlerinin fonksiyonel gıda ürünlerinde kullanım potansiyelini desteklemekte ve stabiliteyi artırmaya yönelik uygulamaların önemini vurgulamaktadır.

KAYNAK DİZİNİ

- Abd Manan, E., Abd Gani, S. S., Zaidan, U. H. ve Halmi, M. I. E., 2019,** Characterization of antioxidant activities in red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) pulp water-based extract, *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 61(2), 170-180.
- Amaya-Chantaca, D., Flores-Gallegos, A. C., Iliná, A., Aguilar, C. N., Sepúlveda-Torre, L., Ascacio-Vadlès, J. A. ve Chávez-González, M. L., 2022,** Comparative extraction study of grape pomace bioactive compounds by submerged and solid-state fermentation, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 97(6), 1494-1505.
- AOAC, 1990,** Official Methods of Analysis. 15th ed., USA
- Arivalagan, M., Karunakaran, G., Roy, T. K., Dinsha, M., Sindhu, B. C., Shilpashree, V. M. ve Shivashankara, K. S., 2021,** Biochemical and nutritional characterization of dragon fruit (*Hylocereus* species), *Food Chemistry*, 353, 129426.
- Aslan, E. and Sargin, S., 2023,** Bioprocesses for Sustainable Bioeconomy: Fermentation, Benefits, and Constraints. In *A Sustainable Green Future: Perspectives on Energy, Economy, Industry, Cities and Environment* (pp. 115-138). Cham: Springer International Publishing.
- Badawy, E., Vinatoru, M., Calinescu, I., Shams, K. A., Abel-Azim, N. S., Fahmi, A. A., ve Saleh, I. A., 2022,** Improvement of Pharmaceutically Active Materials from the Fruit of the Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica*) Using Ultrasound (UAE) and Microwave (MAE) Assisted Extractions.
- Bakal, N., 2024,** Ejder meyvesinin (*Hylocereus* türleri) biyokimyasal karakterizasyonu ve antikanserojenik özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 127 s (yayınlanmamış).
- Bassey, E. J., Cheng, J. H. ve Sun, D. W., 2022,** Improving drying kinetics, physicochemical properties and bioactive compounds of red dragon fruit (*Hylocereus* species) by novel infrared drying. *Food Chemistry*, 375, 131886.

- Benucci, I., Lombardelli, C., Mazzocchi, C. ve Esti, M.,** 2022, Natural colorants from vegetable food waste: Recovery, regulatory aspects, and stability—A review, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(3), 2715-2737.
- Berk, Z.,** 2018, Freeze drying (lyophilization) and freeze concentration, *Food process engineering and technology*, 2, 567-581.
- Bilek, S.E.,** 2010, The effects of time, temperature, solvent: solid ratio and solvent composition on extraction of total phenolic compound from dried olive (*Olea europaea* L.) leaves, *GIDA J. Food*, 35, 411-416.
- Blois, M.S.,** 1958, Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181: 1199-1200pp.
- Boyapati, T., Rana, S. S. ve Ghosh, P.,** 2023, Microwave-assisted extraction of dragon fruit seed oil: Fatty acid profile and functional properties. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 22(3), 149-157.
- Brahmi, F., Blando, F., Sellami, R., Mehdi, S., De Bellis, L., Negro, C. ve Makhlouf-Boulekbache, L.,** 2022, Optimization of the conditions for ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Opuntia ficus-indica* [L.] Mill. flowers and comparison with conventional procedures, *Industrial Crops and Products*, 184, 114977.
- Carreón-Hidalgo, J. P., Franco-Vásquez, D. C., Gómez-Linton, D. R. ve Pérez-Flores, L. J.,** 2022, Betalain plant sources, biosynthesis, extraction, stability enhancement methods, bioactivity, and applications. *Food Research International*, 151, 110821.
- Carrera, C., Pastol, J., Setyaningsih, W., Ruiz-Rodríguez, A., Ferreiro-González, M., Fernández Barbero, G. ve Palma, M.,** 2021, Optimization by means of chemometric tools of an ultrasound-assisted method for the extraction of betacyanins from red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *Agronomy*, 11(6), 1053.
- Casalvara, R. F. A., Ferreira, B. M. R., Gonçalves, J. E., Yamaguchi, N. U., Bracht, A., Bracht, L. ve Peralta, R. M.,** 2024, Biotechnological, nutritional, and

therapeutic applications of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) and its by-products: a review of the past five-year findings. *Nutrients*, 16(6), 840.

Castellar, M. R., Obón, J. M., Alacid, M., & Fernández-López, J. A., 2003, Color properties and stability of betacyanins from *Opuntia* fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(9), 2772-2776.

Castellar, M. R., Obón, J. M., Alacid, M., ve Fernández-López, J. A., 2008, Fermentation of *Opuntia stricta* (Haw.) fruits for betalains concentration, *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(11), 4253-4257.

Cemeroğlu, B., 2010, Gıda Analizleri. Bizim Grup Basımevi: Ankara

Chilakamarry, C.R., Sakinah, A.M., Zularisam, A., Sirohi, R., Khilji, I.A., Ahmad, N. ve Pandey, A., 2022, Advances in solid-state fermentation for bioconversion of agricultural wastes to value-added products: Opportunities and challenges. *Bioresour, Technol.*, 343, 126065.

Choo, K. Y., Kho, C., Ong, Y. Y., Thoo, Y. Y., Lim, L. H., Tan, C. P. ve Ho, C. W., 2018b, Fermentation of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) for betalains concentration. *International Food Research Journal*, 25(6).

Choo, K. Y., Kho, C., Ong, Y. Y., Thoo, Y. Y., Lim, R. L. H., Tan, C. P. ve Ho, C. W., 2018a, Studies on the storage stability of fermented red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) drink. *Food science and biotechnology*, 27(5), 1411-1417.

Costa, K. P. B., Reichembach, L. H. ve de Oliveira Petkowicz, C. L., 2022, Pectins with commercial features and gelling ability from peels of *Hylocereus spp.* *Food Hydrocolloids*, 128, 107583.

Dang-Bao, T. ve Tran, U. P., 2023, Stability Improvement of Betalains Recovered from Red Dragon Fruit Peels (*Hylocereus polyrhizus*) by Cellulose-Based Encapsulation. *Fibers and Polymers*, 24(8), 2683-2696.)

Dat, N. T. T., Nha, T. T. ve Nhi, N. Y., 2023, STABILIZATION OF BETACYANINS FROM RED BEET ENCAPSULATED IN CHITOSAN-ALGINATE GEL BEADS, *Journal of Science Technology and Food*, 23(2), 139-149.)

- Dat, N. T., Vu, T. T. T. ve Le, T. T.,** 2023, Extraction of betacyanin and phenolic compounds from red dragon fruit peel: optimization and characterization, *Journal of Food Science and Technology*, 60, 1121-1131.
- Delgado-Vargas, F. ve Paredes-López, O.,** 2003, Natural Colorants for Food and Nutraceutical Uses. CRC Press.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T. ve Smith, F.,** 1956, Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.
- Ersus, S. ve Yurdagel, U.,** 2007, Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota L.*) by spray drier, *Journal of food engineering*, 80(3), 805-812.
- Ersus, S. ve Yurdagel, Ü.,** 2007, Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota L.*) by spray drier, *Journal of Food Engineering*, 80(3), 805-812.
- Esatbeyoglu, T., Wagner, A. E., Schini-Kerth, V. B. ve Rimbach, G.,** 2015, Betanin- A food colorant with biological activity. *Molecular nutrition & food research*, 59(1), 36-47.
- Estevinho, B. N., Rocha, F., Santos, L. ve Alves, A.,** 2013, Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications–A review. *Trends in food science & technology*, 31(2), 138-155.
- Fathordoobady, F., Jarzębski, M., Pratap-Singh, A., Guo, Y. ve Abd-Manap, Y.,** 2021, Encapsulation of betacyanins from the peel of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus L.*) in alginate microbeads. *Food Hydrocolloids*, 113, 106535.
- Femat-Castañeda, C., Chávez-Rodríguez, A., Chávez-Rodríguez, A. M., Flores-Martínez, H., Farías-Cervantes, V. S. ve Andrade-González, I.,** 2019, Effect of agave fructans and maltodextrin on Zn²⁺ chlorophyll microencapsulation by spray drying, *Journal of Food Quality*, 2019(1), 6312584.

- Fernando, G. S. N., Wood, K., Papaioannou, E. H., Marshall, L. J., Sergeeva, N. N. ve Boesch, C.,** 2021, Application of an ultrasound-assisted extraction method to recover betalains and polyphenols from red beetroot waste. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(26), 8736-8747.
- Gali, L., Bedjou, F., Velikov, K. P., Ferrari, G. ve Donsi, F.,** 2020, High-pressure homogenization-assisted extraction of bioactive compounds from *Ruta chalepensis*. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 2800-2809.
- Gandía-Herrero, F., Escribano, J. ve García-Carmona, F.,** 2010, Structural implications on color, fluorescence, and antiradical activity in betalains. *Planta*, 232(2), 449-460.
- Garcia-Campoy, A. H., De León-Rodríguez, A., Espitia-Rangel, E. ve Barba-de la Rosa, A. P.,** 2024, Comparison of Traditional and Modern Techniques for Betalains Extraction from Amaranth Agro-Industrial Waste: The Recovery of High Value By-Products. *Waste and Biomass Valorization*, 1-12.
- Gaurav Pandey, G. P., Vivek Pandey, V. P., Pandey, P. R. ve George Thomas, G. T.,** 2018, Effect of extraction solvent temperature on betalain content, phenolic content, antioxidant activity and stability of beetroot (*Beta vulgaris L.*) powder under different storage conditions.
- Ghorband, A. S., Joshi, B. H. ve Bhatt, H. G.,** 2023, Studies on physicochemical and nutritional properties of dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 12(6), 223-226.
- Gokhale, S. V. ve Lele, S. S.,** 2014, Betalain content and antioxidant activity of *Beta vulgaris*: effect of hot air convective drying and storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(1), 585-590.
- Gould, A. W.,** 1977, Food Quality Assurance. The AVI Publ. Co. Inc., USA.
- Grewal, P. S., Modavi, C., Russ, Z. N., Harris, N. C. ve Dueber, J. E.,** 2018, Bioproduction of a betalain color palette in *Saccharomyces cerevisiae*. *Metabolic Engineering*, 45, 180-188.

- Gübbük, H.**, 2017, Değişik tropik meyve türlerinin antalya koşullarına adaptasyonu üzerinde araştırmalar. Proje sonuç raporu, 74, (yayımlanmamış).
- Gupta, A., Sanwal, N., Bareen, M. A., Barua, S., Sharma, N., Olatunji, O. J. ve Sahu, J. K.**, 2023, Trends in functional beverages: Functional ingredients, processing technologies, stability, health benefits, and consumer perspective. *Food Research International*, 170, 113046.
- Hazervazifeh, A., Rezazadeh, A., Banihashemi, A., Ghasempour, Z. ve Kia, E. M.**, 2023, Pulsed microwave radiation for extraction of betalains from red beetroot: Engineering and technological aspects. *Process Biochemistry*, 134, 121-130.)
- He, J. ve Giusti, M. M.**, 2010, Anthocyanins: Natural colorants with health-promoting properties. *Annual Review of Food Science and Technology*, 1, 163-187.
- Heffels, P., Bührle, F., Schieber, A. ve Weber, F.**, 2017, Influence of common and excessive enzymatic treatment on juice yield and anthocyanin content and profile during bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) juice production. *European Food Research and Technology*, 243(1), 59–68. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2722-0>.
- Herbach, K. M., Stintzing, F. C. ve Carle, R.**, 2006, Betalain stability and degradation—structural and chromatic aspects. *Journal of Food Science*, 71(4), R41-R50.
- Hossain, F. M., Numan, S. M. N. ve Akhtar, S.**, 2021, Cultivation, nutritional value, and health benefits of Dragon Fruit (*Hylocereus spp.*): A Review. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 8(3), 259-269.
- Janiszewska, E.**, 2014, Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. *Powder Technology*, 264, 190-196.
- Kaba, B., Zannou, O., Ali Redha, A. ve Koca, I.**, 2024, Enhancing extraction of betalains from beetroot (*Beta vulgaris* L.) using deep eutectic solvents: optimization, bioaccessibility and stability. *Food Production, Processing and Nutrition*, 6(1), 38.)

- Kandasamy, S. ve Naveen, R.**, 2022, A review on the encapsulation of bioactive components using spray-drying and freeze-drying techniques. *Journal of Food Process Engineering*, 45(8), e14059.
- Kasavi, C., Finore, I., Lama, L., Nicolaus, B., Oliver, S. G., Oner, E. T. ve Kirdar, B.**, 2012, Evaluation of industrial *Saccharomyces cerevisiae* strains for ethanol production from biomass. *Biomass and bioenergy*, 45, 230-238.
- Keerthana, K., Anukiruthika, T., Moses, J. A. ve Anandharamakrishnan, C.**, 2020, Development of fiber-enriched 3D printed snacks from alternative foods: A study on button mushroom. *Journal of Food Engineering*, 287, 110116.
- Khazaei, K. M., Jafari, S. M., Ghorbani, M. ve Kakhki, A. H.**, 2014, Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color. *Carbohydrate polymers*, 105, 57-62.
- Kugler, F., Stintzing, F. C. ve Carle, R.**, 2004, Identification of betalains from petioles of differently colored Swiss chard (*Beta vulgaris* L. ssp. *cicla* [L.] Alef. cv. *Bright Lights*) by high-performance liquid chromatography– Electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(10), 2975-2981.
- Kugler, F., Stintzing, F. C. ve Carle, R.**, 2007, Characterisation of betalain patterns of differently coloured inflorescences from *Gomphrena globosa* L. and *Bougainvillea* sp. by HPLC–DAD–ESI–MS n. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 387, 637-648.
- Kuhn, F., de Azevedo, E. S., Frazzon, J. ve Noreña, C. P. Z.**, 2021, Evaluation of green extraction methods on bioactive compounds and antioxidant capacity from *Bougainvillea glabra* bracts. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 19, 100362.
- Lacerda, V. R., Bastante, C. C., Machado, N. D., Vieites, R. L., Casas Cardoso, L. ve Mantell-Serrano, C.**, 2024, Supercritical extraction of betalains from the peel of different pitaya species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(9), 5513-5521.)

- Lawless, H.T. ve Heymann, H.**, 2010, Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices (Second Ed.). Springer Science & Business Media, 619 p.
- Le, T. T. ve Le, N. L.**, 2021, Antioxidant capacities and betacyanin lc^{ms} profile of red^{ms} fleshed dragon fruit juice (*Hylocereus polyrhizus*) extracted by ultrasound^{ms} assisted enzymatic treatment and optimized by response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(3), e15217.
- Liaotrakoon, W., De Clercq, N., Van Hoed, V., Van de Walle, D., Lewille, B. ve Dewettinck, K.**, 2013, Impact of thermal treatment on physicochemical, antioxidative and rheological properties of white-flesh and red-flesh dragon fruit (*Hylocereus spp.*) purees. *Food and Bioprocess Technology*, 6(2), 416-430.
- Lim, T. W., Lim, C. J., Liow, C. A., Ong, S. T., Lim, L. H., Pui, L. P. ve Ho, C. W.**, 2022, Studies on the storage stability of betacyanins from fermented red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) drink imparted by xanthan gum and carboxymethyl cellulose. *Food Chemistry*, 393, 133404.
- Linares, G. ve Rojas, M. L.**, 2022, Ultrasound-assisted extraction of natural pigments from food processing by-products: A review. *Frontiers in Nutrition*, 9, 891462.
- Mahayothee, B., Komonsing, N., Khuwijitjaru, P., Nagle, M. ve Müller, J.**, 2019, Influence of drying conditions on colour, betacyanin content and antioxidant capacities in dried red-fleshed dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *International Journal of Food Science & Technology*, 54(2), 460–470
- Maillard, M. N. ve Berset, C.**, 1995, Evolution of antioxidant activity during kilning: Role of insoluble bound phenolic acids of barley and malt. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(6), 1789-1793.
- Manchali, S., Murthy, K. N. C., Nagaraju, S. ve Neelwarne, B.**, 2012, Stability of betalain pigments of red beet. In Red beet biotechnology: food and pharmaceutical applications (pp. 55-74). Boston, MA: Springer US.
- Maran, J. P., Manikandan, S., Vigna Nivetha, C. ve Dinesh, R.**, 2015, Ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from *Nephelium lappaceum L.* fruit peel. *Food and Bioproducts Processing*, 96, 105-112.

- Marathe, S. J., Jadhav, S. B., Bankar, S. B. ve Singhal, R. S.,** 2017, Enzyme-assisted extraction of bioactives. *Food Bioactives*, 171–201.
- Marchuk, M., Selig, M. J., Celli, G. B., Lawrence, P., Smilgies, D. M. ve Abbaspourrad, A.,** 2019, Mechanistic investigation via QCM-D into the color stability imparted to betacyanins by the presence of food grade anionic polysaccharides. *Food Hydrocolloids*, 93, 226-234.
- Marsol-Vall, A., Kelanne, N., Nuutinen, A., Yang, B. ve Laaksonen, O.,** 2020, Influence of enzymatic treatment on the chemical composition of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea*) juice. *Food Chemistry*, 339, 128052–128062. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128052>
- Martins N, Roriz CL, Morales P, Barros L, Ferreira ICFR,** 2017, Coloring attributes of betalains: A key emphasis on stability and future applications, *Food and Function*, 8(4), 1357-1372, 2017.
- Martí-Quijal, F.J., Khubber, S., Remize, F., Tomasevic, I., Roselló-Soto, E. ve Barba, F.J.,** 2021, Obtaining Antioxidants and Natural Preservatives from Food By-Products through Fermentation: A Review. *Fermentation*, 7, 106.
- Mata-Gómez, L. C., Montañez, J. C., Méndez-Zavala, A. ve Aguilar, C. N.,** 2014, Biological properties of pigments from *Monascus purpureus* — A review. *Food Technology and Biotechnology*, 52(3), 323-330.
- Matencio, A., Guerrero-Rubio, M. A., Gandia-Herrero, F., Garcia-Carmona, F. ve López-Nicolás, J. M.,** 2021, Nanoparticles of betalamic acid derivatives with cyclodextrins. Physicochemistry, production characterization and stability. *Food Hydrocolloids*, 110, 106176.
- Mehta, D., Kuksal, K., Yadav, K., Yadav, S. K., Zhang, Y. ve Nile, S. H.,** 2024, Ultrasound-assisted extraction and encapsulation of betalain from prickly pear: Process optimization, in-vitro digestive stability, and development of functional gummies. *Ultrasonics Sonochemistry*, 106975.

- Metin, U. ve Gezici, A.**, 2021, Ejder meyvesinin ozmotik dehidrasyonu ve kuruma özelliklerinin değerlendirilmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(2), 149-157.
- Montgomery, D. C.**, 2012, *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons.
- Morales-Huerta, A., Flores-Andrade, E., Jiménez-Fernández, M., Beristain, C. I. ve Pascual-Pineda, L. A.**, 2023, Microencapsulation of betalains by foam fluidized drying. *Journal of Food Engineering*, 359, 111701.
- Naczki, M. ve Shahidi, F.**, 2004, Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A*, 1054(1-2), 95-111.
- Namazzadeh, G., Ehsani, A. ve Ghasempour, Z.**, 2022, Microencapsulation of red beet extract using chitosan-Persian gum complex coacervates. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(12), e17148.
- Naseer, S., Hussain, S. ve Abid, A.**, 2019, Betalain as a food colorant: its sources, chemistry and health benefits: chemistry of betalain and its role as food colorant. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: B. Life and Environmental Sciences*, 56(2), 01-08.
- Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Petrovic, T. ve Bugarski, B.**, 2013, Chapter 13 Encapsulation Systems in the Food Industry. *Advances in food process engineering research and applications*, 687.
- Nguyen, L. H., Tran, L. D., Van Thai, N., Tram, H. T. N., Minh, B. Q. ve Nguyen, V. H.**, 2022, Environmental-friendly method for preparing CoFe₂O₄ coated biopolymer extracted from dragon fruit peel: Characterization and application as nanocomposite adsorbent for removal of As (III) pollutants from aqueous solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*.
- Nguyen, T. T. H., Pham, D. C., Chu, T. P., Vu, N. H., Samhaber, W. M. ve Nguyen, M. T.**, 2021, Impact of jeva evaporation on storage stability and physiochemical characteristics of Vietnam red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *Chemical Engineering Transactions*, 87, 169-174.

- Nouairi, M. E. A., Freha, M. ve Bellil, A.,** 2021, Study by absorption and emission spectrophotometry of the efficiency of the binary mixture (Ethanol-Water) on the extraction of betanin from red beetroot. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 260, 119939.
- Nthimole, C., Kaseke, T. ve Fawole, O. A.,** 2022, Optimization of microencapsulation of baobab fruit pulp extract using gum arabic and maltodextrin. *Food Chemistry*, 366, 130592.
- Nur, M. A., Uddin, M. R., Uddin, M. J., Satter, M. A. ve Amin, M. Z.,** 2023, Physiochemical and nutritional analysis of the two species of dragon fruits (*Hylocereus sp.*) cultivated in Bangladesh. *South African Journal of Botany*, 155, 103-109.
- Oktay, L. M., Uzunhisarcikli, M. E. ve Ilter, S. M.,** 2024, Optimization of ultrasound-assisted extraction of betacyanin pigments from *Opuntia ficus-indica* using response surface methodology. *Food Chemistry*, 350, 129249.
- Özcan, K. ve Bilek, S. E.,** 2018, Kırmızı Pancardan Renk Maddesi Üretimi ve Stabilitesinin Sağlanması. *Akademik Gıda*, 16(4), 439-449.
- Özkan, G. ve Bilek, S. E.,** 2014, Microencapsulation of natural food colourants. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(3), 145-156.
- Patil, P. D., Patil, S. P., Kelkar, R. K., Patil, N. P., Pise, P. V. ve Nadar, S. S.,** 2021, Enzyme-assisted supercritical fluid extraction: An integral approach to extract bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 357-369.
- Pavoković, D. ve Krsnik-Rasol, M.,** 2011, Complex biochemistry and biotechnological production of betalains. *Food technology and Biotechnology*, 49(2), 145-155.
- Postigo, L.O.C.Y., Jacobo-Velázquez, D.A., Guajardo-Flores, D., Amezquita, L.E.G. ve García-Cayuela, T.,** 2021, Solidstate fermentation for enhancing the nutraceutical content of agrifood by-products: Recent advances and its industrial feasibility. *Food Biosci.* , 41, 100926.

- Pourrat A, Lejeune B, Grand A ve Pourrat H**, 1988, Betalains assay of fermented red beet root extract by high performance liquid chromatography. *J Food Sci* 53:294–295. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb10237.x>
- Prabowo, I., Utomo, E. P., Nurfaizy, A., Widodo, A., Widjajanto, E. ve Rahadju, P.**, 2019, Characteristics and antioxidant activities of anthocyanin fraction in red dragon fruit peels (*Hylocereus polyrhizus*) extract. *Drug Invention Today*, 12(4).
- Pramudika, S. ve Paramita, V.**, 2024, Efficiency of Betacyanin and Betaxanthin Extraction from Red Beets (*Beta vulgaris L.*) using Microwave-Assisted Extraction (MAE). *Journal of Vocational Studies on Applied Research*, 5(2), 68-72.)
- Prieto-Santiago, V., Cavia, M. M., Alonso-Torre, S. R. ve Carrillo, C.**, 2020, Relationship between color and betalain content in different thermally treated beetroot products. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 3305-3313.
- Putri, W. D. R., Nurbaya, S. R. ve Murtini, E. S.**, 2021, Microencapsulation of betacyanin extract from red dragon fruit peel. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 9(3), 953-960.
- Radziejewska-Kubzdela, E., Szwengiel, A., Ratajkiewicz, H. ve Nowak, K.**, 2020, Effect of ultrasound, heating and enzymatic pre-treatment on bioactive compounds in juice from *Berberis amurensis Rupr.* *Ultrasound Sonochemistry*, 63, 104971–104978. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.104971>.
- Rahayuningsih, E., Setiawan, F. A., Rahman, A. B. K., Siahaan, T. ve Petrus, H. T. B. M.**, 2021, Microencapsulation of betacyanin from red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peels using pectin by simple coacervation to enhance stability. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 3379-3387.
- Raj, S. ve Dash, K. K.**, 2020, Optimization of ultrasound-assisted extraction of betalains from dragon fruit peel using response surface methodology. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 1-9.
- Ramos-de-la-Peña, A. M.**, 2019, Phenolic compounds in food: Characterization and health benefits. *Food Chemistry*, 285, 177-185.

- Rathi, K. M., Singh, S. L., Gigi, G. G. ve Shekade, S. V.,** 2023, Nutrition and Therapeutic Potential of the Dragon Fruit: A Qualitative Approach. *Pharmacognosy Research*, 16(1).
- Righi Pessoa da Silva, H., da Silva, C. ve Bolanho, B. C.,** 2018, Ultrasound-assisted extraction of betalains from red beet (*Beta vulgaris L.*). *Journal of food process engineering*, 41(6), e12833.
- Rocha, G. A., Fávaro-Trindade, C. S. ve Grosso, C. R. F.,** 2012, Microencapsulation of lycopene by spray drying: Characterization, stability and application of microcapsules. *Food and bioproducts processing*, 90(1), 37-42.
- Rodriguez, E. B., Vidallon, M. L. P., Mendoza, D. J. R. ve Reyes, C. T.,** 2016, Health-promoting bioactivities of betalains from red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus (Weber) Britton and Rose*) peels as affected by carbohydrate encapsulation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(14), 4679-4689.
- Rodriguez, E. B., Vidallon, M. L. P., Mendoza, D. J. R., Dalisay, K. A. M. ve Reyes, C. T.,** 2015, Stabilization of betalains from the peel of red dragon fruit [*Hylocereus polyrhizus (Weber) Britton & Rose*] through biopolymeric encapsulation. *Philippine Agricultural Scientist*, 98(4), 276-286.
- Rodríguez-Félix, F., Cárdenas-López, J. L., Montaña-Leyva, B., Del-Toro-Sánchez, C. L., Juárez-Onofre, J. E., Carvajal-Millán, E. ve Castro-Enríquez, D. D.,** 2023, Optimization of the Extraction of Betalains from the Pulp of Pitaya (*Stenocereus thurberi*) and its Antioxidant Capacity. *Food Analytical Methods*, 16(7), 1252-1260.)
- Rodríguez-Félix, F., González-Ríos, H., Sotelo-Mundo, R. R., Silva-Beltrán, N. P., Vega-García, M. O. ve Campas-Baypoli, O. N.,** 2023, Optimization of betalain extraction from pitaya (*Stenocereus thurberi*) pulp using ultrasound-assisted extraction. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 2697-2705.
- Rodríguez-Solana, R., Salgado, J. M., Domínguez, J. M. ve Cortés-Diéguez, S.,** 2015, Valorization of winery waste vs. enological potential of grape seeds:

extraction of bioactive phenolics with microwave assisted technology. *Food and Bioproducts Processing*, 93, 236-245.

Seday, Ü. ve Aksoy, D., 2017, Pitaya yetiştiriciliği ve Türkiye’de üretim potansiyeli, *Meyvecilik*, 17, sayfa:50-52.

Selig, M. J., Celli, G. B., Tan, C., La, E., Mills, E., Webley, A. D. ve Abbaspourrad, A., 2018, High pressure processing of beet extract complexed with anionic polysaccharides enhances red color thermal stability at low pH. *Food Hydrocolloids*, 80, 292-297.

Šelo, G., Planinić, M., Tišma, M., Tomas, S., Komlenić, D.K. ve Bucić-Kojić, A., 2021, A Comprehensive Review on Valorization of Agro-Food Industrial Residues by Solid-State Fermentation. *Foods*, 10, 927.

Serra A.T., Poejo J., Matias A.A., Bronze M.R., Duarte C.M.M., 2013, Evaluation of *Opuntia* spp. derived products as antiproliferative agents in human colon cancer cell line (HT29), *Food Research International*, 54(1), 892-901.

Shofinita, D., Fawwaz, M. ve Achmadi, A. B., 2023, Betalain extracts: Drying techniques, encapsulation, and application in food industry. *Food Frontiers*, 4(2), 576-623.

Shrestha, N., Shrestha, S. ve Bhattarai, A., 2016, Katmandu Vadisi'nin farklı narenciye meyvelerinde askorbik asit tayini. *Journal of Medical and Biological Science Research* , 2 (1), 9-14.

Silva, S. M., Sato, H. H. ve Fonseca, M. J. V., 2018, Optimization of betacyanin extraction from red beet (*Beta vulgaris* L.) using ultrasound and response surface methodology. *Food Chemistry*, 268, 451-457.

Singh, A., Swami, S., Panwar, N. R., Kumar, M., Shukla, A. K., Roupael, Y. ve Kumar, P., 2022, Development changes in the physicochemical composition and mineral profile of red-fleshed dragon fruit grown under semi-arid conditions. *Agronomy*, 12(2), 355.

- Smith, C., Veliglu, L. S. ve Hsiao, J.,** 2017, Stability of betalain pigments in red beet (*Beta vulgaris*) root: Influence of pH, temperature, and solvents. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(3), e12900.
- Solovchenko, A., Yahia, E. M. ve Chen, C.,** 2019, Pigments. In Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables (pp. 225-252). Woodhead publishing.
- Sravan Kumar S., Manoj P. ve Giridhar P.,** 2015, A method for red-violet pigments extraction from fruits of Malabar spinach (*Basella rubra*) with enhanced antioxidant potential under fermentation. *J Food Sci Technol* 52:3037–3043. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1335-5>
- Stintzing, F.C ve Carle, C.,** 2003, Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition, *Trends Food Science Technology* 15:19p
- Sutor-Świeży, K., Górska, R., Kumorkiewicz-Jamro, A., Dziedzic, E., Bieniasz, M., Mielczarek, P. ve Wybraniec, S.,** 2024, *Basella alba* L.(*Malabar Spinach*) as an abundant source of betacyanins: identification, stability, and bioactivity studies on natural and processed fruit pigments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(6), 2943-2962.
- Swamy, G. J., Sangamithra, A. ve Chandrasekar, V.,** 2014, Response surface modeling and process optimization of aqueous extraction of natural pigments from *Beta vulgaris* using Box–Behnken design of experiments. *Dyes and Pigments*, 111, 64-74.
- Tabio-García, D., Paraguay-Delgado, F., Sánchez-Madrigal, M. Á., Quintero-Ramos, A., Espinoza-Hicks, J. C., Meléndez-Pizarro, C. O. ve Espitia-Rangel, E.,** 2021, Optimisation of the ultrasound-assisted extraction of betalains and polyphenols from *Amaranthus hypochondriacus* var. Nutrisol. *Ultrasonics Sonochemistry*, 77, 105680.
- Tarte, I., Singh, A., Dar, A. H., Sharma, A., Altaf, A. ve Sharma, P.,** 2023, Unfolding the potential of dragon fruit (*Hylocereus spp.*) for value addition: A review. *eFood*, 4(2), e76.

- Tekin, İ., Özcan, K. ve Ersus, S.,** 2023, Optimization of ionic gelling encapsulation of red beet (*Beta vulgaris L.*) juice concentrate and stability of betalains. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 51, 102774.
- Vaillant, F., Perez, A., Davila, I., Dornier, M. ve Reynes, M.,** 2005, Colorant and antioxidant properties of red-purple pitahaya (*Hylocereus sp.*). *Fruits*, 60(1), 3-12.
- Vandemoortele, Patel, J. J., Karve, M. ve Patel, N. K.,** 2014, Guar gum: a versatile material for pharmaceutical industries. *Int J Pharm Pharm Sci*, 6(8), 13-19.
- Vieira Teixeira da Silva, D., dos Santos Baião, D., de Oliveira Silva, F., Alves, G., Perrone, D., Mere Del Aguila, E. ve M. Flosi Paschoalin, V.,** 2019, Betanin, a natural food additive: Stability, bioavailability, antioxidant and preservative ability assessments. *Molecules*, 24(3), 458.
- Vieira, T. R. R., Lima, A. B., Ribeiro, C. M. C. M., de Medeiros, P. V. Q., Converti, A., dos Santos Lima, M. ve Maciel, M. I. S.,** 2024, Red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) as a source of betalains and phenolic compounds: Ultrasound extraction, microencapsulation, and evaluation of stability. *LWT*, 196, 115755.)
- Vulić J.J., Čebović T.N., Čanadanović V.M., Četković G.S., Djilas S.M., Čanadanović-Brunet J.M., Velićanski A.S., Cvetković D.D. ve Tumbas V.T.,** 2013, Antiradical, antimicrobial and cytotoxic activities of commercial beetroot pomace, *Food and Function*, 4(5), 713-721.
- Wang C.Q. ve Yang G.Q.,** 2010, Betacyanins from *Portulaca oleracea L.* ameliorate cognition deficits and attenuate oxidative damage induced by D-galactose in the brains of senescent mice. *Phytomedicine*, 17(7), 527-532, 2010
- Wu, L. C., Hsu, H. W., Chen, Y. C., Chiu, C. C., Lin, Y. I. ve Ho, J. A. A.,** 2006, Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food chemistry*, 95(2), 319-327.
- Wu, Q., Fu, X., Chen, Z., Wang, H., Wang, J., Zhu, Z. ve Zhu, G.,** 2022, Composition, color stability and antioxidant properties of betalain-based extracts from bracts of *Bougainvillea*. *Molecules*, 27(16), 5120.

- Wybraniec, S. ve Mizrahi, Y.**, 2002, Fruit flesh betacyanin pigments in *Hylocereus cacti*. *J. Agric. Food Chem.*, 50, 6086– 6089.
- Wybraniec, S., Platzner, I., Geresh, S., Gottlieb, H. E., Haimberg, M., Mogilnitzki, M. ve Mizrahi, Y.**, 2001, Betacyanins from vine cactus *Hylocereus polyrhizus*. *Phytochemistry*, 58(8), 1209-1212.
- Yamashita, C., Chung, M. M. S., dos Santos, C., Mayer, C. R. M., Moraes, I. C. F. ve Branco, I. G.**, 2017, Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus spp.*) by-product extract by freeze-drying. *Lwt*, 84, 256-262.
- Yılmaz, B. ve Ersus, S.**, 2023, Türkiye’de Yetişmekte Olan Kırmızı Ejder Meyvesi (*Hylocereus polyrhizus*)’nin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. *Meyve Bilimi*, 10(Özel Sayı), 41-47.
- Zaidel, D.N.A., Sahat N. S., Jusoh Y. M. M. ve Muhamad I. I.**, 2014, Encapsulation of Antocyanin From Roselle and Red Cabbage for Stabilization of Water-In-Oil Emulsion. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2014; 2: 82-89.
- Zhang, D., Lanier, S. M., Downing, J. A., Avent, J. L., Lum, J. ve McHale, J. L.**, 2008, Betalain pigments for dye-sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 195(1), 72-80.
- Zia, S., Khan, M. R., Shabbir, M. A., Aslam Maan, A., Khan, M. K. I., Nadeem, M., Khalil, A. A., Din, A. ve Aadil, R. M.**, 2020, An inclusive overview of advanced thermal and nonthermal extraction techniques for bioactive compounds in food and food-related matrices. *Food Reviews International*, 1–31.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince yanına her heyecanla gidişimde beni sabırla dinleyen aynı zamanda bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen değerli tez danışmanım sayın Doç.Dr. Seda ERSUS' a,

Laboratuvar çalışmalarım süresinde bilgi ve yardımlarını esirgemeyen İdil TEKİN, Ayça AKYÜZ, Öykü KILIÇ, Eylül Elif METİNER ve Berfu AZAK'a, tanışma fırsatım olmasa da tezinden büyük ölçüde yararlandığım Kardelen ÖZCAN'a, Eğitim hayatım boyunca bana destek olan değerli arkadaşlarım Rupel TURGA,

Hem iş yeri hem okul hayatımda her zaman bana yol gösteren, bütün pozitifliğiyle bana destek olan arkadaşım Zülal AKSOY'a geç tanışmış olsak da son zamanlarda desteklerini her zaman arkamda hissettiğim Hande ERDEM, Zahide SİGA, Rumeysa MİLLİ ve Kayhan AYDEMİR'e,

Hayatım boyunca verdiğim her kararda beni destekleyen bana inanan, motive eden sevgili aile bireylerim; babam Mehmet Mesut YILMAZ ve neşesiyle hayatımın rengi olan biricik annem Hatice YILMAZ'a çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası: 28458). Desteklerinden dolayı Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederim.

12 / 09 / 2024

İmza

Büşra YILMAZ

ÖZGEÇMİŞ

Büşra YILMAZ; ilkokul, orta ve lise eğitimini İzmir’de tamamladı. 2016 yılında Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2021 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra aynı yıl Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü, Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı.

Projeler

- BAP Projesi- Ege Üniversitesi (Aralık 2019-Haziran 2020)

Yumurta İkamesi Olarak Kullanılan Bitkisel Ürünlerin Teknolojik Özelliklerinin İncelenmesi

- TÜBİTAK-1002 Projesi (Haziran 2022-Şubat 2023)

Maş fasulyesinden bitkisel protein izolatu ve polisakkarit konjugatu ile vegan mayonez üretimi

- BAP Projesi- Ege Üniversitesi (Şubat 2023-Devam ediyor)

Ejder Meyvesi (*Hylocereus polyrhizus*)’nin Fermantasyonu ile Yüksek Betasiyanin İçerikli Toz Ürün Eldesi ve Fonksiyonel İçecek Geliştirilmesi

Son Üç Yıldaki Yayın, Poster

- Araştırma Makalesi

Ersus, S., Yılmaz, B., Akyüz, A., Visali, R., Allahverdiyeva, Z., Askerova, I., ... & Aliyeva, D. (2023). The effect of amaranth and fennel addition on the physical and chemical properties of breads. *Cereal Research Communications*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s42976-023-00431-0>

- Araştırma Makalesi

Metiner, E. E., Ersus, S., Yılmaz, B., Aksoy, Z., Akyüz, A., ve Tekin, İ. (2023). Pastörizasyon İşlemi Uygulanan Kuru Trabzon Hurmalarının Depolama Süresince Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. *Meyve Bilimi*, 10(1), 48-54.

<https://doi.org/10.51532/meyve.1182804>

- Tam metin

Sürdürülebilir Gıda Sistemleri Kongresi

“Nohut ve Soya Protein Konsantrelerinin Farklı Kurutma Teknikleriyle Kurutularak Kalite Özelliklerinin İncelenmesi”

- Poster Sunumu- Tam Metin

Yılmaz, B. ve Ersus, S. (2023). “Türkiye’de Yetişmekte Olan Kırmızı Ejder Meyvesi (*Hylocereus polyrhizus*)’nin Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi”. *Meyve Bilimi*, 10(1), 41-47.

<https://doi.org/10.51532/meyve.1182770>

EKLER

EK 1. Toplam fenolik madde miktarı (mg/100g KM) değişimi

	0.hafta	1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta
MD4(F)	2797,05±57,27 ^{ghA}	2358,98±51,10 ^{eb}	2293,89±194,96 ^{ib}	2309,84±53,51 ^{ib}	2752,52±78,30 ^{ea}
MD4(K)	1791,34±300,64 ^{ib}	1663,59±80,25 ^{eb}	2373,35±80,43 ^{ia}	2109,17±71,61 ^{ga}	2241,47±43,28 ^{ia}
GA4(F)	2846,01±29,81 ^{efgB}	2575,42±18,95 ^{dc}	2575,63±19,20 ^{ec}	2755,54±122,45 ^{eb}	3020,26±88,43 ^{da}
GA4(K)	2891,35±77,24 ^{efB}	2672,15±56,44 ^{dc}	2788,00±46,70 ^{dc}	2746,07±22,47 ^{ec}	3223,44±90,98 ^{ea}
GG4(F)	4220,12±87,17 ^{ad}	3634,21±53,05 ^{be}	4731,36±66,97 ^{ac}	5008,05±181,72 ^{ab}	7155,75±130,24 ^{aA}
GG4(K)	3710,17±54,78 ^{cd}	3461,30±54,90 ^{ce}	4395,20±61,31 ^{bb}	4061,21±54,42 ^{dc}	5906,26±130,93 ^{ba}
MD25(F)	2622,33±48,30 ^{hb}	2366,26±71,90 ^{ec}	2284,80±69,23 ^{ic}	2006,88±61,67 ^{gd}	2752,52±78,30 ^{ea}
MD25(K)	2029,44±33,89 ^{id}	1755,89±24,70 ^{ge}	2353,92±62,85 ^{ia}	2134,77±46,00 ^{gc}	2241,47±43,28 ^{ib}
GA25(F)	2677,07±46,28 ^{ghC}	2056,57±74,03 ^{ib}	2863,35±44,88 ^{db}	2871,12±42,39 ^{eb}	3020,26±88,43 ^{da}
GA25(K)	3016,04±22,86 ^{deB}	2347,99±87,10 ^{ec}	1994,98±14,05 ^{gd}	2071,00±61,72 ^{gd}	3223,44±90,98 ^{ea}
GG25(F)	3930,98±126,87 ^{bc}	3931,62±44,06 ^{ac}	4770,04±97,98 ^{ab}	4829,67±76,04 ^{bb}	7155,75±130,24 ^{aA}
GG25(K)	3168,71±107,55 ^{de}	3657,26±33,10 ^{bd}	4157,28±52,44 ^{ec}	4549,78±82,99 ^{cb}	5906,26±130,93 ^{ba}

* Aynı sütunda bulunan küçük harflerle gösterilen değerler P<0,05 güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

** Aynı satırda bulunan büyük harflerle gösterilen değerler P<0,05 güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

EK 2. Örneklerin betasiyanin içeriklerindeki değişim (mg/100g KM)

	0.hafta	1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta
MD4(F)	81,87±0,25 ^{dA}	81,59±0,35 ^{EA}	71,70±2,81 ^{efB}	70,07±0,59 ^{EB}	66,28±0,66 ^{EC}
MD4(K)	114,09±1,23 ^{cA}	110,77±0,18 ^{cA}	102,46±0,40 ^{dB}	85,88±0,61 ^{cC}	82,66±4,64 ^{dC}
GA4(F)	77,91±1,94 ^{deA}	70,67±2,35 ^{iB}	61,06±0,25 ^{gC}	53,47±0,14 ^{iD}	52,09±0,28 ^{iD}
GA4(K)	73,91±1,05 ^{cA}	76,76±2,06 ^{hA}	73,71±4,40 ^{eA}	65,54±1,68 ^{hB}	60,75±1,24 ^{ghC}
GG4(F)	136,97±4,12 ^{bA}	132,79±1,99 ^{cAB}	132,04±2,54 ^{bB}	133,90±1,50 ^{cAB}	127,05±0,66 ^{bC}
GG4(K)	163,64±2,42 ^{aA}	158,77±3,82 ^{aA}	153,35±2,03 ^{aB}	153,06±4,02 ^{aB}	151,75±1,72 ^{aB}
MD25(F)	81,87±0,25 ^{dA}	72,40±0,50 ^{iA}	70,96±3,15 ^{efA}	71,58±1,10 ^{EA}	61,74±0,77 ^{gC}
MD25(K)	114,09±1,23 ^{cA}	106,33±2,27 ^{iB}	105,04±2,68 ^{dB}	81,38±0,83 ^{EC}	77,00±2,04 ^{ED}
GA25(F)	77,91±1,94 ^{deA}	61,53±1,23 ^{iB}	60,73±1,14 ^{gB}	54,21±0,99 ^{EC}	51,77±1,04 ^{iD}
GA25(K)	73,91±1,05 ^{cA}	70,41±0,32 ^{iB}	68,23±0,75 ^{iB}	62,28±2,29 ^{hC}	57,40±2,36 ^{hD}
GG25(F)	136,97±4,12 ^{bA}	115,54±1,19 ^{dB}	115,91±2,50 ^{cB}	110,49±4,55 ^{dB}	110,98±2,70 ^{EB}
GG25(K)	163,64±2,42 ^{aA}	152,20±1,83 ^{bB}	150,48±0,69 ^{aB}	148,29±3,91 ^{bB}	148,24±2,58 ^{aB}

* Aynı sütunda bulunan küçük harflerle gösterilen değerler P<0,05 güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

** Aynı satırda bulunan büyük harflerle gösterilen değerler P<0,05 güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

EK 3. Betaksantin değerleri (mg/100g KM)

	0.hafta	1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta
MD4(F)	51,68±0,13 ^{dA}	47,89±0,70 ^{IB}	48,43±2,97 ^{eB}	46,28±0,87 ^{IB}	52,16±0,71 ^{eA}
MD4(K)	68,62±1,39 ^{hA}	65,54±0,17 ^{eA}	61,68±2,09 ^{eB}	52,73±0,09 ^{eC}	52,11±2,92 ^{eC}
GA4(F)	55,52±1,31 ^{dA}	49,68±2,78 ^{IB}	47,95±0,52 ^{eB}	36,96±0,96 ^{gC}	36,70±0,71 ^{iC}
GA4(K)	40,86±0,91 ^{eA}	35,59±1,41 ^{gC}	35,81±0,18 ^{gC}	37,73±1,22 ^{gB}	40,53±1,02 ^{hA}
GG4(F)	79,04±4,51 ^{aA}	69,94±0,98 ^{bB}	58,10±1,77 ^{dC}	73,63±1,49 ^{aB}	70,79±2,70 ^{bB}
GG4(K)	63,70±1,61 ^{eB}	73,37±2,62 ^{aA}	65,90±0,35 ^{bB}	67,46±3,06 ^{bB}	73,48±1,92 ^{aA}
MD25(F)	51,68±0,13 ^{dA}	48,65±0,17 ^{IB}	47,23±2,32 ^{eB}	49,00±0,80 ^{IB}	48,59±0,60 ^{IB}
MD25(K)	68,62±1,39 ^{hA}	61,88±1,48 ^{dB}	59,18±1,51 ^{cdC}	56,17±0,68 ^{dC}	57,64±1,47 ^{dD}
GA25(F)	55,52±1,31 ^{dA}	55,18±1,18 ^{eA}	44,03±0,23 ^{IB}	38,70±1,41 ^{gC}	43,39±0,71 ^{gB}
GA25(K)	40,86±0,91 ^{eA}	36,23±0,35 ^{gB}	33,02±0,56 ^{hC}	39,79±1,65 ^{gA}	41,52±1,18 ^{ghA}
GG25(F)	79,04±4,51 ^{aA}	60,17±0,42 ^{dCD}	66,37±2,04 ^{bB}	60,39±2,28 ^{eC}	55,70±0,60 ^{dD}
GG25(K)	63,70±1,61 ^{eB}	65,96±1,12 ^{eB}	75,92±0,39 ^{aA}	59,88±2,84 ^{eC}	65,65±1,62 ^{eB}

* Aynı sütunda bulunan küçük harflerle gösterilen değerler P<0,05 güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

** Aynı satırda bulunan büyük harflerle gösterilen değerler P<0,05 güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

EK 4. Toplam betalain içerik (mg/100g KM)

	0.hafta	1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta
MD4(F)	133,56±0,37 ^{dA}	129,49±0,35 ^{IB}	120,12±4,70 ^{IC}	116,35±0,60 ^{EC}	118,43±1,37 ^{IC}
MD4(K)	182,71±1,41 ^{CA}	176,32±0,16 ^{DB}	164,14±2,27 ^{EC}	138,61±0,58 ^{ED}	134,77±4,15 ^{ED}
GA4(F)	133,44±3,21 ^{dA}	120,35±5,04 ^{EB}	109,01±0,68 ^{EC}	90,43±0,94 ^{ED}	88,78±0,67 ^{ED}
GA4(K)	114,76±1,16 ^{EA}	112,35±3,47 ^{HA}	109,52±4,36 ^{EA}	103,27±2,01 ^{IB}	101,27±2,25 ^{HB}
GG4(F)	216,01±6,32 ^{BA}	202,73±1,78 ^{CC}	190,13±3,47 ^{CD}	207,53±1,59 ^{BB}	197,84±2,39 ^{CC}
GG4(K)	227,34±4,01 ^{aAB}	232,13±6,44 ^{aA}	219,25±2,38 ^{BB}	220,52±7,08 ^{aB}	225,23±3,60 ^{aAB}
MD25(F)	133,56±0,37 ^{dA}	121,05±0,66 ^{BB}	118,19±5,46 ^{IB}	120,58±1,89 ^{EB}	110,33±1,37 ^{EC}
MD25(K)	182,71±1,41 ^{CA}	168,21±3,74 ^{EB}	164,22±3,01 ^{EB}	137,55±1,01 ^{DC}	134,63±3,49 ^{EC}
GA25(F)	133,44±3,21 ^{dA}	116,71±2,40 ^{EB}	104,76±1,06 ^{EC}	92,91±1,66 ^{ED}	95,16±1,66 ^{ED}
GA25(K)	114,76±1,16 ^{EA}	106,64±0,63 ^{IB}	101,26±0,61 ^{IC}	102,07±3,94 ^{IC}	98,92±3,49 ^{IC}
GG25(F)	216,01±6,32 ^{BA}	175,71±1,61 ^{DC}	182,28±4,53 ^{DB}	170,87±4,43 ^{CD}	166,69±3,29 ^{DD}
GG25(K)	227,34±4,01 ^{aA}	218,17±2,11 ^{BB}	226,40±0,92 ^{aA}	208,17±6,47 ^{BC}	213,90±4,20 ^{BC}

* Aynı sütunda bulunan küçük harflerle gösterilen değerler P<0,05 güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

** Aynı satırda bulunan büyük harflerle gösterilen değerler P<0,05 güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

EK 5. Renk L* değerleri

	0.hafta	1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta
MD4(F)	49,79±0,05 ^{bd}	49,35±0,09 ^{ce}	56,44±0,04 ^{ab}	56,26±0,12 ^{ac}	61,77±0,08 ^{ba}
MD4(K)	52,65±0,03 ^{ab}	52,74±0,13 ^{ab}	50,23±0,15 ^{dc}	50,03±0,02 ^{dc}	61,73±0,13 ^{ba}
GA4(F)	44,86±0,09 ^{cc}	39,06±0,09 ^{id}	44,78±0,04 ^{tc}	46,88±0,14 ^{tb}	55,35±0,91 ^{deA}
GA4(K)	38,27±6,16 ^{dd}	38,08±0,08 ^{gd}	43,90±0,11 ^{hc}	46,12±0,24 ^{gb}	56,62±0,01 ^{ca}
GG4(F)	27,04±0,02 ^{ed}	32,27±0,09 ^{ic}	33,20±0,20 ^{ib}	35,48±0,10 ^{ia}	35,55±0,06 ^{ia}
GG4(K)	27,03±0,06 ^{ee}	28,91±0,08 ^{kd}	29,24±0,08 ^{ic}	31,43±0,10 ^{mb}	32,22±0,08 ^{ga}
MD25(F)	49,79±0,05 ^{be}	51,47±0,12 ^{bd}	55,08±0,03 ^{bb}	54,74±0,06 ^{bc}	63,01±0,04 ^{aa}
MD25(K)	52,65±0,03 ^{ac}	52,91±0,04 ^{ab}	50,51±0,09 ^{ce}	51,31±0,18 ^{cd}	62,75±0,07 ^{aa}
GA25(F)	44,86±0,09 ^{cd}	41,07±0,06 ^{de}	46,17±0,02 ^{cc}	47,55±0,21 ^{eb}	55,10±0,24 ^{ea}
GA25(K)	38,27±0,16 ^{de}	39,65±0,19 ^{cd}	44,16±0,09 ^{gb}	44,63±0,09 ^{hc}	55,63±0,11 ^{da}
GG25(F)	27,04±0,02 ^{ee}	32,54±0,21 ^{id}	35,32±0,03 ^{ib}	33,81±0,15 ^{kc}	35,55±0,06 ^{ia}
GG25(K)	27,03±0,06 ^{ed}	32,90±0,25 ^{ha}	32,08±0,13 ^{kc}	32,53±0,23 ^{lb}	32,22±0,08 ^{gc}

* Aynı sütunda bulunan küçük harflerle gösterilen değerler P<0,05 güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

** Aynı satırda bulunan büyük harflerle gösterilen değerler P<0,05 güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

EK 6. Renk a* değerleri

	0.hafta	1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta
MD4(F)	36,58±0,06 ^{cC}	35,28±0,03 ^{dD}	38,80±0,04 ^{eA}	38,59±0,11 ^{fB}	32,97±0,07 ^{cE}
MD4(K)	40,09±0,03 ^{bC}	39,63±0,18 ^{aD}	48,01±0,04 ^{bA}	46,90±0,11 ^{aB}	34,14±0,14 ^{bE}
GA4(F)	41,32±0,08 ^{aA}	33,95±0,09 ^{fD}	40,57±0,06 ^{cB}	38,55±0,09 ^{fC}	29,63±0,61 ^{fE}
GA4(K)	36,95±0,01 ^{dC}	36,94±0,09 ^{cC}	43,27±0,07 ^{cA}	39,68±0,10 ^{eB}	32,72±0,01 ^{dD}
GG4(F)	37,53±0,03 ^{cA}	34,09±0,09 ^{fC}	34,10±0,13 ^{iC}	34,01±0,06 ^{fC}	34,30±0,09 ^{bB}
GG4(K)	41,31±0,06 ^{aA}	33,54±0,17 ^{gC}	33,07±0,09 ^{iD}	32,92±0,04 ^{kD}	35,30±0,04 ^{aB}
MD25(F)	36,58±0,06 ^{cC}	34,62±0,20 ^{dD}	39,53±0,02 ^{fB}	40,11±0,11 ^{dA}	30,61±0,59 ^{eE}
MD25(K)	40,09±0,03 ^{bC}	38,17±0,13 ^{bD}	48,52±0,13 ^{aA}	46,46±0,21 ^{bB}	31,13±0,09 ^{dE}
GA25(F)	41,32±0,08 ^{aA}	31,93±0,09 ^{fD}	38,76±0,04 ^{gB}	38,16±0,13 ^{gC}	30,96±0,07 ^{deE}
GA25(K)	36,95±0,01 ^{dB}	34,80±0,18 ^{cC}	42,39±0,32 ^{dA}	42,35±0,04 ^{cA}	33,16±0,15 ^{cD}
GG25(F)	37,53±0,03 ^{cA}	33,62±0,09 ^{gC}	34,37±0,10 ^{hB}	34,40±0,11 ^{iB}	34,30±0,09 ^{bB}
GG25(K)	41,31±0,06 ^{aA}	32,36±0,46 ^{hE}	33,25±0,16 ^{iD}	34,70±0,04 ^{hC}	35,30±0,04 ^{aB}

* Aynı sütunda bulunan küçük harflerle gösterilen değerler P<0,05 güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

** Aynı satırda bulunan büyük harflerle gösterilen değerler P<0,05 güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

EK 7. Renk b* değerleri

	0.hafta	1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta
MD4(F)	4,54±0,01 ^{aA}	3,93±0,03 ^{bB}	-7,12±0,03 ^{eD}	-7,16±0,02 ^{dD}	-0,12±0,02 ^{eC}
MD4(K)	-6,41±0,03 ^{IB}	-6,36±0,01 ^{gB}	-13,22±0,04 ^{iD}	-12,68±0,01 ^{jC}	-5,26±0,01 ^{iA}
GA4(F)	-4,73±0,01 ^{cC}	0,78±0,01 ^{dA}	-4,58±0,01 ^{dC}	-5,01±0,02 ^{eD}	0,57±0,02 ^{dB}
GA4(K)	-3,05±0,01 ^{dC}	-2,82±0,01 ^{IB}	-9,47±0,01 ^{hD}	-9,50±0,01 ^{hD}	-1,87±0,01 ^{gA}
GG4(F)	2,53±0,01 ^{bD}	8,98±0,01 ^{aA}	7,93±0,01 ^{bB}	7,14±0,01 ^{aC}	7,30±0,01 ^{aC}
GG4(K)	-0,29±0,01 ^{cD}	1,92±0,01 ^{cA}	1,59±0,01 ^{cB}	0,03±0,02 ^{dC}	1,56±0,01 ^{bB}
MD25(F)	4,54±0,01 ^{aA}	3,95±0,01 ^{bB}	-6,83±0,02 ^{hD}	-7,15±0,01 ^{IE}	-0,36±0,01 ^{IC}
MD25(K)	-6,41±0,03 ^{IC}	-6,24±0,03 ^{gB}	-13,46±0,01 ^{IE}	-12,91±0,01 ^{kD}	-4,62±0,01 ^{hA}
GA25(F)	-4,73±0,01 ^{cC}	0,98±0,01 ^{dA}	-4,93±0,01 ^{eD}	-5,13±0,01 ^{eE}	0,83±0,01 ^{cB}
GA25(K)	-3,05±0,01 ^{dB}	-2,90±0,01 ^{IB}	-9,52±0,02 ^{hC}	-9,29±0,03 ^{gC}	-1,99±0,01 ^{gA}
GG25(F)	2,53±0,01 ^{bE}	9,02±0,01 ^{aA}	8,32±0,03 ^{aB}	6,46±0,01 ^{bD}	7,30±0,01 ^{bC}
GG25(K)	-0,29±0,01 ^{cE}	0,46±0,01 ^{cC}	0,10±0,01 ^{dD}	1,13±0,02 ^{cB}	1,48±0,01 ^{bA}

*Aynı sütunda bulunan küçük harflerle gösterilen değerler P<0,05 güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

** Aynı satırda bulunan büyük harflerle gösterilen değerler P<0,05 güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

EK 8. Renk kroma değerleri

	0.hafta	1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta
MD4(F)	36,87±0,06 ^{IC}	35,50±0,03 ^{ID}	39,45±0,03 ^{EA}	39,25±0,10 ^{EB}	32,97±0,07 ^{CE}
MD4(K)	40,60±0,03 ^{CC}	40,14±0,17 ^{AD}	49,80±0,05 ^{BA}	48,59±0,13 ^{AB}	34,55±0,13 ^{BE}
GA4(F)	41,59±0,08 ^{AA}	33,96±0,09 ^{DB}	40,83±0,07 ^{CB}	38,87±0,09 ^{IC}	29,64±0,61 ^{IE}
GA4(K)	37,07±0,01 ^{EC}	37,04±0,09 ^{CC}	44,29±0,08 ^{CA}	40,80±0,08 ^{DB}	32,77±0,02 ^{CD}
GG4(F)	37,61±0,03 ^{DA}	35,25±0,09 ^{DB}	35,01±0,14 ^{IC}	34,75±0,09 ^{BD}	35,07±0,08 ^{AC}
GG4(K)	41,31±0,06 ^{BA}	33,59±0,17 ^{EC}	33,11±0,09 ^{CD}	32,92±0,04 ^{EE}	35,34±0,03 ^{AB}
MD25(F)	36,86±0,05 ^{IC}	34,84±0,20 ^{ED}	40,12±0,02 ^{IB}	40,74±0,11 ^{DA}	30,61±0,59 ^{EE}
MD25(K)	40,60±0,03 ^{CC}	38,68±0,13 ^{BD}	50,35±0,12 ^{AA}	48,22±0,21 ^{BB}	31,47±0,10 ^{DE}
GA25(F)	41,59±0,07 ^{AA}	31,94±0,08 ^{ED}	39,07±0,04 ^{HB}	38,50±0,12 ^{IC}	30,97±0,07 ^{EE}
GA25(K)	37,07±0,01 ^{EB}	34,93±0,19 ^{CC}	43,45±0,33 ^{DA}	43,36±0,04 ^{CA}	33,22±0,15 ^{CD}
GG25(F)	37,61±0,03 ^{DB}	34,81±0,10 ^{ED}	49,29±0,08 ^{BA}	35,00±0,10 ^{EC}	35,07±0,08 ^{AC}
GG25(K)	41,31±0,06 ^{BA}	32,37±0,46 ^{HE}	33,25±0,16 ^{CD}	34,72±0,03 ^{BC}	35,33±0,03 ^{AB}

* Aynı sütunda bulunan küçük harflerle gösterilen değerler $P<0,05$ güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

** Aynı satırda bulunan büyük harflerle gösterilen değerler $P<0,05$ güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

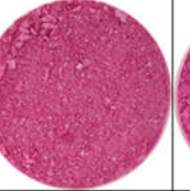
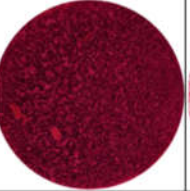
EK 9. Renk hue açısı değerleri

	0.hafta	1.hafta	2.hafta	3.hafta	4.hafta
MD4(F)	0,12±0,01 ^{bB}	0,11±0,01 ^{cC}	0,18±0,01 ^{eA}	0,18±0,01 ^{gA}	0 ± 0,01 ^{gD}
MD4(K)	0,16±0,01 ^{aC}	0,16±0,01 ^{bC}	0,27±0,01 ^{bA}	0,26±0,01 ^{bB}	0,15 ± 0,01 ^{bD}
GA4(F)	0,11±0,01 ^{cB}	0,02±0,01 ^{gC}	0,11±0,01 ^{hB}	0,13±0,01 ^{hA}	0,02 ± 0,01 ^{eD}
GA4(K)	0,08±0,01 ^{dC}	0,08±0,01 ^{dD}	0,22±0,01 ^{dB}	0,23±0,01 ^{cA}	0,06 ± 0,01 ^{cE}
GG4(F)	0,07±0,01 ^{eD}	0,26±0,01 ^{aA}	0,23±0,01 ^{cB}	0,21±0,01 ^{eC}	0,21 ± 0,01 ^{aC}
GG4(K)	0,01±0,01 ^{ic}	0,06±0,01 ^{eA}	0,05±0,01 ^{iB}	0±0,01 ^{jD}	0,05 ± 0,01 ^{dB}
MD25(F)	0,12±0,01 ^{bC}	0,11±0,01 ^{eD}	0,17±0,01 ^{hB}	0,18±0,01 ^{gA}	0,01 ± 0,01 ^{hE}
MD25(K)	0,16±0,01 ^{aC}	0,16±0,01 ^{bB}	0,27±0,01 ^{bA}	0,27±0,01 ^{aA}	0,15 ± 0,01 ^{bD}
GA25(F)	0,11±0,01 ^{cC}	0,03±0,01 ^{dD}	0,13±0,01 ^{gB}	0,13±0,01 ^{hA}	0,03 ± 0,01 ^{eE}
GA25(K)	0,08±0,01 ^{dB}	0,08±0,01 ^{dB}	0,22±0,01 ^{dA}	0,22±0,01 ^{dA}	0,06 ± 0,01 ^{cC}
GG25(F)	0,07±0,01 ^{eE}	0,26±0,01 ^{aB}	0,80±0,01 ^{aA}	0,19±0,01 ^{hD}	0,21±0,01 ^{aC}
GG25(K)	0,01±0,01 ^{icD}	0,01±0,01 ^{gC}	0±0,01 ^{jD}	0,03±0,01 ^{iB}	0,04±0,01 ^{dA}

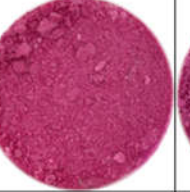
* Aynı sütunda bulunan küçük harflerle gösterilen değerler P<0,05 güven aralığında örnekler arası farkı ifade etmektedir.

** Aynı satırda bulunan büyük harflerle gösterilen değerler P<0,05 güven aralığında haftalar arası farkı ifade etmektedir.

EK 10. Farklı mikrokapsüllerin kullanıldığı 4 °C de depolanan toz örneklerin görüntüleri

4±1 °C	0.HAFTA		1.HAFTA		2.HAFTA		3.HAFTA		4.HAFTA	
	FERMENTE	KONTROL	FERMENTE	KONTROL	FERMENTE	KONTROL	FERMENTE	KONTROL	FERMENTE	KONTROL
MALTODEKSTRİN										
AKASYA ZAMKI										
GUAR ZAMKI										

EK 11. Farklı mikrokapsüllerin kullanıldığı 25 °C de depolanan toz örneklerin görüntüleri

25±1 °C	0.HAFTA		1.HAFTA		2.HAFTA		3.HAFTA		4.HAFTA	
	FERMENTE	KONTROL	FERMENTE	KONTROL	FERMENTE	KONTROL	FERMENTE	KONTROL	FERMENTE	KONTROL
MALTODEKSTRİN										
AKASYA ZAMKI										
GUAR ZAMKI										