



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



Spirulina (Spirulina platensis) İLE
ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ VEGAN KEK
FORMÜLASYONLARININ YANIT YÜZEY
YÖNTEMİ KULLANILARAK OPTİMİZASYONU VE
BAZI BESİNSEL VE KALİTE ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Eda NURKO

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir

2024

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Spirulina (Spirulina platensis) İLE
ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ VEGAN KEK
FORMÜLASYONLARININ YANIT YÜZEY
YÖNTEMİ KULLANILARAK OPTİMİZASYONU VE
BAZI BESİNSEL VE KALİTE ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ

Eda NURKO

Danışman: Doç. Dr. Emine NAKİLCİOĞLU

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Gıda Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

İzmir
2024

Eda NURKO tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “*Spirulina platensis*) İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ VEGAN KEK FORMÜLASYONLARININ YANIT YÜZEY YÖNTEMİ KULLANILARAK OPTİMİZASYONU VE BAZI BESİNSEL VE KALİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ” 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 22/08/2024 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı

: Doç. Dr. Emine NAKİLCİOĞLU

Raportör Üye

: Doç. Dr. Ceyda DADALI

Üye

: Doç. Dr. Gülşah ÇALIŞKAN KOÇ

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “*Spirulina (Spirulina platensis)* İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ VEGAN KEK FORMÜLASYONLARININ YANIT YÜZEY YÖNTEMİ KULLANILARAK OPTİMİZASYONU VE BAZI BESİNSEL VE KALİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ” 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.

22 / 08 / 2024

Eda NURKO



ÖZET

***Spirulina* (*Spirulina platensis*) İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ VEGAN
KEK FORMÜLASYONLARININ YANIT YÜZEY YÖNTEMİ
KULLANILARAK OPTİMİZASYONU VE BAZI BESİNSEL VE
KALİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

NURKO, Eda

Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Emine NAKİLCİOĞLU

Ağustos 2024, 139 sayfa

Yapılan bu tez çalışmasında, *Spirulina platensis*'in vegan kek formülasyonuna dahil edilmesi, optimum formülasyonun yanıt yüzey yöntemi kullanılarak belirlenmesi ve besinsel ve kalite özellikleri bakımından incelenmesi amaçlanmıştır. Yanıt yüzey yöntemi (RSM) ile optimum vegan kek formülasyonu için *Spirulina* miktarının (g), şeker miktarının (g), un miktarının (g) ve yağ miktarının (g) belirlenmesi için optimizasyon yapılmıştır. Deneme deseninde *Spirulina* miktarı 5-15 g, şeker miktarı 90-110 g, un miktarı 90-110 g ve yağ miktarı 25-40 g aralığında olacak şekilde belirlenmiştir. Yöntem ile elde edilen 30 farklı vegan kek formülasyonu pişirme kaybı, sertlik, $L^*_{iç}$, $L^*_{dış}$, protein, toplam fenolik madde miktarı, antioksidan aktivite (ABTS) ve genel beğeni olmak üzere 8 farklı yanıt kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda optimum vegan kek formülasyonu 11.965 g *Spirulina*, 106.206 g şeker, 110 g un ve 25 g yağ içerecek şekilde belirlenmiştir. Belirlenen optimum formülasyon ile üretilen vegan keklere ait pişirme kaybı % 11.22, sertlik 43.96 N, $L^*_{iç}$ değeri 37.54, $L^*_{dış}$ değeri 41.94, protein içeriği %4.2, toplam fenolik madde miktarı 186.475 mg GAE/100 g KM, ABTS antioksidan aktivite değeri 15.5679 μ mol TE/100 g KM ve genel beğeni değeri 8.2 olarak bulunmuştur. Örneklerin besinsel özellikleri ve kalite özellikleri incelendiğinde, *Spirulina* ile zenginleştirilmiş optimum formülasyondaki vegan keklerin kontrole kıyasla daha yüksek kül (%), protein (%), karbonhidrat (%), toplam

fenolik madde içeriğine, ABTS ve DPPH antioksidan aktivite içeriğine, mineral madde içeriğine, ham fikosiyanin ve klorofil içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Kontrol vegan kekine kıyasla, optimum formülasyondaki vegan keklerin nem (%) ve yağ (%) içeriğinde, enerji değerinde azalma meydana gelmiştir ($p<0.05$). Kontrole kıyasla optimum formülasyondaki vegan keklerin pişirme kaybında azalma meydana gelirken, sertlik değerinde artış meydana geldiği görülmüştür ($p<0.05$).

Anahtar sözcükler: Alternatif gıda, *Spirulina*, vegan kek, yanıt yüzey yöntemi (RSM), zenginleştirme.



ABSTRACT

**OPTIMIZATION OF *Spirulina* (*Spirulina platensis*)
ENRICHED VEGAN CAKE FORMULATIONS USING RESPONSE
SURFACE METHODOLOGY AND DETERMINATION OF SOME
NUTRITIONAL AND QUALITY CHARACTERISTICS**

NURKO, Eda

MSc in Food Eng.

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Emine NAKİLCİOĞLU

August 2024, 139 pages

In this thesis study, it was aimed to include *Spirulina platensis* in vegan cake formulation, to determine the optimum formulation using response surface methodology (RSM) and to investigate its nutritional and quality properties. Optimization was performed with RSM to determine the amount of *Spirulina* (g), sugar (g), flour (g) and fat (g) for optimum vegan cake formulation. In the experimental design, the amount of *Spirulina* was determined to be in the range of 5-15 g, sugar amount 90-110 g, flour amount 90-110 g and fat amount 25-40 g. The 30 different vegan cake formulations obtained by the method were evaluated using 8 different responses including baking loss, firmness, L^*_{crumb} , L^*_{crust} , protein, total phenolic content, antioxidant activity (ABTS) and general acceptability. In the results obtained, the optimum vegan cake formulation was determined to contain 11.965 g *Spirulina*, 110 g flour, 106,206 g sugar and 25 g fat. The baking loss of vegan cakes produced with the optimum formulation was found to be 11.22%, hardness 43.96 N, L^*_{crumb} value 37.54, L^*_{crust} value 41.94, protein content 4.2%, total phenolic content 186.475 mg GAE/100 g KM, ABTS antioxidant activity value 15.5679 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g KM}$ and general acceptability value 8.2. Nutritional properties and quality characteristics of the samples showed that vegan cakes in the optimum formulation enriched with *Spirulina* showed higher ash (%), protein (%), carbohydrate (%), total phenolic content, ABTS and DPPH antioxidant activity content, mineral matter content, crude phycocyanin and chlorophyll content

compared to the control ($p < 0.05$). There was a decrease in the moisture (%) and fat (%) content and energy value of vegan cakes in the optimum formulation compared to the control vegan cake ($p < 0.05$). In comparison to the control, vegan cakes in the optimum formulation showed a decrease in baking loss and an increase in hardness value ($p < 0.05$).

Keywords: Alternative food, *Spirulina*, enrichment, response surface method (RSM), vegan cake.



ÖNSÖZ

“*Spirulina* (*Spirulina platensis*) ile Zenginleştirilmiş Vegan Kek Formülasyonlarının Yanıt Yüzey Yöntemi Kullanılarak Optimizasyonu ve Bazı Besinsel ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi” konulu tez çalışması, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasında *Spirulina* ile zenginleştirilmiş vegan kek formülasyonunun yapılabirliği değerlendirilmiş ve formülasyondaki *Spirulina*, şeker, un ve yağ miktarının optimizasyonu ile 30 farklı denemeyi içeren deneme deseni oluşturulmuştur. Yanıt yüzey yöntemi (RSM) kullanılarak yapılan formülasyon optimizasyonu ile vegan keklerin bazı kimyasal, fiziksel ve kalite özellikleri araştırılmıştır. Optimum *Spirulina* miktarı (g), şeker miktarı (g), un miktarı (g) ve yağ miktarı (g) belirlenen vegan kek formülasyonunun, kontrol vegan kekine kıyasla kimyasal, fiziksel ve kalite özelliklerindeki farklılık istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

İZMİR

22 / 08 / 2024

Eda NURKO



İÇİNDEKİLERSayfa

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	ix
ÖNSÖZ.....	xi
İÇİNDEKİLER.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xvii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Fonksiyonel Gıdalar.....	4
2.1.1. Alglar	4
2.2. Kek.....	14
2.2.1. Vegan Beslenme ve Vegan Kek	16
2.2.2. Kek Yapımında Kullanılan Hammaddeler	17
2.3. Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM).....	20

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER	23
3.1. Materyal	23
3.1.1. Hammadde	23
3.1.2. Kimyasallar	23
3.1.3. Alet ve Ekipmanlar.....	23
3.2. Yöntemler.....	24
3.2.1. Araştırma Planı.....	24
3.2.2. Yanıt Yüzey Yöntemi.....	25
3.2.3. Keklerin Hazırlanışı	27
3.2.4. Analiz Yöntemleri.....	29
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	40
4.1. Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM) ile Oluşturulan Formülasyonların Analiz Sonuçları.....	40
4.1.1. Protein Analizi.....	40
4.1.2. Sertlik Analizi	44
4.1.3. Pişirme Kaybı.....	48

İÇİNDEKİLER (devam)Sayfa

4.1.4.	Renk Analizi ($L^*_{iç}$)	52
4.1.5.	Renk Analizi ($L^*_{dış}$)	57
4.1.6.	Fenolik Madde Analizi	61
4.1.7.	Genel Beğeni.....	66
4.1.8.	Antioksidan Aktivite Analizi (ABTS)	70
4.2.	Optimizasyon ve Validasyon.....	74
4.3.	Yapılan Analizler.....	82
4.3.1.	Nem Analizi	82
4.3.2.	Kül Analizi.....	83
4.3.3.	Yağ Analizi	85
4.3.4.	Protein Analizi	86
4.3.5.	Karbonhidrat İçeriği.....	88
4.3.6.	Enerji Değeri.....	89
4.3.7.	Fenolik Madde Analizi	90
4.3.8.	Antioksidan Aktivite Analizleri.....	92
4.3.9.	Mineral Madde Analizi	94

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.3.10. Fikosiyanin Analizi ve Klorofil Analizi Sonuçları	99
4.3.11. Amino Asit Analizi Sonuçları.....	102
4.3.12. Renk Analizi Sonuçları	105
4.3.13. Fiziksel Analiz Sonuçları	108
4.3.14. Doku Analizi Sonuçları	110
4.3.15. Duyusal Analiz Sonuçları.....	113
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	115

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. <i>Spirulina</i> 'nın mikroskopik görüntüsü	7
Şekil 3.1. Kontrol grubu ve <i>Spirulina</i> içeren kek hamurları.....	28
Şekil 3.2. Kontrol grubu ve <i>Spirulina</i> içeren pişirilmiş kekler	28
Şekil 4.1. Protein içeriği için 3 boyutlu (3D) grafikler	43
Şekil 4.2. Sertlik için 3 boyutlu (3D) grafikler	47
Şekil 4.3. Pişirme kaybı için 3 boyutlu (3D) grafikler.....	51
Şekil 4.4. L*iç için 3 boyutlu (3D) grafikler	56
Şekil 4.5. L*dış için 3 boyutlu (3D) grafikler.....	60
Şekil 4.6. Fenolik madde içeriği için 3 boyutlu (3D) grafikler.....	65
Şekil 4.7. Genel beğeni için 3 boyutlu (3D) grafikler.....	69
Şekil 4.8. ABTS antioksidan aktivite içeriği için 3 boyutlu (3D) grafikler	73
Şekil 4.9. En yüksek istenebilirlik değerinde bağımlı ve bağımsız değişkenler	76
Şekil 4.10. Optimum koşullarda üretilen <i>Spirulina</i> ile zenginleştirilmiş vegan kek	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. <i>Spirulina platensis</i> 'in taksonomik sınıflandırılması.....	6
Çizelge 2.2. <i>Spirulina</i> ve diğer gıda kaynaklarının protein içerikleri	10
Çizelge 3.1. <i>Spirulina</i> ile zenginleştirilmiş vegan kek formülasyonu optimizasyonu için bağımsız değişkenler ve seviyeleri	25
Çizelge 3.2. Yüzey Merkezli Kompozit Dizayn ile oluşturulan deneme deseni.....	26
Çizelge 3.3. Ürün grupları ve yapılan analizler	29
Çizelge 3.4. Kek örneklerinin duyu analizi formu.....	38
Çizelge 4.1. Yanıt Yüzey Yöntemiyle elde edilen vegan keklerin % protein içerikleri	41
Çizelge 4.2. Protein içeriğine ait varyans analiz sonuçları	42
Çizelge 4.3. Protein içeriğine ait modeldeki kodlanmış değişkenlerin katsayısı.....	42
Çizelge 4.4. Protein içeriği için model uygunluğu ile ilgili değerler	44
Çizelge 4.5. Yanıt Yüzey Yöntemiyle elde edilen vegan keklerin sertlik değerleri.....	45
Çizelge 4.6. Sertlik değerine ait varyans analiz sonuçları.....	46
Çizelge 4.7. Sertlik değerine ait modeldeki kodlanmış değişkenlerin katsayısı.....	46

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.8. Sertlik değeri için model uygunluğu ile ilgili değerler	48
Çizelge 4.9. Yanıt Yüzey Yöntemiyle elde edilen vegan keklerin % pişirme kaybı.....	49
Çizelge 4.10. Pişirme kaybına ait varyans analiz sonuçları.....	50
Çizelge 4.11. Pişirme kaybına ait modeldeki kodlanmış değişkenlerin katsayısı	50
Çizelge 4.12. Pişirme kaybı için model uygunluğu ile ilgili değerler	52
Çizelge 4.13. Yanıt Yüzey Yöntemiyle elde edilen vegan keklerin $L^*_{iç}$ rengi	53
Çizelge 4.14. $L^*_{iç}$ ait varyans analiz sonuçları	54
Çizelge 4.15. $L^*_{iç}$ rengine ait modeldeki kodlanmış değişkenlerin katsayısı	55
Çizelge 4.16. $L^*_{iç}$ için model uygunluğu ile ilgili değerler	57
Çizelge 4.17. Yanıt Yüzey Yöntemiyle elde edilen vegan keklerin $L^*_{dış}$ rengi	58
Çizelge 4.18. $L^*_{dış}$ ait varyans analiz sonuçları	59
Çizelge 4.19. $L^*_{dış}$ rengine ait modeldeki kodlanmış değişkenlerin katsayısı	59
Çizelge 4.20. $L^*_{dış}$ için model uygunluğu ile ilgili değerler	61

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.21. Yanıt Yüzey Yöntemiyle elde edilen vegan keklerin fenolik madde içeriği	62
Çizelge 4.22. Fenolik madde içeriğine ait varyans analiz sonuçları	63
Çizelge 4.23. Fenolik madde içeriğine ait modeldeki kodlanmış değişkenlerin katsayısı	63
Çizelge 4.24. Fenolik madde içeriği için model uygunluğu ile ilgili değerler	66
Çizelge 4.25. Yanıt Yüzey Yöntemiyle elde edilen vegan keklerin genel beğeni değeri	67
Çizelge 4.26. Genel beğeniye ait varyans analiz sonuçları	68
Çizelge 4.27. Genel beğeniye ait modeldeki kodlanmış değişkenlerin katsayısı	68
Çizelge 4.28. Genel beğeni için model uygunluğu ile ilgili değerler	70
Çizelge 4.29. Yanıt Yüzey Yöntemiyle elde edilen vegan keklerin antioksidan aktivite içeriği	71
Çizelge 4.30. ABTS antioksidan aktivite içeriğine ait varyans analiz sonuçları	72
Çizelge 4.31. ABTS antioksidan aktivite içeriğine ait modeldeki kodlanmış değişkenlerin katsayısı	72

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.32. ABTS antioksidan aktivite içeriği için model uygunluğu ile ilgili değerler.....	74
Çizelge 4.33. Modelin uygunluğu ile ilgili öngörülen değerler ve deneysel değerler.....	75
Çizelge 4.34. Nem analizi sonuçları	82
Çizelge 4.35. Kül analizi sonuçları	84
Çizelge 4.36. Yağ analizi sonuçları.....	84
Çizelge 4.37. Protein analizi sonuçları	86
Çizelge 4.38. Örneklerin karbonhidrat içeriği	88
Çizelge 4.39. Örneklerin enerji değeri.....	89
Çizelge 4.40. Örneklerin fenolik madde içeriği.....	91
Çizelge 4.41. Örneklerin antioksidan aktivite (ABTS) değerleri	92
Çizelge 4.42. Örneklerin antioksidan aktivite (DPPH) değerleri	93
Çizelge 4.43. Örneklerin mineral madde içeriği.....	95
Çizelge 4.44. Örneklerin fikosiyanın ve klorofil içerikleri.....	99
Çizelge 4.45. Örneklerin amino asit içerikleri	102
Çizelge 4.46. Örneklerin renk analizi sonuçları	105

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)ÇizelgeSayfa

Çizelge 4.47. Örneklerin fiziksel analiz sonuçları 108

Çizelge 4.48. Örneklerin doku profili analiz sonuçları 110

Çizelge 4.49. Örneklerin duysal analiz sonuçları.....113



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

°C

Santigrat derece

L*

Renk aydınlık değeri

a*

Renk kırmızılık/yeşillik değeri

b*

Renk sarılık/mavilik değeri

C*

Kroma değeri

h°

Hue açısı

Na₂CO₃

Sodyum karbonat

HCl

Hidroklorik asit

NaOH

Sodyum Hidroksit

Kısaltmalar

Açıklama

ABTS

2,2-Azino-Bis (3-Ethylbenzthiazoline-6-Sülfonic AC)

DPPH

2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl

3D

3 Boyutlu

AAS

Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi

Cu

Bakır

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
Fe	Demir
DHA	Dokosaheksaenoik asit
SFA	Doymuş yağ asitleri
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
EPA	Eikosapentaenoik asit
P	Fosfor
GAE	Gallik asit eşdeğeri
GLA	Gama-linolenik asit
GRAS	Genel Olarak Güvenli
FDA	Gıda ve İlaç Dairesi
Ca	Kalsiyum
CO ₂	Karbondioksit
Cr	Krom
KOAH	Kronik obstrüktif akciğer hastalığı
KM	Kuru madde

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
Mg	Magnezyum
Mn	Manganez
Mo	Molibden
ω -3	Omega-3
ω -6	Omega-6
K	Potasyum
Se	Selenyum
Na	Sodyum
PRESS	Tahminlenmiş kalıntı hata kareler toplamı
rpm	Dakikadaki devir sayısı
MUFA	Tekli doymamış yağ asitleri
μ mol	mikromol
mm	milimetre
cm	santimetre
mg	miligram
kg	kilogram

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
g	gram
dk	dakika
TE	Troloks Eşdeğeri
UV	Ultraviyole
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
%C.V.	% Varyasyon katsayısı
RSM	Yanıt Yüzey Yöntemi
N	Newton
B	Bor
Zn	Çinko
PUFA	Çoklu Doymamış Yağ Asitleri
TEAC	Troloks eşdeğeri antioksidan kapasitesi

1. GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusunun beraberinde iklim değışiklikleri, enerji krizleri, küresel ısınma, dengesiz beslenme ve gıda yetersizliğı gibi sorunların geleceğı öngörülmektedir (Sasa et al., 2020). Son yıllarda birçok ÷lke, protein ve diğerk makro ve mikro besin elementleri bakımından yetersiz beslenme sorunu ile karşı karşıyadır (Saharan ve Jood, 2021). Günümüzde, yaklaşık 1.3 milyar insanın gıdalara ulaşmakta güçlük çektiğı ve yetersiz beslenme ile birlikte diyabet, obezite, tansiyon ve kalp hastalıkları gibi çeşitli sağık sorunlarını yaşadığı belirtilmektedir (FAO, 2019; Koyande et al., 2019; Torres-Tiji et al., 2020). Aynı zamanda, çeşitli sağık sorunlarına ek olarak, insanların vegan, vejeteryan gibi beslenme biçimlerini tercih etmesi ile alternatif gıda kaynaklarına olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır (Caio et al., 2019; Koyande et al., 2019; Torres-Tiji et al., 2020; Boukid ve Gagaoua, 2022).

Hayvan haklarını ve ekolojiyi korumak veya ahlaki ve dini inançlar gereğı tüketiciler, veganlığı veya vejetaryenliğı tercih etmektedir. Son on yılda vegan beslenme biçimine yönelen insanların yüzdesi yaklaşık %350 oranında artış göstermiştir (Tunçay, 2018; Sakkas et al., 2020). Vejetaryen beslenme, hayvansal kaynaklı ürünlerin hiç tüketilmediğı veya sınırlı olarak tüketildiğı, temelde sebze, meyve, tahıl ve bakliyat gibi bitkisel kaynaklı besinlerin tüketildiğı beslenme biçimidir (Gökçen et al., 2019; Sakkas et al., 2020). Polo vejetaryen, pesko vejetaryen, lakto vejetaryen, ova vejetaryen, lakto-ova vejetaryen, semi vejetaryen ve vegan beslenme olarak sınıflandırılmaktadır (Tunçay, 2018; Gökçen et al., 2019). Vejetaryen beslenme biçimlerinin bazılarında, süt ve süt ürünleri, deniz ürünleri, yumurta gibi gıdalar tercihe bağılı olarak tüketilebilmektedir (Kuz, 2018; Tunçay, 2018; Karlsen et al., 2019; Sakkas et al., 2020; Boukid ve Gagaoua, 2022). Vegan beslenme ise, et, yumurta, bal, süt ve kefir gibi tüm hayvansal kaynaklı gıdaların tüketilmediğı, sebze, meyve, bitkisel yağlar, tohumlar, baklagiller, tahıllar ve kuruyemişler tüketilen beslenme biçimidir. Genellikle tuz ve rafine şeker içeren işlenmiş ürünlerin tüketimini minimuma indiren vegan tüketicilerin, biyoaktif bileşiklerce zengin bitkisel ürünlerle beslenmesi insan sağığına fayda sağlamaktadır (Karlsen et al., 2019; Sakkas et al., 2020). Kalp ve damar

hastalıklarına, kronik hastalıklara karşı etkili olabileceği düşünülen vegan beslenme biçiminin uzun süreli uygulanmasıyla birlikte proteinler, yağ asitleri (ω -3), çinko, demir, iyot, kalsiyum, D vitamini ve B₁₂ vitamini bakımından besin yetersizliğine sebep olabileceği düşünülmektedir (Gökçen et al., 2019; Sakkas et al., 2020; Marrone et al., 2021; Bakaloudi et al., 2021). Besin yetersizliği riski ile karşı karşıya olan, vegan beslenme biçimini benimseyen tüketiciler, sağlığa faydalı etkilere ve zengin besin içeriğine sahip, sürdürülebilir gıda taleplerini karşılayacak yeni ürünlere ihtiyaç duymaktadır (Koyande et al., 2019; Sasa et al., 2020; Gün et al., 2022).

Sağlıklı ve fonksiyonel gıdaya yönelik artan ilgi, günlük beslenmeyi zenginleştiren gıda arayışlarını hızlandırmaktadır (Gün et al., 2022). Sağlığa faydalı etkilere ve zengin biyoaktif bileşenlere sahip olan algler, çevre açısından sürdürülebilir ve gıda taleplerini karşılayabilecek alternatif gıdalar arasında yer almaktadır (Koyande et al., 2019; Sasa et al., 2020; Gün et al., 2022). Yaklaşık 30.000 türü bulunan, deniz florasının %95'ini oluşturan algler fotosentetik organizmalar topluluğu olarak bilinmektedir (Sharma ve Sharma, 2017). Tatlı sularda da gelişebilen algler, mikroalgler ve makroalgler olmak üzere sınıflandırılmaktadır (Ariede et al., 2017). Mikroalgler, Asya ve Avrupa ülkelerinde, Amerika'da ve Avustralya'da yetiştirilip, insanlar tarafından tüketilmektedir (Niccolai et al., 2019). Ticari olarak kullanımı yaygın olan mikroalg türleri arasında *Spirulina*, *Dunaliella*, *Chlorella*, *Haematococcus*, *Botryococcus* ve *Phaeodactylum* yer almaktadır (Villarruel-López et al., 2017).

Yaklaşık 3.6 milyar yıl önce keşfedilen, mavi-yeşil alg olarak bilinen *Spirulina*, dünyanın en eski bitkilerinden biridir (Soni et al., 2017; Ragaza et al., 2020; DiNicolantonio et al., 2020). Oksijen atmosferini oluşturan ilk fotosentetik yaşam formu olan *Spirulina*'nın ticari olarak adlandırılmış hali *Arthrospira* spp.'dir (Soni et al., 2017; Lafarga et al., 2020; Grosshagauer et al., 2020). Farklı ortamlara kolaylıkla uyum sağlayabilen yapısı sayesinde hem alkali su ortamlarında, hem acı, tuzlu ve tatlı su ortamlarında hem de toprakta yetiştirilebilmektedir (DiNicolantonio et al., 2020; Lafarga et al., 2021; Trotta et al., 2022). Yüksek biyoaktif besin içeriği ile bilinen *Spirulina*, fonksiyonel bir gıda olarak öne çıkmış ve tarım, ilaç, su

ürünleri yetiştiriciliği ve sağlık sektöründe popüler hale gelmiştir (Wu et al., 2016; Soni et al., 2017; Reboleira et al., 2019).

Yapılan bu tez çalışmasında, yüksek protein içeriğine sahip ve biyoaktif bileşenler bakımından zengin olan *Spirulina*'nın vegan kek formülasyonuna dahil edilmesi amaçlanmış olup, formülasyonun karakterizasyonu Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM) kullanılarak yapılmıştır. Fiziksel, kimyasal ve duyuşal açıdan kabul edilebilirliği en yüksek olan vegan kek formülasyonu belirlenmiştir.



2. GENEL BİLGİLER

2.1.Fonksiyonel Gıdalar

Gıdalar, insan sağlığını ve vücut fonksiyonlarını destekleyen major (protein, yağ, karbonhidrat vb.) ve minor (vitaminler, mineraller vb.) bileşenlerin ana kaynağıdır. Gıdalar esas olarak enerji kaynağı ve hücre substratları olarak tüketilirler. Son dönemlerde özel beslenme biçimlerine uygun gıdalara ve fonksiyonel gıdalara olan talep oldukça fazladır (Granato et al., 2020).

21. yüzyılda Dünya, yaşam tarzı değişiklikleri, teknolojiye hızlı değişimler, artan sağlık hizmetleri ve daha uzun yaşam beklentisi doğrultusunda fonksiyonel gıdalara yönelmiştir. ‘Fonksiyonel gıda’ kavramı ilk olarak 1980’li yıllarda Japonya’da ortaya çıkmıştır (Aguar et al., 2019). Fonksiyonel gıdalar, temel beslenme kaynaklarına kıyasla fizyolojik ve biyolojik bakımdan daha fazla sağlığa faydalı özelliklere sahip bileşenlerden oluşurlar. ‘Biyoaktif bileşikler’ fonksiyonel gıdaların işlevselliğinden sorumlu olan bileşenlerdir. Biyoaktif bileşenleri yapısında barındıran fonksiyonel gıdaların tüketimi, sağlığa faydalı etkileri ile büyük ilgi çekmektedir (Fernandes et al., 2019; Banwo et al., 2021).

Fonksiyonel gıdalar vücuttaki biyolojik olayları etkileyerek kardiyovasküler hastalıklar, kanser, nörodejeneratif hastalıklar ve kardiyometabolik hastalıklar üzerine olumlu etki göstermektedir (Aguar et al., 2019). Ayrıca zengin biyoaktif bileşen içeriği ile antiinflamatuvar, antikanser, antitümör, antioksidan etkiye sahiptirler (Banwo et al., 2021). İnsan sağlığına yönelik gelecek vaat eden soğan, sarımsak, yumurta, yogurt, meyve ve sebzeler gibi fonksiyonel gıda kaynaklarına ek olarak algler de küresel bir ilgiye sahiptir (Seçim, 2018; Shehzad et al., 2019; Ferrazzano et al., 2020).

2.1.1. Algler

Algler, hem tatlı su ortamlarında hem de tuzlu su ortamlarında bulunan fotosentetik organizmalar topluluğudur (Sharma and Sharma, 2017). Farklı filogenetik gruplardan oluşan yaklaşık 30.000 tür organizmayı kapsar (Ariede et al.,

2017). Su ortamlarında yetiştirilen algler, karbondioksit (CO₂) ve mineralleri fotosentetik olarak biyokütleyle dönüştürebilmektedir (Villarruel-López et al., 2017). Fotosentez ile güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürürler. Bu kimyasal enerji biyolojik aktivitelere sahip kimyasal bileşikler (biyoaktif bileşikler) olarak depolanır (Ariede et al., 2017). Alglerin ikiye katlanma süreleri oldukça kısadır ve aşırı koşullarda bile büyürler (Sharma and Sharma, 2017). Genel olarak çok hücreli makroalgler ve tek hücreli mikroalgler olarak sınıflandırılırlar. Makroalgler ve mikroalgler pigmentleri, hücresel bölünme özellikleri, hücre duvarları ve morfolojileri bakımından farklılık gösterirler (Villarruel-López et al., 2017).

Deniz yosunları olarak da adlandırılan makroalgler çok hücreli makroskobik bitkilerdir. Klorofil içerirler ve damarsız yapıya sahiptirler. Hızla büyüyen bu çok hücreli alglerin boyu 60 metreye kadar ulaşabilmektedir (Villarruel-López et al., 2017). Genellikle kıyı bölgelerinde bulunurlar ve pigmentasyonlarına göre üç gruba ayrılırlar: kırmızı algler (*Rhodophyceae*), kahverengi algler (*Phaeophyceae*) ve yeşil algler (*Chlorophyceae*) (Ariede et al., 2017). Oldukça değişken besin değerlerine sahiptirler. Çeşitli biyoaktif bileşenler bakımından zengindirler fakat özellikle kahverengi alg türlerinin protein ve esansiyel amino asit miktarı düşük olabilmektedir. Sindirilemeyen polisakkaritleri yapısında barındırırlar ve bu durum enerji değerini olumsuz yönde etkiler (Øverland et al., 2019). Deniz yosunları ilaç, biyoteknoloji, kozmetik ve tekstil endüstrilerinin yanı sıra gıda endüstrisinde agar-agar, karragenan ve alijinatlar gibi fikokolloidlerin üretiminde kullanılmaktadır (Villarruel-López et al., 2017).

Mikroalgler uzun yıllardan beri insanlar tarafından kullanılan, tüm ekosistemlerde ve okyanus sularında fitoplankton olarak bulunan alg türüdür. Oksijenli fotosentez yapabilme gibi fizyolojik özelliklere sahiptirler. Soğuk, sıcak, ozmotik basınç, yüksek tuz, farklı ışık kaynağı gibi stres koşullarına karşı dayanıklıdırlar (Ariede et al., 2017; Koyande et al., 2019). Çok çeşitli ototrofik organizmalardan oluşurlar ve ökaryotik ve prokaryotik olmak üzere ikiye ayrılırlar. Ökaryotik mikroalglerin en büyük grubunu yeşil algler (*Chlorophyta*) oluşturur. Çoğu tek hücreli tatlı su formlarıdır. Prokaryotik mikroalgler ise mavi-yeşil alglerden (*Cyanobacteria*) oluşur. Siyanobakteriler, Oscillatoriales, Stigonematales, Chroococcales, Pleurocapsales ve Nostocales olmak üzere beş

taksonomik gruptan oluşur (Villarruel-López et al., 2017). Mikroalgler 200.000'den fazla değişen tür sayısına sahiptir. Tek hücreli organizmalardan oluşurlar ve boyları 0,2 µm'ye kadar ulaşabilmektedir (Koyande et al., 2019). Düz plakalı reaktörlerde, dikey, yatay ve sarmal borulu reaktörlerde, membran fotobiyoreaktörlerde ve açık havuzlarda yetiştirilebilmektedir. Yeterli besin içeren, ışık olmayan heterotrofik koşullarda bile büyüyebilirler (Ariede et al., 2017). Ticari uygulamada yaygın olarak kullanılan mikroalg türleri arasında *Spirulina*, *Dunaliella*, *Chlorella*, *Haematococcus*, *Phaeodactylum* ve *Botryococcus* türleri yer almaktadır (Villarruel-López et al., 2017).

2.1.1.1.Spirulina

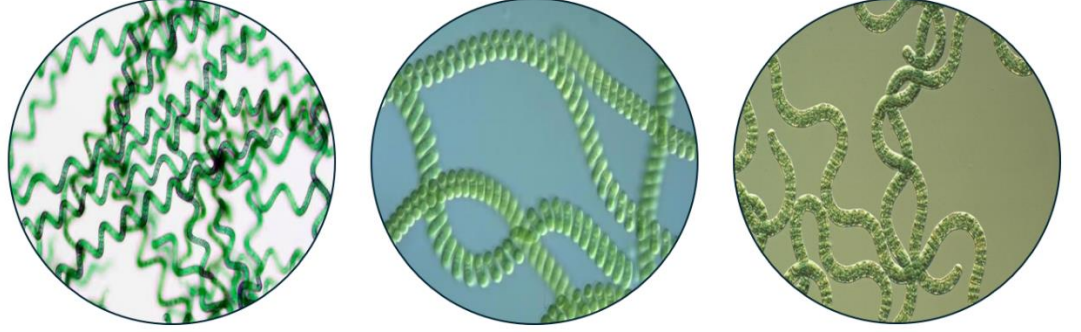
Spirulina yaklaşık 3.5 milyar yıldır var olan suda yaşayan fotosentetik bir organizmadır. Heterosistöz olmayan siyanobakteriler ve mavi-yeşil algler olarak bilinirler. Besin kaynağı olarak suda çözünmüş karbondioksiti tüketir. Yüksek sıcaklıklar, alkali koşullar ve yoğun güneş ışığına dayanıklıdır (Ali and Saleh., 2012; Hajati and Zaghari, 2019). *Spirulina* sarmal tipi, ışık mikroskopisi altındaki görüntüsü ve filamentlerinin çapı ile taksonomik açıdan farklılaşır (Sanchez et al., 2003). *Arthrospira* olarak da adlandırılan *Spirulina*, *Arthrospira platensis* ve *Arthrospira maxima* olmak üzere iki türe sahiptir (Hajati and Zaghari, 2019). Taksonomik olarak sınıflandırılması Çizelge 2.1 'de yer almaktadır.

Çizelge 2.1. *Spirulina platensis*'in taksonomik sınıflandırılması (AlFadhly et al., 2022a)

Taksonomik Sınıflandırma	Yaygın Adlandırma
Alem	Eubacteria
Şube	Cyanobacteria
Sınıf	Cyanophyceae
Alt Sınıf	Oscillatorioophycideae
Takım	Oscillatoriales
Familya	Oscillatoriaceae
Cins	<i>Arthrospira</i>
Tür	<i>A.platensis</i>

Spirulina'nın ana morfolojik özelliği çok hücreli silindirik filamentlerinin, genellikle büyük çaplı ve belirgin çapraz duvarlara sahip açık bir sarmal halinde düzenlenmesidir. Şekil 2.1. *Spirulina*'nın mikroskopik görünümünü

göstermektedir. Filamentler kayma hareketi gösterirler ve ikili bölünmeye uğrayan silindirik hücrelerden oluşur. *Spirulina* türlerinin filament genişliği 2.5-16 μm aralığında, çapı 15-60 μm aralığında değişmektedir. Sarmal aralığı ise 80 μm 'ye kadar ulaşabilmektedir (Sili et al., 2012).



Şekil 2.1. *Spirulina*'nın mikroskopik görüntüsü

Spirulina, insan vücuduna toksik etkilere sahip olmadığı için Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tarafından Genel Olarak Güvenli (GRAS) olarak onaylanmıştır (Lupatani et al., 2017; Lafarga et al., 2020). Aynı zamanda FDA tarafından “en iyi protein kaynaklarından biri” olarak kabul edilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından ise geleceğin iyi sağlık ürünü olarak tanımlanmıştır. Avrupa Uzay Ajansı ve Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA)’ne göre *Spirulina*, uzun süreli uzay yolculuklarında yetiştirilebilecek en önemli besinlerden biri olarak seçilmiştir (Soni et al., 2017; Fais et al., 2022).

2.1.1.1.1. *Spirulina*'nın tarihi

Spirulina yüzyıllardır farklı toplumlar tarafından gıda olarak tüketilmiştir. 16. yüzyılda Eski Orta Amerika'nın Mayaların ve Azteklerinin *Spirulina*'yı besin kaynağı olarak kullandıkları belgelenmiştir (Hajati and Zaghari, 2019). *Spirulina*, Aztekler tarafından kaya dışkısı anlamına gelen ‘Tecuitlatl’ olarak adlandırılmıştır. Daha sonra dini, sosyal ve siyasi değişiklikler ve yeni gıdalar insanlar tarafından benimsenmiş ve Tecuitlatl anlamı sona ermiştir (Ali and Saleh, 2012). Çad gölünde yaşayan halkın *Spirulina*'yı gölün kıyısından toplayıp kuruttuğu ve gıda olarak tükettiği bilinmektedir. Ayrıca Texcoco gölünde de hala *Spirulina* popülasyonu bulunduğu belirtilmektedir (Matufi and Choopani, 2020). 1521 yılında İspanyollar Aztek imparatorluğunu (Meksika) işgal etmiştir ve bölgede yaşayan yerli halkın

tükettiği et ürünlerini, fasulye, mısır ve yeşil gıda *Spirulina*'yı keşfetmişlerdir. 1827'de ise J. P. Turpin tarafından siyanobakteriler izole edilmiş ve 1892'de Geitler tarafından sınıflandırılmıştır (Ali and Saleh, 2012). 1962 yılında, Stanier ve Van Neil tarafından mavi-yeşil algler prokaryot canlılara dahil edilmiş ve bu mikroorganizmalar siyanobakteriler olarak adlandırılmıştır. Bu tanımlama ilk olarak 1974 yılında Bergey'in Belirleyici Bakteriyoloji El Kitabı'nda yayınlanmıştır (Sanchez et al., 2003). 1970'li yıllarda Texcoco'da ilk büyük ölçekli üretim tesisi kurulmuştur. Kimyasal analizlerin başlamasıyla birlikte yüksek besin içeriği farkedilmiş ve ticarileşme başlamıştır. Günümüzde ise *Spirulina*'nın büyük ölçekli üretimleri Kaliforniya, Tayland, Hawaii, Hindistan, Meksika ve Çin'de yapılırken, Avustralya, Brezilya, İran, Fransa, Peru, Washington ve Küba'da küçük ölçekli üretimler yapılmaktadır (Ali and Saleh, 2012; Hajati and Zaghari, 2019).

2.1.1.1.2. *Spirulina*'nın yetiştirilmesi

Doğanın ilk fotosentetik organizmalarından biri olan *Spirulina*, karmaşık metabolik süreçler için ışığı doğrudan dönüştürebilmektedir. Yaygın olarak açık havuzlar, göller, göletler veya lagünler gibi açık sistemlerde veya kapalı sistemlerde (fotobiyoreaktörler) yetiştirilebilir (Usharani et al., 2012). Açık sistemlerde dairesel havuzlar, sıg büyük havuzlar, tanklar ve kanallı havuzlar en sık kullanılan sistemlerdir. Açık sistemlerin yapımı ve işletimi daha kolay ve işletme ve üretim maliyetleri daha düşüktür (Soni et al., 2017). *Spirulina* üretimi genellikle 2000-5000 m² aralığındaki kanal havuzlarında gerçekleştirilir. Bu sistemler 400-1000 m³ aralığında kültür içerebilmektedir (Sili et al., 2012). Fotobiyoreaktörlere örnek olarak kontrollü biyokütle üretimi için tasarlanmış, aydınlatılmış, kapalı bir kültür kabı verilebilir. Fotobiyoreaktörlerin avantajı çevreyle doğrudan kirlетici madde veya gaz alışverişi olmamasıdır. Bu sistemlerde kültür ortamının (pH, karbondioksit kaynağı, ışık vb.) kontrolü daha kolaydır. Laboratuvar ölçekli fotobiyoreaktörler genellikle floresan lamba gibi ışık kaynaklarıyla yapay olarak aydınlatılır (Soni et al., 2017).

İklimsel faktörler, havalandırma, sıcaklık, karıştırma hızı, aydınlatma, pH, aşılama hacmi, mikro besin zenginliği (K, Mg, C, N, Ca, Fe, Zn, P, Ni, S, Na, Cu, Cl, Se ve Co) ve su kalitesi gibi parametreler *Spirulina* üretimi etkileyen

faktörlerdendir (AlFadhly et al., 2022a; Özlü ve Bayram, 2022). Ticari olarak en uygun üretimi yapabilmek için yetiştirme ortamının ve maliyet etkinliğinin uygun şekilde yapılması gerekir. Antik çağlardan beri *Spirulina*'nın yetiştirilmesi ve büyüme oranlarının izlenmesi için Zarrouk ortamı, CFTIR ortamı, Rao ortamı ve OFERR ortamı gibi farklı ortamlar kullanılmıştır (Soni et al., 2017). *Spirulina*'nın gelişebilmesi için su ortamının pH'sı 8.5-10.5 aralığında olmalı ve ortamda 10-20 g/L aralığında sodyum karbonat tuzları olmalıdır (AlFadhly et al., 2022a). *Spirulina*'nın büyüme hızını etkileyen sıcaklık ise çok önemli bir faktördür. 17°C'nin altındaki sıcaklıklarda büyüme oldukça sınırlı iken 38°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda büyüme engellenir. *Spirulina* 20-37°C aralığındaki sıcaklıklarda büyüyebilir. Optimum büyüme sıcaklığı ise 35°C'dir (Soni et al., 2017).

Spirulina santrifüj, filtrasyon ve yüzdürme gibi prosesler kullanılarak hasat edilir. Püskürterek kurutma gibi yöntemlerle kurutulan *Spirulina*, ince öğütülerek toz form haline getirilir. Ortalama 200 nm ile 800 nm aralığında değişen toz boyutu elde edilene kadar yaklaşık 8 saat boyunca öğütme işlemi uygulanır. Toz forma ek olarak uzun raf ömrü ve daha kolay tüketim için tablet formuna da preslenebilmektedir. Genellikle kapalı plastik ambalajlarda paketlenir ve kuru, hijyenik ve ışık geçirmeyen ortamlarda depolanır (Hajati and Zaghari, 2019; Özlü ve Bayram, 2022).

2.1.1.1.3. *Spirulina*'nın besin içeriği

Gıdalar, vücuttaki temel biyolojik aktivitelerin gerçekleşmesi ve sağlığın korunması için gerekli olan kaynaklardır. İnsan vücudunun üretemediği bazı besinlerin beslenme yoluyla vücuda alınması gerekir (AlFadhly et al., 2022b). Mikroalg türlerinden olan *Spirulina*, temel insan beslenmesi için gerekli olan proteinler, lipitler, karbonhidratlar, mineraller ve vitaminler bakımından zengin bir kaynaktır (Bortolini et al., 2022). *Spirulina* yaklaşık %60-70 oranlarındaki protein içeriği ile diğer gıdalara kıyasla oldukça zengindir (Çizelge 2.2). Bu nedenle potansiyel kullanımı geniş çapta kabul edilmiştir (Anvar and Nowruzi, 2021).

Çizelge 2.2. *Spirulina* ve diğer gıda kaynaklarının protein içerikleri (Shiomi and Waisundara, 2017; Anvar and Nowruzi, 2021; AlFadhly et al., 2022b)

Gıda Kaynağı	Protein İçeriği (%)
<i>Spirulina</i>	%60-70
Bira mayası	%45
Tam yağlı süt tozu	%37
Soya fasulyesi unu	%36
Buğday tohumu	%27
Yer fıstığı	%26
Tavuk	%24
Balık	%22
Sığır eti	%22
Yumurta	%12

Spirulina, protein içeriğine ek olarak amino asit profiliyle de dikkat çekmektedir (Lupatini et al., 2017). Bir proteinin amino asit oranı, içeriği ve kalitesi proteinin genel kalitesini değerlendirmek için kullanılır. Toplam protein miktarının yaklaşık %35-45'ini oluşturan esansiyel amino asitlere sahiptir. *Spirulina*, lizin, lösin, izolösin, metiyonin, treonin, fenilalanin, triptofan, arginin, valin, glutamin, histidin, alanin, sistein, glisin, serin, treonin ve prolin amino asitlerini yapısında barındırır. Lösin, izolösin ve valin en yüksek konsantrasyonlara sahiptir. *Spirulina* proteinlerindeki metiyonin, lizin ve sistein süt, yumurta ve etlere kıyasla daha düşük konsantrasyonlardadır. Ancak tüm bitki proteinlerine kıyasla yüksek konsantrasyondadır (AlFadhly et al., 2022b). Bu nedenle *Spirulina*, düşük protein içeriğine sahip gıdaları zenginleştirme potansiyeline sahip esansiyel ve esansiyel olmayan amino asitlerin kaynağı olarak kullanılabilir (Bortolini et al., 2022).

Spirulina, glikoz, galaktoz, mannoz ve ksilozdan oluşan yaklaşık %13 oranında karbonhidrat içeriğine sahiptir (Shiomi and Waisundara, 2017). Ek olarak az miktarda arabinoz, riboz, galakturonikasit ve fukoz gibi diğer monosakkaritleri de yapısında barındırır (Wang et al., 2023). *Spirulina*'nın hücre duvarında selüloz bulunmaz. Hücre duvarı sindirilebilirliği %86'dır ve insan vücudu tarafından kolaylıkla emilebilen polisakkaritlerden oluşur. Bu nedenle yaşlı bireyler ve bağırsak sorunları yaşayan bireyler için uygun bir alternatiftir. Ayrıca yapısında serbest şekerler bulunmadığından obezite ve diyabet gibi rahatsızlıkları olan bireyler tarafından tüketilebilir (Soni et al., 2017; Anyar and Nowruzi, 2021; Masten Rutar et al., 2022; AlFadhly et al., 2022b).

Yağ içeriği genellikle %6-9 aralığında değişen ve kolesterol içermeyen *Spirulina*'nin lipit profili çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA), tekli doymamış yağ asitleri (MUFA) ve doymuş yağ asitlerinden (SFA) oluşur. Özellikle önemli doymamış yağ asitlerini yapısında barındırır (Anvar and Nowruzi, 2021; Bortolini et al., 2022; Wang et al., 2023). Yaklaşık %2 oranlarında PUFA'ya sahiptir (AlFadhly et al., 2022b). Bu doymamış yağ asitleri arasında palmitik asit (% 46.07), gama-linolenik asit (GLA) (%17.43), oleik asit (%5.26) ve palmitoleik asit (%1.26) yüksek oranlarda bulunur. ω -6 yağ asitlerine ek olarak dokosaheksaenoik asit (DHA) ve eikosapentaenoik asit (EPA) gibi ω -3 yağ asitlerini de yapısında barındırır (Lafarga et al., 2020; Anvar and Nowruzi, 2021; Masten Rutar et al., 2022; Wang et al., 2023). Anne sütü dışında tüm hormon sisteminin düzenlenmesine yardımcı olan GLA'yı içeren tek besin kaynağı *Spirulina*'dır (Sharoba, 2014).

Spirulina ayrıca çeşitli vitamin ve mineraller bakımından zengin bir kaynaktır. Başta B vitaminleri (B₁, B₂, B₆, B₉ ve B₁₂) olmak üzere A, E, C, D ve H vitaminlerini içerir (Farag et al., 2016; Lafarga et al., 2020; Anvar and Nowruzi, 2021). Kuru ağırlık başına yaklaşık 1.6-3.2 µg B₁₂ vitamini içermektedir ve bu miktar günlük alım önerilerinin büyük bir kısmını karşılamaktadır (Ramírez-Rodrigues et al., 2021). *Spirulina*, mineral içeriği bakımından da oldukça değerlidir. Kalsiyum (Ca), potasyum (K), demir (Fe), magnezyum (Mg), çinko (Zn), sodyum (Na), fosfor (P), bakır (Cu), krom (Cr), manganez (Mn), selenyum (Se), bor (B) ve molibden (Mo) minerallerini yapısında barındırır. Diğer gıdalara kıyasla yaklaşık 10 kat daha fazla Fe içeriğine sahiptir. Genellikle gıda takviyelerinde bulunan demir sülfata kıyasla daha yüksek oranda (%60) vücut tarafından emilir (Anvar and Nowruzi, 2021; AlFadhly et al., 2022b).

Spirulina, biyoaktif bileşikler olan mikroalgal fikobiliproteinleri ve renk pigmentlerini yapısında barındırır. Mikroalgal fikobiliproteinler fikosiyanın, allofikosiyanın ve fikoeritrin olmak üzere üç gruba ayrılır (Lupatini et al., 2017). Fikosiyanın ve allofikosiyanın mavi alglerde bulunurken fikoeritrin kırmızı alglerde bulunan fikobiliproteinlerdir (Bortoloni et al., 2022). Fikosiyanın, protein emilimini destekler ve antioksidan, antiinflamatuvar etki ve antitümör etki gibi çeşitli fizyolojik aktivitelere sahiptir. Isıyı etkili bir şekilde dağıtır. Kozmetik ve gıda

endüstrisi için doğal pigment kaynağıdır (Wang et al., 2023). *Spirulina* özellikle Fe içeriğinin yaklaşık %14'ü kadar C-phycocyanin içerir (AlFadhly et al., 2022b). Fikobiliproteinlere ek olarak kstantofiller, fenolik bileşikler, α -tokoferol, karotenoidler ve klorofil de *Spirulina*'da bulunan biyoaktif bileşiklerdendir. Karotenoidler, ışığın verdiği hasarı minimuma indiren sarı-turuncu tonlarında değişen, yağda çözünen bileşiklerdir. β -karoten, lutein, astaksantin, zeaksantin ve kantaksantin *Spirulina*'daki ana karotenoidlerdir (Sharoba, 2014; Bortolini et al., 2022). Karotenoidler, provitamin A görevi görür ve insan vücudu tarafından *in vivo* olarak A vitaminine dönüştürülebilir. Günlük A vitamini ihtiyacının yaklaşık %30'u karotenoidlerden elde edilir (Lafarga et al., 2020). Günde yaklaşık 2 gram *Spirulina* tüketimi ile vücudun günlük A vitamini ihtiyacının 1 mg'ı karşılanabilmektedir (AlFadhly et al., 2022b). Ayrıca *Spirulina*'nın β -karoten içeriği havuca kıyasla 20 kat daha fazladır (Anvar and Nowruzi, 2021). *Spirulina*, yüksek klorofil içeriğiyle de dikkat çeken bir fito-besindir. Klorofiller, mikroalgelere yeşil rengini verir ve fotosentez aşamasında temel işlevlere sahiptir. Klorofil a yapısından dolayı kararsızdır ve ısı, ışık ve asit ve bazlara karşı duyarlıdır (Shiomi and Waisundara, 2017; Bortolini et al., 2022; Wang et al., 2023).

2.1.1.1.4. *Spirulina*'nın sağlık etkileri

Spirulina, zengin besin içeriğine ek olarak karoten, fikosiyanin, tokoferoller ve fenolik bileşikler gibi biyoaktif bileşikler bakımından zengindir (Farag et al., 2016; Han et al., 2021). Bu fonksiyonel bileşiklerin hem *in vitro* hem de *in vivo* antioksidan, antiinflamatuvar ve immünomodülatör özelliklere sahip olması *Spirulina*'nın nutrasotik bir gıda takviyesi olarak kullanımını arttırmıştır (Jung et al., 2019). *Spirulina*, hücrel antioksidan enzimleri aktive eder, serbest radikalleri temizler, DNA hasarını ve lipid peroksidasyonunu engeller, katalaz ve süperoksit dismutaz aktivitesini artırır (Wu et al., 2016). Yapılan çeşitli çalışmalarda *Spirulina*'nın, kardiyovasküler hastalıklar, obezite, diyabet, hiperglisemi, hiperkolesterolemi, hipertansiyon, anemi, kanser ve nörolojik hastalıklar gibi çeşitli hastalıklar üzerine olumlu etkisi olduğu belirtilmektedir (Ali and Saleh, 2012; Ramakrishnan, 2013; Han et al., 2021; Trotta et al., 2022). Antioksidan etkisi ile kronik obstrüktif akciğer hastalığını (KOAH) ve egzersiz esnasında oksidatif stres koşullarında iskelet kası hasarını önleyebildiği belirtilmektedir (Ismail et al., 2015;

Wu et al., 2016). Ayrıca *Spirulina*, adiposit oksidatif stresini baskılayarak insülin duyarlılığını artırıcı etkilere yol açabilmekte ve kilo kaybına yardımcı olabilmektedir (DiNicolantonio et al., 2020). İnsülin direncini arttırarak ve kan şekerini düşürerek antihiperglisemik ve antilipidemik etki göstermektedir (Hu et al., 2019; Anvar and Nowruzi, 2021). *Spirulina*'nın içeriğindeki biyoaktif bileşenler Herpes simpleks virüsü, influenza, kabakulak, HIV gibi çeşitli virüslere karşı önleyici etkilere sahiptir. Ek olarak insan gözünde bulunan katarakt ve makula dejenerasyonu riskini azaltan zeaksantin açısından zengindir ve göz hastalıklarının önlenmesinde önemli olan A vitaminini içerir (Saranraj and Siyasakthi, 2014; Anvar and Nowruzi, 2021). *Spirulina*'nın kırışıklık önleyici, sivilce önleyici, yaşlanma karşıtı, nemlendirici, yaraları iyileştirici özellikleri olduğu düşünülmektedir (Delsin et al., 2015; Mapaung et al., 2020; Ragusa et al., 2021).

2.1.1.1.5. *Spirulina*'nın kullanım alanları

Algler birçok endüstride kullanılmaktadır. *Spirulina* özellikle gıda, tarım, ilaç, kozmetik ve biyoyakıt endüstrilerinde biyolojik ve ekonomik açıdan dikkatleri üzerine çekmiştir (AlFadhly et al., 2022b). Yakıt endüstrisinde diğer yakıtlara kıyasla algal biyoyakıtlar (biyohidrojen, biyoetanol, biyoyağ, biyogaz ve biyodizel) doğa dostu, temiz ve daha ekonomik olduğu için ön plana çıkmıştır (Sharma and Sharma, 2017). Kozmetik endüstrisinde de su bağlayıcı, koyulaştırıcı ve antioksidan özellikleri ile potansiyel uygulamalara sahiptir. Alglerde bulunan birçok sekonder metabolitin kırışıklık, cilt elastikiyeti, ultraviyole (UV) ışınlarına karşı koruma ve cilt yaralarını iyileştirme gibi olumlu etkileri bulunduğu düşünülmekte ve kozmetik ürünlerin formülasyonunda kullanımı artmaktadır (Ariede et al., 2017). Bunlara ek olarak, alglerin organik kirleticileri, patojenleri ve ağır metalleri temizlediği ve atık suların arıtılmasında ve çevre temizliğinde kullanıldığı bilinmektedir. Algal biyokütlenin hızlı bir şekilde yüksek yoğunluklara ulaşması önemli ölçüde karbondioksitin emilmesiyle karakterize edilir ve bu özellikleri ile yenilebilir enerji kaynağı olarak kullanım potansiyeli vardır (Ścieszka and Klewicka, 2019). Gıda endüstrisinde insan beslenmesinde kullanılmasının yanı sıra hayvan yemi olarak da geniş bir kullanım alanına sahiptir (AlFadhly et al., 2022b).

Zengin besin ve biyoaktif madde içerikleri nedeniyle fonksiyonel gıda olarak dikkat çeken alglar, gıda endüstrisinde renklendirici, katkı maddesi ve gıda takviyesi olarak kullanılmaktadır. Kıvam arttırıcı, jelleşme ve stabilize edici özellikleri ile aljinat, agar ve karragenan gibi ürünlerin geliştirilmesine yol açmıştır. Yüksek viskoziteli çözeltiler ve jel oluşturma potansiyeline sahip olan bu hidrokoloidler biyoteknolojide, gıda ve ilaç endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Ścieszka and Klewicka, 2019; Lafarga et al., 2020). Gıda endüstrisindeki en önemli trendlerden biri fonksiyonel gıdaların içeriğine dahil edilmesidir. *Spirulina*, meyve suları, süt ürünleri, et ürünleri, fermente ürünler, makarna, ekmek ve un gibi tahıl bazlı ürünler gibi gıdaların yapımında kullanılabilir (Ścieszka and Klewicka, 2019; AlFadhly et al., 2022b). Literatürde de bisküvi (Gün et al., 2022), makarna (Pagnussatt et al., 2014), ekstrüde atıştırmalık (Bayat Tork et al., 2022), ekmek (Selmo and Salas-Mellado, 2014), dondurma ve yumuşak peynir (Agustini et al., 2016), soya yoğurdu (Sengupta and Bhowal, 2017), ayran (Çelekli et al., 2019), yüksek proteinli içecek (Hassanzadeh et al., 2022) ve çikolata (Riaty, 2019) gibi fonksiyonel gıdaların zenginleştirilmesine yönelik çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

2.2.Kek

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de beslenme tercihleri gün geçtikçe değişmektedir (Saraç et al., 2022). Günümüz beslenme alışkanlıklarına bakıldığında kek, ekmek, bisküvi ve hamur işleri gibi unlu mamullerin popülaritesi de artmaktadır (Kaur and Kaur, 2018). Unlu mamullerin kolay ulaşılabilirliği ve lezzeti tüketiciler tarafından kolaylıkla tercih edilmesine neden olmakta ve bu ürünlerin önemli bileşenler için bir araç olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Köten, 2021; Acun, 2021). Unlu mamul çeşitlerinden olan kek, bisküvi ve ekmekten sonra tüketimi en yüksek olan gıdalardan biridir. Kek, birçok ülkede farklı yaş grupları tarafından sevilerek tüketilen, lezzet olarak tüketicinin beklentisini karşılayan bir gıda ürünüdür (Baltacıoğlu ve ark., 2020). Bisküvi, kurabiye ve ekmek gibi fırıncılık ürünlerine kıyasla yüksek nem içeriği, süngerimsi yapısı ve kek kırıntısı ile ön plana çıkmaktadır (Tacer-Caba et al., 2015). Kekin iyi bir kaliteye sahip olması, bileşimindeki hammaddelere, hammaddelerin oranlarına ve havalandırmaya bağlıdır. Ayrıca yüksek hacim, bayatlama toleransı, düşük

kırlntı sertliği ve uzun raf ömrü gibi kriterlere bağlıdır (Jongsutjarittam and Charoenrein, 2013).

Kek, tüketime hazır yapısı, yumuşak dokusu, uygun maliyeti ve çeşitliliği ile her yaş grubundan tüketicinin tercih ettiği, tatlı ve yüksek kalorili bir fırıncılık ürünüdür (Köten, 2021). Keklerin kalorileri, formülasyonlarında kullanılan hammaddelere bağlı olarak değişmektedir (Movahhed et al., 2020). Çok sayıda değişiklik gösteren kek formülasyonu bulunduğundan kekleri tanımlamak oldukça zordur. Ancak genel olarak un, yağ, şeker, su veya süt, kabartma tozu veya karbonat ve yumurta kullanılarak elde edilen hamurun pişirilmesiyle elde edilen bir üründür (Alrefaie and Bostan, 2017). Kek içeriğindeki, yağ, protein ve özellikle yüksek orandaki karbonhidrat miktarı sayesinde yüksek besleyici değere sahiptir. Ancak vitaminler, mineraller ve diyet lifi bakımından yetersiz bir kaynaktır (Baltacıoğlu ve ark., 2020).

Türk Standartları Enstitüsü’nün belirlediği standarda (TS 13375) göre hazır kekler, “buğday unu veya tahıl unları ve/veya karışımları, beyaz şeker, yemeklik bitkisel yağ, yumurta, tuz, kabarmayı sağlayıcı maddeler, çeşni maddeleri, dolgu maddeleri ve diğer katkı maddelerinin, su eklenerek karıştırıldıktan sonra tekniğine uygun biçimde işlenerek şekil verilmesi ve pişirilmesi suretiyle hazırlanan, ambalajlı olarak tüketime sunulan mamul” olarak tanımlanmıştır (Anonim, 2008). Belirlenen bu standartta kekler, çeşnili, sade, dolgulu olarak veya kaplamalı ve kaplamasız olarak sınıflandırılmaktadır ( nanlar, 2022). Standardın yanı sıra kekler, üretim proseslerine, içeriklerine ve şekillerine göre de sınıflandırılabilir. Endüstriyel olarak, kalıp, top kek, bar kek, baton ve pasta tabanı gibi kek  eşitleri üretilmektedir (Ceylan, 2020).

 nsanlığın başlangıcından beri günümüzde tüketilen keklerden farklı çeşitli ürünler kek olarak adlandırılmıştır. Kek terimi ilk olarak 13. yüzyılda Oxford  ngilizce Sözlüğünde yazılı olarak yerini almıştır. Uzun süre boyunca kek kelimesi, raf ömrü uzun olan, zencefilli ya da meyveli ekmek anlamında kullanılmış olup,  skandinavca’da “kaka” olarak adlandırılmıştır. Ardından “cake” olarak  ngilizce’deki yerini almıştır. şeker kamışının işlenmesiyle birlikte günümüzdeki kekler ortaya çıkmıştır. 17. yüzyılın sonlarına doğru kek pişirme parametreleri

üzerine çalışılmış ve 1780’li yıllarda hammadde çeşitliliği, tahta ve metal kek kalıplarının geliştirilmesi ve geliştirilmiş pişirme parametreleri ile kekin pişirilmesi kolaylaştırılmıştır. 19. yüzyılda ise kekta maya kullanımı son bulmuş yerini kabartma tozu almıştır. Günümüzde tüketilen keklerle benzerlik gösteren bu ürünler Amerika ve İngiltere’de “pandispanya” olarak adlandırılmıştır (Acun, 2021; İnanlar, 2022).

2.2.1. Vegan Beslenme ve Vegan Kek

Hayvan haklarını ve ekolojiiyi korumak veya ahlaki ve dini inançlar gereği tüketiciler, veganlığı veya vejetaryenliği tercih etmektedir. Son on yılda vegan beslenme biçimine yönelen insanların yüzdesi yaklaşık %350 oranında artış göstermiştir (Tunçay, 2018; Sakkas et al., 2020). Vejetaryen beslenme, hayvansal ürünlerin hiç tüketilmediği veya sınırlı olarak tüketildiği, temelde sebze, meyve, tahıl ve bakliyat gibi bitkisel kaynaklı besinlerin tüketildiği beslenme biçimidir (Gökçen et al., 2019; Sakkas et al., 2020). Polo vejetaryen, pesko vejetaryen, lakto vejetaryen, ova vejetaryen, lakto-ova vejetaryen, semi vejetaryen ve vegan beslenme olarak sınıflandırılmaktadır (Tunçay, 2018; Gökçen et al., 2019).

Vejetaryen beslenme biçimlerinin bazılarında, süt ve süt ürünleri, deniz ürünleri, yumurta gibi gıdalar tercihe bağlı olarak tüketilebilmektedir (Kuz, 2018; Tunçay, 2018; Karlsen et al., 2019; Sakkas et al., 2020; Boukid ve Gagaoua, 2022). Vegan beslenme ise, et, yumurta, bal, süt ve kefir gibi tüm hayvansal kaynaklı gıdaların tüketilmediği, sebze, meyve, bitkisel yağlar, tohumlar, baklagiller, tahıllar ve kuruyemişler tüketilen beslenme biçimidir (Sakkas et al., 2020).

Genellikle tuz ve rafine şeker içeren işlenmiş ürünlerin tüketimini minimuma indiren vegan tüketicilerin, biyoaktif bileşiklerce zengin bitkisel ürünlerle beslenmesi insan sağlığına fayda sağlamaktadır (Karlsen et al., 2019; Sakkas et al., 2020). Kalp ve damar hastalıklarına, kronik hastalıklara karşı etkili olabileceği düşünülen vegan beslenme biçiminin uzun süreli uygulanmasıyla birlikte proteinler, yağ asitleri (ω -3), çinko, demir, iyot, kalsiyum, D vitamini ve B₁₂ vitamini bakımından besin yetersizliğine sebep olabileceği düşünülmektedir (Gökçen et al., 2019; Sakkas et al., 2020; Marrone et al., 2021; Bakaloudi et al.,

2021). Vegan beslenme biçimini benimseyen tüketicilerin, besin yetersizliği riskine karşı bilgili kişiler tarafından bilgilendirilmesi, dengeli ve yeterli beslenme programının oluşturulması gerekmektedir (Gökçen et al., 2019).

Vegan beslenme biçimini benimseyen tüketiciler, sağlığa faydalı etkilere ve zengin besin içeriğine sahip, sürdürülebilir gıda taleplerini karşılayacak yeni ürünlere ihtiyaç duymaktadır (Koyande et al., 2019; Sasa et al., 2020; Gün et al., 2022). Son yıllarda, farklı yaş gruplarından olan insanlar ve vegan beslenme biçimini benimseyen bireyler tarafından, kek, ekmek, bisküvi gibi ürünlerin tüketimine olan talep artmıştır (Saraç et al., 2022). Kek, buğday unu, yumurta, yağ ve şeker içeren çeşitli formülasyonlar kullanılarak hazırlanan bir üründür (Köten, 2021). Vegan beslenme biçimine sahip olan bireylerin tüketmediği yumurta, kekin ana bileşenlerinden biri olup, kekin dokusal özellikleri açısından büyük önem taşımaktadır (Saraç et al., 2022). Vegan kekler hayvansal kaynaklı ürünleri içermediğinden major bileşenleri arasında un, şeker, bitkisel yağ ve bitkisel süt veya su yer alır (Ansorena et al., 2023). Yumurta yerine ise bitki bazlı ikame maddeleri (soya fasülyesi, bezelye, nohut, mercimek, börülce, aquafaba gibi bazı baklagiller, keten tohumu, chia tohumu, meyve atıkları vb.), emülgatörler ve hidrokolloidler kullanılabilmektedir. Bunların her biri son ürün üzerinde farklı besinsel, fiziksel ve organoleptik özellikler sergilemektedir (Hedayati et al., 2022).

2.2.2. Kek Yapımında Kullanılan Hammaddeler

Kek formülasyonunda kullanılan bileşenler sertleştiriciler ve yumuşatıcılar olmak üzere ikiye ayrılabilir. Yumurta akı, sütteki kazein proteinleri, un ve tuz gibi ürünler sertleştiriciler grubunda yer alırken; yumurta sarısı, yağ ve şeker yumuşatıcılar grubunda yer almaktadır (Van der Sman and Renzetti, 2021). Kek hamuru, su içinde yağ emülsiyonunu oluşturur. Katı bileşenler (un, şeker, kabartma tozu, tuz) sıvı faza dahil edilir. Fakat, sıvı veya katı olan yağ fazı, sürekli veya sıvı fazda kümeler halinde dağılmış formda kalır ve sıvı fazın bir parçası haline gelmez (Sakiyan et al., 2004; Kocer et al., 2007).

Buğday, arpa, pirinç ve yulaf gibi tahıllar temel gıda olarak kullanılır (Barak et al., 2014). Buğday, üretim ve tüketim açısından değerli olan dünyanın en önemli ikinci tahılıdır. Buğdayların hepsi Gramineae familyası *Triticum* cinsindendir (Pareyt and Delcour, 2008). Buğday, öğütülerek un haline getirilmekte ve fırıncılık ürünlerinde kullanılmaktadır (Barak et al., 2014). Kekler için az miktarda gluten içeren yumuşak buğday unu kullanılır (Van der Sman and Renzetti, 2021). Hem partikül boyutu küçük olan hem de kül içerikleri daha düşük olan unlar tercih edilir (Yavaş, 2012). Kekte bulunan temel hammaddelerden biri olan un, protein ve nişastadan oluşur. Kekin pişirilmesiyle birlikte unda bulunan proteinler pıhtılaşmakta ve nişasta jelatinize olmaktadır. Bu nedenle, düşük α -amilaz aktivitesine ve düşük protein miktarına sahip buğday unları tercih edilir (Kıranlı, 2006).

Şeker de kekte bulunan ana bileşenlerden biridir ve karakteristik tadı ile ürüne katkıda bulunur (Gao et al., 2016). Sadece tatlılık vermekle kalmaz, ürünün raf ömrünü de uzatır. Aynı zamanda pişirme esnasında gluten oluşumunu geciktirerek ve sınırlandırarak yumuşatıcı görevi görür (Zhang et al., 2012; Yürekli, 2021). Kekte bulunan şeker konsantrasyonuna bağlı olarak, nişastanın jelatinizasyon sıcaklığı 52 °C'den 92 °C'ye kadar gecikir. Isıl işlem ile nişasta jelatinizasyonunu geciktirmesi, kek sertleşmeden önce su buharının ve karbondioksitin neden olduğu buhar basıncı sayesinde hava kabarcıklarının genişlemesine olanak tanır (Kocer et al., 2007). Kek hamuru genellikle yüksek sıcaklıklarda (yaklaşık 180-200 °C) pişirilir. Pişirme esnasında fiziksel ve kimyasal değişiklikler aynı anda gerçekleşir. Şeker içeren fırıncılık ürünlerine uygulanan yüksek ısıl işlemle birlikte karamelizasyon, maillard reaksiyonu gerçekleşmekte ve furfural ve 5-hidroksimetilfurfural oluşmaktadır. Bunlar, üründe istenen renk ve tattan sorumludurlar (Zhang et al., 2012).

Kekteki diğer majör bileşenlerden biri ise yağdır. Yağın kekteki işlevleri arasında kekin hacmini arttırma, kabuk oluşturma, aromatik lezzet verme, dolgunluk, yumuşaklık ve kıvam verme ve raf ömrünü uzatma gibi özellikler yer almaktadır (Kıranlı, 2006; Yürekli, 2021). Yağın en önemli işlevlerinden biri karıştırma aşamasında hamurda bulunan havayı tutmaktır. Hamurda yağ kristalleri sulu fazda kalır. Pişirme esnasında hava genişlemeye başlar, yağ kristalleri erir ve

hamurdaki hava serbest bırakılmış olur (Kocer et al., 2007). Havanın üründe hapsedilmesi kabuğun lezzetini arttırmakta ve kabuğun yumuşak olmasını sağlamaktadır (Kıranlı, 2006).

Alerjik sorunlar yaşayan kişiler ve vegan bireyler tarafından süt ve yumurta alternatiflerine olan ilgi artmaktadır (Salwa, 2009). Kek formülasyonunda kullanılan süt hem laktoz hem de protein kaynağıdır. Kekin lezzet profilinin gelişmesine ve besin içeriğinin artırılmasına katkı sağlar. Aynı zamanda, kabuk oluşmasını ve esmerleşme reaksiyonunu destekler. Keke nem verir ve kekteki hava kabarcıklarının stabilitesine ve büyüklüğüne katkıda bulunur (Demir, 2020). Süt tüketmeyen vegan bireyler için ise bitkisel sütler veya su gibi alternatifler bulunmaktadır (Salwa, 2009). Kek formülasyonunda kullanılan su çözünebilen hammaddelerin (tuz, şeker gibi) çözünmesini sağlar. Aynı zamanda kabartma tozunun reaksiyona girmesini destekler ve hamurun yoğunluğunu etkileyerek yapının gelişmesine olanak sağlar. Elde edilen ürünün kalitesi, ambalajlama kriterleri, bayatlama süresi ve depolama koşulları gibi faktörler de formülasyonda kullanılan sudan etkilenir (Kıranlı, 2006; Acun, 2021).

Kek formülasyonunda bulunan bir başka hammadde ise yumurtadır. Yumurta, protein ve kolesterol kaynağıdır (Salwa, 2009). Yumurta sarısı yumuşatıcı ve yumurta akı sertleştirici özelliklere sahip olduğundan yumurta karmaşık bir yapıdadır (Van der Sman and Renzetti, 2021). Yumurtanın gıdalardaki temel işlevleri arasında emülsifiye etme, aroma ve renk özelliklerini geliştirme, pıhtılaştırma, şeker kristalleşmesini düzenleme ve köpürtme bulunmaktadır (Lin et al., 2017). Yumurtanın köpürtme özelliği yumurta akında bulunan albüminden kaynaklanmaktadır. Yumurtanın sarısında bulunan lesitin ise emülgatör görevi görmekte ve kekin yumuşak yapıda olmasına katkı sağlamaktadır. Yumurta proteinleri ise jelleşme özelliğinden sorumludur (Yazici and Ozer, 2021). Jelleşme özelliği keklerin dokusunu ve hacmini önemli ölçüde etkilemektedir. Fakat yumurta alerjisi, ekonomik faktörler ve beslenme tercihleri (veganlık vb.) nedeniyle yumurtasız keklere ve yumurta ikamelerine olan talep artmıştır (Lin et al., 2017). Yumurta ikameleri, bitki ve hayvan kökenli protein kaynaklarını içeren proteinlerin izolat ve konsantre formları (süt tozu, soya, bezelye, nohut, peynir altı suyu vb.), gıda katkı maddeleri (hidrokolloidler ve emülgatörler) ve diğer gıda kaynakları

(keten tohumu, muz, chia vb.) olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Yazici and Ozer, 2021). Hidrokolloidler, köpürtme, su bağlama, jelleşme, kıvam arttırma, emülsifiye etme ve dokusal özellikleri iyileştirme gibi özelliklere sahipken, emülgatörler, bayatlamayı geciktirme ve kırıntı yumuşatma gibi fonksiyonlara sahiptir (Salwa, 2009). Hidrokolloidler arasında ksantan gam, guar gam, karboksimetil selüloz, hidroksipofil metilseslülöz, karragenan, arap zamkı bulunurken, emülgatörler arasında lesitin, gliserol monostearat, monogliseritler ve digliseritler, sodyum stearoil laktilat vb. bulunmaktadır (Yazici and Ozer, 2021).

Yumurtanın hızla karıştırıldığında kabartıcı etkisi bulunsa da kabartma tozu gibi kabartıcı ajanlar da kek hacmini arttırmakta, gaz oluşumunu ve gözenek yapısının homojenliğini sağlama gibi kekin kalitesini etkileyen karakteristik özelliklere sahiptir (Yavaş, 2012; Yürekli, 2021). Kekin pişirilmesi sırasında hamurdaki gazlar genişlerken küçük gözenekleri oluşturur. Kabarma işlemi ile kek sindirilmesi daha kolay ve daha lezzetli hale gelir (Kıranlı, 2006).

2.3.Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM)

Yanıt Yüzey Yöntemi olarak da bilinen ‘Response Surface Methodology (RSM)’ ilk kez 1951 yılında Box ve Wilson tarafından süreç ve ürün geliştirme amacıyla tasarlanan araçlardan biridir. Bir veya birden fazla yanıt değişkeniyle deneysel değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla yapılan istatistiksel ve matematiksel optimizasyon tekniklerinden oluşur (Demirdöven, 2009; Alaeddini et al., 2014). RSM genellikle yeni ürün formülasyonu oluşturmada, süreç optimizasyonunda, sürecin iyileştirilmesi ve geliştirilmesinde ve var olan ürün tasarımının iyileştirilmesinde kullanılır (Kılıçkap and Hüseyinoğlu, 2010).

Mühendislik, kimya ve gıda endüstrileri, fen bilimleri, sosyal bilimler gibi birçok alanda kullanılan bir metoddur. RSM, Box ve Draper (1987) tarafından “empirik model geliştirmek ve bu modeli değerlendirmek için kullanılan bir grup istatistiksel teknikler topluluğudur. Dikkatlice dizayn ve analiz edilmiş deneylerle, bağımsız bir değişken ile onu etkileyen bir grup kontrol edilebilir değişken arasındaki ilişkiyi araştırır” şeklinde tanımlanırken; Myers ve Montgomery (1995) tarafından “proseslerin geliştirilmesi ve optimizasyonu için gerekli bir takım

istatistiksel ve matematiksel tekniklerinin bir arada kullanıldığı bir yöntem” şeklinde açıklanmıştır (Eren, 2011). Yanıt Yüzey Yöntemi, denemelerin tasarımı/dizaynı, model tasarımı/regresyon analizi, ANOVA ile varyans analizi ve optimizasyon aşamalarından oluşmaktadır. RSM’de, sistemdeki yanıtlar ve değişkenler aynı zamanda incelenmektedir.

Yanıt yüzey yönteminin prensibi, regresyon denklemleriyle değişkenler ve ürün arasındaki bağlantının belirlenmesidir. Tasarım için değişkenlerin belirlenmesi, bağımsız değişkenlerin aralıklarının belirlenmesi, deneme deseninin tasarlanması ve denemelerin yapılması, denemeler sonucu verilerin optimize edilmesi, incelenmesi ve model grafiklerinin çizilmesi olmak üzere dört basamaktan oluşur (Özdikicierler, 2016). Yanıtların optimum noktaya yaklaşmasıyla birlikte optimum nokta yüzeyinde eğrilik belirginleşmekte ve birinci dereceden denklemler kullanılarak eğriliğin olduğu nokta test edilmektedir (Eren, 2011). Bu noktanın tahminlenmesinde genellikle ikinci derece polinimiyal denklemler, eksponensiyel denklemler ve üssel denklemler kullanılmaktadır (Koç ve Kaymak-Ertekin, 2010). Yanıtlar ve faktörler arasındaki ilişkiyi inceleyen birçok deneysel tasarım vardır. En yaygın kullanılanlar ise Box-Behnken ve Yüzey Merkezli Kompozit Dizayndır (Özdikicierler, 2016). İkinci dereceden modeller, birinci dereceden modellere kıyasla tahminlemede kolaylık sağlamaktadır. En düşük kareler yöntemi ile karmaşık hesaplamalar yapmadan kolaylıkla tahmin edilmekte ve matematiksel olarak optimum nokta daha kolay bir şekilde belirlenebilmektedir. Açıklama aşaması zor olsa da daha yüksek dereceli denklemler veya kübik denklemler de yanıtın modellenmesinde kullanılabilmektedir (Koç ve Kaymak-Ertekin, 2010).

Sistemin verdiği yanıt, bağımsız değişkenin lineer fonksiyonu olarak iyi bir şekilde uyumluysa, model birinci derecede denklemden yararlanabilir (Eşitlik 2.1.).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (2.1.)$$

Eğer modelin yanıt yüzeyinde eğrilik bulunuyorsa, model ikinci derecede denklemden faydalanabilir (Eşitlik 2.2.) (Özdikicierler, 2016).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=0}^k \beta_i X_i + \sum_{i=0}^k \beta_{ij} X_i^2 + \sum_{i < j}^2 \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (2.2.)$$

Eşitlikte bulunan Y bağımsız değişkeni, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_k$ bilinmeyen regresyon parametrelerini, X_i ve X_j karar değişkenlerini ($i=1,2,3, \dots, k$ ve $j=1,2,3, \dots, k$), ε ise hata terimini ifade etmektedir (Kılıçkap ve Hüseyinoğlu, 2010).

Optimizasyon için, seçilen tüm yanıtların 0-1 arasında değişen “desirability fonksiyonu” yaklaşımıyla istenen sonuçları verecek şekilde maksimize edilmesi gerekir. Bu değer 1’e yaklaştıkça belirlenen fonksiyonların sağlandığı anlaşılır. Her yanıt için ayrı ayrı hesaplanıp, geometrik ortalamaları alınarak toplu istenebilirlik (desirability) değeri hesaplanır (Koç ve Kaymak-Ertekin, 2010).

Model ile deneysel veri arasındaki uyum da regresyon katsayısı (R^2), düzeltilmiş regresyon katsayısı ($\text{adj-}R^2$), varyasyon katsayısı (%C.V.), tekrar edilebilirlik katsayısı (adeq-precision), tahminlenmiş kalıntı hata kareler toplamı (PRESS) ve lack of fit değeri ile model uygunluğunu belirleme gibi yanıtlarla test edilebilmektedir. Modelde R^2 ’nin 0.95 üzerinde olması, $\text{adj-}R^2$ değerinin minimum 0.80 olması, %C.V. değerinin %10’dan düşük olması ve adeq-precision değerinin 4’ten yüksek olması beklenmektedir (Eren, 2011).

3. MATERİYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Materyal

3.1.1. Hammadde

Bu tez çalışmasında kullanılan *Spirulina*, İzmir Torbalı'daki yerel bir üreticiden (Ahal İzyosun Üretim Ticaret Limited A.Ş.) temin edilmiştir. Şeker (Migros, Türkiye), buğday unu (Sinangil, Türkiye), ayçiçekyağı (Yudum, Türkiye), vanilya tozu (Dr. Oetker) ve kabartma tozu (Pakmaya, Türkiye) yerel marketlerden satın alınmıştır. Ksantan gam Biokim & Wenda A.Ş.'den temin edilmiştir. *Spirulina* ve ksantan gam numuneleri +4 °C'de buzdolabında depolanmıştır.

3.1.2. Kimyasallar

Tez çalışmasında kullanılan kimyasallar firmalar aracılığıyla tedarik edilmiştir.

2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Sigma aldrich)

2,2-Azino-Bis (3-Ethylbenzthiazoline-6-Sülfonic AC) (ABTS) (Sigma aldrich)

Gallic acid, monohydrate, ACS reagent, =98% (Sigma aldrich)

(S)-Trolox (TM) Methyl Ether (Sigma aldrich)

Folin-Ciocalteu'S Phenol Reagent (Merck)

Etanol (>%99, HPLC grade)

Metanol (>%99, HPLC grade)

Analizlerde kullanılan diğer kimyasallar Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden kullanılmıştır.

3.1.3. Alet ve Ekipmanlar

Spektrofotometre (Agilent Technologies, Cary 60, ABD)

Doku Analizörü (Stable Micro Systems, TA.XT Plus UK)

El Tipi Kolorimetre (Konica Minolta CR-300)

Çalkalamalı Su Banyosu (Memmert, Almanya)

Ultra Saf Su Cihazı (Human, Zeneer Power I, Kore)

Etüv (Dedeoğlu, Türkiye)

Vakumlu Etüv (Sanyo, Gallenkamp)

Kül Fırını (Heraeus, Almanya)

Analitik Terazı (Sartorius, Almanya)

Ev Tipi Mikser (Fakir, Erica 600 W)

Ev Tipi Fırın (Franke, İsviçre)

İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik-Emisyon Spektrometresi (ICP-OES)

(Thermo Fisher Scientific ICAP 6000)

Soğutmalı santrifüj (Thermo IEC CL31R, Almanya)

PTFE şırınga filtre (Isolab, Almanya)

Buzdolabı (Bosch, Almanya)

Desikatör

Kuarz spektrofotometre küveti

Beyaz Bant Filtre Kağıdı

Mavi Bant Filtre Kağıdı (külsüz ve kül içeren)

Vorteks

Analitik terazi (Sartorius, Almanya)

10-100 µL'lik ve 100-1000 µL'lik otomatik pipetler (Brand, Almanya)

3.2.Yöntemler

3.2.1. Araştırma Planı

Bu tez çalışması;

1. *Spirulina*'nın temin edilmesi ve besin içeriğinin belirlenmesi,
2. *Spirulina* ile zenginleştirilmiş vegan kek formülasyonu için ön denemelerin yapılması ve gerekli olan minimum ve maksimum *Spirulina*, un, yağ ve şeker miktarlarının belirlenmesi

3. *Spirulina*'nın vegan kek formülasyonuna dahil edilmesi (Yüzey Merkezli Kompozit Dizayn)
4. Deneme deseninde yer alan formülasyondaki keklerin pişirilmesi ve fiziksel (doku, renk), kimyasal (fenolik madde içeriği, antioksidan aktivite (ABTS), protein) ve duyuşsal özelliklerinin belirlenmesi
5. Vegan kek formülasyonunu oluşturmak için gerekli olan optimum *Spirulina*, un, şeker ve yağ miktarlarının belirlenmesi
6. Optimum vegan kek formülasyonu kullanılarak üretilen kekin doğrulama denemelerinin yapılması
7. Elde edilen optimum vegan kek formülasyonunda ürünün fiziksel ve kimyasal analizlerle karakterize edilmesi olmak üzere 7 aşamadan oluşmaktadır.

3.2.2. Yanıt Yüzey Yöntemi

Spirulina ile zenginleştirilmiş vegan kek formülasyonunun optimize edilmesi için Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM) kullanılmıştır. Değişkenler ile yanıtlar arasındaki matematiksel modellerin geliştirilebilmesi için gerekli olan deneysel veriler Yüzey Merkezli Kompozit Dizayn (Face-Central Composite Design) kullanılarak elde edilmiştir. Deneme planı ve modellemesi Design-Expert 13.0 yazılımında gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon için *Spirulina* miktarı, şeker miktarı, un miktarı ve yağ miktarı olarak dört nümerik faktör kullanılmıştır. Bu faktörlerin alt ve üst limitleri Çizelge 3.1'de yer almaktadır.

Çizelge 3.1. *Spirulina* ile zenginleştirilmiş vegan kek formülasyonu optimizasyonu için bağımsız değişkenler ve seviyeleri

Faktörler	Bağımsız değişkenler	Değişken seviyeleri		
		-1	0	1
x₁	<i>Spirulina</i> (g)	5	10	15
x₂	Şeker (g)	90	100	110
x₃	Un (g)	90	100	110
x₄	Yağ (g)	25	32.5	40

Bağımsız değişken olarak seçilen *Spirulina*, şeker, un ve yağ miktarlarıyla oluşturulan 30 denemeyi içeren deneme deseni Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Yüzey Merkezli Kompozit Dizayn ile oluşturulan deneme deseni

Deneme No	<i>Spirulina</i> (g)	Şeker (g)	Un (g)	Yağ (g)
1	5	90	90	25
2	15	90	90	25
3	5	110	90	25
4	15	110	90	25
5	5	90	110	25
6	15	90	110	25
7	5	110	110	25
8	15	110	110	25
9	5	90	90	40
10	15	90	90	40
11	5	110	90	40
12	15	110	90	40
13	5	90	110	40
14	15	90	110	40
15	5	110	110	40
16	15	110	110	40
17	5	100	100	32.5
18	15	100	100	32.5
19	10	90	100	32.5
20	10	110	100	32.5
21	10	100	90	32.5
22	10	100	110	32.5
23	10	100	100	25
24	10	100	100	40
25	10	100	100	32.5
26	10	100	100	32.5
27	10	100	100	32.5
28	10	100	100	32.5
29	10	100	100	32.5
30	10	100	100	32.5

Spirulina ile zenginleştirilmiş vegan kek formülasyonunun optimizasyonunda pişirme kaybı (Y_1), sertlik (Y_2), $L^*_{iç}$ (Y_3), $L^*_{dış}$ (Y_4), protein (Y_5), toplam fenolik madde miktarı (Y_6), antioksidan aktivite miktarı (Y_7) ve genel beğeni (Y_8) olmak üzere 8 yanıt kullanılmıştır.

Oluşturulan deneme deseninde her bir deneme için 2 tekrar 2 paralel olmak üzere vegan kek üretimi ve analizleri yapılmıştır. Örneklerde yapılan pişirme kaybı, sertlik, renk ($L^*_{iç}$ ve $L^*_{dış}$), protein, toplam fenolik madde, antioksidan aktivite ve genel beğeni analiz sonuçlarına göre bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklayan regresyon modellerini elde etmek hedeflenmiştir. Modele ait katsayıları sabit terim, *Spirulina* miktarı, şeker miktarı, un miktarı ve yağ miktarı için lineer terim katsayıları A, B, C ve D, etkileşim terim katsayıları AB, AC, AD, BC, BD ve CD, kuadratik terim katsayıları A^2 , B^2 , C^2 ve D^2 olarak ifade edilmiştir. Modellerin üç boyutlu (3D) yanıt yüzey grafikleri elde edilmiştir.

Spirulina ile zenginleştirilmiş vegan kek formülasyonu “desirability fonksiyonu” metoduna göre eş zamanlı olarak ortalama pişirme kaybı, minimum sertlik, maksimum $L^*_{iç}$, maksimum $L^*_{dış}$, maksimum protein, maksimum toplam fenolik madde içeriği, maksimum antioksidan aktivite miktarı ve maksimum genel beğeni koşullarını sağlayacak şekilde belirlenmiştir.

Optimizasyon sonucunda optimum *Spirulina*, şeker, un ve yağ içeren vegan kek formülasyonu belirlenmiş ve optimum formülasyonda üretilen keklerde 5 tekrarlı doğrulama denemeleri yapılmıştır. Optimum koşulda üretilen keklerden elde edilen deneysel verilerle, programın verdiği matematiksel modelden elde edilen veriler arasında anlamlı bir farklılığın olmadığı tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılarak belirlenmiş olup optimum *Spirulina*, şeker, un ve yağ miktarının doğruluğu kanıtlanmıştır.

3.2.3. Keklerin Hazırlanışı

Vegan kek üretiminde, Aida et al. (2018) tarafından uygulanan metot modifiye edilerek standart kek üretim prosedürü kullanılmıştır. Formülasyona şeker, buğday unu, yağ, su, kabartma tozu ve vanilyaya ek olarak *Spirulina* tozu ilave edilmiştir. Kabartma tozu (3.5 g), vanilya (3.5 g) ve ksantan gam (0.55 g) miktarları sabit tutulmuştur. Ürünlerin formülasyonundaki *Spirulina* tozu, şeker, un ve yağ miktarları deneme deseninde belirlenen miktarlara göre kullanılmıştır. Kontrol keki, 110 g buğday unu, 100 g şeker, 33.50 g yağ, 3.50 g vanilya, 3.50 g

kabartma tozu ve 0.55 g ksantan gam kullanılarak yapılmıştır. Toplam kek hamuru 350 g'a ayarlanacak şekilde formülasyona su ilave edilmiştir.

Kek üretimi aşamasında şeker, yağ ve su ev tipi mikser (Fakir, Erica 600 W) kullanılarak maksimum hızda 5 dakika karıştırılmıştır. Ardından buğday unu, kabartma tozu, vanilya ve *Spirulina* tozu ilave edilmiş ve minimum hızda 5 dakika karıştırılmıştır. Kek hamuru, 500 g'lık kek kalıbına dökülmüş ve 175 °C'de 30 dakika boyunca ev tipi fırında (Franke, İsviçre) pişirilmiştir. Pişirme işleminden sonra kek örnekleri oda sıcaklığına soğutulmuş ve bekletilmeden analize alınmıştır. Kek hamurlarına ve pişirilen keklere ait görüntüler Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kontrol grubu ve *Spirulina* içeren kek hamurları



Şekil 3.2. Kontrol grubu ve *Spirulina* içeren pişirilmiş kekler

3.2.4. Analiz Yöntemleri

Hammaddeye, Yüzey Merkezli Kompozit Dizayn deneme deseni ile elde edilen formülasyonlarla üretilen keklere ve optimum noktadaki formülasyon ile üretilen keklere uygulanan analizler Çizelge 3.3 'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Ürün grupları ve yapılan analizler

Analizler	Hammadde	Yüzey Merkezli Kompozit Dizayn Deneme deseni üretilen kekler	Optimum formülasyon koşulunda üretilen kekler
Nem tayini	√		√
Kül tayini	√		√
Yağ tayini	√		√
Protein tayini	√	√	√
Karbonhidrat tayini	√		√
Enerji değeri	√		√
Amino asit tayini	√		√
Mineral madde tayini	√		√
Fikosiyanin tayini	√		√
Klorofil analizi	√		√
Toplam fenolik madde	√	√	√
Antioksidan aktivite	√	√	√
Renk tayini		√	√
Piştirme kaybı		√	√
Spesifik hacim			√
Simetri indeksi			√
Hacim indeksi			√
Tekdüzelik indeksi			√
Doku profili analizi		√	√
Duyusal değerlendirme		√	√
İstatistiksel değerlendirme	√		√

3.2.4.1. Nem tayini

Nem tayini AACC 44.40 numaralı yönteme göre yapılmıştır. Kek örnekleri vakumlu etüvde (Sanyo, Gallenkamp) vakum altında sabit tartıma gelene kadar tutulmuştur (AACC, 2000).

Nem kapları sabit tartıma getirilmiş ve 2 g örnek (*Spirulina*) tartılmıştır. Örnekler, 105 °C'deki etüvde (Dedeoğlu, Türkiye) sabit tartıma ulaşana kadar

tutulmuştur. Desikatörde oda sıcaklığına getirilen örnekler tartılmış ve nem içerikleri (%) Eşitlik 3.1. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% Nem = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} * 100 \quad (3.1.)$$

m_0 : Nem kabının darası (g)

m_1 : Nem kabı ile kurutmadan önce tartılan örnek miktarı toplamı (g)

m_2 : Nem kabı ile kurutmadan sonra tartılan örnek miktarı toplamı (g)

3.2.4.2.Kül tayini

Kül tayini için AOAC 923.03 numaralı gravimetrik yöntem kullanılmıştır (AOAC, 2007). Krozeler sabit tartıma getirilmiş ve 2 g örnek tartılmıştır. Önce örneklerle duman çıkışı bitene kadar ön yakma işlemi uygulanmıştır. Ardından 550 °C'deki kül fırınında (Heraeus, Almanya) beyaz kül elde edilene kadar yakılmıştır. Desikatörde oda sıcaklığına soğutulan örnekler tartılmış ve kül içerikleri (%) Eşitlik 3.2. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% Kül = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} * 100 \quad (3.2.)$$

m_1 : Krozenin darası (g)

m_2 : Kroze ile yakmadan önce tartılan örnek miktarı toplamı (g)

m_3 : Kroze ile yakmadan sonra tartılan örnek miktarı toplamı (g)

3.2.4.3.Protein analizi

Örneklerin protein içeriği AACC 46.30 Dumas yöntemi ile belirlenmiştir. Dönüşüm faktörü olarak 6.25 kullanılmıştır (AACC, 2000).

3.2.4.4. Yağ analizi

Örneklerin yağ içeriği AOAC 945.16 Soxhlet yöntemi ile belirlenmiştir (AOAC, 2007). Kaba filtre kağıdına 15 g örnek tartılmış ve gövdenin içine yerleştirilmiştir. Üzerine hekzan eklenmiş ve gövdeler sisteme yerleştirilmiştir. Berraklaşma elde edilince ekstraksiyon tamamlanmıştır. Ardından balon, hekzanı uçurmak için döner evaporatöre (80 °C) bağlanmıştır. Evaporatörden alınan balonlar sabit tartıma gelene kadar 105 °C'deki etüvde bekletilmiştir. Desikatörde oda sıcaklığına getirildikten sonra yağ miktarı (%) Eşitlik 3.3. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% Yağ = \frac{m_3 - m_1}{m_2} * 100 \quad (3.3)$$

m_1 : Balonun darası (g)

m_2 : Örnek miktarı (g)

m_3 : Balon ile yağ miktarının toplamı (g)

3.2.4.5. Karbonhidrat tayini

Örneklerin toplam karbonhidrat miktarı Eşitlik 3.4.'e göre belirlenmiştir (AOAC, 2007).

$$\% Toplam karbonhidrat = 100 - (\%Nem + \%Kül + \%Protein + \%Yağ) \quad (3.4.)$$

3.2.4.6. Enerji değeri

Örneklerin enerji değerleri Atwater kalori sabitleri kullanılarak Eşitlik 3.5.'e göre hesaplanmıştır (Schakel et al., 2009).

$$Enerji \left(\frac{kcal}{100g} \right) = 4 * (\%Karbonhidrat + \%Protein) + 9 * (\%Yağ) \quad (3.5.)$$

3.2.4.7.Toplam fenolik madde analizi

Örneklerin ekstraksiyonu, Garcia-Salas et al. (2010)'un modifiye yöntemi kullanılarak yapılmıştır. 4 g örneğe 8 ml %80'lik methanol (h/h) ilave edilmiş ve 1 saat boyunca 50 °C'de çalkalamalı su banyosunda ekstrakte edilmiştir. Ardından ekstraktlar santrifüj (4 °C, 15 dakika, 4000 rpm) edilmiş ve Whatmann No.1 filtre kağıdından süzölmüştür. Süpernatant, %80'lik methanol ile 10 ml'ye tamamlanmıştır. Elde edilen ekstraktlar toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite analizlerinde (ABTS ve DPPH) kullanılmıştır.

Toplam fenolik madde analizinde Heimler et al. (2006) tarafından önerilen Folin-Ciocalteu yöntemi modifiye edilerek kullanılmıştır. 50 µl örnek (ekstrakt, standart ve %80'lik methanol (kör çözelti için)) alınmış ve üzerine 3 ml saf su ile 250 µl Folin-Ciocalteu reaktifi ilave edilmiştir. Ardından 750 µl %7'lik Na₂CO₃ eklenip, vorteklenmiş ve 8 dakika boyunca oda sıcaklığındaki karanlık bir ortamda bekletilmiştir. 950 µl saf su eklenmiş ve karanlıkta 2 saat bekletilmiştir. Daha sonra örneklerin absorbansı spektrofotometrede (765 nm) ölçölmüştür.

Uygun konsantrasyonlarda (0, 50, 100, 150, 200 ve 250 ppm) gallik asit standartları hazırlanmış ve standart bir eğri oluşturulmuştur. Örneklerin toplam fenolik içerikleri, mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/100 g kuru ağırlık (KM) olarak ifade edilmiştir. Analizler, her örnek için 3 paralelli olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

3.2.4.8.Antioksidan aktivite analizleri

3.2.4.8.1. ABTS yöntemi ile antioksidan aktivite analizi

Örneklerin, ABTS antioksidan aktivite analizi, Re et al. (1999) modifiye yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yöntem, ABTS+ radikali tarafından tutulan antioksidan özellikteki madde miktarının standart eğri kullanılarak belirlenmesine dayanmaktadır.

2.45 mM potasyum persülfat içeren 7 mM'lık ABTS çözeltisi hazırlanmış ve 12-16 saat boyunca, oda sıcaklığındaki karanlık bir ortamda bekletilmiştir. Elde edilen bu ABTS+ radikali stok çözeltisi saf etanol ile seyreltilerek ABTS çalışma çözeltisi oluşturulmuştur. Çalışma çözeltisinin 734 nm'deki absorbansı $0,70 \pm 0,03$ olacak şekilde seyreltilmiştir.

40 µl olacak şekilde örnek ekstraktları alınmış ve üzerlerine 3690 µl absorbansı ayarlanan ABTS çalışma çözeltisi eklenmiştir. Kör çözelti için 40 µl saf etanol alınmış ve üzerine 3690 µl absorbansı ayarlanan ABTS çalışma çözeltisi eklenmiştir. Kör çözeltinin absorbansı 0. dakikada 734 nm'de spektrofotometrede okunmuştur. Örneklerin absorbansları 6 dakika karanlıkta bekletildikten sonra 734 nm'de okunmuştur.

Uygun konsantrasyonlarda (0.5, 1, 1.5 ve 2 mM) troloks standartları hazırlanmış ve standart bir eğri oluşturulmuştur. Örneklerin ABTS değerleri, örneklerin % inhibisyon değeri ve Trolox standart eğrisi kullanılarak µmol Trolox eşdeğeri (TE)/100 g kuru ağırlık (KM) olarak hesaplanmıştır.

3.2.4.8.2. DPPH yöntemi ile antioksidan aktivite analizi

Örneklerin DPPH antioksidan aktivite analizi, Cemeroğlu (2007) ve Sun et al. (2007) tarafından uygulanan yöntemler modifiye edilerek yapılmıştır. %80'lik metanol çözeltisi ile 0.1 mM'lık DPPH çözeltisi hazırlanmıştır. Örnek ekstraktlarından, troloks standartlarından ve kör çözeltiden (% 80'lik methanol) 30 µl alınmıştır. Üzerlerine 0.1 mM'lık DPPH çözeltisinden 1970 µl ilave edilmiş ve vortekslenmişlerdir. Çözeltiler, 20 dakika boyunca karanlıkta bekletilmiş ve spektrofotometrede (515 nm) absorbansları ölçülmüştür. Analizde kullanılan DPPH çözeltisinin (0.1 mM) absorbansı belirlenmiş ve $A_{kontrol}$ olarak kaydedilmiştir.

Uygun konsantrasyonlarda (0.2, 0.4, 0.6, 0.8 ve 1 mM) troloks standartları hazırlanmış ve standart bir eğri oluşturulmuştur. Örneklerin % inhibisyon değerleri ve troloks standart eğrilerinin (Eşitlik 3.6.) kullanılarak örneklerin DPPH serbest radikal azaltma potansiyeli belirlenmiştir. Sonuçlar µmol Trolox eşdeğeri (TE)/100 g kuru ağırlık (KM) olarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ İnhibisyon} = \frac{A_{\text{örnek}} - A_{\text{kontrol}}}{A_{\text{kontrol}}} * 100 \quad (3.6.)$$

3.2.4.9.Mineral madde analizi

2.5 g kek örneği porselen krozeeye tartılmıştır. Önce ön yakma ünitesinde yakılmış ve 550 °C’de kül fırınında tutulmuştur. Açık gri-beyaz renge sahip olana kadar yakma işlemine devam edilmiştir. Küller, 3 kere 2 ml 6 N HCl ile çözündürülmüş ve beyaz bant filtre kağıdından süzölmüştür. Filtre kağıdı 9 ml ultra saf su ile yıkandıktan sonra süzöntünün hacmi 25 ml’ye ultra saf su ile tamamlanmıştır (López et al. 2008). Elde edilen çözeltiiler kullanılarak Fe, Ca, Mg, Na ve K ölçömleri, Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (AAS) ile gerçekleştirilmiştir. Okumalar 3 tekrarlı 2 paralelli olacak şekilde yapılmıştır.

3.2.4.10. Fikosiyanin analizi

Ham fikosiyanin yüzdesi, Güroy (2019) tarafından uygulanan yöntemeye göre belirlenmiştir. Tüm deney gruplarına ait örneklerin kuru ağırlığı hesaplanmıştır. Ham fikosiyanin yüzdesini belirlemek için her gruptan 40 mg örnek tartılıp, 10 mL 100 mM fosfat tamponu ilave edilmiş ve tamamen çözünene kadar karıştırılmıştır. Örnekler gece boyunca, buzdolabında 4 °C’de bekletilmiştir. Daha sonra örnekler, 10 °C’de, 3500 rpm’de 5 dakika santrifüj edilip ve mavi süpernatant spektrofotometrik analiz için ayrılmıştır. Elde edilen mavi süpernatanın absorbansı spektrofotometre (620 nm) ile ölçölmüştür. Kör olarak fosfat tamponu kullanılmıştır. Ham fikosiyanin yüzdesi Eşitlik 3.7.’ye göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Ham Fikosiyanin} = \frac{A(620) * 10 * 100}{3.39 * \text{örnek miktarı (mg)} * (\% \text{KM})} \quad (3.7.)$$

3.2.4.11. Klorofil analizi

Örneklerin klorofil miktarı, Lichtenthaler (1987) ve Viña et al. (2007) tarafından uygulanan metodlar modifiye edilerek belirlenmiştir. 0.6 g örnek tartılmış ve 6 ml %80’lik (h/h) aseton ile 0 °C ‘de ekstrakte edilmiştir. Ekstraktlar santrifüj (0 °C, 20 dakika, 4500 rpm) edilip, Whatmann No.1 filtre kağıdından

süzülmüştür. Ekstrakt hacimleri 10 ml'ye tamamlanmıştır. Örnek absorbensları spektrofotometrede 645 nm ve 663 nm'de okunmuştur. Örneklerin, klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil miktarı mg/100 g kuru ağırlık (KM) cinsinden hesaplanmıştır.

3.2.4.12. Amino asit analizi

Örneklerin amino asit içeriği Ata et al. (2023) tarafından uygulanan yöntemle göre belirlenmiştir. 0,1 g homojenize edilmiş örnek tartılmıştır ve üzerine 5 ml 6 N HCl eklenmiştir. Daha sonra 250 µl 2 mM Fenol ve 0.1 g Na₂SO₃ ilave edilmiştir. 24 saat süreyle 110 °C'deki etüvde bekletilmiştir. Ardından örneğin pH'ı 5 N NaOH ile 6.7 ile 7.3 aralığında olacak şekilde ayarlanmıştır. Toplam hacim su ile 25 ml'ye tamamlanmıştır. Santrifüj (4000 rpm, 5 dk) edildikten sonra filtreden geçirilmiş ve vialle aktarılmıştır. Zorbax Eclipse AAA (15 cm x 4.6 mm x 3.5 µm) kolonu ile donatılmış HPLC sistemine (Shimadzu Nexera XR) 9 µl örnek enjekte edilmiştir. Örneklerin amino asit içeriği g/100 g örnek cinsinden hesaplanmıştır.

3.2.4.13. Renk analizi

Örneklerin dış ve iç yüzeylerinden en az beş farklı bölgeden Konica Minolta (CR-300) el tipi kolorimetre kullanılarak renk ölçümü yapılmıştır. Renk değerleri, L* (aydınlık), a* [kırmızılık (+a), yeşillik (-a)], b* [sarılık (+b), mavilik (-b)] olarak ifade edilmiştir.

Örneklerinin, kroma değeri (C*), renk farkı (ΔE*) ve hue açısı (h°) hesaplanmıştır.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (3.8.)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3.9.)$$

$$Hue\ açısı\ (h^\circ) = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (3.10)$$

3.2.4.14. Piştirme kaybı

Piştirme kaybının hesaplanması için piştirme öncesinde kek hamurunun ağırlığı ile pişirildikten sonra 1 saat süreyle soğutulmuş kekin ağırlığı tartılmıştır. Piştirme öncesi kek hamuru ile piştirme sonrası kekin ağırlığının farkı kek hamurunun ağırlığına bölünerek % piştirme kaybı hesaplanmıştır (Eşitlik 3.11) (Martínez-Cervera et al., 2015).

$$Piştirme\ Kaybı = \frac{W_{Hamur} - W_{Kek}}{W_{Hamur}} * 100 \quad (3.11)$$

W_{hamur} : Kek hamurunun ağırlığı (g)

W_{kek} : Pişirilen kekin ağırlığı (g)

3.2.4.15. Spesifik hacim

Spesifik hacim, kolza tohumu yer değiştirme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (AACC, 2000). Tohumlar dereceli bir silindir kaba dökülerek ölçülmüştür (V_1). Kaptaki pişmiş kek örneğinin üzeri kaplanana kadar kolza tohumu eklenmiştir. Eklenen kolza tohumları dereceli silindire aktarılmış ve hacmi ölçülmüştür (V_2). Örneğin spesifik hacmi Eşitlik 3.12.'ye göre hesaplanmıştır.

$$Spesifik\ hacim\ (\frac{cm^3}{g}) = \frac{V_1(ml) - V_2(ml)}{Kekin\ ağırlığı\ (g)} \quad (3.12)$$

3.2.4.16. Simetri, hacim ve tekdüzelik indeksi

Kek örneklerinin yapısal özelliklerinin belirlenebilmesi için simetri indeksi, hacim indeksi ve tekdüzelik indeksi AACC (2000) 10-91 numaralı metoda göre hesaplanmıştır. Pişmiş kekler 1 saat oda sıcaklığında soğutulduktan sonra dikey olarak merkezlerinden kesilip, milimetrik kağıt ile hazırlanmış olan şablonun üzerine kesilmiş yüzeyleri gelecek şekilde yerleştirilmiştir. 20 cm'lik şablonun C noktası merkezde, B ve D noktaları sırasıyla merkezin sol ve sağında 6 cm uzaklıkta yer almaktadır.

Örneklerin hacim, simetri ve tekdüzelik indeksleri aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır.

$$\text{Simetri indeksi (mm)} = 2 * |CC''| - |BB''| - |DD''| \quad (3.13.)$$

$$\text{Tekdüzelik indeksi (mm)} = |BB''| - |DD''| \quad (3.14.)$$

$$\text{Hacim indeksi (mm)} = |BB''| + |CC''| + |DD''| \quad (3.15.)$$

3.2.4.17. Doku profili analizi

Doku profil analizinde kullanılacak keklerden 2 cm kalınlığında dilimler kesilip 36 mm çaplı silindir (P/36R) prop ve 5 kg'lık yük hücresi kullanılarak TAXT Plus Tekstür Analizörü (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, UK) ile doku profili analizi gerçekleştirilmiştir. Analizde kullanılacak parametreler; test edilmeden önceki hız (1 mm/s), test hızı (1 mm/s), test edildikten sonraki hız (5 mm/s), zaman aralığı (5 s), sıkıştırma mesafesi (10 mm), tetikleme kuvveti (5 g) ve gerilme (%40) olacak şekilde belirlenmiştir (Dadalı, 2022).

3.2.4.18. Duyusal analiz

Kek örneklerinin duyusal değerlendirmesi en az 50 eğitimli panelist katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Analiz, hedonik skala (1-9) kullanılarak yapılmıştır (Çizelge 3.4). Panelistler örnekleri renk, doku, lezzet ve genel beğeni yönünden değerlendirmiştir (Onoğur ve Elmacı, 2014).

Çizelge 3.4. Kek örneklerinin duyuşsal analiz formu

Sizi Doç. Dr. Emine NAKİLCOĞLU tarafından yürütölen “*Spirulina (Spirulina platensis)* ile zenginleştirilmiş vegan kek formölasyonlarının yanıt yüzey yöntemi kullanılarak optimizasyonu ve bazı besinsel ve kalite özelliklerinin belirlenmesi” başlıklı Yüksek Lisans Tez Projesi’nin duyuşsal değeriendirmesine katıldığınız için teşekkür ederiz.

Panelistin Adı-Soyadı:
Tarih:
Açıklama: Size verilmiş olan kodlu örneklere renk, doku, lezzet ve genel beğeni açısından aşağıdaki skalayı kullanarak değeriendiriniz.

Renk:

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Hiç	Çok	Orta	Biraz	Ne	Az	Orta	Çok	Çok fazla
Beğenmedim	beğenmedim	derecede beğenmedim	beğenmedim	beğendim ne beğenmedim	beğendim	derecede beğendim	beğendim	beğendim

Doku:

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Hiç	Çok	Orta	Biraz	Ne	Az	Orta	Çok	Çok fazla
Beğenmedim	beğenmedim	derecede beğenmedim	beğenmedim	beğendim ne beğenmedim	beğendim	derecede beğendim	beğendim	beğendim

Lezzet:

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Hiç	Çok	Orta	Biraz	Ne	Az	Orta	Çok	Çok fazla
Beğenmedim	beğenmedim	derecede beğenmedim	beğenmedim	beğendim ne beğenmedim	beğendim	derecede beğendim	beğendim	beğendim

Genel beğeni:

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Hiç	Çok	Orta	Biraz	Ne	Az	Orta	Çok	Çok fazla
Beğenmedim	beğenmedim	derecede beğenmedim	beğenmedim	beğendim ne beğenmedim	beğendim	derecede beğendim	beğendim	beğendim

3.2.4.19. İstatiksel değeriendirme

Yüzey Merkezli Kompozit Dizaynın oluşturulması, modelleme ve optimizasyonun yapılması Design-Expert 13.0 yazılımında gerçekleştirilmiştir. Optimum vegan kek formölasyonunda belirlenen kek özelliklerinin modelden tahminlenen verileri ile deneysel veriler arasındaki istatiksel açıdan farklılığın

belirlenmesi için SPSS 26.0 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelden elde edilen verilerle deneysel veriler arasındaki farklılığın belirlenmesi için tek örneklem t testi uygulanmıştır. Anlamlı farklılıkların önem düzeyi %95 güven aralığında değerlendirilmiştir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1.Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM) ile Oluşturulan Formülasyonların Analiz Sonuçları

RSM'den elde edilen formülasyonlara göre üretilen vegan keklerle uygulanan pişirme kaybı (%), doku profili analizi (sertlik), renk analizi ($L^*_{iç}$ ve $L^*_{dış}$), protein analizi, fenolik madde analizi, antioksidan aktivite analizi (ABTS) ve genel beğeni analiz sonuçları Başlık 4.1.1., 4.1.2., 4.1.3., 4.1.4., 4.1.5., 4.1.6., 4.1.7. ve 4.1.8.'de anlatılmıştır.

4.1.1. Protein Analizi

Deneme deseninde yer alan vegan keklerin protein içerikleri % 2.48 ile % 5.01 aralığında değişiklik göstermiştir. Deneme deseni ve protein analizine ait sonuçlar Çizelge 4.1'da verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yanıt Yüzey Yöntemiyle elde edilen vegan keklerin % protein içerikleri

Deneme	<i>Spirulina</i> miktarı (g)	Şeker miktarı (g)	Un miktarı (g)	Yağ miktarı (g)	Protein içeriği (%)
1	5	90	90	25	2.63 ± 0.06
2	15	90	90	25	4.74 ± 0.06
3	5	110	90	25	2.67 ± 0.10
4	15	110	90	25	3.73 ± 0.09
5	5	90	110	25	2.94 ± 0.21
6	15	90	110	25	4.87 ± 0.15
7	5	110	110	25	2.74 ± 0.20
8	15	110	110	25	4.28 ± 0.08
9	5	90	90	40	2.55 ± 0.02
10	15	90	90	40	4.06 ± 0.16
11	5	110	90	40	2.48 ± 0.21
12	15	110	90	40	3.90 ± 0.04
13	5	90	110	40	3.06 ± 0.07
14	15	90	110	40	5.01 ± 0.17
15	5	110	110	40	2.93 ± 0.17
16	15	110	110	40	4.78 ± 0.34
17	5	100	100	32.5	2.72 ± 0.25
18	15	100	100	32.5	4.34 ± 0.34
19	10	90	100	32.5	3.15 ± 0.08
20	10	110	100	32.5	3.25 ± 0.03
21	10	100	90	32.5	3.33 ± 0.03
22	10	100	110	32.5	3.92 ± 0.29
23	10	100	100	25	3.98 ± 0.04
24	10	100	100	40	3.43 ± 0.03
25	10	100	100	32.5	3.59 ± 0.09
26	10	100	100	32.5	3.08 ± 0.23
27	10	100	100	32.5	2.58 ± 0.13
28	10	100	100	32.5	2.78 ± 0.07
29	10	100	100	32.5	3.37 ± 0.16
30	10	100	100	32.5	3.09 ± 0.10

Bağımsız değişkenlerin % protein içeriğine olan etkileri modifiye edilmiş kuadratik modelle açıklandı. *Spirulina* miktarının (A), un miktarının (C) ve unun ikinci dereceden etkisinin (C²) istatistiksel olarak önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür (p<0.05) (Çizelge 4.2). Uyum eksikliği testinde p değerinin 0.7608 olması uyum eksikliğinin önemsiz olduğunu belirtmektedir (p>0.05). *Spirulina* miktarı arttıkça protein içeriğinde lineer bir artış meydana gelmiştir (p<0.05). Aynı zamanda un miktarının da protein içeriği üzerinde ikinci dereceden bir etkiye sahip olduğu görülmektedir (p<0.05). Vegan keklerin protein içeriği için oluşturulan

regresyon modelindeki değişkenlerin katsayısı Çizelge 4.3'te ve yanıt yüzey grafikleri Şekil 4.1'de yer almaktadır. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi şeker ve yağ miktarının protein içeriğine herhangi bir etkisi olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$).

Çizelge 4.2. Protein içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p-değeri
Model	14,26	3	4,75	47,07	< 0.0001*
A- <i>Spirulina</i>	12,48	1	12,48	123,55	< 0.0001
C-Un	1,1	1	1,1	10,89	0,0028
C ²	0,6841	1	0,6841	6,77	0,0151
Kalıntı	2,63	26	0,101		
Uyum eksikliği	1,94	21	0,0925	0,6768	0,7608**
Saf hata	0,6835	5	0,1367		
Toplam	16,89	29			

* İstatistiksel açıdan anlamlıdır ($p<0.05$).

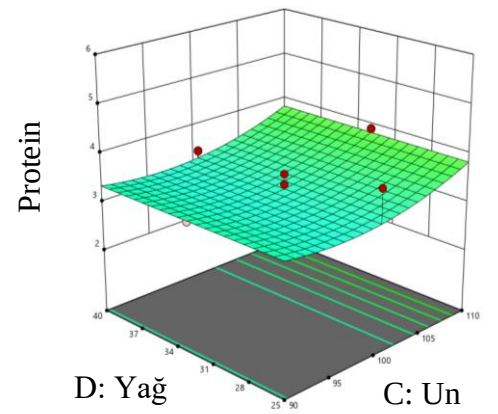
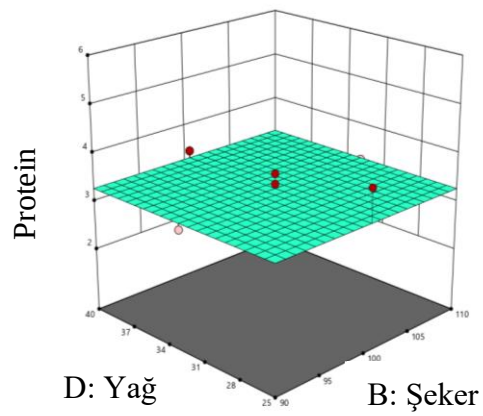
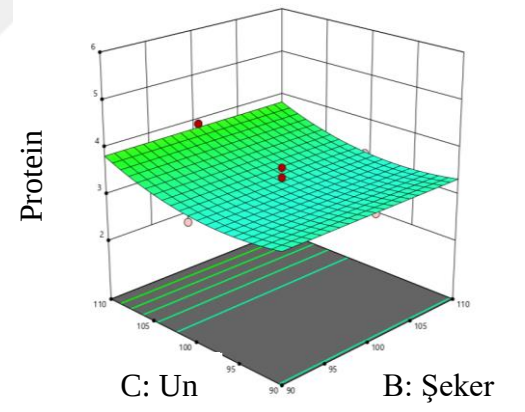
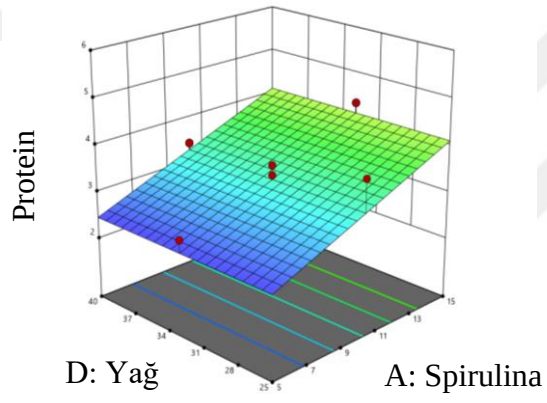
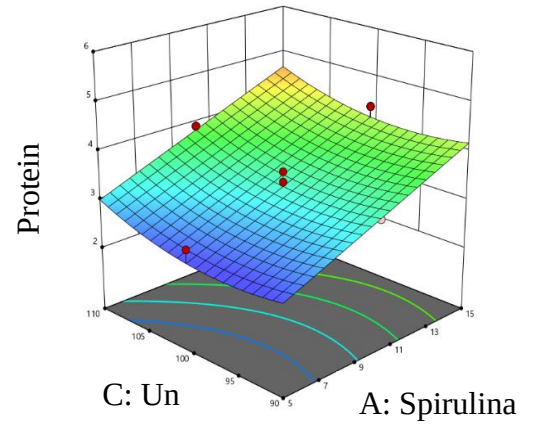
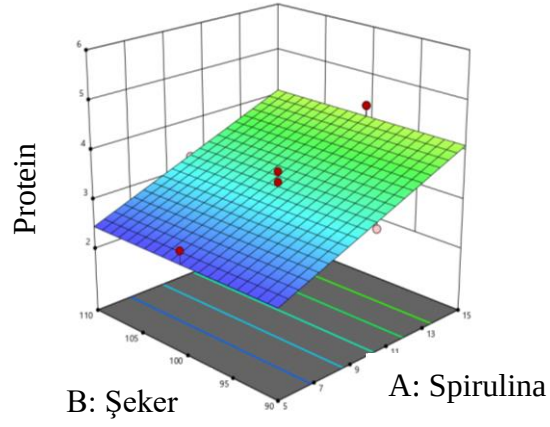
** İstatistiksel açıdan anlamlı değildir ($p>0.05$).

Çizelge 4.3. Protein içeriğine ait modeldeki kodlanmış değişkenlerin katsayısı

Değişkenler	Katsayılar
Sabit	+3.28
A	+0.8327
C	+0.2472
C ²	+0.3082

Protein içeriği için modifiye edilmiş kuadratik regresyon modeli Eşitlik 4.1'deki gibidir.

$$\text{Protein içeriği (\%)} = +3.28 + (0.8327 \cdot A) + (0.2472 \cdot C) + (0.3082 \cdot C^2) \quad (4.1.)$$



Şekil 4.1. Protein içeriği için 3 boyutlu (3D) grafikler

Modelden elde edilen R^2 değeri 0.8445 olarak elde edilmiştir. Bu değer, deneysel verilerdeki değişkenliğin %84.45'inin bu model ile açıklanabildiğini ifade etmektedir. Düzeltilmiş R^2 değeri, 0.8266 olarak elde edilmiştir. Elde edilen değer, modelden öngörülen değerler ve deneysel değerlerin arasında uyumluluk (%82.66) olduğunu göstermektedir (EK 1). R^2 ile düzeltilmiş R^2 değerlerinin birbirine yakın olması modelin uyumlu olduğunu ve istatistiksel olarak anlamsız terimleri içermediğini göstermektedir. Tahminlenen R^2 değeri 0.7984 olarak elde edilmiştir. Tahminlenen R^2 değeri, elde edilen modelin yeni gözlemlerin tahminlenmesinde değişkenliğin %79.84'ünü açıklayabileceğini göstermektedir. Tahminlenen R^2 ve düzeltilmiş R^2 arasındaki farkın 0.2'den az olması beklenir. Bu fark, uyum içerisinde olduğunu gösterir. Yeterli kesinlik değeri 19.1356 olarak verilmiştir. Bu değer 4'ten büyük olması beklenmektedir. Verilerin ortalamaya yakınlığını ifade eden korelasyon katsayısı (%C.V.) değerinin %10'un altında olması istenmektedir. Bu değer %9.17 olarak hesaplanmıştır. PRESS değeri ise 3.41 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değerler sonucunda, modelin yeni gözlemlerin tahminlenmesi açısından yeterli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Protein içeriği için model uygunluğu ile ilgili değerler

Veriler	Değerleri	Veriler	Değerleri
Standart sapma	0,3178	R^2	0,8445
Ortalama	3,47	Düzeltilmiş R^2	0,8266
C.V. (%)	9,17	Tahminlenen R^2	0,7984
PRESS	3,41	Yeterli kesinlik	19,1356

4.1.2. Sertlik Analizi

Deneme deseninde yer alan vegan keklerin sertlik değerleri 10.89 N ile 58.27 N aralığında değişiklik göstermiştir. Deneme deseni ve sertlik değerlerine ait sonuçlar Çizelge 4.5'da verilmiştir.

Çizelge 4.5. Yanıt Yüzey Yöntemiyle elde edilen vegan keklerin sertlik değerleri

Deneme	<i>Spirulina</i> miktarı (g)	Şeker miktarı (g)	Un miktarı (g)	Yağ miktarı (g)	Sertlik (N)
1	5	90	90	25	10.89 ± 0.62
2	15	90	90	25	40.29 ± 2.50
3	5	110	90	25	14.24 ± 0.28
4	15	110	90	25	41.93 ± 1.42
5	5	90	110	25	36.17 ± 0.65
6	15	90	110	25	50.76 ± 2.05
7	5	110	110	25	31.99 ± 0.15
8	15	110	110	25	58.27 ± 0.48
9	5	90	90	40	23.51 ± 0.81
10	15	90	90	40	37.84 ± 1.26
11	5	110	90	40	15.83 ± 0.45
12	15	110	90	40	32.53 ± 2.32
13	5	90	110	40	36.85 ± 2.35
14	15	90	110	40	54.39 ± 0.52
15	5	110	110	40	25.91 ± 1.10
16	15	110	110	40	53.87 ± 3.32
17	5	100	100	32.5	38.58 ± 0.81
18	15	100	100	32.5	33.13 ± 2.33
19	10	90	100	32.5	38.40 ± 0.78
20	10	110	100	32.5	22.80 ± 0.35
21	10	100	90	32.5	21.43 ± 0.40
22	10	100	110	32.5	30.66 ± 0.27
23	10	100	100	25	35.23 ± 1.07
24	10	100	100	40	33.17 ± 1.23
25	10	100	100	32.5	35.15 ± 2.30
26	10	100	100	32.5	38.18 ± 3.84
27	10	100	100	32.5	28.72 ± 0.28
28	10	100	100	32.5	27.79 ± 0.48
29	10	100	100	32.5	30.18 ± 0.44
30	10	100	100	32.5	28.89 ± 0.28

Bağımsız değişkenlerin sertlik değerine olan etkileri modifiye edilmiş lineer modelle açıklandı. *Spirulina* miktarının (A) ve un miktarının (C) istatistiksel olarak önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür ($p < 0.05$) (Çizelge 4.6). Uyum eksikliği testinde p değerinin 0.1663 olması uyum eksikliğinin önemsiz olduğunu belirtmektedir ($p > 0.05$). *Spirulina* miktarı arttıkça sertlik değerinde lineer bir artış meydana gelmiştir ($p < 0.05$). Aynı zamanda un miktarının da sertlik değeri üzerinde lineer bir etkiye sahip olduğu görülmektedir ($p < 0.05$). Vegan keklerin sertliği için oluşturulan regresyon modelindeki değişkenlerin katsayısı Çizelge 4.7’te ve yanıt

yüzey grafikleri Şekil 4.2’de yer almaktadır. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi şeker ve yağ miktarının sertlik değerine herhangi bir etkisi olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$).

Çizelge 4.6. Sertlik değerine ait varyans analiz sonuçları

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p-değeri
Model	2681,95	2	1340,98	35,37	< 0.0001*
<i>A-Spirulina</i>	1587,29	1	1587,29	41,87	< 0.0001
C-Un	1094,67	1	1094,67	28,88	< 0.0001
Kalıntı	1023,54	27	37,91		
Uyum eksikliği	935,46	22	42,52	2,41	0,1663**
Saf hata	88,08	5	17,62		
Toplam	3705,49	29			

* İstatistiksel açıdan anlamlıdır ($p<0.05$).

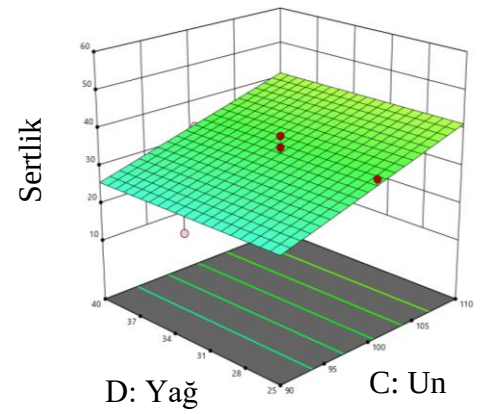
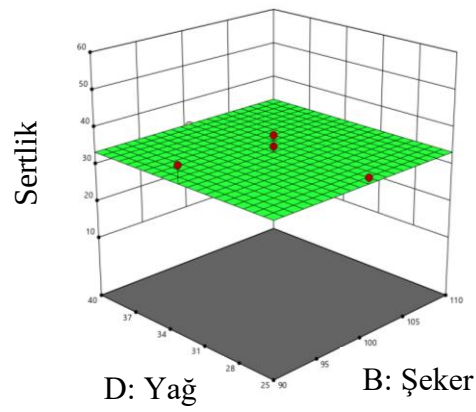
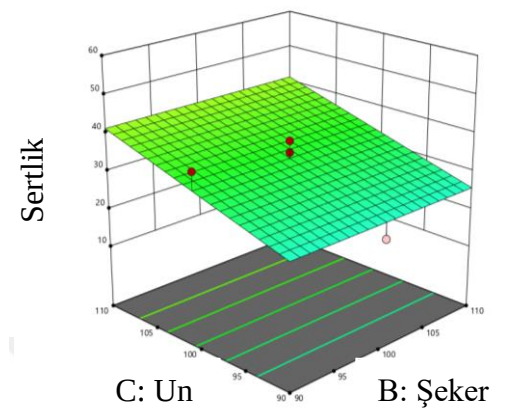
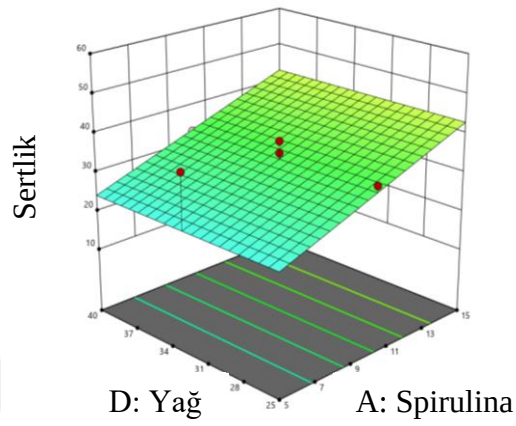
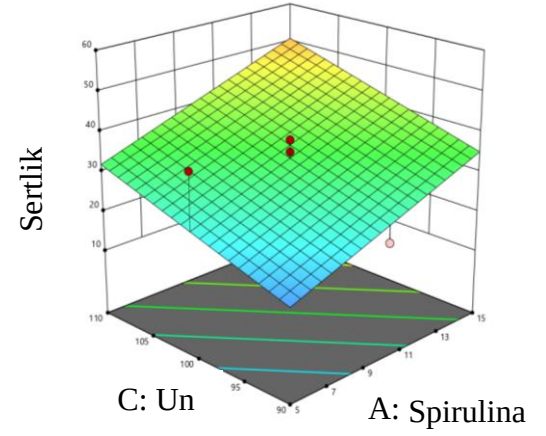
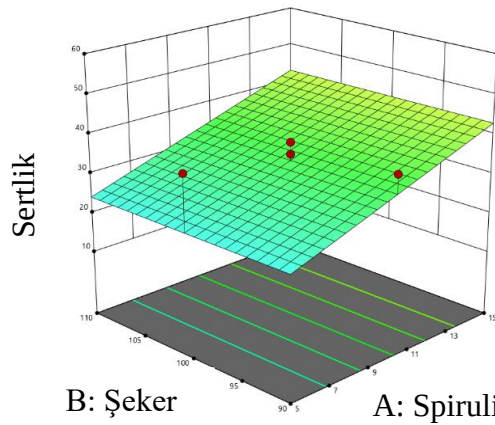
** İstatistiksel açıdan anlamlı değildir ($p>0.05$).

Çizelge 4.7. Sertlik değerine ait modeldeki kodlanmış değişkenlerin katsayısı

Değişkenler	Katsayılar
Sabit	33.59
A	9.39
C	7.8

Sertlik değeri için modifiye edilmiş lineer regresyon modeli Eşitlik 4.2’deki gibidir.

$$\text{Sertlik (N)} = +33.59 + (9.39 \cdot A) + (7.8 \cdot C) \quad (4.2.)$$



Şekil 4.2. Sertlik için 3 boyutlu (3D) grafikler

Modelden elde edilen R^2 değeri 0.7238 olarak elde edilmiştir. Bu değer, deneysel verilerdeki değişkenliğin %72.38'inin bu model ile açıklanabildiğini ifade etmektedir. Düzeltilmiş R^2 değeri, 0.7033 olarak elde edilmiştir. Elde edilen değer,

modelden öngörülen değerler ve deneysel değerlerin arasında uyumluluk (%70.33) olduğunu göstermektedir (EK 2). R^2 ile düzeltilmiş R^2 değerlerinin birbirine yakın olması modelin uyumlu olduğunu ve istatistiksel olarak anlamsız terimleri içermediğini göstermektedir. Tahminlenen R^2 değeri 0.6623 olarak elde edilmiştir. Tahminlenen R^2 değeri, elde edilen modelin yeni gözlemlerin tahminlenmesinde değişkenliğin %66.23'ünü açıklayabileceğini göstermektedir. Tahminlenen R^2 ve düzeltilmiş R^2 arasındaki farkın 0.2'den az olması beklenir. Bu fark, uyum içerisinde olduğunu gösterir. Yeterli kesinlik değeri 17.6567 olarak verilmiştir. Bu değer 4'ten büyük olması beklenmektedir. Korelasyon katsayısı (%C.V.) %18.33 ve PRESS değeri ise 1251.52 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değerler sonucunda, modelin yeni gözlemlerin tahminlenmesi açısından yeterli olduğu düşünülmektedir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Sertlik değeri için model uygunluğu ile ilgili değerler

Veriler	Değerleri	Veriler	Değerleri
Standart sapma	6,16	R^2	0,7238
Ortalama	33,59	Düzeltilmiş R^2	0,7033
C.V. (%)	18,33	Tahminlenen R^2	0,6623
PRESS	1251,52	Yeterli kesinlik	17,6567

4.1.3. Pişirme Kaybı

Deneme deseninde yer alan vegan keklerin pişirme kaybı %10.13 ile %13.77 aralığında değişiklik göstermiştir. Deneme deseni ve pişirme kaybına ait sonuçlar Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Yanıt Yüzey Yöntemiyle elde edilen vegan keklerin % pişirme kaybı

Deneme	<i>Spirulina</i> miktarı (g)	Şeker miktarı (g)	Un miktarı (g)	Yağ miktarı (g)	Pişirme kaybı (%)
1	5	90	90	25	13.04 ± 0.13
2	15	90	90	25	12.84 ± 0.05
3	5	110	90	25	12.23 ± 0.37
4	15	110	90	25	11.75 ± 0.15
5	5	90	110	25	12.19 ± 0.04
6	15	90	110	25	11.99 ± 0.13
7	5	110	110	25	11.41 ± 0.12
8	15	110	110	25	10.67 ± 0.28
9	5	90	90	40	12.84 ± 0.07
10	15	90	90	40	12.99 ± 0.14
11	5	110	90	40	11.42 ± 0.29
12	15	110	90	40	11.27 ± 0.08
13	5	90	110	40	11.96 ± 0.04
14	15	90	110	40	10.81 ± 0.39
15	5	110	110	40	10.51 ± 0.12
16	15	110	110	40	10.13 ± 0.08
17	5	100	100	32.5	12.33 ± 0.27
18	15	100	100	32.5	11.79 ± 0.08
19	10	90	100	32.5	13.77 ± 0.04
20	10	110	100	32.5	11.28 ± 0.09
21	10	100	90	32.5	12.59 ± 0.17
22	10	100	110	32.5	11.13 ± 0.05
23	10	100	100	25	12.21 ± 0.32
24	10	100	100	40	10.71 ± 0.27
25	10	100	100	32.5	11.51 ± 0.14
26	10	100	100	32.5	12.37 ± 0.07
27	10	100	100	32.5	11.66 ± 0.04
28	10	100	100	32.5	12.04 ± 0.13
29	10	100	100	32.5	11.66 ± 0.15
30	10	100	100	32.5	11.99 ± 0.08

Bağımsız değişkenlerin pişirme kaybı üzerindeki etkileri modifiye edilmiş kuadratik modelle açıklandı. *Spirulina* miktarının (A), şeker miktarının (B), un miktarının (C), yağ miktarının (D), şeker miktarının ikinci dereceden etkisinin (B²) ve yağ miktarının ikinci dereceden etkisinin (D²) istatistiksel olarak önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür ($p < 0.05$) (Çizelge 4.10). Uyum eksikliği testinde p değerinin 0.4149 olması uyum eksikliğinin önemsiz olduğunu belirtmektedir ($p > 0.05$). *Spirulina* miktarı arttıkça pişirme kaybında doğrusal bir azalma meydana

gelmiştir ($p<0.05$). Aynı zamanda şeker miktarının ve yağ miktarının pişirme kaybı üzerinde ikinci dereceden bir etkiye sahip olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Un miktarı arttıkça pişirme kaybında doğrusal bir azalma meydana gelmiştir ($p<0.05$). Vegan keklerin pişirme kaybı için oluşturulan regresyon modelindeki değişkenlerin katsayısı Çizelge 4.11’de ve yanıt yüzey grafikleri Şekil 4.3’de yer almaktadır.

Çizelge 4.10. Pişirme kaybına ait varyans analiz sonuçları

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p-değeri
Model	17,32	6	2,89	23,09	$< 0.0001^*$
<i>A-Spirulina</i>	0,7678	1	0,7678	6,14	0,021
B-Şeker	7,7	1	7,7	61,6	< 0.0001
C-Un	5,74	1	5,74	45,88	< 0.0001
D-Yağ	1,8	1	1,8	14,37	0,0009
B ²	0,7131	1	0,7131	5,7	0,0255
D ²	1,32	1	1,32	10,52	0,0036
Kalıntı	2,88	23	0,1251		
Uyum eksikliği	2,37	18	0,1317	1,3	0,4149 ^{**}
Saf hata	0,5055	5	0,1011		
Toplam	20,2	29			

* İstatistiksel açıdan anlamlıdır ($p<0.05$).

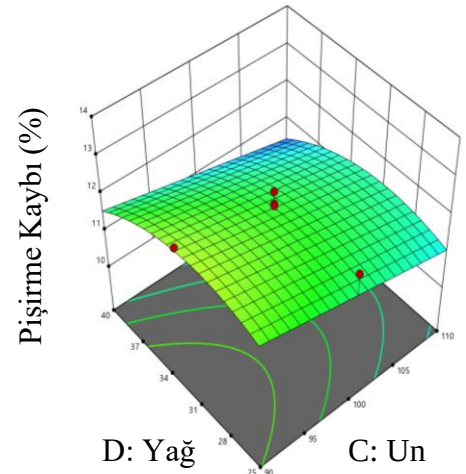
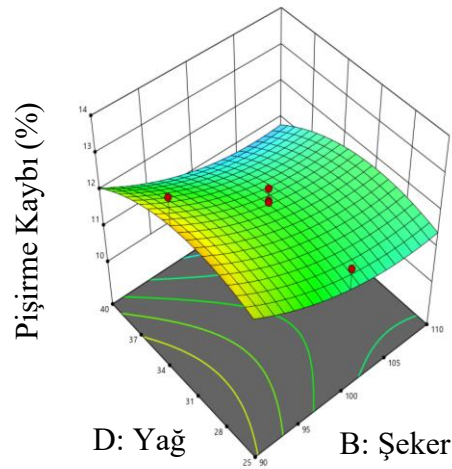
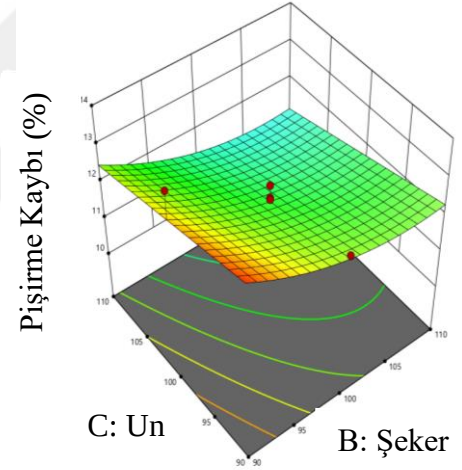
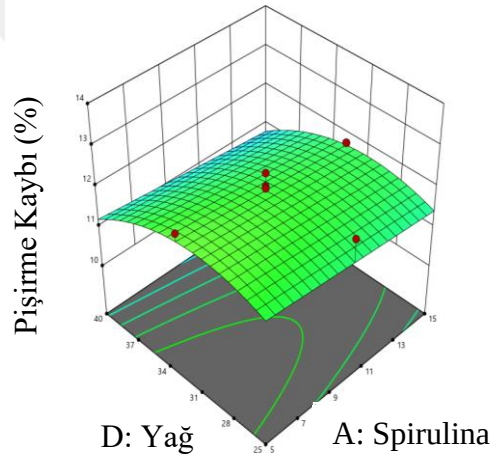
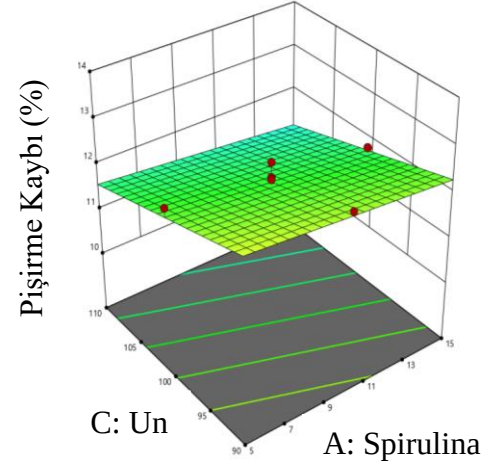
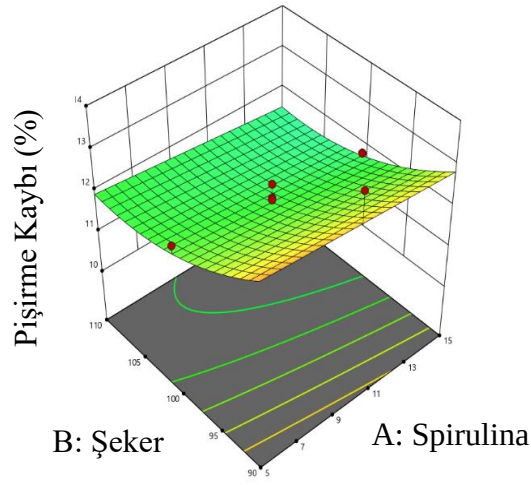
** İstatistiksel açıdan anlamlı değildir ($p>0.05$).

Çizelge 4.11. Pişirme kaybına ait modeldeki kodlanmış değişkenlerin katsayısı

Değişkenler	Katsayılar
Sabit	11.93
A	-0.2065
B	-0.6542
C	-0.5646
D	-0.316
B ²	0.455
D ²	-0.618

Pişirme kaybı için modifiye edilmiş kuadratik regresyon modeli Eşitlik 4.3’teki gibidir.

$$\text{Pişirme kaybı (\%)} = +11.93 + (-0.2065 \cdot A) + (-0.6542 \cdot B) + (-0.5646 \cdot C) + (-0.316 \cdot D) + (0.455 \cdot B^2) + (-0.618 \cdot D^2) \quad (4.3.)$$



Şekil 4.3. Pişirme kaybı için 3 boyutlu (3D) grafikler

Modelden elde edilen R^2 değeri 0.8576 olarak elde edilmiştir. Bu değer, deneysel verilerdeki değişkenliğin %85.76'sının bu model ile açıklanabildiğini ifade etmektedir. Düzeltilmiş R^2 değeri, 0.8204 olarak elde edilmiştir. Elde edilen değer, modelden öngörülen değerler ve deneysel değerlerin arasında uyumluluk (%82.04) olduğunu göstermektedir (EK 3). R^2 ile düzeltilmiş R^2 değerlerinin birbirine yakın olması modelin uyumlu olduğunu ve istatistiksel olarak anlamsız terimleri içermediğini göstermektedir. Tahminlenen R^2 değeri 0.7255 olarak elde edilmiştir. Tahminlenen R^2 değeri, elde edilen modelin yeni gözlemlerin tahminlenmesinde değişkenliğin %72.55'ini açıklayabileceğini göstermektedir. Tahminlenen R^2 ve düzeltilmiş R^2 arasındaki farkın 0.2'den az olması beklenir. Bu fark, uyum içerisinde olduğunu gösterir. Yeterli kesinlik değeri 20.3869 olarak verilmiştir. Bu değer 4'ten büyük olması beklenmektedir. Verilerin ortalamaya yakınlığını ifade eden korelasyon katsayısı (%C.V.) değerinin %10'un altında olması istenmektedir. Bu değer %2.99 olarak hesaplanmıştır. PRESS değeri ise 5.54 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değerler sonucunda, modelin yeni gözlemlerin tahminlenmesi açısından yeterli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Pişirme kaybı için model uygunluğu ile ilgili değerler

Veriler	Değerleri	Veriler	Değerleri
Standart sapma	0,3536	R^2	0,8576
Ortalama	11,84	Düzeltilmiş R^2	0,8204
C.V. (%)	2,99	Tahminlenen R^2	0,7255
PRESS	5,54	Yeterli kesinlik	20,3869

4.1.4. Renk Analizi ($L^*_{iç}$)

Deneme deseninde yer alan vegan keklerin $L^*_{iç}$ rengi 25.28 ile 47.48 aralığında değişiklik göstermiştir. Deneme deseni ve $L^*_{iç}$ rengine ait sonuçlar Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13. Yanıt Yüzey Yöntemiyle elde edilen vegan keklerin $L^*_{iç}$ rengi

Deneme	<i>Spirulina</i> miktarı (g)	Şeker miktarı (g)	Un miktarı (g)	Yağ miktarı (g)	$L^*_{iç}$
1	5	90	90	25	33.78±0.54
2	15	90	90	25	26.33±0.33
3	5	110	90	25	39.93±1.13
4	15	110	90	25	29.18±0.80
5	5	90	110	25	40.95±0.56
6	15	90	110	25	31.43±0.71
7	5	110	110	25	47.48±0.54
8	15	110	110	25	34.12±0.55
9	5	90	90	40	34.81±1.06
10	15	90	90	40	25.28±0.50
11	5	110	90	40	41.28±0.81
12	15	110	90	40	27.47±0.78
13	5	90	110	40	39.97±0.47
14	15	90	110	40	27.45±1.30
15	5	110	110	40	39.79±0.28
16	15	110	110	40	32.49±0.15
17	5	100	100	32.5	36.52±0.53
18	15	100	100	32.5	26.40±0.53
19	10	90	100	32.5	29.55±0.93
20	10	110	100	32.5	32.14±0.62
21	10	100	90	32.5	28.51±0.38
22	10	100	110	32.5	31.80±0.79
23	10	100	100	25	31.83±0.58
24	10	100	100	40	31.24±0.76
25	10	100	100	32.5	32.78±0.43
26	10	100	100	32.5	30.97±1.44
27	10	100	100	32.5	29.82±0.61
28	10	100	100	32.5	30.01±0.66
29	10	100	100	32.5	29.94±0.29
30	10	100	100	32.5	31.91±0.67

Bağımsız değişkenlerin $L^*_{iç}$ rengine olan etkileri modifiye edilmiş kuadratik modelle açıklandı. *Spirulina* miktarının (A), şeker miktarının (B), un miktarının (C), yağ miktarının (D), un ve yağ etkileşiminin (CD), *Spirulina* miktarının ikinci dereceden etkisinin (A^2) ve yağ miktarının ikinci dereceden etkisinin (D^2)'nin istatistiksel olarak önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür ($p<0.05$)

(Çizelge 4.14). Uyum eksikliği testinde p değerinin 0.4156 olması uyum eksikliğinin önemsiz olduğunu belirtmektedir ($p>0.05$). *Spirulina* miktarının $L^*_{iç}$ rengi üzerinde ikinci dereceden bir etkiye sahip olduğu görülmüştür ($p<0.05$). Şeker miktarı arttıkça $L^*_{iç}$ renginde lineer bir artış meydana gelmiştir ($p<0.05$). Un miktarı da $L^*_{iç}$ renginde lineer bir artışa sebep olmuştur ($p<0.05$). Aynı zamanda yağ miktarının da $L^*_{iç}$ rengi üzerinde ikinci dereceden bir etkiye sahip olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Vegan keklerin $L^*_{iç}$ rengi için oluşturulan regresyon modelindeki değişkenlerin katsayısı Çizelge 4.15'te ve yanıt yüzey grafikleri Şekil 4.4'de yer almaktadır.

Çizelge 4.14. $L^*_{iç}$ ait varyans analiz sonuçları

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p-değeri
Model	759,57	7	108,51	59,11	$< 0.0001^*$
<i>A-Spirulina</i>	494,87	1	494,87	269,57	< 0.0001
B-Şeker	65,46	1	65,46	35,66	< 0.0001
C-Un	84,17	1	84,17	45,85	< 0.0001
D-Yağ	12,93	1	12,93	7,04	0,0145
CD	12,09	1	12,09	6,58	0,0176
A^2	11,99	1	11,99	6,53	0,018
D^2	13,03	1	13,03	7,1	0,0142
Kalıntı	40,39	22	1,84		
Uyum eksikliği	32,93	17	1,94	1,3	$0,4156^{**}$
Saf hata	7,46	5	1,49		
Toplam	799,96	29			

* İstatistiksel açıdan anlamlıdır ($p<0.05$).

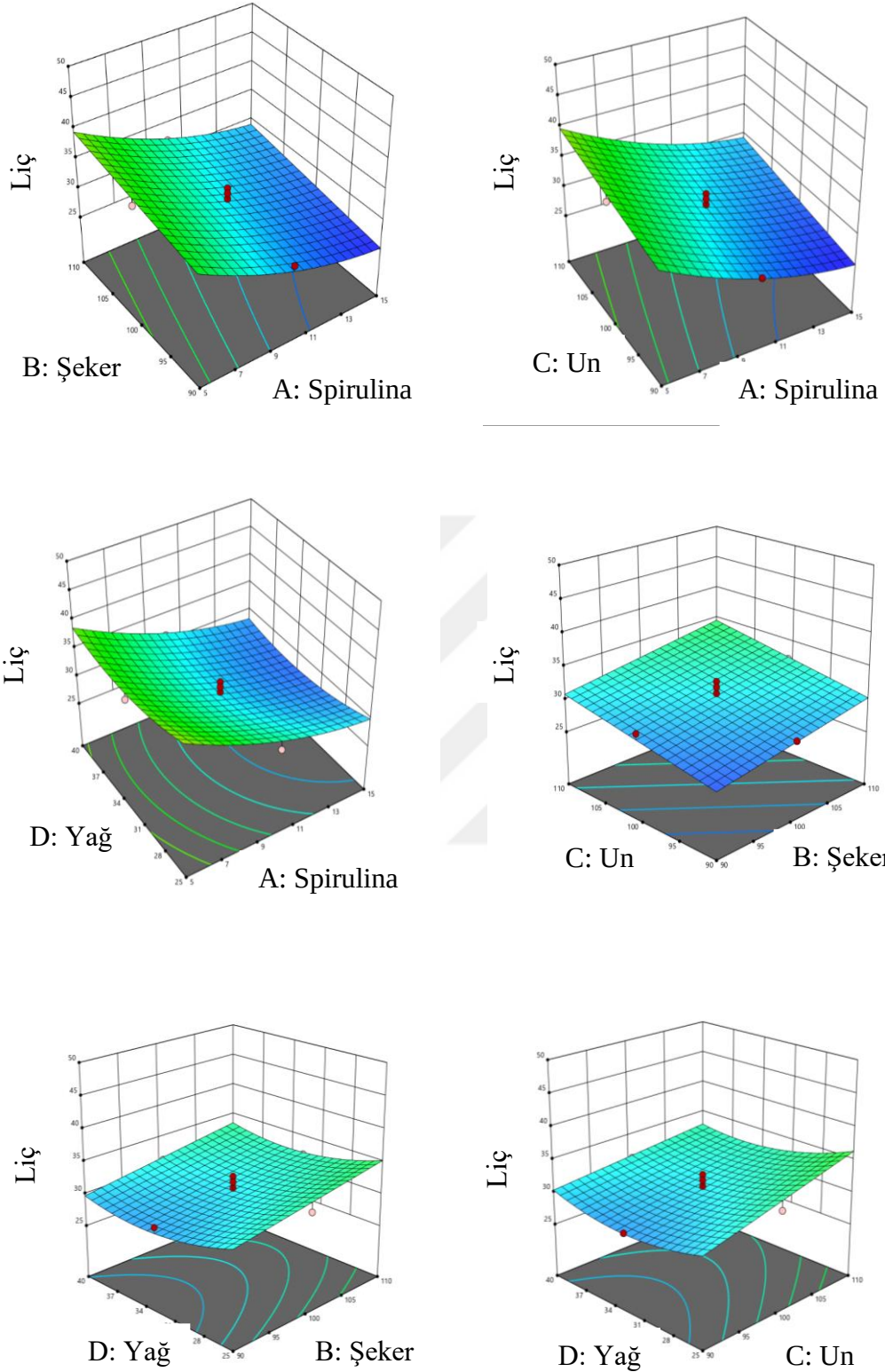
** İstatistiksel açıdan anlamlı değildir ($p>0.05$).

Çizelge 4.15. $L^*_{iç}$ rengine ait modeldeki kodlanmış değişkenlerin katsayısı

Değişkenler	Katsayılar
Sabit	30.55
A	-5.24
B	1.91
C	2.16
D	-0.8474
CD	-0.8691
B ²	1.87
D ²	1.95

$L^*_{iç}$ rengi için modifiye edilmiş kuadratik regresyon modeli Eşitlik 4.4'teki gibidir.

$$L^*_{iç} = +30.55 + (-5.24*A) + (1.91*B) + (2.16*C) + (-0.8474*D) + (-0.8691*CD) + (1.87* B^2) + (1.95* D^2) \quad (4.4.)$$



Şekil 4.4. $L^*_{iç}$ için 3 boyutlu (3D) grafikler

Modelden elde edilen R^2 değeri 0.9495 olarak elde edilmiştir. Bu değer, deneysel verilerdeki değişkenliğin %94.95'inin bu model ile açıklanabildiğini ifade

etmektedir. Düzeltilmiş R^2 değeri, 0.9335 olarak elde edilmiştir. Elde edilen değer, modelden öngörülen değerler ve deneysel değerlerin arasında uyumluluk (%93.35) olduğunu göstermektedir (EK 4). R^2 ile düzeltilmiş R^2 değerlerinin birbirine yakın olması modelin uyumlu olduğunu ve istatistiksel olarak anlamsız terimleri içermediğini göstermektedir. Tahminlenen R^2 değeri 0.8964 olarak elde edilmiştir. Tahminlenen R^2 değeri, elde edilen modelin yeni gözlemlerin tahminlenmesinde değişkenliğin %89.64'ünü açıklayabileceğini göstermektedir. Tahminlenen R^2 ve düzeltilmiş R^2 arasındaki farkın 0.2'den az olması beklenir. Bu fark, uyum içerisinde olduğunu gösterir. Yeterli kesinlik değeri 29.105 olarak verilmiştir. Bu değer 4'ten büyük olması beklenmektedir. Verilerin ortalamaya yakınlığını ifade eden korelasyon katsayısı (%C.V.) değerinin %10'un altında olması istenmektedir. Bu değer %4.13 olarak hesaplanmıştır. PRESS değeri ise 82.91 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değerler sonucunda, modelin yeni gözlemlerin tahminlenmesi açısından yeterli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. $L^*_{iç}$ için model uygunluğu ile ilgili değerler

Veriler	Değerleri	Veriler	Değerleri
Standart sapma	1,35	R^2	0,9495
Ortalama	32,84	Düzeltilmiş R^2	0,9335
C.V. (%)	4,13	Tahminlenen R^2	0,8964
PRESS	82,91	Yeterli kesinlik	29,105

4.1.5. Renk Analizi ($L^*_{dış}$)

Deneme deseninde yer alan vegan keklerin $L^*_{dış}$ rengi 25.28 ile 47.48 aralığında değişiklik göstermiştir. Deneme deseni ve $L^*_{dış}$ rengine ait sonuçlar Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Yanıt Yüzey Yöntemiyle elde edilen vegan keklerin $L^*_{dış}$ rengi

Deneme	<i>Spirulina</i> miktarı (g)	Şeker miktarı (g)	Un miktarı (g)	Yağ miktarı (g)	$L^*_{dış}$
1	5	90	90	25	35.57 ± 3.56
2	15	90	90	25	30.14 ± 1.10
3	5	110	90	25	40.14 ± 0.65
4	15	110	90	25	32.46 ± 0.44
5	5	90	110	25	42.16 ± 1.05
6	15	90	110	25	34.89 ± 0.40
7	5	110	110	25	45.42 ± 0.55
8	15	110	110	25	43.23 ± 0.62
9	5	90	90	40	37.85 ± 1.06
10	15	90	90	40	33.16 ± 0.37
11	5	110	90	40	41.60 ± 0.79
12	15	110	90	40	33.84 ± 0.30
13	5	90	110	40	44.06 ± 0.46
14	15	90	110	40	35.00 ± 0.70
15	5	110	110	40	52.63 ± 0.35
16	15	110	110	40	39.48 ± 1.03
17	5	100	100	32.5	41.10 ± 0.38
18	15	100	100	32.5	33.58 ± 0.48
19	10	90	100	32.5	34.60 ± 0.33
20	10	110	100	32.5	42.98 ± 1.17
21	10	100	90	32.5	32.65 ± 0.27
22	10	100	110	32.5	39.68 ± 0.80
23	10	100	100	25	35.91 ± 1.13
24	10	100	100	40	36.01 ± 0.91
25	10	100	100	32.5	36.57 ± 0.67
26	10	100	100	32.5	36.58 ± 0.31
27	10	100	100	32.5	36.86 ± 0.40
28	10	100	100	32.5	35.68 ± 0.56
29	10	100	100	32.5	35.00 ± 0.23
30	10	100	100	32.5	40.05 ± 0.96

Bağımsız değişkenlerin $L^*_{dış}$ rengine olan etkileri modifiye edilmiş kuadratik modelle açıklandı. *Spirulina* miktarının (A), şeker miktarının (B), un miktarının (C) ve şeker miktarının ikinci dereceden etkisinin (B^2) istatistiksel olarak önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür ($p < 0.05$) (Çizelge 4.18). Uyum eksikliği testinde p değerinin 0.4763 olması uyum eksikliğinin önemsiz olduğunu belirtmektedir ($p > 0.05$). *Spirulina* miktarı arttıkça $L^*_{dış}$ rengine lineer bir azalma meydana gelmiştir ($p < 0.05$). Şeker miktarının $L^*_{dış}$ rengine üzerinde ikinci dereceden bir etkiye sahip olduğu görülmüştür ($p < 0.05$). Un miktarı da $L^*_{dış}$ rengine lineer

bir artışa sebep olmuştur ($p < 0.05$). Vegan keklerin $L^*_{dış}$ rengi için oluşturulan regresyon modelindeki değişkenlerin katsayısı Çizelge 4.19’te ve yanıt yüzey grafikleri Şekil 4.5’de yer almaktadır. Şekil 4.5’de görüldüğü gibi yağ miktarının $L^*_{dış}$ rengine herhangi bir etkisi olmadığı belirlenmiştir ($p > 0.05$).

Çizelge 4.18. $L^*_{dış}$ ait varyans analiz sonuçları

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p-değeri
Model	571,28	4	142,82	41,65	$< 0.0001^*$
<i>A-Spirulina</i>	232,81	1	232,81	67,9	< 0.0001
B-Şeker	109,18	1	109,18	31,84	< 0.0001
C-Un	194,27	1	194,27	56,66	< 0.0001
B ²	35,02	1	35,02	10,21	0,0038
Kalıntı	85,72	25	3,43		
Uyum eksikliği	70,53	20	3,53	1,16	0,4763 ^{**}
Saf hata	15,19	5	3,04		
Toplam	657	29			

* İstatistiksel açıdan anlamlıdır ($p < 0.05$).

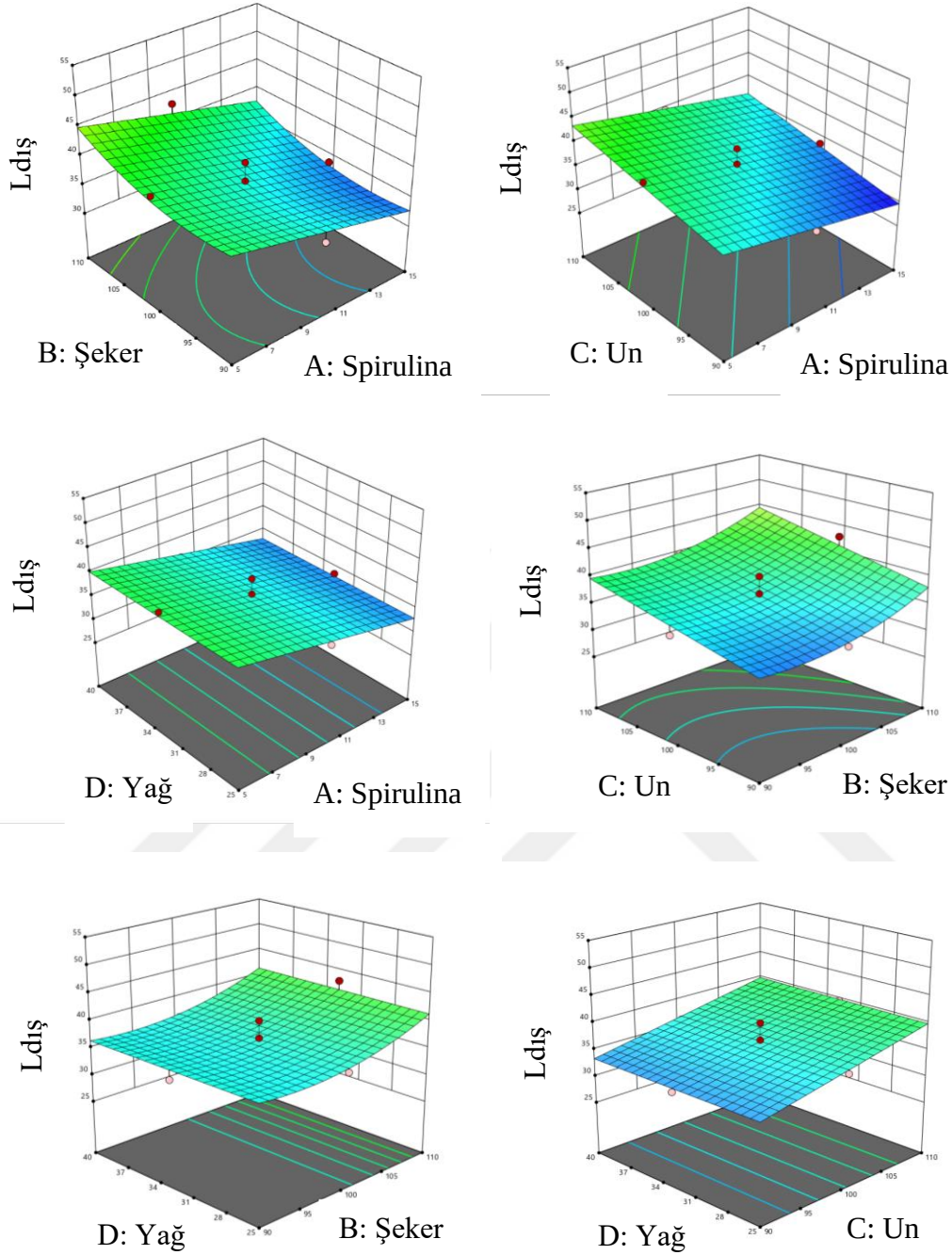
** İstatistiksel açıdan anlamlı değildir ($p > 0.05$).

Çizelge 4.19. $L^*_{dış}$ rengine ait modeldeki kodlanmış değişkenlerin katsayısı

Değişkenler	Katsayılar
Sabit	36.64
A	-3.6
B	2.46
C	3.29
B ²	2.21

$L^*_{dış}$ rengi için modifiye edilmiş kuadratik regresyon modeli Eşitlik 4.5’teki gibidir.

$$L^*_{dış} = +36.64 + (-3.6*A) + (2.46*B) + (3.29*C) + (2.27* B^2) \quad (4.5.)$$



Şekil 4.5. $L_{dış}^*$ için 3 boyutlu (3D) grafikler

Modelden elde edilen R^2 değeri 0.8695 olarak elde edilmiştir. Bu değer, deneysel verilerdeki değişkenliğin %86.95'inin bu model ile açıklanabildiğini ifade etmektedir. Düzeltilmiş R^2 değeri, 0.8487 olarak elde edilmiştir. Elde edilen değer, modelden öngörülen değerler ve deneysel değerlerin arasında uyumluluk (%84.87) olduğunu göstermektedir (EK 5). R^2 ile düzeltilmiş R^2 değerlerinin birbirine yakın olması modelin uyumlu olduğunu ve istatistiksel olarak anlamsız terimleri

içermediğini göstermektedir. Tahminlenen R^2 değeri 0.8 olarak elde edilmiştir. Tahminlenen R^2 değeri, elde edilen modelin yeni gözlemlerin tahminlenmesinde değişkenliğin %80'ini açıklayabileceğini göstermektedir. Tahminlenen R^2 ve düzeltilmiş R^2 arasındaki farkın 0.2'den az olması beklenir. Bu fark, uyum içerisinde olduğunu gösterir. Yeterli kesinlik değeri 24.7221 olarak verilmiştir. Bu değer 4'ten büyük olması beklenmektedir. Verilerin ortalamaya yakınlığını ifade eden korelasyon katsayısı (%C.V.) değerinin %10'un altında olması istenmektedir. Bu değer %4.88 olarak hesaplanmıştır. PRESS değeri ise 131.38 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değerler sonucunda, modelin yeni gözlemlerin tahminlenmesi açısından yeterli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20. L^* dış için model uygunluğu ile ilgili değerler

Veriler	Değerleri	Veriler	Değerleri
Standart sapma	1,85	R^2	0,8695
Ortalama	37,96	Düzeltilmiş R^2	0,8487
C.V. (%)	4,88	Tahminlenen R^2	0,8
PRESS	131,38	Yeterli kesinlik	24,7221

4.1.6. Fenolik Madde Analizi

Deneme deseninde yer alan vegan keklerin fenolik madde içeriği 85.06 ile 258.30 mg GAE/100 g KM aralığında değişiklik göstermiştir. Deneme deseni ve fenolik madde içeriğine ait sonuçlar Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. Yanıt Yüzey Yöntemiyle elde edilen vegan keklerin fenolik madde içeriği

Deneme	<i>Spirulina</i> miktarı (g)	Şeker miktarı (g)	Un miktarı (g)	Yağ miktarı (g)	Fenolik madde içeriği (mg GAE/100 g KM)
1	5	90	90	25	179.08 ± 0.06
2	15	90	90	25	273.37 ± 0.07
3	5	110	90	25	126.31 ± 0.11
4	15	110	90	25	185.92 ± 0.38
5	5	90	110	25	180.74 ± 0.12
6	15	90	110	25	258.30 ± 0.15
7	5	110	110	25	153.82 ± 0.15
8	15	110	110	25	140.73 ± 0.23
9	5	90	90	40	159.10 ± 0.11
10	15	90	90	40	171.90 ± 0.20
11	5	110	90	40	131.94 ± 0.05
12	15	110	90	40	147.02 ± 0.14
13	5	90	110	40	139.43 ± 0.10
14	15	90	110	40	165.13 ± 0.43
15	5	110	110	40	144.75 ± 0.15
16	15	110	110	40	132.37 ± 0.18
17	5	100	100	32.5	157.36 ± 0.20
18	15	100	100	32.5	138.22 ± 0.29
19	10	90	100	32.5	134.39 ± 0.40
20	10	110	100	32.5	85.06 ± 0.14
21	10	100	90	32.5	152.20 ± 0.56
22	10	100	110	32.5	146.66 ± 0.29
23	10	100	100	25	159.99 ± 0.15
24	10	100	100	40	148.97 ± 0.20
25	10	100	100	32.5	140.73 ± 0.20
26	10	100	100	32.5	139.76 ± 0.10
27	10	100	100	32.5	136.19 ± 0.19
28	10	100	100	32.5	142.52 ± 0.19
29	10	100	100	32.5	168.92 ± 0.15
30	10	100	100	32.5	150.90 ± 0.10

Bağımsız değişkenlerin fenolik madde içeriğine olan etkileri modifiye edilmiş kuadratik modellerle açıklandı. *Spirulina* miktarının (A), şeker miktarının (B), yağ miktarının (D), *Spirulina* ve şeker etkileşiminin (AB), *Spirulina* ve yağ etkileşiminin (AD), şeker ve yağ etkileşiminin (BD) ve yağ miktarının ikinci dereceden etkisinin (D^2) istatistiksel olarak anlamlı etkiye sahip olduğu görülmüştür ($p < 0.05$) (Çizelge 4.22). Uyum eksikliği testinde p değerinin 0.1373 olması uyum eksikliğinönemsiz olduğunu belirtmektedir ($p > 0.05$). *Spirulina* miktarı arttıkça

toplam fenolik madde içeriğinde lineer bir artış meydana gelmiştir ($p<0.05$). Şeker miktarının artması fenolik madde içeriğinde lineer bir azalmaya sebep olmuştur ($p<0.05$). Yağ miktarının fenolik madde içeriği üzerinde ikinci dereceden bir etkiye sahip olduğu görülmüştür ($p<0.05$). Vegan keklerin fenolik madde içeriği için oluşturulan regresyon modelindeki değişkenlerin katsayısı Çizelge 4.23’de ve yanıt yüzey grafikleri Şekil 4.6’da yer almaktadır. Şekil 4.6’da görüldüğü gibi un miktarının fenolik madde içeriğine herhangi bir etkisi olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$).

Çizelge 4.22. Fenolik madde içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p-değeri
Model	29225,27	7	4175,04	12,45	< 0.0001
A-Spirulina	3213,76	1	3213,76	9,58	0,0053
B-Şeker	9493,92	1	9493,92	28,3	< 0.0001
D-Yağ	5609,24	1	5609,24	16,72	0,0005
AB	1624,68	1	1624,68	4,84	0,0386
AD	1959,18	1	1959,18	5,84	0,0244
BD	2635,25	1	2635,25	7,86	0,0104
D ²	4689,23	1	4689,23	13,98	0,0011
Kalıntı	7380,31	22	335,47		
Uyum eksikliği	6657,45	17	391,61	2,71	0,1373
Saf hata	722,87	5	144,57		
Toplam	36605,58	29			

* İstatistiksel açıdan anlamlıdır ($p<0.05$).

** İstatistiksel açıdan anlamlı değildir ($p>0.05$).

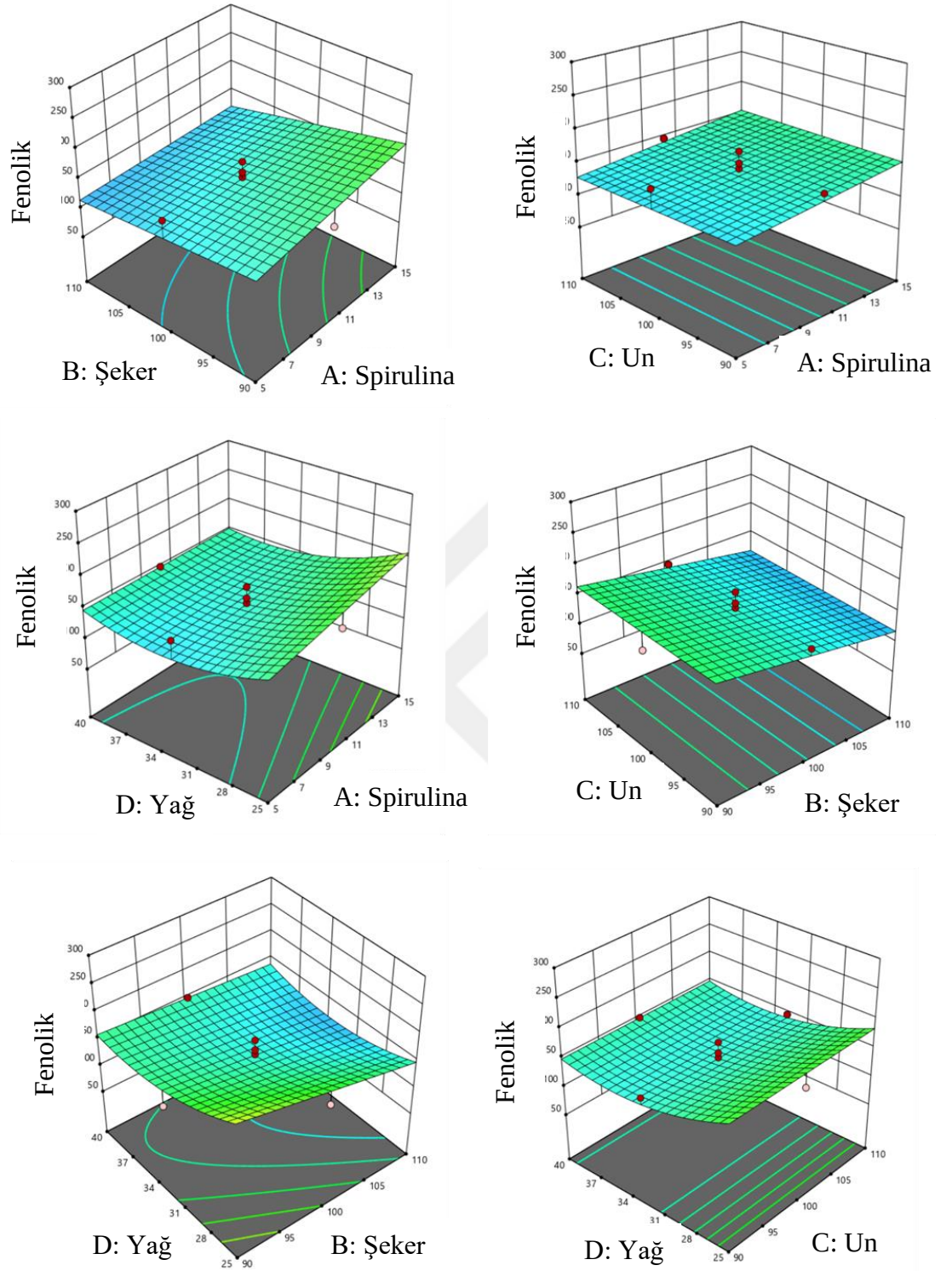
Çizelge 4.23. Fenolik madde içeriğine ait modeldeki kodlanmış değişkenlerin katsayısı

Değişkenler	Katsayılar
Sabit	141.08
A	13.36
B	-22.97
D	-17.65
AB	-10.08
AD	-11.07
BD	12.83
D ²	25.52

Fenolik madde içeriği için modifiye edilmiş kuadratik regresyon modeli Eşitlik 4.6'daki gibidir.

$$\text{Fenolik madde içeriği} = +141.08 + (13.36*A) + (-22.97*B) + (-17.65*D) + (-10.08*AB) + (-11.07*AD) + (12.83*BD) + (25.52* D^2) \quad (4.6.)$$





Şekil 4.6. Fenolik madde içeriği için 3 boyutlu (3D) grafikler

Modelden elde edilen R^2 değeri 0.7984 olarak elde edilmiştir. Bu değer, deneysel verilerdeki değişkenliğin %79.84'ünün bu model ile açıklanabildiğini ifade etmektedir. Düzeltilmiş R^2 değeri, 0.7342 olarak elde edilmiştir. Elde edilen

değer, modelden öngörülen değerler ve deneysel değerlerin arasında uyumluluk (%73.42) olduğunu göstermektedir (EK 6). R^2 ile düzeltilmiş R^2 değerlerinin birbirine yakın olması modelin uyumlu olduğunu ve istatistiksel olarak anlamsız terimleri içermediğini göstermektedir. Tahminlenen R^2 değeri 0.625 olarak elde edilmiştir. Tahminlenen R^2 değeri, elde edilen modelin yeni gözlemlerin tahminlenmesinde değişkenliğin %62.50'sini açıklayabileceğini göstermektedir. Tahminlenen R^2 ve düzeltilmiş R^2 arasındaki farkın 0.2'den az olması beklenir. Bu fark, uyum içerisinde olduğunu gösterir. Yeterli kesinlik değeri 14.4259 olarak verilmiştir. Bu değer 4'ten büyük olması beklenmektedir. Verilerin ortalamaya yakınlığını ifade eden korelasyon katsayısı (%C.V.) değerinin %10'un altında olması istenmektedir. Bu değer %11.71 olarak hesaplanmıştır. PRESS değeri ise 13728.84 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değerler sonucunda, modelin yeni gözlemlerin tahminlenmesi açısından yeterli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24. Fenolik madde içeriği için model uygunluğu ile ilgili değerler

Veriler	Değerleri	Veriler	Değerleri
Standart sapma	18,32	R^2	0,7984
Ortalama	156,39	Düzeltilmiş R^2	0,7342
C.V. (%)	11,71	Tahminlenen R^2	0,625
PRESS	13728,84	Yeterli kesinlik	14,4259

4.1.7. Genel Beğeni

Deneme deseninde yer alan vegan keklerin genel beğeni değeri 3 ile 8.4 aralığında değişiklik göstermiştir. Deneme deseni ve genel beğeni değerine ait sonuçlar Çizelge 4.25.'da verilmiştir.

Çizelge 4.25. Yanıt Yüzey Yöntemiyle elde edilen vegan keklerin genel beğeni değeri

Deneme	<i>Spirulina</i> miktarı (g)	Şeker miktarı (g)	Un miktarı (g)	Yağ miktarı (g)	Genel Beğeni
1	5	90	90	25	4.40 ± 0.11
2	15	90	90	25	5.68 ± 0.07
3	5	110	90	25	7.24 ± 0.09
4	15	110	90	25	7.08 ± 0.05
5	5	90	110	25	7.20 ± 0.13
6	15	90	110	25	6.48 ± 0.08
7	5	110	110	25	7.68 ± 0.06
8	15	110	110	25	8.40 ± 0.17
9	5	90	90	40	3.00 ± 0.14
10	15	90	90	40	7.36 ± 0.05
11	5	110	90	40	6.04 ± 0.03
12	15	110	90	40	6.92 ± 0.09
13	5	90	110	40	5.76 ± 0.07
14	15	90	110	40	7.08 ± 0.12
15	5	110	110	40	6.76 ± 0.16
16	15	110	110	40	8.76 ± 0.04
17	5	100	100	32.5	6.03 ± 0.06
18	15	100	100	32.5	8.48 ± 0.07
19	10	90	100	32.5	6.00 ± 0.09
20	10	110	100	32.5	7.56 ± 0.11
21	10	100	90	32.5	5.72 ± 0.09
22	10	100	110	32.5	6.96 ± 0.03
23	10	100	100	25	7.64 ± 0.07
24	10	100	100	40	7.04 ± 0.05
25	10	100	100	32.5	6.68 ± 0.03
26	10	100	100	32.5	6.88 ± 0.02
27	10	100	100	32.5	7.40 ± 0.10
28	10	100	100	32.5	8.00 ± 0.14
29	10	100	100	32.5	6.84 ± 0.05
30	10	100	100	32.5	7.12 ± 0.03

Bağımsız değişkenlerin genel beğeni değerine olan etkileri modifiye edilmiş lineer modelle açıklandı. *Spirulina* miktarının (A), şeker miktarının (B) ve un miktarının (C) istatistiksel olarak anlamlı etkiye sahip olduğu görülmüştür ($p < 0.05$) (Çizelge 4.26). Uyum eksikliği testinde p değerinin 0.0828 olması uyum eksikliğinin önemsiz olduğunu belirtmektedir ($p > 0.05$). *Spirulina* miktarı arttıkça genel beğeni değerinde lineer bir artış meydana gelmiştir ($p < 0.05$). Şeker miktarının artması genel beğenide lineer bir artışa sebep olmuştur ($p < 0.05$). Un miktarı da genel beğeniye doğrusal artan bir biçimde etkilemiştir ($p < 0.05$). Vegan

keklerin genel beğeni değeri için oluşturulan regresyon modelindeki değişkenlerin katsayısı Çizelge 4.27’de ve yanıt yüzey grafikleri Şekil 4.7’de yer almaktadır. Şekil 4.7’de görüldüğü gibi yağ miktarının genel beğeniye herhangi bir etkisi olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$).

Çizelge 4.26. Genel beğeniye ait varyans analiz sonuçları

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p-değeri
Model	50,66	3	16,89	23,57	$< 0.0001^*$
<i>A-Spirulina</i>	16,3	1	16,3	22,75	< 0.0001
B-Şeker	18,97	1	18,97	26,48	< 0.0001
C-Un	15,38	1	15,38	21,47	< 0.0001
Kalıntı	18,63	26	0,7165		
Uyum eksikliği	17,45	21	0,8311	3,53	$0,0828^{**}$
Saf hata	1,18	5	0,2351		
Toplam	69,29	29			

* İstatistiksel açıdan anlamlıdır ($p<0.05$).

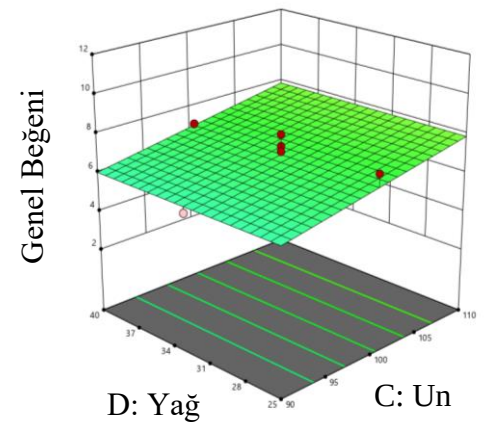
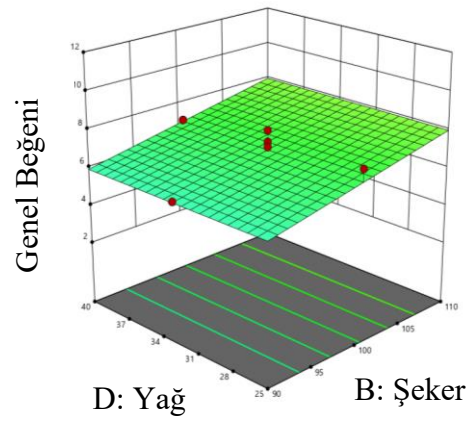
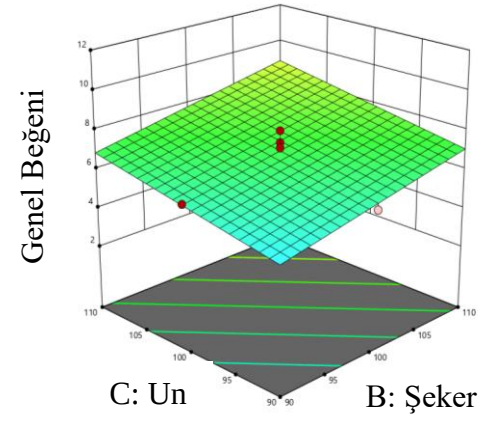
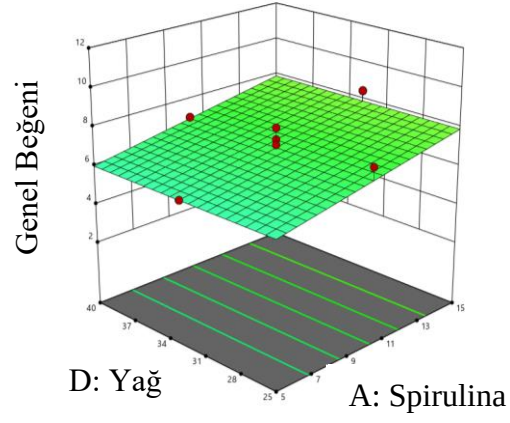
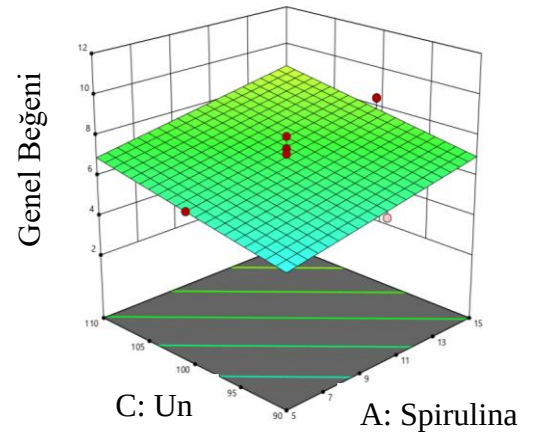
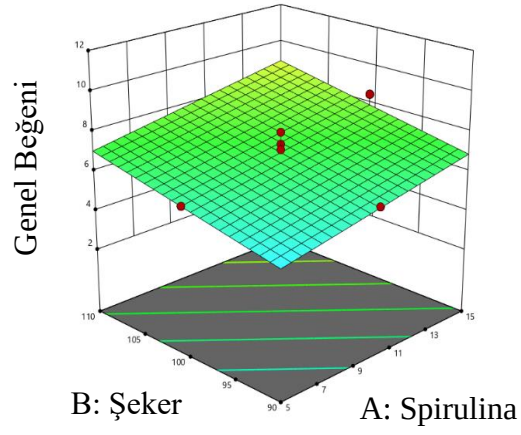
** İstatistiksel açıdan anlamlı değildir ($p>0.05$).

Çizelge 4.27. Genel beğeniye ait modeldeki kodlanmış değişkenlerin katsayısı

Değişkenler	Katsayılar
Sabit	6.97
A	0.9517
B	1.03
C	0.9244

Genel beğeni için modifiye edilmiş lineer regresyon modeli Eşitlik 4.7’teki gibidir.

$$\text{Genel beğeni} = +6.97 + (0.9517 \cdot A) + (1.03 \cdot B) + (0.9244 \cdot C) \quad (4.7.)$$



Şekil 4.7. Genel beğeni için 3 boyutlu (3D) grafikler

Modelden elde edilen R^2 değeri 0.7311 olarak elde edilmiştir. Bu değer, deneysel verilerdeki değişkenliğin %73.11'inin bu model ile açıklanabildiğini ifade etmektedir. Düzeltilmiş R^2 değeri, 0.7001 olarak elde edilmiştir. Elde edilen değer, modelden öngörülen değerler ve deneysel değerlerin arasında uyumluluk (%70.01) olduğunu göstermektedir (EK 7). R^2 ile düzeltilmiş R^2 değerlerinin birbirine yakın olması modelin uyumlu olduğunu ve istatistiksel olarak anlamsız terimleri içermediğini göstermektedir. Tahminlenen R^2 değeri 0.6005 olarak elde edilmiştir. Tahminlenen R^2 değeri, elde edilen modelin yeni gözlemlerin tahminlenmesinde değişkenliğin %60.05'ini açıklayabileceğini göstermektedir. Tahminlenen R^2 ve düzeltilmiş R^2 arasındaki farkın 0.2'den az olması beklenir. Bu fark, uyum içerisinde olduğunu gösterir. Yeterli kesinlik değeri 18.7828 olarak verilmiştir. Bu değer 4'ten büyük olması beklenmektedir. Verilerin ortalamaya yakınlığını ifade eden korelasyon katsayısı (%C.V.) değerinin %10'un altında olması istenmektedir. Bu değer %12.14 olarak hesaplanmıştır. PRESS değeri ise 27.68 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değerler sonucunda, modelin yeni gözlemlerin tahminlenmesi açısından yeterli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.28).

Çizelge 4.28. Genel beğeni için model uygunluğu ile ilgili değerler

Veriler	Değerleri	Veriler	Değerleri
Standart sapma	0,8465	R^2	0,7311
Ortalama	6,97	Düzeltilmiş R^2	0,7001
C.V. (%)	12,14	Tahminlenen R^2	0,6005
PRESS	27,68	Yeterli kesinlik	18,7828

4.1.8. Antioksidan Aktivite Analizi (ABTS)

Deneme deseninde yer alan vegan keklerin antioksidan aktivite içeriği (ABTS) 6.41 ile 21.31 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g KM}$ aralığında değişiklik göstermiştir. Deneme deseni ve antioksidan aktivite içeriğine ait sonuçlar Çizelge 4.29'da verilmiştir.

Çizelge 4.29. Yanıt Yüzey Yöntemiyle elde edilen vegan keklerin antioksidan aktivite içeriği

Deneme	<i>Spirulina</i> miktarı (g)	Şeker miktarı (g)	Un miktarı (g)	Yağ miktarı (g)	Antioksidan aktivite içeriği ($\mu\text{mol TE}/100\text{ g KM}$)
1	5	90	90	25	7.72 ± 0.04
2	15	90	90	25	21.31 ± 0.03
3	5	110	90	25	7.10 ± 0.05
4	15	110	90	25	17.32 ± 0.07
5	5	90	110	25	7.41 ± 0.03
6	15	90	110	25	19.53 ± 0.02
7	5	110	110	25	6.80 ± 0.01
8	15	110	110	25	16.45 ± 0.02
9	5	90	90	40	7.74 ± 0.01
10	15	90	90	40	17.50 ± 0.02
11	5	110	90	40	6.61 ± 0.002
12	15	110	90	40	15.57 ± 0.02
13	5	90	110	40	6.69 ± 0.01
14	15	90	110	40	16.03 ± 0.03
15	5	110	110	40	6.41 ± 0.04
16	15	110	110	40	15.49 ± 0.03
17	5	100	100	32.5	8.19 ± 0.004
18	15	100	100	32.5	18.33 ± 0.02
19	10	90	100	32.5	13.08 ± 0.04
20	10	110	100	32.5	10.83 ± 0.05
21	10	100	90	32.5	10.54 ± 0.19
22	10	100	110	32.5	12.25 ± 0.31
23	10	100	100	25	17.01 ± 0.22
24	10	100	100	40	15.58 ± 1.39
25	10	100	100	32.5	13.02 ± 0.99
26	10	100	100	32.5	11.21 ± 0.85
27	10	100	100	32.5	12.76 ± 0.74
28	10	100	100	32.5	12.03 ± 0.12
29	10	100	100	32.5	11.66 ± 0.03
30	10	100	100	32.5	11.87 ± 0.12

Bağımsız değişkenlerin antioksidan aktivite içeriğine olan etkileri modifiye edilmiş kuadratik modelle açıklandı. *Spirulina* miktarının (A), şeker miktarının (B), yağ miktarının (D), şeker miktarının ikinci dereceden etkisinin (B^2) ve yağ miktarının ikinci dereceden etkisinin (D^2) istatistiksel olarak önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür ($p < 0.05$) (Çizelge 4.30). Uyum eksikliği testinde p değerinin 0.0812 olması uyum eksikliğinin önemsiz olduğunu belirtmektedir ($p > 0.05$).

Spirulina miktarı arttıkça antioksidan aktivite içeriğinde lineer bir artış meydana gelmiştir ($p<0.05$). Şeker miktarının antioksidan aktivite içeriği üzerinde ikinci dereceden bir etkisi olmuştur ($p<0.05$). Yağ miktarının antioksidan aktivite içeriği üzerinde ikinci dereceden bir etkiye sahip olduğu görülmüştür ($p<0.05$). Vegan keklerin antioksidan aktivite içeriği için oluşturulan regresyon modelindeki değişkenlerin katsayısı Çizelge 4.31’de ve yanıt yüzey grafikleri Şekil 4.8’de yer almaktadır. Şekil 4.8’de görüldüğü gibi un miktarının antioksidan aktivite içeriğine herhangi bir etkisi olmadığı belirlenmiştir ($p>0.05$).

Çizelge 4.30. ABTS antioksidan aktivite içeriğine ait varyans analiz sonuçları

Kaynak	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F-değeri	p-değeri
Model	518,9	5	103,78	73,06	< 0.0001
<i>A-Spirulina</i>	479,07	1	479,07	337,26	< 0.0001
B-Şeker	11,55	1	11,55	8,13	0,0088
D-Yağ	9,43	1	9,43	6,64	0,0166
B ²	16,8	1	16,8	11,83	0,0021
D ²	15,61	1	15,61	10,99	0,0029
Kalıntı	34,09	24	1,42		
Uyum eksikliği	31,76	19	1,67	3,58	0,0812
Saf hata	2,33	5	0,4666		
Toplam	552,99	29			

* İstatistiksel açıdan anlamlıdır ($p<0.05$).

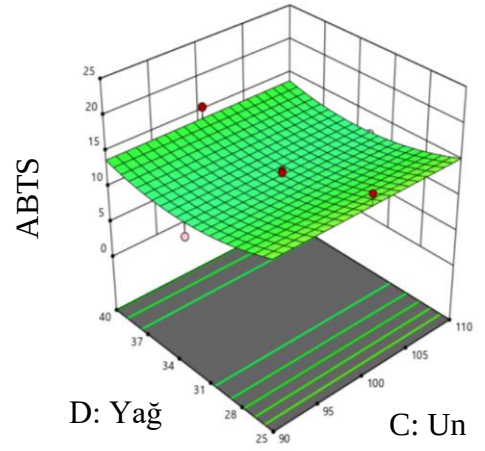
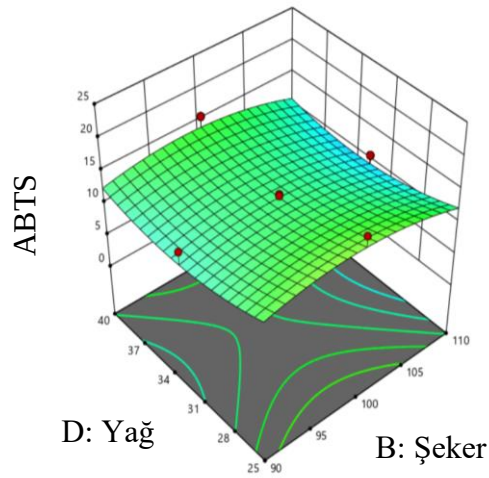
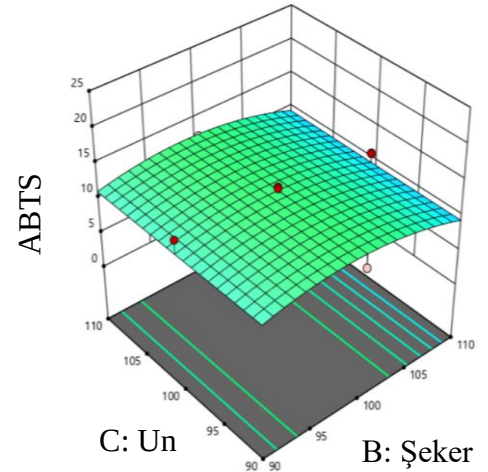
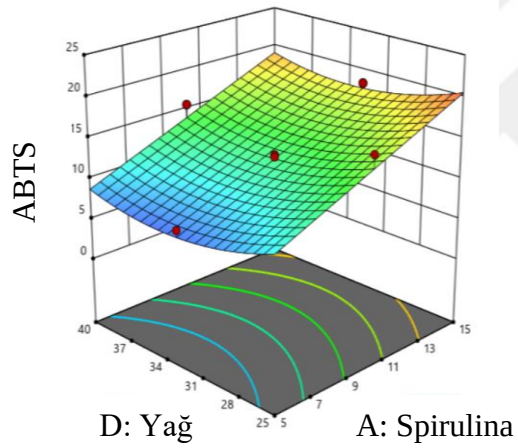
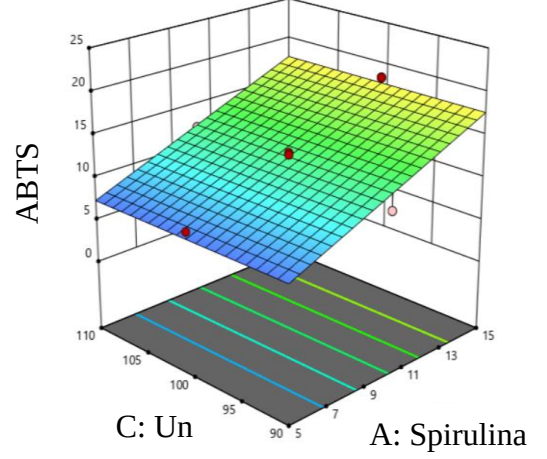
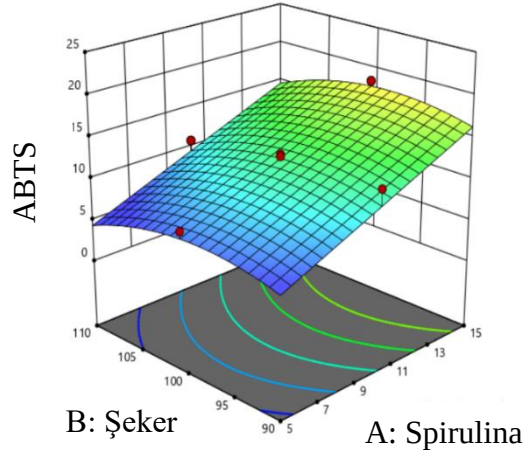
** İstatistiksel açıdan anlamlı değildir ($p>0.05$).

Çizelge 4.31. ABTS antioksidan aktivite içeriğine ait modeldeki kodlanmış değişkenlerin katsayısı

Değişkenler	Katsayılar
Sabit	12.52
A	5.16
B	-0.8009
D	-0.7237
B ²	-2.21
D ²	2.13

ABTS antioksidan aktivite içeriği için modifiye edilmiş kuadratik regresyon modeli Eşitlik 4.8’deki gibidir.

$$\text{ABTS antioksidan aktivite içeriği} = +12.52 + (5.16 \cdot A) + (-0.8009 \cdot B) + (-0.7237 \cdot D) + (-2.21 \cdot B^2) + (2.13 \cdot D^2) \quad (4.8.)$$



Şekil 4.8. ABTS antioksidan aktivite içeriği için 3 boyutlu (3D) grafikler

Modelden elde edilen R^2 değeri 0.9383 olarak elde edilmiştir. Bu değer, deneysel verilerdeki değişkenliğin %93.83'ünün bu model ile açıklanabildiğini ifade etmektedir. Düzeltilmiş R^2 değeri, 0.9255 olarak elde edilmiştir. Elde edilen değer, modelden öngörülen değerler ve deneysel değerlerin arasında uyumluluk (%92.55) olduğunu göstermektedir (EK 8). R^2 ile düzeltilmiş R^2 değerlerinin birbirine yakın olması modelin uyumlu olduğunu ve istatistiksel olarak anlamsız terimleri içermediğini göstermektedir. Tahminlenen R^2 değeri 0.8912 olarak elde edilmiştir. Tahminlenen R^2 değeri, elde edilen modelin yeni gözlemlerin tahminlenmesinde değişkenliğin %89.12'sini açıklayabileceğini göstermektedir. Tahminlenen R^2 ve düzeltilmiş R^2 arasındaki farkın 0.2'den az olması beklenir. Bu fark, uyum içerisinde olduğunu gösterir. Yeterli kesinlik değeri 25.0786 olarak verilmiştir. Bu değer 4'ten büyük olması beklenmektedir. Verilerin ortalamaya yakınlığını ifade eden korelasyon katsayısı (%C.V.) değerinin %10'un altında olması istenmektedir. Bu değer %9.56 olarak hesaplanmıştır. PRESS değeri ise 60.17 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değerler sonucunda, modelin yeni gözlemlerin tahminlenmesi açısından yeterli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.32).

Çizelge 4.32. ABTS antioksidan aktivite içeriği için model uygunluğu ile ilgili değerler

Veriler	Değerleri	Veriler	Değerleri
Standart sapma	1,19	R^2	0,9383
Ortalama	12,47	Düzeltilmiş R^2	0,9255
C.V. (%)	9,56	Tahminlenen R^2	0,8912
PRESS	60,17	Yeterli kesinlik	25,0786

4.2.Optimizasyon ve Validasyon

Yanıt yüzey yöntemiyle oluşturulan deneme deseninde yer alan farklı oranlardaki *Spirulina* miktarı (g), şeker miktarı (g), un miktarı (g) ve yağ miktarı (g) ile vegan kekler üretilmiş ve keklerde yapılan analizlerin sonuçları literatür ile kıyaslanmıştır. Vegan kekler *Spirulina* ile zenginleştirildiğinden, unlu mamullerde alglerin kullanıldığı çalışmalar da incelenmiştir. Tüketicilerin tercihleri göz önüne alınarak uygun formülasyonun belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle optimum özelliklere sahip olması beklenen vegan keklerin öngörülen *Spirulina* miktarının

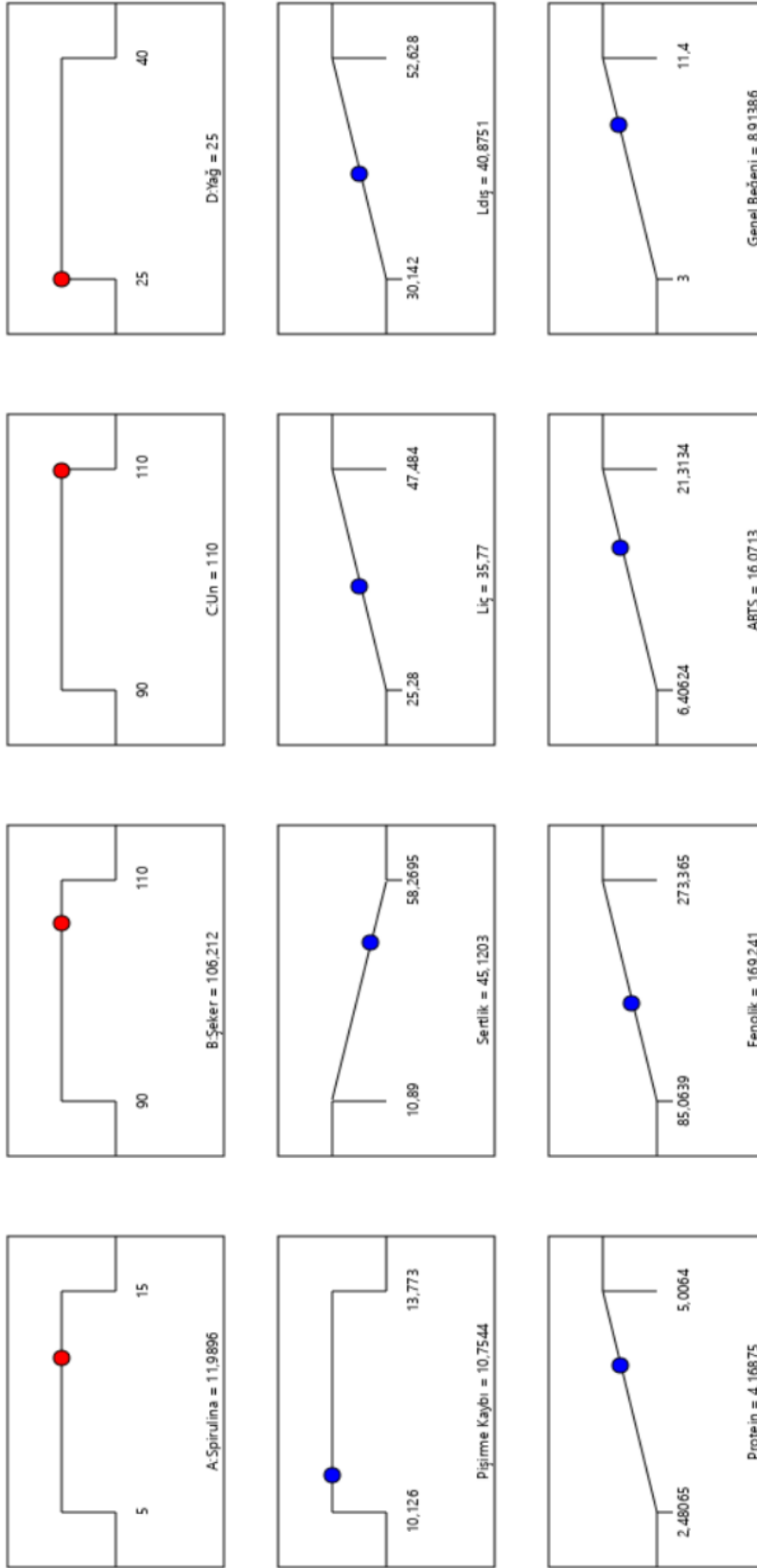
(g), şeker miktarının (g), un miktarının (g) ve yağ miktarının (g) belirlenebilmesi için analiz sonuçlarında ortalama pişirme kaybını, minimum sertlik değerini, maksimum $L^*_{iç}$ ve maksimum $L^*_{dış}$ değerlerini, maksimum protein içeriğini, maksimum toplam fenolik madde içeriğini, maksimum ABTS antioksidan aktivite miktarını ve maksimum genel beğeniye verecek olan vegan kek formülasyonu tercih edilmiştir (Şekil 4.9).

Optimum vegan kekin sahip olması istenen kalite özelliklerinin ve besin içeriklerinin değerlerine göre yapılan optimizasyon sonucunda 0.506 istenebilirlik değeriyle optimum formülasyonda 11.965 g *Spirulina*, 106.206 g şeker, 110 g un ve 25 g yağ kullanılması önerilmiştir. Validasyon çalışmasında, belirlenen bu optimum koşullarda vegan kek üretimi yapılmıştır (Şekil 4.10). Deneysel olarak elde edilen analiz sonuçları ve istatistiksel olarak öngörülen analiz sonuçları Çizelge 4.33’de yer almaktadır.

Çizelge 4.33. Modelin uygunluğu ile ilgili öngörülen değerler ve deneysel değerler

Analizler	Öngörülen Değerler	Deneysel Değerler*	p-value
Pişirme Kaybı (%)	10.7555	11.2228	0.413
Sertlik (N)	45.0735	43.9602	0.868
$L^*_{iç}$	35.7876	37.544	0.462
$L^*_{dış}$	40.8898	41.936	0.614
Protein (%)	4.1646	4.2	0.894
Toplam Fenolik Madde (mg GAE/100 g KM)	169.175	186.475	0.482
Antioksidan Aktivite (μmol TE/100 g KM)	16.0477	15.5679	0.753
Genel Beğeni	8.1698	8.2	0.968

*Değerler ortalama olarak verilmiştir (n=5).



Şekil 4.9. En yüksek istenebilirlik değerinde bağımlı ve bağımsız değişkenler

İstenebilirlik



Şekil 4.10. Optimum koşullarda üretilen *Spirulina* ile zenginleştirilmiş vegan kek

Öngörülen ve deneysel analiz sonuçları için istatistik paket programda uygulanan tek örneklem t-testi sonucunda değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı görülmüştür ($p > 0.05$) (Çizelge 4.33). Böylece yüzey merkezli yanıt yüzey yöntemi kullanılarak elde edilen regresyon modelleri ile vegan keklerin pişirme kaybı, sertlik, $L^*_{iç}$, $L^*_{dış}$, protein, toplam fenolik madde miktarı, antioksidan aktivite ve genel beğeni değerlerinin deneme bölgesindeki herhangi bir *Spirulina* miktarı, şeker miktarı, un miktarı ve yağ miktarı kombinasyonu için tahminlenebileceği kanıtlanmıştır.

Yanıt yüzey yöntemi ile elde edilen optimum formülasyondaki vegan keklerin protein içeriği incelenmiştir. Güroy (2020) taze *Spirulina*'yı ve kurutulmuş *Spirulina*'yı %4, %6 ve %8 oranlarında muffin formülasyonuna dahil etmiştir. %4, %6 ve %8 oranlarında taze *Spirulina* eklenen muffinlerdeki protein içeriği sırasıyla %6.76, %7.68 ve %7.73 olarak bulunmuştur. Kurutulmuş *Spirulina* içeren

muffinlerin protein içeriği ise sırasıyla %6.74, %7.14 ve %7.55'dir. Barakat et al. (2016) bisküvi formülasyonlarını %0.5, %1, %2 ve %3 oranlarında kurutulmuş *Spirulina* ile zenginleştirmişlerdir. Bisküvilerin protein içeriği sırasıyla %6.90, %7.20, %7.40 ve %7.80 olarak bulunmuştur. Benzer şekilde Moradi et al. (2024) tarafından yapılan çalışmada ekmek ve kek formülasyonlarına farklı oranlarda (%0.25, %0.5, %0.75, %1 ve %1.25) *Spirulina*'yı dahil etmişlerdir. Protein içerikleri incelendiğinde ekmeklerin protein içeriğinin %9.40 ile %10.10 arasında değiştiği, keklerin protein içeriğinin ise %5.40 ile %6.40 arasında değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir. Hussein et al. (2021) çalışmalarında farklı oranlardaki (%2.5, %5, %7.5 ve %10) *Spirulina*'yı makarna formülasyonuna eklemişlerdir. Farklı oranlarda *Spirulina* içeren makarnaların protein içeriği %12.52 ile %17.03 aralığında değişiklik göstermiştir. Literatürdeki bu çalışmalara bakıldığında *Spirulina* miktarının, fırıncılık ürünlerinin protein içeriğini önemli derece etkilediği görülmektedir. Yapılan bu çalışmada elde edilen protein içeriği sonuçlarının literatürdeki çalışmalarla benzerlik gösterdiği görülmektedir (optimum vegan kekin protein içeriği %4.2). Protein içeriğinin diğer fırıncılık ürünlerine kıyasla daha düşük olmasının sebebi kullanılan hammaddelerden dolayı olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada vegan kek üretildiği için yumurta ve süt kullanılmamıştır. Bu durumun da protein içeriğini etkilediği düşünülmektedir.

Yanıt yüzey yöntemi ile elde edilen optimum formülasyondaki vegan keklerin sertlik değeri incelendiğinde Marzec et al. (2023) tarafından yapılan çalışma ile paralellik gösterdiği (optimum vegan kekin sertliği 43.9602 N) görülmektedir. Marzec et al. (2023) bir alg türü olan *Chlorella*'yi farklı oranlarda (%0.5, %1 ve %1.5) vegan muffin formülasyonuna dahil etmişlerdir. Elde edilen vegan muffinlerin sertlik değerinin 61.75 N ile 64.65 N aralığında değiştiği belirtilmiştir. Ekmek ve kek formülasyonlarına %0.25, %0.5, %0.75, %1 ve %1.25 oranlarında *Spirulina* dahil eden Moradi et al. (2024) sertlik değerini araştırmışlardır. Ekmek örneklerinde sertlik değerlerinin 7.77 N ile 10.30 N arasında değiştiği, kek örneklerinde ise 7.40 N ile 8.77 N aralığında değiştiği belirtilmiştir. Diprat et al. (2020) tarafından yapılan çalışmada ise bir alg türü olan *Chlorella sorokiniana* gluten içermeyen ekmek formülasyonuna %2.5 ve %5 oranlarında dahil edilmiştir. Ekmeklerin sertlik değeri incelendiğinde %2.5

Chlorella içeren formülasyonun sertliği 13.43 N, %5 *Chlorella* içeren formülasyonun sertliği 12.62 N olarak verilmiştir. Ayrıca 24 saatlik depolamadan sonra ekmeklerin sertliğinde artış meydana geldiği belirtilmiştir. Çalışmalardan elde edilen farklı sonuçların analiz metoduyla veya kullanılan hammaddelerle ilgili olabileceği düşünülmektedir.

Yanıt yüzey yöntemi ile elde edilen optimum formülasyondaki vegan keklerin $L^*_{iç}$ ve $L^*_{dış}$ renkleri incelenmiştir. El-Said et al. (2021) yaptıkları çalışmada gluten içermeyen ekmek formülasyonuna %0.7 oranında *Spirulina* dahil etmişler ve L^* değerini 63.92 olarak bulmuşlardır. Moradi et al. (2024), %0,25, %0.5, %0.75, %1 ve %1.5 olmak üzere farklı oranlardaki *Spirulina*'yı kek ve ekmek formülasyonuna dahil etmişlerdir. Keklere ait L^* değerleri sırasıyla 43.67 ile 33.75 arasında azalarak değişen sonuçlar verirken, ekmeklere ait L^* değerleri 50.86 ile 44.42 arasında azalarak değişen değerler vermiştir. Vegan muffin formülasyonuna farklı oranlarda (%0.5, %1 ve %1.5) *Chlorella* eklenen çalışma Marzec et al. (2023) tarafından yapılmıştır. Yapılan çalışmada %0.5, %1 ve %1.5 *Chlorella* içeren muffinler için L^* değerleri sırasıyla 59.91, 55.36 ve 51.46 olarak bulunmuştur. Onacık-Gür et al. (2018) tarafından yapılan çalışmada, *Spirulina* %1, %2 ve %3 olmak üzere farklı oranlarda kurabiye formülasyonuna eklenmiştir. Kurabiyelerin L^* değerleri %1, %2 ve %3 oranında *Spirulina* içeren kurabiyeler için sırasıyla 50.61, 45.89 ve 42.96 olarak ölçülmüştür. Literatürdeki bu çalışmalar da göz önüne alındığında *Spirulina* veya *Chlorella* gibi bir mavi-yeşil alg türünün miktarının artmasıyla fırıncılık ürünlerinin L^* değerinde azalma meydana gelmektedir. Amoriello et al. (2021) yaptıkları çalışmada ekmek formülasyonuna %1, %2.5 ve %4 oranlarında *Spirulina*'yı eklemişlerdir. Ekmeklerin $L^*_{iç}$ değerini sırasıyla 54.55, 37.50 ve 37.40 olarak, $L^*_{dış}$ değerlerini ise sırasıyla 45.27, 41.37 ve 37.72 olarak bulmuşlardır. Bu çalışma da literatürdeki sonuçlar ile paralellik gösterdiği (optimum vegan kekin $L^*_{iç}$ değeri 37.544 ve $L^*_{dış}$ değeri 41.936) halde farklı sonuçlar da vardır. Bunun sebebi ürünlerin veya *Spirulina* kullanım oranlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Yanıt yüzey yöntemi ile elde edilen optimum formülasyondaki vegan kekler pişirme kaybı (%11.2228) bakımından incelenmiştir. El-Kewaisny et al. (2017) yaptıkları çalışmada bisküvi formülasyonuna, *Spirulina* tozunu %0.5, %1, %2, %3,

%4 ve %5 oranlarında buğday ununa ikame olarak eklemişlerdir. Bisküvilerin % pişirme kayıpları sırasıyla %14.41, %14.32, %14.55 ve %14.43 bulunmuştur. *Spirulina*'nın farklı oranlarda (%5, %10 ve %15) makarnaya dahil edildiği çalışma Ozyurt et al. (2015) tarafından yapılmıştır. Üretilen makarnaların pişirme kaybı sırasıyla %7.84, %6.83 ve %7.05 olarak bulunmuştur. Benzer şekilde *Spirulina*'nın %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarında makarna bileşimine dahil edildiği çalışma Hussein et al. (2021) tarafından yapılmıştır. Makarnaların pişirme kaybı sırasıyla %4.10, %4.70, %5.01 ve %5.25 olarak elde edilmiştir. Makarnalara ait pişirme kayıplarındaki farklılığın analiz yönteminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada hesaplanan vegan kekin pişirme kaybı, Ozyurt et al. (2015) ve Hussein et al. (2021) tarafından yapılan çalışmalarda makarnaların pişirme kaybından yüksek bulunurken El-Kewaisny et al. (2017) tarafından yapılan çalışmada bisküviye kıyasla düşük bulunmuştur. Keke dair *Spirulina* eklenen çalışma bulunamadığından pişirme kaybı kıyaslaması yapılamamıştır.

Yanıt yüzey yöntemi ile elde edilen optimum formülasyondaki vegan kekin toplam fenolik madde miktarı 186.475 mg GAE/100g KM bulunmuştur. Zlateva et al. (2020) tarafından yapılan çalışmada ekmek formülasyonuna un ikamesi olarak %2 ve %4 oranlarında *Spirulina* dahil edilmiştir. En yüksek fenolik madde içeriğinin %4 oranında *Spirulina* içeren formülasyonda (0.88 mg GAE/g KM) olduğu görülmüştür. Hussein et al. (2021) yaptıkları çalışmada %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarındaki *Spirulina*'yı makarna formülasyonuna dahil etmişler ve toplam fenolik madde içeriklerinin 1.56 mg/g ile 2.95 mg/g aralığında olduğunu tespit etmişlerdir. *Spirulina* tozunun %2, %4 ve %6 oranlarında ekmek yapımında kullanılan buğday ununa ikame olarak kullanıldığı çalışma Saharan and Jood (2021) tarafından araştırılmıştır. %2, %4 ve %6 oranlarında *Spirulina* içeren ekmeklerin toplam fenolik madde içeriği sırasıyla 0.85 mg GAE/g KM, 1.19 mg GAE/ g KM ve 1.79 mg GAE/g KM olarak bulunmuştur. Niccolai et al. (2019) yaptıkları çalışmada bir fırıncılık ürünü olan crostini'ye %2, %6 ve %10 oranlarında *Spirulina* dahil etmişlerdir. Crostinilerin toplam fenolik madde içeriğine bakıldığında yaklaşık 2.5 mg GAE/g KM ile 3.5 mg GAE/g KM aralığında değiştiği görülmüştür. Bu çalışmanın sonuçları Niccolai et al. (2019) tarafından yapılan çalışma haricindeki çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Niccolai et al.

(2019) çalışmasında farklı ürün (crostini) kullanılması, kullanılan alg türü ve yetiştirilme koşullarının etkisi sebebiyle sonuçların değişiklik gösterdiği düşünülmektedir.

Yanıt yüzey yöntemi ile elde edilen optimum formülasyondaki vegan kekin antioksidan aktivite (ABTS) değeri 15.5679 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g KM}$ olarak bulunmuştur. Egea et al. (2014) farklı un karışımlarından oluşan kurabiye formülasyonuna %2 ve %5 oranlarında *Spirulina* dahil etmişlerdir ve antioksidan aktivite sonuçlarını sırasıyla 1 mmol TE/kg ile 1.1 mmol TE/kg olarak bulmuşlardır. Ekmekleri %1, %2.5 ve %4 oranlarında *Spirulina* ile zenginleştiren çalışma Amoriello et al. (2021) tarafından yapılmıştır. Ekmeklerin antioksidan aktiviteleri sırasıyla 0.37 $\mu\text{g TE}/\text{mg KM}$, 0.41 $\mu\text{g TE}/\text{mg KM}$ ve 0.48 $\mu\text{g TE}/\text{mg KM}$ olarak bulunmuştur. Bu çalışmalar göz önüne alındığında, toplam fenolik madde içeriğine benzer şekilde *Spirulina* miktarı arttıkça antioksidan aktivitede artış meydana geldiği görülmüştür. Yapılan bu çalışmada da antioksidan aktivite değeri *Spirulina* miktarı ile doğru orantılıdır. *Spirulina* ile zenginleştirilmiş kek çalışmaları “% inhibisyon”, “mM TE/kg” veya “ $\mu\text{g TE}/\text{mg KM}$ ” gibi birimlerde elde edilmiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda antioksidan aktivite belirlenirken sonuçlar troloks eşdeğeri cinsinden verilmektedir. Bu çalışmada sonuçlar $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g KM}$ olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle analiz troloks kullanılarak yapılmış ve sonuçlar troloks eşdeğeri cinsinden verilmiştir. Ancak bu durum sonuçların literatür ile kıyaslanmasını engellemektedir.

Yanıt yüzey yöntemi ile elde edilen optimum formülasyondaki vegan keklerin genel beğeni değeri 8.2 olarak bulunmuştur. Moradi et al. (2024), farklı oranlardaki *Spirulina*’yı (%0.25, %0.5, %0.75, %1 ve %1.5) kek ve ekmek formülasyonuna dahil etmişlerdir. Ekmeklerin genel kabul edilebilirlik değeri %0.25, %0.5, %0.75, %1 ve %1.5 *Spirulina* oranları için sırasıyla 4.20, 4.86, 5.46, 5.81 ve 5.04 bulunurken, keklerin genel kabul edilebilirlik değeri sırasıyla 4.20, 4.80, 4.86, 4.32 ve 4.83 olarak bulunmuştur. Saharan and Jood (2021) yaptıkları çalışmada ekmek formülasyonuna %2, %4 ve %6 oranlarında *Spirulina* dahil etmişler ve genel kabul edilebilirlik değerlerini sırasıyla 8.10, 7.60 ve 7.16 olarak bulmuşlardır. Kek formülasyonuna %2.5, %5 ve %7.5 oranlarında *Spirulina* dahil edilen çalışma Ali (2022) tarafından yapılmıştır. Genel kabul edilebilirlik değerleri

(60 puan üzerinden) sırasıyla 59.25, 57.12 ve 54.75 olarak elde edilmiştir. Makarna formülasyonuna %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarında *Spirulina*'nın dahil edildiği çalışma Hussein et al. (2021) tarafından yapılmıştır. Değer skalası 10 olan duyu analizde makarnaların genel kabul edilebilirlik değeri sırasıyla 9.11, 8.80, 8.10 ve 7.35 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada genel kabul edilebilirlik değeri 9 puanlık hedonik test ile gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle sonuçların Saharan and Jood (2021), Ali (2022) ile Hussein et al. (2021) tarafından yapılan çalışmaların arasında kaldığı, Moradi et al. (2024) tarafından yapılan çalışmadan yüksek olduğu görülmüştür. Bu farklılığın kullanılan ürün bileşiminden, *Spirulina*'nın türünden, kullanım oranından, tat ve kokusundan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

4.3.Yapılan Analizler

4.3.1. Nem Analizi

Örneklerin nem analizi sonuçları Çizelge 4.34.'de yer almaktadır. Çalışmada kullanılan hammaddenin (*Spirulina*) nem içeriği %6.91 olarak bulunmuştur. Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda kek örnekleri arasında önemli bir farklılığın olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). En yüksek % nem içeriğinin (%28.91) kontrol vegan kekinde bulunduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Çizelge 4.34. Nem analizi sonuçları

Örnek	Nem İçeriği (%)*
Kontrol vegan keki	28.91±0.39 ^a
RSM ile belirlenen optimum formülasyonda üretilen vegan kek	26.18±0.19 ^b
Hammadde (<i>Spirulina platensis</i>)	6.91±0.001

*Değerler ortalama olarak verilmiştir (n=5).

Standard sapma "±" olarak verilmiştir.

Üstel harflerin farklılığı istatistiksel açıdan farklılığı ifade etmektedir.

Ali (2022) yaptığı çalışmada *Spirulina*'nın nem içeriğini %6.45 olarak bulmuştur. Dewi et al. (2016) tarafından yapılan çalışmada *Spirulina*'nın nem içeriği %5.77 olarak tespit edilirken, Niccolai et al. (2019)'un çalışmasında

Spirulina'nın nem içeriği %7.7 olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada *Spirulina* için elde edilen nem içeriği (%6.91) sonuçlarının literatür ile benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Ansorena et al. (2023)'un yaptıkları çalışmada vegan kekin nem içeriği %32 bulunmuştur. Aida et al. (2018)'un çalışmasında ise yumurta içermeyen kekin nemi %26.97 olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada kontrol vegan keki nem içeriğinin (%28.91) literatürde yer alan değerlerin arasında olduğu görülmüştür. Nem içeriğindeki bu farklılıkların farklı ürünlerin (farklı bitkisel sütler veya su) kullanımına ve kullanım oranlarına bağlı olarak değiştiği düşünülmektedir.

Barakat et al. (2016) yaptıkları çalışmada bisküvi formülasyonuna %0.5, %1, %2 ve %3 oranlarında *Spirulina* dahil etmişlerdir. Bisküvilerin nem içeriği sırasıyla %4.90, %4.70, %4.10, %3.91 ve %3.90 olarak tespit edilmiştir. Farklı un karışımından oluşan kurabiye formülasyonuna %2 ve %5 oranında *Spirulina* dahil edilen çalışma Egea et al. (2014) tarafından yapılmıştır. Bisküvilerin nem içeriği sırasıyla %11.68 ve %10.09 bulunmuştur. El-Said et al. (2021) yaptıkları çalışmada ekmek formülasyonuna %0.7 oranında *Spirulina* dahil etmiş ve nem içeriğini %13.42 olarak vermişlerdir. Bu çalışmada optimum formülasyonda üretilen vegan kekin nem içeriği %26.18 olarak bulunmuştur. Yapılan bu çalışmada *Spirulina* una ikame olarak değil, direkt formülasyona dahil edilmiştir. Ayrıca kontrol vegan keki 33.50 g yağ ve 103.95 g su içerirken, optimum formülasyondaki vegan kek 25 g yağ ve 95.45 g su içermektedir. Bu nedenle kontrol vegan kekinin daha yüksek nem içeriğine sahip olduğu düşünülmektedir.

4.3.2. Kül Analizi

Örneklerin kül analizi sonuçları Çizelge 4.35.'de yer almaktadır. Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda kek örnekleri arasında önemli bir farklılığın olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$). En yüksek % kül içeriğinin (%1.36) optimum formülasyonda üretilen kek, en düşük % kül içeriğinin (%1.01) ise kontrol vegan kekinde bulunduğu görülmüştür ($p < 0.05$).

Çizelge 4.35. Kül analizi sonuçları

Örnek	Kül İçeriği (%)*
Kontrol vegan keki	1.01±0.03 ^a
RSM ile belirlenen optimum formülasyonda üretilen vegan kek	1.36±0.19 ^b
Hammadde (<i>Spirulina platensis</i>)	8.14±0.03

*Değerler ortalama olarak verilmiştir (n=5).

Standard sapma “±” olarak verilmiştir.

Üstel harflerin farklılığı istatistiksel açıdan farklılığı ifade etmektedir.

El-Said et al. (2021) tarafından yapılan çalışmada *Spirulina*’nın kül içeriği %8.40 olarak tespit edilmiştir. *Spirulina*’nın kül içeriği Barakat et al. (2016)’un çalışmasında %6,8 olarak bulunurken, Ali (2022)’nin çalışmasında %11.3 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada *Spirulina* için elde edilen kül içeriğinin (%8.14) El-Said et al. (2021) çalışması ile benzerlik gösterdiği, Barakat et al. (2016) ile Ali (2022)’nin çalışmalarının arasında kaldığı görülmektedir.

Ansorena et al. (2023)’un yaptıkları çalışmada vegan kekin kül içeriği %1.6 bulunmuştur. Aida et al. (2018)’un çalışmasında ise yumurta içermeyen kekin kül içeriği %0.82 olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada kontrol vegan keki kül içeriğinin (%1.01), Ansorena et al. (2023) ile Aida et al. (2018) tarafından bulunan değerlerin arasında yer aldığı görülmüştür. Kül içeriğindeki bu farklılığın farklı ürünlerin (farklı bitkisel sütler veya su) kullanımına ve kullanım oranlarına bağlı olduğu düşünülmektedir.

Egea et al. (2014) çalışmalarında farklı un karışımından oluşan kurabiyelere %2 ve %5 oranında *Spirulina* dahil etmiş ve kül içeriklerini sırasıyla %1.88 ve %1.97 olarak tespit etmişlerdir. El-Said et al. (2021), buğday unu ikamesi olarak %0.7 oranındaki *Spirulina*’yı ekmek formülasyonuna dahil etmişlerdir. *Spirulina* dahil edilen ekmeğin kül içeriği (%0.59) kontrol ekmeğine (%0.52) kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Bu çalışmada optimum formülasyondaki vegan kekin kül içeriği %1.36’dır. Literatürde *Spirulina* dahil edilen keklerde kül içeriğini araştıran çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle diğer fırıncılık ürünleriyle kıyaslama yapılmıştır. Sonuçlardaki farklılığın ürün çeşidinden ve bileşiminden kaynaklandığı

düşünülmektedir. Literatürdeki çalışmaların ortak noktası *Spirulina* miktarı arttıkça kül içeriğinin artmasıdır. Bu çalışmada da kontrole kıyasla optimum vegan kekin kül içeriği artmıştır.

4.3.3. Yağ Analizi

Örneklerin yağ analizi sonuçları Çizelge 4.36.'de yer almaktadır. Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda kek örnekleri arasında anlamlı bir farklılığın olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). En yüksek % yağ içeriğinin (%9.92) kontrol vegan kekinde bulunduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Çizelge 4.36.Yağ analizi sonuçları

Örnek	Yağ İçeriği (%) [*]
Kontrol vegan keki	9.92±0.13 ^a
RSM ile belirlenen optimum formülasyonda üretilen vegan kek	6.02±0.50 ^b
Hammadde (<i>Spirulina platensis</i>)	1.79±0.12

*Değerler ortalama olarak verilmiştir (n=5).

Standard sapma “±” olarak verilmiştir.

Üstel harflerin farklılığı istatistiksel açıdan farklılığı ifade etmektedir.

Spirulina'nın yağ içeriği Niccolai et al. (2019)'un çalışmasında %6.7 olarak bulunurken, Hussein et al. (2021)'un çalışmasında %6.02 olarak bulunmuştur. Dewi et al. (2016) yaptıkları çalışmada *Spirulina*'nın yağ içeriğini %1.40 olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmada *Spirulina* için elde edilen yağ içeriğinin (%1.79) Dewi et al. (2016) tarafından yapılan çalışma ile benzerlik gösterdiği, Niccolai et al. (2019) ile Hussein et al. (2021) tarafından yapılan çalışmalara kıyasla düşük olduğu görülmüştür. Yağ içeriğindeki bu farklılığın *Spirulina* türünden ve yetiştirme ortamından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Aida et al. (2018) yaptıkları çalışmada yumurta içermeyen kekin yağ içeriğini %9.99 olarak tespit etmişlerdir. Ansorena et al. (2023)'nin yaptıkları çalışmada vegan kekin yağ içeriği %4.5 bulunmuştur. Bu çalışmada kontrol vegan keki yağ içeriğinin (%9.92) Aida et al. (2018) tarafından bulunan yağ içeriği ile

benzerlik gösterdiği, Ansorena et al. (2023) tarafından bulunan sonuçlara kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür.

Achour et al. (2014) çalışmasında kontrol ekmeği, %1 ve %3 oranlarında *Spirulina* içeren ekmeklerin yağ içeriklerini sırasıyla %3.78, %4.12 ve %4.91 bulmuşlardır. El-Said et al. (2021) yaptıkları çalışmada kontrol ekmeği ve %0.07 oranında *Spirulina* içeren ekmek için yağ içerikleri sırasıyla %1.41 ve %1.45'dir. Bu çalışmada optimum koşullarda üretilen vegan kekin yağ içeriği %6.02'dir. Literatürde *Spirulina*'lı kekin yağ içeriğini inceleyen bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle unlu mamüllerden olan ekmek ürünü ile kıyasla yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar literature kıyasla yüksektir. Bu farklılığın ürün çeşidinden ve içeriğindeki yağ miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca Achour et al. (2014) ve El-Said et al. (2021)'in çalışmalarında kontrol grubuna kıyasla *Spirulina* dahil edilen grupların yağ içeriğinin arttığı görülmektedir. Ancak bu çalışmada *Spirulina* arttıkça yağ içeriğinde azalma meydana gelmiştir. Bunun çalışmada kullanılan *Spirulina*'nın düşük yağ içeriğine sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.3.4. Protein Analizi

Örneklerin protein analizi sonuçları Çizelge 4.37.'de yer almaktadır. Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda kek örnekleri arasında önemli bir farklılığın olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). En düşük protein içeriğinin (%2.01) kontrol vegan kekinde bulunduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Çizelge 4.37. Protein analizi sonuçları

Örnek	Protein İçeriği (%)*
Kontrol vegan keki	2.01±0.03 ^b
RSM ile belirlenen optimum formülasyonda üretilen vegan kek	4.20±0.01 ^a
Hammadde (<i>Spirulina platensis</i>)	58.75±0.004

*Değerler ortalama olarak verilmiştir (n=5).

Standard sapma "±" olarak verilmiştir.

Üstel harflerin farklılığı istatistiksel açıdan farklılığı ifade etmektedir.

Ali (2022) yaptığı çalışmada *Spirulina*'nın protein içeriğini %56.20 bulmuştur. Dewi et al. (2016)'un çalışmasında protein içeriği %59.16 iken, Egea et al. (2014)'un çalışmasında %61.4 olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada *Spirulina* için elde edilen protein içeriğinin (%58.75) literatürdeki çalışmalarla benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Aida et al. (2018) tarafından yapılan çalışmada yumurta içermeyen kekin protein içeriği %5.76 olarak tespit edilmiştir. Salwa (2009)'nın yaptığı çalışmada yer bademi sütü kullanılarak yapılan vegan kekin protein içeriği %1.08 bulunmuştur. Ansorena et al. (2023)'nin çalışmasında ise vegan kekin protein içeriği %5.1'dir. Bu çalışmada kontrol vegan keki protein içeriği %2.01 olarak bulunmuştur. Bu değer Salwa (2009)'nın bulduğu değere göre yüksek, Aida et al. (2018) ile Ansorena et al. (2023) tarafından bulunan değerlere göre düşüktür. Bu farklılığın kekin bileşiminde kullanılan farklı hammaddelerden ve kullanım oranlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Moradi et al. (2024) yaptıkları çalışmada kek ve ekmek örneklerine %0.25, %0.5, %0.75, %1 ve %1.25 oranlarında *Spirulina* dahil etmişlerdir. Kek örneklerinde protein miktarı sırasıyla %5.40, %5.45, %6.40, %5.35 ve %5.55 iken, ekmek örneklerinde sırasıyla %9.40, %9.45, %9.80, %9.70 ve %10.10 bulunmuştur. Aynı çalışmada kontrol kekinin protein içeriği %4.90 ve kontrol ekmeğinin %9.22'dir. Güroy (2020) çalışmasında farklı oranlardaki (%4, %6 ve %8) *Spirulina*'yı muffin formülasyonuna ilave etmiştir. Muffinlerin protein içeriği sırasıyla %6.74, %7.14 ve %7.55 iken, kontrol muffininin protein içeriği %6.32 olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada optimum koşullarda üretilen vegan kekin protein içeriği %4.20 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuç literatürdeki çalışmalara kıyasla düşüktür. Bunun ürünün süt ve yumurta içermemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca Güroy (2020)'un ve Moradi et al. (2024)'un çalışmasında olduğu gibi kontrole kıyasla formülasyona *Spirulina* dahil edilmesi protein içeriğinde artışa neden olmuştur.

4.3.5. Karbonhidrat İçeriği

Örneklerin karbonhidrat içeriği Çizelge 4.38.'de yer almaktadır. Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda kek örnekleri arasında anlamlı bir farklılığın olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). En yüksek % karbonhidrat içeriğinin (%62.23) optimum vegan kekinde bulunduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Çizelge 4.38. Örneklerin karbonhidrat içeriği

Örnek	Karbonhidrat İçeriği (%)*
Kontrol vegan keki	58.15±0.32 ^b
RSM ile belirlenen optimum formülasyonda üretilen vegan kek	62.23±0.49 ^a
Hammadde (<i>Spirulina platensis</i>)	24.41±0.09

*Değerler ortalama olarak verilmiştir (n=5).

Standard sapma “±” olarak verilmiştir.

Üstel harflerin farklılığı istatistiksel açıdan farklılığı ifade etmektedir.

Ali (2022)'nin çalışmasında *Spirulina*'nın karbonhidrat içeriği %17.02 olarak tespit edilmiştir. Dewi et al. (2016)'un çalışmasında %24.50 olarak, El-Said et al. (2021)'un çalışmasında ise %22.60 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada *Spirulina* için elde edilen karbonhidrat içeriğinin (%24.41) Dewi et al. (2016) tarafından yapılan çalışmayla benzerlik gösterdiği, Ali (2022) ile El-Said et al. (2021) tarafından yapılan çalışmalara kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu farklılığın sebebinin *Spirulina*'daki diğer besin öğelerinin miktarına bağlı olduğu düşünülmektedir.

Ansorena et al. (2023) yaptıkları çalışmada vegan kekin karbonhidrat içeriğini %56.8 olarak hesaplamıştır. Aida et al. (2018)'un çalışmasında ise yumurta içermeyen kekin karbonhidrat içeriği %56.47 bulunmuştur. Bu çalışmada kontrol vegan keki karbonhidrat içeriği (%58.15) literatürdeki çalışmalarla benzerlik göstermektedir.

Ak et al. (2016) yaptıkları çalışmada kontrol ekmeği ve %10 oranında *Spirulina* içeren ekmeğin karbonhidrat içeriğini sırasıyla %56.45 ve %51.09 olarak

hesaplamıştır. Niccolai et al. (2019) çalışmasında crostini formülasyonuna %2, %6 ve %10 oranlarında *Spirulina*'yı una ikame olarak dahil etmişlerdir. Kontrol grubu ile %2, %6 ve %10 oranında *Spirulina* içeren örneklerin karbonhidrat içeriği sırasıyla %61, %59.7, %57.8 ve %57.8'dir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatür ile benzerlik göstermektedir. Ancak bu çalışmada *Spirulina* dahil edilen optimum vegan kekin karbonhidrat içeriğinin kontrole kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Literatürde ise *Spirulina* ilave edildikçe karbonhidrat içeriği azalmıştır. Bu farklılığın ikame olmadan *Spirulina*'nın formülasyona direkt dahil edilmesinden ve *Spirulina*'nın besin içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.3.6. Enerji Değeri

Örneklerin enerji değeri Çizelge 4.39.'de yer almaktadır. Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda kek örnekleri arasında önemli bir farklılığın olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). En yüksek enerji değerinin (329.90 kcal/100 g) kontrol vegan kekinde, en düşük enerji değerinin (319.92 kcal/100 g) ise optimum vegan kekinde bulunduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Çizelge 4.39. Örneklerin enerji değeri

Örnek	Enerji Değeri (kcal/100 g)*
Kontrol vegan keki	329.90±2.35 ^a
RSM ile belirlenen optimum formülasyonda üretilen vegan kek	319.92±2.50 ^b
Hammadde (<i>Spirulina platensis</i>)	348.76±0.74

*Değerler ortalama olarak verilmiştir (n=5).

Standard sapma "±" olarak verilmiştir.

Üstel harflerin farklılığı istatistiksel açıdan farklılığı ifade etmektedir.

Ali (2022) tarafından yapılan çalışmada *Spirulina*'nın enerji değeri 387.40 kcal/100 g olarak hesaplanmıştır. Bu değer Barakat et al. (2016)'un çalışmasında 393.60 kcal/100 g olarak bulunmuştur. Yapılan bu çalışmada *Spirulina* için hesaplanan enerji değeri (348.76 kcal/100 g) literature kıyasla daha düşük bulunmuştur. Bu farklılığın sebebinin *Spirulina*'nın içerdiği farklı karbonhidrat, protein ve yağ miktarlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Singh et al. (2017) yaptıkları çalışmada yumurta içermeyen kekin enerji değerini 383.45 kcal/100 g olarak hesaplamışlardır. Ansorena et al. (2023) ise vegan kekin enerji değerini 274 kcal/100 g bulmuşlardır. Bu çalışmada kontrol vegan kekinin enerji değeri (329.90 kcal/100 g), Singh et al. (2017)'un bulduğu enerji değerine kıyasla düşük, Ansorena et al. (2023)'un bulduğu değere göre yüksektir. Literatürde yer alan çalışmalarda kullanılan hammaddeler farklılık göstermektedir. Böylece ürünlerin değişen protein, yağ ve karbonhidrat miktarları enerji değerini de etkilemektedir. Bu farklılığın sebebinin de hammadde farklılığından kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Egea et al. (2014) yaptıkları çalışmada kontrol kurabiyesi, %2 ve %5 oranlarında *Spirulina* içeren kurabiyelerin enerji değerlerini sırasıyla 1471.4 kJ/g, 2024.6 kJ/g ve 2104.3 kJ/g olarak hesaplamışlardır. Niccolai et al. (2019), kontrol grubu ile %2, %6 ve %10 *Spirulina* içeren crostinilerin enerji değerini sırasıyla 433.2 kcal/100 g, 429.0 kcal/100 g, 450.5 kcal/100 g ve 449.0 kcal/100 g bulmuşlardır. Yapılan bu çalışmada optimum formülasyonda üretilen vegan kekin enerji değeri 319.92 kcal/100 g olarak hesaplanmıştır. Optimum formülasyondaki vegan kek, kontrole (329.90 kcal/100 g) kıyasla daha düşük enerji değerine sahiptir. Bunun formülasyonlardaki şeker ve yağ miktarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Optimum formülasyonda kontrole göre daha fazla şeker bulunurken yağ miktarı daha azdır. Ayrıca şeker miktarındaki fazlalık yağ miktarındaki azalmaya göre daha azdır. Bu nedenle optimum vegan kekin enerji değeri düşük çıkmış olabilir.

4.3.7. Fenolik Madde Analizi

Örneklerin fenolik madde içeriği Çizelge 4.40.'de yer almaktadır. Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda kek örnekleri arasında önemli bir farklılığın olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). En yüksek fenolik madde içeriğinin (186.72 mg GAE/100 g KM) optimum formülasyonda üretilen vegan kek, en düşük fenolik madde içeriğinin (33.25 mg GAE/100 g KM) ise kontrol vegan kekinde bulunduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Çizelge 4.40. Örneklerin fenolik madde içeriği

Örnek	Fenolik madde içeriği (mg GAE/100 g KM)*
Kontrol vegan keki	33.25±0.88 ^b
RSM ile belirlenen optimum formülasyonda üretilen vegan kek	186.72±1.71 ^a
Hammadde (<i>Spirulina platensis</i>)	421.58±4.02

*Değerler ortalama olarak verilmiştir (n=5).

Standard sapma “±” olarak verilmiştir.

Üstel harflerin farklılığı istatistiksel açıdan farklılığı ifade etmektedir.

Gheda et al. (2021) yaptıkları çalışmada metanolle ekstrakte edilen *Spirulina*’nın fenolik madde içeriğini 5.85 mg GAE/g KM olarak tespit etmişlerdir. Marco et al. (2014) ise *Spirulina*’nın fenolik madde içeriğini 4.08 mg GAE/g bulmuşlardır. Bu çalışmada *Spirulina*’nın fenolik madde içeriği 421.58 mg GAE/100 g KM olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuç Marco et al. (2014)’nin sonucuna göre yüksek, Gheda et al. (2021)’nin sonucuna göre düşüktür. Sonuçlardaki bu farklılığın *Spirulina* türünden, yetiştirme koşullarından, ekstraksiyon yönteminden veya ekstraksiyonda kullanılan çözügen farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Zlateva et al. (2020) çalışmasında %2 ve %4 oranlarındaki *Spirulina*’yı ekmek formülasyonuna eklemiştir. Kontrol ekmeği, %2 ve %4 *Spirulina* içeren örnekler için fenolik madde içeriğini sırasıyla 0.68 mg GAE/ g KM, 0.74 mg GAE/g KM ve 0.88 mg GAE/g KM bulmuşlardır. Saharan and Jood (2021) yaptıkları çalışmada farklı oranlarda (%2, %4 ve %6) *Spirulina* tozunu ekmek formülasyonuna dahil etmişlerdir. Kontrol ekmeği, %2, %4 ve %6 oranlarında *Spirulina* içeren ekmeklerin toplam fenolik madde içeriği sırasıyla 0.62 mg GAE/g KM, 0.85 mg GAE/g KM, 1.19 mg GAE/ g KM ve 1.79 mg GAE/g KM olarak bulunmuştur. Hussein et al. (2021) tarafından yapılan çalışmada ise %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarında *Spirulina* makarnaya eklenmiştir. Kontrol makarnası, %2.5, %5, %7.5 ve %10 *Spirulina* içeren makarnalar için toplam fenolik madde içerikleri sırasıyla 0.72 mg/g, 1.56 mg/g, 1.95 mg/g, 2.13 mg/g ve 2.95 mg/g olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada kontrol vegan kekinin fenolik madde içeriği 33.25 mg

GAE/100 g KM, optimum vegan kekin fenolik madde içeriği ise 186.72 mg GAE/100 g KM bulunmuştur. Literatürdeki çalışmalar göz önüne alındığında gıda ürünlerindeki *Spirulina* miktarı arttıkça toplam fenolik madde miktarında da artış olduğu görülmektedir. Bu çalışmada da *Spirulina* miktarı ile toplam fenolik madde içeriğinde doğru orantılı bir artış meydana gelmiştir.

4.3.8. Antioksidan Aktivite Analizleri

4.3.8.1. ABTS analizi

Örneklerin antioksidan aktivite (ABTS) sonuçları Çizelge 4.41.'de yer almaktadır. Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda kek örnekleri arasında anlamlı bir farklılığın olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). En düşük antioksidan aktivite değerinin ($3.59 \mu\text{mol TE}/100 \text{ g KM}$) kontrol vegan kekinde bulunduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Çizelge 4.41. Örneklerin antioksidan aktivite (ABTS) değerleri

Örnek	ABTS ($\mu\text{mol TE}/100 \text{ g KM}$)*
Kontrol vegan keki	3.59 ± 0.22^b
RSM ile belirlenen optimum formülasyonda üretilen vegan kek	15.47 ± 0.68^a
Hammadde (<i>Spirulina platensis</i>)	41.05 ± 1.25

*Değerler ortalama olarak verilmiştir (n=5).

Standard sapma “ $\pm$ ” olarak verilmiştir.

Üstel harflerin farklılığı istatistiksel açıdan farklılığı ifade etmektedir.

Marco et al. (2014) yaptıkları çalışmada *Spirulina*'nın antioksidan aktivite (ABTS) değerini $25.45 \mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ bulmuştur. Guldass et al. (2020) tarafından yapılan çalışmada ise bu değer $1.28 \mu\text{mol TE}/\text{g KM}$ olarak tespit edilmiştir. Farklı ışık şiddetlerinde *Spirulina* yetiştiren Kepekçi et al. (2012)'un çalışmasında *Spirulina*'nın antioksidan aktivite değerlerinin $31.41 \mu\text{mol TE}/\text{g KM}$ ile $54.16 \mu\text{mol TE}/\text{g KM}$ arasında değiştiği belirtilmiştir. Bu çalışmada ise *Spirulina*'nın antioksidan aktivite değeri $41.05 \mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bu değer, Marco et al. (2014)'un çalışmasına göre yüksek iken Guldass et al.

(2020) ile Kepekçi et al. (2012)'un çalışmalarına kıyasla düşüktür. Bu farklılığın *Spirulina* türünden ve yetiştirme koşullarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Egea et al. (2014) yaptıkları çalışmada farklı unlardan yapılan kurabiyelerin bileşimine %2 ve %5 oranlarında *Spirulina* eklemişlerdir. *Spirulina* içermeyen ve %2 ve %5 oranında *Spirulina* içeren kurabiyelerin antioksidan aktivite değerleri sırasıyla 0.9 mmol TE/kg, 1.0 mmol TE/kg ve 1.1 mmol TE/kg bulunmuştur. Yapılan diğer çalışmalarda antioksidan aktivite (ABTS) değerleri “% inhibisyon”, “mM TE/kg” ve “µg TE/mg KM” gibi farklı birimden hesaplandığı için kıyaslama yapılamamıştır. Bu çalışmada kontrol vegan kekinin antioksidan aktivite değeri 3.59 µmol TE/100 g KM, optimum vegan kekin antioksidan aktivite değeri ise 15.47 µmol TE/100 g KM bulunmuştur. Egea et al. (2014)'un çalışmasında da olduğu gibi gıda ürünlerindeki *Spirulina* miktarı arttıkça antioksidan aktivite içeriğinde de artış meydana gelmektedir. Bu çalışmada da *Spirulina* miktarı ile antioksidan aktivite değerinde doğru orantılı bir artış olduğu görülmektedir.

4.3.8.2.DPPH analizi

Örneklerin antioksidan aktivite (DPPH) sonuçları Çizelge 4.42.'de yer almaktadır. Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda kek örnekleri arasında anlamlı bir farklılığın olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). En düşük antioksidan aktivite değerinin (1.22 µmol TE/100 g KM) kontrol vegan kekinde bulunduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Çizelge 4.42. Örneklerin antioksidan aktivite (DPPH) değerleri

Örnek	DPPH (µmol TE/100 g KM)*
Kontrol vegan keki	1.22±0.14 ^b
RSM ile belirlenen optimum formülasyonda üretilen vegan kek	17.90±1.24 ^a
Hammadde (<i>Spirulina platensis</i>)	114.53±0.39

*Değerler ortalama olarak verilmiştir (n=5).

Standard sapma “±” olarak verilmiştir.

Üstel harflerin farklılığı istatistiksel açıdan farklılığı ifade etmektedir.

Guldass et al. (2020) yaptıkları çalışmada *Spirulina*'nın antioksidan aktivite değerini (DPPH) 1.64 $\mu\text{mol TE/g KM}$ bulmuşlardır. Hussein et al. (2021) bu değeri 80,2 $\mu\text{mol/g}$ bulurken, Egea et al. (2014) 74.9 mmol/kg olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmada *Spirulina*'nın antioksidan aktivite değeri 114.53 $\mu\text{mol TE/100 g KM}$ bulunmuştur. Elde edilen bu değer Egea et al. (2014), Guldass et al. (2020) ile Hussein et al. (2021)'e göre düşüktür. Fenolik madde içeriği ve ABTS değerinde olduğu gibi DPPH antioksidan aktivitede değerindeki bu farklılığın *Spirulina* türüne ve yetiştirme koşullarına göre değişiklik gösterdiği düşünülmektedir.

Zlateva et al. (2020)'nin çalışmasında ekmek formülasyonuna %2 ve %4 oranlarında *Spirulina* eklemiştir. Kontrol ekmeği, %2 ve %4 *Spirulina* içeren örnekler için DPPH antioksidan aktivite değeri sırasıyla 1.37 mmol TE/g KM, 1.71 mmol TE/g KM ve 3.11 mmol TE/g KM bulunmuştur. Hussein et al. (2021) yaptıkları çalışmada kontrol makarnası, %2,5, %5, %7 ve %10 oranlarında *Spirulina* içeren makarnaların DPPH antioksidan aktivite değerini sırasıyla 10.29 $\mu\text{mol/g}$, 28.35 $\mu\text{mol/g}$, 39.47 $\mu\text{mol/g}$, 40.12 $\mu\text{mol/g}$ ve 42.49 $\mu\text{mol/g}$ olarak tespit etmişlerdir. Egea et al. (2014), kontrol kurabiyesi, %2 ve %5 *Spirulina* içeren kurabiyeleri için DPPH değerini sırasıyla 31.1 mmol/kg, 33.1 mmol/kg ve 36.5 mmol/kg bulmuştur. Literatürdeki çalışmalara göre *Spirulina* miktarı arttıkça ürünlerdeki antioksidan aktivite değerinde artış meydana gelmektedir. Bu çalışmada da kontrol vegan kekine (1.22 $\mu\text{mol TE/100 g KM}$) göre optimum formülasyondaki vegan kekin (17.90 $\mu\text{mol TE/100 g KM}$) DPPH antioksidan aktivite değerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Elde edilen bu değerler literature kıyasla daha düşüktür. Bu düşüklüğün hammaddenin daha düşük DPPH antioksidan aktivite değerine sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kontrol vegan kekinin optimum vegan keke kıyasla DPPH antioksidan aktivite değerinin daha düşük olmasının sebebi *Spirulina*'dan gelen antioksidan bulunmamasıdır.

4.3.9. Mineral Madde Analizi

Örneklerin mineral madde içeriği sonuçları Çizelge 4.43.'de yer almaktadır.

Çizelge 4.43. Örneklerin mineral madde içeriği

Analizler	Kontrol keki	RSM ile belirlenen optimum formülasyonda üretilen vegan kek	Hammadde (<i>Spirulina platensis</i>)
Demir (mg/kg)	26.13±0.38 ^b	43.03±1.15 ^a	375.28±9.89
Potasyum (mg/kg)	573.13±1.57 ^b	947.63±1.43 ^a	8038.75±1.57
Sodyum (mg/kg)	1653.75±0.42 ^b	1785.00±0.33 ^a	7401.25±1.43
Kalsiyum (mg/kg)	164.24±2.39 ^b	232.00±5.98 ^a	1056.48±1.70
Magnezyum (mg/kg)	1274.45±0.93 ^b	1549.43±1.65 ^a	3607.79±0.43

*Değerler ortalama olarak verilmiştir (n=5).

Standard sapma “±” olarak verilmiştir.

Üstel harflerin farklılığı istatistiksel açıdan farklılığı ifade etmektedir.

Spirulina’nın demir içeriğini, Rahim et al. (2021) 539 mg/kg, Koli et al. (2022) 26.59 mg/100 g, El-Said et al. (2021) 34.92 mg/100 g, Moradi et al. (2024) 29.5 mg/100 g bulmuştur. Bu çalışmada *Spirulina*’nın demir içeriği 375.28 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuç Koli et al. (2022) ile Moradi et al. (2024) çalışmalarına göre yüksek, Rahim et al. (2021)’a göre düşüktür. El-Said et al. (2021) ile paralellik göstermektedir.

Örneklerin demir içeriği sonuçlarına yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda kek örnekleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir ($p<0.05$). En yüksek demir içeriği (43.06 mg/kg) optimum formülasyonda üretilen vegan kek, en düşük demir içeriği ise (26.13 mg/kg) kontrol vegan kekindedir. Moradi et al. (2024) ekmek ve kek örneklerine farklı oranlarda (%0.25, %0.5, %0.75, %1 ve %1.25) *Spirulina* dahil etmiş ve örneklerin demir içeriğini araştırmışlardır. Kontrol ekmeği, %0.25, %0.5, %0.75, %1 ve %1.25 oranlarında *Spirulina* içeren ekmek örneklerinin demir içeriği sırasıyla 2.50 mg/kg, 3.01 mg/kg, 5.00 mg/kg, 6.60 mg/kg, 5.01 mg/kg ve 6.70 mg/kg’dir. Kek örnekleri için bu değerler sırasıyla 4.90 mg/kg, 5.20 mg/kg, 5.00 mg/kg, 5.10 mg/kg, 6.70 mg/kg ve 9.10 mg/kg’dir. El-Said et al. (2021), kontrol ekmeği ve %0.7 *Spirulina* içeren ekmek için demir içeriklerini 1.07 mg/100g ve 1.31 mg/100g olarak tespit etmişlerdir. Literatürdeki çalışmalarda olduğu gibi gıdalara *Spirulina* dahil edilmesi kontrole kıyasla demir içeriğinde artışa sebep olmaktadır. Bu çalışmada da

optimum formülasyondaki vegan kekin demir içeriği kontrole göre artış göstermiştir. Sonuçların literature kıyasla daha yüksek olmasının kullanılan hammaddenin demir içeriğinden veya hammadde kullanım oranından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Spirulina'nın potasyum içeriğini, Morsy et al. (2014) 2185.744 mg/100 g, Barakat et al. (2016) 1399 mg/100 g KM ve Hussein et al. (2021) 133.11 mg/100 g KM olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre *Spirulina*'nın potasyum içeriği (8038.75 mg/kg) Morsy et al. (2014) ve Barakat et al. (2016) tarafından yapılan çalışmalara kıyasla düşük, Hussein et al. (2021)'un çalışmasına kıyasla yüksektir.

Örneklerin potasyum içeriği sonuçlarına yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda kek örnekleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir ($p<0.05$). En yüksek potasyum içeriği (947.63 mg/kg) optimum formülasyonda üretilen vegan kek, en düşük demir içeriği ise (573.13 mg/kg) kontrol vegan kekindedir. Barakat et al. (2016), kontrol bisküvisi, %0,5, %1, %2 ve %3 oranlarında *Spirulina* ile zenginleştirilmiş bisküvilerin potasyum içeriğini sırasıyla 84.90 mg/100 g KM, 878.00 mg/100 g KM, 1007.00 mg/100 g KM, 1046.00 mg/100 g KM ve 1149.00 mg/100 g KM bulmuşlardır. El-Said et al. (2021), kontrol ekmeği ve %0.7 *Spirulina* içeren ekmeğin potasyum içeriklerini sırasıyla 33.53 mg/100 g ve 66.52 mg/100 g olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmadaki hem kontrol vegan kekinin hem de optimum formülasyondaki vegan kekin potasyum içeriği El-Said et al. (2021)'a göre yüksek iken Barakat et al. (2016)'a göre düşüktür. Bu farklılığın sebebi kullanılan buğday ununun farklılığından veya kullanım oranından kaynaklanabilir. Ancak iki çalışmada da olduğu gibi *Spirulina* ilave edilen formülasyonlar, kontrole kıyasla daha yüksek potasyum içeriğine sahiptir.

Spirulina'nın sodyum içeriğini, Janda-Milczarek et al. (2023) 9868 mg/kg, Morsy et al. (2014) 1510.168 mg/100 g, Barakat et al. (2016) 859 mg/100 g KM ve Hussein et al. (2021) 762 mg/100 g KM bulmuşlardır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre *Spirulina*'nın sodyum içeriği (7401.25 mg/kg) Janda-Milczared et al. (2023), Morsy et al. (2014) ve Barakat et al. (2016) tarafından yapılan

çalışmalara göre daha düşüktür. Hussein et al. (2021)'nin çalışması ile paralellik göstermektedir.

Örneklerin sodyum içeriği sonuçlarına yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda kek örnekleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir ($p<0.05$). En yüksek sodyum içeriği (1785.00 mg/kg) optimum formülasyonda üretilen vegan kek, en düşük demir içeriği ise (1653.75 mg/kg) kontrol vegan kekindir. Hussein et al. (2021), kontrol makarnası, %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarında *Spirulina* içeren makarnaların sodyum içerikleri sırasıyla 625.11 mg/100 g KM, 630.19 mg/100 g KM, 640.25 mg/100 g KM, 650.33 mg/100 g KM ve 665.19 mg/100 g KM'dir. Barakat et al. (2016) kontrol bisküvisi, %0.5, %1, %2 ve %3 oranlarında *Spirulina* içeren bisküvilerin sodyum içerikleri sırasıyla 47.20 mg/100 g KM, 72.00 mg/100 g KM, 95.90 mg/100 g KM, 131.10 mg/100 g KM ve 150.00 mg/100 g KM'dir. Bu çalışmadaki hem kontrol vegan kekinin hem de optimum formülasyondaki vegan kekin sodyum içeriği Barakat et al. (2016)'a göre yüksek iken Hussein et al. (2021)'a göre düşüktür. Bu farklılığın kullanılan buğday unundan, kullanım oranından veya ürün farklılığından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Her iki çalışmada da kontrol grupları *Spirulina* içeren gruplara göre düşük sodyum içermektedir. Bu çalışmada da benzer artış meydana gelmiştir.

Spirulina'nın kalsiyum içeriğini, Koli et al. (2022) 107.83 mg/100 g, Rahim et al. (2021) 2700 mg/kg, Hussein et al. (2021) 165.1 mg/100 g KM ve El-Said et al. (2021) 15.86 mg/100 g olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen sonuç (1056.48 mg/kg), Rahim et al. (2021), Hussein et al. (2021) ve El-Said et al. (2021) tarafından yapılan çalışmalara göre düşüktür. Koli et al. (2022) tarafından yapılan çalışma ile benzerlik göstermektedir.

Örneklerin kalsiyum içeriği sonuçlarına yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda kek örnekleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir ($p<0.05$). En yüksek kalsiyum içeriği (232 mg/kg) optimum formülasyonda üretilen vegan kek, en düşük kalsiyum içeriği ise (164.24 mg/kg) kontrol vegan kekindir. Koli et al. (2022) kontrol makarnası, %2, %5, %7.5, %10, %12.50 ve %15 oranlarında *Spirulina* içeren makarnaların kalsiyum içerikleri sırasıyla 21.57 mg/100 g KM, 22.69 mg/100 g KM, 25.33 mg/100 g KM, 27.44 mg/100 g KM,

29.50 mg/100 g KM, 31.62 mg/100 g KM ve 33.92 mg/100 g KM'dir. Hussein et al. (2021) kontrol makarnası, %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarında *Spirulina* içeren makarnaların kalsiyum içerikleri sırasıyla 49.15 mg/100 g KM, 55.22 mg/100 g KM, 60.16 mg/100 g KM, 65.10 mg/100 g KM ve 70.15 mg/100 g KM'dir. Bu çalışmada elde edilen kontrol vegan keki ve optimum formülasyondaki vegan kekin kalsiyum içerikleri Koli et al. (2022) ile benzerlik göstermektedir. Sonuçlar Hussein et al. (2021)'un çalışmasına kıyasla düşüktür. Bu farklılığın *Spirulina*'nın kalsiyum içeriğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Spirulina'nın magnezyum içeriğini, Rahim et al. (2021) 3200 mg/kg, Janda-Milczarek et al. (2023) 4151 mg/kg ve Barakat et al. (2016) 400 mg/100 g KM bulmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuç (3607.79 mg/kg), Rahim et al. (2021)'un bulduğu değere kıyasla yüksek, Janda-Milczarek et al. (2023) ile Barakat et al. (2016) tarafından bulunan değerlere kıyasla düşüktür.

Örneklerin magnezyum içeriği sonuçlarına yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda kek örnekleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir ($p<0.05$). En yüksek magnezyum içeriği (1549.43 mg/kg) optimum formülasyonda üretilen vegan kek, en düşük magnezyum içeriği ise (1274.45 mg/kg) kontrol vegan kekindedir. Barakat et al. (2016) kontrol bisküvisi, %0.5, %1, %2 ve %3 oranlarında *Spirulina* ile zenginleştirilen bisküvilerin magnezyum içerikleri sırasıyla 154.70 mg/100 g KM, 167.70 mg/100 g KM, 168.80 mg/100 g KM, 188.10 mg/100 g KM ve 196.80 mg/100 g KM'dir. El-Said et al. (2021) kontrol ekmeğinin ve %0.7 oranında *Spirulina* içeren ekmeğin magnezyum içeriği sırasıyla 8.56 mg/100 g ve 9.15 mg/100 g'dır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar El-Said et al. (2021)'a kıyasla yüksektir. Bu farklılığın sebebi kullanılan *Spirulina*'dan ve undan kaynaklanabilir. El-Said et al. (2021)'un çalışmasında kullanılan *Spirulina* (89.75 mg/100 g) ve buğday ununun (7.37 mg/100 g) magnezyum içeriği de literature kıyasla düşüktür. Hussein et al. (2021) buğday ununun magnezyum içeriğini 368.33 mg/100 g KM bulmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Barakat et al. (2016) ile benzerlik göstermektedir.

4.3.10. Fikosiyanin Analizi ve Klorofil Analizi Sonuçları

Örneklerin fikosiyanin ve klorofil içerikleri Çizelge 4.44.'te yer almaktadır.

Çizelge 4.44. Örneklerin fikosiyanin ve klorofil içerikleri

Analizler	Kontrol keki	RSM ile belirlenen optimum formülasyonda üretilen vegan kek	Hammadde (<i>Spirulina platensis</i>)
% Ham Fikosiyanin Miktarı	Tespit edilemedi ^b	5.25±0.03 ^a	11.82±0.8
Klorofil a Miktarı (mg/100 g KM)	Tespit edilemedi ^b	31.93±0.69 ^a	1668.06±47.83
Klorofil b Miktarı (mg/100 g KM)	Tespit edilemedi ^b	16.27±1.38 ^a	91.68±2.92
Toplam Klorofil Miktarı (mg/100 g KM)	Tespit edilemedi ^b	48.19±4.93 ^a	1759.74±22.47

*Değerler ortalama olarak verilmiştir (n=5).

Standard sapma “±” olarak verilmiştir.

Üstel harflerin farklılığı istatistiksel açıdan farklılığı ifade etmektedir.

Spirulina'nın fikosiyanin içeriğini, Oliveira et al. (2007) *Spirulina*'ya farklı kurutma koşulları uygulamış ve fikosiyanin içeriği için %10.1 ile %15.6 aralığında değişen sonuçlar elde etmişlerdir. Güroy (2020) yaptığı çalışmada bu değeri %22.82 bulmuştur. Bu çalışmada *Spirulina*'nın ham fikosiyanin içeriği %11.82 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuç Oliveira et al. (2007) ile benzerlik gösterirken, Güroy (2020)'a göre düşüktür. Sonuçlardaki bu farklılığın kurutma koşullarından (yöntem, sıcaklık vb.) veya ürünün depolama koşullarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Örneklerin ham fikosiyanin içeriği sonuçlarına yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda kek örnekleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Kontrol kekinde ham fikosiyanin tespit edilemezken, optimum formülasyondaki vegan kekin ham fikosiyanin içeriği %5.25 bulunmuştur. Güroy (2020) yaptığı çalışmada muffin örneklerine %4, %6 ve %8 oranlarında taze *Spirulina* ve toz *Spirulina* dahil etmişlerdir. Taze *Spirulina* içeren örneklerin ham fikosiyanin içeriği sırasıyla %0.61, %0.99 ve %0.99 bulunurken, toz *Spirulina* içeren örneklerin ham fikosiyanin içeriği sırasıyla %0.47, %0.60 ve

%0.71 bulunmuştur. Barakat et al. (2016), %0.5, %1, %2 ve %3 oranında *Spirulina* içeren keklerin fikosiyenin içeriğini sırasıyla 22.10 µg/g, 23.90 µg/g, 30.70 µg/g ve 35 µg/g bulmuştur. Bu çalışmada, kontrol vegan kekinde ham fikosiyenin tespit edilememiştir ve bu sonuç literatür ile uyum sağlamaktadır. Literatüre benzer şekilde, optimum formülasyondaki vegan kekin içeriği kontrole kıyasla artmıştır. Optimum formülasyondaki vegan kekin ham fikosiyenin içeriği Güroy (2020)'nin sonuçlarına kıyasla yüksektir. Barakat et al. (2016) ham fikosiyenin cinsinden hesaplamadığı için kıyaslama yapılamamıştır.

Spirulina'nın klorofil a (1668.06 mg/100 g KM), klorofil b (91.68 mg/100 g KM) ve toplam klorofil içeriği (1759.74 mg/100 g KM) incelenmiştir. Rahim et al. (2021) çalışmasında *Spirulina*'nın klorofil a ve klorofil b değerlerini sırasıyla 7.44 mg/g ve 6.41 mg/g bulmuştur. Leema et al. (2010) ise zarrouk ortamında yetiştirilen *Spirulina*'nın klorofil a değerini 16.73 mg/g tespit etmiştir. Deniz suyu içeren ortamlarda yetişen *Spirulina*'ların klorofil a değerleri ise 7.85-9.64 mg/g aralığında değişen sonuçlar vermiştir. Liestianty et al. (2019)'ın çalışmasında *Spirulina*'nın toplam klorofil içeriği 11 mg/g'dir. Bu çalışmada elde edilen klorofil a değeri Leema et al. (2010) ile paralellik gösterirken, Rahim et al. (2021)'a göre yüksektir. Toplam klorofil içeriği literatüre kıyasla yüksektir. *Spirulina*'nın klorofil içeriği, yetiştirilme koşullarına (ışık, ortam içeriği, pH, sıcaklık vb.), ekstraksiyon yöntemine ve kullanılan çözügene bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sonuçlardaki farklılığın da bu sebeplerden dolayı olduğu düşünülmektedir.

Örneklerin klorofil içeriği sonuçlarına yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda kek örnekleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Kontrol kekinde klorofil tespit edilemezken, optimum formülasyondaki vegan kekin klorofil a (31.93 mg/100 g KM), klorofil b (16.27 mg/100 g KM) ve toplam klorofil içeriği (48.19 mg/100 g KM) bulunmuştur. Amoriello et al. (2021), %1, %2.5 ve %4 oranlarında *Spirulina* dahil ettikleri ekmeklerin klorofil a içeriklerini sırasıyla 0.29 µg/g KM, 0.95 µg/g KM ve 1.19 µg/g KM, klorofil b içeriklerini ise sırasıyla 0.55 µg/g KM, 1.78 µg/g KM ve 2.22 µg/g KM bulmuşlardır. Barakat et al. (2016) çalışmasında %0.5, %1, %2 ve %3 *Spirulina* ilave ettiği bisküvilerin klorofil a içeriğini sırasıyla 31.70 µg/g, 29.70 µg/g, 39.40 µg/g ve 46.10 µg/g olarak tespit etmişlerdir. Literatürde olduğu gibi, bu çalışmada

da kontrol vegan kekinde klorofil tespit edilememiştir. Igual et al. (2020) tarafından yapılan çalışmada mikroalg içeren hamur formülasyonun ve 180 °C’de pişmiş ekmek çubuklarının klorofil içeriğini incelemiştir. Gıdalardaki klorofillerin işleme esnasında termal bozunmaya uğradığı ve pişirme ile birlikte hamur formülasyonlarına kıyasla ekmek çubuklarının klorofil içeriğinin düştüğü belirtilmiştir. Bu çalışmada da optimum formülasyondaki vegan kekin düşük klorofil içeriğine sahip olması pişirmeden kaynaklı olabilir.



4.3.11. Amino Asit Analizi Sonuçları

Örneklerin amino asit analizi sonuçları Çizelge 4.45.'te yer almaktadır.

Çizelge 4.45. Örneklerin amino asit içerikleri

Analizler (mg/100 g)	Kontrol keki	RSM ile belirlenen optimum formülasyonda üretilen vegan kek	Hammadde (<i>Spirulina platensis</i>)
Aspartik Asit	0.35±0.03 ^{bEF}	0.53±0.02 ^{aI}	2.49±0.05 ^D
Glutamik asit	0.94±0.02 ^{bA}	1.44±0.03 ^{aA}	4.21±0.03 ^A
Serin	0.27±0.02 ^{aGHI}	0.42±0.04 ^{aI}	1.35±0.08 ^{HI}
Histidin	0.18±0.02 ^{bI}	0.37±0.03 ^{aE}	1.25±0.04 ^{II}
Glisin	0.39±0.03 ^{aDE}	0.41±0.05 ^{aI}	2.27±0.03 ^E
Treonin	0.75±0.03 ^{bB}	1.26±0.08 ^{aC}	2.70±0.03 ^C
Arginin	0.33±0.03 ^{bEFG}	0.77±0.02 ^{aG}	2.88±0.06 ^B
Alanin	0.29±0.02 ^{aFGHI}	0.43±0.03 ^{aI}	2.62±0.16 ^{CD}
Tirozin	0.31±0.02 ^{bFGH}	1.35±0.03 ^{aB}	2.29±0.05 ^E
Valin	0.48±0.03 ^{aC}	1.10±0.03 ^{aD}	2.11±0.03 ^{FG}
Metiyonin	0.05±0.04 ^{aJ}	0.07±0.04 ^{aK}	0.55±0.03 ^J
Fenilalanin	0.25±0.03 ^{bHI}	0.68±0.02 ^{aH}	1.27±0.07 ^{II}
İzolösin	0.24±0.02 ^{bII}	0.52±0.02 ^{aI}	1.45±0.03 ^H
Lösin	0.43±0.04 ^{bCD}	0.59±0.03 ^{aI}	2.20±0.02 ^{EF}
Lisin	0.11±0.05 ^{aJ}	0.32±0.02 ^{aJ}	1.15±0.11 ^I
Prolin	0.75±0.03 ^{aB}	0.88±0.02 ^{aF}	2.00±0.08 ^G

*Değerler ortalama olarak verilmiştir (n=5).

Standard sapma “±” olarak verilmiştir.

Üstel harflerin farklılığı istatistiksel açıdan farklılığı ifade etmektedir.

Küçük harfler yatay sütundaki anlamlı farklılığı ifade etmektedir.

Büyük harfler dikey sütundaki anlamlı farklılığı ifade etmektedir.

Spirulina'nın aminoasit içeriğine bakıldığında en yüksek miktarın glutamatik asitte (4.22 g/100 g) olduğu, ardından argininin (2.88 g/100 g) yer aldığı görülmektedir. Bunları aspartik asit (2.49 g/100 g), alanin (2.62 g/100 g) ve treonin (2.70 g/100 g) takip etmektedir. En düşük miktarların ise metiyoninde (0.55 g/100 g), ardından lisinde (1.15 g/100 g), histidinde (1,25 g/100 g) ve fenilalaninde (1.27

g/100 g) olduğu bulunmuştur. Dewi et al. (2016)'un çalışmasında da olduğu gibi *Spirulina*'nın amino asit içeriğine bakıldığında en yüksek değerlerin glutamik asitte (8373.63 mg/100 g), aspartik asitte (4981.80 mg/100 g) ve alaninde (4232.14 mg/100 g) olduğu, en düşük değerlerin ise histidinde (1188.25 mg/100 g) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca metiyonin tespit edememişlerdir. Aynı çalışmada *Spirulina*'ya farklı proses uygulamalarının (sonikasyon, maserasyon vb.) aminoasit içeriğini önemli derece etkilediği belirtilmiştir. Uslu et al. (2009) çalışmasında yaz aylarında ve kış aylarında yetiştirilen *Spirulina*'nın amino asit içeriğini incelemişlerdir. Yaz aylarında üretilen ürünlerde en yüksek amino asit içeriğinin glutamik asitte (6747.4 mg/100 g), aspartik asitte (3791.3 mg/100 g) ve lösinde (3198.5 mg/100 g) olduğu, en düşük amino asit içeriğinin ise metiyonin (551.6 mg/100 g) ve histidinde (818.5 mg/100 g) olduğu görülmüştür. Kış aylarında üretilen üründe ise en yüksek amino asit içeriğinin glutamik asitte (3782.2 mg/100 g), aspartik asitte (1889.8 mg/100 g) ve lösinde (1862.3 mg/100 g) olduğu görülmüştür. Kış aylarında yetiştirilen üründeki metiyonin miktarı 318 mg/100 g ve histidin miktarı ise 471.6 mg/100 g bulunmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuçların da literatür ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Alg ürünlerinde diğer amino asitlere kıyasla daha yüksek oranda glutamik asit ve aspartik asit bulunması alglere özgü tadın oluşmasını sağlamaktadır (Dewi et al., 2016). Bu çalışmada da glutamik asit ve aspartik asit miktarı yüksek iken lisin, metiyonin ve histidin miktarı daha düşüktür. Ayrıca amino asit miktarlarındaki farklılıkların *Spirulina*'nın yetiştirilme koşullarından (sıcaklık, mevsim, ışık şiddeti vb.) veya uygulanan proseslerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Örneklerin amino asit içeriği sonuçlarına yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda örnekler arasında anlamlı bir farklılık olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Optimum formülasyonda en yüksek amino asit içeriği glutamik asitte (1.44 g/100 g), en düşük amino asit ise metiyoninedir (0.07 g/100 g). Kontrol kekinde de benzer şekilde en yüksek amino asit glutamik asitte (0.94 g/100 g), en düşük amino asit içeriği metiyoninde (0.05 g/100 g) ve lisindedir (0.11 g/100 g). Sahin (2019) bisküvi formülasyonuna %2 oranında *Spirulina* ilave etmiş ve amino asit içeriklerini araştırmıştır. Kontrol bisküvilerinde en yüksek amino asitlerin aspartik asit (0.71 g/100 g), glisin (0.63 g/100 g), serin (0.81 g/100 g) ve treoninde (0.63

g/100 g) olduğu, en düşük amino asit miktarlarının ise histidinde (0.07 g/100 g), fenilalaninde (0.05 g/100 g) ve metiyoninde (0.09 g/100 g) olduğu belirtilmiştir. *Spirulina* ilave edilen bisküvilerde ise en yüksek amino asit miktarlarının alaninde (1.91 g/100 g), serinde (1.63 g/100 g) ve aspartik asitte (1.37 g/100 g) olduğu, en düşük amino asit miktarlarının ise histidinde (0.43 g/100 g), fenilalaninde (0.26 g/100 g) ve metiyoninde (0.25 g/100 g) bulunduğu tespit edilmiştir. Ali et al. (2022) keklere %2.5, %5 ve %7.5 oranlarında *Spirulina* dahil etmiştir. Kontrol kekinde en yüksek amino asit değerlerinin glutamik asitte (6.3 g/100 g), lösinde (3.5 g/100 g), prolinde (3.3 g/100 g) ve aspartik asitte (3.1 g/100 g) olduğu, en düşük değerlerin ise metiyoninde (0.5 g/100 g) ve histidinde (0.5 g/100 g) olduğu görölmüştür. %2.5 oranında *Spirulina* içeren keklerde en yüksek değerler glutamik asitte (7.1 g/100 g), aspartik asitte (4.5 g/100 g), prolinde (5.4 g/100 g) ve lösinde (4.1 g/100 g) bulunurken, en düşük değerler metiyonin (1.2 g/100 g) ve histidinde (0.9 g/100 g) bulunmuştur. Literatürdeki bu çalışmalarda olduğu gibi kontrol grubuna kıyasla *Spirulina* ilave edilen optimum formülasyondaki vegan keklerin amino asit içeriğinde artış meydana gelmiştir. Ancak meydana gelen artış miktarı ve artan amino asit çeşidi değişiklik göstermektedir. Bu farklılığın *Spirulina*'nın amino asit kompozisyonundan veya kullanılan buğday ununun amino asit içeriğinden kaynaklanabileceği düşünölmektedir.

4.3.12. Renk Analizi Sonuçları

Örneklerin renk analizi sonuçları Çizelge 4.46.'te yer almaktadır.

Çizelge 4.46. Örneklerin renk analizi sonuçları

Analizler	Kontrol keki	RSM ile belirlenen optimum formülasyonda üretilen vegan kek
$L^*_{dış}$	73.12±1.05	42.00±0.05
$a^*_{dış}$	8.93±0.21	-0.002±0.16
$b^*_{dış}$	32.07±0.55	12.09±0.43
$L^*_{iç}$	76.53±0.93	37.53±0.06
$a^*_{iç}$	1.29±0.09	-2.79±0.19
$b^*_{iç}$	17.72±0.02	12.83±0.54
Kroma (C*)	17.76±0.008	13.13±0.57
Hue Açısı (h°)	1.50±0.005	-1.36±0.004
Renk Farkı	-	39.76±0.15

*Değerler ortalama olarak verilmiştir (n=5).

Standard sapma “±” olarak verilmiştir.

Üstel harflerin farklılığı istatistiksel açıdan farklılığı ifade etmektedir.

Fırıncılık ürünlerinde renk değerleri genellikle hamurun fizikokimyasal özelliklerine, pişirme sıcaklığına ve süresine bağlı olarak değişmektedir. Kek kabuğunun rengi karamelizasyon ve Maillard reaksiyonları ile bağlantılıdır (Aydogdu et al., 2018). L değerinin aydınlık/koyuluk ile, a değerinin kırmızılık(+)/yeşillik(-) ve b değerinin sarılık(+)/mavilik(-) ile ilişkili olduğu bilinmektedir (Nakilcioglu and Ötleş, 2022). Bu çalışmada renk analizinden elde edilen verilere istatistiksel değerlendirme yapılmıştır. $L^*_{dış}$, $a^*_{dış}$, $b^*_{dış}$, $L^*_{iç}$, $a^*_{iç}$, $b^*_{iç}$, kroma, hue açısı ve renk farkı değerleri için yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda örnekler arasında anlamlı farklılıkların olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Kontrol kekinde $L^*_{dış}$ değeri 73.12 ve $L^*_{iç}$ değeri 76.53 bulunmuştur. Optimum koşullarda üretilen vegan kek için $L^*_{dış}$ değeri 42 iken $L^*_{iç}$ değeri 37.53'tür. Vegan kek formülasyonuna *Spirulina* dahil edilmesi hem $L^*_{iç}$ hem de $L^*_{dış}$ renginde aydınlığın azalmasına sebep olmuştur. Bunun *Spirulina*'nın renginden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kontrol kekinde $a^*_{dış}$ değeri 8.93 ve $a^*_{iç}$ değeri

1.29 iken, optimum koşullarda üretilen vegan kekte $a^*_{dış}$ değeri -0,002 ve $a^*_{iç}$ değeri -2.79'dur. Kontrol kekinde görülen kırmızimsılık vegan kekte yeşilliğe yaklaşmıştır. *Spirulina* yeşil renge sahip olduğundan hem kekin dış kabuğunda hem de iç kısmında a değerinin azalmasına sebep olmuştur. Kontrol kekinde $b^*_{dış}$ değeri 32.07 ve $b^*_{iç}$ değeri 17.72 iken, optimum koşullarda üretilen vegan kekte $b^*_{dış}$ değeri 12.09 ve $b^*_{iç}$ değeri 12.83 olarak bulunmuştur. *Spirulina* ilavesinin vegan keklerdeki sarılık değerini azalttığı görülmektedir. Kroma değerinin ise optimum koşullarda üretilen vegan keke (13.13) kıyasla kontrol vegan kekinde (17.76) daha yüksek olduğu görülmüştür. Hue açısının optimum koşullarda üretilen vegan keke (-1.36) kıyasla kontrol vegan kekinde (1.50) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kroma ile hue açısı, a^* ve b^* değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Kroma değeri, doymuş güçlü ve saf renklerin, romantik renklerden ayrı değerlendirilmesidir. Hue açısı ise iki farklı rengin birbirinden ayrılmasını sağlar (Nakilcioğlu-Taş, 2016). Hue (h^*) açısı genellikle gıdanın rengini tanımlamada kullanılır. Bu değer yüksek olması daha az esmerleşme reaksiyonu gerçekleştiğinin göstergesidir (Sicari et al., 2022). *Spirulina* ilavesi ile keklerin hem a^* hem b^* değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Bu yüzden kroma ve hue açısı değerlerinin azalması beklenen bir durumdur.

Amoriello et al. (2021) çalışmasında kontrol ekmeği ile %1, %2.5 ve %4 oranlarında *Spirulina* içeren ekmekleri renk bakımından incelemişlerdir. Ekmeklerin $L^*_{iç}$ değerini sırasıyla 74.68, 54.55, 37.50 ve 37.40 olarak, $L^*_{dış}$ değerlerini ise sırasıyla 55.72, 45.27, 41.37 ve 37.72 olarak bulmuşlardır. $a^*_{iç}$ değerleri sırasıyla -1.02, -3.31, -4.98 ve -7.94 olarak, $a^*_{dış}$ değerleri sırasıyla 13.91, 8.70, 2.64 ve 0.19'dur. $b^*_{iç}$ ise sırasıyla 22.17, 19.85, 20.28 ve 11.49 iken, $b^*_{dış}$ sırasıyla 41.16, 33.46, 26.60 ve 17.95 olarak ölçülmüştür.

El-Said et al. (2021) yaptıkları çalışmada kontrol ekmeği ve %0.7 oranında *Spirulina* içeren ekmeklerin renk parametrelerini incelemişlerdir. L^* değeri için sırasıyla 65.27 ve 63.92, a^* değeri için sırasıyla 11.19 ve 2.05, b^* değeri için sırasıyla 24.15 ve 19.42 değerlerini bulmuşlardır.

Onacık-Gür et al. (2018) çalışmasında kontrol grubu ile %1, %2 ve %3 oranında *Spirulina* içeren kurabiyelerin renk parametrelerini araştırmışlardır. L^*

değerleri sırasıyla 61.89, 50.61, 45.89 ve 42.96, a değerleri sırasıyla 5.46, 0.83, -0.35 ve -0.44. b* değerleri sırasıyla 20.45, 14.01, 9.62 ve 6.75 olarak bulunmuştur. Renk farkı değerleri sırasıyla 0, 13.79, 20.18 ve 24.10 ve kroma değerleri ise sırasıyla 21.17, 14.03, 9.63 ve 6.76 olarak hesaplanmıştır.

Figueira et al. (2011) yaptığı çalışmada kontrol ekmeği ile %2, %3, %4 ve %5 oranlarında *Spirulina* içeren ekmek formülasyonlarının rengini araştırmışlardır. L* değerleri sırasıyla 75.15, 45.55, 38.84, 33.57 ve 28.83, a* değerleri sırasıyla -1.56, -8.16, -7.77, -6.80 ve -5.67, b* değerleri ise sırasıyla 6.85, 14.41, 14.66, 13.09 ve 11.48'dir. Kroma değerleri sırasıyla 7.03, 16.56, 16.60, 14.75 ve 12.81 olarak, hue açısı ise sırasıyla 102.85, 119.53, 117.93, 117.46 ve 116.28 olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlar literatürle karşılaştırıldığında, sonuçların literatür ile benzerlik gösterdiği görülmüştür. Optimum formülasyonda üretilen vegan keklerde bütün renk parametreleri kontrole kıyasla azalmıştır. Literatürde de *Spirulina* miktarı arttıkça L*, a* ve b* değerlerinde azalma meydana geldiği görülmektedir. Sonuçlardaki bazı farklılıkların kullanılan *Spirulina* miktarına bağlı olabileceği düşünülmektedir.

4.3.13. Fiziksel Analiz Sonuçları

Örneklerin pişirme kaybı, simetri indeksi, tekdüzelik indeksi, hacim indeksi ve spesifik hacim analiz sonuçları Çizelge 4.47.'da yer almaktadır.

Çizelge 4.47. Örneklerin fiziksel analiz sonuçları

Analizler	Kontrol keki	RSM ile belirlenen optimum formülasyonda üretilen vegan kek
Piştirme Kaybı (%)	11.54± 0.66	11.22± 0.24
Simetri İndeksi (mm)	1.67±0.58	2.33±0.58
Tekdüzelik İndeksi (mm)	2.50±0.50	0.67±1.53
Hacim İndeksi (mm)	102.00±1.00	111.00±3.00
Spesifik Hacim (cm³/g)	1.54±0.03	1.76±0.03

*Değerler ortalama olarak verilmiştir (n=5).

Standard sapma “±” olarak verilmiştir.

Yapılan istatistiksel analiz sonucunda örnekler arasında anlamlı bir farklılığın bulunmadığı görülmüştür ($p>0.05$). Piştirme kaybı kontrol keklerinde %11.54 ve optimum formülasyonda üretilen vegan keklerde %11.22'dir. Diprat et al. (2020) tarafından yapılan çalışmada ekmek formülasyonuna %2.5 ve %5 oranlarında *Chlorella*, bezelye ununa ikame olarak kullanılmıştır. *Chlorella* ilavesinin kontrole kıyasla piştirme kaybını düşürdüğü ancak aralarında anlamlı bir farklılık olmadığı belirtilmiştir ($p>0.05$). Ayrıca *Chlorella* miktarı arttıkça piştirme kaybında değişiklik olmadığı görülmüştür. Sonuçlar, yapılan bu çalışma ile benzerlik göstermektedir.

El-Kewaisny et al. (2017) çalışmasında *Spirulina* tozunu buğday ununa ikame olarak eklemiştir. Kontrol grubu, %0.5, %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında *Spirulina* içeren bisküvilerin piştirme kayıplarını sırasıyla %14.22, %14.41, %14.32, %14.55 ve %14.43'dur. *Spirulina* dahil edilen bir kek çalışmasında piştirme kaybı ile ilgili bir veri bulunamadığından kıyaslama yapılamamıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, El-Kewaisny et al. (2017)'a göre düşüktür. Bu farklılığın ürün çeşidinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Kek hamurunun pişirme sırasında simetrik olarak gelişmesi önemlidir. Pişirme esnasında kekte meydana gelen yükselmenin orta kısımda daha yüksek olması beklenir. Bu durumda kekin merkezi, uç kısımlarına göre yüksektir ve simetri indeksinin de sıfırdan büyük olması beklenir (Felisberto et al., 2015). Yapılan istatistiksel analiz sonucunda örnekler arasında önemli bir farklılık bulunmadığı görülmüştür ($p>0.05$). Kontrol kekinde 1,66 mm olarak hesaplanan simetri indeksi, optimum vegan kek için 2.33 mm bulunmuştur. Vegan kek formülasyonuna *Spirulina* dahil edilmesi kekin simetrisi üzerine olumlu etki sağlamıştır.

Tekdüzelik indeksi, kekin iki yan ucundaki simetrisini belirtir. Bu değerın sıfır olması beklenir. Tekdüzelik indeksinin yüksek olması, bir tarafının diğer tarafına göre yüksek olduğunu gösterir (Majzoobi et al., 2016). İstatistiksel değerlendirmeye göre örnekler arasında anlamlı bir fark yoktur ($p>0.05$). Tekdüzelik indeksi, kontrol kekinde 2.50 mm iken optimum vegan kekte 0.67 mm bulunmuştur. Optimum formülasyonda tekdüzelik indeksinin sıfıra yaklaşması kekin iyileştiğini göstermektedir.

Hacim indeksi, kekin hacmini doğrudan ifade etmez, sadece görünüş ile kek hacmi hakkında fikir verir (Dizlek and Altan, 2015). Bu çalışmada yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda örnekler arasında anlamlı bir farklılık olduğu görülmüştür ($p<0.05$). Optimum vegan kekin hacim indeksi (111 mm), kontrol vegan kekinin hacim indeksine (102 mm) kıyasla yüksektir. Bu kekin hacminin arttığını gösterir.

Keklerin spesifik hacmi tüketici kabulünü etkileyen önemli bir kriterdir. Üründe kullanılan yağın miktarı ile bağlantılıdır (Felisberto et al., 2015). Kontrol vegan kekinin spesifik hacmi ($1.54 \text{ cm}^3/\text{g}$) ile optimum vegan kekin spesifik hacmi ($1.76 \text{ cm}^3/\text{g}$) arasında anlamlı bir farklılık bulunmaktadır ($p<0.05$). Ali (2022) yaptığı çalışmada kontrol keki ile %2.5, %5 ve %7.5 *Spirulina* tozu içeren keklerin spesifik hacmini sırasıyla $1.25 \text{ cm}^3/\text{g}$, $1.21 \text{ cm}^3/\text{g}$, $1.13 \text{ cm}^3/\text{g}$ ve $1.06 \text{ cm}^3/\text{g}$ bulmuştur. Diprat et al. (2020) ekmek formülasyonuna bezelye ununa ikame olarak farklı oranlarda *Chlorella* dahil etmişlerdir. Kontrol ekmeği ile %2.5 ve %5 oranlarında *Chlorella* içeren ekmeklerin spesifik hacimleri (1.9 ml/g) arasında

anlamli bir farklılık bulunmadığı görülmüştür ($p>0.05$). Amoriello et al. (2021) yaptıkları çalışmada kontrol ekmeği ve %1, %2.5 ve %4 oranında *Spirulina* içeren ekmeklerin spesifik hacmini sırasıyla 2.83 ml/g, 3.02 ml/g, 2.90 ml/g ve 2.93 ml/g bulmuşlardır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürdeki sonuçların arasında kalmaktadır.

4.3.14. Doku Analizi Sonuçları

Örneklerin doku analizi sonuçları Çizelge 4.48.'da yer almaktadır.

Çizelge 4.48. Örneklerin doku profili analiz sonuçları

Analizler	Kontrol keki	RSM ile belirlenen optimum formülasyonda üretilen vegan kek
Sertlik (Hardness)	36.42±0.64	43.90±0.29
Dış Yapışkanlık (Adhesiveness)	-156.50±10.68	-36.74±2.44
Elastikiyet (Springiness)	0.25±0.003	0.25±0.002
İç yapışkanlık (Cohesiveness)	0.23±0.003	0.23±0.002
Sakızımsılık (Gumminess)	7.56±0.17	10.23±0.10
Çiğnenebilirlik (Chewiness)	1.90±0.02	2.40±0.01
Esneklik (Resilience)	0.07±0.004	0.07±0.002

*Değerler ortalama olarak verilmiştir (n=5).

Standard sapma “±” olarak verilmiştir.

Gıdaların dokusal özellikleri, gıdanın kalitesi ve tazeliği hakkında bilgi veren ve yeme alışkanlıklarını etkileyen önemli özelliklerdir. Keklerin, maksimum elastikiyete (springiness) ve minimum çiğnenebilirlik (chewiness) ve sertlik (hardness) değerlerine sahip olması beklenir. Dokusal özellikler genellikle ürünün şeker ve yağ içeriğinden etkilenir (Marzec et al., 2021). Örneklerin doku profili analiz sonuçlarına istatistiksel değerlendirme yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, örneklerin esneklik (resilience) bakımından anlamlı bir farklılığa sahip olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). Örnekler arasında sertlik (hardness), dış yapışkanlık (adhesiveness), elastikiyet (springiness) (p değeri 0.047), iç yapışkanlık

(cohesiveness) (p değeri 0.017), sakızimsılık (gumminess) ve çiğnenebilirlik (chewiness) parametreleri bakımından önemli bir farklılık olduğu görülmüştür ($p<0.05$).

Sertlik (hardness), ilk sıkıştırmada ölçülen en yüksek kuvveti temsil eder. Sertlik değerinin üründeki yağ ve nem oranı ile arasında ters ilişki varken, protein ile doğrusal bir ilişki vardır (Chueamchaitrakun et al., 2011; Marcet et al., 2015). Kontrol vegan keki, optimum formülasyona göre daha az yağ ve nem içeriğine sahipken, protein içeriği daha düşüktür. Bu nedenle sertlik değerinin daha düşük olması beklenen bir durumdur. Kontrol vegan kekinde 36.42 N olan sertlik değeri, optimum formülasyonda üretilen vegan kekta artmıştır (43.90 N).

Duyusal değerlendirmede büyük öneme sahip olan yapışkanlık değerinin yüksek olması beklenir. Bir yüzey ile ürün arasındaki çeken kuvvetlere karşı koymak için gerekli olan iş olarak tanımlanır. Dış yapışkanlık (Adhesiveness) değeri *Spirulina* içeren formülasyonda (-36.74) kontrole (-156.50) kıyasla yükselmiştir.

Elastikiyet (Springiness), kekin sıkıştırıldıktan sonra toparlanma yeteneğini ifade eder. Bu değer kontrol grubu ve optimum formülasyonda üretilen vegan kek için 0.25 olarak belirlenmiştir. Örneklerin elastikiyeti arasında anlamlı bir farklılığın olduğu görülmektedir ($p<0.05$).

İç yapışkanlık (Cohesiveness), mekanik etki altında gıdanın parçalanma hızını ifade eder ve çiğneme esnasında tüketici algılarını etkileyen bir kriterdir. Bu değer kontrol grubu ve optimum formülasyonda üretilen vegan kek için 0.23 olarak ölçülmüştür. Örneklerin bağlılık değeri arasında anlamlı bir farklılığın olduğu görülmektedir ($p<0.05$).

Sakızimsılık (Gumminess), yapışkanlık değeri ile sertlik değerinin çarpılmasıyla elde edilir (Wu et al., 2014). Bu çalışmada, optimum formülasyondaki vegan kekin sakızimsılık değeri (10.23) kontrolden (7.56) yüksek çıkmıştır. Formülasyona *Spirulina* ilave edilmesi ile sertlik ve yapışkanlık değeri artmış dolayısıyla sakızimsılık değerinde de artış meydana gelmiştir.

Çiğnenebilirlik (Chewiness), gıdayı parçalara ayırmak ve yutmaya hazır hale getirmek için gereken enerji olarak tanımlanır. Çiğnenebilirlik değeri sertlik, esneklik ve yapışkanlığına bağlıdır (Gerçekaslan et al., 2007). Bu değer kontrol grubuna (1.90) kıyasla *Spirulina* içeren optimum formülasyonda (2.40) daha yüksektir. *Spirulina* ilavesinin sertliği arttırmasına bağlı olarak çiğnenebilirlik değerinde de artış görülmektedir.

Bir alg türü olan *Chlorella* ile vegan muffin formülasyonlarının doku profilini inceleyen çalışma Marzec et al., (2023) tarafından gerçekleştirilmiştir. Kontrol grubu, %0.5, %1 ve %1.5 *Chlorella* içeren muffinler için sertlik (Hardness) değerleri sırasıyla 62.55 N, 64.65 N, 62.17 N ve 61.75 N'dir. İç yapışkanlık (Cohesiveness) değerleri sırasıyla 0.49, 0.46, 0.46 ve 0.46 iken, çiğnenebilirlik (Chewiness) değerleri sırasıyla 25.85, 24.14, 23.41 ve 23.52'dir.

Moradi et al., (2024) çalışmasında kek ve ekmek örneklerine farklı oranlarda (kontrol grubu, %0.25, %0.5, %0.75, %1 ve %1.25) *Spirulina* dahil etmiş ve sertlik (Hardness) değerini araştırmışlardır. Kek örneklerinde sertlik değeri sırasıyla 10.42, 7.40, 7.60, 8.70, 7.75 ve 8.77, ekmek örneklerinde ise sırasıyla 12.32, 10.30, 9.70, 8.80, 8.75 ve 7.77'dir.

Diprat et al., (2020) glutensiz ekmek formülasyonuna *Chlorella sorokina* dahil etmiş ve bazı doku özelliklerini incelemişlerdir. Kontrol ekmeği, %2.5 ve %5 *Chlorella* içeren ekmekler için sertlik (Hardness) değeri sırasıyla, 12.88 N, 13.43 N ve 12.62 N olarak bulunmuştur. İç yapışkanlık (Cohesiveness) değeri için örnekler arasında sırasıyla 0.79, 0.75 ve 0.77, çiğnenebilirlik (Chewiness) değeri sırasıyla 10.55 g, 10.48 g ve 10.15 g'dır. Elastikiyet (Springiness) değerleri arasında anlamlı bir farklılığın bulunmadığı görülmüştür bütün örnek gurunlarında 1.04 bulunmuştur ($p>0.05$). Ayrıca depolamadan sonra *Chlorella* içeren ekmeklerin sertliğinde artış görülmüştür.

Diprat et al. (2020)'nin çalışmasında *Chlorella*, una ikame olacak şekilde formülasyona ilave edilmiştir. Ancak bu çalışmada *Spirulina* una ikame olarak değil, direkt formülasyona ilave edilmiştir. Bu nedenle çiğnenebilirlik (chewiness) değerinin *Chlorella* miktarı arttıkça azalması, ikame yapılmasından kaynaklandığı

düşünülmektedir. Bu çalışmada ise formülasyona *Spirulina* dahil edilmesiyle çiğnenebilirlik (chewiness) değeri artmıştır. Çalışmalardaki bu farklı sonuçların analiz metodundan, kullanılan hammaddelerden ve ikame veya direkt formülasyona dahil edilme oranlarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

4.3.15. Duyusal Analiz Sonuçları

Örneklerin duyusal analiz sonuçları Çizelge 4.49.'da yer almaktadır.

Çizelge 4.49. Örneklerin duyusal analiz sonuçları

Analizler	Kontrol keki	RSM ile belirlenen optimum formülasyonda üretilen vegan kek
Renk	7.50±0.20	8.04±0.13
Doku	6.75±0.08	7.83±0.25
Lezzet	6.83±0.07	7.83±0.33
Genel Beğeni	7.08±0.42	8.19±0.03

*Değerler ortalama olarak verilmiştir (n=5).

Standard sapma “±” olarak verilmiştir.

Duyusal analiz, panelistlere hedonik test uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Duyusal analizden elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda renk, doku, lezzet ve genel beğeni sonuçları arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır ($p<0.05$). Optimum koşullarda üretilen vegan kekin renginin (8.04), kontrol vegan kekinin rengine (7.50) kıyasla daha çok beğenildiği görülmüştür. Doku bakımından kontrol vegan keki (6.75) optimum formülasyondaki vegan keke (7.83) göre daha az beğenilmiştir. Lezzet olarak *Spirulina* içeren vegan kek (7.83), kontrole (6.83) kıyasla daha çok tercih edilmiştir. Benzer şekilde, panelistlerin genel beğenileri de optimum formülasyondaki vegan kek için 8.19 iken kontrol keki için 7.08’dir.

Moradi et al. (2024) çalışmasında %0.25, %0.5, %0.75, %1 ve %1.5 oranlarında *Spirulina* içeren kek ve ekmek gruplara duyusal analiz yapmıştır. Kekin rengi için elde edilen sonuçlar sırasıyla 4.20, 4.13, 5.39, 3.92 ve 3.66’dır. Doku için sonuçlar sırasıyla 4.32, 5.52, 5.33, 5.04 ve 5.04 iken, lezzet için sırasıyla 4.80, 4.73,

5.09, 4.34 ve 4.61 sonuçları elde edilmiştir. Genel beğeni için ise kekler sırasıyla 4.83, 4.90, 5.32, 4.46 ve 4.58 olarak puanlandırılmıştır. Ekmeklerin rengi için elde edilen sonuçlar sırasıyla 4.20, 4.48, 5.46, 3.98 ve 3.79'dur. Doku için sonuçlar sırasıyla 5.81, 5.39, 6.02, 5.22 ve 4.97 iken, lezzet için sırasıyla 4.86, 4.46, 5.53, 3.83 ve 3.43 sonuçları elde edilmiştir. Genel beğeni için ise ekmekler sırasıyla 5.04, 4.90, 5.74, 4.39 ve 3.73 olarak puanlandırılmıştır.

Ali (2022)'nin çalışmasında kontrol bisküvisi ile %2.5, %5 ve %7.5 *Spirulina* içeren bisküviler duyusal olarak test edilmiştir. Bisküvilerin renk değerlendirmesi sonucu sırasıyla 8.92, 9.85, 9.23 ve 8.78 iken, doku değerlendirmesi sonucu sırasıyla 8.93, 9.88, 9.32 ve 8.92'dir. Panelistler lezzet için sırasıyla 8.80, 9.88, 9.24 ve 8.67 olarak değerlendirme yapmıştır. Genel beğeni için sırasıyla 44.49, 49.43, 46.46 ve 43.86 olarak puanlanmıştır (50 puan üzerinden). %2.5 ve %5 oranlarında *Spirulina* içeren bisküviler kontrole kıyasla daha çok beğenilmiştir. %7.5 oranında *Spirulina* içeren grup kontrole kıyasla daha az puan almıştır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatür ile kıyaslandığında sonuçların Ali (2022) ile benzerlik gösterdiği, Moradi et al. (2024)'a kıyasla yüksek olduğu görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, optimum koşullarda üretilen vegan kek kontrole kıyasla tüm duyusal parametreler açısından kontrole göre daha çok beğenilmiştir. Literatürdeki farklı sonuçların, kullanılan *Spirulina* türünden, tat ve kokusundan, *Spirulina* kullanım oranından ve üründeki diğer bileşenlerin oranından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünya genelinde artan nüfus, su kıtlığı, tarım alanlarının azalması, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi sorunların artmasıyla birlikte alternatif gıda kaynaklarına olan ihtiyaç artmıştır. Geleneksel tarım yöntemlerinin sürdürülemez hale gelmesi, orman alanlarının azalması, su kaynaklarının tükenmesi ve insanların yeni sağlık ve gıda trendlerine ilgisi alternatif gıda kaynaklarına yönelmeye sebep olmuştur. Alternatif gıda kaynakları, geleneksel kaynakların sürdürülemez hale gelmesiyle meydana çıkan daha sürdürülebilir olan kaynaklardır. Bu kaynakların kullanımı ekonomik ve çevresel faydalar sağlarken aynı zamanda besleyici değerleriyle sağlık açısından olumlu etkiler yaratır.

Son zamanlarda sürdürülebilir gıda kaynaklarına duyulan bilincin yanı sıra bireylerin dini inançları gereği ve vegan veya vejeteryan gibi beslenme tercihlerinden, hayvan haklarını korumaya yönelik ilkelerden ve çevresel kaygılardan dolayı fonksiyonel alternatif gıda kaynaklarına olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Mikro ve makro besin elementleri, vücuttaki metabolik olayların gerçekleştirilmesinde ve bağışıklık sisteminin desteklenmesinde oldukça önemlidir. Özellikle büyüme ve gelişme açısından vücudun yapıtaşları olan proteinler kritik role sahiptir. Vegan bireyler hayvansal kaynaklı ürünleri tüketemedikleri için besin değerlerini yeterli miktarda almakta zorluk yaşamaktadırlar. Bu nedenle zengin besin içeriğine sahip alternatif gıda kaynakları, sağlıklı ve sürdürülebilir yaşam, büyüme ve gelişme ile vegan bireylerin talepleri karşılanabilir.

Alternatif gıda kaynakları araştırıldığında mikroalgler ön sıralarda yer almaktadır. Mikroalglerin gıda kaynağı olarak kullanımı binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Minimum su ve arazi kullanımı ile birlikte hızla yüksek konsantrasyonlara ulaşmaları ile ön plana çıkmaktadırlar. Atık su temizleme yetenekleri ve karbondioksit fiksasyonuna katkıları ile çevresel korumaya da katkı sağlarlar. Çeşitli olumlu etkilerinden dolayı birçok alanda araştırma konusu olmaktadır.

Spirulina, yüksek protein içeriği, vitamin ve mineralleri, tüm temel amino asitleri içermeleri ve diğer önemli besin bileşenleri bakımından tüketicilere alternatif sunmaktadır. Diğer alg türlerine kıyasla daha ince ve esnek hücre duvarı yapısına sahip olması sindirilebilirliği açısından bazı avantajlar sağlamaktadır. Yüksek kaliteli proteinleri ve amino asit profilleri sindirim ve emilim gibi metabolik süreçleri destekler. *Spirulina*'nın yüksek antioksidan ve fenolik madde içeriği birçok sağlığa faydalı etkiler göstermesini desteklemektedir. Farklı araştırma kurumları tarafından incelenmekte ve yetersiz beslenmenin olduğu durumlarda besleyici bir gıda alternatifi olarak önerilmektedir. Bu açıdan bakıldığında *Spirulina*, beslenme sorunlarının çözümünde ve küresel gıda güvenliğinde önemli bir role sahiptir.

Bu tez çalışmasında, vegan kek formülasyonunda bugüne kadar kullanılmamış ve alternatif gıda kaynağı olarak bilinen *Spirulina*'nın vegan kek formülasyonuna dahil edilerek tüketilebilirliğinin araştırılması, bazı besinsel ve kalite özelliklerinin değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Çalışmada, yüzey merkezli kompozit dizayn kullanılarak *Spirulina* ile zenginleştirilmiş vegan keklerde *Spirulina* miktarı, şeker miktarı, un miktarı ve yağ miktarı değişkenleri kullanılarak formülasyon optimizasyonu yapılmıştır. Tasarlanan deneme deseni ile 30 farklı vegan kek formülasyonu ile üretim yapılmış olup vegan keklerin pişirme kaybı, sertlik değeri, $L^*_{iç}$ ve $L^*_{dış}$ olmak üzere renk parametreleri, protein içeriği, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite içerikleri ve genel beğeni analizleri yapılmış ve optimum formülasyon tespit edilmiştir.

Optimum vegan kek 0.506 istenebilirlik değeriyle vegan keklerin 11.965 g *Spirulina*, 106.206 g şeker, 110 g un ve 25 g yağ içermesi önerilmiştir. Belirlenen optimum formülasyonda pişirme kaybı % 11.22, sertlik 43.96 N, $L^*_{iç}$ değeri 37.54, $L^*_{dış}$ değeri 41.94, protein içeriği %4.2, toplam fenolik madde miktarı 186.475 mg GAE/100 g KM, ABTS antioksidan aktivite değeri 15.5679 μ mol TE/100 g KM ve genel beğeni değeri 8.2 olarak bulunmuştur.

Bu tez çalışması ile *Spirulina*'nın vegan unlu mamüllerde kullanımının uygun olduğu ve yapılacak diğer çalışmalara yönlendirici olacağı düşünülmektedir. Vegan kek formülasyonuna *Spirulina* dahil edilmesi ile birlikte besin içeriğinde artış meydana geldiği ve panelistlerin beğenisi doğrultusunda kabul edilebilir bir ürün elde edildiği sonucuna varılmıştır. Besin yetersizliği gibi sorunlar ve sürdürülebilir kaynaklara duyulan ihtiyaçlar için alternatif bir kaynak olabileceği düşünülmektedir. Bu çalışma, vegan bireylerin kullanabileceği fonksiyonel gıda alternatiflerini çeşitlendirmek, *Spirulina* kullanımı ile benzer ürünler geliştirmek için öncülük edecektir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- AACC**, 2000, Approved methods of the AACC (10th ed), American Association of Cereal Chemists, St. Paul.
- Achour, H. Y., Doumandji, A., Sadi, S. and Saadi, S.**, 2014, Evaluation of nutritional and sensory properties of bread enriched with *Spirulina*. *Annals Food Science and Technology*, 15(2): 270-275 pp.
- Acun, S.**, 2021, Mikroenkapsülasyon tekniğiyle üretilen farklı propolis ekstraktlarının ve bal tozunun kek üretiminde kullanılması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 28-38 s.
- Aguiar, L.M., Geraldi, M.V., Cazarin, C.B.B. and Junior, M.R.M.**, 2019, Functional food consumption and its physiological effects. In *Bioactive Compounds Health Benefits and Potential Applications*, Campos, M.R.S. (Eds.), Woodhead Publishing, Cambridge, United States, 205-225 pp.
- Agustini, T. W., Maâ, W. F., Widayat, W., Suzery, M., Hadiyanto, H. and Benjakul, S.**, 2016, Application of *Spirulina platensis* on ice cream and soft cheese with respect to their nutritional and sensory perspectives, *Jurnal Teknologi*, 78(4-2).
- Aida, FMNA., Nor Anida, AZ. and Norasmanizan, Z.**, 2018, A study on physicochemical and sensory characteristics of eggless yellow cake, *Indonesian Food Science & Technology Journal*, 2(1): 1-8 pp.
- Ak, B., Avsaroglu, E., Isik, O., Özyurt, G., Kafkas, E. and Etyemez, M.**, 2016, Nutritional and physicochemical characteristics of bread enriched with microalgae *Spirulina platensis*. *International Journal of Engineering Research and Application*, 6(9): 30-38 pp.
- Alaeddini, A., Yang, K., Mao, H., Murat, A. and Ankenman, B.**, 2014, An adaptive sequential experimentation methodology for expensive response surface optimization—case study in traumatic brain injury modeling. *Quality and Reliability Engineering International*, 30(6): 767-793 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- AlFadhly, N. K., Alhelfi, N., Altemimi, A. B., Verma, D. K. and Cacciola, F.,** 2022a, Tendencies affecting the growth and cultivation of genus *Spirulina*: an investigative review on current trends, *Plants*, 11(22): 3063 pp.
- AlFadhly, N. K., Alhelfi, N., Altemimi, A. B., Verma, D. K., Cacciola, F. and Narayanankutty, A.,** 2022b, Trends and technological advancements in the possible food applications of *Spirulina* and their health benefits: a review. *Molecules*, 27(17): 5584 pp.
- Ali, H.,** 2022, Nutritional value, amino acids of biscuits and cakes fortified with *Spirulina* (*Arthrospira platensis*) Powder. *Journal of Home Economics-Menofia University*, 32(4): 141-158 pp.
- Ali, S. K., and Saleh, A. M.,** 2012, *Spirulina*-an overview. *International journal of Pharmacy and Pharmaceutical sciences*, 4(3): 9-15 pp.
- Almeida, L. M. R., da Silva Cruz, L. F., Machado, B. A. S., Nunes, I. L., Costa, J. A. V., de Souza Ferreira, E., Lemos, P. V. F., Druzian, J. I. and de Souza, C. O.,** 2021, Effect of the addition of *Spirulina* sp. biomass on the development and characterization of functional food. *Algal Research*, 58: 102387 pp.
- Alrefaie, S. and Bostan, K.,** 2017, Effect of clove and lemongrass essential oils as natural antioxidants on cake shelf life. *Aydın Gastronomy*, 1(2): 1-15 pp.
- Amoriello, T., Mellara, F., Amoriello, M., Ceccarelli, D. and Ciccoritti, R.,** 2021, Powdered seaweeds as a valuable ingredient for functional breads. *European Food Research and Technology*, 247(10): 2431-2443 pp.
- Ansorena, D., Cartagena, L. and Astiasaran, I.,** 2023, A cake made with no animal origin ingredients: physical properties and nutritional and sensory quality. *Foods*, 12(1): 54 pp.
- Anvar, A. A. and Nowruzi, B.,** 2021, Bioactive properties of *Spirulina*: a review. *Microb. Bioact*, 4: 134-142 pp.
- AOAC,** 2007, Official methods of analysis of AOAC international (18th Ed.), Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ariede, M. B., Candido, T. M., Jacome, A. L. M., Velasco, M. V. R., de Carvalho, J. C. M. and Baby, A. R.,** 2017, Cosmetic attributes of algae-a review, *Algal research*, 25: 483-487 pp.
- Ata, O., Bakar, B., Turkoz, B. K., Kumcuoglu, S., Aydogdu, Y., Gumustas, B., Doganay, G. D., Basturk, E. and Tavman, S.,** 2024, Structural and molecular characterization of collagen-type I extracted from lamb feet. *Journal of Food Science*, 89(1): 330-341 pp.
- Aydogdu, A., Sumnu, G. and Sahin, S.,** 2018, Effects of addition of different fibers on rheological characteristics of cake batter and quality of cakes. *Journal of food science and technology*, 55: 667-677 pp.
- Bakaloudi, D. R., Halloran, A., Rippin, H. L., Oikonomidou, A. C., Dardavesis, T. I., Williams, J., Wickramasinghe, K., Breda, J. and Chourdakis, M.,** 2021, Intake and adequacy of the vegan diet. A systematic review of the evidence, *Clinical nutrition*, 40(5): 3503-3521 pp.
- Baltacioğlu, C., Temzisoy, B., Kanbur, M., Doğan, M. and Ibili, S.,** 2020, Hindiba (*Cichorium Intybus L.*) kökü ekstraktı ve trabzon hurması (*Diospyros Kaki L.*) tozunun kek üretiminde kullanılması ve kalite parametreleri üzerine etkisinin incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1): 297-307 s.
- Banwo, K., Olojede, A. O., Adesulu-Dahunsi, A. T., Verma, D. K., Thakur, M., Tripathy, S., Singh, S., Patel, A. R., Gupta, A. K., Aguilar, C. N. and Utama, G. L.,** 2021, Functional importance of bioactive compounds of foods with potential health benefits: a review on recent trends. *Food Bioscience*, 43: 101320 pp.
- Barak, S., Mudgil, D. and Khatkar, B. S.,** 2014, Effect of flour particle size and damaged starch on the quality of cookies, *Journal of food science and technology*, 51: 1342-1348 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Barakat, E. H., El-Kewaisny, N. M. and Salama, A. A.,** 2016, Chemical and nutritional evaluation of fortified biscuits with dried *Spirulina* algae. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 7(3): 167-177 pp.
- Bayat Tork, M., Vazifedoost, M., Hesarinejad, M. A., Didar, Z. and Shafafi Zenoozian, M.,** 2022, Fabrication of dragee containing *Spirulina platensis* microalgae to enrich corn snack and evaluate its sensorial, physicochemical and nutritional properties, *Foods*, 11(13): 1909 pp.
- Bortolini, D. G., Maciel, G. M., Fernandes, I. D. A. A., Pedro, A. C., Rubio, F. T. V., Branco, I. G. and Haminiuk, C. W. I.,** 2022, Functional properties of bioactive compounds from *Spirulina* spp.: current status and future trends. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 5: 100134 pp.
- Boukid, F. and Gagaoua, M.,** 2022, Vegan egg: a future-proof food ingredient?, *Foods*, 11(2): 161 pp.
- Caio, G., Volta, U., Sapone, A., Leffler, D. A., De Giorgio, R., Catassi, C. and Fasano, A.,** 2019, Celiac disease: a comprehensive current review, *BMC medicine*, 17(1): 1-20 pp.
- Çelekli, A., Alslibi, Z. A. and Bozkurt, H.,** 2019, Influence of incorporated *Spirulina platensis* on the growth of microflora and physicochemical properties of ayran as a functional food, *Algal Research*, 44: 101710 pp.
- Cemeroğlu, B.,** 2007, Gıda Analizleri, Gıda Teknolojisi Dergisi Yayınları, Ankara, 502 s.
- Ceylan, H.,** 2020, Dirençli nişasta ve yer elması ununun kek üretiminde kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 4-8s.
- Chueamchaitrakun, P., Chompreeda, P., Haruthaithanasan, V., Suwonsichon, T., Kasemsamran, S. and Prinyawiwatkul, W.,** 2011, Sensory descriptive and texture profile analyses of butter cakes made from composite rice flours. *International Journal of Food Science and Technology*, 46: 2358–2365 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Dadalı, C.**, 2022, Artichoke bracts as fat and wheat flour replacer in cake: Optimization of reduced fat and reduced wheat flour cake formulation. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17: 98–107 pp.
- Delsin, S. D., Mercurio, D. G., Fossa, M. M. and Maia Campos, P. M. B. G.**, 2015, Clinical efficacy of dermocosmetic formulations containing *Spirulina* extract on young and mature skin: effects on the skin hydrolipidic barrier and structural properties. *Clin Pharmacol Biopharm*, 4(144): 2 pp.
- Demir, R.**, 2020, Ekşi hamur tozu kullanımının kekin kalite özellikleri ve raf ömrü üzerine etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 3-16s.
- Demirdöven, A.**, 2009, Portakal suyu üretiminde bazı elektriksel yöntemlerin verim ve kalite üzerine etkileri, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Gıda Müh. Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye, 32-35s.
- Dewi, E. N., Amalia, U. and Mel, M.**, 2016, The Effect of different treatments to the amino acid contents of micro algae *Spirulina* sp. *Aquatic Procedia*, 7: 59-65 pp.
- DiNicolantonio, J. J., Bhat, A. G. and OKeefe, J.**, 2020, Effects of *Spirulina* on weight loss and blood lipids: a review, *Open heart*, 7(1): e001003 pp.
- Diprat, A. B., Thys, R. C. S., Rodrigues, E. and Rech, R.**, 2020, *Chlorella sorokiniana*: a new alternative source of carotenoids and proteins for gluten-free bread, *Lwt*, 134: 109974 pp.
- Dizlek, H. and Altan, A.**, 2015, Determination of sponge cake volume with a mathematical method, *Quality Assurance and Safety Of Crops & Foods*, 7(4): 551-557 pp.
- Egea, B. C. B., Campos, A. L. M., De Carvalho-Eliane, J. C. M. and Danesi, D. G.**, 2014, Antioxidant and nutritional potential of cookies enriched with *Spirulina platensis* and sources of fibre. *J Food Nutr Res*, 53(2): 171-179 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- El-Kewaisny, N., El-Baset, S. and Ekram, B.,** 2017, Organoliptic and chemical properties of biscuits blends lipids supported with dried *spirulina* algae during torage, مجلة التربية النوعية و التكنولوجيا بحوث علمية و تطبيقية, 4(1): 753-769 pp.
- El-Said, E. T., Soliman, A. S., Abbas, M. S. and Aly, S. E.,** 2021, Treatment of anaemia and malnutrition by shamy bread fortified with *Spirulina*, quinoa and chickpea flour. *Egyptian Journal of Chemistry*, 64(5): 2253-2268 pp.
- Eren, İ.,** 2011, Yağlarda membran teknolojisiyle degumming ve asitlik giderme işlemlerinin optimizasyonu, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 35-38s.
- Fais, G., Manca, A., Bolognesi, F., Borselli, M., Concas, A., Busutti, M., Broggi, G., Sanna, P., Castillo-Aleman, Y. M., Rivero-Jiménez, R. A., Bencomo-Hernandez, A. A., Ventura-Carmenate, Y., Altea, M., Pantaleo, A., Gabrielli, G., Biglioli, F., Cao, G. and Giannaccare, G.,** 2022, Wide range applications of *Spirulina*: from earth to space missions, *Marine Drugs*, 20(5): 299 pp.
- FAO.** 2019. “Food and Agriculture Organization of the United Nations World Health Organization, Sustainable Healthy Diets Guiding Principles”, <http://www.fao.org/3/ca6640en/CA6640EN.pdf>, (Erişim tarihi: 25 Ağustos 2022).
- Farag, M. R., Alagawany, M., El-Hack, M. E. A. and Kuldeep, D.,** 2016, Nutritional and healthical aspects of *Spirulina* (*Arthrospira*) for poultry, animals and human. *International Journal of Pharmacology*, 12(1): 36-51 pp.
- Felisberto, M. H. F., Wahanik, A. L., Gomes-Ruffi, C. R., Clerici, M. T. P. S., Chang, Y. K. and Steel, C. J.,** 2015, Use of chia (*Salvia hispanica* L.) mucilage gel to reduce fat in pound cakes. *LWT-Food Science and Technology*, 63(2): 1049-1055 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Fernandes, S.S., Coelho, M.S. and de las Mercedes Salas-Mellado, M.,** 2019, Bioactive compounds as ingredients of functional foods: polyphenols, carotenoids, peptides from animal and plant sources new, In Bioactive Compounds, Campus, M.R.S. (Eds.), Woodhead Publishing, 129-142 p.
- Ferrazzano, G. F., Papa, C., Pollio, A., Ingenito, A., Sangianantoni, G. and Cantile, T.,** 2020, Cyanobacteria and microalgae as sources of functional foods to improve human general and oral health. *Molecules*, 25(21): 5164 pp.
- Figueira, F. D. S., Crizel, T. D. M., Silva, C. R. and Salas-Mellado, M. D. L. M.,** 2011, Elaboration of gluten-free bread enriched with the microalgae *Spirulina platensis*. *Brazilian Journal of Food Technology*, 14: 308-316 pp.
- Gao, J., Brennan, M. A., Mason, S. L. and Brennan, C. S.,** 2016, Effect of sugar replacement with stevianna and inulin on the texture and predictive glycaemic response of muffins. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(9): 1979-1987 pp.
- Garcia-Salas P., Morales-Soto A., Segura-Carretero A. and Fernández Gutiérrez A.,** 2010, Phenolic compound extraction systems for fruit and vegetable samples, *Molecules*, 15(12): 8813–8826 pp.
- Gerçekaslan, K. E., Kotancılar, H. G. and Karaoğlu, M. M.,** 2007, Ekmek bayatlaması ve bayatlama derecesini ölçmede kullanılan yöntemler: I. *Gıda*, 32(6): 305-315 pp.
- Gheda, S. F., Abo-Shady, A. M., Abdel-Karim, O. H. and Ismail, G. A.,** 2021, Antioxidant and antihyperglycemic activity of *Arthrospira platensis* (*Spirulina platensis*) methanolic extract: *in vitro* and *in vivo* study. *Egyptian Journal of Botany*, 61(1): 71-93 pp.
- Gökçen, M., Aksoy, Y. Ç. and Özcan, B. A.,** 2019, Vegan beslenme tarzına genel bakış, *Sağlık ve Yaşam Bilimleri Dergisi*, 1(2): 50-54 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Granato, D., Barba, F. J., Bursać Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G. and Putnik, P.,** 2020, Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual review of food science and technology*, 11, 93-118 pp.
- Grosshagauer, S., Kraemer, K. and Somoza, V.,** 2020, The true value of *Spirulina*. *Journal of agricultural and food chemistry*, 68(14): 4109-4115 pp.
- Guldas, M., Ziyank-Demirtas, S., Sahan, Y., Yildiz, E. and Gurbuz, O.,** 2020, Antioxidant and anti-diabetic properties of *Spirulina platensis* produced in Turkey. *Food Science and Technology*, 41: 615-625 pp.
- Gün, D., Çelekli, A., Bozkurt, H. and Kaya, S.,** 2022, Optimization of biscuit enrichment with the incorporation of *Arthrospira platensis*: nutritional and sensory approach, *Journal of Applied Phycology*, 34(3): 1555-1563 pp.
- Güroy, B.,** 2019, Determination of the phycocyanin, protein content and sensory properties of muffins containing *Spirulina* powder or fresh *Spirulina*. *Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, (23): 10-18 pp.
- Hajati, H. and Zaghari, M.,** 2019, *Spirulina Platensis in poultry nutrition*. Cambridge Scholars Publishing. Chapter two, 20-23 pp.
- Han, P., Li, J., Zhong, H., Xie, J., Zhang, P., Lu, Q., Li, J., Xu, P., Chen, P., Leng, L. and Zhou, W.,** 2021, Anti-oxidation properties and therapeutic potentials of *Spirulina*. *Algal Research*, 55: 102240 pp.
- Hassanzadeh, H., Ghanbarzadeh, B., Galali, Y. and Bagheri, H.,** 2022, The physicochemical properties of the *Spirulina*-wheat germ-enriched high-protein functional beverage based on pear-cantaloupe juice”, *Food Science & Nutrition*, 10(11): 3651-3661 pp.
- Hedayati, S., Jafari, S. M., Babajafari, S., Niakousari, M. and Mazloomi, S. M.,** 2022, Different food hydrocolloids and biopolymers as egg replacers: A review of their influences on the batter and cake quality. *Food Hydrocolloids*, 128: 107611 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Heimler, D., Vignolini, P., Dini, M. G., Vincieri, F. F. and Romani, A.,** 2006, Antiradical activity and polyphenol composition of local brassicaceae edible varieties, *Food Chemistry*, 82: 1511–1517 pp.
- Hu, S., Fan, X., Qi, P. and Zhang, X.,** 2019, Identification of anti-diabetes peptides from *Spirulina platensis*. *Journal of Functional Foods*, 56: 333-341 pp.
- Hussein, A., Ibrahim, G., Kamil, M., El-Shamarka, M., Mostafa, S. and Mohamed, D.,** 2021, *Spirulina*-enriched pasta as functional food rich in protein and antioxidant. *Biointerface Res. Appl. Chem*, 11: 14736-14750 pp.
- Igual, M., Uribe-Wandurraga, Z. N., García-Segovia, P. and Martínez-Monzó, J.,** 2022, Microalgae-enriched breadsticks: Analysis for vitamin C, carotenoids, and chlorophyll a. *Food Science and Technology International*, 28(1): 26-31 pp.
- İnanlar, B.,** 2022, Yumurta bileşenlerinin kek hamuru reolojisine ve kek tekstürüne etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 3-31s.
- Ismail, M., Hossain, M. F., Tanu, A. R. and Shekhar, H. U.,** 2015, Clinical study effect of *Spirulina* intervention on oxidative stress, antioxidant status, and lipid profile in chronic obstructive pulmonary disease patients, *Biomed Research International*, 2015(1): 486120 pp.
- Janda-Milczarek, K., Szymczykowska, K., Jakubczyk, K., Kupnicka, P., Skonieczna-Żydecka, K., Pilarczyk, B., Tomza-Marciniak, A., Ligenza, A., Stachowska, E. and Dalewski, B.,** 2023, *Spirulina* supplements as a source of mineral nutrients in the daily diet. *Applied Sciences*, 13(2): 1011 pp.
- Jongsutjarittam, N. and Charoenrein, S.,** 2013, Influence of waxy rice flour substitution for wheat flour on characteristics of batter and freeze-thawed cake. *Carbohydrate polymers*, 97(2): 306-314 pp.
- Jung, F., Krüger-Genge, A., Waldeck, P. and Küpper, J. H.,** 2019, *Spirulina platensis*, a super food?. *Journal of Cellular Biotechnology*, 5(1): 43-54 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Karlsen, M. C., Rogers, G., Miki, A., Lichtenstein, A. H., Foltz, S. C., Economos, C. D., Jacques, P. F., Livingston, K. A. and McKeown, N. M.,** 2019, Theoretical food and nutrient composition of whole-food plant-based and vegan diets compared to current dietary recommendations, *Nutrients*, 11(3): 625 pp.
- Kaur, R. and Kaur, M.,** 2018, Microstructural, physicochemical, antioxidant, textural and quality characteristics of wheat muffins as influenced by partial replacement with ground flaxseed. *LWT*, 91: 278-285 pp.
- Kepekçi, R. A. and Saygideger, S. D.,** 2012, Enhancement of phenolic compound production in *Spirulina platensis* by two-step batch mode cultivation. *Journal of applied Phycology*, 24: 897-905 pp.
- Kiliçkap, E. and Hüseyinoğlu, M.,** 2010, Tepki yüzey modeli ve genetik algoritma kullanılarak AISI 316'nın delinmesinde oluşan çapak yüksekliğinin modellenmesi ve optimizasyonu. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 1(1): 71-80 s.
- Kıranlı, D.,** 2006, Yüksek şeker içerikli sade bar tipi kek üretiminde asesulfam potasyum, polidekstroz, laktitol ve ksantan gam kullanımının ürünün kimi kalite özellikleri üzerine etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 5-22s.
- Koç, B. and Kaymak-Ertekin, F.,** 2010, Yanıt Yüzey Yöntemi ve Gıda İşleme Uygulamaları. *Gıda*, 35(1): 1-8 s.
- Kocer, D., Hicsasmaz, Z., Bayindirli, A. and Katnas, S.,** 2007, Bubble and pore formation of the high-ratio cake formulation with polydextrose as a sugar-and fat-replacer. *Journal of food engineering*, 78(3): 953-964 pp.
- Koli, D. K., Rudra, S. G., Bhowmik, A. and Pabbi, S.,** 2022, Nutritional, functional, textural and sensory evaluation of *Spirulina* enriched green pasta: A potential dietary and health supplement. *Foods*, 11(7): 979 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Köten, M.**, 2021, Influence of raw/roasted terebinth (*Pistacia Terebinthus L.*) on the selected quality characteristics of sponge cakes. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 24: 100342 pp.
- Koyande, A. K., Chew, K. W., Rambabu, K., Tao, Y., Chu, D. T. and Show, P. L.**, 2019, Microalgae: a potential alternative to health supplementation for humans, *Food Science and Human Wellness*, 8(1): 16-24 pp.
- Kuz, O. F.**, 2018, Aile hekimlerinin vejetaryen/vegan beslenme ile ilgili bilgi, tutum ve davranışları, Uzmanlık Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Aile Hekimliği Anabilim Dalı, 1-15s.
- Lafarga, T., Fernández-Sevilla, J. M., González-López, C. and Acién-Fernández, F. G.**, 2020, *Spirulina* for the food and functional food industries, *Food Research International*, 137, 109356 pp.
- Lafarga, T., Sánchez-Zurano, A., Villaró, S., Morillas-España, A. and Acién, G.**, 2021, Industrial production of *Spirulina* as a protein source for bioactive peptide generation. *Trends in Food Science & Technology*, 116: 176-185 pp.
- Leema, J. M., Kirubakaran, R., Vinithkumar, N. V., Dheenana, P. S. and Karthikayulu, S.**, 2010, High value pigment production from *Arthrospira (Spirulina) platensis* cultured in seawater. *Bioresource technology*, 101(23): 9221-9227 pp.
- Lichtenthaler, H. K.**, 1987, Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes, In *Methods in enzymology*, Academic Press, 148: 350-382 pp.
- Lin, M., Tay, S. H., Yang, H., Yang, B. and Li, H.**, 2017, Development of eggless cakes suitable for lacto-vegetarians using isolated pea proteins. *Food Hydrocolloids*, 69: 440-449 pp.
- Lupatini, A. L., Colla, L. M., Canan, C. and Colla, E.**, 2017, Potential application of microalga *Spirulina platensis* as a protein source. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(3): 724-732 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- López, A., García, P. and Garrido, A.,** 2008, Multivariate characterization of table olives according to their mineral nutrient composition, *Food Chemistry*, 106: 369-378 pp.
- Majzoobi, M., Poor, Z. V., Jamalian, J. and Farahnaky, A.,** 2016, Improvement of the quality of gluten-free sponge cake using different levels and particle sizes of carrot pomace powder. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(6): 1369-1377 pp.
- Mapoung, S., Arjsri, P., Thippraphan, P., Semmarath, W., Yodkeeree, S., Chiewchanvit, S., Piyamongkol, W. and Limtrakul, P.,** 2020, Photochemoprotective effects of *Spirulina platensis* extract against UVB irradiated human skin fibroblasts, *South African Journal of Botany*, 130: 198-207 pp.
- Marcet, I., Paredes, B. and Díaz, M.,** 2015, Egg yolk granules as low-cholesterol replacer of whole egg yolk in the preparation of gluten-free muffins. *Food Science and Technology*, 62(1): 613–619 pp.
- Marco, E. R., Steffolani, M. E., Martínez, C. S. and León, A. E.,** 2014, Effects of *Spirulina* biomass on the technological and nutritional quality of bread wheat pasta. *LWT-food science and technology*, 58(1): 102-108 pp.
- Marrone, G., Guerriero, C., Palazzetti, D., Lido, P., Marolla, A., Di Daniele, F. and Noce, A.,** 2021, Vegan diet health benefits in metabolic syndrome, *Nutrients*, 13(3): 817 pp.
- Martínez-Cervera, S., Salvador, A. and Sanz, T.,** 2015, Cellulose ether emulsions as fat replacers in muffins: rheological, thermal and textural properties, *LWT - Food Science and Technology*, 63: 1083–1090 pp.
- Marzec, A., Kowalska, J., Domian, E., Galus, S., Ciurzyńska, A. and Kowalska, H.,** 2021, Characteristics of dough rheology and the structural, mechanical, and sensory properties of sponge cakes with sweeteners, *Molecules*, 26(21): 6638 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Marzec, A., Kramarczuk, P., Kowalska, H. and Kowalska, J.,** 2023, Effect of Type of Flour and Microalgae (*Chlorella vulgaris*) on the Rheological, Microstructural, Textural, and Sensory Properties of Vegan Muffins, *Applied Sciences*, 13(13): 7632 pp.
- Masten Rutar, J., Jagodic Hudobivnik, M., Nečemer, M., Vogel Mikuš, K., Arčon, I. and Ogrinc, N.,** 2022, Nutritional quality and safety of the *Spirulina* dietary supplements sold on the Slovenian market, *Foods*, 11(6): 849 pp.
- Matufi, F. and Choopani, A.,** 2020, *Spirulina*, food of past, present and future. *Health Biotechnology and Biopharma*, 3(4): 1-20 pp.
- Meyer, M. E.,** 2016, *Spirulina* Survival Food for a New Era: Amazing Healing Success with the Blue-green Algae-Delicious Recipes with the Primal Nourishment. BoD–Books on Demand. 30-32 p.
- Moradi, Y., Ghaeni, M. and Hadaegh, H.,** 2024, Comparison of the Effect of Adding *Spirulina platensis* Powder on Sensory, Physical, Protein and Iron Properties of Three Different Industrial Products of Bread, Cake and Layered Sweets, *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(1): 153-164 pp.
- Morsy, O. M., Sharoba, A. M., El-Desouky, A. I., Bahlol, H. E. M. and Abd El Mawla, E. M.,** 2014, Production and evaluation of some extruded food products using *Spirulina* algae, *Annals of Agricultural Science, Moshtohor*, 52(4): 329-342 pp.
- Movahhed, M. K., Mohebbi, M., Koocheki, A., Milani, E. and Ansarifard, E.,** 2020, Application of TOPSIS to evaluate the effects of different conditions of sonication on eggless cake properties, structure, and mass transfer. *Journal of food science*, 85(5): 1479-1488 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Nakilcioğlu, E. and Ötleş, S.,** 2022, Multiresponse optimization of physical, chemical, and sensory properties of the gluten-free cake made with whole white quinoa flour, *Journal of Food Science and Technology*, 59(10): 3836-3847 pp.
- Nakilcioğlu-Taş, E.,** 2016, Zeytin Çekirdeğinin Pilot Ölçekte Basınçlı Su Ekstraktörü Kullanılarak Su Ekstraktının Eldesi ve Mikroenkapsülasyonu, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 242s.
- Niccolai, A., Venturi, M., Galli, V., Pini, N., Rodolfi, L., Biondi, N., ..., and Tredici, M. R.,** 2019, Development of new microalgae-based sourdough “crostini”: Functional effects of *Arthrospira platensis* (*Spirulina*) addition. *Scientific Reports*, 9(1): 19433 pp.
- Niccolai, A., Zittelli, G. C., Rodolfi, L., Biondi, N., Tredici, M. R.,** 2019, Microalgae of interest as food source: biochemical composition and digestibility, *Algal Research*, 42: 101617 pp.
- Oliveira, E. G. D., Rosa, G. S. D., Moraes, M. A. D. and Pinto, L. A. D. A.,** 2007, Phycocyanin content of *Spirulina platensis* dried in spouted bed and thin layer. *Journal of Food Process Engineering*, 31(1): 34-50 pp.
- Onacik-Gür, S., Żbikowska, A. and Majewska, B.,** 2018, Effect of *Spirulina* (*Spirulina platensis*) addition on textural and quality properties of cookies. *Italian Journal of Food Science*, 30(1).
- Onoğur, T. and Elmacı, Y.,** 2014, Gıdalarda Duyusal Değerlendirme, Sidas Medya Ltd. Şti., İzmir, 135s.
- Özdikicierler, O.,** 2016, Zeytinyağı ve pirina yağında 3-MCPD oluşumu üzerine su buharı distilasyon koşullarının etkisi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bililimleri Enstitüsü, 14-19s.
- Özlü, T. and Bayram, B.,** 2022, *Spirulina* Mikroalginin Besinsel Özellikleri ve Sağlık Üzerine Potansiyel Etkileri, *Akademik Gıda*, 20(3): 296-304 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ozyurt, G., Uslu, L., Yuvka, I., Gökdoğan, S., Atci, G., Ak, B. and Işık, O.,** 2015, Evaluation of the cooking quality characteristics of pasta enriched with *Spirulina platensis*. *Journal of Food Quality*, 38(4): 268-272 pp.
- Pagnussatt, F. A., Spier, F., Bertolin, T. E., Costa, J. A. V. and Gutkoski, L. C.,** 2014, Technological and nutritional assessment of dry pasta with oatmeal and the microalga *Spirulina platensis*, *Brazilian Journal of Food Technology*, 17: 296-304 pp.
- Pareyt, B. and Delcour, J. A.,** 2008, The role of wheat flour constituents, sugar, and fat in low moisture cereal based products: a review on sugar-snap cookies. *Critical reviews in food science and nutrition*, 48(9): 824-839 pp.
- Ragaza, J. A., Hossain, M. S., Meiler, K. A., Velasquez, S. F. and Kumar, V.,** 2020, A review on *Spirulina*: alternative media for cultivation and nutritive value as an aquafeed, *Reviews in Aquaculture*, 12(4): 2371-2395 pp.
- Ragusa, I., Nardone, G. N., Zanatta, S., Bertin, W. and Amadio, E., 2021, *Spirulina* for skin care: A bright blue future, *Cosmetics*, 8(1): 7 pp.
- Rahim, A., Çakir, C., Ozturk, M., Şahin, B., Soulaïmani, A., Sibaoueih, M., Nasser, B., Eddoha, R., Essamadi, A. and El Amiri, B.,** 2021, Chemical characterization and nutritional value of *Spirulina platensis* cultivated in natural conditions of Chichaoua region (Morocco), *South African Journal of Botany*, 141: 235-242 pp.
- Ramakrishnan, R.,** 2013, Anticancer properties of blue green algae *Spirulina platensis*—a review, *International Journal of Medicine and Pharmaceutical Science*, 3(4): 159-169 pp.
- Ramírez-Rodrigues, M. M., Estrada-Beristain, C., Metri-Ojeda, J., Pérez-Alva, A. and Baigts-Allende, D. K.,** 2021, *Spirulina platensis* protein as sustainable ingredient for nutritional food products development, *Sustainability*, 13(12): 6849 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. and Rice-Evans, C.,** 1999, Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10): 1231-1237 pp.
- Reboleira, J., Freitas, R., Pinteus, S., Silva, J., Alves, C., Pedrosa, R. and Bernardino, S.,** 2019, *Spirulina*, Nonvitamin and nonmineral nutritional supplements, Academic Press, 409-413p.
- Riaty, C.,** 2019, Pengaruh penambahan nanokapsul karotenoid dari *Spirulina platensis* terhadap karakteristik milk chocolate bar, Doktora tezi, Universitas Gadjah Mada, 40p.
- Saharan, V. and Jood, S.,** 2021, Effect of storage on *Spirulina platensis* powder supplemented breads. *Journal of Food Science and Technology*, 58(3): 978-984 pp.
- Şahin, O. I.,** 2019, Effect of *Spirulina* biomass fortification for biscuits and chocolates. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(4): 583-587 pp.
- Sakiyan, O., Sumnu, G., Sahin, S. and Bayram, G.,** 2004, Influence of fat content and emulsifier type on the rheological properties of cake batter. *European Food Research and Technology*, 219: 635-638 pp.
- Sakkas, H., Bozidis, P., Touzios, C., Kolios, D., Athanasiou, G., Athanasopoulou, E., Gerou, I. and Gartzonika, C.,** 2020, Nutritional status and the influence of the vegan diet on the gut microbiota and human health, *Medicina*, 56(2): 88 pp.
- Salwa, M. A.,** 2009, Physical, chemical and sensory characteristics of vegan cake, *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 17(2): 335-350 pp.
- Sanchez, M., Bernal-Castillo, J., Rozo, C. and Rodríguez, I.,** 2003, *Spirulina* (Arthrospira): an edible microorganism: a review. *Universitas Scientiarum*, 8(1): 7-24 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Saraç, M. G., Dedebaş, T., Hastaoğlu, E. and Arslan, E.,** 2022, Influence of using scarlet runner bean flour on the production and physicochemical, textural, and sensorial properties of vegan cakes: WASPAS-SWARA techniques. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 27: 100489 pp.
- Saranraj, P. and Sivasakthi, S.,** 2014, *Spirulina platensis*–food for future: a review. *Asian J. Pharm. Sci. Technol*, 4(1): 26-33 pp.
- Sasa, A., Şentürk, F., Üstündağ, Y. and Erem, F,** 2020, Alglerin gıda veya gıda bileşeni olarak kullanımı ve sağlık üzerine etkileri, *International Journal of Engineering Design and Technology*, 2(2): 97-110 s.
- Schakel, S.F., Jasthi, B., Van Heel, N. and Harnack, L.,** 2009, Adjusting a nutrient database to improve calculation of percent calories from macronutrients, *Journal of Food Composition and Analysis*, 22: 32–36p.
- Ścieszka, S. and Klewicka, E.,** 2019, Algae in food: A general review, *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(21): 3538-3547 pp.
- Seçim, Y.,** 2018, Türk mutfağında kullanılan bazı fonksiyonel gıdalar ve özellikleri. *Uluslararası Global Turizm Araştırmaları Dergisi*, 2(1): 1-9 s.
- Selmo, M. S. and Salas-Mellado, M. M.,** 2014, Technological quality of bread from rice flour with *Spirulina*, *International Food Research Journal*, 21(4): 1523-1528 pp.
- Sengupta, S. and Bhowal, J.,** 2017, Optimization of ingredient and processing parameter for the production of *Spirulina platensis* incorporated soy yogurt using response surface methodology, *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 6(4): 1081-1085 pp.
- Sharma, P. and Sharma, N.,** 2017, Industrial and biotechnological applications of algae: a review, *Journal of Advances in Plant Biology*, 1(1): 01-25 pp.
- Sharoba, A. M.,** 2014, Nutritional value of *Spirulina* and its use in the preparation of some complementary baby food formulas, *Journal of Food and Dairy Sciences*, 5(8): 517-538 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Shehzad, A., Zahid, A., Mahmood, S. and Suleria, H. A. R.,** 2019, Functional Foods: Concepts and Their Health Perspectives, In Human Health Benefits of Plant Bioactive Compounds, Apple Academic Press, 3-20 p.
- Shiomi, N. and Waisundara, V.,** 2017, Superfood and Functional Food: The Development of Superfoods and Their Roles as Medicine, BoD–Books on Demand, 4-7 p.
- Sicari, V., Romeo, R., Leporini, M., Pellicanò, T. M., Tundis, R. and Loizzo, M. R.,** 2022, Comparison of traditional hot water and vacuum assisted blanching methods on the physico-chemical quality parameters and antioxidant activity of zucchini (*Cucurbita pepo L.*) slices, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(1): 281-294 pp.
- Sili, C., Torzillo, G. and Vonshak, A.,** 2012, *Arthrospira (Spirulina)*, In Ecology of cyanobacteria II: their diversity in space and time, Dordrecht: Springer Netherlands. 677-705 p.
- Singh, B., Singh, A. K., Raju, P. N. and Rani, R.,** 2017, Nutritional value and physical properties of eggless muffin, *International Journal of Science, Environment and Technology*, 6(2): 1309-1314 pp.
- Soni, R. A., Sudhakar, K. and Rana, R. S.,** 2017, *Spirulina*–From growth to nutritional product: A review. *Trends in food science & technology*, 69: 157-171 pp.
- Sun, T., Powers, J.R. and Tang, J.,** 2007, Evaluation of the antioxidant activity of asparagus, broccoli and their juices, *Food Chemistry*, 105:101-106 pp.
- Tacer-Caba, Z., Nilufer-Erdil, D. and Ai, Y.,** 2015, Chemical composition of cereals and their products, *Handbook of food chemistry*, 1-23 pp.
- Torres-Tiji, Y., Fields, F. J. and Mayfield, S. P.,** 2020, Microalgae as a future food source, *Biotechnology advances*, 41: 107536 pp.
- Trotta, T., Porro, C., Cianciulli, A. and Panaro, M. A.,** 2022, Beneficial effects of *Spirulina* consumption on brain health, *Nutrients*, 14(3): 676 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- TSE**, 2008, Hazır kekler - Sade, çeşnili ve dolgulu standardı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (TS 13375).
- Tunçay, G. Y.**, 2018, Sağlık yönüyle vegan/vejetaryenlik, *Avrasya Sağlık Bilimleri Dergisi*, 1(1): 25-29 s.
- Usharani, G., Saranraj, P. and Kanchana, D.**, 2012, *Spirulina* cultivation: a review, *Int J Pharm Biol Arch*, 3(6): 1327-1341 pp.
- Uslu, L. H., Işık, O., Sayın, S., Durmaz, Y., Göksan, T. and Gökpinar, Ş.**, 2009, The effect of temperature on protein and amino acid composition of *Spirulina platensis*, *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 26(2): 139-142 pp.
- Van der Sman, R. G. M. and Renzetti, S.**, 2021, Understanding functionality of sucrose in cake for reformulation purposes, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(16): 2756-2772 pp.
- Villarruel-López, A., Ascencio, F. and Nuño, K.**, 2017, Microalgae, a potential natural functional food source—a review, *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 67(4): 251-263 pp.
- Viña, S. Z., Olivera, D. F., Marani, C. M., Ferreyra, R. M., Mugridge, A., Chaves, A. R. and Mascheroni, R. H.**, 2007, Quality of brussels sprouts (*Brassica oleracea* L. gemmifera DC) as affected by blanching method. *Journal of Food Engineering*, 80(1): 218-225 pp.
- Wang, Y. Y., Xu, B. L., Dong, C. M. and Sun, Y. Y.**, 2023, The nutritional value of *Spirulina* and Utilization Research. *Life Res*, 6(3): 15 pp.
- Wu, G., Morris, C. F. and Murphy, K. M.**, 2014, Evaluation of texture differences among varieties of cooked quinoa, *Journal of food science*, 79(11): S2337-S2345 pp.
- Wu, Q., Liu, L., Miron, A., Klímová, B., Wan, D. and Kuča, K.**, 2016, The antioxidant, immunomodulatory, and anti-inflammatory activities of *Spirulina*: an overview, *Archives of toxicology*, 90: 1817-1840 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Yavaş, Y.**, 2012, Hemiselülaz enziminin tam buğday unlu keklerin fiziksel özellikleri üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 3-8s.
- Yazici, G. N. and Ozer, M. S.**, 2021, A review of egg replacement in cake production: effects on batter and cake properties, *Trends in Food Science & Technology*, 111: 346-359 pp.
- Yürekli, B.**, 2021, Elma posasının lifsel kaynak olarak muffin keklerde kullanım olanaklarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 11-17s.
- Zhang, Y. Y., Song, Y., Hu, X. S., Liao, X. J., Ni, Y. Y. and Li, Q. H.**, 2012, Effects of sugars in batter formula and baking conditions on 5-hydroxymethylfurfural and furfural formation in sponge cake models. *Food research international*, 49(1): 439-445 pp.
- Zlateva, D., Ivanova, P., Chochkov, R. and Stefanova, D.**, 2020, Effect of *Spirulina platensis* and kelp on the antioxidant activity of wheat bread, *Food Technology, Ukrainian Food Journal*, 9(3): 636 pp.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteğiyle her zaman yanımda olan, sabrı, anlayışı, tecrübesi ve bilgi birikimi ile yoluma ışık tutan değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Emine NAKİLCİOĞLU'na,

Tez çalışmam boyunca bilgilerini esirgemeyen ve önerileri ile yol gösteren hocam Doç. Dr. Ceyda DADALI'ya,

Tez çalışmama rektörlük proje katkı payından maddi destek sağlayan Prof. Dr. Mehmet ERSAN'a ve tez çalışmam boyunca verdiği destekler için Prof. Dr. Bahri BAŞARAN'a,

Üniversite eğitimim boyunca her zaman sevgisi ve desteği ile yanımda olan değerli arkadaşım Selen SEYHAN'a,

Tez sürecim boyunca desteklerini esirgemeyen Eylül Elif METİNER'e ve Yağmur ÖZCAN'a,

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca manevi desteğini esirgemeyen Yiğit TEKİN'e,

Doğduğum günden itibaren sonsuz sevgi, sabır, anlayış ve destekleriyle yanımda olan sevgili annem Diğdem NURKO'ya, sevgili babam Şefik NURKO'ya ve sevgili kardeşim Emre NURKO'ya,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

22 / 08 /2024

Eda NURKO

ÖZGEÇMİŞ

İlköğretim ve orta öğretimini Güzelyalı Ortaokulu'nda bitirmiş, lise öğrenimini Oğuzhan Özkaya Temel Lise'sinde tamamlamıştır. 2021 yılında Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Lisans eğitiminin ardından 2021 yılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Gıda Kimyası Bilim Dalı'nda tezli yüksek lisans programına başlamıştır. Lisans döneminde zorunlu stajını Nova Fruits International'da yapmıştır. Bugüne kadar ulusal ve uluslararası bilimsel kongrelerde 4 kez poster sunumu ve 6 kez sözlü sunum yapmış ve dergilerde 3 tane bilimsel bildiri yayınlamıştır.

EKLER

EK 1. Protein miktarı için öngörülen ve deneysel değerlerin ilişkisi

EK 2. Sertlik için öngörülen ve deneysel değerlerin ilişkisi

EK 3. Pişirme kaybı için öngörülen ve deneysel değerlerin ilişkisi

EK 4. Liç için öngörülen ve deneysel değerlerin ilişkisi

EK 5. Ldış için öngörülen ve deneysel değerlerin ilişkisi

EK 6. Fenolik madde içeriği için öngörülen ve deneysel değerleri ilişkisi

EK 7. Genel beğeni için öngörülen ve deneysel değerleri ilişkisi

EK 8. Antioksidan aktivite içeriği için öngörülen ve deneysel değerleri ilişkisi

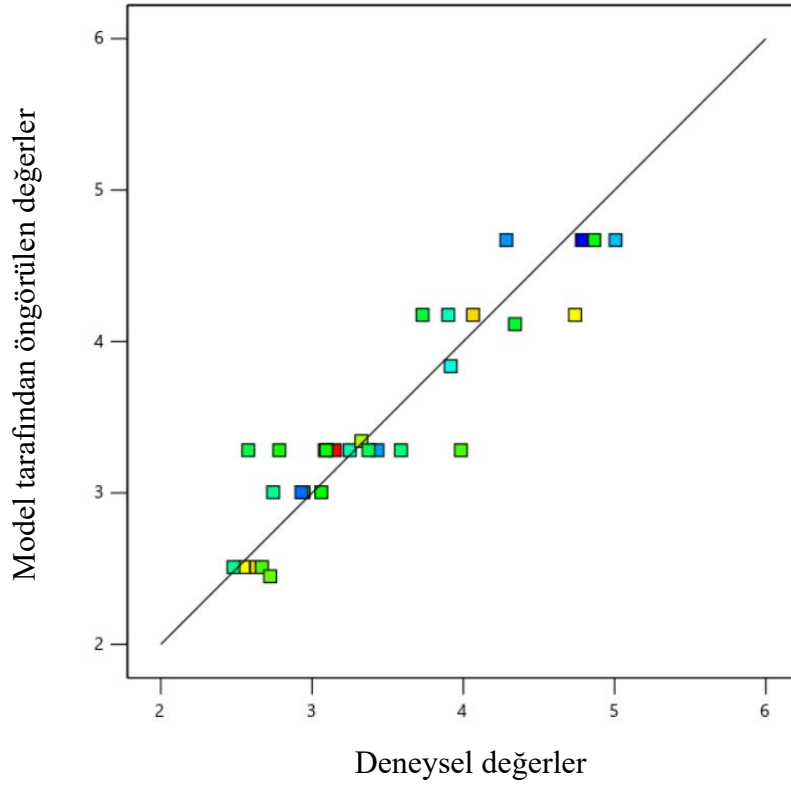
EK 9. Fenolik madde miktarının belirlenmesi amacıyla kullanılan gallik asit standart eğrisi

EK 10. ABTS yöntemi ile antioksidan aktivitelerin belirlenmesi amacıyla kullanılan troloks standart eğrisi

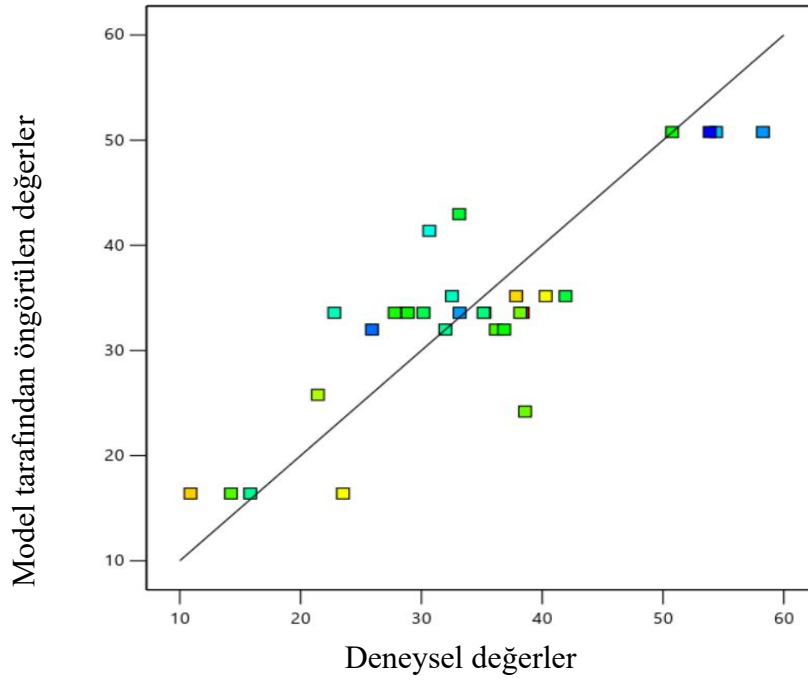
EK 11. DPPH yöntemi ile antioksidan aktivitelerin belirlenmesi amacıyla kullanılan troloks standart eğrisi

EKLER

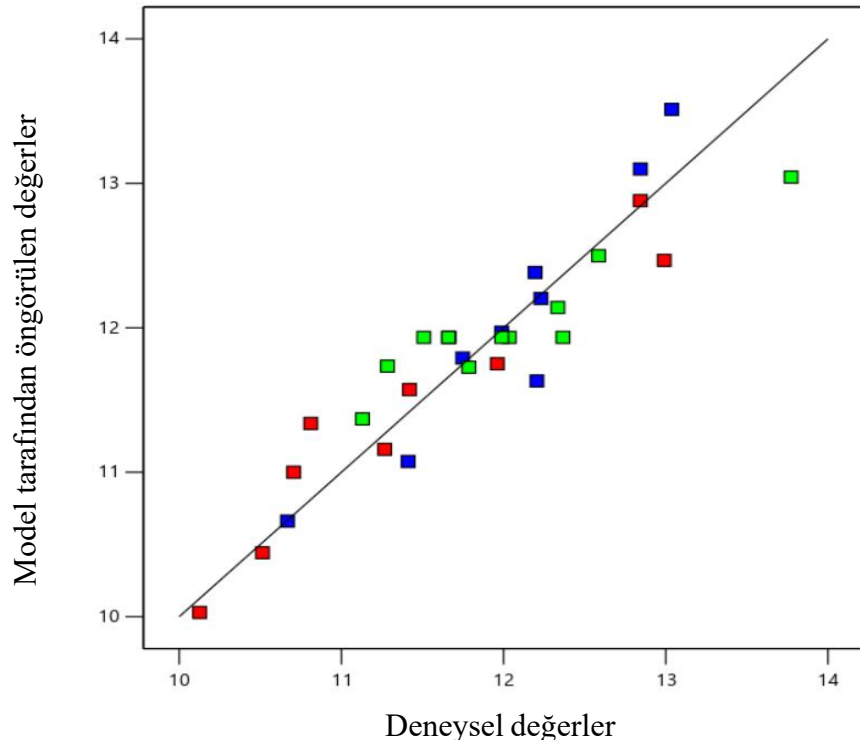
EK 1. Protein miktarı için öngörülen ve deneysel değerlerin ilişkisi



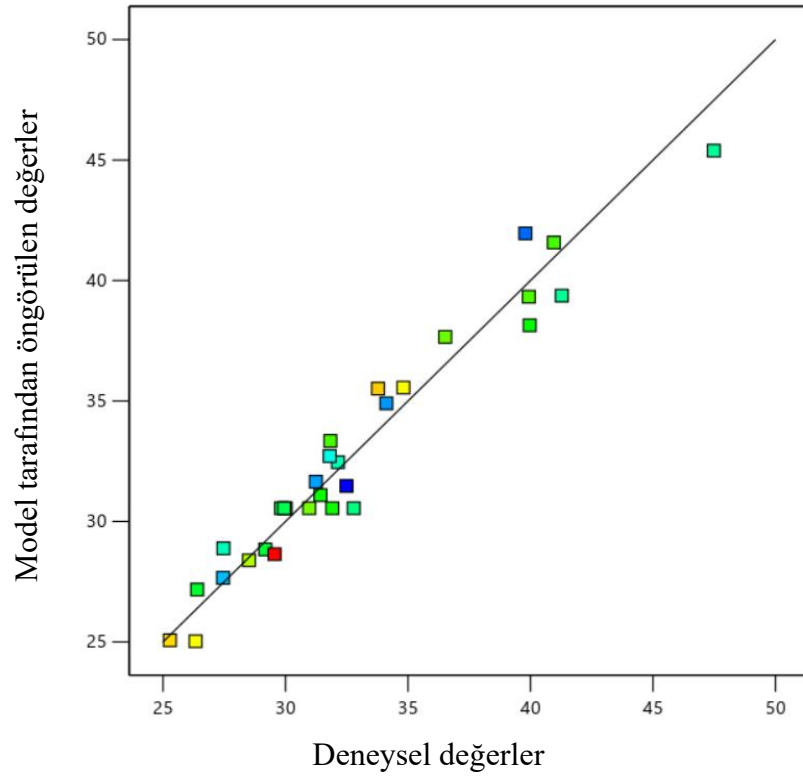
EK 2. Sertlik için öngörülen ve deneysel değerlerin ilişkisi



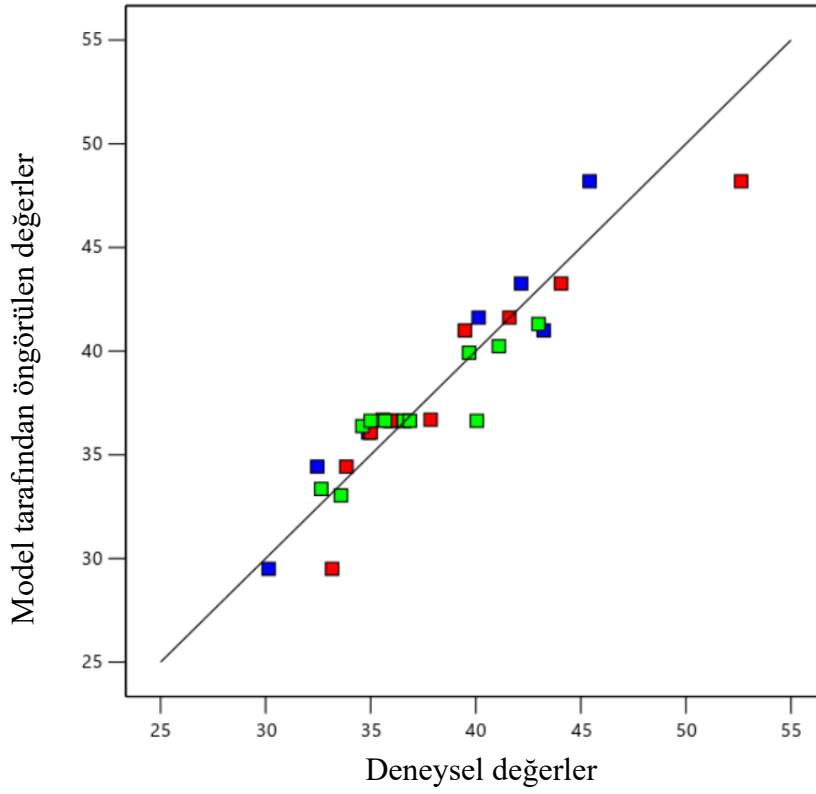
EK 3. Pişirme kaybı için öngörülen ve deneysel değerlerin ilişkisi



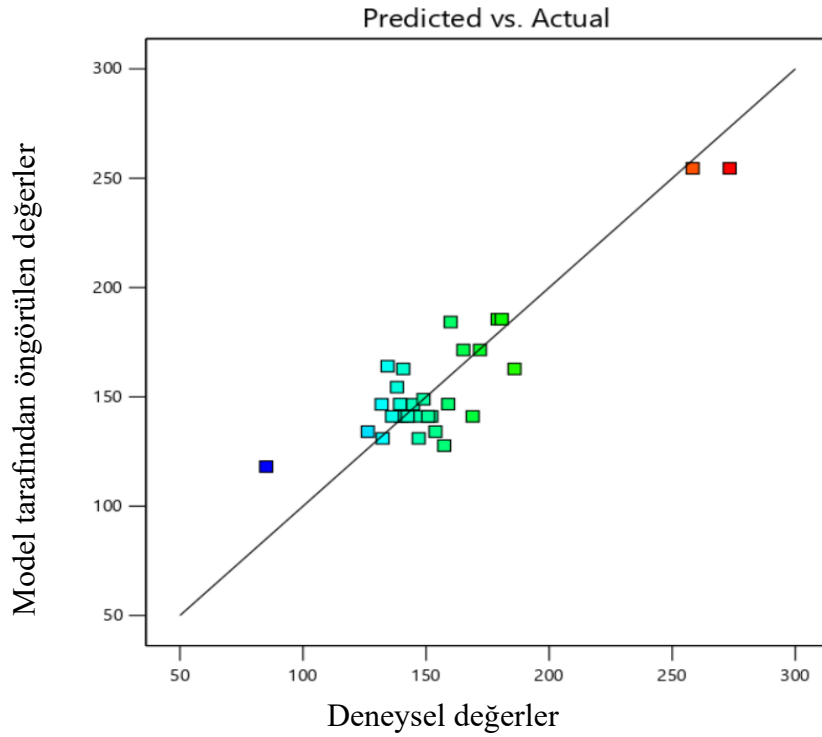
EK 4. Liç için öngörülen ve deneysel değerlerin ilişkisi



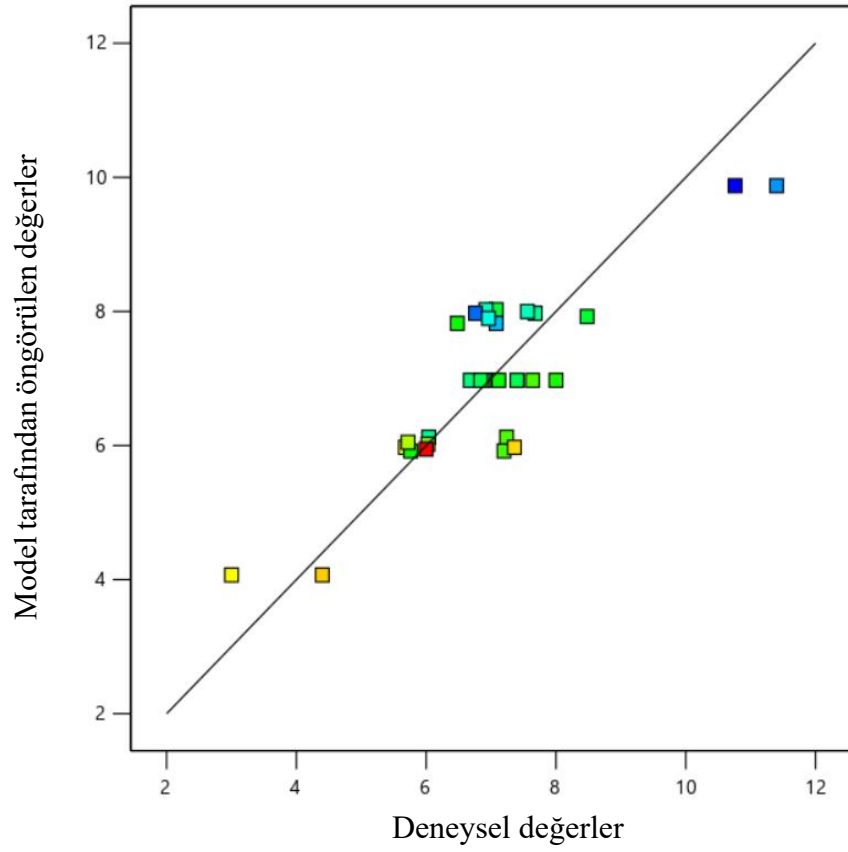
EK 5. Ldış için öngörülen ve deneysel değerlerin ilişkisi



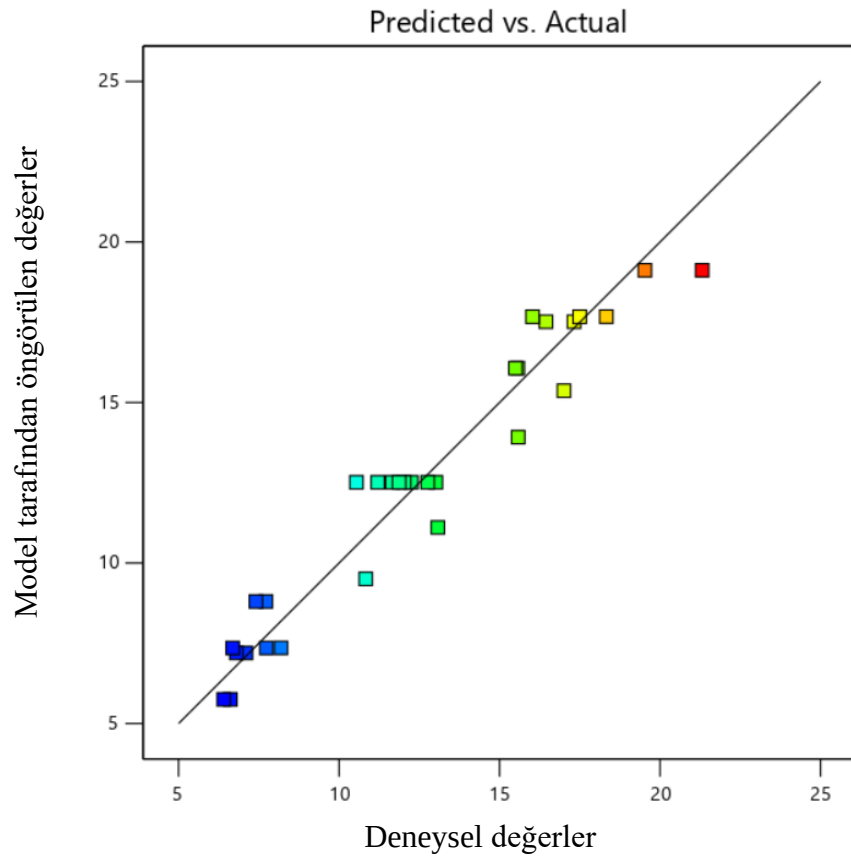
EK 6. Fenolik madde içeriği için öngörülen ve deneysel değerleri ilişkisi



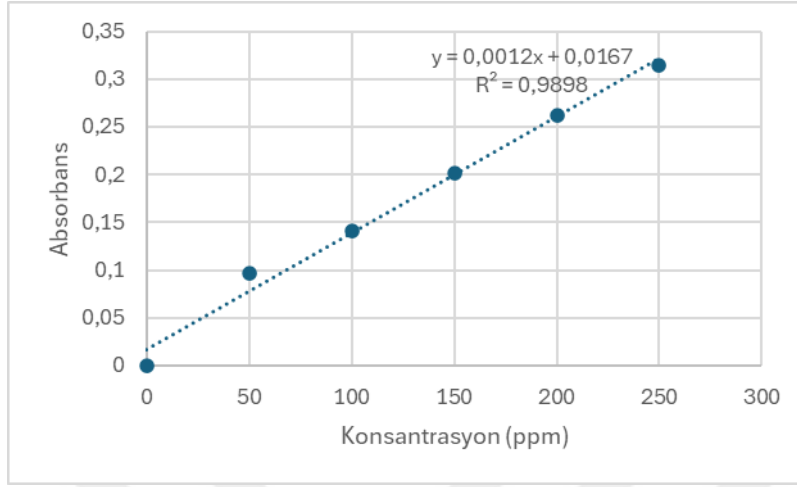
EK 7. Genel beğeni için öngörülen ve deneysel değerleri ilişkisi



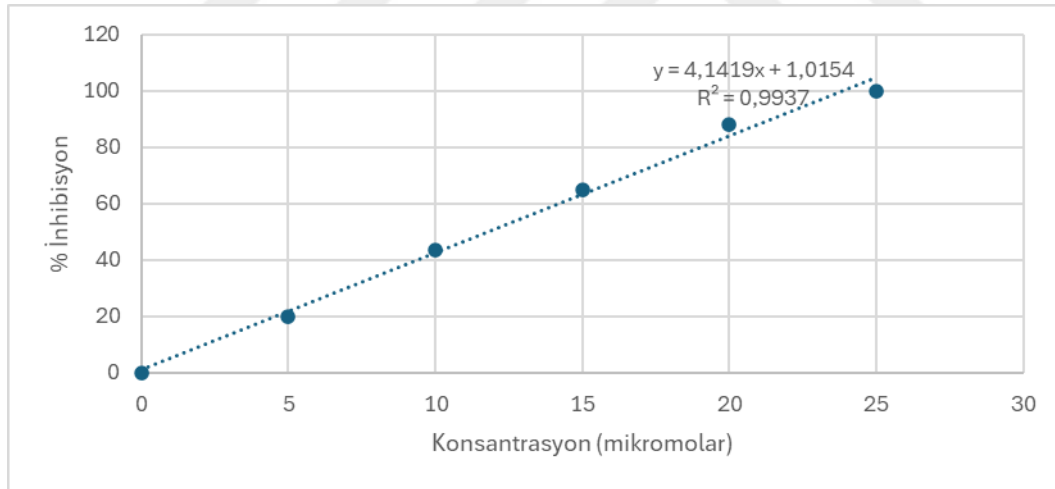
EK 8. Antioksidan aktivite içeriği için öngörülen ve deneysel değerleri ilişkisi



EK 9. Fenolik madde miktarının belirlenmesi amacıyla kullanılan gallik asit standart eğrisi



EK 10. ABTS yöntemi ile antioksidan aktivitelerin belirlenmesi amacıyla kullanılan troloks standart eğrisi



EK 11. DPPH yöntemi ile antioksidan aktivitelerin belirlenmesi amacıyla kullanılan troloks standart eğrisi

