



**ŞEKERLİ VE KÖPÜK YAPILI MODELDE SÜT PROTEİNLERİNİN KÖPÜK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

MEHMET GÜLDANE

**DOKTORA TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
Prof. Dr. Mahmut DOĞAN
Şubat - 2021
Her hakkı saklıdır**

**T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

DOKTORA TEZİ

**ŞEKERLİ VE KÖPÜK YAPILI MODELDE SÜT
PROTEİNLERİNİN KÖPÜK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

MEHMET GÜLDANE

TOKAT
Şubat - 2021

Her hakkı saklıdır

TEZ BEYANI

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

MEHMET GÜLDANE

17 Şubat 2021

ÖZET

DOKTORA TEZİ

ŞEKERLİ VE KÖPÜK YAPILI MODELDE SÜT PROTEİNLERİNİN KÖPÜK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

MEHMET GÜLDANE

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. MAHMUT DOĞAN)
(İKİNCİ DANIŞMAN: PROF. DR. ÖZLEM AKPINAR)

Bu çalışmada; köpük helva üretiminde kullanılan model sıvıların, model köpüklerin/köpük helvaların özelliklerinin ve model köpük helvaların stabilitelerinin Gri İlişkisel Analiz ve/veya Taguchi yöntemi kullanılarak optimizasyonu amaçlanmıştır. Deneysel analizler L_{16} tasarım matrisine göre yapılmıştır. Depolama sıcaklığı (15, 20, 25 ve 30 °C) ve/veya mikseleme sıcaklığı (40, 60, 80 ve 100 °C) ve/veya protein çeşidi (peynir altı suyu protein konsantresi, peynir altı suyu protein izolatu, sodyum kazeinat ve demineralize peynir altı suyu proteinleri), hidrokolloid miktarı (10, 20, 30 ve 40 ml) ile hidrokolloid çeşidi (keçiboynuzu gamı, karragenan, pektin ve ksantan gam) üretim parametreleri ve seviyeleri olarak kullanılmıştır. Modelleme sonucunda, saponin (%0.096), peynir altı suyu protein izolatu (%0.5) ve ksantan gam (%0.2) içeren çözeltinin ve saponin (%0.096), peynir altı suyu protein konsantresi (%0.5) ve pektin (%0.05) içeren çözeltinin 80 °C’de çırpılmasıyla elde edilen köpük/köpük helvanın optimum örnekler oldukları belirlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, optimum örnekler kontrole kıyasla daha iyi çözelti ve köpük özellikleri göstermişlerdir. 15 °C’de depolanan optimum köpük helvanın köpük stabilitesinin kontrol helvanınkinden daha iyi olduğu belirlenmiştir. Duyusal analiz sonuçlarına göre, optimum olarak belirlenen köpük helva duyusal olarak kontrol örneğinden daha fazla tercih edilmiştir. Model sıvılarda hidrokolloid tipi, model köpüklerde/köpük helvalarda ise protein tipi en etkili üretim parametreleri olarak bulunmuştur. Arayüzey gerilimi yüksek bulunan sodyum kazeinatın ve protein içeriği diğer protein tozlarına göre düşük olduğu belirlenen demineralize peynir altı suyu proteinleri köpük özelliklerinin diğer peynir altı suyu proteinlerinden daha zayıf olduğu saptanmıştır. Belirli koşullarda; saponin/peynir altı suyu proteinleri/gamlar arasındaki sinerjistik etkileşimlerin model sıvıların, köpüklerin ve köpük helvaların özelliklerini önemli düzeyde etkiledikleri belirlenmiştir.

2021, 215 SAYFA

ANAHTAR KELİMELE: Taguchi Yöntemi, Gri İlişkisel Analiz, Optimizasyon, Köpük Helva, Saponin, Hidrokolloid

ABSTRACT

DOCTORATE THESIS

EFFECT OF MILK PROTEINS ON PROPERTIES OF FOAM IN MODEL WITH SUGAR AND FOAM MEHMET GULDANE

**TOKAT GAZIOSMANPASA UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES**

DEPARTMENT OF FOOD ENGINEERING

**(SUPERVISOR:) PROF. DR. MAHMUT DOGAN
(CO-SUPERVISOR: PROF. DR. OZLEM AKPINAR)**

In this study; it was aimed to optimize the properties of model prefoam solutions and foams/foam halvass and stability of the model foam halvass using Grey Relational Analysis and/or Taguchi method. Experimental studies were carried out according to L₁₆ orthogonal design. Different levels of storage temperature (15, 20, 25 and 30 °C) and/or mixing temperature (40, 60, 80 and 100 °C) and/or protein type (whey protein concentrate, whey protein isolate, sodium caseinate and demineralized whey proteins), the quantity of hydrocolloid (10, 20, 30 and 40 ml) and hydrocolloid type (locust bean gum, carrageenan, pectin and xanthan gum) were used as production parameters and levels. As a result of the modelling, the solution with saponin (0.096%), whey protein isolate (0.5%) and xanthan gum (0.2%) and the foam/foam halva obtained by whipping the solution containing saponin (0.096%), whey protein concentrate (0.5%) and pectin (0.05%) at 80 °C were determined as the optimum. In general, optimum samples showed better prefoam solution and foam properties as compared to control sample. It was determined that foam stability of overall optimum model foam halva stored at 15 °C was better than halva prepared with saponin (0.192%) only. According to sensory analysis results, the foam halva which determined as optimum were preferred more than control sample. Hydrocolloid type in model solutions and protein type in model foams/foam halvass were found as the most effective production parameters. Demineralized whey protein having lower protein content compared to other milk proteins, and sodium caseinate with high interfacial tension were shown to exhibit worse foam properties than other whey proteins. It was determined that, under certain conditions, synergetic interactions between saponin/whey proteins /gums are significantly affected the properties of model solutions, foams and foam halvass.

2021, 215 PAGES

KEYWORDS: Taguchi Method, Grey Relatioanal Analysis, Optimization, Foam Halva, Saponin, Hydrocolloid

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde desteklerini, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen değerli danışman hocalarım Prof. Dr. Mahmut DOĞAN ve Prof. Dr. Özlem AKPINAR'a; tez izleme jürisinde bulunan ve önemli görüşleriyle teze katkı sağlayan Prof. Dr. Mahfuz ELMASTAŞ ve Doç. Dr. Cemal KAYA hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasında; Taguchi modelleme konusundaki desteklerinden dolayı Prof. Dr. Ercan ŞENYİĞİT'e ve laboratuvar çalışmalarındaki yardımları için Arş. Gör. Duygu ASLAN TÜRKER'e teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımı gerçekleştirmem konusunda laboratuvar imkânlarından yararlanmama izin veren Erciyes Üniversitesi ve Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölüm Başkanlıklarına ve Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Pamukova Meslek Yüksekokulu Müdürlüğüne teşekkür ederim.

Beni yetiştiren, bugünlere gelmemi sağlayan rahmetli anneannem Ayşe KÖK'e, tez çalışmaları süresince her türlü sabrı gösteren sevgili eşim Sümeyye'ye, çok sevdiğim canım çocuklarım Ali Eymen ve Yusuf Kaan'ıma sonsuz şükranlarımı sunuyorum.

MEHMET GÜLDANE

17 Şubat 2021

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ	xvi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	6
2.1. Gıda Köpükleri	6
2.2. Köpük Kararlılığı.....	9
2.3. Çöven Ekstraktı	12
2.4. Proteinler.....	15
2.4.1. Süt proteinleri	16
2.4.2. Peynir altı suyu proteinleri.....	17
2.4.3. Sodyum kazeinat.....	20
2.5. Hidrokolloidler	22
2.5.1. Keçiboynuzu gamı	22

2.5.2. Karragenan.....	24
2.5.3. Pektin	26
2.5.4. Ksantan gam	27
2.6. Protein-Hidrokolloid Etkileşimleri	31
2.6.1. Elektrostatik olmayan etkileşimler	31
2.6.2. Elektrostatik etkileşimler	32
2.7. Protein-Saponin Etkileşimleri.....	35
2.8. Yüzey/Arayüzey Gerilimi.....	36
3. MATERYAL ve YÖNTEM	39
3.1. Materyal.....	39
3.2. Yöntem	39
3.2.1. Deneysel tasarım.....	39
3.2.2. Protein ve hidrokolloid çözeltilerinin hazırlanması.....	45
3.2.3. Şeker şurubunun hazırlanması	46
3.2.4. Model köpüklerin/köpük helvaların üretiminde kullanılacak sıvı karışımın hazırlanması.....	46
3.2.5. Model köpüklerin/köpük helvaların üretilmesi.....	47
3.2.6. Hammadde analizleri	48
3.2.7. Köpük helva üretiminde kullanılan model sıvılarda gerçekleştirilen analizler	50
3.2.8. Model köpük helvalarda gerçekleştirilen analizler	53
3.2.9. Köpük stabilitesinin belirlenmesi	55

3.2.10. Duyusal analizler	55
3.2.11. İstatistiksel analiz.....	58
4. BULGULAR.....	59
4.1. Hammadde Özellikleri.....	59
4.2. Köpük Helva Üretiminde Kullanılan Model Sıvıların Özellikleri	60
4.2.1. Model sıvılarda renk (L^*), bulanıklık (NTU) ve arayüzey gerilimi (mN/m) yanıtlarının optimizasyonu	60
4.2.2. Model sıvılarda reolojik özelliklerin optimizasyonu	69
4.2.3. Model sıvıların genel optimizasyon koşullarının belirlenmesi-Gri İlişkisel Analiz Yöntemi	88
4.3. Model Köpüklerin/Köpük Helvaların Özellikleri.....	102
4.3.1. Model köpüklerde köpük kapasitesi ve yoğunluk yanıtlarının optimizasyonu ..	102
4.3.2. Model köpük helvalarda toplam üretim süresi (dk) ve renk (L^*) yanıtlarının optimizasyonu	106
4.3.3. Model köpük helvalarda dinamik reolojik özelliklerin optimizasyonu	111
4.3.4. Model köpük helvaların tekstürel özelliklerinin optimizasyonu	120
4.3.5. Model köpük helvalarda köpük baloncuk boyutu (d_{32}) yanıtının optimizasyonu	124
4.3.6. Model köpük/köpük helvaların genel optimizasyon koşullarının belirlenmesi- Gri İlişkisel Analiz yöntemi.....	129
4.4. Model Köpük Helvaların Köpük Stabilitesi Özellikleri	145
4.5. Model Köpük Helvaların Duyusal Özellikleri.....	150
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	153

5.1. Hammadde Özellikleri.....	154
5.2. Köpük Helva Üretiminde Kullanılan Sıvıların Değerlendirilmesi	156
5.2.1. Renk, bulanıklık ve yüzey gerilimi özelliklerinin değerlendirilmesi	157
5.2.2. Reolojik özelliklerin değerlendirilmesi	162
5.3. Köpüklerin/Köpük Helvaların Değerlendirilmesi	166
5.3.1. Köpük kapasitesi ve yoğunluk özellikleri.....	167
5.3.2. Köpük helvaların toplam üretim süresi ve renklerinin değerlendirilmesi	170
5.3.3. Köpük helvaların reolojik özellikleri.....	172
5.3.4. Köpük helvaların tekstürel özellikleri.....	176
5.3.5. Köpük helvaların mikroskop görüntülerinin değerlendirilmesi.....	178
5.4. Köpük Helvaların Köpük Kararlılıklarının Değerlendirilmesi.....	180
5.5. Köpük Helvaların Duyusal Değerlendirmesi.....	184
6. KAYNAKLAR	186
7. EKLER.....	201
7.1. Köpük Helva Örneklerinin Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Görüntüleri.....	201
7.1. Köpük Helva Örneklerinin Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Görüntüleri (Devamı)	202
7.1 Köpük Helva Örneklerinin Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Görüntüleri (Devamı)	203
7.1. Köpük Helva Örneklerinin Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Görüntüleri (Devamı)	204
7.2. Köpük Helvaların Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Görüntüleri Baloncuk Boyutu Dağılım Histogramları	205

7.2. Köpük Helvaların Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Görüntüleri Baloncuk Boyutu Dağılım Histogramları (Devamı)	206
7.2. Köpük Helvaların Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Görüntüleri Baloncuk Boyutu Dağılım Histogramları (Devamı)	207
7.2. Köpük Helvaların Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Görüntüleri Baloncuk Boyutu Dağılım Histogramları (Devamı)	208
7.2. Köpük Helvaların Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Görüntüleri Baloncuk Boyutu Dağılım Histogramları (Devamı)	209
7.2. Köpük helvaların konfokal lazer taramalı mikroskop görüntüleri baloncuk boyutu dağılım histogramları (Devamı)	210
7.3. Duyusal Analiz Formu.....	211
8. ÖZGEÇMİŞ	212

SİMGELER ve KISALTMALAR

Kısaltmalar	Açıklama
ANOVA	Varyans analizi
%	Yüzde
"	İnch
µm	Mikrometre
AOAC	Analitik Kimyagerler Derneği (Association of Official Agricultural Chemists)
Ca ⁺²	Kalsiyum
CIE	Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (Comission Internationale L'eClairage)
d ₃₂	Ortalama köpük baloncuk boyutu
DE	Esterifikasyon derecesi
dk	Dakika
D-PAS	Demineralize peynir altı suyu
FDA	Gıda ve İlaç İdaresi (Food and Drug Administration)
G'	Depo modülü
G''	Viskoz modülü
GİD	Gri İlişkiler Derecesi
GİK	Gri İlişkiler Katsayısı
GRAS	Genellikle Güvenilir Kabul Edilen (Generally Recognize As Safe)
Hz	Hertz

K	Kıvam katsayısı
kDa	Kilodalton
KG	Keçiboynuzu gamı
ml	Mililitre
mm	Milimetre
mM	Milimolar
mN/m	Milnewton/metre
mol/L	Mol/litre
n	Akış davranış indeksi
NaCl	Sodyum klorür
Na-KAZ	Sodyum kazeinat
nm	Nanometre
NTU	Nefelometrik Bulanıklık Birimi (Nephelometric Turbidity Unit)
PASP-İ	Peynir altı suyu protein izolatu
PASP-K	Peynir altı suyu protein konsantresi
PS	Peynir altı suyu
QBS	Kuilaya kabuğu saponini (Quillaja Bark Saponin)
rpm	Dakikada devir sayısı (rotation per minute)
S/N	Sinyal/Gürültü
SDS	Sodyum Dodesil Sülfat
SH	Sülfidril grubu
tan(δ)	Tanjant delta

TOPSİS	İdeal Çözüme Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)
TPA	Tekstür Profil Analizi (Texture Profile Analysis)
η	Görünür viskozite
π	Arayüzey basıncı
σ	Arayüzey gerilimi
τ	Kayma gerilimi
τ_0	Akma direnci

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Saponin molekülünün kimyasal yapısı	14
Şekil 2.2. Keçiyoynuzu gamının kimyasal yapısı.....	24
Şekil 2.3. Kappa (κ)-karragenanın kimyasal yapısı	25
Şekil 2.4. Iota (ι)-karragenanın kimyasal yapısı	25
Şekil 2.5. Lambda (λ)-karragenanın kimyasal yapısı	26
Şekil 2.6. Yüksek metoksilli ($DE \geq 50$) pektinin kimyasal yapısı.....	27
Şekil 2.7. Düşük metoksilli ($DE \leq 50$) pektinin kimyasal yapısı	27
Şekil 2.8. Ksantan gamın kimyasal yapısı	29
Şekil 3.1. Model köpük helvaların üretilmesi.....	47
Şekil 3.2. Model köpüklerin/köpük helvaların üretiminde kullanılan mikser ve çırpma aparatu.....	48
Şekil 3.3. Ticari çöven ekstraktında toplam saponin içeriğinin belirlenmesi	50
Şekil 4.1. Model sıvılarda renk (L^*) yanıtı S/N oranları grafiği.....	63
Şekil 4.2. Model sıvılarda bulanıklık (NTU) yanıtı S/N oranları grafiği	64
Şekil 4.3. Model sıvılarda arayüzey gerilimi (mN/m) yanıtı S/N oranları grafiği.....	64
Şekil 4.4. PASP-K ve hidrokolloidlerle hazırlanan model sıvıların arayüzey basıncı (mN/m) değişimi.....	67
Şekil 4.5. PASP-İ ve hidrokolloidlerle hazırlanan model sıvıların arayüzey basıncı (mN/m) değişimi.....	67
Şekil 4.6. Na-KAZ ve hidrokolloidlerle hazırlanan model sıvıların arayüzey basıncı (mN/m) değişimi	68
Şekil 4.7. D-PAS ve hidrokolloidlerle hazırlanan model sıvıların arayüzey basıncı (mN/m) değişimi.....	68
Şekil 4.8. Model sıvılarda akma direnci (τ_0) yanıtı S/N oranları grafiği	72
Şekil 4.9. Model sıvılarda kıvam katsayısı (K) yanıtı S/N oranları grafiği	72

Şekil 4.10. Model sıvılarda akış davranış indeksi (n) yanıtı S/N oranları grafiği	73
Şekil 4.11. Model sıvılarda görünür viskozite değerleri (η_{11}) yanıtı S/N oranları grafiği	73
Şekil 4.12. PASP-K ve hidrokolloidlerle hazırlanan model sıvıların viskozite değişimleri.....	75
Şekil 4.13. PASP-İ ve hidrokolloidlerle hazırlanan model sıvıların viskozite değişimleri.....	76
Şekil 4.14. Na-KAZ ve hidrokolloidlerle hazırlanan model sıvıların viskozite değişimleri.....	76
Şekil 4.15. D-PAS ve hidrokolloidlerle hazırlanan model sıvıların viskozite değişimleri.....	77
Şekil 4.16. Model sıvılarda depo modülü (G') yanıtı S/N oranları grafiği.....	80
Şekil 4.17. Model sıvılarda viskoz modülü (G'') yanıtı S/N oranları grafiği.....	81
Şekil 4.18. Model sıvılarda kayıp tanjant ($\tan(\delta)$) yanıtı S/N oranları grafiği.....	82
Şekil 4.19. PASP-K ile keçiyoynuzu gamı veya karragenan kullanılarak hazırlanan model sıvıların frekans tarama testleri	84
Şekil 4.20. PASP-K ile pektin veya ksantan gam kullanılarak hazırlanan model sıvıların frekans tarama testleri	84
Şekil 4.21. PASP-İ ile karragenan veya keçiyoynuzu gamı (KG) kullanılarak hazırlanan model sıvıların frekans tarama testleri	85
Şekil 4.22. PASP-İ ile ksantan gam veya pektin kullanılarak hazırlanan model sıvıların frekans tarama testleri	85
Şekil 4.23. Na-KAZ ile pektin veya ksantan gam kullanılarak hazırlanan model sıvıların frekans tarama testleri	86
Şekil 4.24. Na-KAZ ile keçiyoynuzu gamı veya karragenan kullanılarak hazırlanan model sıvıların frekans tarama testleri	86
Şekil 4.25. D-PAS ile ksantan gam veya pektin kullanılarak hazırlanan model sıvıların frekans tarama testleri	87
Şekil 4.26. D-PAS ile karragenan veya keçiyoynuzu gamı kullanılarak hazırlanan model sıvıların frekans tarama testleri	87

Şekil 4.27. Model sıvılarda Gri İlişkisel Analizle belirlenen yeni faktör seviyeleri S/N oranları grafiği	94
Şekil 4.28. Genel optimum ve kontrol sıvılarının arayüzey basıncı (mN/m) değişimi ..	97
Şekil 4.29. Genel optimum ve kontrol sıvılarının arayüzey gerilimi (mN/m) değişimi .	98
Şekil 4.30. Genel optimum ve kontrol örneği sıvılarının görünür viskozite değişimi..	100
Şekil 4.31. Genel optimum ve kontrol örneği sıvıları frekans tarama testleri	101
Şekil 4.32. Model köpüklerde köpük kapasitesi (%) yanıtı S/N oranları grafiği.....	105
Şekil 4.33. Model köpüklerde yoğunluk (g/cm^3) yanıtı S/N oranları grafiği	105
Şekil 4.34. Model köpük helvalarda toplam üretim süresi (dk) yanıtı S/N oranları grafiği	109
Şekil 4.35. Model köpük helvalarda renk (L^*) yanıtı S/N oranları grafiği.....	110
Şekil 4.36. Model köpük helvalarda depo modül (G') yanıtı S/N oranları grafiği.....	113
Şekil 4.37. Model köpük helvalarda viskoz modül (G'') yanıtı S/N oranları grafiği...	114
Şekil 4.38. Model köpük helvalarda kayıp tanjant ($\tan(\delta)$) yanıtı S/N oranları grafiği	115
Şekil 4.39. PASP-K ile KG veya karragenan kullanılarak üretilen model köpük helvaların frekans tarama testleri	117
Şekil 4.40. PASP-K ile pektin veya ksantan gam kullanılarak üretilen model köpük helvaların frekans tarama testleri	117
Şekil 4.41. PASP-İ ile karragenan veya KG kullanılarak üretilen model köpük helvaların frekans tarama testleri	118
Şekil 4.42. PASP-İ ile ksantan gam veya pektin kullanılarak üretilen model köpük helvaların frekans tarama testleri	118
Şekil 4.43. Na-KAZ ile pektin veya ksantan gam kullanılarak üretilen model köpük helvaların frekans tarama testleri	119
Şekil 4.44. Na-KAZ ile KG veya karragenan kullanılarak üretilen model köpük helvaların frekans tarama testleri	119
Şekil 4.45. D-PAS ile ksantan gam veya pektin kullanılarak üretilen model köpük helvaların frekans tarama testleri	120
Şekil 4.46. D-PAS ile karragenan veya KG kullanılarak üretilen model köpük helvaların frekans tarama testleri	120

Şekil 4.47. Model köpük helvalarda sertlik (g) yanıtı S/N oranları grafiği	123
Şekil 4.48. Model köpük helvalarda yapışkanlık (-g.s) yanıtı S/N oranları grafiği.....	123
Şekil 4.49. Model köpük helvalarda köpük baloncukları boyutları (d_{32}) yanıtı S/N oranları grafiği (48. saat).....	128
Şekil 4.50. Model köpük helvalarda köpük baloncukları boyutları (d_{32}) yanıtı S/N oranları grafiği (50. saat).....	128
Şekil 4.51. Model köpük/köpük helvalarda Gri İlişkisel Analiz yöntemiyle belirlenen yeni faktör seviyeleri S/N oranları grafiği	136
Şekil 4.52. Genel optimum ve kontrol köpük helvaların frekans tarama testleri	141
Şekil 4.53. Genel optimum köpük helva örneği KLTM görüntüleri ve köpük baloncuk boyutu (d_{32}) dağılım histogramları.....	144
Şekil 4.54. Kontrol köpük helva örneği KLTM görüntüleri ve köpük baloncuk boyutu (d_{32}) dağılım histogramları.....	144
Şekil 4.55. Model köpük helvalarda akıntı yarı ömrü (gün) yanıtı S/N oranları grafiği.....	148
Şekil 4.56. Model köpük helvaların duyusal analiz sonuçları	151

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Kontrol faktörleri ve seviyeleri.....	42
Çizelge 3.2. Tez çalışmasında kullanılan Taguchi L_{16} deney tasarımları.....	42
Çizelge 4.1. Köpük helva üretiminde kullanılan protein ve hidrokolloidlerin özellikleri	60
Çizelge 4.2. Model sıvılarda renk, bulanıklık ve arayüzey gerilimi yanıtları ortalama sonuçları ve S/N değerleri.....	61
Çizelge 4.3. Model sıvılarda renk, bulanıklık ve arayüzey gerilimi yanıtları S/N oranları tablosu	62
Çizelge 4.4. Model sıvılarda renk (L^*), bulanıklık (NTU) ve arayüzey gerilimi (mN/m) yanıtları S/N oranları ANOVA tablosu.....	65
Çizelge 4.5. Model sıvıların yatışkın hal reolojik özellikleri ortalama sonuçları ve S/N değerleri	70
Çizelge 4.6. Model sıvılarda yatışkın hal reolojik özellikleri S/N oranları yanıt tablosu	71
Çizelge 4.7. Model sıvılarda yatışkın hal reolojik özellikler S/N oranları ANOVA tablosu	74
Çizelge 4.8. Model sıvılarda dinamik reolojik özelliklerin ortalama sonuçları ve S/N değerleri	78
Çizelge 4.9. Model sıvılarda dinamik reolojik özellikleri S/N oranları yanıt tablosu ...	79
Çizelge 4.10. Model sıvılarda dinamik reolojik özellikler S/N oranları ANOVA tablosu	83
Çizelge 4.11. Model sıvılarda test edilen yanıtların optimum koşulları.....	88
Çizelge 4.12. Model sıvılarda yanıtlar için referans serisi ve normalizasyon matrisi ...	90
Çizelge 4.13. Model sıvılarda yanıtlar için uzaklık ve katsayı matrisleri.....	91
Çizelge 4.14. Model sıvılarda test örneklerinin Gri İlişkiler Dereceleri ve performans sıralamaları.....	92

Çizelge 4.15. Model sıvılarda Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni faktör seviyeleri ve S/N oranları	93
Çizelge 4.16. Model sıvılarda Gri İlişkisel Analiz yöntemiyle belirlenen S/N oranları ANOVA tablosu.....	94
Çizelge 4.17. Başlangıç ve optimum üretim parametreleri kullanılarak hazırlanan model sıvılarda doğrulama deneyleri S/N oranları	95
Çizelge 4.18. Genel optimum ve kontrol sıvılarının renk, bulanıklık ve arayüzey gerilimi yanıtları doğrulama deney sonuçları ve S/N oranları	96
Çizelge 4.19. Genel optimum ve kontrol sıvılarının yatışkın hal (steady state) reolojik özellikleri yanıtları doğrulama deney sonuçları.....	99
Çizelge 4.20. Genel optimum ve kontrol sıvılarının dinamik reolojik özellikleri doğrulama deney sonuçları	101
Çizelge 4.21. Model köpüklerde köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm^3) ortalama sonuçları ve S/N değerleri.....	103
Çizelge 4.22. Model köpüklerde köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm^3) yanıtları S/N oranları tablosu	104
Çizelge 4.23. Model köpüklerde köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm^3) yanıtları S/N oranları ANOVA tablosu.....	106
Çizelge 4.24. Model köpük helvalarda toplam üretim süresi (dk) ve renk (L^*) yanıtları ortalama sonuçları ve S/N değerleri.....	107
Çizelge 4.25. Model köpük helvalarda toplam mikslleme süresi ve renk yanıtları S/N oranları tablosu.....	108
Çizelge 4.26. Model köpük helvalarda toplam üretim süresi (dk) ve renk (L^*) yanıtları S/N oranları ANOVA tablosu.....	111
Çizelge 4.27. Model köpük helvaların dinamik reolojik özellikleri ortalama sonuçları ve S/N değerleri	112
Çizelge 4.28. Model köpük helvaların dinamik reolojik özellikleri S/N oranları yanıt tablosu	113
Çizelge 4.29. Model köpük helvalarda dinamik reolojik özellikler S/N oranları ANOVA tablosu.....	116
Çizelge 4.30. Model köpük helvaların tekstürel özellikleri ortalama sonuçları ve S/N değerleri	121

Çizelge 4.31. Model köpük helvaların tekstürel özellikleri S/N oranları yanıt tablosu	122
Çizelge 4.32. Model köpük helvalarda tekstürel özellikler S/N oranları ANOVA tablosu	124
Çizelge 4.33. Model köpük helvaların baloncuk boyutları (d_{32}) ortalama sonuçları ve S/N değerleri	126
Çizelge 4.34. Model köpük helvalarda baloncuk boyutu ortalamaları (d_{32}) S/N oranları yanıt tablosu	127
Çizelge 4.35. Model köpük helvalarda köpük baloncuk boyutu (d_{32}) yanıtı S/N oranları ANOVA tablosu.....	129
Çizelge 4.36. Model köpük/köpük helvalarda test edilen yanıtların optimum koşulları.....	130
Çizelge 4.37. Model köpük/köpük helvalarda yanıtlar için referans serisi ve normalizasyon matrisi	132
Çizelge 4.38. Model köpük/köpük helvalarda yanıtlar için uzaklık ve katsayı matrisleri	133
Çizelge 4.39. Model köpük/köpük helvalarda test örnekleri için Gri İlişkiler Dereceleri ve sıralamaları	134
Çizelge 4.40. Model köpük/köpük helvalarda yeni faktör seviyeleri ve S/N oranları.	135
Çizelge 4.41. Model köpük/köpük helvalarda Gri İlişkisel Analiz yöntemiyle belirlenen S/N oranları ANOVA tablosu	136
Çizelge 4.42. Başlangıç ve optimum üretim parametreleri kullanılarak hazırlanan model köpük/köpük helvalarda doğrulama deneyleri S/N oranları	137
Çizelge 4.43. Genel optimum ve kontrol köpüklerinin köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm^3) yanıtları doğrulama deney sonuçları.....	138
Çizelge 4.44. Genel optimum ve kontrol köpük helvalarda toplam üretim süresi (dk) ve renk (L^*) yanıtları doğrulama deney sonuçları	139
Çizelge 4.45. Genel optimum ve kontrol köpük helvalarda dinamik reolojik özellikler doğrulama deney sonuçları	140
Çizelge 4.46. Genel optimum ve kontrol köpük helvalarda tekstür özellikleri doğrulama deney sonuçları	142

Çizelge 4.47. Genel optimum ve kontrol köpük helvalarda ortalama baloncuk boyutu (d_{32}) doğrulama deney sonuçları	143
Çizelge 4.48. Model köpük helvalarda akıntı yarı ömrü (gün) yanıtı ortalama sonuçları ve S/N değerleri	146
Çizelge 4.49. Model köpük helvalarda akıntı yarı ömrü (gün) yanıtı S/N oranı tablosu	147
Çizelge 4.50. Model köpük helvalarda akıntı yarı ömrü (gün) yanıtı S/N oranları ANOVA tablosu.....	149
Çizelge 4.51. Optimum ve kontrol köpük helvaların akıntı yarı ömrü (gün) yanıtları doğrulama deney sonuçları	149
Çizelge 4.52. Model köpük helvaların duyusal analiz sonuçlarının karşılaştırmalı karar matrisi	151
Çizelge 4.53. Model köpük helvaların duyusal analiz sonuçları performans sıralaması	152

1. GİRİŞ

Gıda maddelerinin işlenmesiyle renk, aroma ve tekstür özellikleri açısından çeşitlilik arzeden ürünler üretilmektedir. Değişik tekstürel özelliklere sahip kek, ekmek, dondurma ve şekerleme ürünleri köpük oluşumuyla elde edilebilmektedir. Köpürtmeyle ayrıca ürünlerin reolojik özellikleri de değişmektedir (Campbell ve Mougeot, 1999). Öte yandan gıdaların havalandırılması işlemi hem ekmek ve krem şanti gibi geleneksel gıda ürünlerinde hem de havalandırılmış çikolata, sıcak içecekler ve gurme yemekleri gibi çağdaş gıda ürünlerinde kullanılmaktadır. Yığın hacmi boyunca baloncuklar formunda hava bulunması gıda ürününe lüks ve yüksek kaliteyle ilişkilendirilen özel bir tekstür kazandırmaktadır. Bunun da ötesinde etkili şekilde havalandırılmış gıda ürününün yapısına kalori değeri ve maliyeti olmayan bir bileşenin kazandırılmasıyla üretim maliyeti de azaltılmaktadır (Lazidis ve ark., 2014).

Gıda maddelerinin yapısına hava karıştırılmasında çırpma veya köpükleştirme işlemi kullanılmaktadır. Böylelikle katı veya yarı katı matriks içinde (sürekli faz) bir gaz fazın küçük baloncuklar şeklinde dağılması sağlanarak gıda materyaline havalandırılmış bir yapı kazandırılmaktadır. Sürekli bir sıvı faz içerisinde dağılmış halde bulunan değişik boyuttaki gaz baloncuklarının varlığı köpük adı verilen termodinamik olarak stabil olmayan sistemi açıklanmaktadır. Klasik anlamda köpükler; protein, saponin ya da sodyum dodesil sülfat (SDS) gibi yüzey aktif özellik gösteren maddeleri içeren sıvı karışımların çırpılması veya püskürtülmesiyle elde edilmektedir (Campbell ve Mougeot, 1999; Foegeding ve ark., 2006; Lazidis ve ark., 2014).

Yapıları zamana bağlı olarak zayıflayan köpüklerin özellikleri, üretimde tercih edilen yüzey aktif maddeye bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Proteinler, gıda sanayinde köpük elde etmek amacıyla en çok kullanılan arayüzey stabilizatörüdürler (Lau ve Dickinson, 2006; Abascal ve Gracia-Fadrique, 2009). Proteinler arasında yumurta akı proteinleri (YAP) en çok tercih edilen köpürtme elemanlarıdır. Bununla birlikte, son zamanlarda süt proteinlerinin (peynir altı suyu proteinleri ve kazeinatlar) köpük

sistemlerinde kullanım olanaklarının araştırılmasına dair çalışmalar hız kazanmıştır (Asghari ve ark., 2016).

Peynir endüstrisinin bir yan ürünü olan peynir altı suyundan (PS); su, laktoz, tuz ve süt yağı gibi protein dışı unsurların çeşitli filtrasyon teknikleri (ultrafiltrasyon, diafiltrasyon vb.) kullanılarak uzaklaştırılmasıyla sütün önemli bir protein grubu olan PS proteinleri üretilmektedir. Sıcaklığa duyarlı olan bu proteinlerin köpürme özelliklerinden, bileşiminde en çok bulunan (>%50) β -Laktoglobulinin (pI=4.7-5.1) sorumlu olduğu bildirilmiştir (Albano ve ark., 2019). Sütün bir diğer değerli protein fraksiyonu olan sodyum kazeinat (Na-KAZ), asit kazeinin sodyum bazlı alkalide çözündürüldükten sonra püskürtücü kurutucuda kurutulmasıyla elde edilmektedir. Suda çözünebilme yeteneğindeki Na-KAZ esnek yapısıyla hava/sıvı arayüzeylerde kolaylıkla konumlanabilmektedir. Bununla birlikte, asidik koşullar ve/veya tuzların varlığında bu proteinin köpük özellikleri olumsuz etkilenmektedir (Abd El-Salam ve El-Shibiny, 2020).

Köpük üretiminde, ayrıca, proteinler dışında küçük molekül ağırlıklı yüzey aktif maddeler de kullanılmaktadır (Böttcher ve Drusch, 2016). Ülkemizde de bazı gıda ürünlerinin köpürtülerek yapısına hava katılmasında yararlanılan çöven ekstraktında saponinler bulunmaktadır (Battal ve ark., 2003). Saponinler genelde iyonik ve iyonik olmayan yapıdadırlar (Ulaganathan ve ark., 2019). Saponinlerin köpük oluşumunda etkin olmasını sağlayan temel unsur hidrofobik aglikon ve hidrofilik şeker gruplarını içermesidir (Böttcher ve ark., 2016). Kararlı yapıda köpüklerin üretilmesinde kullanılabilen saponinler, köpük oluşumunun arzulandığı gıda ürünlerinin imalatında rahatlıkla değerlendirilebilmektedir (Çelik ve ark., 2007).

Geleneksel tatlılarımızdan olan köpük helvanın üretiminde saponince zengin çöven ekstraktından faydalanılmaktadır. Bu helvanın üretiminde; yüksek sıcaklıklarda (>100 °C) belirli bir kıvama ulaşınca kadar kaynatılan şeker şurubu sitrik asit ilavesiyle asitlendirilmektedir. Vakum işlemi uygulanarak soğutulan şuruba çöven ekstraktı ilave edilmektedir. Şeker şurubu/çöven ekstraktı karışımı paletler kullanılarak karıştırılarak geleneksel köpük helva üretilmektedir (Sarıçoban ve Sarıkaya, 2004). Bu helvanın

retiminde, bazı durumlarda, ven suyu ile birlikte yumurta akının da kullanıldığı bilinmektedir (Kurtbilal, 2019). Ayrıca, saponinlerin proteinlerin ısıl direncini artırdığı ve yüzey/arayüzey özelliklerini iyileştirdiği bildirilmiştir (Guclu-Ustundag ve Mazza, 2007).

Isıl stabilite ve köpük özellikleri bilimsel araştırmalarla kanıtlanan saponinlerin, gıda ürünlerinde belirli düzeyin üzerinde bulunması sağlık açısından risk teşkil etmektedir. Bununla ilgili yapılan bir çalışmada, bir yetişkinin bünyesine vücut ağırlığının binde birinden fazla saponin maddesi alması sonucunda toksik etkilere rastlanmıştır (am ve Topuz, 2018). Gıda maddelerinde saponin kullanımı yasal olarak da sınırlandırılmıştır. Türk Gıda Kodeksi Tahin Helvası Tebliğine göre (Tebliğ No:2015/28) tahin helvasında %0.1'den çok saponin bulunmasına izin verilmemektedir (Anonim, 2015). Bu nedenle, köpük sisteminin süt proteinleriyle desteklenmesi saponin kullanım miktarlarını azaltabilecektir.

Süt proteinlerinin köpürtme işlemlerinde başarılı bir şekilde kullanılabileceğine dair literatür çalışmaları mevcuttur. Bu çalışmalarda, kararlı köpük yapısının eldesinde süt proteinlerinin tek başlarına etkili olmadıkları rapor edilmiştir. Bundan dolayı, süt proteinlerinin hidrokolloidlerle birlikte kullanılması önerilmektedir (Narchi ve ark., 2009).

Suda çözündüğünde jel oluşturabilen veya düşük konsantrasyonlarda kıvamlı çözeltiler elde edilmesini sağlayan yüksek molekül ağırlığındaki sakkaritler hidrokolloidler olarak sınıflandırılmaktadır. Çok fazla çeşidi olan zamklı yapıdaki bu maddelerden bitki ve mikrobiyal polisakkaritler ile bunların türevleri gıda sanayinde kullanılmaktadır (Sadahira ve ark., 2014). Gamlar, genel olarak, yüzey aktif özellikte olmadıklarından hava/su arayüzeyine konumlanma eğiliminde değildirler (Neves ve ark., 2018). Köpük sistemlerinde gamların kullanılması köpük oluşumu ve kararlılığı ile ilgili hususlarda anlamlı farklılıklara neden olmaktadır (Liszka-Skoczylas ve ark., 2014). Protein ve iyonik polisakkaritlerin etkileşimde olduğu sıvı sistemlerde, bir proteinin izoelektrik noktasının (pI) zelti pH'sından farklı olması biyopolimerler arasındaki etkileşimlerin derecesini

belirlemektedir (Oduse ve ark., 2018). Gıda proteinlerinin çoğu ($pI_{\text{protein}} \sim 5.0$) iyonik polisakkartilerle ($pK_{a_{\text{polisakkarit}}} \sim 3.0$) her iki polimerin de zıt yüklü olduğu pH aralığında ($pI_{\text{protein}} < pH < pK_{a_{\text{polisakkarit}}}$) elektrostatik etkileşime girerek çözünür/çözünmez bileşikler oluşturmaktadırlar (Dickinson, 1998). Genellikle nötr koşullara yakın pH değerlerinde ($pH=6-7$) yapılan çalışmalarda; peynir altı protein konsantresi (PASP-K) ve ksantan gam (protein:polisakkarit=(10-25):(0.05-0.15) (Carp ve ark., 2004), yumurta akı (%0.05) ve pektin/guar gam (protein:polisakkarit=5:(5;0.05;0.1)) (Ibanoglu ve Erçelebi, 2007), PASP-K ve ksantan gam/karragenan (protein:gam=4:1) (Liszka-Skoczylas ve ark., 2014), peynir altı suyu protein izolatu (PASP-İ) ve ksantan gam (protein:gam= 20:1) (Narchi ve ark., 2009), polisakkaritlerin köpürmeyi engelleyerek/geciktirerek köpük yoğunluklarının artmasına neden oldukları belirlenmiştir. Tersine, pH 4’de yapılan çalışmalarda, β -Laktoglobulin ve pektin arasındaki elektrostatik etkileşimler sonucunda oluşan çözünür bileşenlerin köpük özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür (Girard ve ark., 2003; Ganzevles ve ark., 2006).

Taguchi tekniği, en az sayıda veriyle optimizasyon imkanı sağlayan eşsiz ve güçlü bir metottur. Bu yöntem kullanılarak deney tasarım maliyetleri azaltılmakta, kalite artırılmakta ve sağlam tasarım çözümleri sunulmaktadır (Ravanfar ve ark., 2015). Optimum koşulların tahminlenmesinde yararlanılan bu yöntem, hedeflenen üretim parametrelerini etkileyen zayıf unsurların da belirlenmesinde kullanılabilir (Mekonnen ve ark., 2015). Taguchi yönteminde güçlü bir tasarımda faydalanılan en önemli unsurlar Sinyal/Gürültü (S/N) oranı ve tasarım dizisidir. Deney tasarımı, ürün özelliklerini etkileyen faktörleri aynı deney şablonunda değerlendirirken; S/N oranı, ürün kalitesini bu faktörleri temel alarak ölçmektedir. Sonuç olarak, yüksek S/N oranı yüksek kaliteli ürünü temsil etmektedir (Roy, 2010). Taguchi yönteminde, üretimde etkili olan unsurların ayrı ayrı değerlendirilmesi genel üretim koşullarının optimizasyonunda çeşitli sıkıntılara neden olmaktadır. Bundan dolayı, Gri İlişkisel Analiz Yöntemi kullanılarak birden çok yanıt (response) içeren üretim modellerinde optimal parametre koşulları sağlanabilmektedir (Canbolat, 2020).

Bu çalışmada; köpük helva üretiminde kullanılan model sıvıların, model köpüklerin/köpük helvaların özelliklerinin ve model köpük helvaların stabilitelerinin Gri İlişkisel Analiz ve/veya Taguchi yöntemi kullanılarak optimizasyonu amaçlanmıştır. Tez çalışmasının birinci bölümünde; köpük helva üretiminde kullanılan ticari süt proteinleri [peynir altı suyu protein konsantresi (PASP-K), peynir altı suyu protein izolatı (PASP-İ), sodyum kazeinat (Na-KAZ) ve demineralize peynir altı suyu proteinleri (D-PAS)] ve ticari hidrokolloidlerin [keçiboynuzu gamı (KG), karragenan, pektin ve ksantan gam] hammadde özellikleri belirlenerek farklılıkların istatistiksel olarak ortaya konulması hedeflenmiştir. İkinici bölümünde; süt proteinleri ve farklı konsantrasyonlarda (%0.05, 0.1, 0.15 ve 0.2) hazırlanan hidrokolloidlerin üretim parametreleri olarak kullanıldığı model sıvıların Taguchi ve Gri İlişkisel Analiz yöntemleriyle optimizasyonu çalışılmıştır. Sonraki bölümünde; model sıvıların farklı miksleme sıcaklıklarında (40, 60, 80 ve 100 C) rılmasıyla elde edilen köpüklerin ve köpük helvaların Taguchi ve Gri İlişkisel Analiz yöntemleriyle optimizasyonu hedeflenmiştir. En son bölümünde de; farklı depolama sıcaklıklarında (15, 20, 25 ve 30 C) bekletilen köpük helvaların Taguchi yöntemi kullanılarak optimizasyonu, son olarak da köpük helvaların duysal olarak tercih edilebilirlik sıralamasının TOPSİS yöntemiyle saptanması hedeflenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Gıda Köpükleri

Havalandırma materyali olarak kullanılan gazın (genellikle atmosferik gaz) sıvı sürekli faza dağıtılmasıyla elde edilen koloidal dispersiyon “köpük” olarak adlandırılmaktadır. (Sadahira ve ark., 2018). Köpük sistemleri farklı endüstri alanlarında değişik amaçlarla kullanılmaktadır. Tekstil, inşaat, yağ endüstrisi ve kişisel bakım ürünlerinde ayrı bir önemi olan köpüğün gıda sanayiindeki değeri de oldukça fazladır. Fırın ürünleri, ekstrüde ve şişirilmiş tahıl ürünleri, mereng, krem şanti, dondurma ve meyve dolgularındaki köpükler havalandırılmış köpük sistemlerine örnek teşkil etmektedir (Campbell ve Mougeot, 1999; Balerin ve ark., 2007).

Yumurta akı ve şeker ile yapılan şekerleme ürünleri (mereng, melek kek vb.) kendilerine özgü yapısal özellikler ve güzel görünümüleriyle tercih edilmektedir. Hollanda ve Almanya’nın dâhil olduğu bazı ülkelerde yumurta akı ve şekerin (1:5) karıştırılıp çırpılmasıyla üretilen “Négercsók” adında özel bir ürün vardır. Köpük sisteminin günlük yaşantıda kullanılmasına güzel bir örnek teşkil eden bu şekerlemenin yüzeyi ince tabaka şeklinde çikolata kaplanıp gofret üzerinde servis edilmektedir (Radványi ve ark., 2012). Şekerleme endüstrisinde, ayrıca, yoğunlukları 0.2 g/cm^3 ile 1.0 g/cm^3 arasında değişen koz helvası, marshmallow, sakız ve çekme şeker üretiminde havalandırma işlemi kullanılmaktadır. Ayrıca, havalandırılarak özel tekstür kazandırılan bu şekerleme ürünlerinin üretiminde şeker şurubu ve proteinlerden yararlanılmaktadır (Sadahira ve ark., 2016). Geleneksel ürünlerimiz arasında yer alan köpük helva ve Zile pekmezi gibi ürünler de havalandırılmış gıda sistemlerine verilebilecek en güzel örneklerdendir. Ülkemizin birçok yöresinde sevilerek tüketilen geleneksel ürünlerimizden köpük helva Özbekistan ve Tacikistan gibi ülkelerde nisholda, nishalda ve nishella gibi isimlerle, Arap kültüründe ise natéf olarak adlandırılmaktadır (Helou, 2015; Kurtbilal, 2019).

Bazı gıdalarda kendisi son ürün (krem şanti, köpük helva, Zile pekmezi vb.) olan köpük, diğer bazı gıda ürünlerinde (mereng, melek (angel) kek vb.) bir ara aşama olarak üretilerek ileri proses aşamalarında değişebilmektedir. Gıda üreticileri için bu ürünlerin

kararlılığını ve fiziksel özelliklerini etkileyebilecek proses değişkenlerinin belirlenmesi oldukça önemlidir.

Köpükler katı ve sıvı olmak üzere iki sınıfta değerlendirilmektedir. Katı köpükler, katı fazda dağılmış vaziyetteki bir hava fazından oluşan elastik veya plastik maddelerdir. Mekaniksel özellikleri sürekli fazın fiziksel özellikleri ve materyalin yığın yoğunluğuna bağlı olduğu ekmek ve kek gibi ürünlerde yapının günlerce veya daha uzun süreler stabil kalması beklenebilmektedir. Yarı stabil olup yapıları saniyeler ile birkaç gün arasında değişebilen sıvı/yarı katı köpükler ise arzu edilen stabilite özellikleri için yüzey gerilimini düşüren yüzey aktif maddelere ihtiyaç duymaktadırlar. Bu köpükler; düşük hava fazına sahipken viskoz akışkan, daha yüksek hava fazında (>0.70) ise viskoelastik maddelerdir (Pernell ve ark., 2002). Köpürtme işlemi genellikle daha hafif ürünlerin üretilmesini amaçlamakla birlikte gıda ürünlerinin görüntü ve yapısını iyileştirmekte ve aroma bileşenlerinin gıda ürününün yapısına daha düzenli bir şekilde dağılmasını sağlamaktadır. Bundan dolayı, tüketici istek ve ihtiyaçlarına göre yeni ürünlerin geliştirilmesinde veya mevcut olanların iyileştirilmesinde havalandırma işlemi uygulanmaktadır (Lau ve Dickinson, 2006; Narchi ve ark., 2009).

Köpük oluşumu için gerekli öğeler; su (sürekli faz), hava (dispers faz), ara yüzey maddesi (protein, saponin vb.) ve enerjidir (karıştırma, çırpma vb.). Termodinamik olarak kararlı olmayan yapısıyla köpüklerde zamanla faz ayrımı gerçekleşmekte ve köpük yapısı zarar görmektedir (Sadahira ve ark., 2014). Köpüklerde büyük molekül ağırlıklı proteinler ve/veya küçük molekül ağırlıklı saponinler farklı fazlar arasında köprü vazifesi görerek faz farklılığından kaynaklanan arayüzey gerilimini azaltmaktadır (Böttcher ve Drusch, 2016).

Gıda köpüklerinin hazırlanmasında kullanılan geleneksel yöntemler: (i) aşırı doymuş sıvılarda gaz baloncuklarının nükleasyonu, (ii) Bir sıvının çalkalanması veya çırpılması, (iii) kimyasal reaksiyon veya fermentasyon ile gaz üretilmesi, (iv) gazın ince bir nozuldan ya da tek kanallı bir orifisten üflenmesi, (v) gazın gözenekli bir tabakaya üflenmesi veya dağıtılmasıdır (Zúñiga ve Aguilera, 2008). Deneysel sistemlerde havalandırma işlemi

genellikle çırpma veya püskürtme ile yapılmaktadır (Campbell ve Mougeot, 1999; Foegeding ve ark., 2006). Mikser kullanılarak gerçekleştirilen çırpma işleminde başlangıçta büyük hava baloncukları sisteme giriş yapmakta sonrasında bu baloncuklar çırpma aparatının kesme kuvvetleriyle daha küçük birimlere parçalanmaktadır (Walstra, 2003).

Protein köpükleri genel olarak köpük kapasitesi ve köpük kararlılığı olarak adlandırılan faktörlerle karakterize edilmektedirler. Köpük kapasitesi; köpürtücü maddenin yüzey gerilimini azaltma yeteneğiyle alakalıyken, köpük kararlılığı; hava/sıvı arayüzeyinde protein filminin reolojik özellikleriyle ilgilidir (Zhan ve ark., 2020). Köpük kapasitesi kavramı köpük yapısına katılan hava miktarıyla doğru orantılıdır. Köpük retiminde kullanılan yüzey aktif maddenin çeşidi ve konsantrasyonu ile çırpma süresi ve hızı köpük kapasitesini belirleyen temel unsurlardır (Walstra, 2003). Köpürtme ajanlarının hava/sıvı arayüzeyi etkinliklerindeki farklılıktan dolayı köpük kapasitesi değerleri değişkenlik göstermektedir. Her bir köpük modelinin köpürme özelliklerinin optimum olduğu çırpma hızı ve süresi bulunmaktadır. Köpük retiminde uygulanan yüksek çırpma hızları daha çok havanın çözeltiye aktarılmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte, çok yüksek çırpma hızları köpük sisteminde lokal basınç farklılıklarına neden olarak köpük oluşumunu olumsuz etkilemektedir (Dickinson, 1998). Yüzey aktif özellikte olmayan maddelerin varlığı genel olarak köpürmeyi olumsuz etkilemektedir. Örneğin, peynir altı suyu protein izolatı proteinlerinin köpürme yetenekleri tuz (NaCl) varlığında zayıflamaktadır (Davis ve Foegeding, 2004). Köpük sistemine ilave edilen şeker miktarı, özellikle yüksek konsantrasyonlarda, sürekli faz viskozitesinin artmasına neden olarak köpürtme ajanlarının hava/sıvı arayüzeylerine difüzyonunun yavaşlamasına sebep olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Birbirine karışmayan fazlar arasına yüzey aktif maddelerin adsorbsiyon hızının azalmasıyla köpürme gecikmekte ve/veya atmosferik havanın yeteri kadar hapsedilememesi neticesinde köpük yoğunlukları artmaktadır (Sadahira ve ark., 2018).

2.2. Köpük Kararlılığı

Köpüklerde sürekli ve süreksiz faz arasındaki dengenin sürdürülebilmesini ifade etmek amacıyla köpük kararlılığı kavramı kullanılmaktadır (Marinova ve ark., 2009). Havalandırılmış ürünlerin depolanmasında veya ilave işlem yapılacağında yapılarını uzun süre muhafaza etmeleri istendiğinden dolayı köpük kararlılığı kavramı önem taşımaktadır (Foegeding ve ark., 2006). Köpük sistemine ilave edilen diğer unsurlar (tuz, sakkaritler, diğer köpürtücüler, lipidler vb.) köpürtme amacıyla kullanılan yüzey aktif maddenin özelliklerini değiştirerek arayüzey gerilimini düşürme yeteneklerini etkilemektedir. Ayrıca, köpük sisteminin ısıtılması (ısıtma sıcaklığı ve süresi), köpük oluşturma ekipmanı ve köpük üretim yöntemi gibi dış faktörler de köpük özelliklerini etkilemektedir (Raikos ve ark., 2007).

Köpük kararlılığı hava/sıvı arayüzey filmlerinin gücü ve viskoelastik özellikleri gibi film özelliklerinin bir göstergesidir (Bovskova ve Míková, 2011). Köpükler emülsiyonlar gibi diğer kolloidal sistemlere nazaran çok daha kısa ömre sahip termodinamik kararlılığı olmayan sistemlerdir. Bunun nedeni; sürekli ve dispers faz arasındaki film arayüzeylerinin emülsiyon damlacıklarına kıyasla daha büyük olması ve bu arayüzeylerdeki gerilimin yağ/su arayüzeyindekinden daha yüksek olmasındandır (Lazidis ve ark., 2014). Hava/su arayüzey filmlerinin reolojik özelliklerindeki lokal farklılıklar köpük kararlılığını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca, farklı boyutlardaki köpük baloncukları arasındaki gaz basıncı farklılıkları da köpük kararlılığını azaltmaktadır (Dickinson, 2010).

Köpük kararlılığı; krema oluşumu (creaming), drenaj (drainage), orantısızlaşma (disproportionation) ve birleşme (coalescence) olarak nitelendirilen olaylardan etkilenmektedir (Damodaran, 2005). Dispers faz (hava) ve sürekli faz (sulu faz) arasındaki yoğunluk farkından dolayı yer çekimi etkisiyle meydana gelen sıvı akıntısı drenaj olarak adlandırılmaktadır (Murray ve Ettelaie, 2004; Murray, 2007). Köpük sisteminden sıvı fazın ayrılması köpüğün üst yüzeyinin kremalaşmasına neden olmaktadır (Marinova ve ark., 2009). Orantısızlaşma ise küçük hava habbelerinden büyük olanlara

veya atmosfere gaz difüzyonu sonucunda gerçekleşmektedir. Bu durum küçük ve büyük boyutlu köpük baloncukları arasındaki Laplace basınç farklılığından kaynaklanmaktadır (Brent ve Murray, 2011; Sadahira ve ark., 2018). Birleşmenin birbirine komşu iki köpük baloncukunu ayıran ince sıvı filmlerin zayıflaması ve çökmesi sonucunda köpük baloncuklarının birleşerek büyümesinden kaynaklandığı belirtilmektedir (Marinova ve ark., 2009). Bu mekanizmalar pratikte birbirini kartopu etkisiyle tetikleyerek köpük yapısının çökmesini sağlamaktadırlar. Örneğin, orantısızlaşmaya bağlı olarak oluşan daha büyük hava habbeleri arayüzey filmlerinin boyutlarının artmasına neden olarak sıvı akıntısını artırmakta ve köpük yapısının bozulmasını hızlandırmaktadır (Walstra, 2003).

Köpük kararlılığı kavramı havalandırılmış ürünlerin raf ömrü süresince veya ilave proses aşamalarında köpük yapısının korunması anlamında kullanılan önemli bir parametredir (Foegeding ve ark., 2006). Proteinler çırpma esnasında hava/sıvı arayüzeyine yerleşip burada diğer proteinlerle etkileşerek viskoelastik bir tabaka oluşturmaktadır. Bu elastik oluşum köpük kararlılığının sürekliliğinden sorumludur. Genel olarak, proteinler köpük oluşumunda tek başlarına kullanıldıklarında kararlı köpükler verememektedirler. Bundan dolayı diğer stabilize edici ajanlara ihtiyaç duyulmaktadır (Narchi ve ark., 2009).

Tek başlarına kullanıldıklarında köpük kararlılıkları zayıf olan protein çözeltilerine sakkaritlerin ilavesiyle ve/veya uygulanan çeşitli yöntemlerle köpük özellikleri iyileştirilmektedir (Murray ve Ettelaie, 2004). Protein köpüklerinin kararlılığını artırmanın en pratik yolu sürekli faz viskozitesinin sakkaritlerin ilave edilmesiyle artırılmasıdır. Ayrıca, karbonhidratlar hava/sıvı arayüzeylerinde proteinlerle etkileşerek arayüzey viskoelastikliğine katkı sağlamaktadırlar. Bununla birlikte, bu maddeler sistem viskozitesini artırarak köpük oluşumunu geciktirmekte ve/veya bazı durumlarda arayüzeylerde protein-protein etkileşimlerini engelleyerek köpük kararlılığını olumsuz etkileyebilmektedirler (Yang ve Foegeding, 2010; Sadahira ve ark., 2018; Alavi ve ark., 2020).

Protein çözeltilerine uygulanacak çeşitli işlemlerle (sıcaklık, basınç, pH, tuz ilavesi vb.) molekül içi ve moleküller arası etkileşimler artırılarak protein köpüklerinin kararlılıkları

iyileştirilebilmektedir (Nicorescu ve ark., 2008). Protein ve hidrokolloidler arasında sıcaklık artışına bağlı olarak meydana gelen Maillard ürünlerinin köpük özelliklerini iyileştirdiğine dair araştırma bulguları mevcuttur. Ayrıca, polisakkarit ve proteinlerin oluşturduğu çözünür/çözünmez komplekslerin sürekli faz viskozitesinin artmasını sağlayarak köpük özelliklerini iyileştirdiği de görülmüştür (Zhu ve ark., 2020b). Globüler proteinlerin ısıtılmasıyla denatürasyonu sonucunda doğal konformasyonel yapılarında değişiklikler olmaktadır. Polimerler arasındaki hidrojen bağları, hidrofobik etkileşimler, elektrostatik etkileşimler, elektrostatik bağlanmalar ve disülfid bağlarında değişimler meydana gelmektedir. Isıtmayla proteinin iç kısımlarındaki hidrofobik kısımlar açığa çıkarak protein hidrofobitesinde artış olmaktadır. Bu durum proteinin hava/sıvı arayüzeyinde daha hızlı konumlanmasını sağlayarak köpük kapasitesini artırmakta ve buralarda daha sağlam arayüzey filmleri oluşturmaya neden olarak köpük kararlılığına katkı sağlamaktadır (Walstra, 2003).

Peynir altı suyu çözeltilerine tuz (NaCl) ilavesiyle hava/sıvı arayüzeylerine protein adsorbsiyonunun arttığı dinamik yüzey gerilim ölçümleriyle kanıtlanmıştır. Tuzdaki karışıt yüklerin protein molekülünü nötürlemesi neticesinde köpürme hızı artmakta ve daha az kararlı köpükler elde edilmektedir (Davis ve Foegeding, 2007). Köpük sisteminde Ca^{+2} ve Mg^{+2} gibi iki değerlikli katyon kullanımı PS proteinlerinin köpük özelliklerini iyileştirmektedir. Proteinlerin katyon etkisiyle yavaş yavaş kümeleşmesi neticesinde daha viskoelastik bir arayüzey filmi elde edilerek sıvı drenajı geciktirilebilmektedir. Ayrıca, pH değeri proteinin izoelektrik noktasına yakın iken elektrostatik ve moleküller arası etkileşimlerin düşük olmasına bağlı olarak proteinlerin arayüzeylere difüzyon hızının ve adsorbsiyonunun arttığı belirtilmiştir. Bununla birlikte, hızlı bir şekilde oluşan bu film arayüzeyleri asit veya alkali ortamda oluşanlara göre daha az elastiktir (Asghari ve ark., 2016). Protein-yüzey aktif madde sistemlerinde, küçük molekül ağırlıklı yüzey ajanları köpük baloncukları/damlacık yüzeylerine hızlı bir şekilde adsorbe olarak köpük/emülsiyon oluşumundan sorumludurlar. Yüksek molekül ağırlıklı proteinler bu arayüzelerde elektriksel yüklü arayüzey ağırları oluşturarak köpük sisteminin daha uzun süre kararlı yapıda kalmalarını sağlamaktadır (Piotrowski ve ark., 2012).

2.3. Çöven Ekstraktı

Çöven (*Gypsophila* spp.) *Caryophyllaceae* ailesi *Gypsophila* cinsine ait çok yıllık, kazık köklü ve Haziran-Temmuz aylarında beyaz çiçek açan otsu bir bitkidir. Türkiye’de bu cinse ait çoğu endemik olan 53 tür, 1 alttür ve 3 çeşit bulunmaktadır (Çam ve Topuz, 2018). Çöven türlerinden ticari değeri en yüksek olan Van çövenidir (*Gypsophila arrostii*) (Battal ve ark., 2003). Bu bitkinin kök ekstraktlarından çeşitli ürünlerin imalatında yararlanılmaktadır. Çöven kökleri geleneksel olarak öksürük ve üst solunum sistemi hastalıklarına karşı ilaçların hazırlanmasında kullanılmaktadır. Ayrıca temizlik kimyasalları, film emülsiyonları, şekerlemeler ve yangın söndürücülerin imal edilmesinde çöven ekstraktından faydalanılmaktadır (Özdikicierler ve ark., 2019). Tıbbi açıdan idrar ve balgam söktürücü, sivilce giderici etkileri olduğu belirtilen çöven ekstraktı kuyumculuk sektöründe temizleme ve parlatma amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca, çöven kökleri yurtdışına da ihraç edilmektedir (Özçelik ve Yıldırım, 2011). Öte yandan çöven kökü ekstraktı tahin helvası ve lokum üretiminde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu ekstrakt; tahin helvası üretiminde helvanın beyazlatılması, helvadan susam yağının ayrılmasının geciktirilmesi, tekstürel özelliklerin iyileştirilmesi ve helva hacminin artırılması gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Sultan lokumunda çöven ekstraktı kullanılmasıyla daha yumuşak yapıda ve arzulanan tekstürde ürünlerin üretilmesi mümkün hale gelmektedir (Battal ve ark., 2003; Ozdikicierler ve ark., 2014; Özdikicierler ve ark., 2019). Bu ekstraktın geleneksel olarak üretilmesinde, yaklaşık 30 kg kadar çöven rizomunun üzerini örtecek kadar su eklenerek kaynatma işlemi (~20 saat) gerçekleştirilmektedir. Bu süreçte azalan su tekrar beslenerek (4-5 kez) işlem tamamlandığında toplamda 50 litre civarında ekstrakt elde edilmektedir (Özçelik ve Yıldırım, 2011).

Bazı bitkiler tarafından sekonder metabolizma ürünü olarak sentezlenen saponin ismi Latince bir kelime olan “sapo” (sabun)’dan türemiştir. Yüzey aktif bileşenler olarak etkinlik gösteren saponinleri içeren sulu çözeltiler çırıldığında sabun benzeri stabil köpük oluşturmaktadırlar (Çelik ve ark., 2007; Moghimipour ve Handali, 2015). Çöven ekstraktında değişik özelliklerde çok fazla sayıda saponin bulunmaktadır. Bundan dolayı,

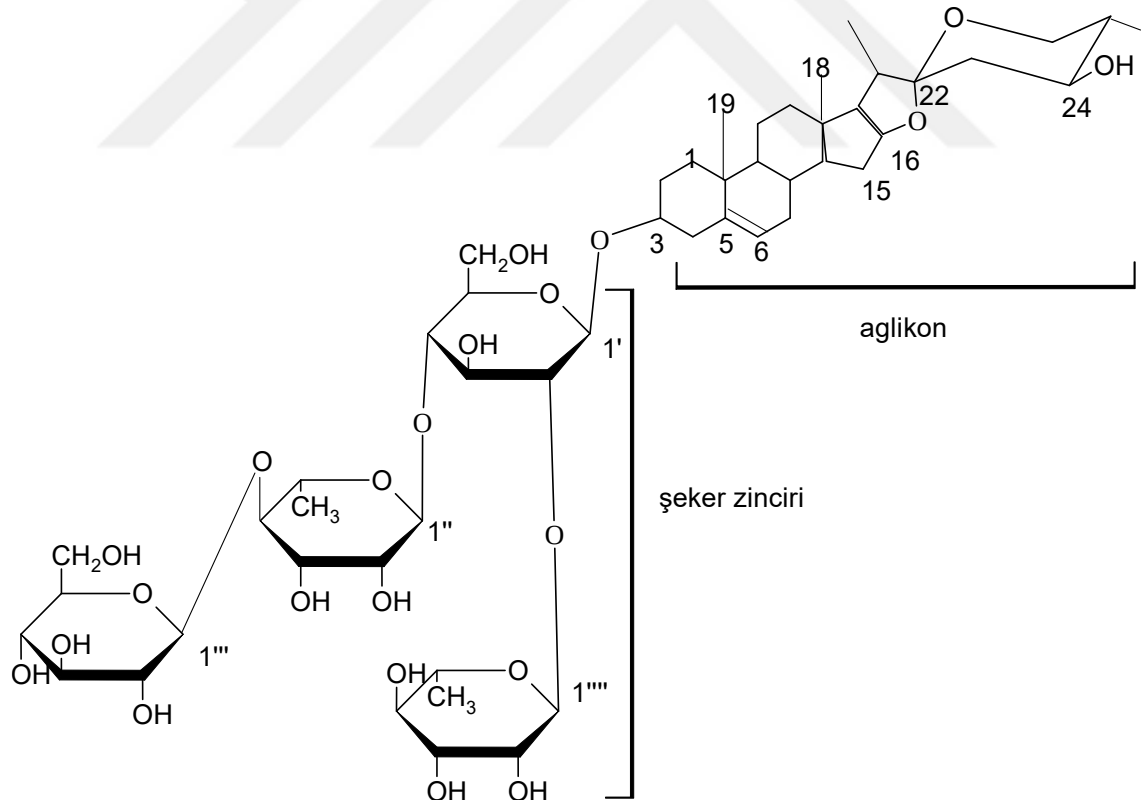
tek bir saponinin kimyasal yapısının saponinlerin özelliklerini açıklamada yetersiz kalacağı belirtilmiştir (Ulaganathan ve ark., 2019). Böttcher ve Drusch (2016), saponin (Quillaja Bark Saponin, QBS) ekstraktında 100 farklı saponin çeşidi saptandığını çöven ekstraktının da aralarında bulunduğu diğer kaynaklarda bu sayının 50 ile 100 arasında değiştiğini bildirmiştir. Genel olarak, bir saponin molekülü hidrofobik karakterde aglikon (saponenin) ve hidrofilik özellikte şeker birimlerinden (glikon) oluşmaktadır (Şekil 2.1). Aglikonlar triterpenoid ve steroidal saponinler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Heksozlar (glukoz, galaktoz vb.), 6-deoksiheksozlar (furanoz, ramnoz vb.), pentozlar (arabinoz, ksiloz vb.) ve üronik asitler (glukoronik asit, galakturonik asit vb.) saponinin yapısında yaygın biçimde bulunan şeker uzantılarıdır. Şeker kısmı aglikon kısmına bir veya iki glikozilasyon bölgesinde eter veya ester glikozidik bağıyla bağlanmaktadır. Aglikonların yapısına göre steroidal ve triterpen gruplar sınıflandırılmaktadır. Aglikon sınıfları değişik fonksiyonel gruplara (-OH, -COOH, -CH) sahip olmasından dolayı çok farklı saponin çeşitliliğine neden olmaktadır (Yücekutlu ve Bildacı, 2008). *Gypsophila* cinsine ait saponinlerin triterpenoid aglikon yapısında olduğu, iki şeker zinciri içerdiği, molekül ağırlıklarının 1400-1700 g/mol arasında değiştiği belirlenmiştir (Böttcher ve Drusch, 2016).

Saponin molekülleri sulu çözeltilerde misel formunda bulunmaktadırlar. Saponin misellerinin şekli, boyutu ve yapısı bitki türüne, pH, sıcaklık ve çözeltide elektrolit bulunmasına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Moghimpour ve Handali, 2015). Hidrofilik glikonlar ve hidrofobik aglikonların kimyasal yapılarındaki farklılık saponinlerin amfifilik özelliklerini değiştirmektedir. Saponinlerin arayüzey özelliklerindeki değişiklikler yüzey aktivitelerindeki farklılığa neden olmaktadır. Saponin ekstraktlarındaki saponin dışı unsurların varlığı da yüzey ve arayüzey özellikleri etkilemektedir (Góral ve Wojciechowski, 2020).

Sabun otu (*Saponaria officinalis*) bitkisinin köklerinden ekstrakte edilen saponin ekstraktında molekül ağırlıkları 700 g/mol ile 1400 g/mol arasında değişen 72 saponin bileşiği saptanmıştır. Saponin bileşiklerinin düşük tuz konsantrasyonlarında (<10%) köpük kapasitesi ve kararlılığı değerlerinde önemli farklılıklar belirlenmemiştir. Bundan dolayı, iyonik etkileşimlerin arayüzey özelliklerini etkilemediği sonucuna ulaşılmıştır.

Benzer şekilde, pH değişimleri ve yüksek sıcaklıkların (>60 °C) saponinlerin köpük özelliklerini olumsuz etkilemediği, sukroz ilavesiyle daha yoğun ve stabil köpüklerin elde edilebileceği görülmüştür (Jurado Gonzalez ve Sörensen, 2020). Ayrıca, iyonik yüzey aktif madde olarak sınıflandırılan çöven (*Gypsophila* spp.) ekstraktıyla elde edilen köpüklerin köpürme özelliklerinin pH (3-5) ve tuz (0-500 mM) değişimlerinden etkilenmediği belirlenmiştir. Çöven ekstraktındaki saponinlerin yapısında iki şeker bulunmasından (bidesmozidik) ve karboksil grubu sayısının çok az olmasından dolayı çevresel etkilerden daha az etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır (Böttcher ve Drusch, 2016).

Çelik ve ark., (2007) kek formülasyonunda yumurta akı miktarını %75 oranında azaltıp çöven ekstraktı ikame etmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, belirli oranlarda çöven ekstraktı kullanımının keklerin fiziksel, reolojik ve duyusal özelliklerinde belirgin bir olumsuzluğa neden olmadığını bildirmişlerdir.



Şekil 2.1. Saponin molekülünün kimyasal yapısı (Moghimpour ve Handali, 2015)

2.4. Proteinler

Proteinler temel olarak aminoasitlerin peptit bağlarıyla oluşturdukları polimer maddelerdir. Protein molekülünün polarite ve yükünü bu aminoasitlerin sayısı ve çeşidi belirlemektedir. Proteinin yüklü olmadığı pH derecesi izoelektrik pH (pI) olarak tanımlanmaktadır. Proteinlerin yükleri proteinlerle ve polisakkaritlerle etkileşimleri açısından çok önemlidir (Goh ve ark., 2020).

Emülsiyon, köpük, sol ve jel benzeri ağsı yapıların oluşturulması ve bunların kararlılığı gibi bazı fonksiyonel özelliklere sahip olan proteinler gıda ürünlerinde kullanılan en değerli katkı maddelerindendir. Bu azotlu bileşenlerin gıdaların reolojik davranışlarına ve duyuşal/tektürel özelliklerine çok önemli etkileri bulunmaktadır (Nooshkam ve ark., 2020). Köpürtölerek üretilen gıda ürünlerinin hazırlanmasında proteinlerden faydalanılmaktadır. Yüzey aktif madde içeren sıvı ya da yarı katı çözeltilere gazın (genellikle atosferik hava) dahil edilerek kararlı bir dispersiyonun sağlanmasıyla kendilerine özgü özellikleriyle kek, şekerleme, dondurma ve ekmek gibi gıda ürünlerinin üretilmesi başarılmaktadır. Yumurta akı proteinleri, jelatin, süt proteinleri, buğday ve soya proteinleri gibi bazı bitkisel proteinlerin köpürme özelliklerinin yüksek olduğı bilinmektedir (Saldamlı, 2014).

Proteinler amfifilik doğaları nedeniyle çoklu bağlanma noktalarıyla polimerik arayüzey maddeleri olarak hareket etmektedir. Bununla birlikte, proteinlerin uygun bir arayüzey ajanı olarak kabul edilebilmesi için hava/sıvı arayüzeyine kolayca difüze olabilme yeteneğine sahip olması ve burada adsorbe olabilmesi gerekmektedir. Kolloidal sistemlerde kullanılacak proteinin çeşidi, çözeltideki yapısal durumu ve moleküler ağırlığı bu biyopolimerin hava/su arayüzeyine difüzyonu etkilemektedir. Arayüze uygun geometride yerleşip yapısının açılması ile etrafındaki moleküllerle etkileşime geçen protein molekülü burada viskoelastik bir film oluşturmaktadır. Proteinlerin hidrofobik grupları polar olmayan faza (hava) doğru konumlanmakta ve arayüzey gerilimini düşürerek köpüğün kararlılığını sağlamaktadır (Abascal ve Gracia-Fadrique, 2009).

Proteinlerin çözeltide disperse olması, arayüzeylere difüzyonu ve konumlanma aşamaları sonrasında denatürasyon ve pıhtılaşması arayüzey filmlerinin elastikiyet (mekaniksel güç) ve yüzeyler arası yapışkanlığına (yüzey viskozitesi) katkı sağlamaktadır (Lau ve Dickinson, 2006).

Yumurta akı protein köpüklerinin köpürme kapasitesi ve stabilite değerleriyle yarışabilecek protein çeşidi bulunmamaktadır. Son zamanlarda alerjiler ve hayvan sağlığı üzerine endişeler ile ekonomik problemler neticesinde artan fiyatlar nedeniyle YAP köpüklerinin fonksiyonelliğini sağlayacak alternatif protein kaynaklarının bulunması yolunda çalışmalar hızlanmıştır (Damodaran, 2005; Asghari ve ark., 2016). Bununla birlikte, protein sistemlerinin köpük oluşumundan sorumlu fiziksel ve kimyasal mekanizmalarını anlamak birçok açıdan önem arz etmektedir. Bunlardan ilki ve en önemlisi, her üreticinin hedefi olan yapısal olarak yüksek kalitede ürün elde etmektir. Ayrıca, üreticiler ürüne katacakları bileşenler konusunda esnek davranmak istemektedirler. Bundan dolayı, yumurta akı yerine diğer proteinleri (süt proteinleri, soya proteinleri vb.) kullanma eğilimindedirler (Narchi ve ark., 2009).

2.4.1. Süt proteinleri

Süt; memeli canlıların yavrularının besin ihtiyaçlarını karşılamak için salgıladıkları eşsiz bir sıvıdır. Süt, salgılandığı hayvanın ismiyle nitelendirilmektedir (inek sütü, keçi sütü, deve sütü vb.). Ticari anlamda süt denildiğinde akla inek sütü gelmektedir. Sütün yapısında yüzlerce farklı madde bulunmakla birlikte su, lipitler, laktoz şekeri ve proteinler en temel yapısal bileşenlerdir (Goulding ve ark., 2019). Süt proteinleri denildiğinde akla globüler yapısıyla peynir altı suyu proteinleri ve esnek yapısıyla kazein gelmektedir. Peynir altı suyu %10-15 oranında laktoz, proteinler, lipitler ve mineralleri içeren katı fraksiyondan oluşmaktadır. Bu proteinler toplam süt proteinlerinin beşte birini temsil etmektedir. Lösin, valin, izolosin ve sistein gibi esansiyel aminoasitlerce zengindir. β -Laktoglobulin, glikomakropeptit, α -Laktalbumin, serum albümini, laktoferrin, laktoperoksidaz ve proteoz-pepton peynir altı suyundaki temel proteinlerdir (de Castro ve ark., 2017).

Kazein, sütün pH 4.6'da pıhtılaşmasıyla elde edilen proteindir. Elektroforez, kromatografi, enzimatik ve membran filtrasyon yöntemleriyle de kazein elde edilebilmektedir. Bu protein genellikle özgün sekonder yapısı olmayan bir protein olarak kabul edilmektedir. Fosfoproteinler olarak karakterize edilen kazein α_{s1} - , α_{s2} - , β - ve κ - kazeinler olmak üzere dört alt fraksiyondan meydana gelmektedir (Wusigale ve ark., 2020). Bu fraksiyonlar düz amfililik yapıda yüksek yüzey aktivitesindeki bileşenlerdir. Basit ve düşük maliyetli üretime, sayısız besinsel ve fonksiyonel özelliklere sahip olmasıyla ticari kazeinler, kazeinatlar ve kazein hidrolizatlar fonksiyonel gıda katkı maddeleri olarak yağsız sütün üretilmektedir (Abd El-Salam ve El-Shibiny, 2020).

2.4.2. Peynir altı suyu proteinleri

Süt proteinlerinin yaklaşık olarak %20'sini oluşturan peynir altı suyu proteinlerinin yapısında β -Laktoglobulin (%50), α -laktalbumin (%20), serum albümini (%10), immunoglobulinler (%10) ve diğer proteinler (%10, glikomakropeptit, laktoferrin, laktoperoksidaz, proteoz-pepton vb.) bulunmaktadır (de Castro ve ark., 2017). Peynir altı suyu (PS), peynir üretiminde bir yan üründür. PS proteinleri 20 °C'de pH 4.6'da peynir altı suyunda çözünebilen süt proteinleri olarak tanımlanmaktadır. Peynir üretiminde asit ilave ediliyorsa elde edilen PS "asit PS", enzim veya mikroorganizmaların pıhtılaştırdığı sütün elde edilen PS ise "tatlı PS" olarak adlandırılmaktadır (Edwards ve Jameson, 2020).

Ticari PS tozu üretiminde protein dışındaki bileşenlerin peynir altı suyundan uzaklaştırılması hedeflenmektedir. Ultrafiltrasyon ve diafiltrasyon ile değişik miktarlarda laktozun uzaklaştırıldıktan sonra püskürtülerek kurutulan PS'den üretilen peynir altı suyu protein konsantresi (PASP-K) %30-85 protein içermektedirler. %90'dan fazla protein içeren PS protein izolatının üretilmesinde iyon değiştirme kromatografisi yöntemi kullanılmaktadır. PS'nin minerallerinin azaltılmasında elektrodializ veya iyon değiştirme yöntemi kullanılarak demineralize peynir altı suyunun proteinleri (D-PAS) üretilmektedir (Goulding ve ark., 2019). PS proteinlerinin içerikleri ayırma tekniğine ve PS'nin elde ediliş yöntemine göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin, "asit PS"den elde edilen PS proteinlerinin mineral ve kül içerikleri diğer yöntemlerle elde edilenden yüksek

bulunmuştur (Edwards ve ark., 2009). Peynir altı suyundan elde edilen PASP-İ ~%50 β -Laktoglobulin, ~%15 α -Laktalbumin, ~%20 glikomakropeptid ve eser miktarda sığır serum albümini, laktoferrin ve immunoglobulinler içermektedir (Wagoner ve Foegeding, 2017).

Konsantre ve izole PS proteinleri suda çözünürlük, viskozitenin artırılması, jelasyon, emülsifikasyon, köpürme, renk, tekstür ve aromanın iyileştirilmesi gibi istenen fonksiyonel özelliklere sahiptirler. Bu proteinler gıdaların besin değerini artırmak amacıyla da sıklıkla kullanılmaktadırlar (Albano ve ark., 2019). Peynir altı suyu proteinlerinin fizikokimyasal özelliklerinden β -Laktoglobulin ve α -Laktalbumin proteinleri sorumludur (Edwards ve Jameson, 2020).

Mereng, melek keki ve nugat gibi havalandırılmış gıda ürünlerinde köpürtme ajanı olarak kullanılan PS proteinleri diğer gıda bileşenleriyle (protein, polisakkarit vb.) kompleksler oluşturarak ürün stabilitesine katkı sağlamaktadır (Foegeding ve ark., 2006; Tan ve ark., 2015). Bu proteinler, hem köpük oluşumunda hem de bu köpüklerin stabilizasyonunda etkin rol oynamaktadır. PS proteinlerinin köpük özellikleri; hava/sıvı arayüzeyine difüzyon ve adsorbsiyon hızı ile arayüzeyde yayılma ve kümeleşme yeteneğiyle ilişkilendirilmektedir (Tamm ve ark., 2012). Bununla birlikte, PS proteinleriyle hazırlanan melek keklerine üretim esnasında uygulanan ısı işlem sonucunda ürün yapılarının çok hızlı bozulduğu görülmüştür (Yang ve Foegeding, 2010). Bu durum, PS proteinlerinin polisakkaritlerle oluşturdukları termal dirençleri yüksek komplekslerle tolere edilebilmektedir (Wagoner ve Foegeding, 2017). Ayrıca, PS proteinleri bulunan ortamın ısıtılmasıyla sürekli faz viskozitesi artırılarak köpüklerin daha uzun süre kararlı yapıda kalmaları teşvik edilmektedir (Davis ve Foegeding, 2004). Üretilmeleri esnasında ısı işlem uygulanan köpük yapıları gıdalarda Na-KAZ kullanılabilmektedir. Üretim esnasında uygulanan ısıtma işlemleri, sodyum kazeinat köpüklerinin moleküler yapılarında (primer yapı) değişikliğe neden olmadığından köpük yapısı korunabilmektedir (Indrawati ve ark., 2008). Bununla birlikte; asidik koşullarda, özellikle izoelektrik noktaya ($pI = \sim 4.6$) yakın pH değerlerinde, uygulanan ısı işlem neticesinde

kazein molekülleri arasındaki elektrostatik itme kuvvetleri azalarak kendi aralarında kümeleşme ve polimerize olma davranışı sergilemektedir (Reichert ve ark., 2016).

Köpük üretiminde sürekli faz viskozitesi farklı konsantrasyonlarda sakkarit ilavesiyle artırılmaktadır. PASP-İ çözeltilerine %10 (w/v) ilave edilen sukroz konsantrasyonunun (0-63.6 g/100 ml) artmasıyla çözelti viskozitesinin kademeli olarak yükseldiği ve köpürme kapasitesi değerinin düştüğü görülmüştür. Köpük kararlılığındaki artışın ise arayüzey viskoelastikliği ve yığın faz viskozitesiyle ilişkili olduğu belirlenmiştir (Yang ve Foegeding, 2010; 2011).

Süt proteinlerinin köpük kararlılıkları farklılık göstermektedir. Yüksek şeker konsantrasyonlarında, PS protein (%0.5) köpüklerinin Na-KAZ (%0.5) köpüklerinden daha kararlı yapıda oldukları belirlenmiştir. PS protein köpüklerinde bir gün süresince sıvı akıntısı gözlenmezken kazeinat köpüklerinin birkaç saat içerisinde tamamının sıvı forma dönüştükleri görülmüştür. Bu durum, hava/sıvı arayüzey elastikiyeti ve köpük stabilitesi arasında lineer bir ilişki olduğunu göstermektedir. Globüler proteinlerin hava/sıvı arayüzeyinde kümeleşmesi neticesinde arayüzey filmlerinin dayanıklılığı artmakta ve birleşme ve orantısızlaşma gibi köpük kararsızlığına neden olan kavramlar geciktirilmektedir (Rouimi ve ark., 2005).

Yüksek şekerli ve asitli ortamda, mereng üretiminde kullanılacak YAP konsantrasyonun belirlenmesiyle daha yumuşak tekstüre sahip ürünler elde edilebilmektedir. Ürün formülasyonunda kullanılan yüzey aktif madde konsantrasyonunun merenglerde köpük baloncuklarının boyut ve şekilleri (dairesellik) üzerine etkili oldukları görülmüştür. Bundan dolayı, köpük içerikli ürünlerin üretiminde proteinler gibi arayüzey elemanları oranının optimize edilmesi gerekmektedir (Licciardello ve ark., 2012). PASP-İ (%10) kullanılarak hazırlanan köpüklerin reolojik özelliklerinin elektrostatik etkileşimlerden (pH ile elektrolit çeşidi ve konsantrasyonundan) önemli derecede etkilendiği belirlenmiştir (Davis ve Foegeding, 2004). YAP (%2-10) ve yüksek oranda invert şeker içeren (%90-98) havalandırılmış sistemde protein konsantrasyonu ve çırpma süresindeki değişimlerden köpük özelliklerinde (yoğunluk, köpük kapasitesi, köpük baloncuk boyutu vb.) önemli değişikliklere neden olmuştur (Lau ve Dickinson, 2006). İyi bir köpürme

ajanı olmasına rağmen zayıf yapılı köpüklerin üretilmesine neden olan PS proteinlerinin köpük kararlılığı ve köpük stabilitesi etkilerinin üretim faktörlerinin de dikkate alınarak optimize edilmesi gerekmektedir (Cao ve ark., 2018).

2.4.3. Sodyum kazeinat

Sütteki toplam proteinlerin %80'nini temsil eden kazein genel olarak sütün pH 4.6'da pıhtılaştırılmasıyla elde edilmektedir. Kazeinin diğer süt proteinlerinden ayrıştırılmasında elektroforez, kromatografi, enzimatik ve membran filtrasyon teknikleri de kullanılabilir. İkincil (sekonder) yapısı olmayan bir protein olarak kabul edilen kazein fosfoproteinler olarak karakterize edilen 4:1:4:1 mol oranındaki α_{s1} -, α_{s2} -, β ve κ -kazein olmak üzere 4 alt fraksiyondan oluşmaktadır. Suda misel formunda çözünen amfifilik özellikteki kazein alt fraksiyonların moleküler ağırlıkları 19 ve 25 kDa, izoelektrik noktaları 4.1 ve 5.3 arasında değişmektedir (Wusigale ve ark., 2020).

Asit kazeinin sodyum hidroksit çözeltisinde çözündürülmesiyle hazırlanan ~pH 7'deki solüsyonun püskürtülerek kurutulmasıyla elde edilen sodyum kazeinat; çözünürlük, jelasyon, viskozite, emülsifikasyon ve köpürme gibi fonksiyonel özellikleriyle gıda endüstrisinde en yaygın kullanılan süt proteinleridir (Abd El-Salam ve El-Shibiny, 2020). Kazein miselleriyle aynı bileşimde olan sodyum kazeinat sadece kalsiyum fosfat açısından farklılık göstermektedir. Sodyum kazeinatın çoğu üretim esnasında yapıdan ayrılmaktadır. Bundan dolayı sodyum kazeinatın kütlesi kazein misellerine göre daha küçükken suda çözünürlüğü daha yüksektir (Wusigale ve ark., 2020). Kazeinler kompleks yapıda olmamaları nedeniyle denatürasyona uğramamaktadır. Sodyum kazeinat, nötral koşullarda 140 °C'de saatlerce ısıtılma maruz kalmasına rağmen yapısında önemli değişiklikler olmamaktadır. Sodyum kazeinatın ısıl stabilitesi nedeniyle sterilize edilen gıda ürünlerinde fiziksel ve duyuşal değişiklikler görülmeden rahatlıkla kullanılabilir (Goulding ve ark., 2019).

Sodyum kazeinat emülsiyon ve köpüklerde birleşmeye karşı direnç ve termal stabilite özellikleriyle tercih edilmektedir. Amfifilik özellikleriyle arayüzeylere hızlı bir şekilde adsorbe olup direnç tabakaları oluşturmalarıyla emülsiyon/köpük kararlılığının

sağlanması önem arz etmektedirler. pH, protein konsantrasyonu ve tuzlar emülsiyon/köpük oluşumunu ve kararlılığını etkileyen temel unsurlardır. Sodyum kazeinatın en önemli dezavantajı asidik gıda sistemlerinde kullanılma zorluğudur. Bu tarz, pH'nın kazeinin izoelektrik noktasına (pI) yakın olduğu, sistemlerde protein yükü ve çözünürlüğü en düşüktür (Abd El-Salam ve El-Shibiny, 2020).

Na-KAZ, PS proteinlerinin aksine, izoelektrik noktada ($pI_{Na-KAZ}=4.6$) minimum düzeyde köpürebilmektedir. Köpük oluşumu; yüzey gerilimindeki azalma, hava/sıvı arayüzeylere adsorbsiyonun artması ve arayüzey film ömürlerinin artmasıyla (viskoelastik) ilişkilendirilmektedir. Na-KAZ çözeltileri nötral koşullara yakın pH değerlerinde (pH=7) daha iyi köpürebilmektedir. Ayrıca, izoelektrik noktadan uzak pH değerlerinde protein adsorbsiyon tabakalarının daha yoğun ve kalın olmasından dolayı köpük yapıları daha kararlıdır (Marinova ve ark., 2009). Esnek bir protein olan Na-KAZ ve globüler PS proteinlerinin arasında köpük özellikleri açısından çok önemli farklar bulunmaktadır. Na-KAZ, çırpma işlemlerinde birincil (primer) yapısı nedeniyle hava/sıvı arayüzeyine daha hızlı adsorbe olarak köpük oluşumuna katkı sağlamaktadır. Globüler proteinlerin arayüzeylere taşınması daha büyük enerji bariyerinin aşılmasıyla mümkün olabilmektedir. Özellikle yüksek şeker içeren viskoz yapıdaki köpük sistemlerinin köpürtülmesinde hava/sıvı arayüzeyine difüzyon hızı çok büyük önem taşımaktadır (Indrawati ve ark., 2008). Ayrıca, Na-KAZ ve PS proteinlerinin şekerlerle etkileşimleri de (pH=7) köpük özelliklerinde belirleyicidir. Sukroz içerikli ortamda, globüler proteinlerin şekerlerle etkileşime geçmesiyle hidrofilik özellikleri artarak yüzey aktiviteleri azalmıştır. Aynı ortamda, sodyum kazeinattan kazein misellerinin ayrılması sonucu hidrofobik özelliğinin iyileşerek hava/sıvı arayüzey aktifliği artmıştır. Fakat, ortam asitliğinin artmasıyla (pH 5.5) Na-KAZ ile sukroz arasında su molekülleri için kuvvetli bir yarış olduğundan proteinlerin hidrofobik agregasyonlarında artış gözlenmiştir (Antipova ve ark., 1999). Bununla birlikte, Na-KAZ'ın belirli hidrokolloidlerle birlikte kullanılması sonucunda asidik koşullara toleransı artırılabilir. Örneğin, κ -karragenan veya pektin kullanılarak kazein misellerinin asidik koşullarda kümeleşmesi önlenmektedir. %3.65 kazein bulunan bir ortamda κ -karragenan konsantrasyonun %0.03'e kadar artmasıyla kazein misellerinin

büyükliğünün arttığı (κ -kazein/ κ -karragenan etkileşimlerine bağlı olarak) ve hava/sıvı arayüzeyinde daha kalın viskoelastik bir katman oluşturarak köpük stabilitesine katkı sağladığı tespit edilmiştir (Ye, 2008).

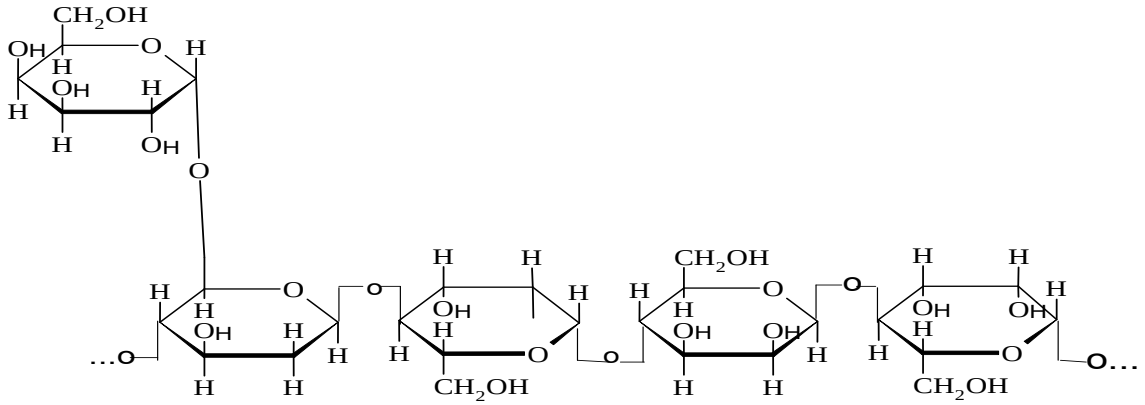
2.5. Hidrokolloidler

Hidrokolloid terimi; yunanca hydro “su” ve kollo “zamk” kelimelerinden türemiştir. Bu polimerler yapılarındaki hidrofilik kısımlardan dolayı sulu bir ortamda kolloidal çözeltiler oluşturabilmektedir. Kısmen veya tamamen çözünebilenler ve sulu ortamda yapısına su alarak şişen uzun zincirli biyopolimerler bu gruptadır. İçeceklerde emülsifiye edici, süt ve süt ürünlerinde stabilizör ve kalınlaştırıcı, şekerleme ürünlerinde kaplama ve tekstür ajanı ve fırıncılık ürünlerinde hacim sağlayıcı olarak etkinlik gösteren hidrokolloidler bu ürünlerin tekstürel kalitesinde çok önemli role sahiptirler. Ayrıca, gıdaların duyusal ve besleyici nitelikleri de sağlıklı gıda katkı maddeleri olan polisakkaritlerle değiştirilebilmektedir (Yousefi ve Jafari, 2019; Yemenicioğlu ve ark., 2020). Teknik olarak gamlar, suda çözündüğünde jel oluşturabilen veya düşük konsantrasyonlarda yüksek viskoziteli çözeltiler oluşturan yüksek molekül ağırlıklı bileşenlerdir. Çok fazla çeşidi olan zamklı yapıdaki maddelerden bitki ve mikrobiyal polisakkaritler ve bunların türevleri endüstride kullanılmaktadır (Lopes ve ark., 2015). Polisakkaritler, genel olarak, yüzey aktif olmadıklarından hava/su arayüzeyine adsorbe olma eğiliminde değildir (Neves ve ark., 2018). Polisakkaritler de proteinlere benzer şekilde farklı yapılara sahiptir. Polisakkarit zincirlerini oluşturan monosakkarit çeşidi, sırası, glikozidik bağlanma tipi ve dallanma sıklığı gibi özelliklerdeki farklılıklar ve bunların molekül içi ve moleküller arası interaksiyonları polisakkaritler arasındaki çeşitliliği sağlamaktadır. Hidrokolloidlerin molekül ağırlıkları (100-1 000 kDa) genel olarak proteinlerden (10-60 kDa) yüksektir (Ganzevles, 2007).

2.5.1. Keçiboynuzu gamı

Keçiboynuzu gamı (KG), genellikle Akdeniz bölgesinde yetişen keçiboynuzu bitkisinin (*Ceratonia siliqua*) meyve endospermelerinin öğütülmesiyle elde edilmektedir (Singh ve ark., 2018). Bu gam; β -(1,4) bağıyla bağlı mannoz birimlerine her dördüncü veya beşinci

mannoza C-6 pozisyonundan α -(1,4) bağıyla bağlanmış galaktoz ünitelerinden oluşan dallanmış yapıda bir galaktomannandır (Prajapati ve ark., 2013; Barak ve Mudgil, 2014; Singh ve ark., 2018). Keçiyoynuzu gamının kimyasal yapısı Şekil 2.2’de görülmektedir. Mannoz zincirine bağlanan galaktoz birimlerinin bağlanma derecesi galaktomannanın sudaki çözünürlüğünü etkilemektedir. Galaktomannanlar arasında en düşük galaktoz içeriğine (yaklaşık %20) sahip olan keçiyoynuzu gamı ortam sıcaklığındaki suda çözünmemektedir. Tamamen çözünerek maksimum su bağlama kapasitesi gösterebilmesi için ısıtılma işlemi ihtiyaç duyulmaktadır. Polisakkaritin molekül büyüklüğü ve mannoz galaktoza oranı bu gamın çözünürlüğünü ve reolojik özelliklerini etkilemektedir. Galaktomannozlar arasında en yüksek mannoz/galaktoz oranına (3.5) sahip olmasından dolayı en iyi kalınlaştırıcı ajan olarak bilinmektedir. Bu oran guar gamda 1.8 ve tara gamda 3.0’dür. Mannoz/galaktoz oranı gamların jelasyon sıcaklığı ve çözünürlük özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. Üretim süreçlerinde bitkinin çeşidine ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak bu oran önemli düzeyde değişebilmektedir. Mannoz zincirindeki galaktoz birimlerinin miktarı ve dağılımı da galaktomannanın reolojik, fizikokimyasal ve akış özelliklerini etkilemektedir. Daha uzun galaktoz yan zincirlerinin varlığı bu gamın daha fonksiyonel olmasını ve diğer polimerlerle daha güçlü etkileşim kurmasını sağlamaktadır. Nötral bir polisakkarit olan KG, 3-11 arasındaki pH aralığında çözünürlük ve viskozite gibi özelliklerinde çok büyük değişiklikler göstermemektedir. Bundan dolayı, bu gamın gıda ve biyomedikal alanında geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır (Barak ve Mudgil, 2014; Singh ve ark., 2018).



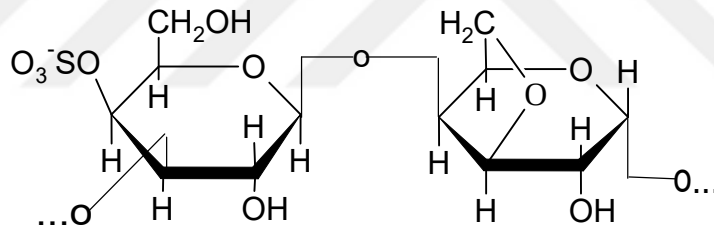
Şekil 2.2. Keçiboynuzu gamının kimyasal yapısı (Hoefler, 2004)

Fırıncılık ürünleri, içecekler, süt ürünleri ve işlenmiş meyve gibi çeşitli gıda ürünlerinde kalınlaştırıcı, stabilazör ve jelleşme ajanı olarak kullanılmaktadır (Barak ve Mudgil, 2014). Gıda ve ilaç idaresi (FDA) tarafından “genellikle güvenilir kabul edilen” (GRAS) statüde değerlendirilen keçiboynuzu gamı, gluten ağının güçlendirilmesiyle hamur reolojisini etkileyerek pişmiş eriştelerde tekstürel özellikleri iyileştirmektedir. Fırın ürünlerinde de benzer etkisi bulunan keçiboynuzu gamı, ürünlerin raf ömrünü artırmaktadır. Yağsız veya az yağlı yoğurtların tekstür ve stabilite özelliklerini iyileştirmektedir. Meyve sebzelerin kaplanmasında kullanılarak nem ve gaz geçirgenliğini kontrol edilmesinde faydalanılmaktadır. Geniş bir pH aralığında stabil olan bu gam ısıt işlem gerektiren içeceklerde kullanılabilmektedir (Singh ve ark., 2018).

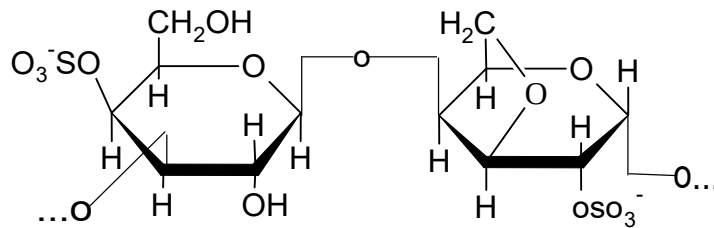
2.5.2. Karragenan

Karragenan; *Eucheuma*, *Gigartina*, *Chondrus crispus* ve *Hypnea* gibi kırmızı deniz yosunlarının hücre duvarlarından elde edilen sülfatlanmış bir polisakkarit grubunun genel adıdır (Zhu ve ark., 2020a). Kimyasal olarak düz zincir yapısındaki D-galaktoz ünitelerinin α-(1,3) ve β-(1,4) glikozidik bağlarla birleşmesinden oluşan bu gam zincir yapısındaki esterleşmiş sülfat gruplarından dolayı iyonlaşma özelliğindedir. Karragenan polimerleri yapısındaki sülfat gruplarının sayısı ve pozisyonuna bağlı olarak kappa (κ)-karragenan (Şekil 2.3), iota (ι)-karragenan (Şekil 2.4) ve lambda (λ)-karragenan (Şekil 2.5) olarak sınıflandırılmaktadırlar. κ- ve ι-karragenanlar katyonların (örn: K⁺ ve Ca²⁺) varlığında jelleşme özelliklerine sahipken, λ-karragenan yüksek sülfat grubuna bağlı

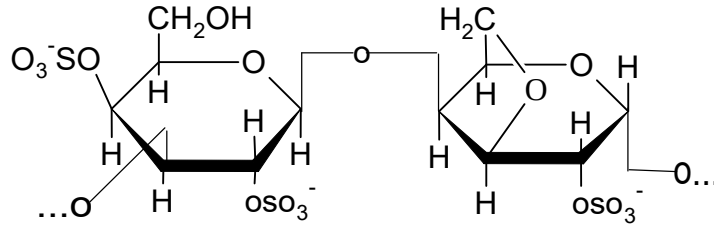
olarak jel oluşturmamasından dolayı kalınlaştırıcı olarak kullanılmaktadır (Neves ve ark., 2018). Polimeri oluşturan temel disakkarit yapılarındaki farklılıklar karragenan çeşitlerini belirlemektedir. κ -karragenan, β -(1,3)-D-galaktoz-4-sülfat ve α -(1,4)-3,6 anhidro-D-galaktozun tekrarlanmasıyla oluşmaktadır. ι -karragenan benzer bir disakkarit dizilimine sahiptir. Fakat 1,4 bağlı galaktoz ünitelerinin ikinci karbonunda ilave sülfat grubu içermektedir. λ -karragenan ise bir disakkarit ünitesinde 3 adet sülfat grubu bulundurmaktadır (Bui ve ark., 2019). Ticari karragenanlar bu üç formu da içermektedir. İsimlendirilmelerinde baskın olan karragenan tipi kullanılmaktadır. Karragenanların nötral koşullarda ısıl dayanımları yüksektir. Asidik koşullarda ısıl dirençleri düşmekte, galaktoz zincirinin hidroliz olmasıyla jel gücü azalmaktadır (Hoefer, 2004). Karragenanlar farklı endüstrilerde jelleşme ajanı, viskozite artırıcı ve stabilizör olarak yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Bui ve ark., 2019). Bu gam, süt jellerinin hazırlanmasında ve dondurma, sütlü içecekler ve pudingler gibi süt bazlı ürünlerin stabilizasyonunda yaygın şekilde kullanılmaktadır (Gu ve ark., 2005).



Şekil 2.3. Kappa (κ)-karragenanın kimyasal yapısı (Hoefer, 2004)



Şekil 2.4. Iota (ι)-karragenanın kimyasal yapısı (Hoefer, 2004)

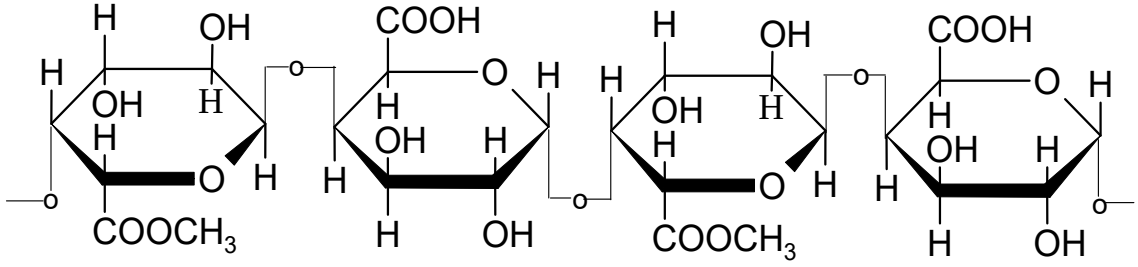


Şekil 2.5. Lambda (λ)-karragenanın kimyasal yapısı (Hoefer, 2004)

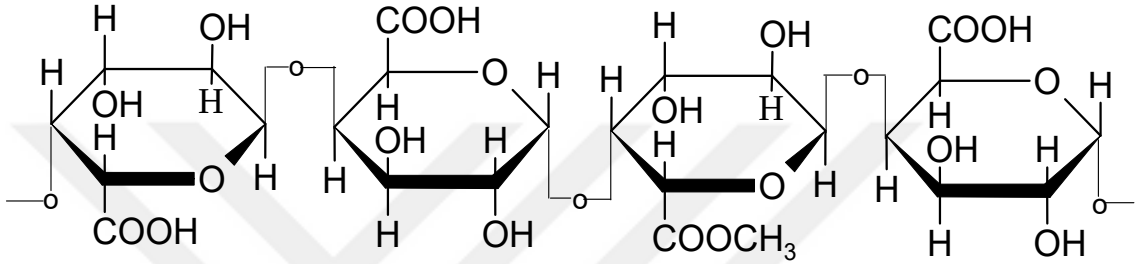
2.5.3. Pektin

Pektin, bitkisel maddelerden (çoğunlukla elma pulpu ve turuğgil kabukları) asit ekstraksiyonu ile elde edilen iyonlaşabilen bir polisakkarittir. Bütün pektinler birbirlerine α -(1,4) glikozidik bağla ile bağli D-galaktronik asit birimlerinin tekrarlamasıyla oluşan düz bir zincirden meydana gelmektedir. Nötral şekerler pektin kaynağına bağli olarak dallanma yapabilmektedir. Pektinde karboksil uzantılarının pK_a değeri pektin kaynağına bağli olarak 2.9 ile 3.3 arasında değişmektedir (Wagoner ve Foegeding, 2017). Yüksek moleküler ağırlıklı karboksillenmiş iyonik bir polisakkarit olan pektinin fonksiyonel özellikleri esterifikasyon derecesine (DE) bağli olarak değişiklik göstermektedir. Kimyasal yapısı Şekil 2.6'da görülen yüksek metoksilli pektin ($\geq 50\%$ DE), yüksek şeker konsantrasyonu ve düşük pH derecelerinde jel oluştururken düşük metoksilli pektin (Şekil 2.7), kalsiyum varlığında jel oluşturabilmektedir (Sadahira ve ark., 2016; Baldino ve ark., 2018).

Pektin, gıda endüstrisinde kalınlaştırıcı, stabilizatör, jelleşme ajanı, emülsifiyer ve ilaç taşıma aracı olarak kullanılmaktadır. Kompleks yapısıyla asidik bir polisakkarit olan pektin, ana zincir ve yan birimlerden meydana gelmektedir. Düz yapıdaki ana zincir α -(1,4)-glikozidik bağla ile bağli α -D-galakturonik asit kısımlarından, yan uzantılar ise nötral şekerlerden oluşmaktadır (Ren ve ark., 2019).



Şekil 2.6. Yüksek metoksilli ($DE \geq 50$) pektinin kimyasal yapısı (Hoeﬂer, 2004)



Şekil 2.7. Düşük metoksilli ($DE \leq 50$) pektinin kimyasal yapısı (Hoeﬂer, 2004)

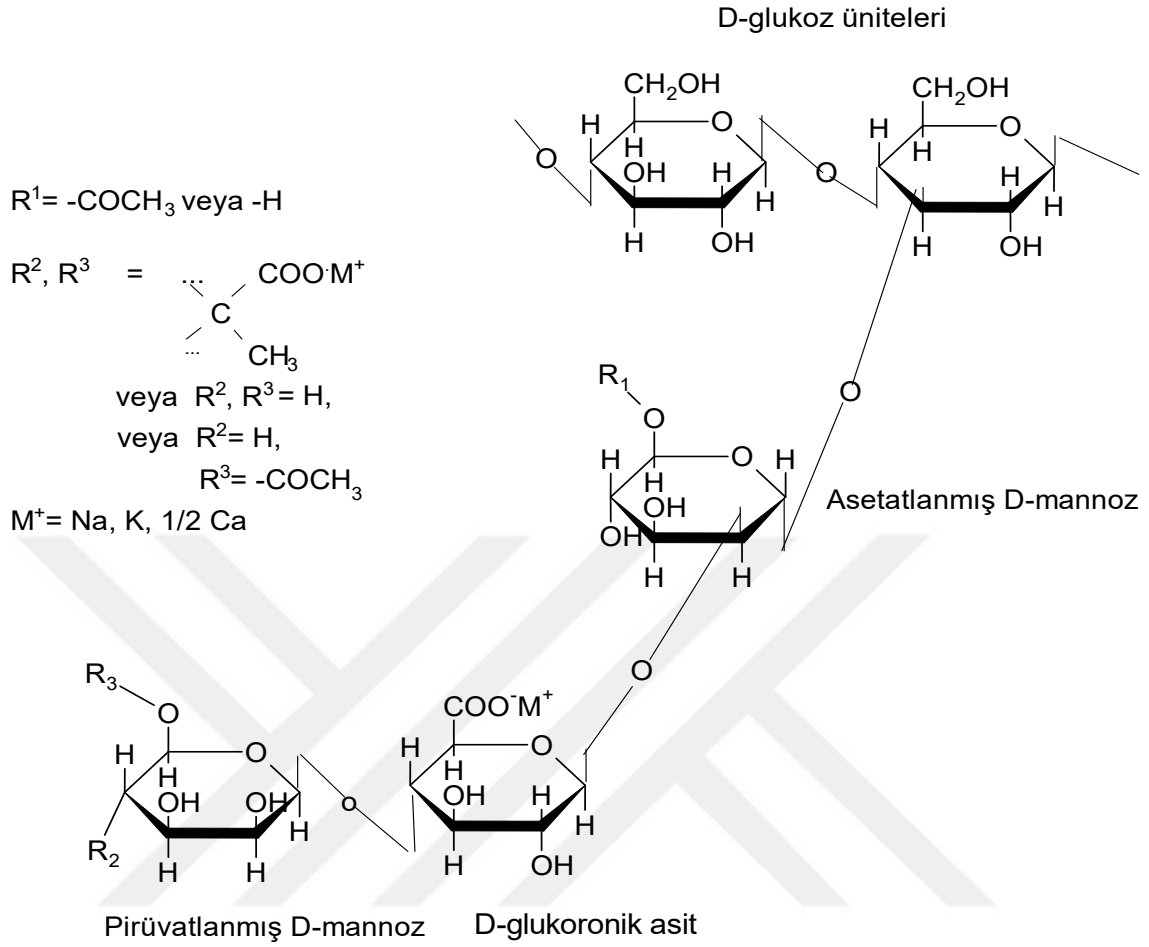
2.5.4. Ksantan gam

Ksantan gam; gram negatif *Xanthomonas campestris*, *Xanthomonas pelargonii*, *Xanthomonas phaseoli* ve *Xanthomonas malvacearum* gibi *Xanthomonas* grubu bakterilerce oluşturulan bir heteropolisakkarittir. D-glukoz, D-mannoz, D-glukoronik asit, asetal bağlı pirüvik asit ve D-asetil gruplarının tekrarlanmasıyla oluşan yüksek molekül ağırlıklı, iyonlaşabilen bir polimer olan ksantan gamın kimyasal yapısı Şekil 2.8’de verilmiştir. Bu gamın temel özellikleri; düşük konsantrasyonlarda yüksek viskoziteye sahip olması, suda çözünebilmesi, 1-12 pH aralığında kararlı yapıda olması ve yüksek sıcaklıklara dirençli olmasıdır (Barcelos ve ark., 2020). Ksantan gam zincirlerinin bileşimi *Xanthomonas* türüne ve fermentasyon koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Molekül ağırlığı 2×10^6 mol/g ile 20×10^6 mol/g arasında değişmekte olan ksantan gam gıda formülasyonlarında %0.05 ile %0.7 arasında kullanılmaktadır (Petri, 2015).

Suda çözünebilir özellikte bir ekzopolisakkarit olan ksantan gam kendine has reolojik özellikleriyle endüstride çok geniş bir kullanım imkânı bulmaktadır. Bu gamın en sık

kullanıldığı alan gıda sektörüdür. Kalınlaştırıcı ve emülsifiyer özellikleriyle meyve suları ve pulpları, reçeller, tatlılar, toz içecekler, çikolatalar, süt ürünleri, margarin, yoğurt, fırın ürünleri, dondurulmuş gıdalar, soslar ve et suları gibi ürünlerde kullanılmaktadır. Tekstür, viskozite, aroma salınımı, görünüş ve nem kontrol özellikleriyle birçok gıdada kullanıma uygundur (Lopes ve ark., 2015).

Ksantan gam pratik uygulama değeri olan önemli iyonik bir heteropolisakkarittir. Durgun halde veya düşük kesme hızlarında yüksek viskoziteye sahip olmasına karşın zayıf jel özelliği göstermesi ve yüksek kayma incelme (shear thinning) davranışıyla uzun süreli stabilitenin arzulandığı kolloidal sistemlerde kullanılmaktadır. Bu davranış ksantan zincirlerinin sağlamlığı ve makromoleküller arasındaki hidrojen bağı ağının zayıflığıyla açıklanabilmektedir (Martínez-Padilla ve ark., 2015).



Şekil 2.8. Ksantan gamin kimyasal yapısı (Hutchison ve ark., 2019)

Polisakkaritler genel olarak hidrofilik özellik gösterdiklerinden yüzey aktif madde olarak kabul edilmemektedir. Bununla birlikte; hidrofobik protein bileşeni içeren şeker pancarı pektini ve gam arabik gibi hidrokolloidler ile hidroksipropil selüloz ve hidroksipropil metil selüloz gibi hidrofobik gruplarla kimyasal olarak modifiye edilen polisakkaritler köpük üretiminde ve stabilitesinde görev almaktadır (Yemenicioğlu ve ark., 2020). Köpük kapasitesi ve köpük kararlılığı kavramları açısından değerlendirildiğinde, polisakkaritler tek başlarına köpük üretiminde kullanılmamaktadır. Köpük sistemlerinde kalınlaştırıcı ve jelleşme özellikleriyle genel olarak ortam viskozitesinin ayarlanması ve köpük stabilitesinin artırılması amacıyla hidrokolloidler kullanılmaktadır. Bundan dolayı, bu kolloidal maddelerin köpük sisteminde kullanılmaları başta reolojik özellikler olmak

üzere köpük yoğunluğu ve hava fazı fraksiyonu gibi fizikokimyasal özellikleri de etkilemektedir (Zmudziński ve ark., 2014; Sadahira ve ark., 2016).

Süt proteinleri, özellikle de PS proteinleri, eşsiz köpük oluşturma özelliklerine rağmen stabil köpükler oluşturmamaktadır. Sulu protein çözeltilerinin çırpılmasıyla proteinler hızlı bir şekilde hava/sıvı arayüzeyine yönelmektedir. Çırpma aparatı vasıtasıyla sisteme alınan hava ile sıvı ortam arasında arayüz oluşturan süt proteinleri alınan bu havanın köpük sisteminde kalmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, süt proteinleri hava/sıvı arayüzeyinde çırpma etkisiyle kümeleşerek zayıf viskoelastik bir katman oluşturmaktadır. Köpük sisteminde hapsolan hava baloncukları zamanla bu zayıf katmandan ayrılarak daha büyük baloncukları oluşturmaktadır (orantısızlaşma, birleşme). Köpük baloncukları arasında sürekli faz vazifesi gören şekerli sıvı da yerçekimi etkisiyle köpük sisteminin dibinde birikmektedir (kremalaşma, drenaj) (Dickinson, 1998). Köpük sistemine hidrokolloidlerin ilave edilmesiyle bu kararsızlık unsurları geciktirilebilmektedir. İyonik veya iyonik olmayan özellikte gamların kullanılmasıyla daha kararlı yapıda süt protein köpükleri elde edilebilmektedir. İyonik özellikte olmayan hidrokolloidler köpük sisteminin viskozitesini artırarak sıvı akıntısını (drenaj) geciktirmektedir. İyonik gamlar ise uygun koşullarda (pH, iyonik güç vb.) proteinlerle arayüzeylerde daha kalın elastik bir katman oluşturarak ve ortam viskozitesini artırarak köpük kararlılığını artırmaktadır. Bununla birlikte, ortam viskozitesinin artması ve çözünür/çözünmez kompleks oluşumuna bağlı olarak arayüzey aktif maddelerin hava/sıvı arayüzeyine difüzyonlarının yavaşlamasıyla köpük yoğunlukları artış göstermektedir (Dickinson, 2003). Örneğin, β -Laktoglobulin/pektin komplekslerinin β -Laktoglobuline kıyasla hava/sıvı arayüzey gerilimlerin daha yüksek ve arayüzeye difüzyon hızlarının daha yavaş olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, β -Laktoglobulin/pektin komplekslerince oluşturulan arayüzey filmlerinin β -Laktoglobulin filmlerinden yaklaşık olarak 10 kat daha kalın olduğu tespit edilmiştir (Ganzevles ve ark., 2006). Gamlar proteinlerle hidrofobik etkileşim, hidrojen bağı ve elektrostatik etkileşimler yoluyla kompleks oluşturarak sinerjistik etkiye neden olarak köpük özelliklerinin iyileşmesinde rol almaktadır (Narchi ve ark., 2009; Miquelim ve ark., 2010).

2.6. Protein-Hidrokolloid Etkileşimleri

Protein ve hidrokolloidler çeşitli gıda kolloidleri ve emülsiyonlarının formülasyonlarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Gıda emülsiyonlarının çoğunluğu bu iki biyopolimerle oluşturulmaktadır. Bu polimerler değişik tekstürdeki gıdaların raf ömrünü değiştirmek yeteneğine bağlı olarak çeşitli gıda kolloidlerinin formülasyonunun temel bileşeni olarak kullanılmaktadır. Protein ve gıdalar arasında meydana gelen etkileşimler yeni gıda formülasyonlarının belirlenmesinde önem arz etmektedir. Kompleks oluşumu ve kümeleşme, jelasyon ve mikro yapıların oluşturulması suretiyle gıda kolloidlerinin reolojik özelliklerinin değiştirilerek gıdaların tekstürü iyileştirilerek kolloidal kararlılığı sağlanmaktadır (Ghosh ve Bandyopadhyay, 2012).

Hidrokolloidlerdeki iyonik gruplar (karboksil, metoksil vb.) proteinlerdeki çeşitli reaktif gruplarla (örn: -SH, -S-S-, -NH₂ ve -NH-C(=NH)NH₂) etkileşime girebilmektedir. Bundan dolayı hidrokolloid ve proteinler gıda ürünlerinin kalite özelliklerini (renk, tekstür, aroma vb.), kararlılığını, sağlık etkilerini ve besinsel değerini etkileyebilecek fonksiyonel ajan olarak kullanılmaktadırlar (Yemenicioğlu ve ark., 2020).

Protein ve polisakkaritler arasındaki etkileşimler genellikle kovalent ve kovalent olmayan etkileşimler biçimindedir. Protein ve hidrokolloidler arasında geri dönüşü olmayan kalıcı bağlanmalar kovalent etkileşimler şeklinde ifade edilirken genellikle çekme veya itme şeklinde gerçekleşen değiştirilebilir interaksyonlar kovalent olmayan etkileşimler olarak adlandırılmaktadır. Bu etkileşimler iç (pH, iyonik güç, konformasyon, yük yoğunluğu, konsantrasyon vb.) ve dış (sıcaklık, basınç vb.) faktörlerden etkilenmektedir (Ghosh ve Bandyopadhyay, 2012).

2.6.1. Elektrostatik olmayan etkileşimler

Protein ve polisakkaritler arasında kompleks oluşumunda spesifik, güçlü ve geri dönüşümsüz gerçekleşen etkileşimler biyopolimerlerin glikolizasyonu olarak da bilinmektedir. Proteinlerin amin grupları ile sakkaritlerin karboksil grupları arasında meydana gelen kimyasal reaksiyon sonucu kovalent amid bağı oluşumuyla

sonuçlanmaktadır. Bu iki biyopolimer arasındaki kovalent etkileşimler Maillard reaksiyonlarıyla komplekslerin dehidrasyonu ve/veya CaCl_2 gibi çapraz bağlanma ajanlarının ilavesiyle indüklenmektedir. Bu interaksiyonlar sonucunda oluşan kovalent kompleksler, pH ve iyonik güç değişimlerinden etkilenmemektedir (Wijaya ve ark., 2017).

Protein ve polisakkaritler arasındaki glikolizasyon reaksiyonları polisakkaritin zincir uzunluğu ve protein çeşidinden etkilenmektedir. Kazeinler gibi katlanmamış yapıdaki proteinler peynir altı suyu proteinleri gibi katlanmış yapıdakilere göre polisakkaritlerle daha hızlı reaksiyona girmektedir. Oluşan konjugatların amfifilik özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılan polisakkarit çeşidi de önemlidir. Öte yandan protein ve polisakkaritler arasındaki etkileşimlerde sıcaklık da belirleyici bir faktördür. Düşük sıcaklıklarda hidrojen etkileşimleri görülürken yüksek sıcaklıklarda reaktif kısımların açığa çıkmasına bağlı olarak hidrofobik ve kovalent etkileşimler olmaktadır (Wijaya ve ark., 2017).

2.6.2. Elektrostatik etkileşimler

Proteinleri oluşturan aminoasitlerin anyonik grupları ile hidrokolloidlerin reaktif grupları arasında zayıf, kovalent olmayan etkileşimler meydana gelmektedir. Biyopolimerler arasında itme veya çekme şeklinde gerçekleşen elektrostatik interaksiyonlar protein ve polisakkaritin elektrostatik yüküne bağlı olarak değişmektedir. Çözelti pH'sı, iyonik güçler, protein:polisakkarit oranı ve konsantrasyonu biyopolimer komplekslerinin durumunu belirlemektedir (Wijaya ve ark., 2017). Süt proteinleri ve anyonik polisakkaritler arasında bu faktörlere bağlı etkileşimler neticesinde dört farklı davranış görülmektedir: (i) Nötral pH değerinde ve düşük iyonik güçte, düşük konsantrasyondaki çözünmüş protein/polisakkarit karışımlarında elektrostatik etkileşimler meydana gelmektedir, (ii) pH değeri proteinin izoelektrik noktasına yakın değerlerde elektrostatik protein-polisakkarit kompleksleri oluşmaktadır, (iii) pH değeri proteinin izoelektrik noktanın altında olduğunda çözünür kompleksler kümeleşerek kompleks koaservasyona neden olmaktadır, (iv) pH değerinin daha da düşmesiyle ($\text{pH} < 2.5$) hidrokolloidin asit

fonksiyonel gruplarının protonlanmasına bağı olarak elektrostatik biyopolimer kompleksleri baskılanmaktadır (Perez ve ark., 2009).

Protein ve iyonik özellikteki hidrokolloidler arasındaki etkileşimler köpük özelliklerini etkilemektedir. Çözelti pH'sı proteinin izoelektrik noktasının üzerinde olduğunda ($pH_{\text{çözelti}} > pI_{\text{protein}}$) her iki polimer de negatif yüklü olacağından biyopolimerler arasında itme kuvvetleri baskındır. Bu durumda proteinler sürekli faz viskozitesini artırarak köpük kararlılığına katkı sağlamaktadır. Çözelti pH'sının düşmesiyle proteinin anyonik aminoasitleri ve polisakkaritlerin katyonik yan zincirleri arasında hidrojen bağı, hidrofobik ve elektrostatik etkileşimler sonucunda çözünür/çözünmez yeni bileşikler oluşmaktadır. Biyopolimerlerin birbirinin yüklerini nötralize ettikleri pH değerlerinde sistem stokiometrik dengeye ulaşarak maksimum düzeyde çözünmez kompleks oluşmaktadır. Çözeltinin asitliğinin daha da artırılması neticesinde proteindeki pozitif yükler artmakta ve polisakkaritler protonlanarak büyük kompleksler çözünmektedir. Ortam asitliğindeki farklılıktan dolayı oluşan çözünür ve çözünmez kompleksler köpük kararlılığını etkilemektedir. Çözünür kompleksler sürekli faz viskozitesini artırarak sıvı akıntısını önlerken, çözünmez kompleksler hava/su arayüzeyine adsorbe olarak kalın bir arayüzey tabakasının oluşmasına neden olup köpük baloncuklarının birleşmesini önleyerek stabilizeye katkı sağlamaktadır (Mohanen ve ark., 2020). Ayrıca, globüler proteinlerin ısıtılması sonucunda (60 °C) üç boyutlu (tersiyer) yapının açılmasıyla aktif aminoasit uzantıları belirginleşerek polisakkaritlerle etkileşime girmektedir. Bu interaksiyonlar da çözünür ve/veya çözünmez kompleks bileşenlerin oluşumunu tetikleyerek hava/sıvı dispersiyonlarının özelliklerini değiştirmektedir (Ghosh ve Bandyopadhyay, 2012).

Yüksek şeker içerikli bir köpük sistemine polisakkaritlerin ilavesiyle ortam viskozitesinin yükselmesi ve/veya protein ile polisakkarit arasındaki elektrostatik etkileşimler neticesinde ürün kararlılığı artmaktadır. Gıdalarda zıt yüklü protein ve polisakkarit karışımlarından kaynaklanan elektrostatik etkileşimler; yüzey ve arayüzeylerin stabilize edilmesi ve jellerin tekstürünün ayarlanmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca protein ve polisakkarit arasındaki elektrostatik birliktelik, proteinlerin denatüre olarak kümeleşmesinin önlenmesinde koruyucu rol oynamaktadır (Miquelim ve ark., 2010).

Protein köpüklerine değişik özellikteki hidrokolloidlerin katılması sonucunda süt proteinlerinin çevresel koşullara karşı duyarlılığı azaltılarak kolloidal sistemlerde daha etkin biçimde kullanılabilirler (Perez ve ark., 2009).

PASP-K çözeltilerinin hava-sıvı arayüzey özellikleri ksantan gam kullanımıyla iyileştirilebilmektedir. Süt proteinleri ve hidrokolloidler arasındaki elektrostatik etkileşimler neticesinde daha sıkı yapıda arayüzey filmleri oluşturulabilmektedir (Perez ve ark., 2010). Benzer şekilde, yumurta albumini ve κ -karragenan arasındaki ($pH < pI_{\text{protein}}$) çekim kuvvetleri ile oluşturulan elektrostatik kompleksler de köpük kararlılığını artırmaktadır (Miquelim ve ark., 2010). Köpük sisteminde, β -Laktoglobulin/karragenan çözeltisinin görünür viskozitesi aynı konsantrasyondaki β -Laktoglobulin/keçiyoynuzu çözeltisine göre daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, iyonik polisakkaridin süt proteiniyle çok daha büyük biyopolimer kompleksleri oluşturduğu görülmüştür. β -Laktoglobulin/karragenan köpüklerinde, daha büyük kompleks oluşumu ve daha yüksek sürekli faz viskozitesine bağlı olarak daha kararlı köpük yapısı elde edilmiştir (Neves ve ark., 2018). Asidik koşullarda, karragenan ve pektin hem ortam viskozitesini artırmakta hem de Na-KAZ ve peynir altı suyu proteinleriyle elektrostatik etkileşime girerek köpük ve emülsiyon stabilitesini iyileştirmektedir (Perrechil ve Cunha, 2013; Oduse ve ark., 2018). Şeker içeren ortamda, PASP-İ/pektin (20:1) köpüklerinin PASP-İ/ksantan gamlı (20:1) olanlara göre yapısına daha çok hava hapsedebildiği, daha kararlı yapıda ve daha küçük köpük baloncuk boyutuna sahip olduğu görülmüştür. Ksantan gamın (%0.1), yüksek viskoelastiklikte bir ortam oluşturarak köpük sistemine hava girişini sınırlandırması nedeniyle arzulanan köpük özellikleri elde edilememiştir (Narchi ve ark., 2009). Ayrıca, ksantan gam konsantrasyonu (%0.05-0.15), PASP-K (10-25) çözeltilerinin reolojik özelliklerinde belirleyici temel unsurdur. Bununla birlikte, bu tarz sistemlerinde biyopolimer konsantrasyonu ve oranı köpük özelliklerinin iyileştirilmesinde çok büyük öneme sahiptir (Martínez-Padilla ve ark., 2015). Nötral koşullarda ($pH \approx 7$), ısıtılarak hazırlanan (85 °C'de 15 dk) PASP-İ/ λ -karragenan (20:1) çözeltileriyle üretilen köpükler ısıtılma işlem uygulanmayan PASP-İ (%5) ile elde edilenlere göre yapısına daha çok hava hapsedebilmektedir. Süt proteini ve karragenan kullanılarak üretilen daha kararlı yapıdaki köpükler, daha küçük köpük baloncuk boyutuna ve daha

iyi reolojik özelliklere (daha yüksek viskoz ve elastik modül değerleri) sahiptir (Wang ve ark., 2015).

2.7. Protein-Saponin Etkileşimleri

Yüksek molekül ağırlıklı proteinler ve düşük molekül ağırlıklı yüzey aktif bileşenler arasındaki etkileşimlerin köpük özelliklerini olumlu/olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir (Wojciechowski ve ark., 2014). Örneğin, 78 °C’de 26 dakikaya kadar ısıtma sonucunda, saponin (QBS) ve kazein etkileşerek yüksek molekül ağırlıklı kompleksler oluşturmaktayken, soya proteinleri ise kendi aralarında çözünmez özellikte bileşikler meydana getirmektedir (Guclu-Ustundag ve Mazza, 2007).

Anyonik SDS ve β -Laktoglobulin arasındaki etkileşimler sonucunda SDS’in köpük arayüzey filmlerinin viskoelastikliğini olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Bununla birlikte, protein ve SDS moleküllerinin hava/sıvı arayüzeyinde konumlanmak için yarışması sonucunda arayüzey filmlerinin elastikliğinin azaldığı tespit edilmiştir (Mackie ve ark., 2000). Yapılan diğer bir çalışmada, %0.005 saponin (*Quillaja Saponaria Molina*) ve β -Laktoglobulin (%0-0.1) arasındaki etkileşimlerin (pH 7), köpüklerde arayüzey filmlerinin viskoelastik özelliklerinin gelişmesine neden olarak köpük stabilitesinin ve yoğunluğunun arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, protein ve saponin arasındaki hidrojen bağları ve/veya hidrofobik etkileşimlerin köpük özelliklerinin iyileştirilmesinde etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Böttcher ve ark., 2016).

Nötral koşullarda gerçekleştirilen analizlerde β -Kazein (10^{-6} mol/L) ve saponin (5×10^{-7} - 10^{-3} mol/L) içeren çözeltilerin arayüzey gerilimi ve köpürme kapasitesi değerlerinde saponin içeriğinin belirleyici olduğu bulunmuştur. Ayrıca, düşük saponin/ β -Kazein oranlarında (<1.5) sinerjistik etkinin gözlemlendiği, β -Kazeinin pozitif yüklü N-terminaliyle saponin (QBS) molekülleri arasında elektrostatik kompleks oluşumuyla hidrofilik karakterinin artması sonucunda arayüzey adsorbsiyon hızının arttığı, daha düşük arayüzey gerilimi ve daha yüksek köpürme kapasitesi değerlerinin elde edildiği belirtilmiştir. Öte yandan bu çözeltilerde saponin konsantrasyonunun artması sonucunda, saponinlerin β -Kazeinlerin diğer pozitif yüklü gruplarıyla etkileşime geçerek proteinlerin

yüzey aktivitesinin zayıflamasına neden olmasıyla, arayüzey özellikleri ve köpürebilme özelliklerinin kötüleştiği görülmüştür (Wojciechowski ve ark., 2014).

Saponin (QBS) ve pozitif yüklü lizozim arasındaki etkileşimler neticesinde hava/sıvı arayüzeyinde saponin adsorbsiyon kinetiklerinde artış olduğu belirlenmiştir. Düşük saponin:protein oranlarında yüzey geriliminin saponin veya protein çözeltilerine göre daha hızlı düştüğü rapor edilmiştir. Yüksek saponin:protein oranlarında, sentetik yüzey aktif madde/protein karışımlarına benzer şekilde, biyopolimerler hava/su arayüzeyi için yarıştığından dolayı daha yüksek arayüzey gerilimi tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar saponin (QBS, 10^{-7} M) ve β -Laktoglobulin (5×10^{-7} - 1×10^{-5} M) çözeltilerinde de elde edilmiştir (Piotrowski ve ark., 2012). Düşük biyopolimer oranlarında, hem lizozim hem de β -Laktoglobulin ve saponin (QBS) arasında kompleks bileşiklerin olduğu adsorbsiyon deneyleriyle de kanıtlanmıştır (Kezwon ve Wojciechowski, 2014).

Saponin (QBS) ve Na-KAZ çözeltilerine pH (3, 5 ve 7) ve ısıtmanın (25-75 °C) etkisinin araştırıldığı çalışmada; pH 7’de saponin:protein oranı ≥ 1 olduğunda, biyopolimerler arasındaki itmeye bağlı olarak, polimerlerin karışabildiği, daha yüksek protein oranlarında hidrofobik etkileşimlerin artmasına bağlı olarak kümeleşmenin görüldüğü belirlenmiştir. pH’nın düşmesi ve sıcaklığın yükselmesine bağlı olarak kazein misellerinin kendi aralarında etkileşimleri neticesinde biyopolimer yığınlarının yoğunluklarında artış gözlenmiştir. pH 3’te, zıt yüklü biyopolimerlerin hem elektrostatik hem de hidrofobik etkileşimlerle yığın oluşturdıkları saptanmıştır. Sıcaklığın artması neticesinde bu yığınların yoğunluklarının arttığı da tespit edilmiştir (Reichert ve ark., 2015, 2016).

2.8. Yüzey/Arayüzey Gerilimi

Köpük sistemlerinde birbirine zıt karakterdeki fazlar arasındaki yoğunluk farkı ve geniş arayüzey alanı, yüksek bir arayüzey gerilimiyle sonuçlanarak kararlılığı çok zayıf bir sisteme neden olmaktadır. Köpüklerde arayüzey ajanlarının görevi arayüzey gerilimini düşürerek sistem kararlılığını sağlamaktır. Yüzey aktif madde olarak kullanılan peynir altı suyu proteinleri gibi globüler proteinler çok iyi yüzey aktivitesine sahip olduklarından

köpük ve emülsiyonların kararlılığında çok önemli rol oynamaktadırlar. Proteinlerin arayüzelere adsorbe olabilmeleri ancak arayüzelere difüze olabilmeleriyle mümkün hale gelmektedir. Buna bağlı olarak, yüzey gerilimindeki azalma hızı yüzey aktif maddenin bu yüzeylere adsorbe olma hızını temsil etmektedir (Tamm ve ark., 2012).

Proteinlerin birincil (amino asit dizilimi), ikincil (hidrojen bağı, elektrostatik etkileşimler, van der Waals etkileşimleri ve hidrofobik etkileşimlerle stabilize edilen polipeptid zincirlerindeki amino asit düzeni), üçüncül (polipeptid zincirlerini bir arada tutan disülfid bağları) ve dördüncül yapıları (birden fazla polipeptid zincirini bir arada tutan etkileşimler) arayüzey özelliklerinde etkilidirler. Örneğin, kazeinler gibi esnek proteinler peynir altı suyu proteinleri gibi kompleks proteinlere göre arayüzelere daha hızlı adsorbe olabilmektedir. Ayrıca, globüler proteinler çeşitli etkilere (mekanik, sıcaklık vb.) maruz kalarak denatüre olmakta ve iç kısımlarında gömülü vaziyette bulunan yüzey aktif bölgeler açığa çıkarak yüzey aktiviteleri artış göstermektedir (Kim ve ark., 2005).

Köpük oluşumunda bir biyopolimer iki şekilde arayüze dahil olabilmektedir: i) köpük baloncğunun oluşumu ve stabilizasyonu süresince hava/su arayüzeyine direkt adsorbe olması ve arayüzeyde halihazırda bulunan biyopolimer tabakasıyla karşılıklı etkileşimde bulunması. ii) biyopolimerin yüzey aktif olup (proteinler) olmaması (çoğu polisakkaritler). Bu iki mekanizmaya bağlı olarak köpük sisteminin yüzey/arayüzey özellikleri değişkenlik göstermektedir (Dickinson, 2011).

Proteinlerin çözeltilerden hava/su arayüzeyine adsorbsiyonları köpük oluşumunu etkileyen en önemli parametredir. Proteinler arayüze girdiklerinde moleküler düzenlemeye uğrayarak iç yapılarda gömülü hidrofobik kısımlar açığa çıkmakta ve arayüzeyde denatüre olarak buraya daha kuvvetli tutunmaktadır. Bu adsorbsiyon sonucunda arayüzey gerilimi önemli derecede düşmektedir. Örneğin, oda sıcaklığında yapılan ölçümlerde saf suyun yüzey gerilimi 72 mN/m olarak ölçülürken, konsantre protein çözeltilerinin denge yüzey gerilimleri ~45 mN/m olarak belirlenmiştir (Foegeding ve ark., 2006). Dinamik yüzey gerilim ölçümleri yüzey aktif maddelerin köpürme özelliklerini belirlemek için önemli bir analitik araçtır. Yüzey gerilimindeki hızlı düşüş bu maddelerin yüzeye daha

hızlı adsorbe olmasını ve böylece dispers fazın (hava hücreleri) birleşmeye karşı stabilizasyonunu sağlamaktadır (Tamm ve ark., 2012).

Proteinlerin hava/sıvı arayüzeyinde konumlanmaları için gereken toplam enerji saponinlerinkinden daha yüksektir. Bundan dolayı, protein-saponin karışımlarında saponin molekülleri arayüzlere daha hızlı adsorbe olmaktadır. Bu sistemlerde protein ve saponinlere arayüzeyde konumlanmak için sürekli yarış halindedirler. İyonik özellikteki saponinler hava/sıvı arayüzeyinde proteinlerle elektrostatik etkileşime geçerek protein filmlerinin oluşumuna katkı sağlamaktadır (Böttcher ve ark., 2016).



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Ticari protein tozlarından peynir altı suyu protein konsantresi (PASP-K, ~%80 protein) ve peynir altı suyu protein izolatu (PASP-İ, ~%90 protein) Lactalis (Fransa)'den , demineralize peynir altı suyu tozu (D-PAS, $\geq$ %5 protein) Maybi (Türkiye)'den ve Sodyum kazeinat (Na-KAZ, $\geq$ %86.5 protein) Alfisol (Türkiye)'den tedarik edilmiştir. Ticari çöven ekstraktı, keçiyoynuzu gamı, karragenan, pektin, ksantan gam, sitrik asit ve sodyum karbonat Tito (Türkiye)'dan ve şeker (sakkaroz) (Torku A.Ş., Türkiye) yerel bir marketten temin edilmiştir. Kullanılan diğer kimyasallar analitik standartta olup Sigma (Sigma Chemical Company, MO, ABD) ve Merck (Merck KGaA, Darmstadt, Almanya) firmalarından tedarik edilmiştir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneyel tasarım

Belirli bir sorunun çözümünü hedefleyen işlemler bütünü deney olarak tanımlanmaktadır. Belirlenen problemin çözümünde etkili olabilecek faktör değerlerinin (seviyeleri) değiştirilerek deneylerin belirli bir tasarım matrisine göre gerçekleştirilmesi yöntemi deney tasarımı olarak adlandırılmaktadır. Problemin mümkün olan en hızlı yoldan çözülmesine olanak sağlayan deney tasarımının amacı en az sayıda deney ile zaman ve nakit kaybını önleyerek çözüme odaklanmaktır. Deney tasarımı 6 aşamadan oluşmaktadır (Baynal ve Gencel, 2015).

- 1. Problemin/problemlerin tanımlanması:** Deney gerçekleştirilmeden önce sorunların detaylı bir şekilde açıklanması çözüme daha kolay ulaşılmasını sağlamaktadır.
- 2. Problem çözümünde etkili proses şartlarının ve seviyelerin belirlenmesi:** Sorunun çözümünde etkili kontrol koşullarının ve seviyelerinin seçilmesinde ön deneme çalışmalarından ve/veya literatür verilerinden yararlanılabilmektedir.

3. **Yanıtın/yanıtların belirlenmesi:** Problemin çözümüne olanak sağlayan bir veya birden fazla çıktı değişkeni belirlenebilmektedir.
4. **Deney tasarımının belirlenmesi:** Örnek sayısının, deney sırasının ve tekrarlanma sayısının seçilmesi ve kısıtlayıcı şartların (blok gibi) tespit edilmesi gibi hususlar deney tasarımının oluşmasını sağlamaktadır. Günümüzde geliştirilen istatistik programları (Design Expert, Minitab, Matlab, SAS vb.) sayesinde bu işlemler kolaylıkla yapılabilmektedir.
5. **Deneylerin tasarım matrisi sırasına göre gerçekleştirilmesi:** Deneylerin sırasıyla yürütülmesi ve mümkün olan en kısa sürede sonlandırılması hataların minimize edilmesinde önem arz etmektedir.
6. **Verilerin istatistiksel analizi:** Verilerin analizi yukarıda bahsedilen programların mevcut yazılımları sayesinde kolaylıkla yapılmaktadır. İstatistiksel analiz verileri arasındaki farklılıkları belirli bir güven aralığında ölçmemize imkân sağlamaktadır.

Taguchi yöntemi

Bu çalışmada model sıvılar, köpükler/köpük helvalar ve köpük stabilite özelliklerine ait yanıtların bireysel optimizasyonda Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Model parametrelerinin belirlenmesinde aşağıdaki aşamalar uygulanmıştır (Roy, 2010).

- Köpük helva üretiminde önemli kontrol parametreleri ve seviyeleri ile optimize edilmesi istenen unsurların (yanıtlar) belirlenmesi,
- Uygun deney tasarımının belirlenerek analizlerin dizideki sıraya göre gerçekleştirilmesi,
- Deneysel verilerin S/N oranı ve ANOVA testi kullanılarak analiz edilmesi,
- Kontrol faktörlerinin en ideal seviyelerinin belirlenmesi,
- Doğrulama deneyleri ile optimum seviyelerin kontrol edilmesi.

Bu tez çalışmasında; köpük helva üretiminde kullanılan model sıvıların optimizasyonunda protein çeşidi, hidrokolloid konsantrasyonu ve hidrokolloid çeşidi; Model köpüklerin/köpük helvaların optimizasyonunda protein çeşidi, hidrokolloid konsantrasyonu, hidrokolloid çeşidi ve çırpma sıcaklığı ile köpük kararlılığının

optimizasyonunda protein çeşidi, hidrokolloid konsantrasyonu, hidrokolloid çeşidi, çırpma sıcaklığı ve depolama sıcaklığı kontrol faktörleri olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.1). Her bir faktörün ürün özelliklerine etkisi dört farklı seviyede test edilmiştir. Faktör ve seviyelerin köpük özelliklerine etkilerini belirlemek amacıyla ikişer tekrarlı 32 deney yapılmıştır. Bu deneylerde L₁₆ deney tasarımı kullanılmıştır (Çizelge 3.2).

Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde S/N oranları dikkate alınmıştır. Sinyal (S) hedeflenen nitelikleri temsil etmekte iken Gürültü (N) deney sonuçlarını olumsuz etkileyen unsurları göstermektedir. S/N oranı; “En büyük-en iyi”, “Hedef değer-en iyi” ve “En küçük-en iyi” olmak üzere üç kategoride değerlendirilmektedir (Roy, 2010). Bu tez çalışmasında; optimizasyon çalışmasında “En büyük-en iyi” (Eşitlik 3.19) ve “En küçük-en iyi” (Eşitlik 3.20) kullanılmıştır.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (3.19)$$

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (3.20)$$

Burada; y_i deneylerden elde edilen verileri, n ise deney sırasını göstermektedir (Silva ve ark., 2014).

Model ürünlerin üretilmesinde etkili olan faktörlerin katkı oranını belirlemek amacıyla varyans analizi (ANOVA) verilerinden yararlanılmıştır. Taguchi yöntemiyle üretim faktörlerinin test edilen yanıtları üzerine etki düzeyleri belirlenirken varyans analizi ile kontrol faktörlerinin optimize edilen özelliğe katkı oranları bulunmuştur (Özakın ve Kaya, 2020).

Çizelge 3.1. Kontrol faktörleri ve seviyeleri

Faktör	Sembol	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
PÇ	A	PASP-K	PASP-İ	Na-KAZ	D-PAS
HM (ml)	B	10	20	30	40
HÇ	C	Keçiboynuzu gamı (KG)	Karragenan	Pektin	Ksantan gam
MS (°C)	D	40	60	80	100
DS (°C)	E	15	20	25	30

PÇ= Protein çeşidi, HM= Hidrokolloid miktarı (ml), HÇ= Hidrokolloid çeşidi, MS= Miksleme sıcaklığı (°C), DS= Depolama sıcaklığı (°C)

Çizelge 3.2. Tez çalışmasında kullanılan Taguchi L₁₆ deney tasarımları

Köpük stabilitesi için deney tasarımı (4 ⁵)					
Model köpükler/köpük helvalar için deney tasarımı (4 ⁴)					
Model sıvılar için deney tasarımı (4 ³)					
Örnek kodu	Faktör A	Faktör B	Faktör C	Faktör D	Faktör E
1	PASP-K	10	KG	40	15
2	PASP-K	20	Karragenan	60	20
3	PASP-K	30	Pektin	80	25
4	PASP-K	40	Ksantan gam	100	30
5	PASP-İ	10	Karragenan	80	30
6	PASP-İ	20	KG	100	25
7	PASP-İ	30	Ksantan gam	40	20
8	PASP-İ	40	Pektin	60	15
9	Na-KAZ	10	Pektin	100	20
10	Na-KAZ	20	Ksantan gam	80	15
11	Na-KAZ	30	KG	60	30
12	Na-KAZ	40	Karragenan	40	25
13	D-PAS	10	Ksantan gam	60	25
14	D-PAS	20	Pektin	40	30
15	D-PAS	30	Karragenan	100	15
16	D-PAS	40	KG	80	20

A; Protein çeşidi, B; Hidrokolloid miktarı (ml), C; Hidrokolloid çeşidi, D; Miksleme sıcaklığı (°C), E: Depolama sıcaklığı (°C)

Gri İlişkisel Analiz Yöntemi

Taguchi yöntemi yanıtların tek tek optimize edilmesinde başarılı biçimde uygulanmaktayken çoklu değişkenlerin optimizasyonunda yetersiz kalmaktadır. Bundan dolayı, bu tez çalışmasında, köpük helva üretiminde kullanılan model sıvıların ve model köpüklerin/köpük helvaların test yanıtlarının optimizasyonunda Gri İlişkisel Analiz yönteminden yararlanılmıştır. Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden birisi olan Gri İlişkisel Analiz yöntemi altı aşamadan oluşmaktadır (Üstütağ ve ark., 2020).

1. Her bir yanıt için deneysel sonuçların normalize edilmesi,
2. Gri ilişkiler katsayısının hesaplanması,
3. Gri ilişkiler derecelerinin ağırlık faktörlerine göre hesaplanması,
4. Üretim parametreleri için optimum seviyelerin belirlenmesi,
5. Her bir kontrol parametresinin etki oranının ANOVA ile belirlenmesi,
6. Optimum parametrelerin doğrulama deneyleriyle onaylanması.

Gri İlişkisel Analiz yönteminde ilk aşama; birbirinden farklı birimlerde olan yanıtlara ait deney sonuçlarının 0-1 arasındaki bir değere getirilerek standardize edilmesi (normalizasyon) işlemidir. Bu yöntemde de Taguchi yöntemine benzer şekilde; “En büyük-en iyi”, “En küçük-en iyi” ve “Hedef değer-en iyi” eşitlikleri kullanılarak normalizasyon matrisleri oluşturulmaktadır. Bu çalışma kapsamında “En büyük-en iyi” (Eşitlik 3.21) ve “En küçük-en iyi” (Eşitlik 3.22) eşitlikleri kullanılarak köpük helva üretiminde kullanılan model sıvıların ve model köpüklerin/köpük helvaların genel optimizasyon seviyeleri belirlenmiştir.

$$N_{y_i}(k) = \frac{x_i(k) - \min x_i(k)}{\max x_i(k) - \min x_i(k)} \quad (3.21)$$

$$N_{y_i}(k) = \frac{\max x_i(k) - x_i(k)}{\max x_i(k) - \min x_i(k)} \quad (3.22)$$

Burada; $N_{y_i}(k)$ normalizasyon işlemi sonrası yeni değeri, $\max x_i(k)$ ve $\min x_i(k)$ ise sırasıyla $x_i(k)$ için elde edilen en büyük ve en küçük test sonucunu göstermektedir (Canbolat, 2020).

İkinci olarak, normalize ve ideal (en iyi) deneysel sonuçlar arasındaki ilişkiyi açıklamak amacıyla Gri İlişkiler Katsayısı (GİK) hesaplanmaktadır. k ifadesi n uzunluğundaki bir seride k . sıradaki işlemi göstermektedir. GİK ($X_0(k)$, $X_i(k)$), k . noktadaki Gri İlişkiler Katsayısını göstermektedir. GİK'in hesaplanmasında Eşitlik 3.23, 3.24, 3.25 ve 3.26'dan faydalanılmaktadır.

$$GİK(X_0(k), X_i(k)) = \frac{\Delta_{min} + \varphi \Delta_{mak}}{\Delta_{0i} + \varphi \Delta_{mak}} \quad (3.23)$$

$$\Delta_{0i}(k) = |X_0(k) - X_j(k)| \quad (3.24)$$

$$\Delta_{min} = \min_j \min_k |X_0(k) - X_j(k)| \quad (3.25)$$

$$\Delta_{mak} = \max_j \max_k |X_0(k) - X_j(k)| \quad (3.26)$$

Burada, φ bir katsayıdır. Literatür çalışmalarında bu katsayı değerinin Gri İlişkiler Derecesinden (GİD) elde edilen sıralamayı etkilemediği ve genellikle 0.5 alındığı görülmektedir (Canbolat, 2020; Seçgin ve ark., 2020; Üstüntaş vde ark., 2020).

Δ_{0i} , $y_0(k)$ ve $y_i(k)$ arasındaki sapma değerini, uzaklık matrisini, ifade etmektedir. $y_0(k)$ referans değeri, $y_i(k)$ normalizasyon serisini temsil etmektedir. Δ_{min} ve Δ_{mak} sırasıyla Δ_{0i} 'nin en düşük ve en yüksek değerlerini belirtmektedir (Canbolat, 2020).

GİK hesaplandıktan sonra, GİD yanıtların ideal çözüme etkileri eşit olduğunda Eşitlik 3.27 kullanılarak belirlenmektedir. GİD; karşılaştırılan serinin referans seriye yakınlığının bir ölçüsüdür.

$$GİD(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n GİK(X_0(k), X_i(k)) \quad (3.27)$$

Sonuç olarak, GİD değeri 1 değerine en yakın olan faktör serisi (örnek) optimum sonucu vermektedir (Seçgin ve ark., 2020).

Genel optimum faktör seviyelerinin belirlenmesinde GİD verilerinden yararlanılmaktadır. Bu durumda, her bir üretim faktörü için optimum seviyenin

belirlenmesinde şöyle bir yol izlenmektedir: Her bir faktörün seviyelerinin kullanıldığı deneylerin GİD ortalaması o faktör için yeni seviye olarak kaydedilmektedir. Örneğin, A faktörünün (protein çeşidi) birinci seviyesi olan PASP-K ilk dört deneyde yer aldığı görülmektedir (Çizelge 3.2). Bu durumda, ilk dört deneyin GİD ortalaması A1 faktörünün yeni seviyesi olarak alınmaktadır. Her faktörün en yüksek seviyesi alınarak genel optimum faktör seviyeleri belirlenmektedir. Genel optimum faktör seviyeleri Gri İlişkiler Derecesinin tahmin edilmesinde Eşitlik 3.28'den yararlanılmaktadır.

$$\partial = \partial_m + (\partial_A - \partial_m) + (\partial_B - \partial_m) + (\partial_C - \partial_m) + \dots (\partial_Z - \partial_m) \quad (3.28)$$

∂_m = GİD ortalaması;

A, B, C,.....,Z= Gri İlişkisel Analiz yöntemi kontrol faktörleri

∂_A =A faktörünün en yüksek GİD'e sahip seviyesinin değeri

Varyans analizi yapılarak proses faktörlerinin üretime etki oranları belirlenmektedir. Son aşamada ise genel optimum faktör seviyelerinde gerçekleştirilen üretimlerin analizlerinden elde edilen GİD ile başlangıç proses parametresi GİD dereceleri kıyaslanarak Gri İlişkiler Derecesindeki iyileşme oranı belirlenmektedir (Sarpkaya, 2014).

3.2.2. Protein ve hidrokolloid çözeltilerinin hazırlanması

PASP-K, PASP-İ ve D-PAS tozlarına distile su, Na-KAZ üzerine fosfat tamponu (pH 7.4) ilave edilerek manyetik karıştırıcıyla (Stuart, CC 162, İngiltere) 2 saat süresince 1500 rpm'de karıştırılarak %10'luk çözeltiler hazırlanmıştır. Bu solüsyonlar, polimerlerin tamamen çözünmesi için bir gece boyunca buzdolabında +4 °C'de bekletilerek kullanılmadan önce oda sıcaklığına getirilmiştir (Shen ve ark., 2017).

Hidrokolloid çözeltileri (%1), distile su ilave edilerek 10 dakika 300 rpm'de ardından 200 rpm'de 2 saat süresince karıştırılmış ve tamamen çözünmeleri için oda koşullarında 100 rpm'de karıştırılarak bir gece bekletilmiştir.

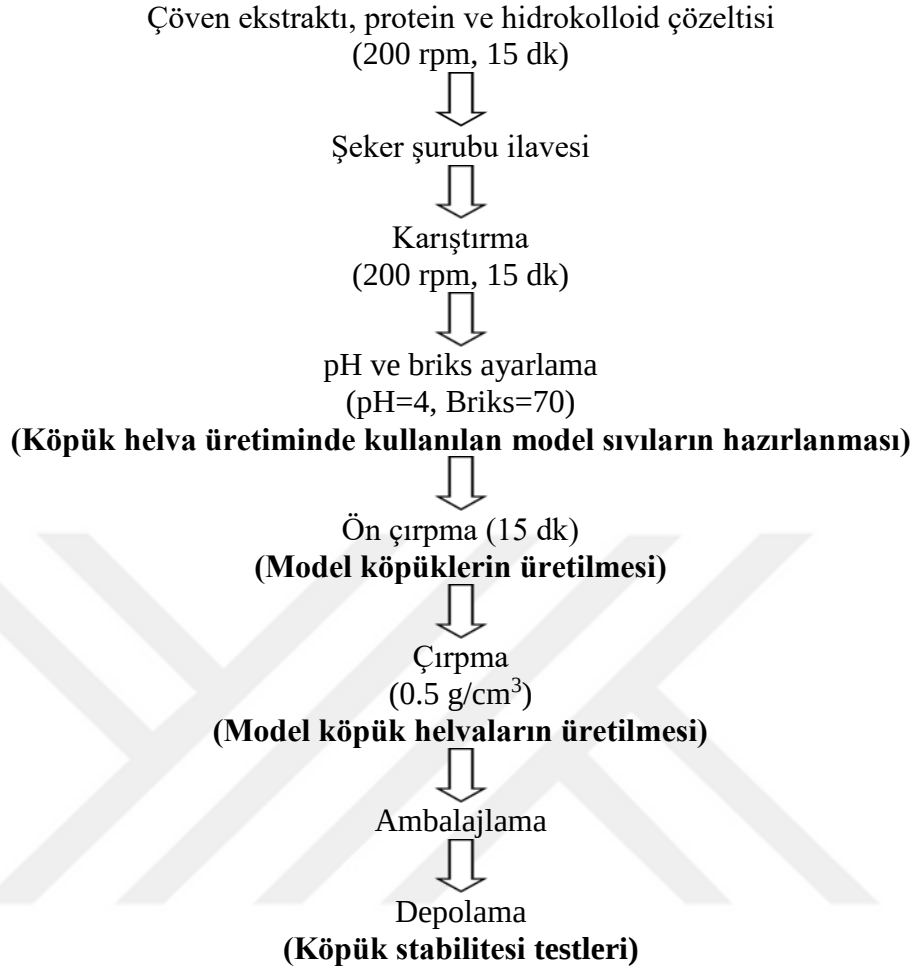
3.2.3. Şeker şurubunun hazırlanması

2 kg toz şeker ve 500 ml distile su karıştırıldıktan sonra ısıtma özellikli mikser (KM070, Kenwood, İngiltere) ile 30 dakika boyunca ısıtılıp kaynatılarak sitrik asit (%0.1) ilave edilmiş ve tamamen çözündürülerek °Briks değeri refraktometreyle (Reichert AR700, ABD) 85'e ayarlanmıştır. Şeker şurubu 60 °C'nin altına soğutulduktan sonra köpüklerin/köpük helvaların üretiminde kullanılmıştır.

3.2.4. Model köpüklerin/köpük helvaların üretiminde kullanılacak sıvı karışımın hazırlanması

Köpük helva üretim formülasyonunun belirlenmesinde geleneksel formülasyonla köpük helva üretimi yapan ticari bir firmadan (Çamlıca Helva, Kütahya) temin edilen üretim reçetesi kullanılmıştır. Üretimde kullanılacak şeker tipi ve briksi, çöven suyu miktarı, mikser başlığı ve hızı, protein tipi ve miktarının seçilmesinde literatür verilerine dayanılarak yapılan ön deneme sonuçlarından yararlanılmıştır.

Beherin (250 ml) içerisine Çizelge 3.2'ye göre sırasıyla çöven ekstraktı (3 ml), protein çözeltisi (10 ml) ve hidrokolloid solüsyonu ilave edilerek 15 dakika süresince manyetik karıştırıcıda (Stuart, CC 162, İngiltere) 200 rpm'de karışması sağlanmıştır. Toplam çözelti ağırlığı 200 gram oluncaya kadar şeker şurubu (<60 °C) ilave edilerek karıştırılmaya 10 dakika daha devam edilmiştir. Bu işlemten sonra sitrik asit (%5) kullanılarak karışımın pH değeri pH metre ile (WTW, Inolab, Almanya) 4'e, briks değeri refraktometreyle (Reichert AR700, ABD) 70'e ayarlanmıştır. Ticari formülasyona sahip kontrol örneğinin üretilmesinde sadece çöven suyu (6 ml) ve şeker şurubu (70 briks, pH 4) kullanılmıştır. Model köpüklerin/köpük helvaların üretim akış şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Model köpük helvaların üretilmesi

3.2.5. Model köpüklerin/köpük helvaların üretilmesi

Briks ve pH ayarlamaları tamamlanan sıvı karışımlar mikser kabına (6.7 L) aktarılmıştır. Bu çözeltiler, Çizelge 3.2'deki Taguchi tasarım verilerine uygun şekilde ısıtma kontrollü mikser (KM070, Kenwood, İngiltere) ile çırpma aparatı olarak “statik K mikser” kullanılarak ve çırpıcı hızı 158 rpm'e ayarlanarak 15 dakika süresince çırpılmıştır. Geleneksel formülasyona sahip kontrol örneğinin üretilmesinde çırpma sıcaklığı 100 °C olarak seçilmiştir. Süre sonunda model köpük örneklerinin köpük kapasitesi ve yoğunluk analizleri yapılarak, mikserin ısıtma fonksiyonu sonlandırılıp çırpma işlemine devam edilmiştir. Köpüklerin yoğunlukları 0.5 g/cm³'e ulaştığında çırpma işlemi sonlandırılarak model köpük helvalarda gerekli analizler yapılmıştır. Model köpüklerin/köpük helvaların üretimde kullanılan mikser ve çırpma aparatı Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Model köpüklerin/köpük helvaların üretiminde kullanılan mikser ve çırpma aparatı

3.2.6. Hammadde analizleri

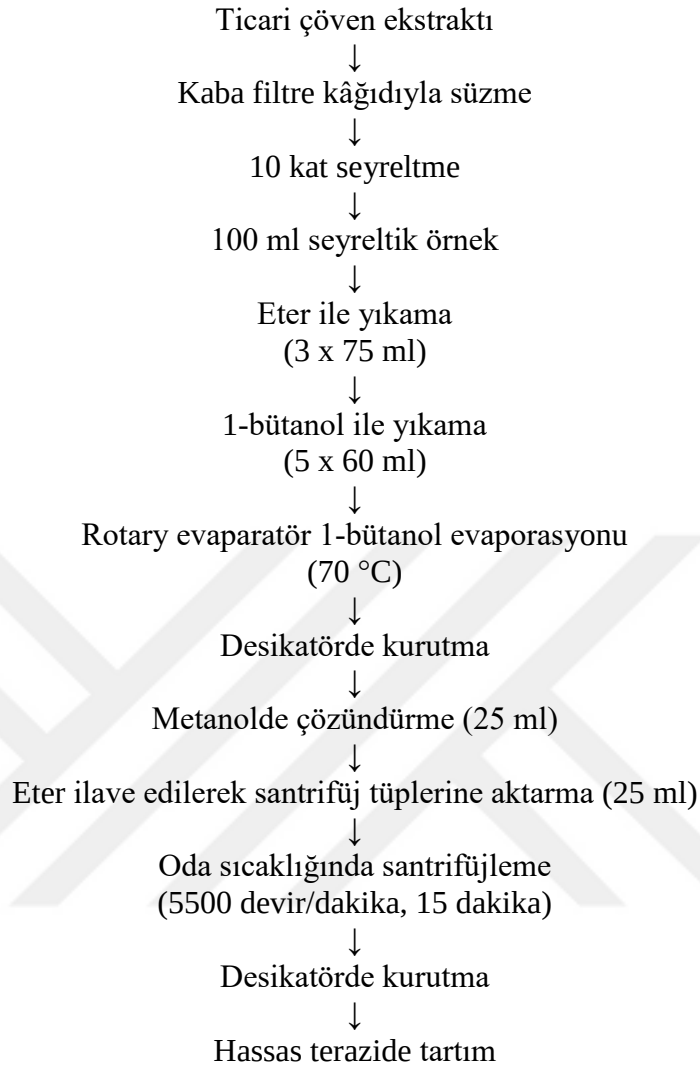
Köpük helva üretiminde kullanılacak süt protein tozlarının nem içerikleri 100 °C’de (AOAC 927.05; metot no: 33.5.02) etüv (FN 500, Nüve, Türkiye) kullanılarak, kül içerikleri ise 550 °C’de (AOAC 930.30; metot no: 33.5.05) kül fırınında (Elektromag, Türkiye) yakılarak tespit edilmiştir. Ticari protein tozlarının toplam azot içeriğinin belirlenmesinde Kjeldahl yöntemi (AOAC 991.20; metot no: 33.2.110) kullanılmıştır. Ticari protein tozlarının protein içeriklerinin hesaplanmasında 6.38 çevrim faktörü kullanılmıştır (AOAC, 2003).

Ticari gamların su oranları 130 °C’de (AOAC 925.10; metot no: 32.2.03) ve toplam kül oranları 550 °C’de (AOAC 923.03; metot no: 32.1.05) belirlenmiştir. Hidrokolloid örneklerinde toplam azot kjeldahl yöntemiyle (AOAC 920.87; metot no: 32.1.11) bulunmuştur. Toplam protein oranının belirlenmesinde çevrim faktörü 5.71 kullanılmıştır (AOAC, 2003). Ticari biyopolimerlerin yaklaşık yağ içerikleri soxhelet yöntemiyle (Phawaphuthanon ve ark., 2019) belirlenmiştir. Protein ve hidrokolloidlerin tuz içerikleri Mohr yöntemiyle bulunmuştur (Cemeroğlu, 2007).

Çöven ekstraktı hem kullanım öncesinde hem de analizler öncesinde kaba filtre kâğıdıyla süzölmüştür. Çöven ekstraktının suda çözünür kuru madde içeriği refraktometreyle (Reichert AR 700, ABD) belirlenmiştir. Cihazın kalibrasyonu saf su ile yapılarak ölçüm 25 °C’de gerçekleştirilmiştir. Çöven ekstraktı (10 g) darası alınmış kurutma kabına

aktarılarak 105 °C'deki etüvde (Nüve, Türkiye) sabit ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmesiyle toplam kuru madde içeriği saptanmıştır. Aynı miktardaki çöven ekstraktının darası alınmış porselen kroze aktarılarak 550 °C'deki kül fırınında kremi beyaz renk elde edilene kadar yakılmasıyla toplam mineral madde içeriği tespit edilmiştir (Cemeroğlu, 2007).

Çöven ekstraktının toplam saponin içeriğinin belirlenmesinde Battal ve ark., (2003)'nın önerdiği gravimetrik yöntem modifiye edilerek kullanılmıştır. Analiz işlem basamakları Şekil 3.3'de görülmektedir. Ticari çöven ekstraktı (Tito, Türkiye) analiz öncesinde süzme işlemine tabi tutulmuştur. Çözeltinin briks değeri yüksek olduğundan (12.6 °Briks) seyreltilerek kullanılması uygun görülmüştür. 10 ml çöven ekstraktı 90 ml saf su ile karıştırılarak kullanılmıştır. Bu karışıma 75 ml dietil eter karıştırılarak renk maddeleri uzaklaştırılmıştır. Eter fazı ayırma hunisiyle alındıktan sonra kalan kısma 60 ml 1-bütanol ilave edilerek yıkanmıştır. Bu işlem toplamda 5 defa tekrarlanmıştır. Ağzı şilifli balona aktarılan ekstraktın bütanol fazı rotary evaporatörde (Heidolph, Almanya) düşük sıcaklıkta (70 °C) uzaklaştırılmıştır. Balonun dibindeki sıvı kısım desikatörde bir gece bekletilerek uçurulmuştur. Kalıntı üzerine 25 ml metanol ilave edilerek çözünmesi sağlanmıştır. Son olarak 25 ml eter ilave edilen karışım daraları alınan santrifüj tüplerine aktarılmıştır. Tüpler santrifüj cihazıyla (K242R, Centurion Scientific, İngiltere) 5500 devir/dakikada 15 dakika süresince santrifüj edilmiştir. Süpernatant kısmı uzaklaştırılan santrifüj tüpleri desikatörde kurutulup tartılarak toplam saponin içerikleri g saponin/100 ml çöven ekstraktı olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.3. Ticari çöven ekstraktında toplam saponin içeriğinin belirlenmesi

3.2.7. Köpük helva üretiminde kullanılan model sıvılarda gerçekleştirilen analizler

Model köpüklerin/köpük helvaların üretiminde kullanılan sıvıların fizikokimyasal ve reolojik özelliklerini belirlemek amacıyla aşağıdaki analizler gerçekleştirilmiştir.

Model sıvılarda bulanıklık ve renk (L^*) ölçümleri

Köpük helva üretiminde kullanılan model sıvıların bulanıklıkları türbidometre (Hach 2100N, USA) kullanılarak belirlenmiştir. Cihaz kullanılmadan önce farklı bulanıklık değerlerindeki standart çözeltilerle (<0.1, 20, 200, 1000 ve 4000 NTU) kalibre edilmiştir.

Köpük helva üretiminde kullanılan model sıvıların renkleri arasındaki farklılıklar renk ölçer (Konica-Minolta CR-5, Japonya) kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçlar CIE L^* (açıklık-koyuluk) olarak verilmiştir.

Model sıvıların arayüzey gerilimi ve basınçlarının belirlenmesi

Hava/sıvı arayüzey ölçümleri pendant drop yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Temas açısı gonyometresi ve DROPimage programı sırasıyla verilerin toplanması ve hesaplanmasında kullanılmıştır. Manuel kontrollü şırınga ile 4 µl asılı damla (pendant drop) oluşturulmuştur. Bir dijital kamerayla toplam 10 dakika süresince dakikada 35±5 ölçüm yapılmıştır. Arayüzey geriliminin hesaplanmasında Young-Laplace eşitliği (Eşitlik 3.1) kullanılmıştır.

$$\Delta P = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte; R_1 ve R_2 = baloncğun iç ve dış yüzey yarıçaplarını, ΔP = Bu iki yüzey arasındaki basınç farkını, σ =yüzey gerilimini göstermektedir (Tamm ve ark., 2012).

Köpük oluşumunda kullanılacak karışımın arayüzey basıncı analizi Yang ve Foegeding (2010) modifiye metoduna göre yapılmıştır. Zamana bağlı arayüzey basıncı (π) değişimi hava/sıvı arayüzeyinde yüzey aktif bileşenlerin (saponin, protein, kompleks bileşenler vb.) emiliminin belirlenmesinde kullanılmıştır. Yüzey/arayüzey basıncının belirlenmesinde Eşitlik 3.2 kullanılmıştır.

$$\pi = \sigma_0 - \sigma \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte, σ_0 ve σ sırasıyla sukroz çözeltisi ve model sıvının arayüzey gerilimleridir.

Model sıvıların yatışkın hal (steady state) reolojik özelliklerinin belirlenmesi

Örneklerin yatışkın halreolojik özellikleri kesme ve sıcaklık kontrollü reometre (Thermo-HAAKE, Mars III, Karlsruhe, Almanya) ile belirlenmiştir. Ölçümler plaka-plaka konfigürasyonu (üst plaka çapı 35mm, plakalar arası boşluk 1 mm) ile 0.1-100 s⁻¹

aralığında kesmeye tabi tutularak 25 °C’de gerçekleştirilmiştir. 1 ml örnek plaka üzerine konulduktan hemen sonra ölçüme başlanmıştır.

Elde edilen akış verileri RheoWin Data Manager kullanılarak Herschel-Bulkley model (Eşitlik 3.3) veya Oswald-de Waele modele (Eşitlik 3.4) uyarlanmıştır. Bu modellerde; τ , kayma gerilimi; τ_0 , akma direnci (Pa); K, kıvam katsayısı (Pa.sⁿ); n, akış davranış indeksi (s⁻¹)’ni temsil etmektedir. Sürekli faz viskozitesi ve köpük kararlılığı ilişkisinin anlamlandırılmasında yerçekiminin stabilite üzerine etkisinin belirlenmesinde 11 s⁻¹ kesme hızındaki görünür viskozite (η) ölçümleri değerlendirilmiştir (Sadahira ve ark., 2018).

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n \quad (3.3)$$

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (3.4)$$

Model sıvıların dinamik titreşimli kayma akış özelliklerinin belirlenmesi

Dinamik kayma reometresi (Thermo-HAAKE, Mars III, Karlsruhe, Almanya) kullanılarak örneklerin basınç süpürmesi (stress sweep) ve frekans süpürmesi (frequency sweep) testleri yapılmıştır. Köpük oluşumunda kullanılacak karışımların mekanik özellikleri 25 °C’de plaka-plaka geometrisi (üst plaka çapı 35 mm, palakalar arası boşluk 1mm) bırakılarak belirlenmiştir. Öncelikle, basınç süpürmesi testi ile materyal yapısının uygulanan stresten bağımsız olduğu linear viskoelastik bölge belirlenmiştir. Frekans süpürmesi testleri 0.1– 10 Hz arasında sabit sıcaklıkta (25 °C) ve 0.2 Pa basınç altında gerçekleştirilmiştir. Örneklerin depo modülü (G'), viskoz modülü (G'') ve kayıp tanjant ($\tan \delta$) değerleri sırasıyla Eşitlik 3.5, 3.6 ve 3.7 kullanılarak belirlenmiştir.

$$G' = G^* \cos \delta \quad (3.5)$$

$$G'' = G^* \sin \delta \quad (3.6)$$

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \quad (3.7)$$

Model köpüklerde köpük kapasitesi ve yoğunluk ölçümlerinin gerçekleştirilmesi

Çırpma işlemi sonlandırıldıktan hemen sonra çırpma aparatı dikkatlice kaldırılmış ve model köpük örnekleri plastik spatula ile ön tartımı alınmış belirli hacimdeki petri kabına (90 mmx17 mm) doldurulmuştur. Petri kutusunun yüzeyi spatulayla seviyelendirilip tartımlar alınmıştır. Bu işlem toplamda iki dakikayla sınırlandırılmıştır. Örneklerin köpük kapasitesi (Eşitlik 3.8) ve yoğunluk (Eşitlik 3.9) değerleri belirlenmiştir (Lau ve Dickinson, 2005; Martínez-Padilla ve ark., 2015).

$$\text{Köpük kapasitesi (\%)} = \frac{(\text{x ml çözelti ağırlığı}) - (\text{x ml köpük ağırlığı})}{\text{x ml köpük ağırlığı}} * 100 \quad (3.8)$$

$$\text{Yoğunluk} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{x cm}^3 \text{ köpük ağırlığı}}{\text{silindirik kabın hacmi}} \quad (3.9)$$

3.2.8. Model köpük helvalarda gerçekleştirilen analizler

Model köpüklerin ısıtma fonksiyonu sonlandırılan mikser ile 158 rpm’de 0.5 g/cm³ yoğunluk değerine ulaşmaya kadar çırpılmasıyla üretilen model köpük helvalarda gerçekleştirilen analizlerdir.

Toplam üretim süresi ve renk (L*) analizleri

Model sıvılardan 0.5 g/cm³ yoğunluk değerindeki model köpük helva üretilene kadar çırpılması için gerekli toplam süre “toplam üretim süresi” olarak kabul edilmiştir. Model köpük helva örnekleri, renk ölçüm cihazının (Konica-Minolta CR-5, Japonya) cam ölçü kabına plastik spatula ile baskı uygulamadan doldurulmuş ve kalibre edilmiş cihazda örneklerin L* (açıklık-koyuluk) değerleri belirlenmiştir.

Dinamik akış (dynamic shear) reolojik analizler

Model köpük helvaların dinamik reolojik özellikleri plaka-plaka geometrisine sahip (üst plaka çapı 35mm, plakalar arası boşluk 1mm) prob kullanılarak 25 °C’de kesme kontrollü reometre (Thermo-HAAKE, Mars III, Karlsruhe, Almanya) ile belirlenmiştir. Örneklerin basınç süpürmesi (stress sweep) ve frekans süpürmesi (frequency sweep) testleri

yapılmıştır. Basınç süpürmesi testi linear viskoelastik bölgeyi belirlemek amacıyla 1 Hz frekansta gerçekleştirilmiştir. Örneklerin depo modülü (G'), viskoz modülü (G'') ve kayıp tanjant ($\tan \delta$) değerlerinin belirlenmesinde sırasıyla Eşitlik 3.5, 3.6 ve 3.7 kullanılmıştır. Frekans süpürmesi testi 0.1– 10 Hz frekans aralığında plakalar arası 3 mm boşluk bırakılarak 0.2 Pa basınç altında gerçekleştirilmiştir. Köpük helvaların yatışkın hal reolojik özellikleri kaymanın (shear) artmasına bağlı olarak köpük yapının bozulmasından dolayı gerçekleştirilememiştir.

Tekstür analizleri

Model köpük helvaların tekstürel özelliklerinin belirlenmesinde Kuropatwa ve ark. (2009)'nın metodu modifiye edilerek kullanılmıştır. Köpük örneklerinin sertlik (g) ve yapışkanlık (-g.s) değerleri tekstür analizör (TA-XTPlus, Stable Micro System, İngiltere) ile belirlenmiştir. Üretimden sonra köpükler plastik kaplara (280 ml) aktarılmıştır. Kaplar analiz alanına yerleştirilmiştir. Tekstür cihazında “TPA” (compression test), “a sped of 2 mm/sec”, “a distance of 20 mm” ve “trigger force 49.039 N” seçilmiştir. 1” paslanmaz çelik silindirik prob kullanılmıştır. Analizler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

Görüntü analizleri

Köpük helva örneklerinin mikroskopik incelemeleri Zeiss LSM 510 lazer taramalı konfokal mikroskop (KLTM) kullanılarak 20 X objektif lens ile yapılmıştır. Örnekler 488 nm dalga boyunda argon lazer aracılığıyla uyarılarak 458-633 nm dalga boyu aralığındaki ışınlar toplanmıştır. Görüntüler 1024 x 1024 piksel çözünürlükte KLTM yazılımı kullanılarak kaydedilmiştir. Model köpük helvalarda KLTM görüntüleri Ek 7.1’de verilmiştir.

Sodyum fluorescein (0.01 mM) çözeltilere çırpma aşamasından önce ilave edilerek çözündürülmüştür. Köpük örnekleri hazırlandıktan sonra plastik kaplarda (280 ml) oda koşullarında depolanmıştır. Az miktardaki köpük örneği plastik spatula kullanılarak mikroskop lamına aktararak üzeri lamel ile kapatılıp düzlenmiş ve 5 dakika dengeye gelmesi beklenmiştir. Sonrasında aynı örneğin 3 farklı noktasından görüntü alınmıştır.

Köpük örnekleri üretimini takip eden 48. ve 50. saatlerde KLTM ile görüntüleme yapılmıştır. KLTM ile görüntülemelerde her iki ölçüm için aynı lam örneği kullanılmıştır.

Görüntü analizleri ImageJ yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Görüntülerde ölçeklendirme işlemi yapıldıktan sonra örnekler köpük baloncukları beyaz ortam sıvısı siyah olacak şekilde dönüştürülmüştür. Net bir siyah beyaz ayrımı olması için gerekli işlemler program yazılımı aracılığıyla yapılmıştır. Ölçümlerde dairesellik değeri 0.5'in altında olan beyaz görüntüler dikkate alınmamıştır. Örneklerin ortalama baloncuk boyutu (d_{32}) eşitlik 3.10'dan yararlanarak belirlenmiştir. Model köpük helva örneklerinin baloncuk boyutu dağılım histogramları Ek 7.2'de görülmektedir.

$$d_{32} = (\sum_i d_i^3) / (\sum_i d_i^2) \quad (3.10)$$

3.2.9. Köpük stabilitesinin belirlenmesi

Belirli hacimdeki köpüğü oluşturmak için gerekli olan çözeltinin yarısının köpükten akması için gereken süre köpük yarı ömrü olarak adlandırılmaktadır (Berry ve ark., 2009). 280 ml'lik plastik kaplara belirli ağırlıkta doldurularak 15 ± 1 , 20 ± 1 , 25 ± 1 veya 30 ± 1 °C'de depolanan örneklerden 12 saatte bir ölçüm alınarak akıntı miktarları kayıt edilmiştir. Köpük kararlılığının belirlenmesi amacıyla 280 ml'lik plastik kapların alt zeminine 4 mm çapında delik açılmıştır. Bu kapların alt kısmına açılan delikleri içine alacak biçimde 15 cm uzunluğunda hortum sabitlenmiştir. Köpükle doldurulan plastik kaplar belirli bir eğimle hazırlanan rahle şeklindeki stantlara yerleştirilerek sıcaklık kontrollü dolaplara aktarılmıştır. Köpük örneklerindeki sızıntı miktarı plastik kabın altına yerleştirilen darası alınmış dereceli silindir ile belirlenmiştir.

3.2.10. Duyusal analizler

Köpük helva örneklerinin duyusal özelliklerinin belirlenmesinde köpük kararlılığı en yüksek bulunan 7 örnek kullanılmıştır. Köpük helva örneklerinin duyusal analizleri Erciyes Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümünde eğitimli 20 panelist ile yapılmıştır. Analizin gerçekleştirilmesinde Ek 7.3'de verilen duyusal analiz panel formu

kullanılmıştır. Köpük helva örnekleri üretildikten hemen sonra duyusal analize tabi tutulmuştur.

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi-TOPSİS

Köpük helva örneklerinin duyusal analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden TOPSİS kullanılmıştır. İlk kez Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen bu yöntemde pozitif ve negatif uygun çözümler oluşturulup uygun çözüme en yakın alternatiften başlayarak performans sıralaması yapılmaktadır. TOPSİS yöntemine göre performans değerlendirilmesi 6 aşamada gerçekleşmektedir (Soba ve Eren, 2011; Uygurtürk ve Korkmaz, 2012; Uludağ ve Doğan, 2016).

Adım 1. Karar matrisinin normalizasyonu

Bu aşamada duyusal analiz yanıtlarına panelistler tarafından verilen puan ortalamaları normalize edilmektedir. Normalizasyon işleminde Eşitlik 3.11 kullanılmaktadır:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (3.11)$$

$$i=1,\dots,m; j=1,\dots,n$$

α = Her bir duyusal özelliğe verilen yanıtların ortalaması

Adım 2. Normalleştirilmiş karar matrisinin ağırlıklandırılması

Normalleştirilmiş karar matrisi duyusal analiz yanıtlarının önem derecesine göre belirlenen ağırlık değerleriyle çarpılmaktadır. Hesaplama Eşitlik 3.12 ve Eşitlik 3.13'den yararlanılmaktadır.

$$v_{ij} = w_i r_{ij} \quad (3.12)$$

$$i= 1,2,3,\dots,m; j=1,2,3,\dots,n$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (3.13)$$

$W_j = j$ yanıtının ağırlığı

Adım 3. Pozitif ve negatif uygun çözümlerin belirlenmesi

Bu adımda ağırlıklandırılmış matriste her bir yanıtı ait en yüksek ve en düşük değerler sırasıyla Eşitlik 3.14 ve Eşitlik 3.15 ile tespit edilmektedir. Burada genel olarak A^+ en çok tercih edilmesi gereken örneği, A^- ise en az seçilecek alternatifini göstermektedir.

$$A^+ = V_1^+, V_2^+, \dots \dots V_j^+ \quad (j = 1, 2, 3, \dots n) \quad (3.14)$$

$$A^- = V_1^-, V_2^-, \dots \dots V_j^- \quad (j = 1, 2, 3, \dots n) \quad (3.15)$$

Adım 4. Pozitif ve Negatif uygun çözümden uzaklıkların hesaplanması

Bu kısımda her bir köpük helva örneğinin yanıtlarının pozitif ve negatif uygun çözümden uzaklıkları sırasıyla S_i^+ ve S_i^- ile Eşitlik 3.16 ve Eşitlik 3.17 kullanılarak belirlenmiştir.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (3.16)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (3.17)$$

Adım 5. İdeal çözüme yakınlığın hesaplanması

Bu aşamada köpük helva örneklerinin analiz edilen duyu özelliklerinin tamamı açısından uygun çözüme yakınlığı aşağıdaki formüle göre (Eşitlik 3.18) belirlenmektedir. Burada C_i değeri 1 rakamına yaklaştıkça “uygun çözüme yakın”, 0 rakamına yaklaştıkça ise “uygun çözümden uzak” şeklinde yorumlanmaktadır.

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ - S_i^-} \quad (3.18)$$

$$0 < C_i^+ < 1; \quad (i=1, 2, \dots m)$$

Adım 6. Performans sıralarının belirlenmesi

Bu aşamada köpük helva örnekleri duyuşal analiz kriterleri hesaba katılarak belirlenen uygun çözüme yakınlık derecesine göre sıralanmaktadır.

3.2.11. İstatistiksel analiz

Deneyşel verilerin analizinde Minitab yazılımı (versiyon 19.0, ABD) kullanılmıştır. Model sıvılarda, köpüklerde ve köpük helvalarda kontrol parametrelerinin yanıtlar üzerine etkileri tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanarak test edilmiştir. Optimum koşullarda hazırlanan örnekler ile kontrol örneği test yanıtları S/N oranları arasındaki istatistiki farkın saptanmasında Tukey testi kullanılmıştır. Veriler %95 güven aralığında değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Hammadde Özellikleri

Bu bölümde, tez çalışmasında kullanılan ticari çöven ekstraktı, protein ve hidrokolloid tozlarının genel bileşimleri incelenmiştir. Köpük helva üretiminde kullanılan protein ve gamların nem (%), kül (%), protein (%), yağ (%) ve tuz (%) içerikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Tablodaki veriler incelendiğinde, ticari protein ve hidrokolloidlerin nem, kül, protein, yağ ve tuz içeriklerinin istatistiksel olarak farklılık arzettiği belirlenmiştir ($p<0.05$).

Polimer tozlarından keçiyoynuzu gamının nem içeriği en yüksek (%9.15), D-PAS’nin ise en düşük (%4.90) bulunmuştur. Genel olarak değerlendirildiğinde, polisakkarit tozlarının protein tozlarından daha yüksek oranda nem içerdiği saptanmıştır. Ticari karragenanın toplam kül (%31.56) ve tuz içeriği (%10.45) en yüksek olarak belirlenirken keçiyoynuzu gamının toplam mineral madde ve NaCl içerikleri sırasıyla %1 ve %0.65 ile en düşük bulunmuştur. Ayrıca, ticari protein tozlarından PASP-İ (%88.81) ve Na-KAZ’ın (%87.48) protein içerikleri en yüksek, D-PAS’nın en düşük (%7.66) bulunmuştur. Öte yandan, ticari polisakkarit tozlarından keçiyoynuzu gamının en yüksek oranda protein içerdiği (%2.82), karragenanın ise en düşük toplam azot içeriğine (%0.13) sahip gam olduğu belirlenmiştir. Soxhelet analizi sonucuna göre; ticari polimer tozlarından sodyum kazeinatın yağ içeriği en yüksek (%1.95) belirlenirken, ksantan gam (%0.12) ve karragenanın (%0.14) ise en düşük saptanmıştır. Ayrıca, hidrokolloidler arasında keçiyoynuzu gamının yağ içeriği en yüksek bulunmuştur (%1.03).

Çöven ekstraktının suda çözünür kuru madde oranı ortalama 12.6 briks, toplam kuru madde içeriği ortalama %13.7 olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, gravimetrik yöntemle gerçekleştirilen analiz sonucunda çöven ekstraktında toplam saponin içeriği %6.4 bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Köpük helva üretiminde kullanılan protein ve hidrokolloidlerin özellikleri

Örnek Adı	Nem (%)	Kül (%)	Protein (%)	Yağ (%)	Tuz (%)
PASP-K	7.13±0.10 ^c	2.34±0.10 ^{ef}	77.31±0.18 ^b	1.70±0.02 ^b	1.37±0.02 ^{ab}
PASP-İ	5.68±0.43 ^d	2.20±0.04 ^{ef}	88.81±0.77 ^a	1.28±0.01 ^c	1.34±0.03 ^{ab}
Na-KAZ	5.73±0.32 ^d	4.88±0.03 ^{cd}	87.48±0.95 ^a	1.95±0.01 ^a	1.75±0.02 ^b
D-PAS	4.90±0.03 ^d	5.36±0.19 ^{bc}	7.66±0.22 ^c	0.87±0.07 ^d	2.06±0.03 ^b
Keçiboynuzu gamı	9.15±0.16 ^a	1.00±0.02 ^f	2.82±0.04 ^d	1.03±0.03 ^d	0.65±0.03 ^c
Karragenan	8.96±0.18 ^{ab}	31.56±0.45 ^a	0.84±0.02 ^e	0.14±0.02 ^f	10.45±0.05 ^a
Pektin	8.19±0.01 ^b	3.32±0.11 ^{de}	1.01±0.04 ^e	0.32±0.01 ^e	0.39±0.03 ^c
Ksantan gamı	8.83±0.05 ^{ab}	6.88±1.23 ^b	1.65±0.03 ^e	0.12±0.01 ^f	0.93±0.00 ^{bc}

PASP-K: Peynir altı suyu protein konsantresi; PASP-İ: Peynir altı suyu protein izolatı; Na-KAZ: Sodyum kazeinat; D-PAS: Demineralize peynir altı suyu proteinini

4.2. Köpük Helva Üretiminde Kullanılan Model Sıvıların Özellikleri

Bu bölümde 3 faktör (protein çeşidi, hidrokolloid miktarı ve hidrokolloid çeşidi) ve 4 seviye ile oluşturulan L₁₆ deney tasarımına göre köpük helva üretiminde kullanılan sıvıların renk, bulanıklık, arayüzey özellikleri, yatışkın hal ve dinamik reolojik özellikleri deney sonuçları Taguchi yöntemiyle analiz edilmiştir. Yanıtlara ait deney sonuçlarının değerlendirilmesinde S/N (Sinyal/Gürültü) oranı değerleri kullanılarak her bir yanıt için en iyi faktör-seviye kombinasyonları belirlenmiştir. Bununla birlikte, Gri İlişkisel Analiz yöntemi kullanılarak model sıvılarda bütün yanıtların optimizasyonunu sağlayan proses koşulları belirlenmiştir. Ticari formülasyonla ve genel optimizasyon koşullarında hazırlanan örneklerin analiz edilen yanıtlarının S/N oranları istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

4.2.1. Model sıvılarda renk (L^*), bulanıklık (NTU) ve arayüzey gerilimi (mN/m) yanıtlarının optimizasyonu

Köpük helva üretiminde kullanılan şekerli sıvıların renk (L^*), bulanıklık (NTU) ve arayüzey gerilimi (mN/m) araştırma sonuçlarının ortalamaları ve Taguchi yöntemiyle elde edilen S/N değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. S/N değerlerinin hesaplanmasında,

renk ve arayüzey gerilimi yanıtlarında Eşitlik 3.20, bulanıklık yanıtında ise Eşitlik 3.19 kullanılmıştır. S/N değerlerinin yüksek olması istenilen sonuca yaklaşıldığını göstermektedir. Örneklerin L^* değerleri S/N oranlarının -37.34 dB ile -29.30 dB, bulanıklık sonuçları S/N oranlarının 34.01 dB ile 53.94 dB, arayüzey gerilimi sonuçları S/N oranlarının ise -35.00 dB ile -33.09 dB arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.2. Model sıvılarda renk, bulanıklık ve arayüzey gerilimi yanıtları ortalama sonuçları ve S/N değerleri

Örnek Kodu	Renk		Bulanıklık		Arayüzey gerilimi	
	L^*	S/N (dB)	NTU	S/N (dB)	mN/m	S/N (dB)
1	69.30	-36.81	99.90	39.99	52.68	-34.43
2	70.22	-36.93	90.25	39.17	51.03	-34.16
3	48.28	-33.68	120.2	41.60	46.24	-33.30
4	33.65	-30.54	160.3	44.10	50.78	-34.11
5	51.82	-34.29	211.3	46.50	49.01	-33.80
6	53.56	-34.58	168.8	44.54	45.13	-33.09
7	32.31	-30.19	131.5	42.38	50.06	-33.99
8	36.57	-31.26	312.3	49.89	47.56	-33.54
9	48.46	-33.71	391.3	51.85	54.14	-34.67
10	29.16	-29.30	498.0	53.94	52.88	-34.47
11	43.22	-32.71	166.9	44.45	54.73	-34.76
12	51.15	-34.18	221.8	46.92	51.29	-34.20
13	74.61	-37.46	63.28	36.02	54.23	-34.68
14	77.10	-37.74	59.10	35.43	50.87	-34.13
15	77.00	-37.73	50.15	34.01	52.55	-34.41
16	75.94	-37.61	51.35	34.21	56.26	-35.00

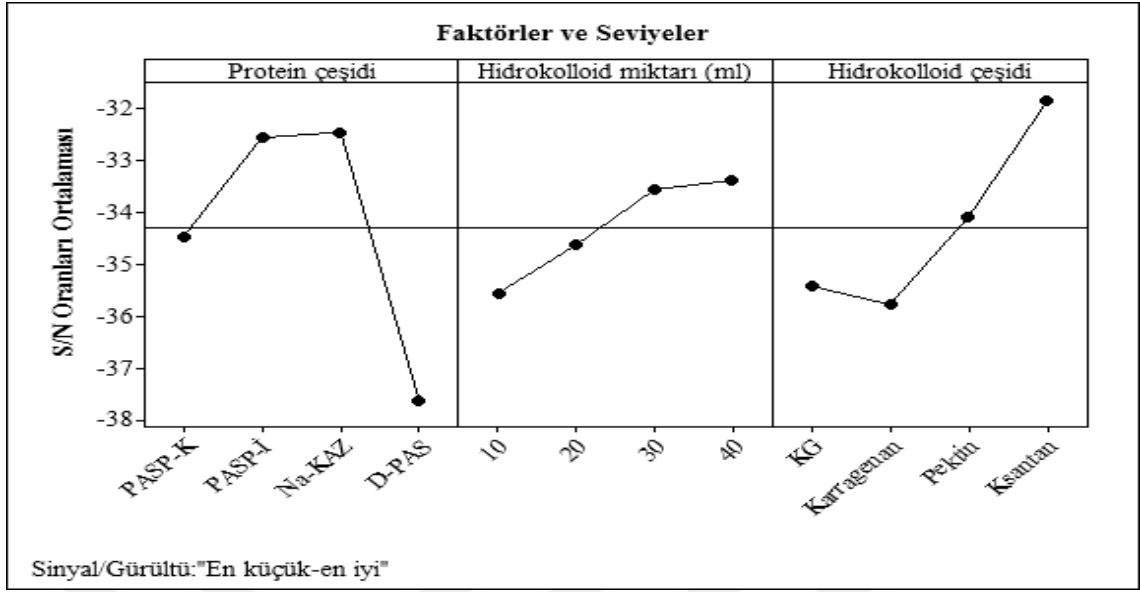
Sıvı karışımların renk (L^*), bulanıklık (NTU) ve arayüzey gerilimi (mN/m) deney sonuçları S/N oranları için yanıt tablosu Çizelge 4.3’de görülmektedir. Protein çeşidinin yanıtlar üzerine en etkili faktör olduğu belirlenmiştir. Bulanıklık ve arayüzey geriliminin belirlenmesinde hidrokolloid miktarının; renk özelliklerinin belirlenmesinde hidrokolloid çeşidinin ikinci dereceden etkili faktör olduğu bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Model sıvılarda renk, bulanıklık ve arayüzey gerilimi yanıtları S/N oranları tablosu

Faktörler	Renk (L^*)			Bulanıklık (NTU)			Arayüzey gerilimi (mN/m)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Seviye 1	-34.49	-35.57	-35.43	39.41	43.59	40.46	-34.00	-34.40	-34.32
Seviye 2	-32.58	-34.64	-35.78	45.54	42.95	42.15	-33.61	-33.96	-34.14
Seviye 3	-32.47	-33.58	-34.10	49.65	38.67	42.85	-34.52	-34.12	-33.91
Seviye 4	-37.63	-33.40	-31.87	34.96	44.36	44.11	-34.56	-34.22	-34.31
Fark	5.16	2.17	3.91	14.69	5.69	3.65	0.95	0.44	0.41
Derece	1	3	2	1	2	3	1	2	3

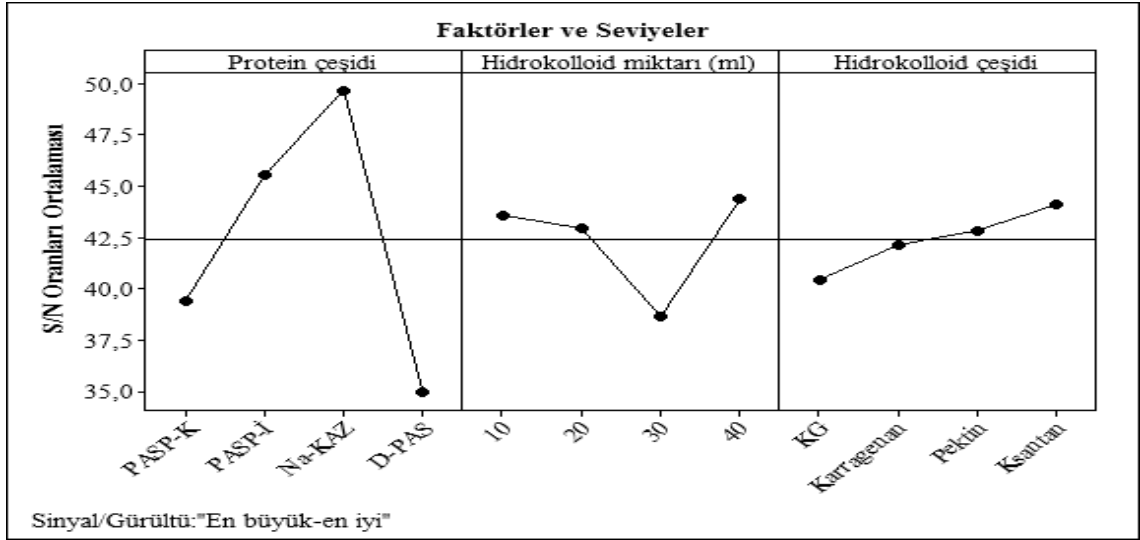
Koyu karakterdeki sayılar en iyi seviyeyi temsil etmektedir. A=Protein çeşidi, B=Hidrokoloid miktarı (ml), C=Hidrokoloid çeşidi

Model faktörlerinin ve seviyelerinin sıvı karışımlarının renk (L^*) ve bulanıklık (NTU) yanıtlarına etkileri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir. Sıvı çözeltilerde renk ve bulanıklık değerleri açısından en etkili proteinin sodyum kazeinat olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, D-PAS kullanılan çözeltilerde L^* değerleri en yüksek, NTU değerleri en düşük bulunmuştur. Hidrokoloid miktarının artmasıyla rengin koyulaştığı görülmektedir. Bulanıklığın 30 ml’ye kadar gam ilavesiyle azaldığı daha yüksek miktarlarda gam varlığında ise arttığı belirlenmiştir. Pektin ve ksantan kullanımıyla ışık geçirgenliği düşük sıvı çözeltiler hazırlanabilmektedir. Süt proteinlerine karragenan veya keçiyoynuzu gamı ilavesiyle L^* ve NTU değerlerinde önemli değişikliklerin olmadığı belirlenmiştir. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 incelendiğinde, sıvı çözeltilerde renk (L^*) ve bulanıklık (NTU) için en ideal faktör-seviye kombinasyonu $A_3B_4C_4$ olarak belirlenmiştir.

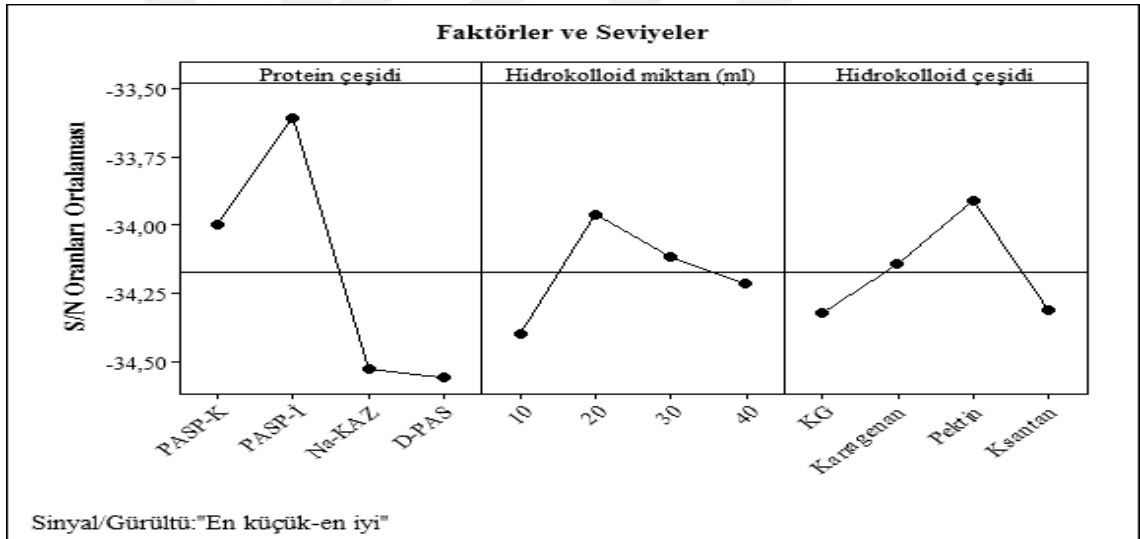


Şekil 4.1. Model sıvılarda renk (L^*) yanıtı S/N oranları grafiği

Köpük helva üretiminde kullanılan çözeltilerin yüzey/arayüzey gerilimleri (mN/m) S/N oranları grafiği Şekil 4.3’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, hava/sıvı arayüzey gerilimini azaltmada en etkili proteinin PASP-İ olduğu görülmektedir. Na-KAZ ve D-PAS mevcut koşullarda arayüzey aktivitesi en düşük proteinler olarak belirlenmiştir. Hidrokolloid oranının belirli bir düzeyde (%0.1) artmasıyla arayüzey özellikleri iyileşirken, daha yüksek oranlarda (>%0.1) gam kullanımının bu özelliği olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Sıvı çözeltilerde yüzey gerilimini düşürmede en etkili polisakkaritin pektin olduğu görülmektedir. Keçiyoynuzu gamı ve ksantan gamın hava/sıvı arayüzeyinde en az etkili kolloidler olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.3’e göre, biyopolimer çözeltilerinde arayüzey gerilimini düşürmede en etkili faktör-seviye kombinasyonu $A_2B_3C_3$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.2. Model sıvılarda bulanıklık (NTU) yanıtı S/N oranları grafiği



Şekil 4.3. Model sıvılarda arayüzey gerilimi (mN/m) yanıtı S/N oranları grafiği

Köpük helva üretiminde kullanılan çözeltilerin renk (L^*), bulanıklık (NTU) ve yüzey/arayüzey gerilimi (mN/m) deney sonuçları S/N oranlarının değerlendirildiği ANOVA tablosu Çizelge 4.4'de verilmiştir. Tablodaki verilere göre, her üç üretim faktörünün de sıvı çözeltilerin rengi üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Süt protein tipinin ve hidrokolloid oranının bulanıklık üzerine anlamlı etkisi olduğu görülmektedir. Şekerli sıvılarda arayüzey geriliminde anlamlı etkisi olan tek parametrenin protein çeşidi olduğu belirlenmiştir. Bu faktörün renk (L^*),

bulanıklık (NTU) ve yüzey gerilimi (mN/m) değerlerine katkı oranları sırasıyla %55.21, %77.17 ve %58.31 bulunmuştur. Kolloid miktarı ve çeşidinin L^* , nefelometre ve tensiometre değerlerine toplam katkı yüzdeleri sırasıyla %39.46, %16.12 ve %19.91 olarak saptanmıştır. Üretim faktörleri dışındaki unsurların model sıvıların renk, bulanıklık ve arayüzey gerilimi değerlerine etkileri sırasıyla %5.33, %6.71 ve %21.78 olarak bulunmuştur. Çizelge 4.4'e göre, üretim parametreleri dışındaki unsurların bulanıklık ve arayüzey gerilimi yanıtlarına etki yüzdesinin hidrokolloid çeşidinin katkısından yüksek olduğu görülmektedir

Çizelge 4.4. Model sıvılarda renk (L^*), bulanıklık (NTU) ve arayüzey gerilimi (mN/m) yanıtları S/N oranları ANOVA tablosu

	Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	Katkı yüzdesi
Renk (L^*)	A	3	69.78	23.26	20.71	0.001	55.21
	B	3	12.22	4.07	3.63	0.008	9.66
	C	3	37.67	12.56	11.18	0.007	29.80
	Hata	6	6.74	1.12			5.33
	Toplam	15	126.4				100
Bulanıklık (NTU)	A	3	506.4	168.8	23.00	0.001	77.17
	B	3	77.88	25.96	3.54	0.008	11.87
	C	3	27.89	9.30	1.27	0.367	4.25
	Hata	6	44.04	7.34			6.71
	Toplam	15	656.2				100
Arayüzey Gerilimi (mN/m)	A	3	2.49	0.83	5.35	0.039	58.31
	B	3	0.40	0.13	0.87	0.507	9.37
	C	3	0.45	0.15	0.96	0.470	10.54
	Hata	6	0.93	0.16			21.78
	Toplam	15	4.27				100

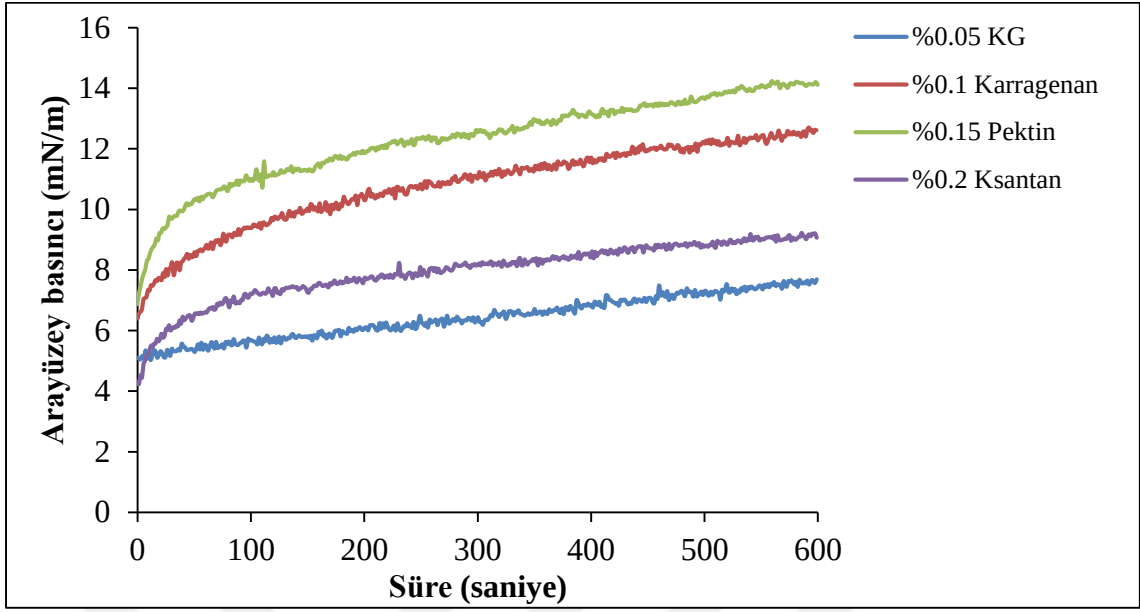
A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi

Süt proteinleri ve farklı oranlarda hidrokolloidlerin kontrol parametreleri olarak kullanıldığı çözeltilerin arayüzey basınçlarının (mN/m) zamana bağlı değişim grafikleri Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmiştir. Test edilen bütün örneklerde, arayüzey ajanlarının hava/sıvı arayüzeyine adsorbsiyonuna bağlı olarak arayüzey

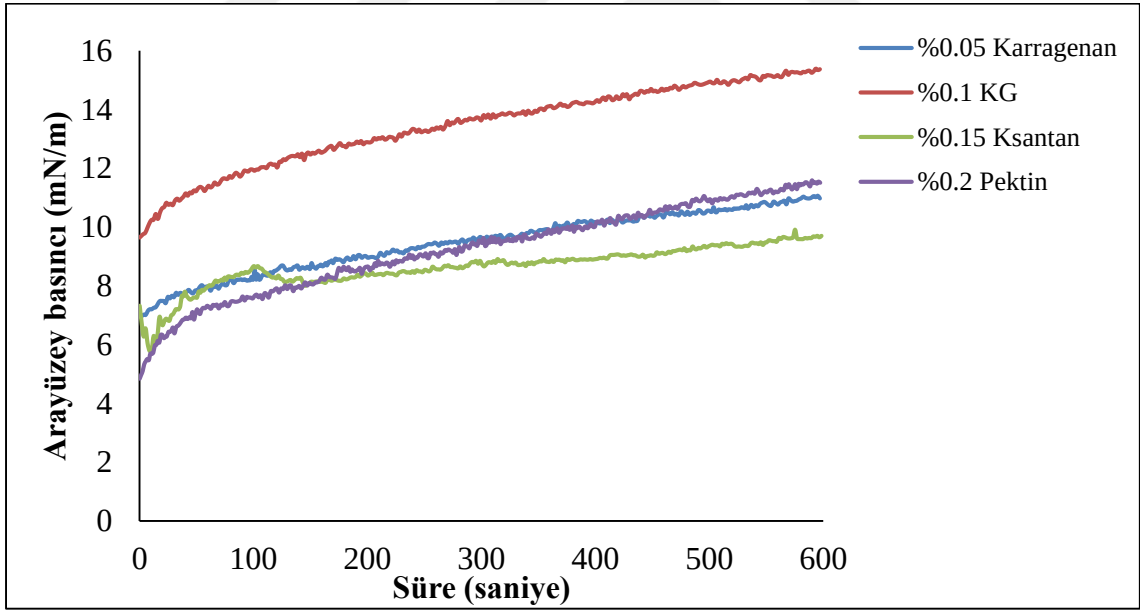
basıncının (mN/m) arttığı görülmektedir. Grafiklerde zaman zaman görülen dalgalanmalar hava/sıvı arayüzeydeki saponin ve proteinlerin (ayrıca yüzey aktif bileşenlerin birbirleriyle ve polisakkaritlerle yaptığı komplekslerin) yerdeğiştirdiğini göstermektedir.

Şekil 4.4 incelendiğinde, 600 saniye süresince arayüzey basıncı (mN/m) en hızlı artan sıvının PASP-K ve pektin (%0.15) içeren örnek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, %0.05 KG içeren 1 nolu sıvı çözeltisinin yüzey basıncının çok az değiştiği anlaşılmaktadır. PASP-İ kullanılarak hazırlanan şekerli sıvı çözeltilerin arayüzey basıncındaki değişimler incelendiğinde arayüzey basıncı (mN/m) en fazla artan örneğin %0.2 pektin içerdiği görülmektedir. Ksantan gam kullanılan çözeltinin arayüzey basıncının 10 dakika süresince çok fazla değişmediği görülmüştür (Şekil 4.5). Karragenan gamının Na-KAZ çözeltilerinin yüzey basıncını artırmada en etkili hidrokoloid olduğu belirlenmiştir. Analiz sonucunda arayüzey basıncı (mN/m) en yüksek çözeltinin de %0.2 karragenan kullanılan örnek olduğu belirlenmiştir. Na-KAZ çözeltilerinde pektinin arayüzey etkinliği en düşük bulunmuştur. Na-KAZ kullanılan örneklerde arayüzey basıncındaki dalgalanmaların daha sık gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 4.6). Şekil 4.7’de, D-PAS ve pektin kullanılan örneklerde arayüzey basıncındaki (mN/m) değişimin en fazla olduğu görülmektedir. Keçiboynuzu gamı kullanılan 16 nolu örnekte arayüzey basıncının (mN/m) çok az artış gösterdiği belirlenmiştir.

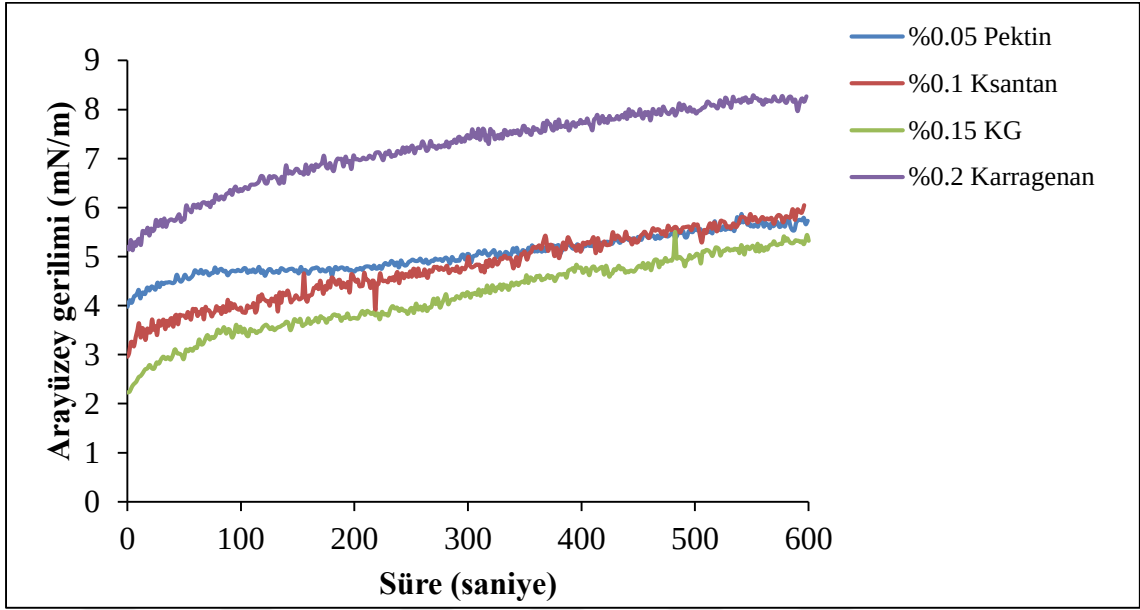
Genel olarak değerlendirildiğinde, köpük helva üretiminde kullanılan model sıvıların hazırlanmasında çöven ekstraktı ile birlikte PASP-K veya PASP-İ kullanılan örneklerde arayüzey basınçlarının (mN/m) Na-KAZ ve D-PAS kullanılanlara göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Pektin kullanımının özellikle peynir altı suyu proteinlerinin yüzey aktivitelerini arttırdığı grafiklerden anlaşılmaktadır. Karragenan kullanımıyla Na-KAZ ile hazırlanan çözeltilerin hava/sıvı yüzey etkinliğinin arttığı saptanmıştır.



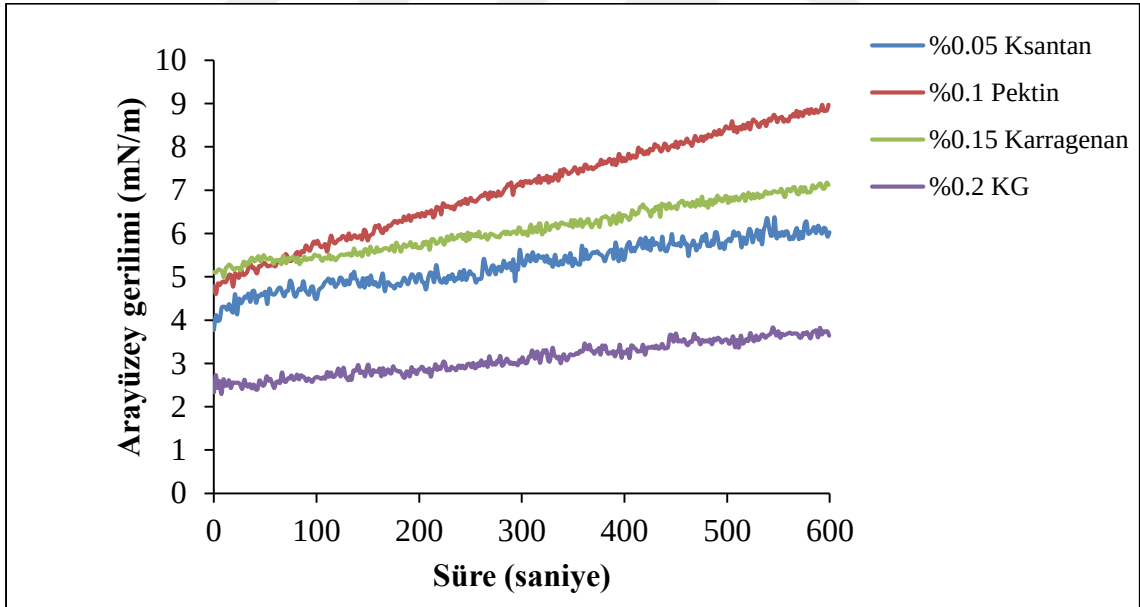
Şekil 4.4. PASP-K ve hidrokolloidlerle hazırlanan model sıvıların arayüzey basıncı (mN/m) değişimi



Şekil 4.5. PASP-İ ve hidrokolloidlerle hazırlanan model sıvıların arayüzey basıncı (mN/m) değişimi



Şekil 4.6. Na-KAZ ve hidrokolloidlerle hazırlanan model sıvıların arayüzey basıncı (mN/m) değişimi



Şekil 4.7. D-PAS ve hidrokolloidlerle hazırlanan model sıvıların arayüzey basıncı (mN/m) değişimi

4.2.2. Model sıvılarda reolojik özelliklerin optimizasyonu

Bu bölümde; köpük helva üretiminde kullanılan model sıvıların yatışkın hal (steady state) reolojik özellikleri ve dinamik kayma (dynamic shear) reolojik özelliklerinin optimize edilmesi amaçlanmıştır.

Model sıvılarda yatışkın hal (steady state) reolojik özelliklerin optimizasyonu

Bu kısımda, köpük helva üretiminde kullanılan şekerli sıvılarda model faktör ve seviyelerinin yatışkın hal (steady state) reolojik özelliklerine [akma direnci (τ_0), kıvam katsayısı (K), akış davranış indeksi (n) ve görünür viskozite (η_{11})] etkileri araştırılmıştır. Model sıvıların 25 °C’de Newton tipi olmayan akış davranış özelliği gösterdikleri ve yüksek R^2 ortalamasıyla ($R^2>0.99$) Herchel-Bulkley akış modeline uyum sağladıkları belirlenmiştir.

Model ürün üretiminde kullanılan faktör ve seviyelerin akma direnci (τ_0), kıvam katsayısı (K), akış davranış indeksi (n) ve görünür viskozite (η_{11}) yanıtları ortalama sonuçları ve S/N değerleri Çizelge 4.5’de verilmiştir. τ_0 , K ve η_{11} yanıtları için Eşitlik 3.19, n yanıtı için Eşitlik 3.20 formülleri kullanılarak S/N oranları belirlenmiştir. Model sıvılarda ksantan gam kullanılan 4, 7, 10 ve 13 nolu örneklerde S/N oranlarının diğer örneklerle göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.5. Model sıvıların yatışkın hal reolojik özellikleri ortalama sonuçları ve S/N değerleri

Örnek Kodu	Akma direnci (τ_0)		Kıvam katsayısı (K)		Akış davranış indeksi (n)		Görünür viskozite (η_{11})	
	Pa	S/N (dB)	(Pa s ⁿ)	S/N (dB)	-	S/N (dB)	(Pa s)	S/N (dB)
1	0.301	-10.43	0.099	-20.12	1.039	-0.33	0.144	-16.83
2	0.227	-12.86	0.146	-16.71	0.954	0.41	0.159	-15.97
3	0.489	-6.21	0.109	-19.25	1.065	-0.55	0.175	-15.14
4	2.476	7.87	0.584	-4.67	0.818	1.74	0.589	-4.60
5	0.545	-5.27	0.112	-18.98	0.989	0.10	0.144	-16.83
6	0.786	-2.09	0.301	-10.42	0.910	0.82	0.296	-10.57
7	1.157	1.27	0.781	-2.15	0.754	2.46	0.575	-4.81
8	0.387	-8.24	0.301	-10.42	0.836	1.55	0.231	-12.73
9	0.187	-14.56	0.226	-12.90	0.942	0.51	0.191	-14.38
10	0.926	-0.66	1.133	1.08	0.800	1.94	0.802	-1.92
11	0.257	-11.79	0.288	-10.81	0.902	0.90	0.257	-11.80
12	0.198	-14.08	0.352	-9.08	0.878	1.13	0.283	-10.96
13	0.893	-0.98	0.497	-6.07	0.860	1.31	0.533	-5.47
14	0.341	-9.34	0.124	-18.14	0.959	0.36	0.143	-16.89
15	0.202	-13.91	0.138	-17.23	0.948	0.47	0.192	-14.33
16	0.312	-10.12	0.382	-8.35	0.860	1.31	0.267	-11.47

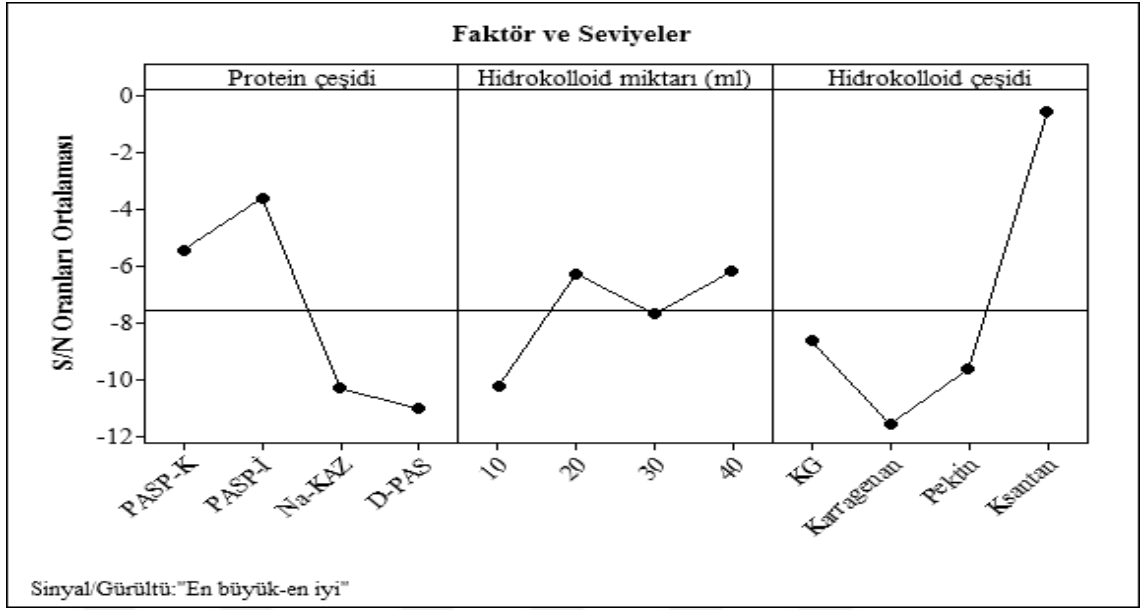
Köpük helva yapımında kullanılan sıvıların akma direnci (τ_0), kıvam katsayısı (K), akış davranış indeksi (n) ve görünür viskozite (η_{11}) sonuçlarının S/N oranları için yanıtlar Çizelge 4.6’da verilmiştir. Örneklerin yatışkın hal reolojik özellikleri üzerine en etkili faktörün hidrokolloid çeşidi olduğu belirlenmiştir. Hidrokolloid miktarının akma direncine ve kıvam katsayısına, hidrokolloid çeşidinin ise akış davranış indeksi ve görünür viskozite üzerine en az etkili üretim faktörleri oldukları tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6. Model sıvılarda yatışkın hal reolojik özellikleri S/N oranları yanıt tablosu

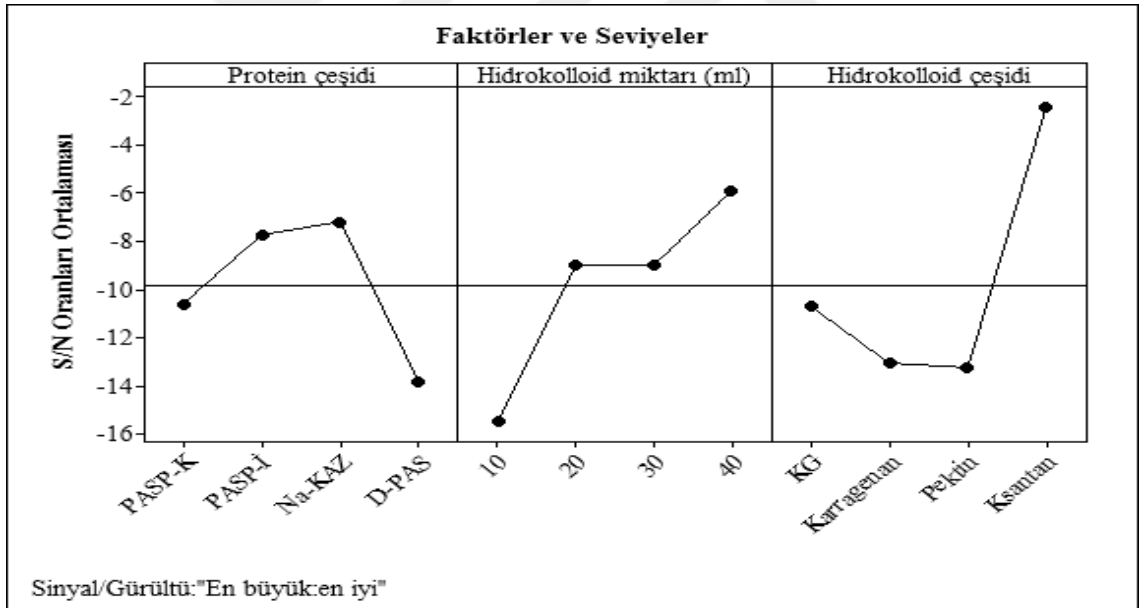
Faktörler	Akma direnci			Kıvam katsayısı			Akış davranış indeksi			Görünür viskozite		
	Pa			Pa.s ⁿ			-			Pa.s		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Seviye 1	-5.41	-7.81	-8.61	-15.19	-14.52	-12.43	0.32	0.40	0.67	-13.14	-13.38	-12.67
Seviye 2	-2.59	-6.24	-11.53	-10.49	-11.05	-15.50	1.23	0.88	0.53	-11.24	-11.34	-14.53
Seviye 3	-10.27	-6.67	-9.59	-7.93	-12.36	-15.18	1.12	0.82	0.47	-9.77	-11.52	-14.79
Seviye 4	-8.59	-6.14	2.87	-12.45	-8.13	-2.95	0.86	1.43	1.86	-12.04	-9.94	-4.20
Fark	7.68	1.67	14.40	7.26	6.39	12.55	0.91	1.03	1.39	3.37	3.44	10.59
Derece	2	3	1	2	3	1	3	2	1	3	2	1

Koyu karakterdeki sayılar en iyi seviyeyi temsil etmektedir. A=Protein çeşidi, B=Hidrokoloid miktarı (ml), C=Hidrokoloid çeşidi

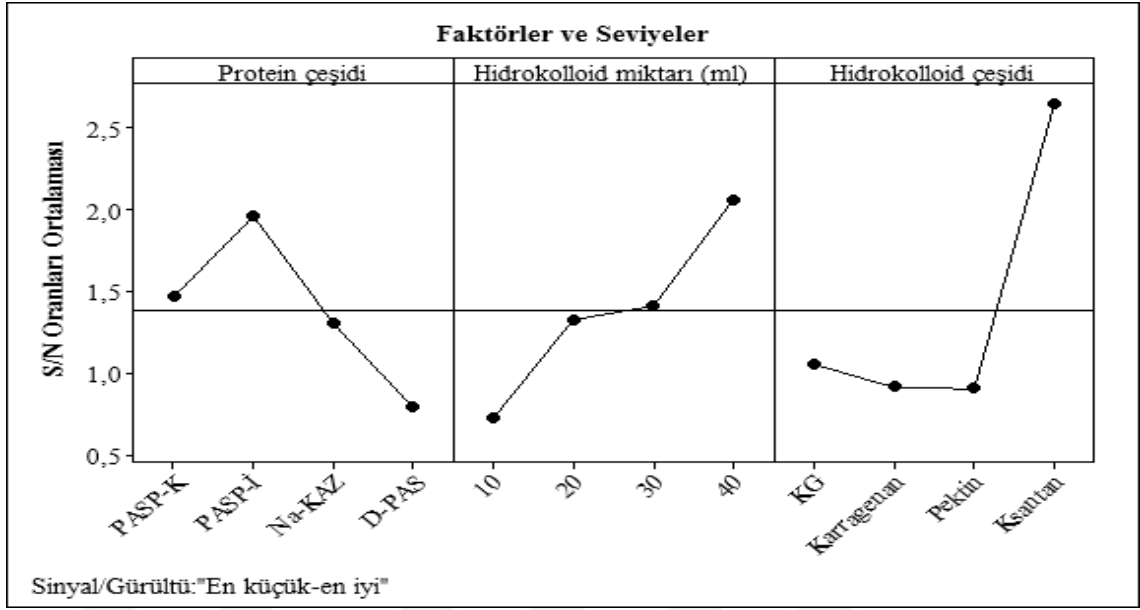
Model sıvıların akma direnci (τ_0), kıvam katsayısı (K), akış davranış indeksi (n) ve görünür viskozite (η_{11}) yanıtları S/N oranları ortalamaları sırasıyla Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, yatışkın hal akış özellikleri üzerine en etkili polisakkarit çeşidinin ksantan gam olduğu anlaşılmaktadır. Sıvıların akma dirençleri üzerine en etkili protein çeşidi PASP-İ bulunmuştur. Ayrıca artan gam konsantrasyonunda akma direncinin arttığı görülmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, Na-KAZ ve artan miktarlarda ksantan gam kullanımıyla kıvam katsayısı ve görünür viskozite değeri en yüksek, akış davranış indeksi en düşük sıvıların hazırlanabileceği anlaşılmaktadır. τ_0 için optimum üretim koşulları A₂B₄C₄ iken K, n ve η_{11} değerleri açısından en uygun faktör-seviye kombinasyonu A₃B₄C₄ olarak belirlenmiştir.



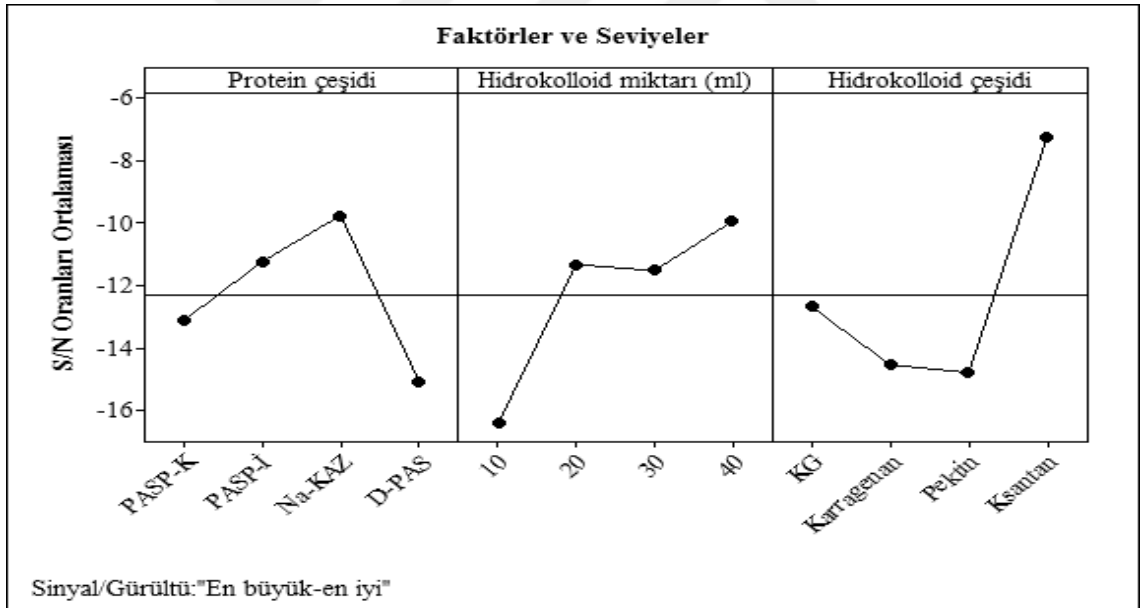
Şekil 4.8. Model sıvılarda akma direnci (τ_0) yanıtı S/N oranları grafiği



Şekil 4.9. Model sıvılarda kıvam katsayısı (K) yanıtı S/N oranları grafiği



Şekil 4.10. Model sıvılarda akış davranış indeksi (n) yanıtı S/N oranları grafiği



Şekil 4.11. Model sıvılarda görünür viskozite değerleri (η_{11}) yanıtı S/N oranları grafiği

Köpük helva üretiminde kullanılan sıvılarda akma direnci (τ_0), kıvam katsayısı (K), akış davranış indeksi (n) ve görünür viskozite (η_{11}) yanıtları deney sonuçları S/N oranları ANOVA tablosu Çizelge 4.7’de gösterilmektedir. Tabloya göre, hidrokolloid çeşidinin akma direnci (τ_0) ve görünür viskozite (η_{11}) S/N oranlarına katkısı istatistiksel olarak önemli

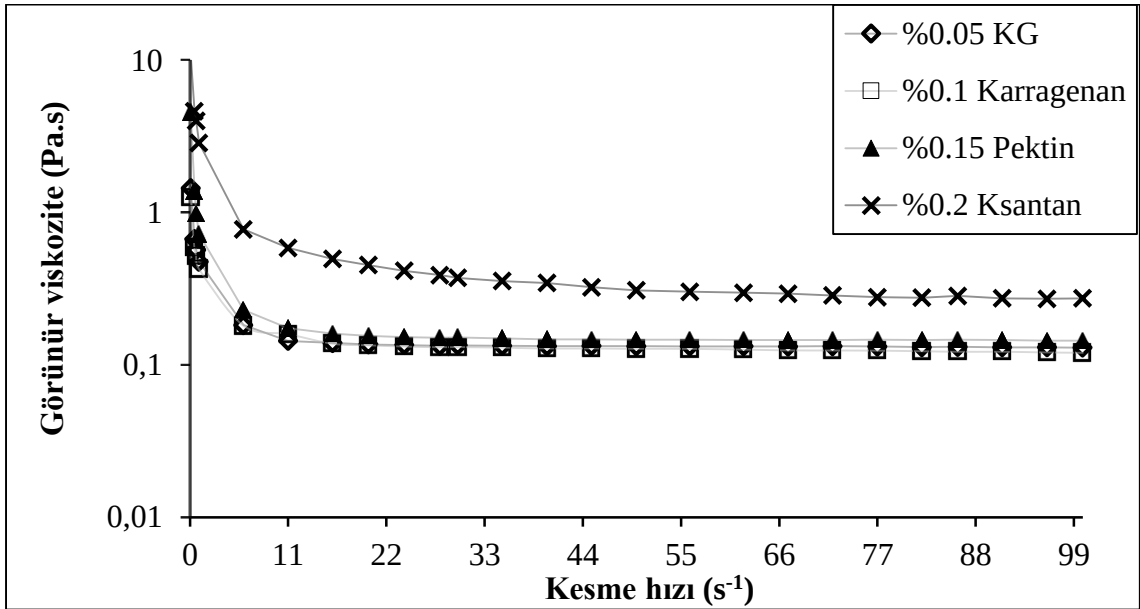
bulunmuştur ($p<0.05$). Bununla birlikte, üretim parametrelerinin tamamının kıvam katsayısı ve akış davranış indeksine etkisinin istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Üretimde kullanılan gam çeşidinin bütün yanıtlar üzerine en büyük etkiye sahip olduğu görülmektedir. Hidrokolloid miktarının akma direnci (τ_0), kıvam katsayısı (K) ve görünür viskozite (η_{11}) yanıtları S/N oranlarına en düşük etkiye sahip üretim faktörü olduğu belirlenmiştir. Model parametreleri dışındaki unsurların %8.50 katkı yüzdesiyle özellikle akma direnci üzerine etkili oldukları belirlenmiştir.

Çizelge 4.7. Model sıvılarda yatışkın hal reolojik özellikler S/N oranları ANOVA tablosu

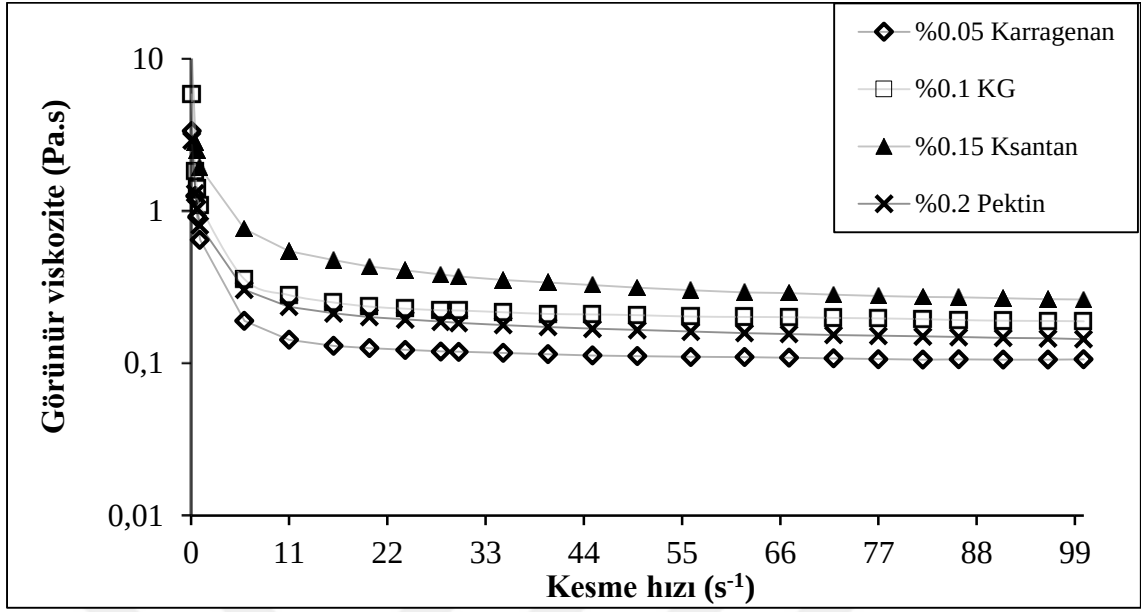
Yanıtlar	Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	Katkı yüzdesi
Akma direnci (Pa)	A	3	139.48	46.49	4.59	0.054	19.52
	B	3	7.045	2.35	0.23	0.871	0.99
	C	3	507.2	169.1	16.70	0.003	70.99
	Hata	6	60.74	10.12			8.50
	Toplam	15	714.5				100
Kıvam katsayısı (Pa.s ⁿ)	A	3	113.2	37.72	9.34	0.011	17.77
	B	3	85.72	28.57	7.07	0.021	13.46
	C	3	413.7	137.9	34.14	0.000	64.96
	Hata	6	24.24	4.04			3.81
	Toplam	15	636.9				100
Akış davranış indeksi	A	3	1.99	0.66	5.04	0.045	17.21
	B	3	2.16	0.72	5.47	0.037	22.51
	C	3	5.21	1.73	13.17	0.005	53.80
	Hata	6	0.79	0.13			6.48
	Toplam	15	10.15				100
Görünür viskozite (Pa.s)	A	3	24.15	8.05	3.93	0.073	6.72
	B	3	23.91	7.97	3.89	0.074	6.65
	C	3	298.6	99.5	48.56	0.000	83.20
	Hata	6	12.30	2.05			3.43
	Toplam	15	358.9				100

Model sıvıların görünür viskozitelerinin kesme hızına (s^{-1}) bağlı değişimleri Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, bütün

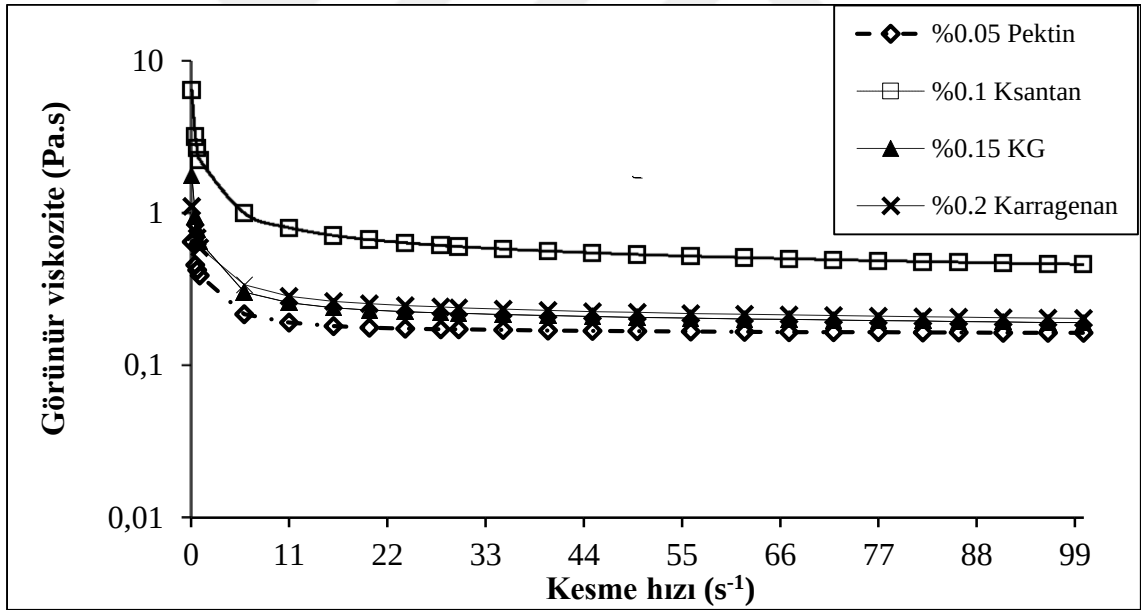
örneklerin görünür viskozite değerlerinin kesme hızına bağlı olarak azaldığı saptanmıştır. Zamana bağlı olarak kayma geriliminin artmasıyla görünür viskozite değerlerinde azalma görülmesi çözeltilerin kayma ile incelme (shear thinning) akma davranışı gösterdiklerini kanıtlamaktadır. Ksantan gam düşük miktarlarda yüksek viskozitede çözeltiler oluşturabildiğinden model sıvıların viskozitelerini önemli düzeyde etkilemektedir. Model sıvılarda ksantan gam ile hazırlanan örneklerin görünür viskoziteleri ölçüm süresince bütün kesme hızlarında ($0.1-100 \text{ s}^{-1}$) diğer kolloidlerle hazırlananlara göre daha yüksek bulunmuşlardır.



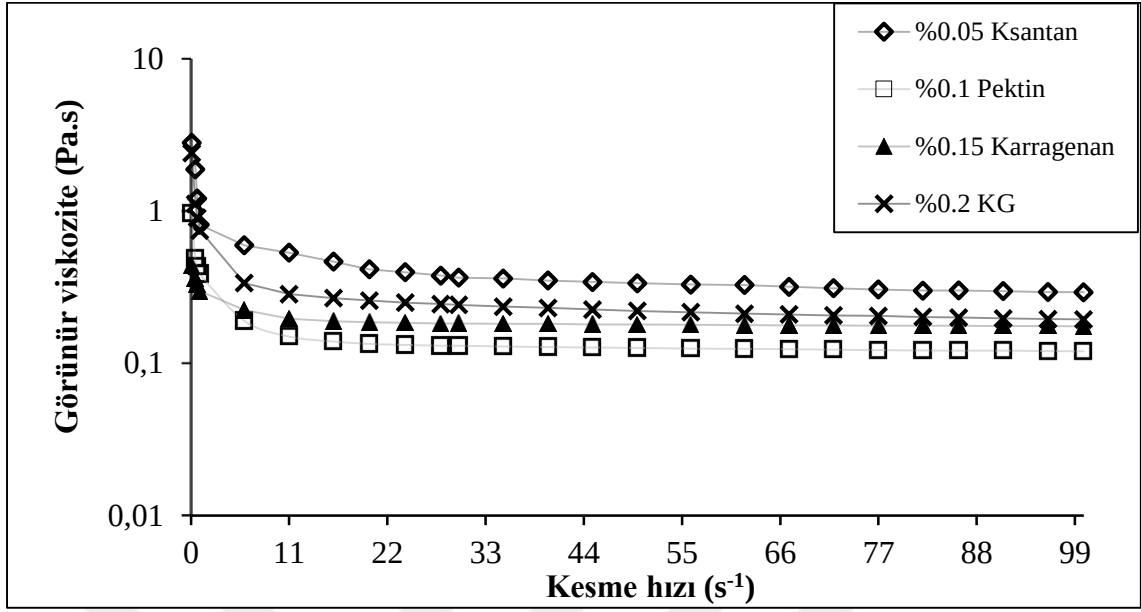
Şekil 4.12. PASP-K ve hidrokolloidlerle hazırlanan model sıvıların viskozite değişimleri



Şekil 4.13. PASP-I ve hidrokolloidlerle hazırlanan model sıvıların viskozite değişimleri



Şekil 4.14. Na-KAZ ve hidrokolloidlerle hazırlanan model sıvıların viskozite değişimleri



Şekil 4.15. D-PAS ve hidrokolloidlerle hazırlanan model sıvıların viskozite değişimleri

Model sıvılarda dinamik titreşimli reolojik özelliklerin optimizasyonu

Köpük helva üretiminde kullanılan sıvıların dinamik kayma (dynamic shear) reolojik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan analiz sonuçlarının ortalamaları ve S/N değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Köpük helva üretmek amacıyla kullanılan şekerli sıvıların elastik özelliklerini temsil eden depo modülü (G') sonuçlarının değerlendirilmesinde S/N oranı için Eşitlik 3.19 kullanılmıştır. Sıvıların viskoz karakterini gösteren viskoz modülü (G'') ve viskoelastik özelliğini temsil eden kayıp tanjant ($\tan(\delta)$) sonuçlarının yorumlanmasında kullanılan S/N oranlarını belirlemede Eşitlik 3.20 tercih edilmiştir. Ksantan gam kullanılarak hazırlanan 4 nolu örneğin depo modül (G') ve kayıp tanjant ($\tan \delta$) yanıtları S/N değerlerinin diğer örneklerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu örneğin en yüksek viskoz modül (G'') yanıtına (38.71 Pa) sahip olduğu da belirlenmiştir.

Çizelge 4.8. Model sıvılarda dinamik reolojik özelliklerin ortalama sonuçları ve S/N değerleri

Örnek Kodu	Depo modül		Viskoz modül		Kayıp tanjant	
	G' (Pa)	S/N (dB)	G'' (Pa)	S/N (dB)	tan(δ)	S/N (dB)
1	30.80	29.77	13.05	-22.31	0.43	7.32
2	47.36	33.51	20.96	-26.43	0.45	6.98
3	54.59	34.74	20.80	-26.36	0.40	7.91
4	106.98	40.59	38.71	-31.76	0.37	8.68
5	46.24	33.30	17.28	-24.75	0.38	8.41
6	36.05	31.14	15.19	-23.63	0.42	7.52
7	47.82	33.59	17.84	-25.03	0.38	8.51
8	17.40	24.81	10.73	-20.61	0.62	4.16
9	18.56	25.37	13.25	-22.45	0.75	2.56
10	9.68	19.72	10.66	-20.55	1.11	-0.89
11	5.67	15.08	7.41	-17.39	1.36	-2.69
12	6.82	16.67	8.71	-18.80	1.33	-2.48
13	29.43	30.15	13.57	-23.54	0,47	6.57
14	72.05	37.15	30.90	-29.80	0.43	7.40
15	40.26	32.10	17.11	-24.66	0.43	7.37
16	26.74	28.54	16.05	-24.11	0.59	4.52

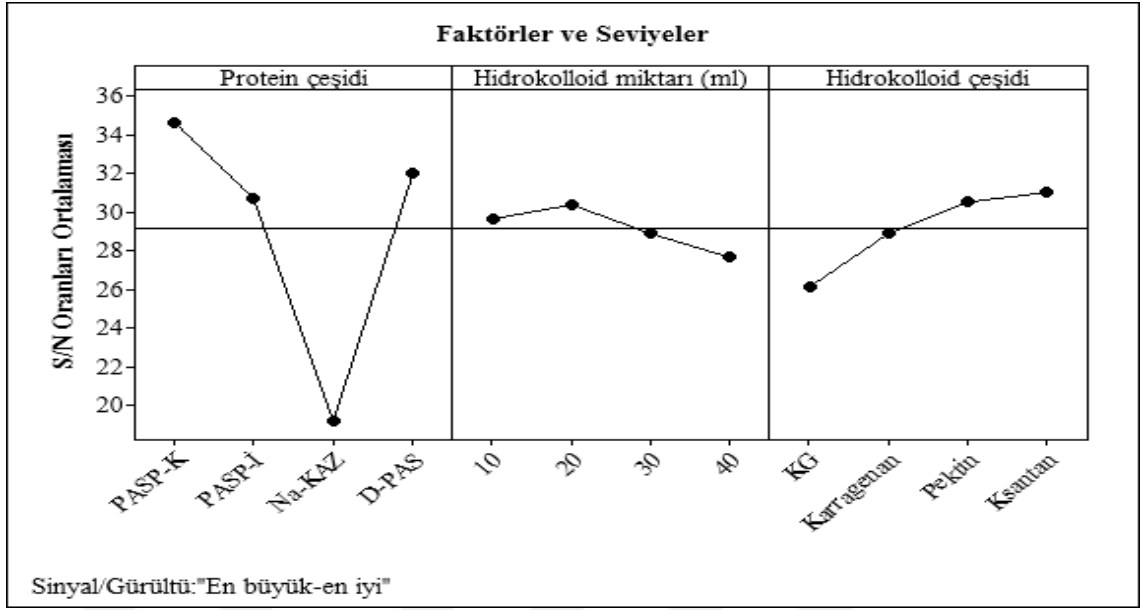
Depo modül (G'), viskoz modül (G'') ve kayıp tanjant ($\tan \delta$) sonuçlarının S/N oranı yanıtları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, model sıvıların dinamik reolojik özellikleri üzerine en etkili parametrenin protein çeşidi olduğu görülmektedir. Hidrokolloid konsantrasyonunun model sıvıların G' ve G'' değerlerinin belirlenmesinde en az etkiye sahip kontrol faktörü olduğu belirlenmiştir. Viskoz modülün elastik modüle oranını temsil eden $\tan (\delta)$ değerinin hesaplanmasında hidrokolloid çeşidinin üçüncü dereceden etkili oldukları görülmektedir.

Çizelge 4.9. Model sıvılarda dinamik reolojik özellikleri S/N oranları yanıt tablosu

Faktörler	Depo modül			Viskoz modül			Kayıp tanjant		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Seviye 1	34.65	29.65	26.13	-26.71	-23.26	-21.86	7.72	6.21	4.16
Seviye 2	30.71	30.38	28.89	-23.50	-25.10	-23.66	7.14	5.25	5.06
Seviye 3	19.21	28.88	30.52	-19.80	-23.36	-24.80	0.87	5.27	5.50
Seviye 4	31.98	27.65	31.01	-25.53	-23.82	-25.22	6.46	3.71	5.71
Fark	15.44	2.73	4.88	6.91	1.84	3.36	8.59	2.49	1.55
Derece	1	3	2	1	3	2	1	2	3

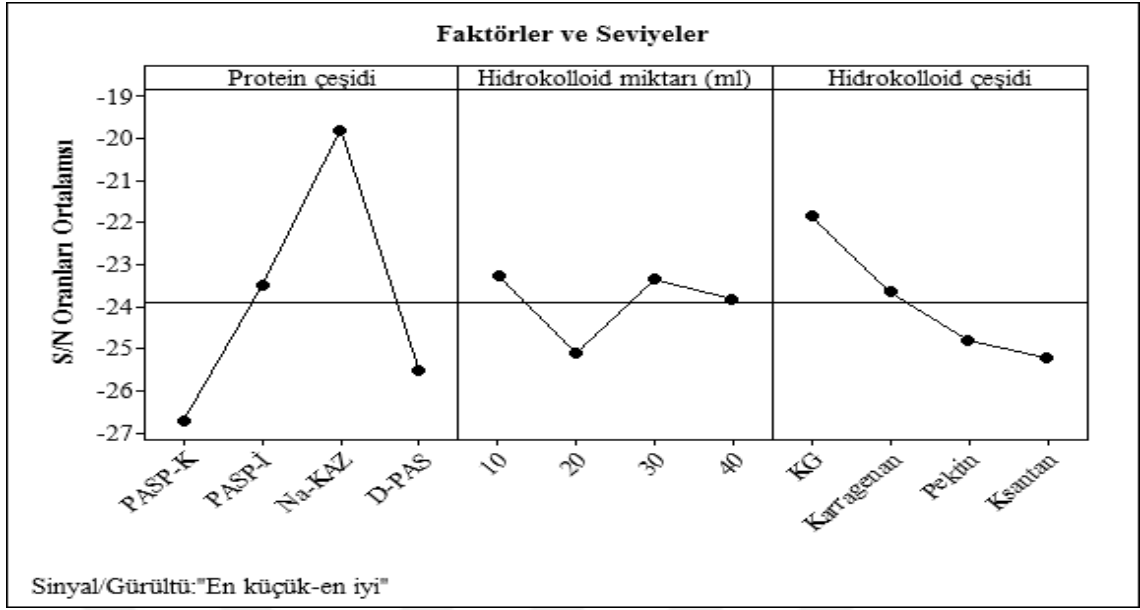
Koyu karakterdeki sayılar en iyi seviyeyi temsil etmektedir. A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi

Köpük helva üretiminde kullanılan şekerli sıvıların elastik özellikleri için faktörlerin sinyal/gürültü (S/N) değerleri Şekil 4.16'da verilmiştir. Ticari peynir altı suyu protein tozlarıyla hazırlanan örneklerde G' değeri S/N oranları ortalamanın üzerinde bulunmuştur. Sodyum kazeinatın sıvıların elastik özellikleri üzerine etkisi en düşük protein çeşidi olduğu görülmektedir. Model sıvılarda elastik özelliğin %0.1 konsantrasyona kadar hidrokolloid çözeltisi ilavesiyle arttığı daha yüksek oranda gam ilavesiyle azaldığı tespit edilmiştir. Ksantan gam ve pektin içeren sıvılarda G' değeri S/N oranı yüksek bulunmuştur. Model sıvıların elastik özelliğine etkisi en az olan sakkarit çeşidinin keçiyoynuzu gamı olduğu görülmektedir. Model parametreleri dikkate alındığında; çöven ekstraktı, PASP-K ve ksantan gam (%0.1) kullanılarak hazırlanan sıvı çözeltinin elastik modül (G') açısından en ideal faktör-seviye kombinasyonuna sahip örnek olduğu söylenebilmektedir (A₁B₂C₄).



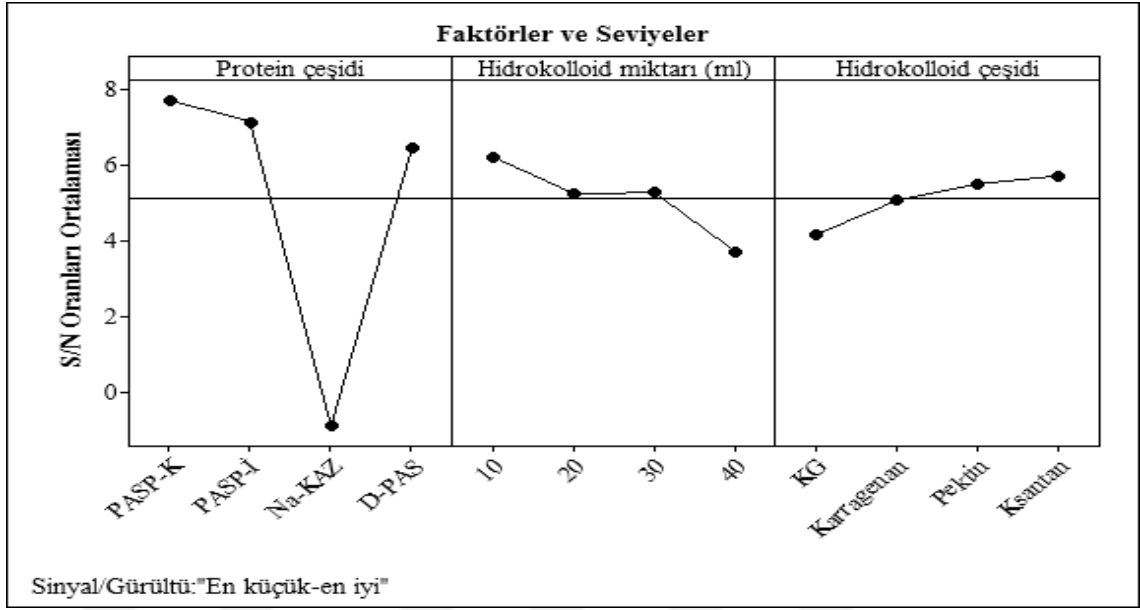
Şekil 4.16. Model sıvılarda depo modülü (G') yanıtı S/N oranları grafiği

Köpük helva üretiminde kullanılan çözeltilerin viskoz modül (G'') S/N oranları değişimleri Şekil 4.17'de verilmiştir. Na-KAZ kullanılarak hazırlanan örneklerin daha düşük viskoz modül değerine sahip oldukları belirlenmiştir. Hidrokolloid çözeltisindeki artışın G'' üzerine etkisi tam olarak belirlenememiştir. Keçiyoynuzu gamı kullanılarak hazırlanan çözeltilerin viskoz modül S/N oranları daha düşük olduğu saptanmıştır. Na-KAZ ve KG (%0.05) içeren sıvıların reoloji analizinde optimum viskoz modül (G'') sonuçlarının elde edilebileceği belirlenmiştir ($A_3B_1C_1$).



Şekil 4.17. Model sıvılarda viskoz modülü (G'') yanıtı S/N oranları grafiği

Model sıvıların viskoelastik özellikleri için faktörlerin sinyal/gürültü değerleri Şekil 4.18'de görülmektedir. Peynir altı suyu proteinleri, özellikle PASP-K, kullanımıyla daha elastik özellikte sıvıların hazırlanabildiği belirlenmiştir. Hidrokolloid miktarının artması $\tan(\delta)$ değerinin yükselmesiyle sonuçlanmaktadır. Model sıvıların pektin ve ksantan kullanımıyla katı benzeri dinamik davranış sergilediği görülmektedir. Keçiyoynuzu gamı kullanımıyla kayıp tanjant değerlerinin arttığı bulunmuştur. Çöven ekstraktı, PASP-K ve ksantan gam (%0.05) kullanılarak hazırlanan çözeltilerin viskoelastik özelliklerinin optimum olması beklenmektedir ($A_1B_1C_4$).



Şekil 4.18. Model sıvılarda kayıp tanjant ($\tan(\delta)$) yanıtı S/N oranları grafiği

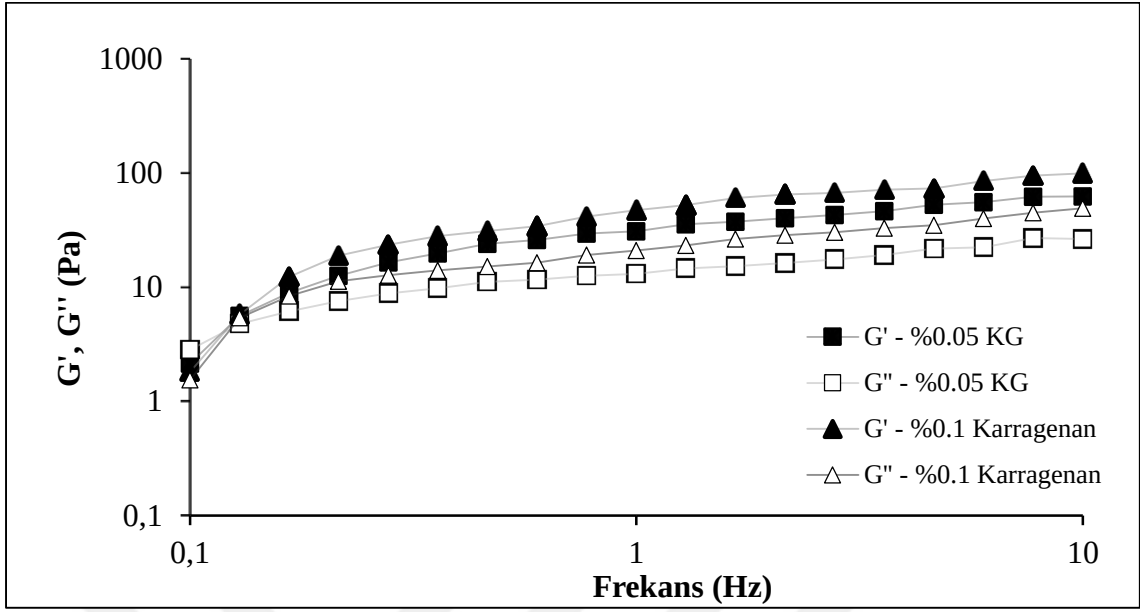
Köpük helva üretiminde kullanılan model sıvıların viskoelastik özellikleri deney sonuçlarının S/N oranları ANOVA tablosu Çizelge 4.10'da verilmiştir. Tablodaki sonuçlar değerlendirildiğinde, protein çeşidinin elastik modül (G') ve kayıp tanjant ($\tan(\delta)$) S/N değerleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Viskoz modül (G'') üzerine anlamlı etkisi olan kontrol parametresi bulunmamaktadır. Bütün yanıtlar üzerine en büyük etkiyi gösteren üretim parametresinin protein çeşidi olduğu görülmektedir. Model sıvıların G' , G'' ve $\tan(\delta)$ sonuçları S/N oranları üzerine süt protein tipinin katkı oranı sırasıyla %72.28, %53.31 ve %83.92 bulunmuştur. Gam tipi ve konsantrasyonun viskoelastik özellikler S/N oranlarına toplam katkı yüzdesi sırasıyla 9.63, 17.27 ve 7.97 olarak hesaplanmıştır. Varyans analizi sonucunda, üretim faktörleri dışındaki unsurların bu yanıtlara etki oranı sırasıyla %18.09, %29.45 ve %8.13 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.10. Model sıvılarda dinamik reolojik özellikler S/N oranları ANOVA tablosu

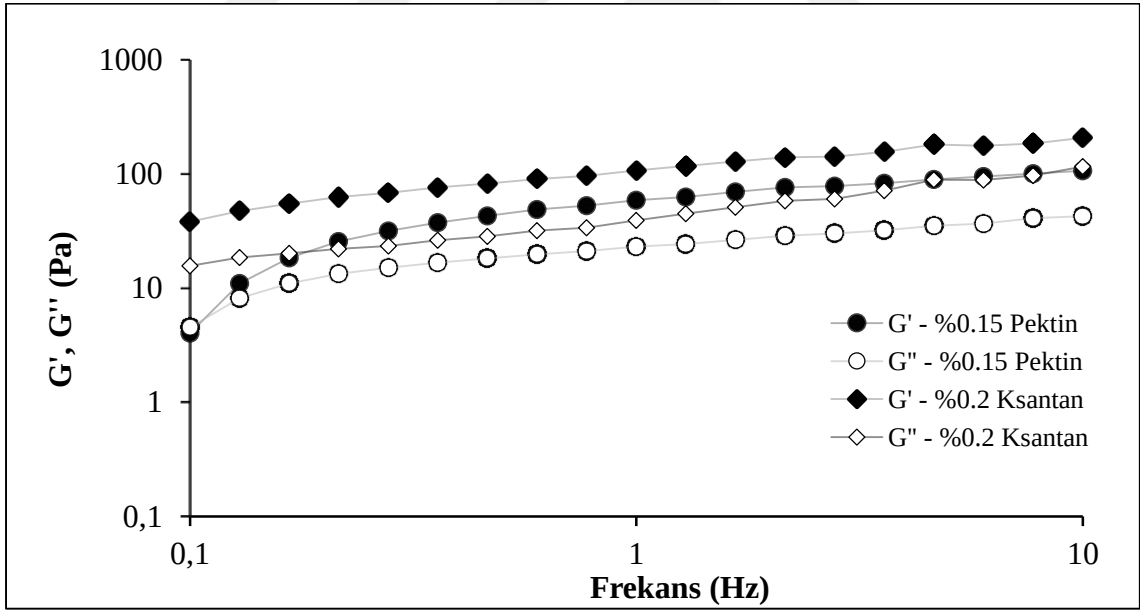
	Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	Katkı yüzdesi
Depo modül	A	3	558.2	186.08	7.99	0.016	72.28
	B	3	16.30	5.44	0.23	0.870	2.12
	C	3	58.03	19.34	0.83	0.524	7.51
	Hata	6	139.7	23.30			18.09
	Toplam	15	772.3				100
Viskoz modül	A	3	110.2	36.73	3.62	0.084	53.31
	B	3	8.59	2.86	0.28	0.837	4.16
	C	3	27.10	9.03	0.89	0.498	13.11
	Hata	6	60.88	10.15			29.45
	Toplam	15	206.7				100
Kayıp tanjant	A	3	194.6	64.86	20.64	0.001	83.92
	B	3	12.79	4.26	1.36	0.342	5.52
	C	3	5.67	1.89	0.60	0.638	2.45
	Hata	6	18.85	3.14			8.13
	Toplam	15	231.9				100

A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi

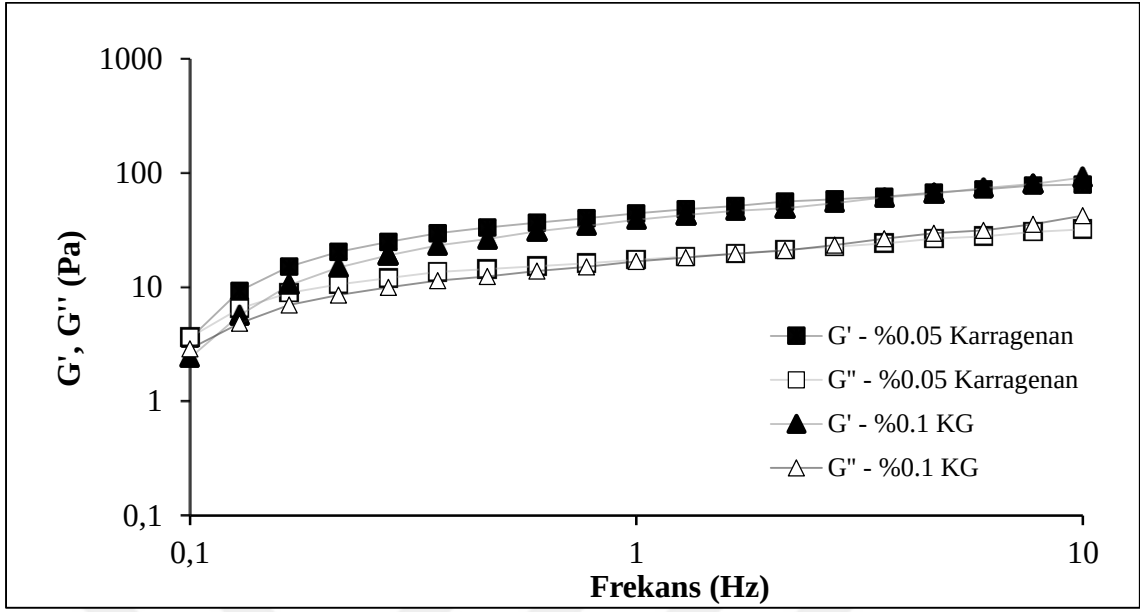
Köpük helva üretiminde kullanılan şekerli sıvıların dinamik reolojik özelliklerine ait frekans tarama testi grafikleri Şekil 4.19 ile Şekil 4.26 arasında verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, 0.1-10 Hz aralığında örneklerde genel olarak depo modül (G') değerinin viskoz modül (G'') değerinden yüksek olduğu görülmektedir. Farklı olarak, Na-Kaz içeren örneklerde frekans tarama testinin genelinde G'' değeri daha fazla bulunmuştur (Şekil 4.23 ve Şekil 4.24). Ayrıca, PASP-K ve PASP-İ ile hazırlanan şekerli sıvılarda ksantan gam kullanımıyla hem G' hem de G'' değerinin diğer gam örneklerine göre yüksek olduğu görülmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, peynir altı suyu proteinleriyle oluşturulan şekerli sıvılarda elastik özellik baskınken sodyum kazeinatla hazırlananlarda viskoz karakterin baskın olduğu belirlenmiştir.



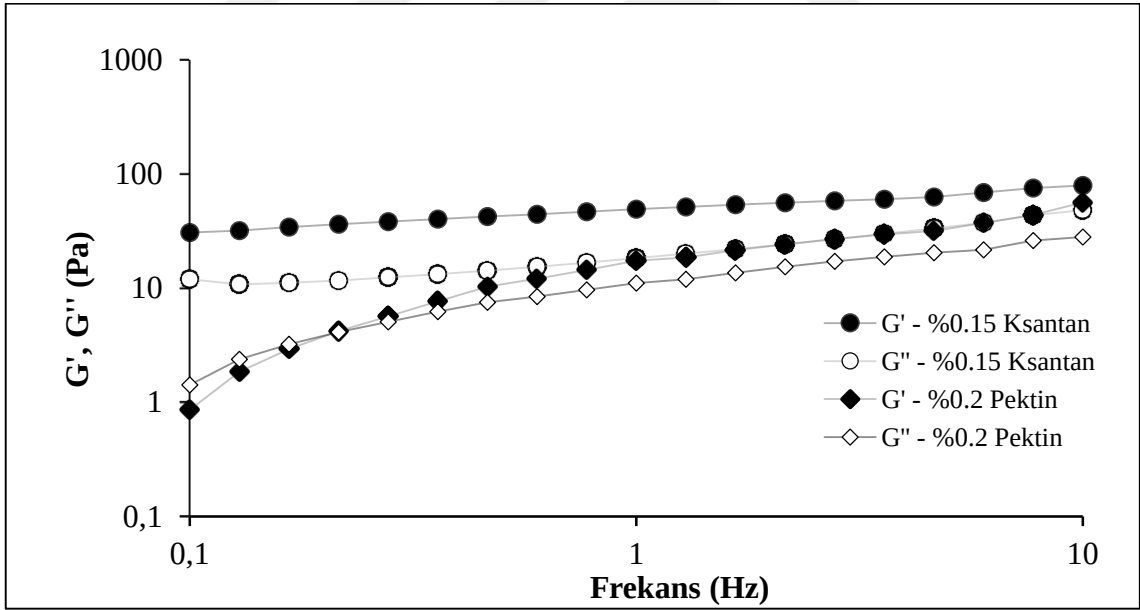
Şekil 4.19. PASP-K ile keçiyoynuzu gamı veya karragenan kullanılarak hazırlanan model sıvıların frekans tarama testleri



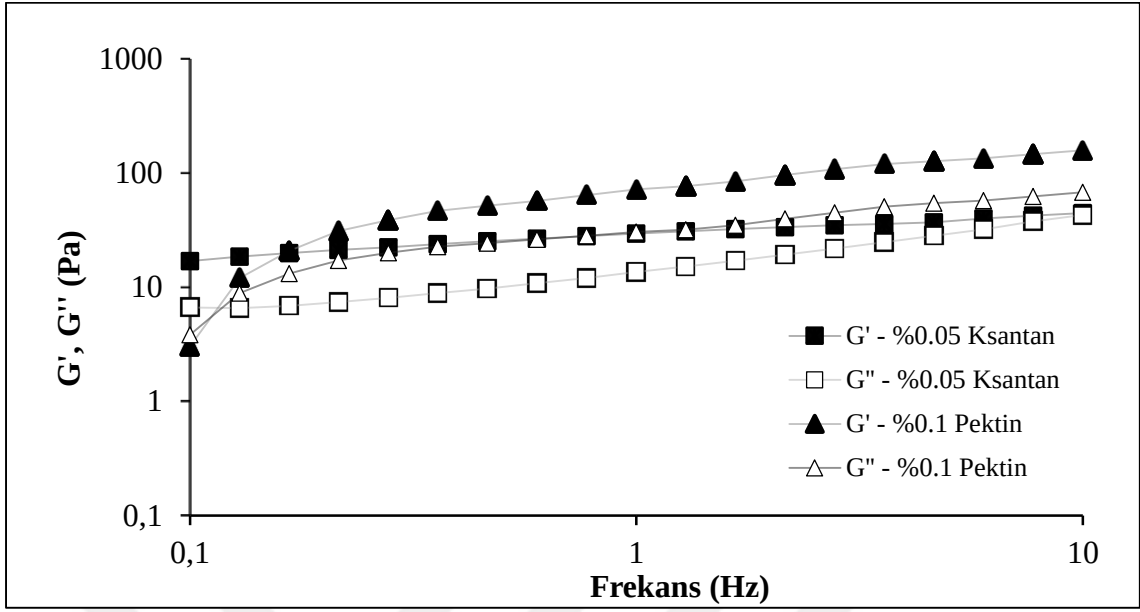
Şekil 4.20. PASP-K ile pektin veya ksantan gam kullanılarak hazırlanan model sıvıların frekans tarama testleri



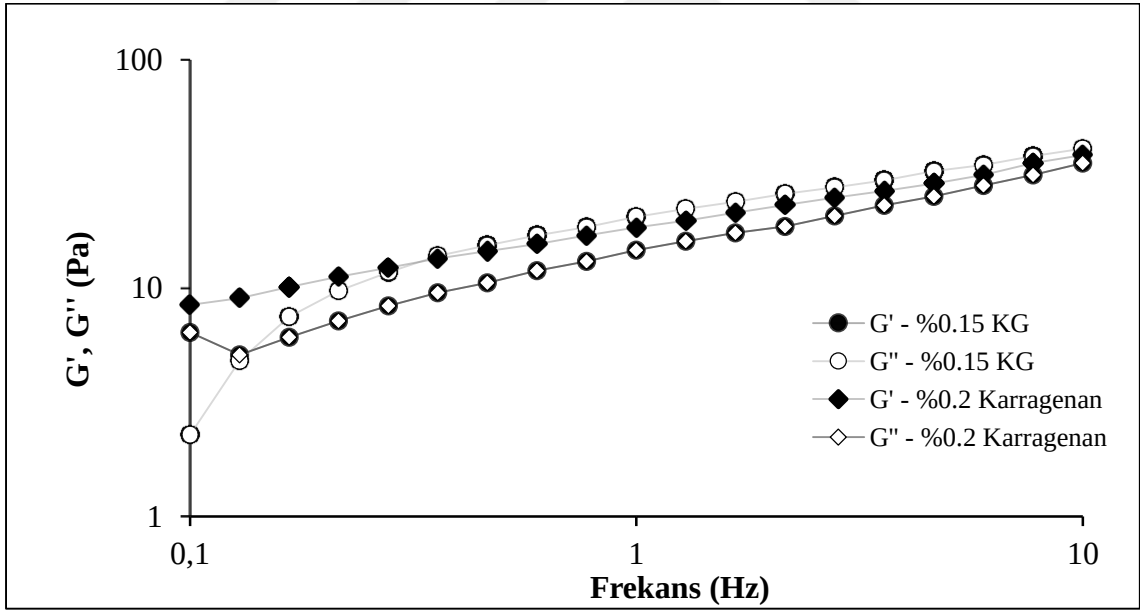
Şekil 4.21. PASP-İ ile karragenan veya keçiyoynuzu gamı (KG) kullanılarak hazırlanan model sıvıların frekans tarama testleri



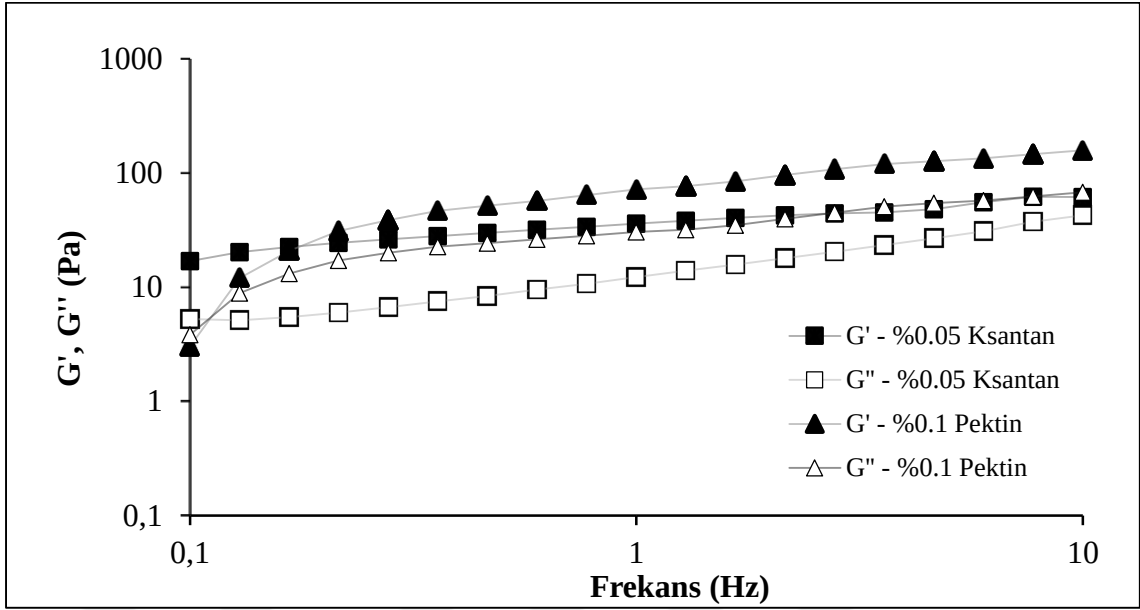
Şekil 4.22. PASP-İ ile ksantan gam veya pektin kullanılarak hazırlanan model sıvıların frekans tarama testleri



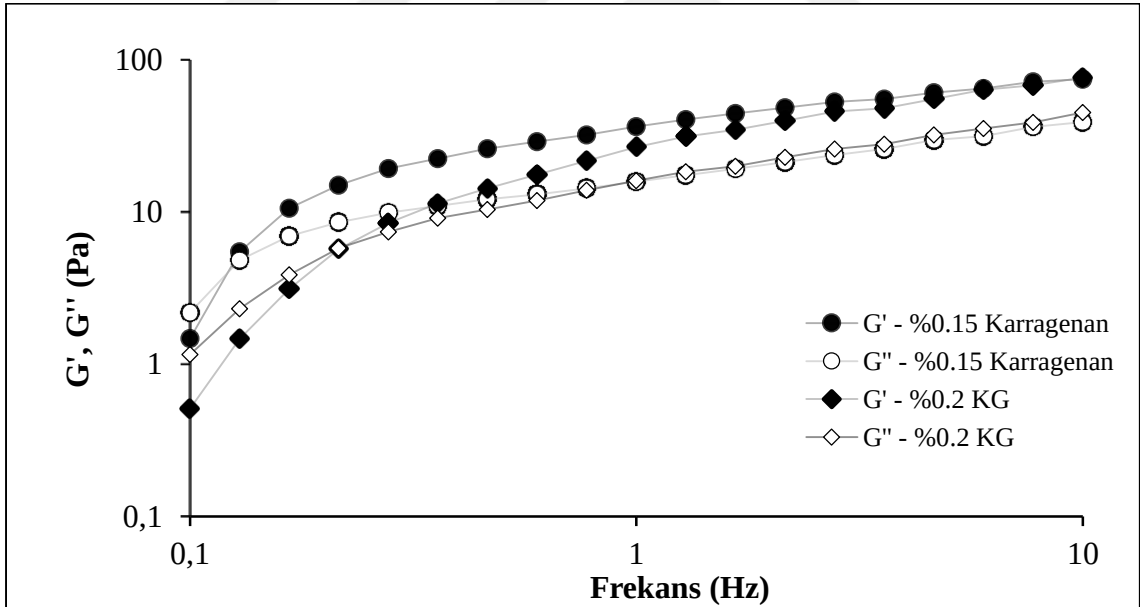
Şekil 4.23. Na-KAZ ile pektin veya ksantan gam kullanılarak hazırlanan model sıvıların frekans tarama testleri



Şekil 4.24. Na-KAZ ile keçiyoynuzu gamı veya karragenan kullanılarak hazırlanan model sıvıların frekans tarama testleri



Şekil 4.25. D-PAS ile ksantan gam veya pektin kullanılarak hazırlanan model sıvıların frekans tarama testleri



Şekil 4.26. D-PAS ile karragenan veya kefir gami kullanılarak hazırlanan model sıvıların frekans tarama testleri

4.2.3. Model sıvıların genel optimizasyon koşullarının belirlenmesi-Gri İlişkisel Analiz Yöntemi

Köpük helva üretiminde kullanılan model sıvılarda üretim faktörlerinin (protein çeşidi, hidrokolloid miktarı ve çeşidi) test edilen her bir yanıt için belirlenen optimum faktör seviyeleri Çizelge 4.11’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, bütün yanıtları kapsayan ideal üretim faktör seviyelerinin belirlenemediği görülmektedir. Bundan dolayı Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden Gri İlişkisel Analiz metodu kullanılarak model sıvılarda tüm yanıtları kapsayan genel optimizasyon koşulları saptanmıştır.

Çizelge 4.11. Model sıvılarda test edilen yanıtların optimum koşulları

Yanıtlar	Faktörler ve optimum seviyeler		
	A	B	C
Renk (L^*)	3	4	4
Bulanıklık (NTU)	3	4	4
Arayüzey gerilimi (mN/m)	2	2	3
Akma direnci (Pa)	2	4	4
Kıvam katsayısı (Pa.s^n)	3	4	4
Akış davranış indeksi	3	4	4
Depo modül (Pa)	1	1	4
Viskoz modül (Pa)	1	1	4
Kayıp tanjant	1	1	4

A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi

Gri İlişkisel Analiz yöntemi aşamaları materyal-yöntem kısmında detaylıca açıklanmıştır. Köpük helva üretiminde kullanılan sıvılarda gerçekleştirilen analizlerin yanıtları için belirlenen referans serileri Çizelge 4.12’de gösterilmiştir. L_{16} tasarım matrisinde her bir yanıt için referans değeri yazılmıştır. Model sıvılarda bulanıklık, akma direnci, kıvam katsayısı, görünür viskozite ve depo modülü maksimize edilmek istendiğinden referans olarak yanıtların en büyük değerleri yazılmıştır. Bu yanıtların sonuçları Eşitlik 3.21 ile 0-1 arasındaki değerlere dönüştürülerek normalize edilmiştir. Renk, arayüzey gerilimi,

görünür viskozite, viskoz modül ve kayıp tanjant yanıtlarının minimizasyonu hedeflendiğinden en küçük değerler referans kabul edilmiştir. Analiz edilen yanıtların normalize edilmesinde Eşitlik 3.22 kullanılmıştır. Normalizasyon sonuçları normalizasyon matrisinde Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Normalizasyon değerlerinin referans değerlere uzaklıkları hesaplanarak uzaklık matrisi elde edilmiştir (Çizelge 4.13). Gerçek değerler ile normalize edilmiş değerler arasındaki ilişkinin ifade edilmesini sağlayan katsayı matrisi Eşitlik 3.23 kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplama yer alan ϕ katsayısı 0.5 alınmıştır (Çizelge 4.13).

Katsayı matrisindeki değerler ağırlık faktörleriyle çarpıldıktan sonra toplanarak Gri İlişkiler Dereceleri Eşitlik 3.27 kullanılarak hesaplanmış ve sonuçların sıralaması belirlenmiştir (Çizelge 4.14). Model sıvılarda her bir yanıtın ağırlık faktörü eşit kabul edilmiştir. Çizelge 4.14’de 10 nolu analizin en yüksek Gri İlişkiler Derecesine ve en iyi performans sıralamasına sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.12. Model sıvılarda yanıtlar için referans serisi ve normalizasyon matrisi

	Referans serisi										Normalizasyon matrisi									
	Renk (L^*)	Bulanıklık, NTU	Arayüzey gerilimi, mN/m	Akma direnci, Pa	Kıvam katsayısı, Pa.s ⁿ	Akış davranış indeksi	Görünür viskozite, Pa.s	Depo modül, Pa	Viskoz modül, Pa	Kayıp tanjant	Renk (L^*)	Bulanıklık, NTU	Arayüzey gerilimi, mN/m	Akma direnci, Pa	Kıvam katsayısı, Pa.s ⁿ	Akış davranış indeksi	Görünür viskozite, Pa.s	Depo modül, Pa	Viskoz modül, Pa	Kayıp tanjant
Referans	29.16	498.0	45.13	2.476	1.133	0.754	0.801	106.9	7.408	0.368	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	69.30	99.90	52.68	0.301	0.099	1.039	0.148	30.80	13.05	0.431	0.163	0.111	0.322	0.050	0.000	0.083	0.019	0.248	0.820	0.937
2	70.22	90.25	51.03	0.227	0.146	0.954	0.135	47.36	20.96	0.448	0.143	0.091	0.469	0.018	0.045	0.357	0.000	0.412	0.567	0.920
3	48.28	120.2	46.24	0.489	0.109	1.065	0.171	54.59	20.80	0.402	0.601	0.156	0.900	0.132	0.010	0.000	0.053	0.483	0.572	0.966
4	33.65	160.3	50.78	2.476	0.584	0.818	0.597	107.0	38.71	0.368	0.906	0.246	0.492	1.000	0.469	0.792	0.694	1.000	0.000	1.000
5	51.82	211.3	49.01	0.545	0.112	0.989	0.159	46.24	17.28	0.380	0.527	0.360	0.651	0.156	0.013	0.245	0.036	0.400	0.685	0.988
6	53.56	168.8	45.13	0.786	0.301	0.910	0.300	36.05	15.19	0.421	0.491	0.265	1.000	0.262	0.196	0.498	0.248	0.300	0.752	0.947
7	32.32	131.5	50.06	1.830	0.781	0.754	0.548	47.82	17.84	0.375	0.934	0.182	0.557	0.710	0.659	1.000	0.621	0.416	0.667	0.993
8	36.57	312.3	47.56	0.387	0.301	0.836	0.234	17.40	10.73	0.620	0.845	0.585	0.782	0.087	0.196	0.734	0.148	0.116	0.894	0.747
9	48.46	391.3	54.14	0.187	0.226	0.942	0.213	18.56	13.25	0.745	0.597	0.762	0.190	0.000	0.123	0.393	0.117	0.127	0.813	0.621
10	29.16	498.0	52.88	0.926	1.133	0.800	0.801	9.680	10.659	1.108	1.000	1.000	0.304	0.323	1.000	0.852	1.000	0.040	0.896	0.257
11	43.22	166.9	54.73	0.257	0.288	0.902	0.248	5.673	7.408	1.363	0.707	0.261	0.137	0.031	0.183	0.524	0.170	0.000	1.000	0.000
12	51.15	221.8	51.29	0.198	0.352	0.878	0.283	6.818	8.711	1.330	0.541	0.383	0.446	0.005	0.244	0.599	0.222	0.011	0.958	0.033
13	74.61	63.28	54.23	0.893	0.497	0.860	0.533	32.17	15.04	0.469	0.052	0.029	0.182	0.307	0.385	0.651	0.612	0.262	0.756	0.898
14	77.10	59.10	50.87	0.341	0.124	0.959	0.147	72.05	30.90	0.427	0.000	0.020	0.484	0.067	0.024	0.340	0.017	0.655	0.250	0.941
15	77.00	50.15	52.55	0.202	0.138	0.948	0.195	40.26	17.11	0.428	0.002	0.000	0.333	0.006	0.037	0.376	0.089	0.341	0.690	0.940
16	75.94	51.35	56.26	0.312	0.382	0.860	0.287	26.74	16.05	0.594	0.024	0.003	0.000	0.055	0.274	0.657	0.228	0.208	0.724	0.773

Çizelge 4.13. Model sıvılarda yanıtlar için uzaklık ve katsayı matrisleri

	Uzaklık matrisi										Katsayı matrisi									
	Renk (L^*)	Bulanıklık, NTU	Arayüzey gerilimi, mN/m	Akma direnci, Pa	Kıvam katsayısı, Pa.s ⁿ	Akış davranış indeksi	Görünür viskozite, Pa.s	Depo modül, Pa	Viskoz modül, Pa	Kayıp tanjant	Renk (L^*)	Bulanıklık, NTU	Arayüzey gerilimi, mN/m	Akma direnci, Pa	Kıvam katsayısı, Pa.s ⁿ	Akış davranış indeksi	Görünür viskozite, Pa.s	Depo modül, Pa	Viskoz modül, Pa	Kayıp tanjant
Referans	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0.837	0.889	0.678	0.950	1.000	0.917	0.981	0.752	0.180	0.063	0.544	0.360	0.596	0.513	0.333	0.522	0.505	0.571	0.847	0.941
2	0.857	0.909	0.531	0.982	0.955	0.643	1.000	0.588	0.433	0.080	0.539	0.355	0.653	0.504	0.344	0.609	0.500	0.630	0.698	0.926
3	0.399	0.844	0.100	0.868	0.990	1.000	0.947	0.517	0.428	0.034	0.715	0.372	0.909	0.535	0.336	0.500	0.514	0.659	0.700	0.967
4	0.094	0.754	0.508	0.000	0.531	0.208	0.306	0.000	1.000	0.000	0.914	0.399	0.663	1.000	0.485	0.828	0.766	1.000	0.500	1.000
5	0.473	0.640	0.349	0.844	0.987	0.755	0.964	0.600	0.315	0.012	0.679	0.438	0.742	0.542	0.336	0.570	0.509	0.625	0.760	0.988
6	0.509	0.735	0.000	0.738	0.804	0.502	0.752	0.700	0.248	0.053	0.663	0.405	1.000	0.575	0.383	0.666	0.571	0.588	0.801	0.950
7	0.066	0.818	0.443	0.290	0.341	0.000	0.379	0.584	0.333	0.007	0.938	0.379	0.693	0.640	0.595	1.000	0.725	0.631	0.750	0.993
8	0.155	0.415	0.218	0.913	0.804	0.266	0.852	0.884	0.106	0.253	0.866	0.547	0.821	0.523	0.383	0.790	0.540	0.531	0.904	0.798
9	0.403	0.238	0.810	1.000	0.877	0.607	0.883	0.873	0.187	0.379	0.713	0.677	0.553	0.500	0.363	0.622	0.531	0.534	0.843	0.725
10	0.000	0.000	0.696	0.677	0.000	0.148	0.000	0.960	0.104	0.743	1.000	1.000	0.590	0.596	0.999	0.871	1.000	0.510	0.906	0.574
11	0.293	0.739	0.863	0.969	0.817	0.476	0.830	1.000	0.000	1.000	0.707	0.403	0.137	0.031	0.380	0.524	0.170	0.000	1.000	0.000
12	0.459	0.617	0.554	0.995	0.756	0.401	0.778	0.989	0.042	0.967	0.541	0.448	0.446	0.005	0.398	0.599	0.222	0.011	0.958	0.033
13	0.948	0.971	0.818	0.693	0.615	0.349	0.388	0.738	0.244	0.102	0.052	0.340	0.182	0.419	0.448	0.589	0.612	0.262	0.756	0.898
14	1.000	0.980	0.516	0.933	0.976	0.660	0.983	0.345	0.750	0.059	0.000	0.338	0.484	0.067	0.339	0.340	0.017	0.655	0.250	0.941
15	0.998	1.000	0.667	0.994	0.963	0.624	0.911	0.659	0.310	0.060	0.002	0.333	0.333	0.006	0.342	0.376	0.089	0.341	0.690	0.940
16	0.976	0.997	1.000	0.945	0.726	0.343	0.772	0.792	0.276	0.227	0.024	0.334	0.000	0.055	0.408	0.657	0.228	0.208	0.724	0.773

Çizelge 4.14. Model sıvılarda test örneklerinin Gri İlişkiler Dereceleri ve performans sıralamaları

Analiz numarası	Gri İlişkiler Derecesi (GİD)	Performans sırası
1	0.455	12
2	0.451	13
3	0.511	6
4	0.686	2
5	0.503	7
6	0.557	5
7	0.660	3
8	0.561	4
9	0.478	8
10	0.717	1
11	0.467	10
12	0.472	9
13	0.499	11
14	0.450	15
15	0.451	14
16	0.446	16
Ortalama	0.523	

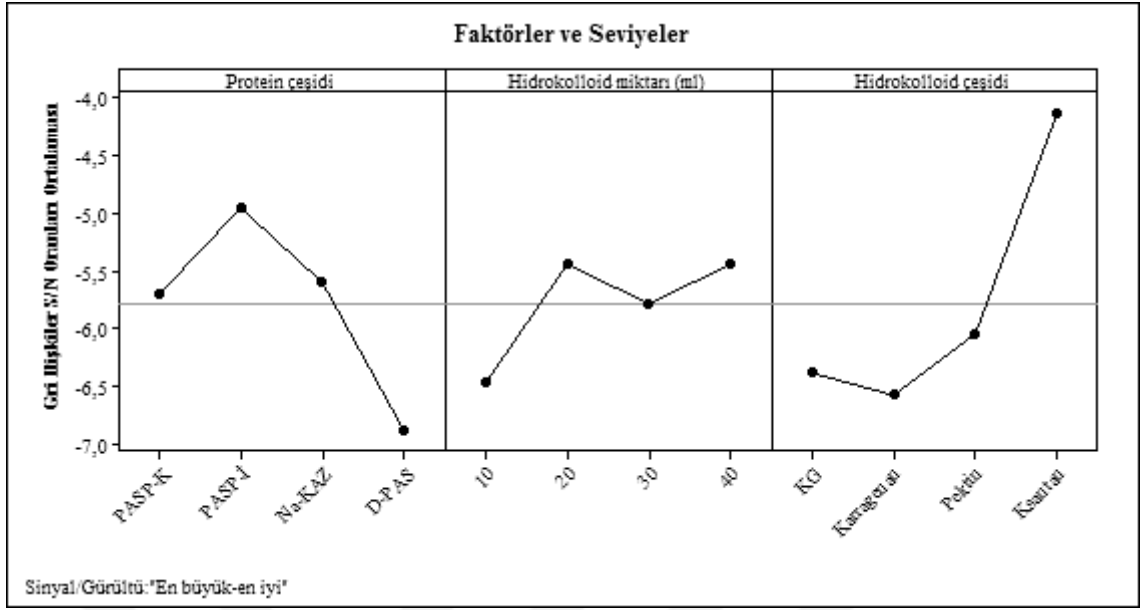
Gri İlişkiler performans sıralamaları belirlendikten sonra faktör seviyelerinin Gri İlişkiler Derecesi (GİD) ortalamaları, S/N oranları ve faktörlerin önem sıralaması Çizelge 4.15’de verilmiştir. Model sıvılarda her faktörün en yüksek Gri İlişkiler ortalamasına sahip seviyesinin kullanılmasıyla genel optimizasyon seviyeleri belirlenmektedir. Peynir altı suyu protein izolatı (A2) ve %0.1 (B2) ksantan gam (C4) içeren model sıvıların optimum koşulları sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca, genel optimizasyon koşullarında S/N oranlarının da en yüksek değer olduğu görülmektedir. Model sıvıların genel optimizasyon parametreleri üzerine önem sıralaması; C (hidrokolloid çeşidi) > A (protein çeşidi) > B (hidrokolloid miktarı) olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.15. Model sıvılarda Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen yeni faktör seviyeleri ve S/N oranları

Faktör ve seviyesi	Analiz numarası	Gri İlişkiler Derecesi ortalaması	S/N Oranları (dB)	Faktörlerin önem sıralaması
A1	1,2,3,4	0.526	-5.72	2
A2	5,6,7,8	0.570	-4.92	
A3	9,10,11,12	0.534	-5.61	
A4	13,14,15,16	0.461	-6.73	
B1	1,5,9,12	0.484	-6.32	3
B2	2,6,10,13	0.544	-5.45	
B3	3,7,11,14	0.522	-5.74	
B4	4,8,12,15	0.541	-5.46	
C1	1,6,11,16	0.481	-6.39	1
C2	2,5,12,15	0.469	-6.58	
C3	3,8,9,14	0.499	-6.05	
C4	4,7,10,13	0.640	-3.95	

Koyu karakterdeki sayılar en yüksek faktör seviyelerini ve S/N oranlarını göstermektedir; A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi

Gri İlişkisel Analiz yöntemi kullanılarak yeniden hesaplanan genel optimizasyon koşulları S/N oranları grafiği Şekil 4.27’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, çöven ekstraktı, PASP-İ ve ksantan gam (%0.1) kullanılarak hazırlanan sıvıların en yüksek S/N oranına sahip oldukları ve genel optimizasyon koşullarını sağladıkları görülmektedir.



Şekil 4.27. Model sıvılarda Gri İlişkisel Analizle belirlenen yeni faktör seviyeleri S/N oranları grafiği

Çizelge 4.16'daki ANOVA sonuçlarına göre, Gri İlişkisel Analiz yöntemiyle belirlenen genel optimizasyon çalışmasında hidrokolloid ve protein çeşidinin etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Genel optimizasyon koşullarının belirlenmesinde, hidrokolloid miktarının (%6.83) etkisinin hidrokolloid ve protein çeşidinin etki oranlarına (sırasıyla %61.52 ve %23.24) göre oldukça düşük olduğu görülmektedir. Varyans analizi sonucunda elde edilen faktörlerin önem sıralaması Çizelge 4.15'deki sonucu desteklemektedir.

Çizelge 4.16. Model sıvılarda Gri İlişkisel Analiz yöntemiyle belirlenen S/N oranları ANOVA tablosu

Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	Katkı yüzdesi
A	3	6.665	2.2184	5.52	0.037	23.24
B	3	1.962	0.6540	1.63	0.280	6.83
C	3	17.64	5.8795	14.62	0.004	61.52
Hata	6	2.412	0.4021			8.41
Toplam	15	28.67				100

A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi

Model sıvılarda Gri İlişkisel Analiz yöntemiyle belirlenen genel optimizasyon koşulları doğrulama deneyleri

Köpük helva üretiminde kullanılan model sıvıların L_{16} deney matrisinde 1 nolu deney başlangıç proses parametresi olarak seçilmiştir. Optimum proses parametrelerinde hazırlanan model sıvıda gerçekleştirilen analizlerin S/N oranlarının başlangıç parametresine göre iyileşme oranları belirlenmiştir. $A_1B_1C_1$ için Gri İlişkiler Derecesi Çizelge 4.14’de belirlenmiştir. Eşitlik 3.28 kullanılarak $A_2B_2C_4$ için tahmini GİD 0.707 olarak hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen analizler sonucunda genel optimum koşullarında GİD 0.729 olarak belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre; genel optimum koşullarında ($A_2B_2C_4$) başlangıç proses parametrelerine göre ($A_1B_1C_1$) GİD iyileşme 0.274 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.17. Başlangıç ve optimum üretim parametreleri kullanılarak hazırlanan model sıvılarda doğrulama deneyleri S/N oranları

Yanıtlar	Başlangıç proses parametreleri	Optimum Proses Parametreleri
	$A_1B_1C_1$	$A_2B_2C_4$
Renk (L^*)	-36.81	-29.96
Bulanıklık (NTU)	39.99	49.38
Arayüzey gerilimi (mN/m)	-34.43	-33.44
Akma direnci (Pa)	-10.43	5.34
Kıvam katsayısı (Pa.s ⁿ)	-20.12	-1.39
Akış davranış indeksi	-0.33	2.59
Görünür viskozite	-16.83	-4.53
Depo modül (Pa)	29.77	36.38
Viskoz modül (Pa)	-22.31	-23.94
Kayıp tanjant	7.32	12.43
Gri İlişkiler Derecesi	0.455	0.729
Gri İlişkiler Derecesindeki İyileşme= 0.274		

Model sıvılarda genel optimum ve kontrol sıvılarının karşılaştırılması

Bu bölümde; Gri İlişkisel Analiz yöntemiyle belirlenen genel optimum koşullarında çöven ekstraktı, PASP-İ ve ksantan gam (%0.1) kullanılarak hazırlanan sıvı ile çöven ekstraktı katılarak ticari formülasyonla üretilen kontrol örneği çözeltisinin farklılıklarının belirlenmesi hedeflenmektedir.

Genel optimum ve kontrol sıvılarının renk (L^*), bulanıklık (NTU) ve arayüzey gerilimi (mN/m) yanıtları S/N oranlarının karşılaştırılması

Genel optimum koşullarda hazırlanan model köpürtme sıvısının ve kontrol örneği çözeltisinin renk (L^*), bulanıklık (NTU) ve arayüzey gerilimi (mN/m) sonuçları ve S/N oranları Çizelge 4.18’de verilmiştir. Çizelgeye göre, örnekler arasında renk (L^*), bulanıklık (NTU) ve arayüzey gerilimi (mN/m) S/N oranlarının istatistiksel olarak farklı olduğu saptanmıştır ($p<0.05$). Örneklerin bulanıklık değerleri S/N oranlarının belirlenmesinde Eşitlik 3.19, renk ve arayüzey gerilimi sonuçları S/N oranlarının hesaplanmasında Eşitlik 3.20 kullanılmıştır. Çöven ekstraktı kullanılarak hazırlanan kontrol örneğinin genel optimizasyon örneğine göre daha açık renkte olduğu ve daha az bulanık olduğu belirlenmiştir. Model çalışma koşullarında, kontrol örneğinin hava/sıvı arayüzey gerilimini düşürmede genel optimizasyon örneğine göre daha az etkin olduğu saptanmıştır.

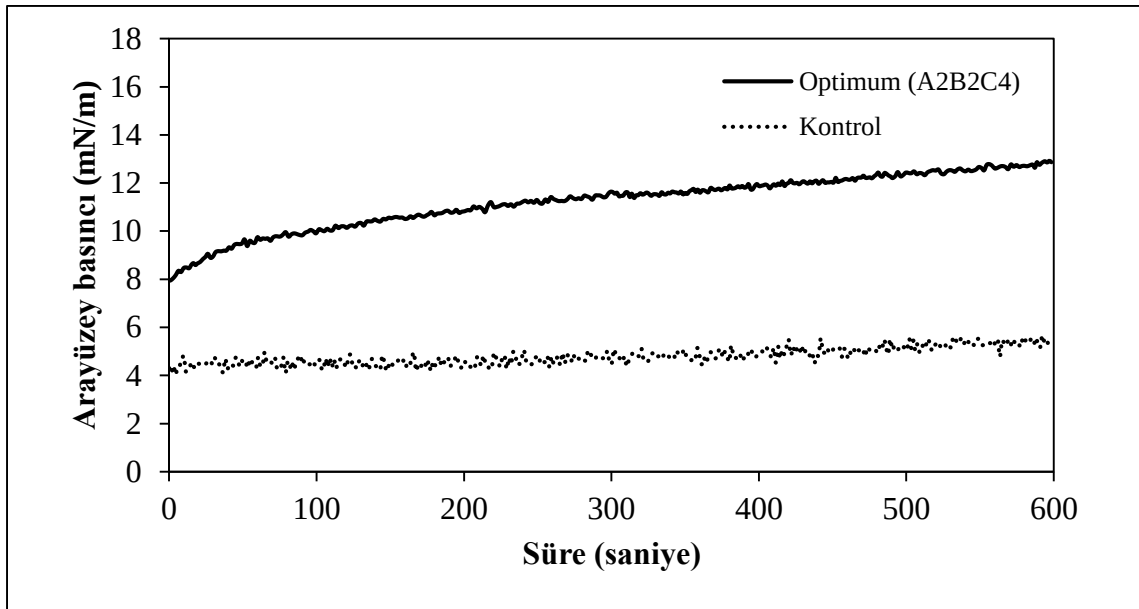
Çizelge 4.18. Genel optimum ve kontrol sıvılarının renk, bulanıklık ve arayüzey gerilimi yanıtları doğrulama deney sonuçları ve S/N oranları

Yanıtlar	Örnek	Deneyisel sonuç	Deneyisel S/N oranı
Renk (L^*)	A ₂ B ₂ C ₄	31.49±0.04	-29.96 ^a
	Kontrol	82.09±0.99	-38.29 ^b
Bulanıklık (NTU)	A ₂ B ₂ C ₄	294.49±0.80	49.38 ^a
	Kontrol	19.10±0.35	25.62 ^b
Arayüzey gerilimi (mN/m)	A ₂ B ₂ C ₄	47.00±0.05	-33.44 ^a
	Kontrol	54.18±0.30	-34.68 ^b

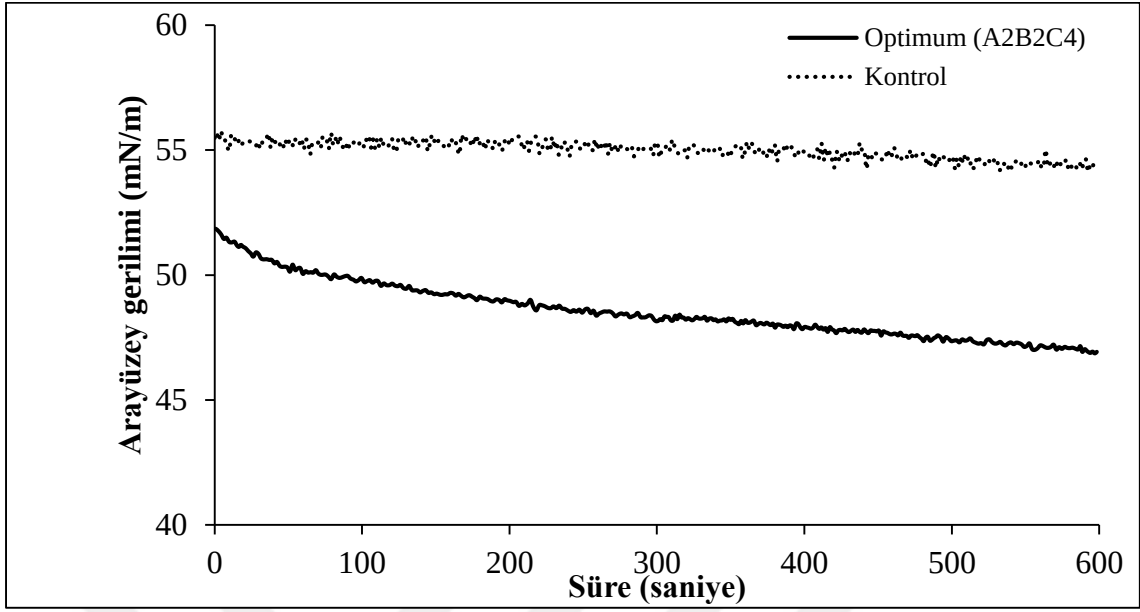
a,b aynı satırda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır ($p<0.05$), A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi

Çöven ekstraktı, PASP-İ ve ksantan gam (%0.1) ile hazırlanan çözelti ve çöven ekstraktı ile hazırlanan kontrol örneği sıvısının 10 dakika süresince arayüzey basınçlarındaki değişim Şekil 4.28’de, arayüzey gerilimlerindeki değişim ise Şekil 4.29’da verilmiştir. Optimum faktör-seviye kombinasyonu ile elde edilen çözeltilerde arayüzey basıncının ilk 100 saniye süresince hızla arttığı sonrasında ise artma hızının yavaşladığı görülmektedir. Benzer şekilde, arayüzey geriliminin de ilk başlarda hızla azaldığı sona doğru dengelendiği görülmektedir. İlk 100 saniye süresince, yüzey aktif maddelerin arayüzeyde konumlanmaları nedeniyle birbirine karışmayan fazlar arasındaki gerilimde hızlı bir azalış gerçekleşmiştir. Kontrol örneğinde arayüzey basıncı ve geriliminde önemli bir değişikliğin olmadığı belirlenmiştir. Bu durum, saponinlerin yüksek şeker içerikli ortamlarda hareketlerinin kısıtlandığı ve arayüzeye yerleşmeleri için çeşitli kuvvetlere (çırpma, karıştırma vb.) ihtiyaç duyduklarını göstermektedir.

Örneklerin arayüzey basıncı ve gerilimi grafikleri incelendiğinde, grafiklerin bazı bölgelerinde dalgalanmalar bulunması köpürtücü ajanların hava/sıvı arayüzeyi için yarıştığını göstermektedir.



Şekil 4.28. Genel optimum ve kontrol sıvılarının arayüzey basıncı (mN/m) değişimi



Şekil 4.29. Genel optimum ve kontrol sıvılarının arayüzey gerilimi (mN/m) değişimi

Genel optimum ve kontrol sıvılarının yatışkın hal (steady state) reolojik özellikleri S/N oranlarının karşılaştırılması

Çöven ekstraktı, PASP-İ ve ksantan gam (%0.1) kullanılarak hazırlanan genel optimizasyon çözeltisi ve çöven ekstraktı kullanılan kontrol örneği sıvısının akma direnci (τ_0), kıvam katsayısı (K), akış davranış indeksi (n) ve görünür viskozite (η_{11}) değerleri ortalama sonuçları ve S/N oranları Çizelge 4.19’da verilmiştir. Yatışkın hal reolojik özelliklerden τ_0 , K ve η_{11} sonuçları S/N oranlarının belirlenmesinde Eşitlik 3.19, n sonucu S/N değerinin bulunmasında Eşitlik 3.20 kullanılmıştır.

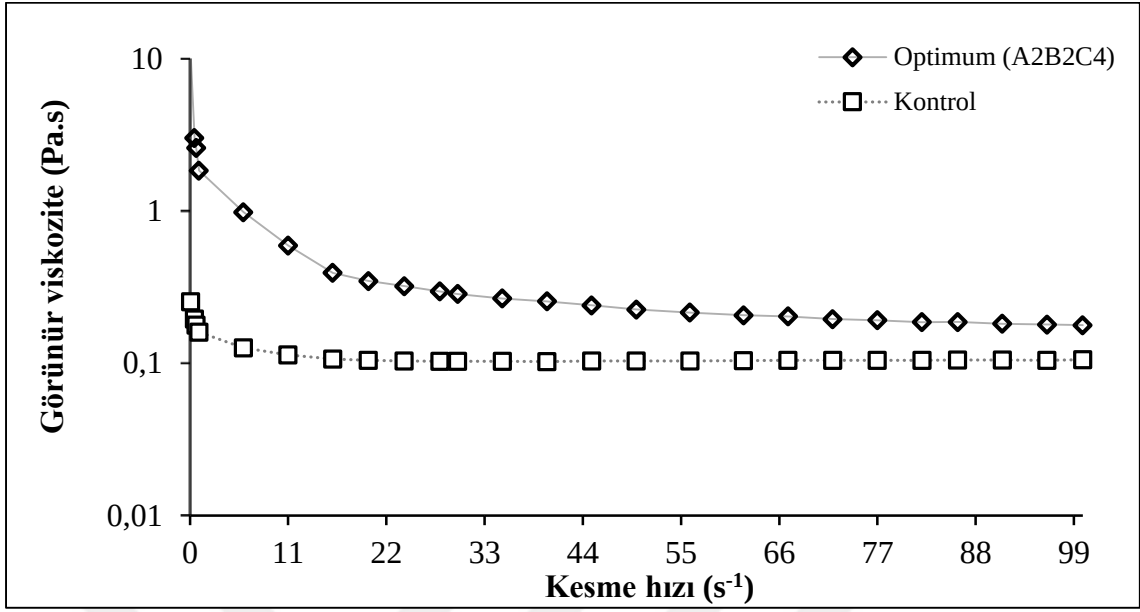
Örneklerin yatışkın hal reolojik özellikleri incelendiğinde, genel optimizasyon koşullarını sağlayan sıvının Herschel-Bulkley modele ($R^2 > 0.99$); kontrol sıvısının ise Oswald-de Waele modele ($R^2 > 0.99$) uyduğu belirlenmiştir. Örnek sıvılarının K, n ve η_{11} sonuçları S/N oranlarının istatistiksel olarak farklılık arzettiği görülmektedir ($p < 0.05$). Tabloda görüldüğü üzere, genel optimizasyon koşullarında hazırlanan örneğin kıvam katsayısı (Pa.s^n) ve görünür viskozite (Pa.s) değerleri S/N oranları kontrol örneğine göre daha yüksek bulunmuştur. Kontrol örneğinin daha yüksek akış davranış indeksine sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.19. Genel optimum ve kontrol sıvılarının yatışkın hal (steady state) reolojik özellikleri yanıtları doğrulama deney sonuçları

Yanıtlar	Örnek	Deneysel sonuç	Deneysel S/N oranı
Akma direnci, τ_0	A ₂ B ₂ C ₄	1.847±0.004	5,34
Pa	Kontrol	-	-
Kıvam katsayısı, K	A ₂ B ₂ C ₄	0.853±0.006	-1.39 ^a
Pa.s ⁿ	Kontrol	0.119±0.002	-16.49 ^b
Akış davranış indeksi, n	A ₂ B ₂ C ₄	0.742±0.007	2.59 ^a
-	Kontrol	0.969±0.007	0.22 ^b
Görünür viskozite, η_{11}	A ₂ B ₂ C ₄	0.594±0.001	-4.52 ^a
Pa.s	Kontrol	0.108±0.002	-19.37 ^b

a,b aynı satırda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

Genel optimizasyon koşullarında hazırlanan çözeltinin ve kontrol sıvısının 0.1-100 s⁻¹ kesme hızı aralığındaki görünür viskozite (Pa.s) değişimi Şekil 4.30'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde, optimum koşullarda üretilen şekerli sıvının viskozitesinin (Pa.s) kontrol örneğine göre uygulanan kesme hızına bağlı olarak daha yavaş azaldığı görülmektedir. En iyi faktör-seviye kombinasyonu ile üretilen karışımın kaymayla incelme (shear thinning) davranışı gösterirken kontrol örneğinin newtonian davranışa yakın akış özelliği sergilediği belirlenmiştir. Örneklerin viskoziteleri 0-11 s⁻¹ kesme hızlarında daha hızlı azalırken, 11-100 s⁻¹ kesme hızlarında viskozite eğrisinin daha yatay seyrettiği görülmektedir.



Şekil 4.30. Genel optimum ve kontrol örneği sıvılarının görünür viskozite değişimi

Genel optimum ve kontrol sıvılarının dinamik reolojik özellikleri S/N oranlarının karşılaştırılması

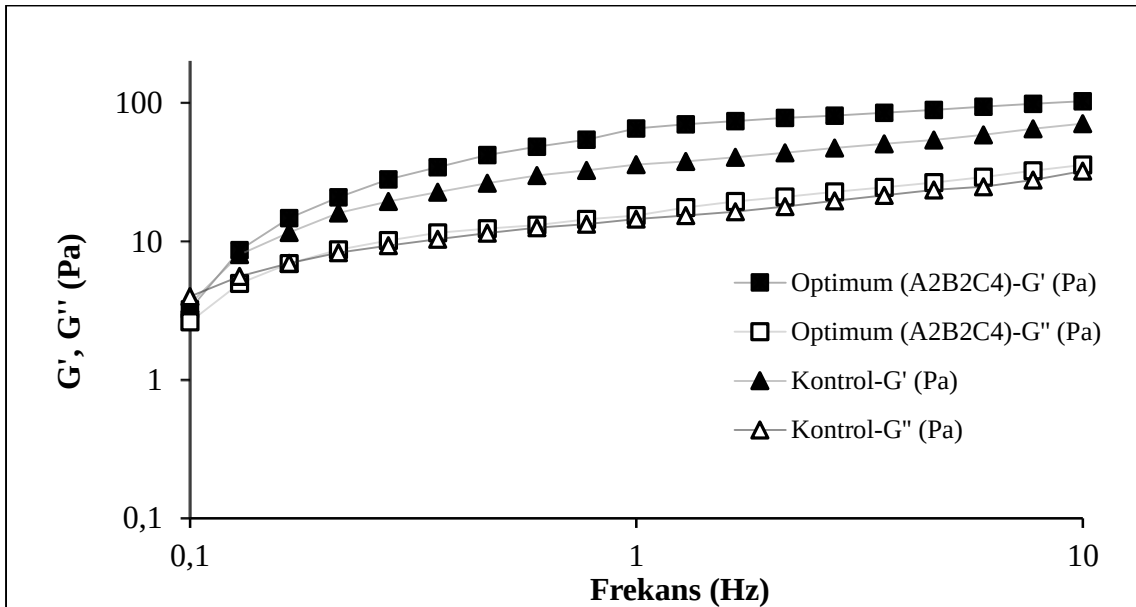
Genel optimizasyon koşullarında hazırlanan çözeltinin ve geleneksel formülasyonla hazırlanan kontrol sıvısının lineer viskoelastik bölgede (0.2 Pa) gerçekleştirilen dinamik titreşimli kayma reolojik özelliklerine ait sonuçlar ve S/N oranları Çizelge 4.20’de verilmiştir. Ortalama S/N oranlarının hesaplanmasında, G' için Eşitlik 3.19 kullanılırken G'' ve $\tan(\delta)$ için Eşitlik 3.20’den yararlanılmıştır. Örneklerin 1 Hz’deki reolojik özellikleri incelendiğinde, genel optimizasyon örneği ve kontrol sıvısının elastik modül (G') ve kayıp tanjant ($\tan \delta$) sonuçları S/N oranlarının istatistiksel olarak farklı bulunduğu ($p < 0.05$), viskoz modül (G'') değerleri arasında istatistiksel olarak farklılık gözlenmediği ($p > 0.05$) tespit edilmiştir. Genel optimizasyon örneğinin kontrol örneğine göre daha katı benzeri bir yapıda olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.20. Genel optimum ve kontrol sıvılarının dinamik reolojik özellikleri doğrulama deney sonuçları

Yanıtlar	Optimum	Deneyisel sonuç	Deneyisel S/N oranı
Depo modül, G'	$A_2B_2C_4$	65.93 ± 0.12	36.38^a
Pa	Kontrol	35.78 ± 0.54	31.07^b
Viskoz modül, G''	$A_2B_2C_4$	15.73 ± 0.57	-23.94^a
Pa	Kontrol	14.68 ± 0.56	-23.34^a
Kayıp tanjant, $\tan(\delta)$	$A_2B_2C_4$	0.24 ± 0.01	12.43^a
	Kontrol	0.41 ± 0.00	6.81^b

a,b aynı satırda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır ($p < 0.05$).

Model sıvılarda bütün yanıtlar açısından en ideal faktör-seviye kombinasyonu ile hazırlanan çözeltinin ve kontrol örneği sıvısının 0.1-10 Hz frekans aralığındaki viskoelastik özelliklerindeki değişimler Şekil 4.31’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, genel optimum ve kontrol örneği sıvılarında bütün frekans değerlerinde elastik modülün (G') viskoz modülden (G'') daha baskın olduğu belirlenmiştir. Her iki örnek için de yüksek frekanslarda (~10 Hz) elastik modül eğrisinin viskoz modül eğrisine yaklaştığı gözlenmiştir.



Şekil 4.31. Genel optimum ve kontrol örneği sıvıları frekans tarama testleri

4.3. Model Köpüklerin/Köpük Helvaların Özellikleri

Bu bölümde, 4 faktör (protein çeşidi, hidrokolloid miktarı, hidrokolloid çeşidi ve mikslleme sıcaklığı) ve 4 seviye ile L_{16} deney tasarımına göre üretilen model köpüklerin özellikleri Taguchi yöntemiyle analiz edilmiştir. Üretim faktörlerinin farklı seviyeleriyle deney tasarımına uygun şekilde hazırlanan şekerli sıvılar ısıtma fonksiyonlu mikser ile 40, 60, 80 veya 100 °C’de 15 dakika süresince 158 rpm’de çırpılmıştır. Köpük kapasitesi ve yoğunluk ölçümleri yapılan örneklerin yoğunlukları 0.5 g/cm³ oluncaya kadar ısıtma işlem uygulanmadan çırpma işlemine devam edilmiştir. Köpük helva üretmek için gerekli süre toplam üretim süresi (TÜS) olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, köpük helvaların renk farklılıklarını ifade etmek için L^* değerleri kullanılmıştır. Helvaların dinamik kayma (dynamic shear) reolojik analizleriyle viskoelastik özellikleri belirlenmiştir. Örnekler arasındaki tekstürel farklılıklar sertlik (g) ve yapışkanlık (-g.s) değerleriyle ifade edilmiştir. Köpük helva üretim faktör ve seviyelerinin köpük baloncuk boyutuna (µm) etkisi belirlenmiştir. Gerçekleştirilen analizlerin sonuçlarının anlamlandırılmasında S/N (Sinyal/Gürültü) oranı değerleri ve ANOVA sonuçlarından faydalanılmıştır. Son bölümde Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden Gri İlişkisel Analiz yöntemiyle köpüklerde/köpük helvalarda bütün yanıtların optimizasyonunu sağlayan faktör seviyeleri belirlenmiştir. Ayrıca, genel optimizasyon koşullarına proses faktörlerinin etki derecesi ve yüzdesi ANOVA testiyle belirlenmiştir. Doğrulama deneyleri yapılarak gri ilişkiler analiz derecesindeki iyileşme belirlenmiştir. Genel optimizasyon koşullarında ve ticari formülasyonla üretilen köpük helvaların S/N oranları karşılaştırılarak test edilen yanıtlara etkileri belirlenmiştir.

4.3.1. Model köpüklerde köpük kapasitesi ve yoğunluk yanıtlarının optimizasyonu

Köpük helva üretimi için hazırlanan model sıvıların 15 dakika çırpılmasıyla elde edilen köpüklerde köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm³) yanıtları için analiz sonuçları ve S/N oranları (dB) Çizelge 4.21’de verilmiştir. Model köpüklerde köpük kapasitesi (%) değerinin yüksek olması istendiğinden deney tasarımı sonuçları S/N oranları (dB) Eşitlik 3.19 kullanılarak bulunmuştur. Yoğunluğu (g/cm³) düşük olan köpükler hedeflendiğinden L_{16} dizini deney sonuçlarının S/N oranının belirlenmesinde Eşitlik 3.20 kullanılmıştır. Örneklerin köpük kapasitesi (%) sonuçları S/N oranlarının 32.87 dB ile

53.99 dB, yoğunluk değerleri S/N sonuçların 0.79 dB ve 13.07 dB aralığında değiştiği görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, üretim faktörlerinin model sıvıların köpürebilirliklerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.21. Model köpüklerde köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm³) ortalama sonuçları ve S/N değerleri

Örnek Kodu	Köpük kapasitesi		Yoğunluk	
	%	S/N (dB)	g/cm ³	S/N (dB)
1	454.5	53.15	0.24	12.32
2	441.6	52.90	0.26	11.84
3	500.0	53.98	0.22	12.98
4	263.0	48.40	0.36	8.79
5	500.6	53.99	0.22	13.07
6	412.4	52.31	0.25	11.98
7	363.5	51.21	0.28	10.95
8	423.9	52.55	0.25	12.21
9	249.5	47.94	0.39	8.09
10	242.5	47.69	0.39	8.13
11	96.1	39.65	0.66	3.59
12	52.7	34.44	0.86	1.32
13	44.0	32.87	0.91	0.79
14	46.9	33.42	0.89	1.00
15	90.7	39.15	0.69	3.21
16	94.9	39.55	0.67	3.44

Çizelge 3.22’de farklı oranlarda gam içeren protein çözeltilerinin 40, 60, 80 veya 100 °C’de 15 dakika çırpılmasıyla elde edilen köpüklerin köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm³) sonuçları S/N oranları yanıt verileri görülmektedir. S/N oranları incelendiğinde, köpük oluşumunda en etkili üretim parametresinin protein çeşidi olduğu görülmektedir. Köpük helva üretiminde kullanılan sıvıların yapısına atmosferik havayı almalarında hidrokolloid çeşidinin en az etkili unsur olduğu belirlenmiştir. Çırpma işlemi süresince uygulanan ısıl işlemin model sıvıların köpürebilmelerinde ikinci dereceden etkili olduğu

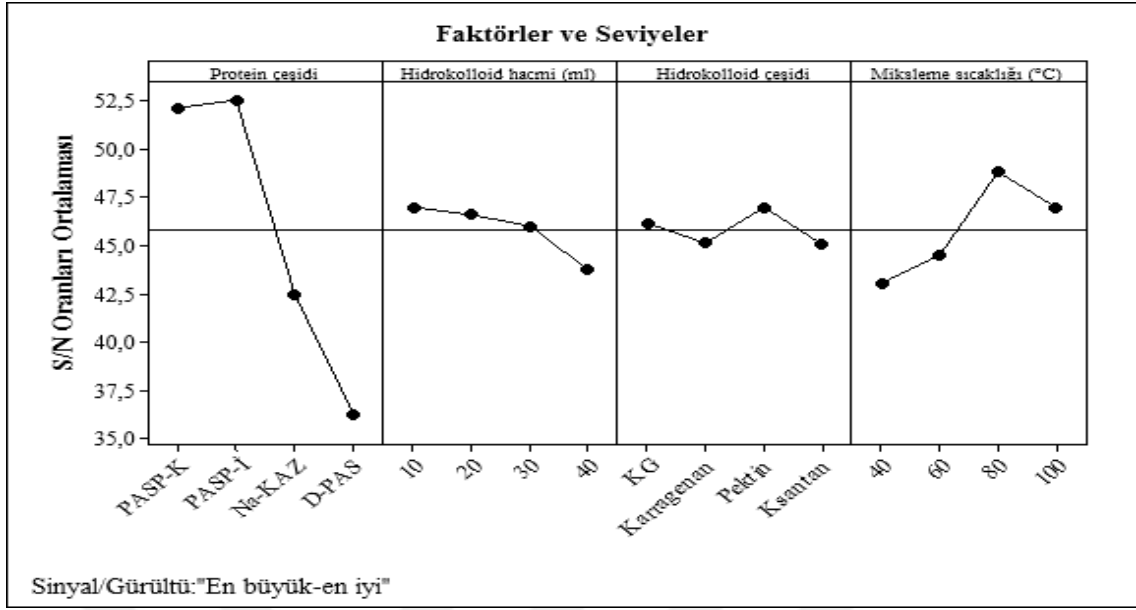
tespit edilmiştir. Çöven ekstraktı, PASP-İ ve pektin (%0.05) kullanılarak hazırlanan model sıvının 80 °C’de 15 dakika çırpılmasıyla köpük kapasitesi (%) en yüksek ve yoğunluğu (g/cm³) en düşük köpüğün üretilebileceği görülmektedir (A₂B₁C₃D₃).

Çizelge 4.22. Model köpüklerde köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm³) yanıtları S/N oranları tablosu

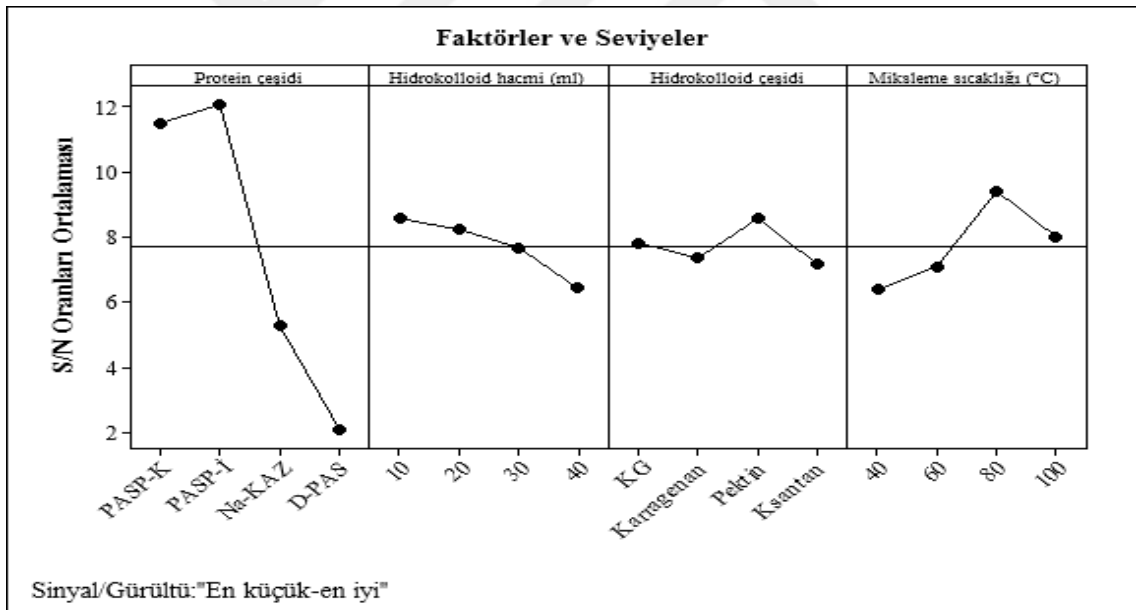
Faktörler	Köpük kapasitesi (%)				Yoğunluk (g/cm ³)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Seviye 1	52.11	46.99	46.16	43.06	11.48	8.568	7.831	6.397
Seviye 2	52.51	46.58	45.12	44.49	12.05	8.237	7.360	7.105
Seviye 3	42.43	46.00	46.97	48.80	5.281	7.681	8.572	9.405
Seviye 4	36.25	43.73	45.04	46.95	2.111	6.440	7.164	8.020
Fark	16.27	3.26	1.93	5.75	9.941	2.128	1.408	3.007
Derece	1	3	4	2	1	3	4	2

Koyu karakterdeki sayılar en iyi seviyeyi temsil etmektedir. A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi, D=Miksleme sıcaklığı (°C)

Köpük helva üretimi için hazırlanan model sıvıların 15 dakika çırpılmasıyla elde edilen köpüklerin köpük kapasitesi (%) ve yoğunlukları (g/cm³) için faktör seviyelerinin ortalama S/N değerleri sırasıyla Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’de verilmiştir. Model sıvıların köpürebilmesiyle alakalı olan yanıtlar için elde edilen S/N grafiklerinin benzerlik gösterdiği görülmektedir. Süt proteinlerinden PASP-K ve PASP-İ kullanımıyla köpük kapasitesi (%) S/N oranları (dB), D-PAS içeren model sıvılarda yoğunluk (g/cm³) değerleri yüksek bulunmuştur. Kolloid miktarının artmasıyla köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm³) yanıtları S/N oranlarının azaldığı belirlenmiştir. Anyonik polisakkaritlerden sadece pektinin proteinlerin yüzey özelliklerini iyileştirdiği görülmektedir. Çırpma sıcaklığının 40 °C’den 80 °C’ye yükseltilmesiyle köpük özellikleri iyileşirken, 80 °C’nin üzerindeki sıcaklıklarda köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm³) değerlerinin olumsuz etkilendiği belirlenmiştir.



Şekil 4.32. Model köpüklerde köpük kapasitesi (%) yanıtı S/N oranları grafiği



Şekil 4.33. Model köpüklerde yoğunluk (g/cm^3) yanıtı S/N oranları grafiği

Model köpüklerde köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm^3) yanıtlarının S/N oranları ANOVA tablosu Çizelge 4.23'de verilmiştir. Tabloya göre, model sıvıların köpürebilmelerinde anlamlı etkisi olan tek faktörün protein çeşidi olduğu görülmektedir. Bu faktörün yanıtlara (köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm^3)) katkı oranları sırasıyla %79.67 ve %84.13 bulunmuştur. Model sıvıların çırpılması esnasında uygulanan ısıtma

işleminin yanıtlara etki yüzdesi sırasıyla %8.32 ve %6.04 bulunmuştur. Varyans analizi sonucunda, üretim dışı unsurların yanıtlar üzerine katkısının kontrol parametreleri olan gam miktarı ve çeşidinin toplam etkisinden büyük olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 4.23. Model köpüklerde köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm³) yanıtları S/N oranları ANOVA tablosu

Yanıtlar	Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	Katkı yüzdesi
Köpük kapasitesi	A	3	749.8	249.9	9.68	0.047	79.67
	B	3	25.35	8.449	0.33	0.808	2.69
	C	3	10.16	3.387	0.13	0.935	1.08
	D	3	78.31	26.10	1.01	0.497	8.32
	Hata	3	77.47	25.82			8.23
	Toplam	15	941.1				100
Yoğunluk	A	3	281.4	93.79	15.88	0.024	84.13
	B	3	10.50	3.501	0.59	0.661	3.14
	C	3	4.707	1.569	0.27	0.847	1.41
	D	3	20.22	6.740	1.14	0.458	6.04
	Hata	3	17.71	5.905			5.29
	Toplam	15	334.5				100

A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi, D=Miksleme sıcaklığı (°C)

4.3.2. Model köpük helvalarda toplam üretim süresi (dk) ve renk (L^*) yanıtlarının optimizasyonu

Değişik oranlarda gam içeren protein çözeltilerinden 0.5 g/cm³ yoğunluk değerindeki köpük helvaların üretilmesi için gerekli çırpma süresi “toplam üretim süresi” (TÜS) olarak değerlendirilmiştir. Bu değer, köpük helva üretmek için gerekli toplam miksleme süresini ifade etmektedir. Köpük helva örneklerinin renkleri arasındaki L^* (açıklık-koyuluk) değerleriyle belirlenmiştir.

Çizelge 4.24’de TÜS (dk) ve renk (L^*) testlerinin ortalama sonuçları ve S/N değerleri görülmektedir. Köpük helva üretiminde TÜS’ün kısa olması istendiğinden, S/N oranları Eşitlik 3.20 kullanılarak hesaplanmıştır. Köpük helvalarda daha beyaz ve parlak renkte olanlar tercih edildiğinden, S/N değerlerinin belirlenmesinde Eşitlik 3.19’dan

yararlanılmıştır. Tablodaki veriler incelendiğinde, köpük helvalarda TÛS (dk) sonuçları S/N oranlarının -28.30 dB ile -39.65 dB, L^* S/N oranlarının ise 38.90 dB ve 39.23 dB arasında değiştiği tespit edilmiştir. Örneklerin üretim süreleri arasında rakamsal olarak büyük farklar olduğu, parlaklıkları arasında çok büyük farklılıkların olmadığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.24. Model köpük helvalarda toplam üretim süresi (dk) ve renk (L^*) yanıtları ortalama sonuçları ve S/N değerleri

Örnek Kodu	Toplam üretim süresi		Renk	
	Dk	S/N (dB)	L^*	S/N (dB)
1	85	-38.59	91.42	39.22
2	40	-32.04	91.41	39.22
3	31	-29.83	91.41	39.22
4	27	-28.63	91.37	39.22
5	39	-31.82	91.47	39.23
6	31	-29.83	91.44	39.22
7	86	-38.69	91.30	39.21
8	50	-33.98	91.41	39.22
9	26	-28.30	90.89	39.17
10	30	-29.54	91.39	39.22
11	46	-33.26	90.81	39.16
12	77	-37.73	91.44	39.22
13	67	-36.52	89.19	39.01
14	96	-39.65	89.32	39.02
15	29	-29.25	88.35	38.92
16	35	-30.88	88.15	38.90

Köpük helvalarda TÛS ve renk analizi sonuçları S/N oranları yanıtları Çizelge 4.25’de verilmiştir. Çizelgede her bir faktörün optimum seviyesi koyu renkte gösterilmiştir. Yüksek fark değeri faktör etkilerinin göreceli büyüklüğünü belirtmektedir.

Köpük helva üretiminde TÛS’ü etkileyen en önemli faktör miksleme sıcaklığı (°C) olarak tespit edilmiştir. Protein çeşidi ve hidrokolloid miktarının TÛS’ü sırasıyla ikinci ve

üçüncü dereceden etkiledikleri görülmektedir. Hidrokolloid tipinin en düşük fark değeriyle (0.64) köpük helva toplam üretim süresine katkısı en düşük üretim faktörü olarak belirlenmiştir. Çöven ekstraktı, Na-KAZ ve karragenan (%0.1) içeren şekerli sıvıların 80 °C’de çırpılmasıyla üretilen köpük helvalarda TÛS’ün en kısa olması beklenmektedir (A₃B₂C₂D₄).

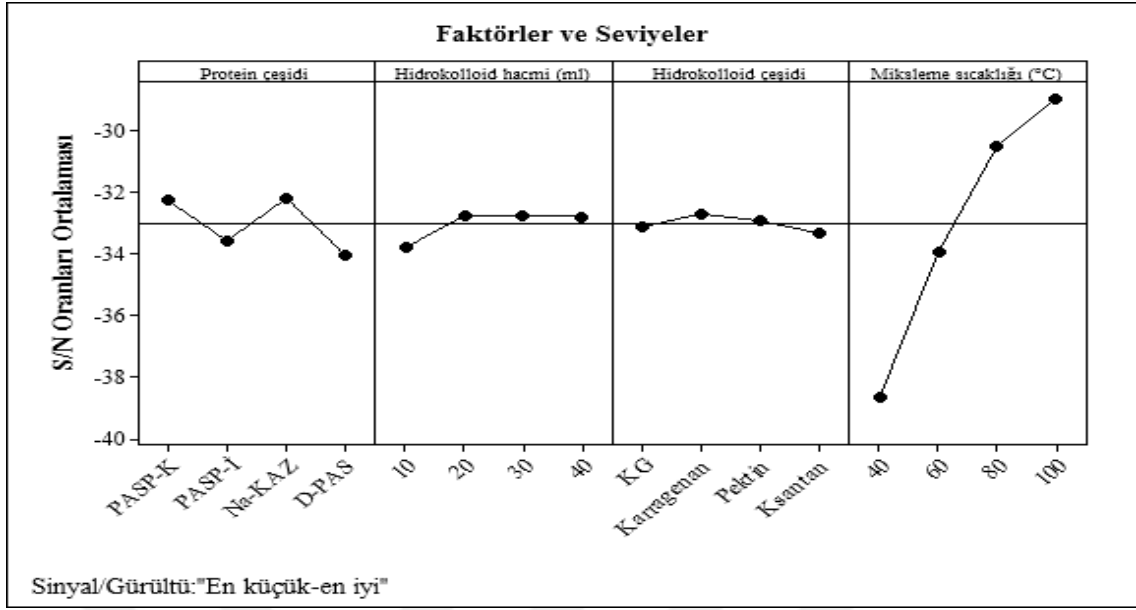
Protein çeşidinin köpük helvaların renklerini belirlemede en önemli kontrol parametresi olduğu saptanmıştır. Fark değerleri çok düşük ve birbirine çok yakın olan diğer faktörlerin köpük helvalarda *L** değerine etkileri çok sınırlı olduğu görülmektedir. En iyi renk değerine sahip köpük helvanın A₂B₂C₄D₁ formülasyonu ile üretilebileceği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.25. Model köpük helvalarda toplam mikslleme süresi ve renk yanıtları S/N oranları tablosu

Faktörler	Toplam üretim süresi (dk)				Renk (<i>L*</i>)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Seviye 1	-32.27	-33.81	-33.14	-38.66	39.22	39.16	39.13	39.17
Seviye 2	-33.58	-32.75	-32.71	-33.95	39.23	39.17	39.15	39.15
Seviye 3	-32.21	-32.76	-32.94	-30.52	39.19	39.13	39.16	39.14
Seviye 4	-34.07	-32.80	-33.35	-29.00	38.96	39.14	39.17	39.13
Fark	1.87	1.05	0.64	9.66	0.26	0.04	0.04	0,03
Derece	2	3	4	1	1	2	3	4

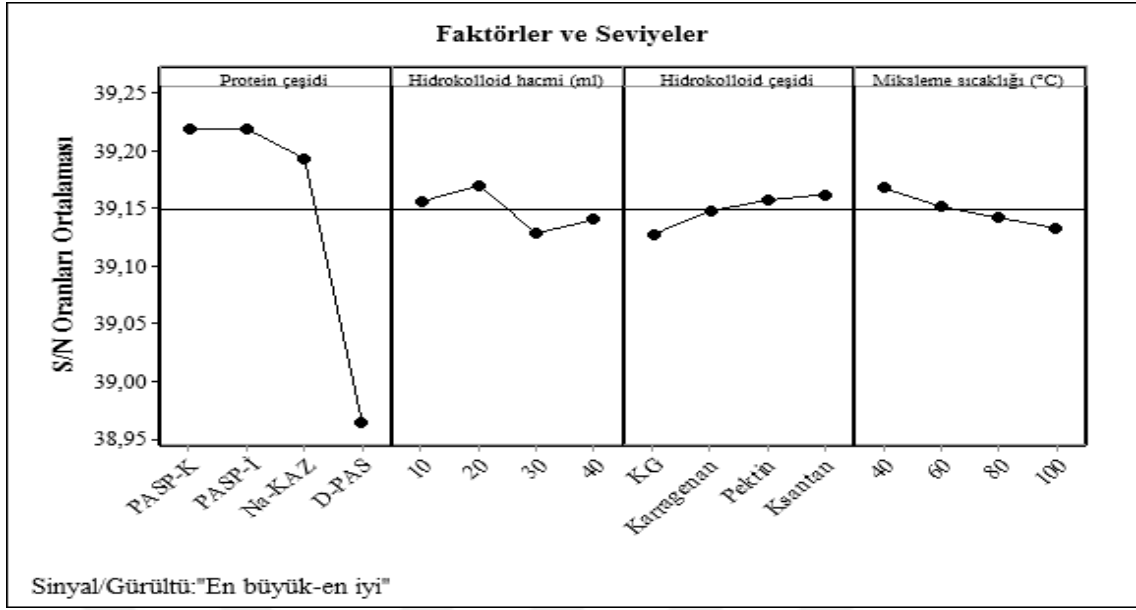
Koyu karakterdeki sayılar en iyi seviyeyi temsil etmektedir A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi, D=Mikslleme sıcaklığı (°C)

Model köpük helva örneklerinin üretilebilmesi için gerekli olan süreyi gösteren TÛS ve model helvaların renk sonuçlarının ortalama S/N değerlerine ait grafikler sırasıyla Şekil 4.34 ve Şekil 4.35’de verilmiştir. Na-KAZ ve PASP-İ içeren helvalarda TÛS’ün en kısa olduğu görülmektedir. %0.1’den fazla gam ilavesinin üretim süresini pek fazla etkilemediği anlaşılmaktadır. Karragenan ve pektin kullanımıyla S/N oranlarında belirgin bir değişikliğin olmadığı tespit edilmiştir. Sıcaklık artışının köpük helva üretim süresini kısalttığı belirlenmiştir (Şekil 4.34).



Şekil 4.34. Model köpük helvalarda toplam üretim süresi (dk) yanıtı S/N oranları grafiği

Şekil 4.35’de L^* değeri üzerine en etkili proteinlerin PASP-K ve PASP-İ olduğu görülmektedir. Köpük helva formülasyonunda D-PAS kullanımının köpük helvanın rengini olumsuz yönde etkilediği saptanmıştır. %0.1’den fazla gam ilavesinin köpük helvaların rengine olumsuz etkisi olduğu görülmüştür. Ksantan gam ve pektin kullanımıyla daha parlak renkte köpük helvaların üretilebileceği belirlenmiştir. Köpük helva üretimi esnasında uygulanan sıcaklık değerinin artmasıyla helvaların parlaklıklarının azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.35. Model köpük helvalarda renk (L^*) yanıtı S/N oranları grafiği

Köpük helvalarda TUS ve renk değerlerine ait ANOVA sonuçları Çizelge 4.26'da verilmiştir. Tablodaki verilere göre, TUS üzerine anlamlı etkisi olan tek parametrenin yüksek F değeriyle (86.86) çırpma sıcaklığı olduğu belirlenmiştir. Bu faktörün TUS sonuçlarının S/N oranına katkı yüzdesi 92.76 bulunmuştur. Protein çeşidi, hidrokolloid miktarı ve hidrokolloid çeşidinin TUS'e etki oranları toplamı %6.17 olarak hesaplanmıştır. Köpük helva üretim süresini belirleyen en önemli faktörün çırpma sıcaklığı olduğu varyans analiziyle de desteklenmiştir.

Köpük helvaların renk yanıtı S/N oranlarının varyans analizine göre, köpük helvaların parlaklıklarının anlamlı düzeyde etkileyen tek model parametresinin protein çeşidi olduğu saptanmıştır. Protein tipinin renk üzerine katkı yüzdesi 93.42 bulunmuştur. Diğer kontrol parametrelerinin ve model faktörleri dışındaki unsurların köpük helvaların L^* değerine etki oranı toplamı %7.08 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.26. Model köpük helvalarda toplam üretim süresi (dk) ve renk (L^*) yanıtları S/N oranları ANOVA tablosu

Yanıtlar	Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	Katkı yüzdesi
Toplam üretim süresi (dk)	A	3	10.58	3.528	4.17	0.136	4.45
	B	3	3.208	1.069	1.26	0.426	1.35
	C	3	0.888	0.296	0.35	0.794	0.37
	D	3	220.5	73.50	86.86	0.002	92.76
	Hata	3	2.539	0.846			1.07
	Toplam	15	237.7				100
Renk (L^*)	A	3	0.185	0.062	47.89	0.005	93.42
	B	3	0.004	0.001	1.00	0.500	2.02
	C	3	0.003	0.001	0.75	0.592	1.52
	D	3	0.003	0.001	0.70	0.613	1.52
	Hata	3	0.004	0.001			2.02
	Toplam	15	0.198				100

A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi, D=Miksleme sıcaklığı (°C)

4.3.3. Model köpük helvalarda dinamik reolojik özelliklerin optimizasyonu

Köpük helva örneklerinin dinamik kayma (dynamic shear) reolojik özelliklerinin analiz sonuçları ortalamaları ve S/N değerleri Çizelge 4.27’de verilmiştir. Köpük helvalarda katı özelliği temsil eden elastik modül (G') S/N oranlarının belirlenmesinde Eşitlik 3.19, model helvaların sıvı özelliğini yansıtan viskoz modül (G'') ve viskoz modülün elastik modüle oranını gösteren kayıp tanjant ($\tan(\delta)$) sonuçları S/N değerlerinin hesaplanmasında Eşitlik 3.20 kullanılmıştır. Köpük helva örneklerinde G' , G'' ve $\tan(\delta)$ analiz sonuçları S/N oranlarının sırasıyla 26.39 dB ile 62.82 dB, -49.43 dB ile -64.22 dB ve 0.76 dB ile -6.85 dB arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.27. Model köpük helvaların dinamik reolojik özellikleri ortalama sonuçları ve S/N değerleri

Örnek Kodu	Depo modül		Viskoz modül		Kayıp tanjant	
	G'		G''		tan(δ)	
	Pa	S/N (dB)	Pa	S/N (dB)	-	S/N (dB)
1	233.24	47.36	296.05	-49.43	1.27	-2.07
2	232.98	47.35	487.36	-53.76	2.09	-6.41
3	352.71	50.95	471.30	-53.47	1.34	-2.52
4	1 384.1	62.82	1 625.8	-64.22	1.18	-1.40
5	309.04	49.80	622.43	-55.88	2.01	-6.08
6	198.68	45.96	425.85	-52.59	2.14	-6.62
7	574.68	55.19	526.73	-54.43	0.92	0.76
8	384.84	51.71	446.48	-53.00	1.16	-1.29
9	1 046.5	60.81	1 492.2	-64.01	1.42	-3.32
10	264.88	48.46	582.91	-55.31	2.20	-6.85
11	199.74	45.94	424.60	-52.49	2.13	-6.57
12	492.34	53.89	1 018.9	-60.21	2.07	-6.32
13	387.86	51.84	609.71	-55.77	1.57	-3.94
14	555.38	54.85	676.03	-56.58	1.23	-1.84
15	222.22	47.23	443.16	-53.14	2.00	-5.83
16	176.10	44.17	388.02	-51.02	2.21	-6.86

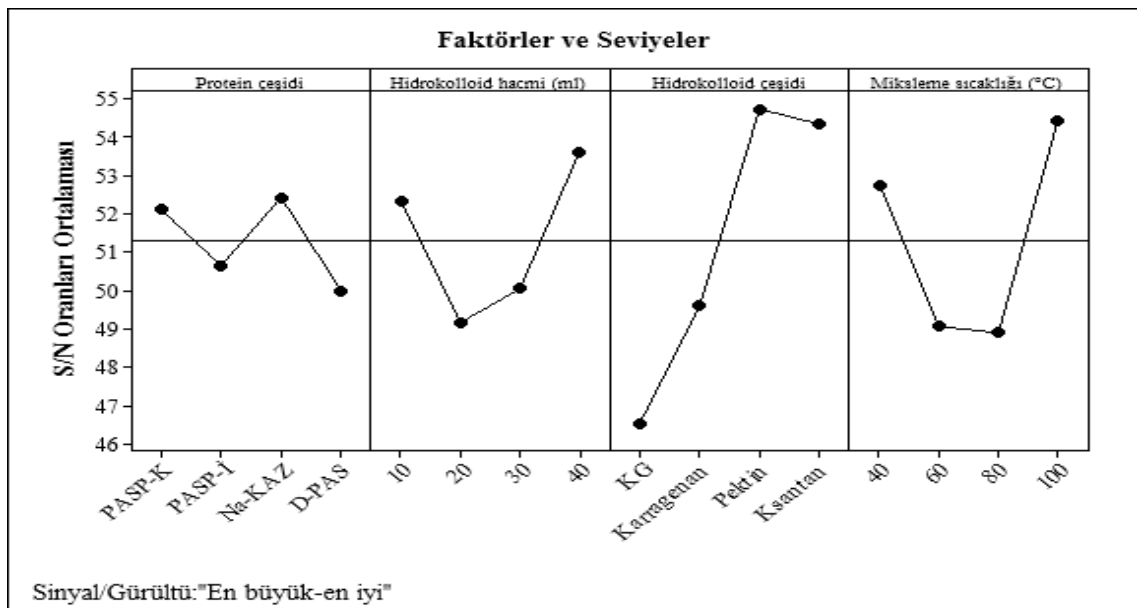
Köpük helvalarda dinamik kayma (dynamic shear) reoloji sonuçlarına ait S/N oranı yanıtları Çizelge 4.28'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, köpük helvaların dinamik reolojik özelliklerini etkileyen en önemli faktörün hidrokolloid çeşidi olduğu görülmektedir. Ayrıca, çırpma sıcaklığının da dinamik reolojik özelliklerde ikinci dereceden etkili parametre olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Protein çeşidi ve gam konsantrasyonun G', G'' ve tan (δ) sonuçlarını en az etkileyen model parametreleri olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.28. Model köpük helvaların dinamik reolojik özellikleri S/N oranları yanıt tablosu

Faktörler	Depo modül G'				Viskoz modül G''				Kayıp tanjant tan (δ)			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Seviye 1	52.12	52.45	45.86	52.82	-55.22	-56.27	-51.38	-55.16	-3.07	-3.78	-5.46	-2.31
Seviye 2	50.66	49.15	49.57	49.21	-53.97	-54.56	-55.75	-53.75	-3.43	-5.43	-6.16	-4.68
Seviye 3	52.27	49.83	54.58	48.35	-58.01	-53.38	-56.76	-53.92	-5.76	-3.55	-2.38	-5.58
Seviye 4	49.52	53.15	54.56	54.21	-54.13	-57.11	-57.43	-58.49	-4.62	-4.11	-2.88	-4.31
Fark	2.75	3.99	8.19	5.86	4.03	3.73	6.05	4.73	2.69	1.88	3.78	3.27
Derece	4	3	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2

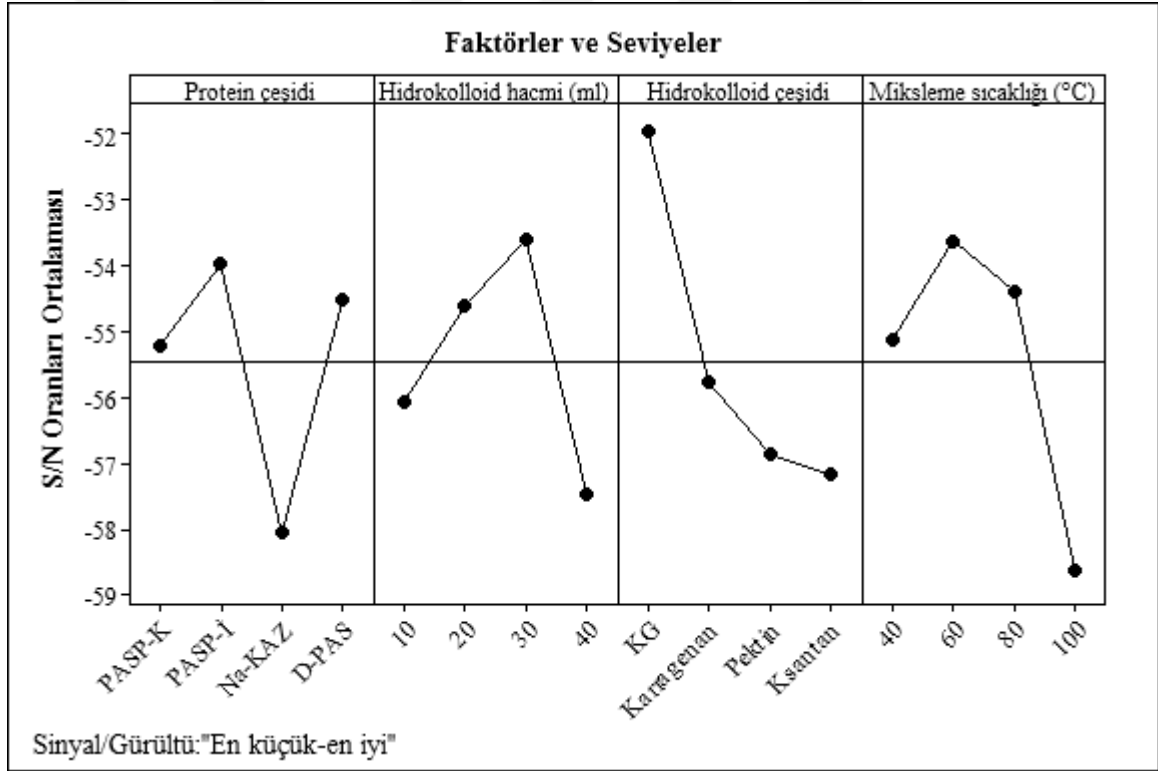
Koyu karakterdeki sayılar en iyi seviyeyi temsil etmektedir. A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi, D=Miksleme sıcaklığı (°C)

Köpük helvaların elastik modülü (G') için faktör ve seviyelerin S/N oranları ortalaması Şekil 4.36'da verilmiştir. Çöven ekstraktıyla birlikte sodyum kazeinat veya peynir altı suyu protein izolatu kullanılan köpük helva örneklerinde elastik modül (G') değerlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Köpük helva formülasyonunda gam konsantrasyonundaki değişimin G' değerine etkisi net olarak belirlenememiştir. Pektin ve ksantan gam kullanılan örneklerde elastikliğin arttığı görülmektedir. Sıcaklığın köpük helvaların elastikliği üzerine etkisi tam olarak saptanamamıştır. Elastik özelliği en yüksek köpük helvaların A₃B₄C₃D₄ formülasyonu ile üretilebileceği belirlenmiştir.



Şekil 4.36. Model köpük helvalarda depo modül (G') yanıtı S/N oranları grafiği

Model helvaların viskoz modülü (G'') için faktör ve seviyelerin S/N oranları grafiği Şekil 4.37’de görülmektedir. Grafik incelendiğinde, peynir altı suyu protein tozları kullanılarak üretilen köpük helvaların Na-KAZ içerenlere göre daha az viskoz özellikte olduğu görülmektedir. Köpük helva formülasyonuna %0.15’ten fazla gam ilavesiyle G'' değerinin arttığı tespit edilmiştir. Keçiyoynuzu gamı (KG) dışındaki polisakkaritlerin ürün formülasyonunda kullanımıyla viskoz özelliklerin arttığı saptanmıştır. Köpük helvaların çırpılması aşamasında 60 °C’nin üzerindeki sıcaklık uygulamalarında viskoz özelliğin arttığı tespit edilmiştir. Çöven ekstraktı, PASP-İ ve keçiyoynuzu gamı (%0.15) içeren sıvının 60 °C’de çırpılmasıyla en düşük viskoz modül değerine sahip köpük helvaların üretilebileceği belirlenmiştir ($A_2B_3C_1D_2$).

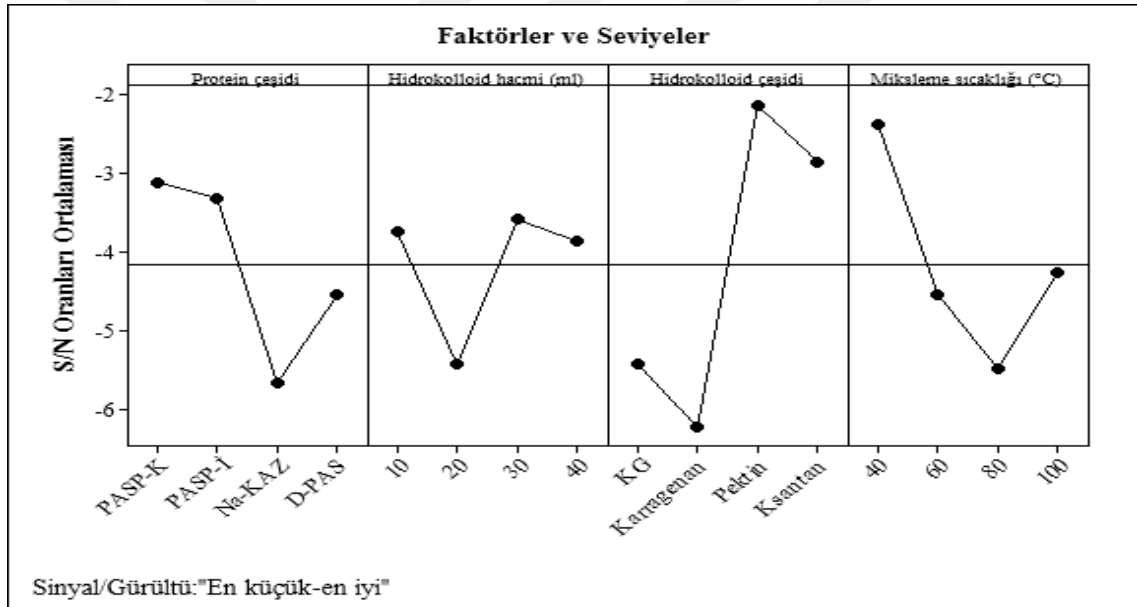


Şekil 4.37. Model köpük helvalarda viskoz modül (G'') yanıtı S/N oranları grafiği

Köpük helvalarda kayıp tanjant ($\tan \delta$) için faktör ve seviyelerin S/N oranları grafiği Şekil 4.38’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, PASP-İ ve PASP-K kullanılan köpüklerde tanjant delta değerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Na-KAZ kullanılarak hazırlanan köpüklerde viskoz özelliğin (G'') baskın olduğu belirlenmiştir. Hidrokolloid miktarının köpüklerin viskoelastik özellikleri üzerine etkisi tam olarak anlaşılamamıştır.

Fakat %0.15 gam ilavesiyle daha elastik özellikte köpük helva üretilebileceği belirlenmiştir. Pektin ve ksantan gam içeren örneklerin daha az viskoz özellik gösterdiği saptanmıştır. Köpük helva üretiminde mikslleme sıcaklığındaki artışın helvaların elastik özelliğinin azalmasıyla sonuçlandığı tespit edilmiştir.

Köpük helvaların hem elastik hem de viskoz özelliklerini yansıtan ve dinamik reolojik özelliklerini değerlendirmek için daha doğru bir tercih olan $\tan(\delta)$ S/N oranları grafiği (Şekil 4.38) incelendiğinde; çöven ekstraktı, PASP-İ ve pektin (%0.15) kullanılarak hazırlanan sıvıların 40 °C’de çırpılmasıyla kayıp tanajant değeri daha düşük (daha elastiki yapıda) helvaların üretilebileceği belirlenmiştir (A₁B₃C₃D₁).



Şekil 4.38. Model köpük helvalarda kayıp tanjant ($\tan(\delta)$) yanıtı S/N oranları grafiği

Köpük helva örneklerinde dinamik kayma (dynamic shear) reoloji sonuçları S/N oranları ANOVA tablosu Çizelge 4.29’da görülmektedir. Tablodaki veriler incelendiğinde, hidrokolloid çeşidinin yüksek F değeriyle (17.16) köpük helva üretiminde dinamik reolojik özelliklerden kayıp tanjant yanıtı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Depo ve viskoz modül üzerine anlamlı etkisi olan kontrol parametresi belirlenememiştir. Kolloid çeşidinin G' , G'' ve $\tan \delta$ sonuçları S/N oranlarına katkı yüzdesi sırasıyla %46.84, %27.75 ve %48.78 olarak saptanmıştır. Köpük helvaların dinamik reolojik özelliklerine etkisi ikinci en yüksek olan faktörün (çırpma sıcaklığı) bu

yanıtlar üzerine etki oranları ise sırasıyla %22.83, %23.77 ve %21.44 olarak belirlenmiştir.

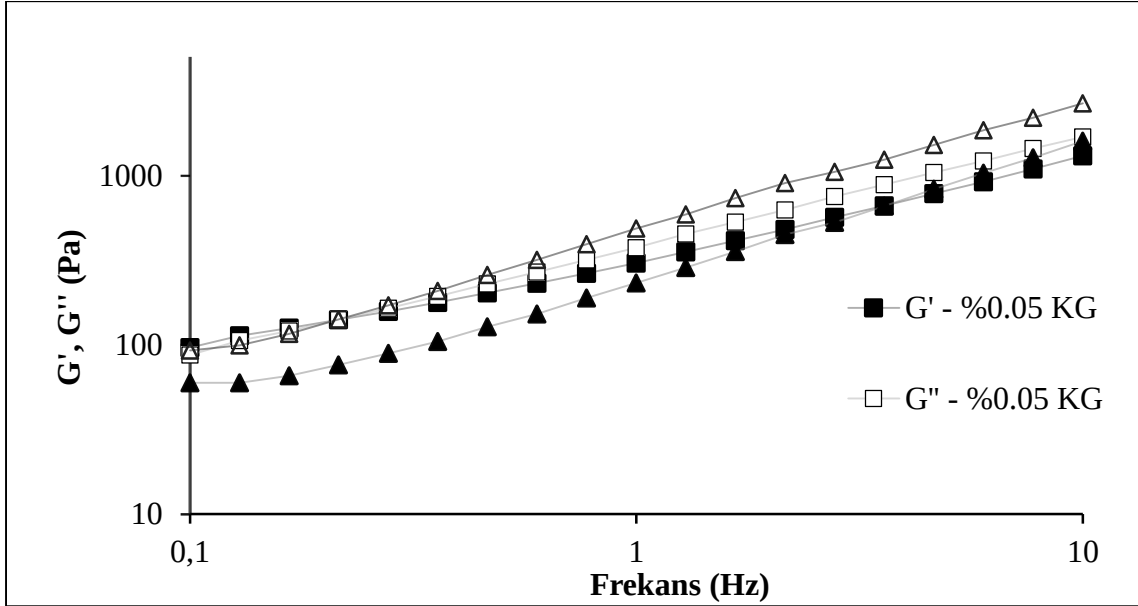
Çizelge 4.29. Model köpük helvalarda dinamik reolojik özellikler S/N oranları ANOVA tablosu

	Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	Katkı yüzdesi
Depo modül, G'	A	3	16.04	5.345	0.30	0.828	4.04
	B	3	50.16	16.72	0.92	0.525	12.63
	C	3	186.1	62.04	3.43	0.169	46.84
	D	3	90.70	30.23	1.67	0.342	22.83
	Hata	3	54.23	18.08			13.65
	Toplam	15	397.3				100
Viskoz modül, G''	A	3	40.07	13.36	0.86	0.548	15.98
	B	3	34.77	11.59	0.75	0.593	13.87
	C	3	69.56	23.19	1.49	0.375	27.75
	D	3	59.58	19.86	1.28	0.423	23.77
	Hata	3	46.68	15.56			18.62
	Toplam	15	250.7				100
Kayıp tanjant tan (δ)	A	3	16.80	5.601	6.22	0.084	17.67
	B	3	8.819	2.940	3.26	0.179	9.27
	C	3	46.39	15.46	17.16	0.022	48.78
	D	3	20.39	6.798	7.54	0.066	21.44
	Hata	3	2.70	0.901			2.84
	Toplam	15	95.10				100

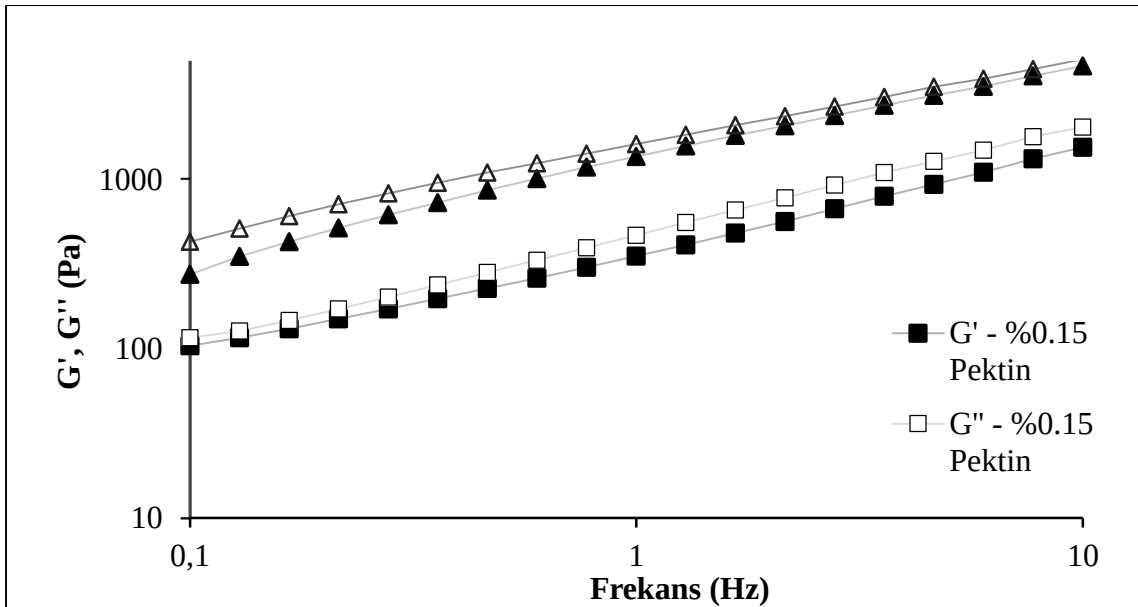
A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi, D=Miksleme sıcaklığı (°C)

Köpük helvaların 0.2 Pa sabit basınçta 0.1-10 Hz frekans aralığında dinamik reolojik özelliklerine ait frekans tarama grafikleri Şekil 4.39 ile Şekil 4.46 arasında verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, frekans artışıyla birlikte hem elastik (G') hem de viskoz modül (G'') değerlerinin arttığı görülmektedir. Köpük helvalarda G' ve G'' değerlerinin artışlarındaki farklılıklar model faktörlerinin köpük reolojisini etkilediğini göstermektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, ksantan gam kullanılan köpük helvalarda düşük frekanslarda viskoz yüksek frekanslarda elastik özelliklerin baskın

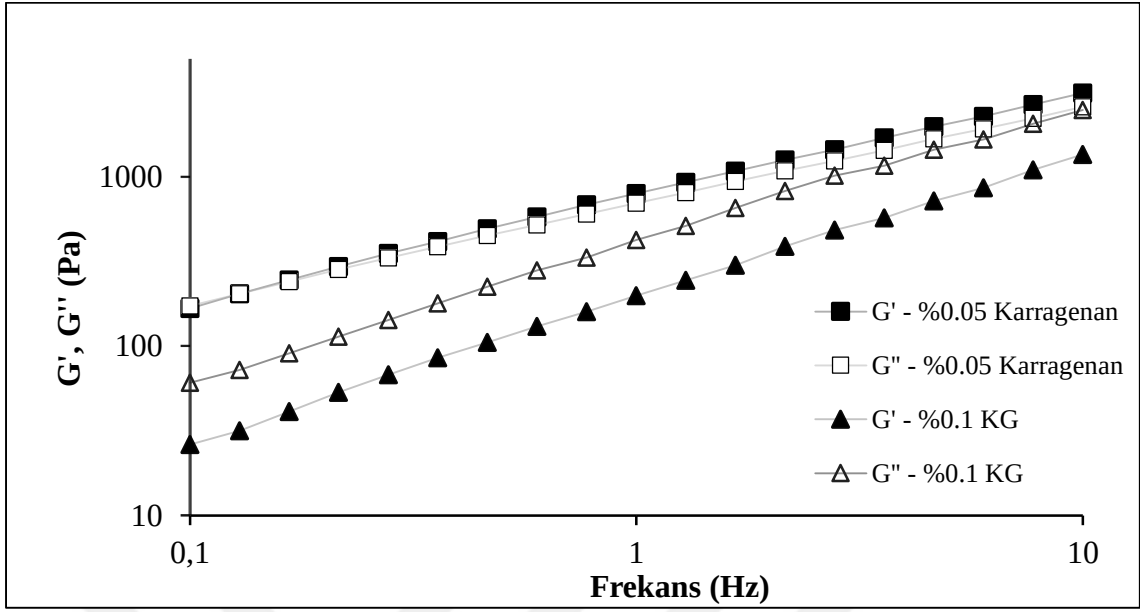
olduğu, diğer gamların tercih edildiği örneklerde frekans artışıyla viskoz özelliklerin daha baskın hale geldiği saptanmıştır.



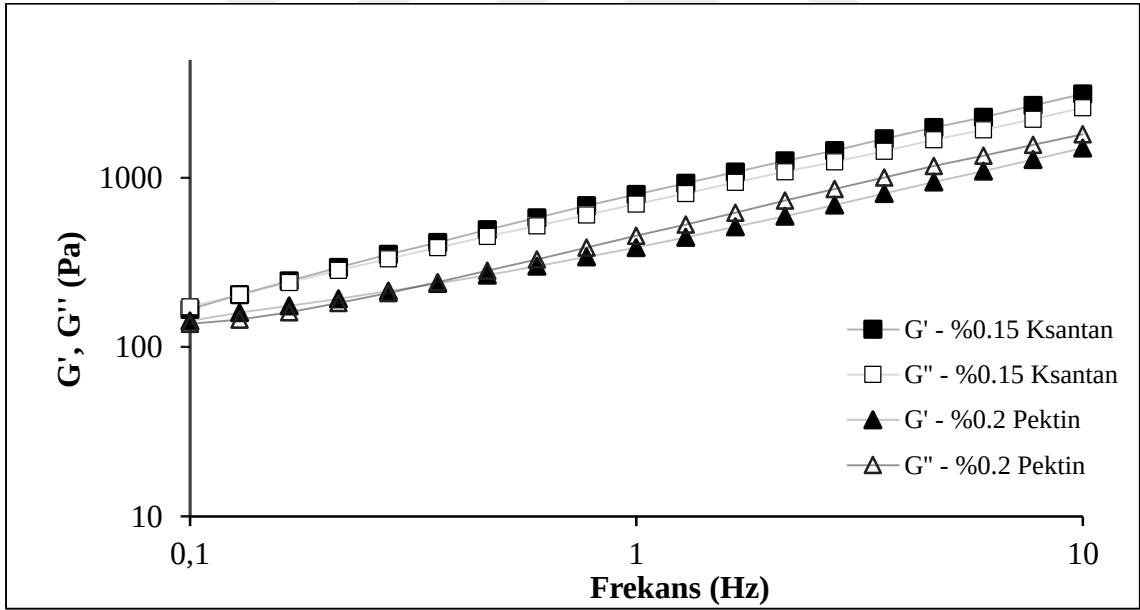
Şekil 4.39. PASP-K ile KG veya karragenan kullanılarak üretilen model köpük helvaların frekans tarama testleri



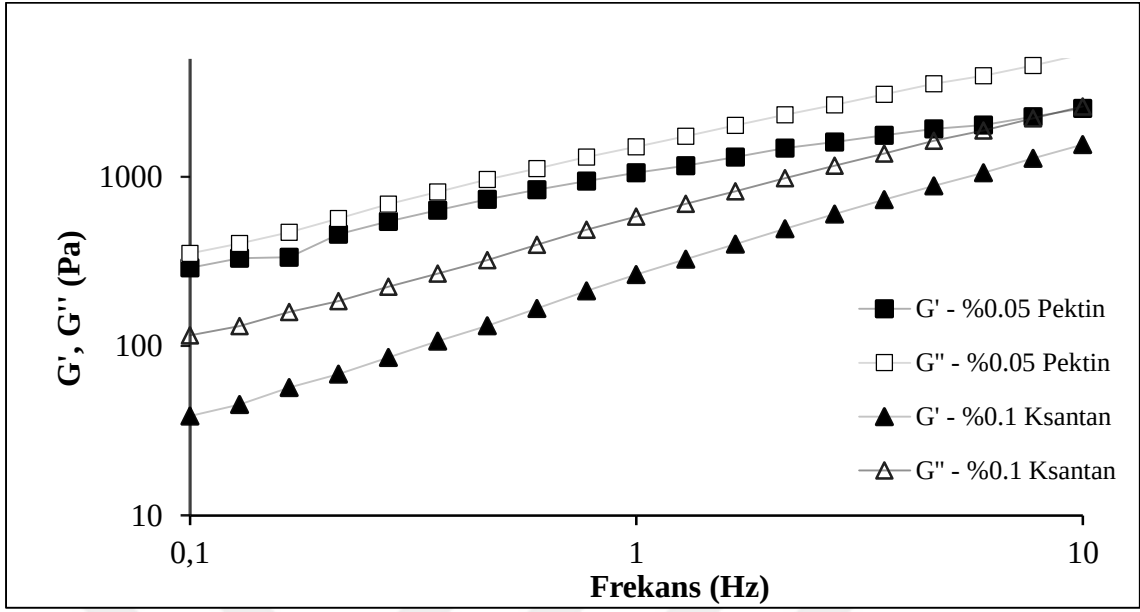
Şekil 4.40. PASP-K ile pektin veya ksantan gam kullanılarak üretilen model köpük helvaların frekans tarama testleri



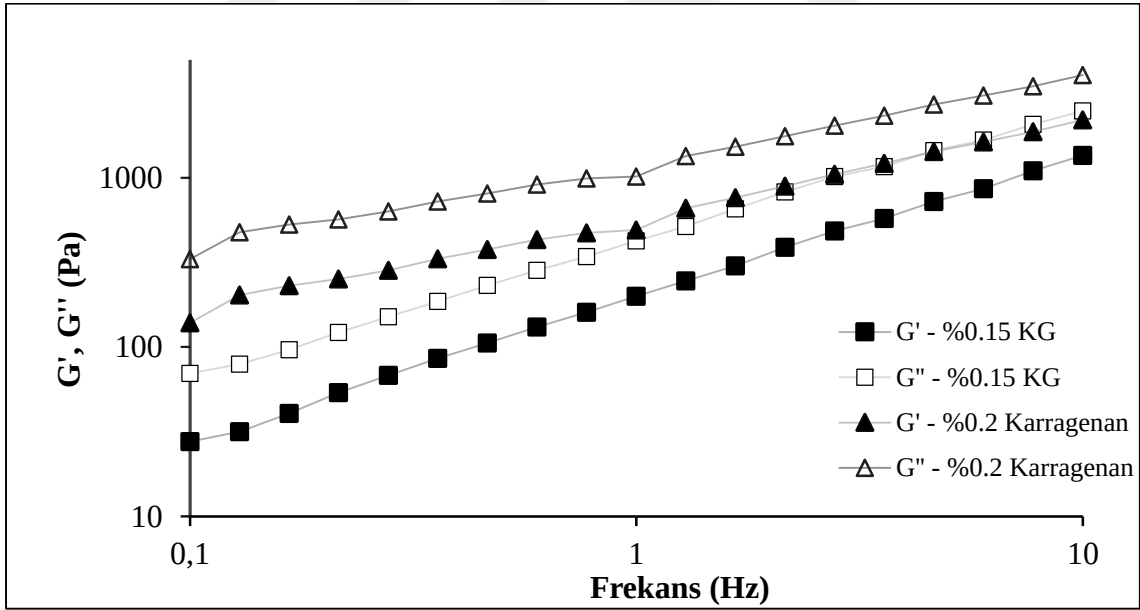
Şekil 4.41. PASP-İ ile karragenan veya KG kullanılarak üretilen model köpük helvaların frekans tarama testleri



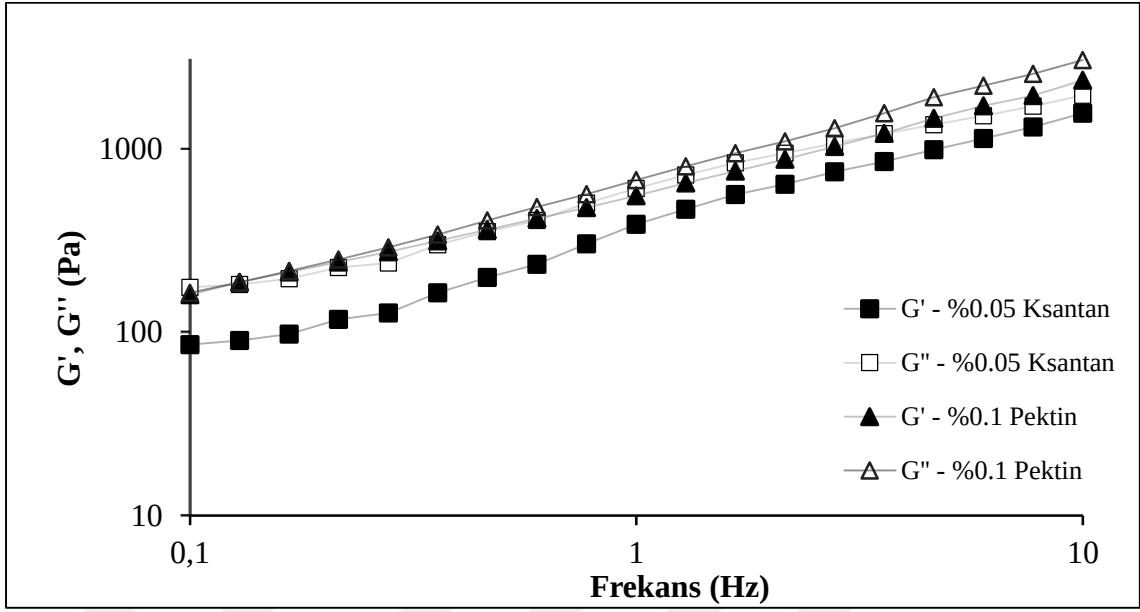
Şekil 4.42. PASP-İ ile ksantan gam veya pektin kullanılarak üretilen model köpük helvaların frekans tarama testleri



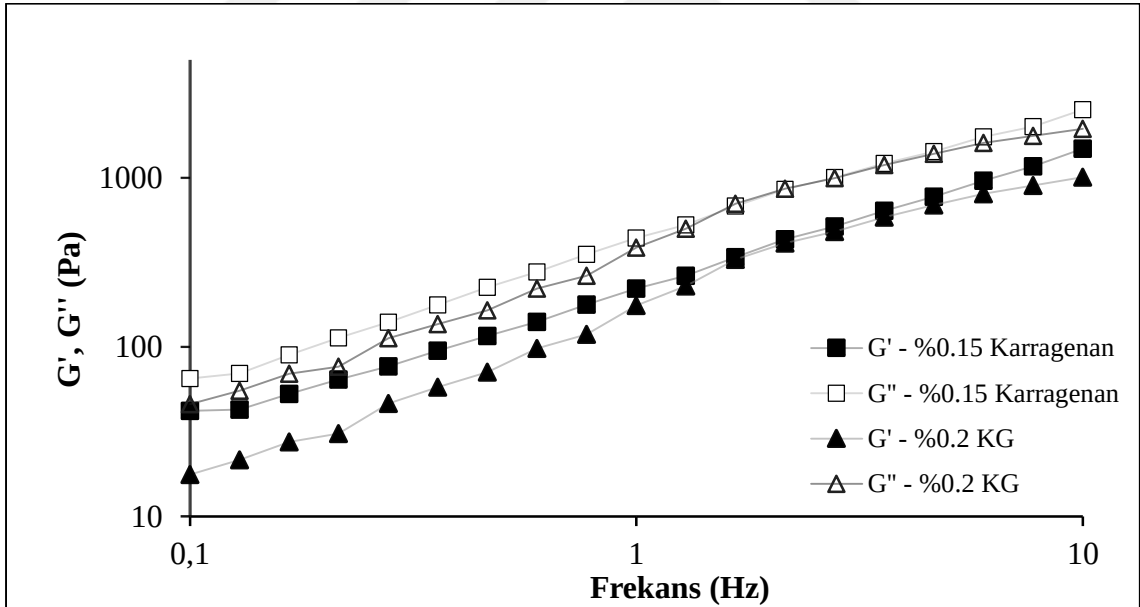
Şekil 4.43. Na-KAZ ile pektin veya ksantan gam kullanılarak üretilen model köpük helvaların frekans tarama testleri



Şekil 4.44. Na-KAZ ile KG veya karragenan kullanılarak üretilen model köpük helvaların frekans tarama testleri



Şekil 4.45. D-PAS ile ksantan gam veya pektin kullanılarak üretilen model köpük helvaların frekans tarama testleri



Şekil 4.46. D-PAS ile karragenan veya KG kullanılarak üretilen model köpük helvaların frekans tarama testleri

4.3.4. Model köpük helvaların tekstürel özelliklerinin optimizasyonu

Köpük helva örneklerinin sertlik (hardness) ve yapışkanlık (adhesiveness) özelliklerine ait tekstür analiz sonuçları ortalaması ve S/N değerleri Çizelge 4.30'da verilmiştir. Helva

örneklerinin tekstürel özelliklerinden sertlik yanıtına ait S/N oranının değerlendirilmesinde Eşitlik 3.19 tercih edilmiştir. Ayrıca, Eşitlik 3.20 seçilerek yapışkanlık sonuçları S/N oranları hesaplanmıştır. Köpük helvaların sertlik yanıtı S/N değerlerinin 24.31 dB ile 29.68 dB arasında değiştiği, yapışkanlık yanıtı S/N değerlerinin en düşük -31.10 dB, en yüksek -23.65 dB olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.30. Model köpük helvaların tekstürel özellikleri ortalama sonuçları ve S/N değerleri

Örnek Kodu	Sertlik		Yapışkanlık	
	g	S/N (dB)	-g.s	S/N (dB)
1	16.76	24.49	17.25	24.74
2	16.43	24.31	18.18	25.19
3	20.08	26.06	20.31	26.16
4	30.48	29.68	35.88	31.10
5	20.41	26.20	22.37	26.99
6	17.03	24.62	18.35	25.27
7	21.84	26.79	20.88	26.39
8	21.27	26.56	23.25	27.33
9	21.15	26.51	23.81	27.54
10	17.49	24.86	19.14	25.64
11	18.33	25.26	15.22	23.65
12	21.27	26.56	21.89	26.80
13	21.93	26.82	22.14	26.90
14	21.05	26.46	21.90	26.81
15	16.81	24.51	18.04	25.13
16	16.64	24.42	19.37	25.74

Çizelge 4.31’de köpük helvaların sertlik (g) ve yapışkanlık (-g.s) ölçüm sonuçları S/N oranı yanıtları verilmiştir. Tablo incelendiğinde, köpük helvaların tekstürel değerlerinde en belirleyici faktörün hidrokolloid çeşidi olduğu saptanmıştır. Hidrokolloid miktarı ve çırpma sıcaklığının köpük helvaların sertlik ve yapışkanlığı üzerine sırasıyla ikinci ve üçüncü dereceden etkili üretim faktörleri olduğu bulunmuştur. Köpük helvaların tekstürel

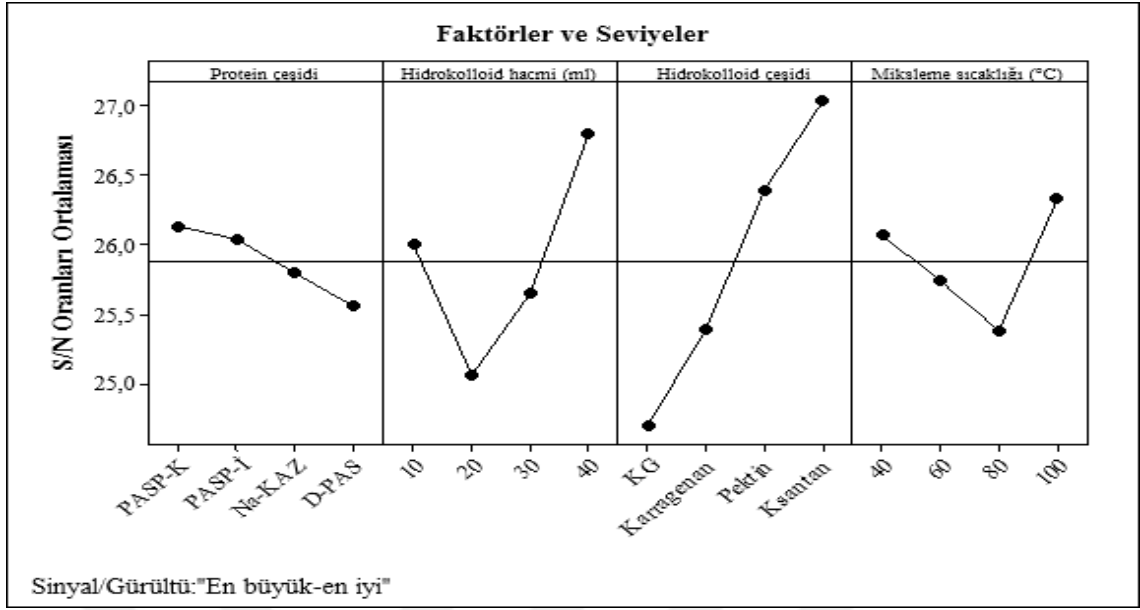
özelliklerinin belirlenmesinde en az etkiye sahip üretim faktörünün protein çeşidi olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.31. Model köpük helvaların tekstürel özellikleri S/N oranları yanıt tablosu

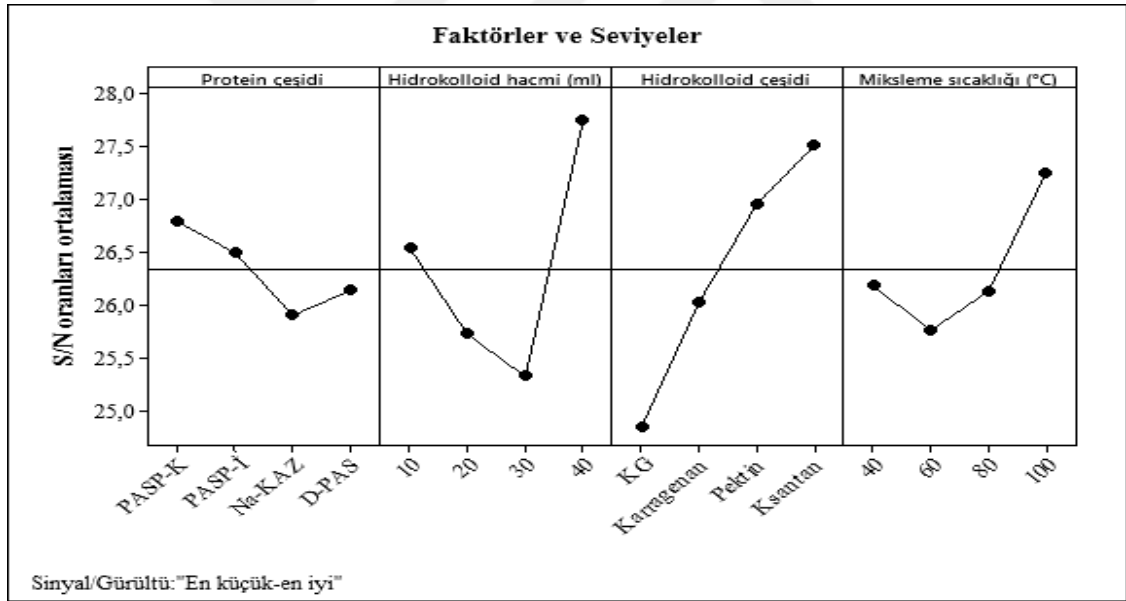
Faktörler	Sertlik (g)				Yapışkanlık (-g.s)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Seviye 1	26.13	26.00	24.70	26.07	26.80	26.54	24.85	26.19
Seviye 2	26.04	25.06	25.39	25.74	26.50	25.73	26.03	25.77
Seviye 3	25.80	25.65	26.40	25.38	25.91	25.33	26.96	26.13
Seviye 4	25.56	26.80	27.04	26.33	26.15	27.74	27.51	27.26
Fark	0.58	1.74	2.34	0.95	1.08	2.41	2.66	1.49
Derece	4	2	1	3	4	2	1	3

Koyu karakterdeki sayılar en iyi seviyeyi temsil etmektedir. A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi, D=Miksleme sıcaklığı (°C)

Köpük helvaların sertlik (g) ve yapışkanlık (-g.s) sonuçları S/N oranlarına ait grafikler sırasıyla Şekil 4.47 ve Şekil 4.48’de verilmiştir. PAS-K ve PASP-İ kullanılarak üretilen köpük helvaların D-PAS ve Na-KAZ kullanılarak üretilenlere göre daha sert yapıda ve daha az yapışkan oldukları görülmektedir. Genel olarak, köpük helvaların tekstürel özellikleri ve hidrokolloid konsantrasyonu arasında kesin bir ilişki tespit edilememiştir. Fakat yüksek konsantrasyonlarda gam kullanımıyla daha sert ve daha az yapışkan özellikte model köpük helvalar üretilmiştir. Pektin veya ksantan gam kullanımıyla sertlik değeri yüksek yapışkanlık değeri düşük köpük helvaların üretilebileceği görülmektedir. 100 °C’den düşük sıcaklıklarda çırpma işlemine maruz kalan köpüklerde sertlik ve yapışkanlık sonuçları S/N oranlarının ortalamanın altında kaldığı saptanmıştır. Sonuç olarak; çöven ekstraktı, PASP-K ve ksantan gam (%0.2) kullanılarak hazırlanan sıvıların 100 °C’de çırpılmasıyla tekstürel olarak hedeflenen niteliklerde köpük helvaların üretilebileceği anlaşılmaktadır (A₁B₄C₄D₄).



Şekil 4.47. Model köpük helvalarda sertlik (g) yanıtı S/N oranları grafiği



Şekil 4.48. Model köpük helvalarda yapışkanlık (-g.s) yanıtı S/N oranları grafiği

Köpük helva örneklerinin sertlik (g) ve yapışkanlık (-g.s) sonuçları S/N oranları ANOVA sonuçları Çizelge 4.32’de verilmiştir. Tablodaki veriler incelendiğinde, köpük helvaların sertlik ve yapışkanlık verileri üzerine anlamlı katkısı olan üretim faktörü bulunmamaktadır ($p>0.05$). Köpük helvaların sertliklerinde ve yapışkanlıklarında etki oranı en yüksek olan parametrenin hidrokolloid çeşidi olduğu belirlenmiştir. Köpük helva

üretiminde gam kullanımının köpüklerin sertliklerine katkı oranı %44.10, yapışkanlıklarına etki oranı ise %39.80 olarak tespit edilmiştir. Köpük helva üretim faktörlerinden protein çeşidinin köpük helvaların testürel özelliklerine katkı oranının en düşük olduğu görülmektedir. Üretim dışı unsurların köpük helvaların sertlikleri üzerine etkisi %24.60, yapışkanlıklarına katkısı %10.33 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.32. Model köpük helvalarda tekstürel özellikler S/N oranları ANOVA tablosu

Yanıtlar	Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	Katkı yüzdesi
Sertlik	A	3	0.812	0.271	0.11	0.947	2.77
	B	3	6.343	2.114	0.88	0.541	21.62
	C	3	12.94	4.312	1.79	0.322	44.10
	D	3	2.025	0.675	0.28	0.838	6.91
	Hata	3	7.219	2.406			24.60
	Toplam	15	29.34				100
Yapışkanlık	A	3	1.824	0.608	0.43	0.745	4.46
	B	3	13.60	4.534	3.23	0.181	33.31
	C	3	16.25	5.416	3.85	0.149	39.80
	D	3	4.942	1.647	1.17	0.450	12.10
	Hata	3	4.216	1.405			10.33
	Toplam	15	40.83				100

A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi, D=Miksleme sıcaklığı (°C)

4.3.5. Model köpük helvalarda köpük baloncuk boyutu (d_{32}) yanıtının optimizasyonu

Görüntüleme analizleriyle birleştirilmiş konfokal mikroskopi tekniği köpüklerin baloncuk boyutu dağılımının belirlenmesinde önemli bir yöntemdir. Konfokal mikroskopla alınan görüntüler çok küçük bir örneğin ufak bir kesitini göstermektedir. Köpük örneklerinin üretimlerinden sonraki 48. ve 50. saat konfokal mikroskop görüntüleri Ek 7.1’de verilmiştir. Bu görüntüler incelendiğinde, köpük helva örneklerinde köpük baloncuk büyüklüklerinin zamanla arttığı anlaşılmaktadır. Örneğin, PASP-İ ve ksantan gam içeren 7 numaralı örneğin 50. saat köpük baloncuklarının 48. saat görüntülerinden daha büyük olduğu görülmüştür.

Konfokal lazer taramalı mikroskop (KLTM) çalışmasında köpük helvalarda köpük baloncuklarının zamana bağlı değişimleri araştırılmıştır. Helvaların köpük baloncuk dağılım histogramlarında zamana bağlı olarak küçük boyuttaki köpük baloncuklarının frekans yüzdesi azalırken yeni büyük baloncukların oluştuğu da belirlenmiştir (Ek 7.2).

KLTM ile yapılan çalışmalarda köpük örneklerinin baloncuk boyutları (d_{32}) ortalaması ve S/N değerleri Çizelge 4.33’de verilmiştir. Protein köpüklerinde daha küçük baloncuk çapına ve tekdüze baloncuk dağılımına sahip köpüklerin kararlılığı yüksek olacağından dolayı, köpük helva örneklerinde köpük baloncuk boyutlarının S/N oranları Eşitlik 3.20 kullanılarak değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen ilk ölçüm (48. saat) sonuçlarına göre; köpük baloncuklarının 26 μm ile 50 μm , S/N değerlerinin -28.30 dB ile -33.98 dB arasında değiştiği görülmektedir. 50. saatte yapılan ölçümlerde baloncuk boyutlarının (d_{32}) 35 μm ile 55 μm ve S/N oranlarının -30.88 dB ile -34.81 dB arasında değiştiği belirlenmiştir. Örneklerin baloncuk boyutu ortalamaları (d_{32}) arasında önemli farklılıkların olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.33. Model köpük helvaların baloncuk boyutları (d_{32}) ortalama sonuçları ve S/N değerleri

Örnek Kodu	48. saat baloncuk boyutları, d_{32}		50. saat baloncuk boyutları, d_{32}	
	μm	S/N (dB)	μm	S/N (dB)
1	30	-29.54	36	-31.13
2	28	-28.94	36	-31.13
3	29	-29.25	35	-30.88
4	28	-28.94	38	-31.60
5	33	-30.37	38	-31.60
6	40	-32.04	44	-32.87
7	50	-33.98	55	-34.81
8	42	-32.46	48	-33.62
9	30	-29.54	40	-32.04
10	38	-31.60	45	-33.06
11	39	-31.82	49	-33.80
12	36	-31.13	44	-32.87
13	34	-30.63	40	-32.04
14	26	-28.30	39	-31.82
15	33	-30.37	43	-32.67
16	36	-31.13	42	-32.46

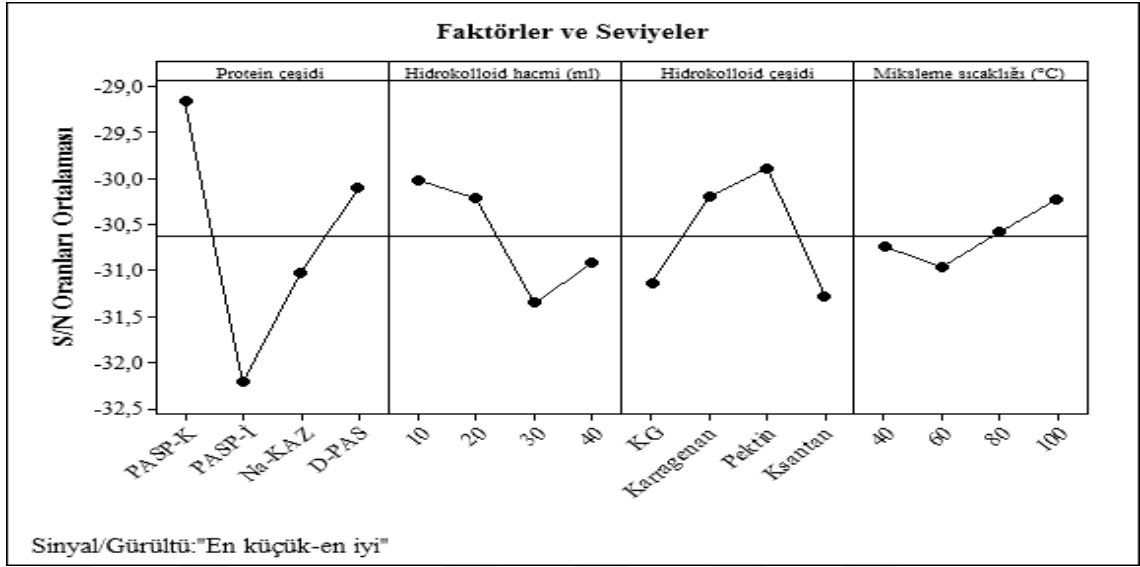
Köpük helvalarda KLTM görüntüleme tekniğiyle elde edilen köpük baloncuk boyutları (d_{32}) S/N oranları yanıtları Çizelge 4.34’de verilmiştir. 48. saat ve 50. saat baloncuk boyutu ölçüm sonuçları S/N oranlarına göre, köpük helva formülasyonunda kullanılan protein tipinin köpük mikroyapısını önemli düzeyde etkilediği belirlenmiştir. Köpük baloncuklarının boyutlarını (d_{32}) ikinci ve üçüncü dereceden etkileyen unsurların hidrokolloid çeşidi ve miktarı olduğu saptanmıştır. Model helvalarda baloncuk boyutunu belirlemede en az etkili üretim parametresinin çırpma sıcaklığı olduğu görülmektedir. Köpük helvalarda daha küçük baloncuk boyutuna sahip örneklerin üretilmesinde en iyi faktör-seviye kombinasyonu $A_1B_1C_3D_3$ olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.34. Model köpük helvalarda baloncuk boyutu ortalamaları (d_{32}) S/N oranları yanıt tablosu

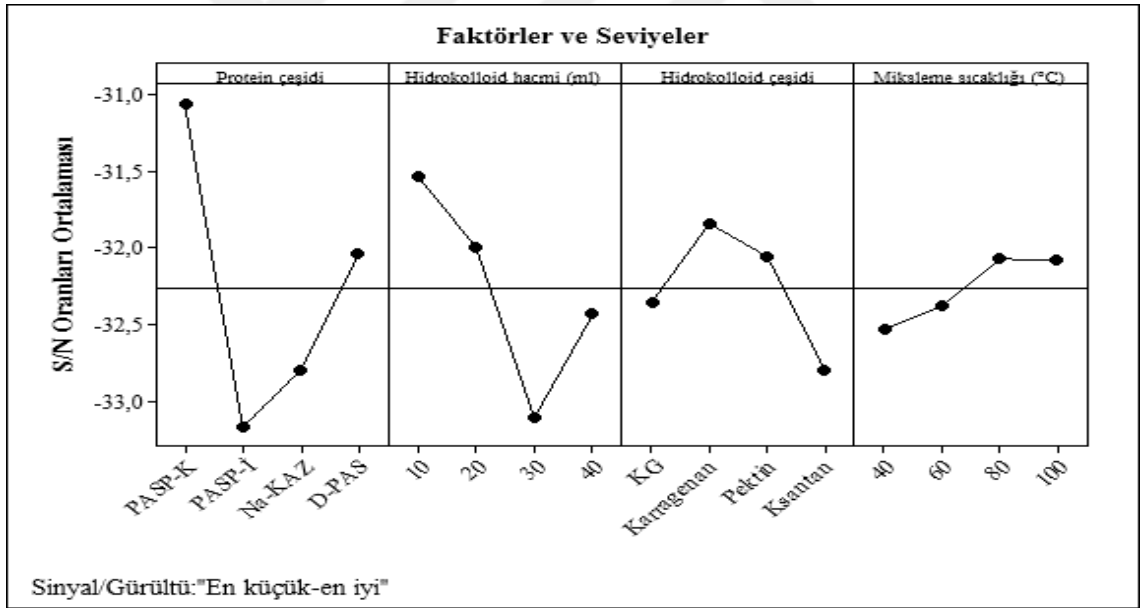
Seviye	48. saat baloncuk boyutu, d_{32}				50. saat baloncuk boyutu, d_{32}			
	A	B	C	D	A	B	C	D
1	-29.17	-30.02	-31.13	-30.74	-31.18	-31.70	-32.357	-32.66
2	-32.21	-30.22	-30.20	-30.96	-33.22	-32.22	-32.07	-32.65
3	-31.02	-31.35	-29.89	-30.58	-32.94	-33.04	-32.09	-32.00
4	-30.11	-30.92	-31.29	-30.22	-32.25	-32.64	-32.88	-32.29
Delta	3.04	1.33	1.40	0.74	2.04	1.34	0.81	0.65
Sıra	1	3	2	4	1	2	3	4

Koyu karakterdeki sayılar en iyi seviyeyi temsil etmektedir. A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi, D=Miksleme sıcaklığı (°C)

Model köpük helvalarda KLTM görüntüleri köpük baloncukları ortalama boyutları S/N oranları grafikleri Şekil 4.49 ve Şekil 4.50’de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, köpük helvaların baloncuk boyutu (d_{32}) üzerine en etkili protein çeşidinin PASP-K olduğu görülmektedir. Hidrokolloid miktarının artmasıyla köpük baloncukları boyutlarının arttığı saptanmıştır. Pektin veya karragenan içeren köpük helva örneklerinde köpük baloncuk boyutları ortalamasının (d_{32}) daha küçük olduğu belirlenmiştir. Keçiyoynuzu gamı ve ksantan gam kullanılan köpük helvalarda baloncuk boyutu S/N oranlarının ortalamasının altında kaldığı görülmektedir. Genel olarak, köpük helva üretiminde uygulanan çırpma sıcaklığındaki artışa bağlı olarak köpüklerin baloncuk boyutlarının (d_{32}) azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.49. Model köpük helvalarda köpük baloncukları boyutları (d_{32}) yanıtı S/N oranları grafiği (48. saat)



Şekil 4.50. Model köpük helvalarda köpük baloncukları boyutları (d_{32}) yanıtı S/N oranları grafiği (50. saat)

Köpük helva örnekleri KLTM görüntülerinden hesaplanan köpük baloncukları boyutları (d_{32}) S/N oranları ANOVA tablosu Çizelge 4.35’de verilmiştir. Tablodaki verilere göre, model köpük helvalarda baloncuk boyutuna etki oranı %50’nin üzerinde olan protein çeşidinin köpük baloncuk büyüklüğünü (d_{32}) belirleyen en önemli üretim faktörü olduğu

görülmektedir. Köpük helvalarda baloncuk çaplarını (d_{32}) belirlemede etki yüzdesi en düşük faktörün çırpma sıcaklığı olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.35. Model köpük helvalarda köpük baloncuk boyutu (d_{32}) yanıtı S/N oranları ANOVA tablosu

Yanıtlar	Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F değeri	P değeri	Katkı yüzdesi
BB48	A	3	20.28	6.760	6.21	0.084	58.03
	B	3	4.581	1.527	1.40	0.394	13.11
	C	3	5.667	1.889	1.74	0.331	16.21
	D	3	1.160	0.387	0.36	0.791	3.32
	Hata	3	3.264	1.089			9.34
	Toplam	15	34.95				100
BB50	A	3	10.41	3.469	20.19	0.017	54.70
	B	3	5.396	1.799	10.47	0.043	28.36
	C	3	2.092	0.697	4.06	0.140	10.18
	D	3	0.617	0.206	1.20	0.443	3.24
	Hata	3	0.516	0.172			2.72
	Toplam	15	19.03				100

BB48: 48. saat baloncuk boyutu, BB50: 50. Saat baloncuk boyutu. A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi, D=Mikslleme sıcaklığı (°C)

4.3.6. Model köpük/köpük helvaların genel optimizasyon koşullarının belirlenmesi-Gri İlişkisel Analiz yöntemi

Tez çalışması kapsamında model köpüklerde ve köpük helvalarda test edilen her bir yanıt için optimum faktör seviyeleri belirlenmiştir. Yanıtlara ait optimum faktör seviyeleri Çizelge 4.36’da verilmiştir. Çizelgedeki bulgular incelendiğinde, optimum özellikte köpük ve köpük helva üretimi için en iyi yanıtların tespit edilmesi mümkün değildir. Bundan dolayı, genel optimizasyon koşullarının elde edilmesinde Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden Gri İlişkisel Analiz yönteminden yararlanılmıştır.

Çizelge 4.36. Model köpük/köpük helvalarda test edilen yanıtların optimum koşulları

Yanıtlar	Faktör ve seviyeler			
	A	B	C	D
Köpük kapasitesi (%)	2	1	3	3
Yoğunluk (g/cm ³)	2	1	3	3
Toplam üretim süresi (dk)	3	2	2	4
Renk (<i>L</i> *)	2	2	4	1
Depo modül (Pa)	1	3	3	1
Viskoz modül (Pa)	1	3	3	1
Kayıp tanjant	1	3	3	1
Sertlik (g)	1	4	4	4
Yapışkanlık (-gs)	1	4	4	4
Baloncuk boyutu (µm, 48. saat)	1	1	3	3
Baloncuk boyutu (µm, 50. saat)	1	1	3	3

A=Protein çeşidi, B=Hidrokoloid miktarı (ml), C=Hidrokoloid çeşidi, D=Miksleme sıcaklığı (°C)

Model köpüklerde/köpük helvalarda Taguchi L₁₆ (4⁴) tasarım matrisiyle belirlenen yanıtlara ait referans serileri (sonuçlar) ve referans değerleri Çizelge 4.37’de verilmiştir. Bu örneklerde; köpük kapasitesi, renk, elastik modül ve sertlik yanıtlarının maksimize edilmesi hedeflendiğinden referans kısmına en büyük referans serisi değeri yazılmıştır. Model köpüklerde/köpük helvalarda yoğunluk, toplam üretim süresi, viskoz modül, kayıp tanjant, yapışkanlık ve baloncuk boyutu yanıtlarının minimize edilmesi amaçlandığından en küçük değerler referans olarak kullanılmıştır. Maksimize ve minimize edilmesi hedeflenen test yanıtlarının referans serileri sırasıyla Eşitlik 3.21 ve Eşitlik 3.22 kullanılarak normalize edilmiştir. Yanıtlara ait normalizasyon matrisi Çizelge 4.37’de görülmektedir.

Normalizasyon matrisindeki verilerin referans olarak kabul edilen “1” değerine uzaklıkları Eşitlik 3.23 kullanılıp hesaplanarak Çizelge 4.38’de uzaklık matrisi olarak verilmiştir. Normalize edilmiş değerler ve gerçek yanıtlar arasındaki ilişkinin açıklanmasında kullanılan Gri İlişkiler katsayı matrisi Eşitlik 3.27 ile hesaplanmıştır.

Hesaplama ϕ katsayısı 0.5 olarak kabul edilmiştir. Yanıtlara ait katsayı matrisi de Çizelge 4.38’de verilmiştir.

Katsayı matrisindeki değerlerden Eşitlik 3.27’e göre, analiz edilen yanıtların optimizasyona etkileri eşit kabul edilerek GİD hesaplanmış ve sonuçların sıralaması Çizelge 4.39’da verilmiştir. Çizelgede “3” nolu analiz örneğinin model köpüklerde/köpük helvalarda en yüksek GİD’e sahip olduğu görülmektedir.



Çizelge 4.37. Model köpük/köpük helvalarda yanıtlar için referans serisi ve normalizasyon matrisi

	Referans serisi											Normalizasyon matrisi										
	Köpük kapasitesi , %	Yoğunluk, g/cm ³	Toplam üretim süresi, gün	Renk (L*)	Depo modül, G'	Viskoz modül, G''	Kayıp tanjant, tan (δ)	Sertlik , g	Yapışkanlık, -g.s	Baloncuk boyutu (µm, 48. Saat)	Baloncuk boyutu (µm, 50. Saat)	Köpük kapasitesi , %	Yoğunluk, g/cm ³	Toplam üretim süresi, gün	Renk (L*)	Depo modül, G'	Viskoz modül, G''	Kayıp tanjant, tan (δ)	Sertlik , g	Yapışkanlık, -g.s	Baloncuk boyutu (µm, 48. Saat)	Baloncuk boyutu (µm, 50. Saat)
Referans	500.6	0.222	25.5	91.47	1384	296.0	0.918	30.48	15.22	27	35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	454.5	0.242	85	91.42	233.2	296.0	1.232	16.76	17.25	30.5	35.5	0.899	0.971	0.150	0.981	0.059	1.000	0.756	0.024	0.902	0.841	0.976
2	441.6	0.256	40	91.41	233.0	487.4	2.095	16.43	18.18	28	35	0.871	0.951	0.793	0.978	0.058	0.856	0.084	0.000	0.857	0.955	1.000
3	500.0	0.224	30.5	91.41	352.7	471.3	1.344	20.08	20.31	28.5	36	0.999	0.997	0.929	0.979	0.156	0.868	0.669	0.260	0.754	0.932	0.951
4	263.0	0.363	26.5	91.37	1384	1626	1.188	30.48	35.88	28.5	37.5	0.480	0.795	0.986	0.966	1.000	0.000	0.790	1.000	0.000	0.932	0.878
5	500.6	0.222	39	91.47	309.0	622.4	2.009	20.41	22.37	32	38	1.000	1.000	0.807	0.998	0.121	0.755	0.151	0.284	0.654	0.773	0.854
6	412.4	0.252	30.5	91.44	198.7	425.9	2.140	17.03	18.35	39.5	43.5	0.807	0.957	0.929	0.988	0.030	0.902	0.049	0.042	0.849	0.432	0.585
7	363.5	0.284	86	91.30	574.7	526.7	0.918	21.84	20.88	49	55.5	0.700	0.911	0.136	0.945	0.338	0.827	1.000	0.385	0.726	0.000	0.000
8	423.9	0.245	50	91.41	384.8	446.5	1.230	21.27	23.25	41	47.5	0.832	0.966	0.650	0.977	0.183	0.887	0.757	0.345	0.612	0.364	0.390
9	249.5	0.394	25.5	90.89	1097	1587	1.465	21.15	23.81	30.5	39.5	0.450	0.751	1.000	0.823	0.765	0.029	0.574	0.336	0.584	0.841	0.780
10	242.5	0.392	29.5	91.39	264.9	582.9	2.199	17.49	19.14	37	45	0.435	0.753	0.943	0.974	0.084	0.784	0.003	0.076	0.810	0.545	0.512
11	96.10	0.662	45.5	90.81	198.1	421.4	2.130	18.33	15.22	38.5	48.5	0.114	0.363	0.714	0.797	0.030	0.906	0.057	0.135	1.000	0.477	0.341
12	52.69	0.859	77	91.45	494.7	1024	2.071	21.27	21.89	36	43.5	0.019	0.078	0.264	0.989	0.272	0.452	0.103	0.344	0.678	0.591	0.585
13	44.03	0.913	66.5	89.20	390.7	614.6	1.574	21.93	22.14	34.5	39.5	0.000	-0.001	0.414	0.314	0.187	0.760	0.489	0.392	0.665	0.659	0.780
14	46.88	0.891	95.5	89.33	552.5	674.3	1.236	21.05	21.90	27	38.5	0.006	0.032	0.000	0.353	0.320	0.716	0.753	0.328	0.677	1.000	0.829
15	90.71	0.691	28.5	88.35	229.8	453.8	1.956	16.81	18.04	33.5	42.5	0.102	0.321	0.957	0.060	0.056	0.881	0.193	0.027	0.864	0.705	0.634
16	94.86	0.673	35	88.15	161.7	355.6	2.203	16.64	19.37	37	41.5	0.111	0.347	0.864	0.000	0.000	0.955	0.000	0.015	0.799	0.545	0.683

Çizelge 4.38. Model köpük/köpük helvalarda yanıtlar için uzaklık ve katsayı matrisleri

Referans	Uzaklık matrisi											Katsayı matrisi										
	Köpük kapasitesi , %	Yoğunluk, g/cm ³	Toplam üretim süresi, gün	Renk (<i>L</i> *)	Depo modül, G'	Viskoz modül, G''	Kayıp tanjant, tan (δ)	Sertlik, g	Yapışkanlık, -g.s	Baloncuk boyutu (µm, 48. Saat)	Baloncuk boyutu (µm, 50. Saat)	Köpük kapasitesi , %	Yoğunluk, g/cm ³	Toplam üretim süresi, gün	Renk (<i>L</i> *)	Depo modül, G'	Viskoz modül, G''	Kayıp tanjant, tan (δ)	Sertlik, g	Yapışkanlık, -g.s	Baloncuk boyutu (µm, 48. Saat)	Baloncuk boyutu (µm, 50. Saat)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0.10	0.03	0.85	0.02	0.94	0.00	0.24	0.98	0.10	0.16	0.02	0.899	0.971	0.150	0.981	0.059	1.000	0.756	0.024	0.902	0.841	0.976
2	0.13	0.05	0.21	0.02	0.94	0.14	0.92	1.00	0.14	0.05	0.00	0.871	0.951	0.793	0.978	0.058	0.856	0.084	0.000	0.857	0.955	1.000
3	0.00	0.00	0.07	0.02	0.84	0.13	0.33	0.74	0.25	0.07	0.05	0.999	0.997	0.929	0.979	0.156	0.868	0.669	0.260	0.754	0.932	0.951
4	0.52	0.21	0.01	0.03	0.00	1.00	0.21	0.00	1.00	0.07	0.12	0.480	0.795	0.986	0.966	1.000	0.000	0.790	1.000	0.000	0.932	0.878
5	0.00	0.00	0.19	0.00	0.88	0.25	0.85	0.72	0.35	0.23	0.15	1.000	1.000	0.807	0.998	0.121	0.755	0.151	0.284	0.654	0.773	0.854
6	0.19	0.04	0.07	0.01	0.97	0.09	0.95	0.96	0.15	0.57	0.41	0.807	0.957	0.929	0.988	0.030	0.902	0.049	0.042	0.849	0.432	0.585
7	0.30	0.09	0.86	0.06	0.66	0.17	0.00	0.62	0.27	1.00	1.00	0.700	0.911	0.136	0.945	0.338	0.827	1.000	0.385	0.726	0.000	0.000
8	0.17	0.03	0.35	0.02	0.82	0.11	0.24	0.66	0.39	0.64	0.61	0.832	0.966	0.650	0.977	0.183	0.887	0.757	0.345	0.612	0.364	0.390
9	0.55	0.25	0.00	0.18	0.24	0.97	0.43	0.66	0.42	0.16	0.22	0.450	0.751	1.000	0.823	0.765	0.029	0.574	0.336	0.584	0.841	0.780
10	0.57	0.25	0.06	0.03	0.92	0.22	0.99	0.92	0.19	0.46	0.49	0.435	0.753	0.943	0.974	0.084	0.784	0.003	0.076	0.810	0.545	0.512
11	0.89	0.64	0.29	0.20	0.97	0.09	0.94	0.87	0.00	0.52	0.66	0.114	0.363	0.714	0.797	0.030	0.906	0.057	0.135	1.000	0.477	0.341
12	0.98	0.92	0.74	0.01	0.73	0.55	0.89	0.66	0.32	0.41	0.42	0.019	0.078	0.264	0.989	0.272	0.452	0.103	0.344	0.678	0.591	0.585
13	1.00	1.00	0.59	0.69	0.81	0.24	0.51	0.61	0.34	0.34	0.22	0.000	0.001	0.414	0.314	0.187	0.760	0.489	0.392	0.665	0.659	0.780
14	0.99	0.97	1.00	0.65	0.68	0.28	0.25	0.67	0.32	0.00	0.17	0.006	0.032	0.000	0.353	0.320	0.716	0.753	0.328	0.677	1.000	0.829
15	0.90	0.68	0.04	0.94	0.94	0.12	0.81	0.97	0.14	0.30	0.37	0.102	0.321	0.957	0.060	0.056	0.881	0.193	0.027	0.864	0.705	0.634
16	0.89	0.65	0.14	1.00	1.00	0.05	1.00	0.99	0.20	0.46	0.32	0.111	0.347	0.864	0.000	0.000	0.955	0.000	0.015	0.799	0.545	0.683

Çizelge 4.39. Model köpük/köpük helvalarda test örnekleri için Gri İlişkiler Dereceleri ve sıralamaları

Analiz numarası	Gri İlişkiler Derecesi	Sıralama
1	0.725	3
2	0.708	4
3	0.777	1
4	0.739	2
5	0.689	5
6	0.647	6
7	0.607	9
8	0.634	7
9	0.622	8
10	0.588	10
11	0.541	11
12	0.494	15
13	0.492	16
14	0.538	12
15	0.536	13
16	0.515	14
Ortalama	0.616	

Model köpüklerin/köpük helvaların ağırlıklandırılmış Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen faktör seviyelerinin GİD ortalamaları, S/N oranları ve faktörlerin önem sıralaması Çizelge 4.40’da verilmiştir. Model köpük/köpük helva örneklerinde her bir üretim faktörünün en yüksek Gri İlişkisel Analiz ortalamasına ve S/N oranına sahip seviyesinin kullanılmasıyla genel optimizasyon seviyeleri saptanmıştır. Çöven ekstraktı, PASP-K ve pektin (%0.05) içeren sıvıların 80 °C’de 15 dakika çırpılmasıyla üretilen köpüklerin ve bu köpüklerin 0.5 g/cm³ yoğunluğa ulaşıncaya kadar çırpılmasıyla üretilen köpük helvaların genel optimum koşulları sağladığı belirlenmiştir. Model ürünlerde üretim faktörlerinin genel optimizasyon koşullarına etki sıralaması; A (protein çeşidi)>D

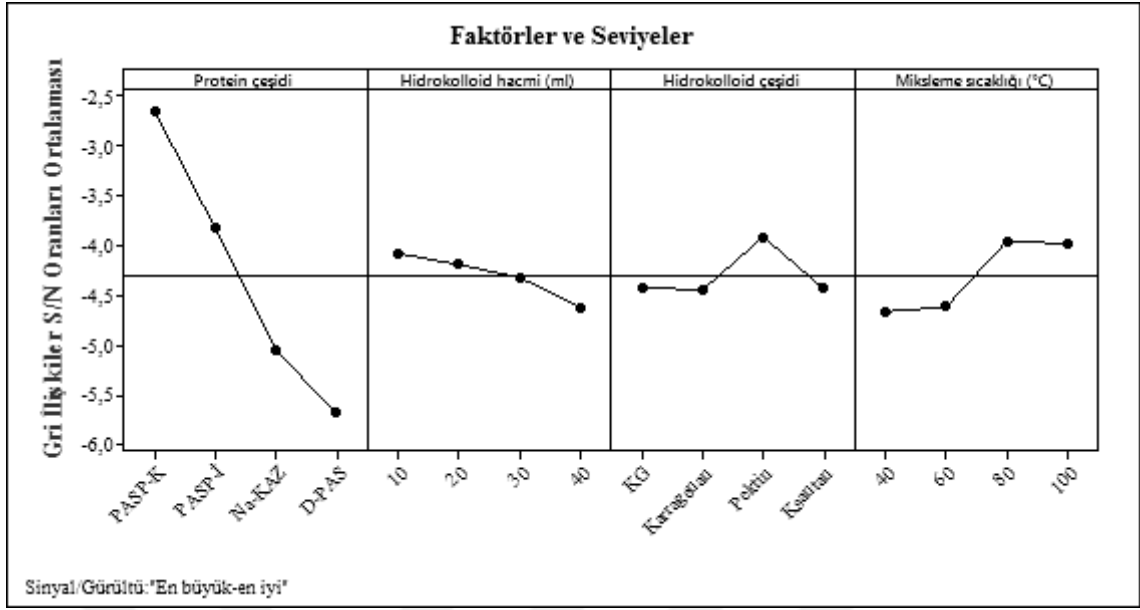
(miksleme sıcaklığı)>B (hidrokolloid miktarı)>C (hidrokolloid çeşidi) şeklinde bulunmuştur.

Çizelge 4.40. Model köpük/köpük helvalarda yeni faktör seviyeleri ve S/N oranları

Faktör ve seviyesi	Analiz numarası	Gri İlişkiler Derecesi ortalaması	S/N Oranları (dB)	Faktörlerin önem sıralaması
A1	1,2,3,4	0.737	-2.655	1
A2	5,6,7,8	0.644	-3.828	
A3	9,10,11,12	0.561	-5.049	
A4	13,14,15,16	0.520	-5.681	
B1	1,5,9,12	0.632	-4.078	3
B2	2,6,10,13	0.620	-4.191	
B3	3,7,11,14	0.615	-4.322	
B4	4,8,12,15	0.595	-4.622	
C1	1,6,11,16	0.607	-4.421	4
C2	2,5,12,15	0.607	-4.445	
C3	3,8,9,14	0.643	-3.914	
C4	4,7,10,13	0.607	-4.433	
D1	1,7,12,14	0.591	-4.660	2
D2	2,8,11,13	0.594	-4.617	
D3	3,5,10,16	0.642	-3.952	
D4	4,6,9,15	0.636	-3.985	

Koyu karakterdeki sayılar en yüksek Gri İlişkiler Derecesi ortalamasını ve S/N oranını temsil etmektedir. A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi, D=Miksleme sıcaklığı (°C)

Gri İlişkisel Analiz yöntemi kullanılarak yeniden hesaplanan genel optimizasyon koşulları S/N oranları grafiği Şekil 4.51’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde; PASP-K ve PASP-İ kullanılan örneklerin köpük özelliklerinin D-PAS ve Na-KAZ kullanılanlardan daha iyi oldukları anlaşılmaktadır. Ayrıca, bu örneklerde %0.1 oranında hidrokolloid kullanımının tolere edilebileceği saptanmıştır. Üretim faktörlerinden S/N oranları ortalamanın üzerinde olan tek hidrokolloidin pektin olduğu görülmektedir. Sıcaklık artışına bağlı olarak köpük özelliklerinin iyileştiği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 4.51. Model köpük/köpük helvalarda Gri İlişkisel Analiz yöntemiyle belirlenen yeni faktör seviyeleri S/N oranları grafiği

Varyans analizi sonuçlarına göre, sadece protein çeşidinin genel optimizasyon koşullarına etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0.05$). Genel optimizasyon faktör seviyeleri S/N oranlarına çırpma sıcaklığı, hidrokolloid çeşidi ve miktarının toplam etkilerinin ($< \%15$) protein çeşidinin etki oranından ($\%85.39$) oldukça düşük olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.41).

Çizelge 4.41. Model köpük/köpük helvalarda Gri İlişkisel Analiz yöntemiyle belirlenen S/N oranları ANOVA tablosu

Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	Katkı yüzdesi
A	3	21.5778	8.0005	51.09	0.004	85.39
B	3	0.6613	0.3167	1.57	0.361	2.62
C	3	0.8080	0.3220	1.91	0.304	3.20
D	3	1.7997	0.6133	4.26	0.132	7.12
Hata	3	0.4223	0.1373			1.67
Toplam	15	25.2691				100

A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi, D=Miksleme sıcaklığı (°C)

Model köpük/köpük helvalarda Gri İlişkisel Analiz yöntemiyle belirlenen genel optimizasyon koşulları doğrulama deneyleri

L₁₆ deney matrisinde 1 nolu deney başlangıç proses parametresi olarak belirlenmiştir. Genel optimum faktör seviyelerinde üretilen köpüklerde/köpük helvalarda yapılan analiz sonuçları GİD'in başlangıç parametresine (A₁B₁C₁D₁) göre iyileşme oranı bulunmuştur. Genel optimum koşullarda (A₁B₁C₃D₃), Eşitlik 3.28 kullanılarak belirlenen tahmini GİD 0.806'dır. Çizelge 4.42'ye göre, gerçekleştirilen doğrulama analizleri neticesinde genel optimum koşullardaki GİD değeri başlangıç proses parametrelerinden 0.159 yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.42. Başlangıç ve optimum üretim parametreleri kullanılarak hazırlanan model köpük/köpük helvalarda doğrulama deneyleri S/N oranları

Yanıtlar	Başlangıç proses parametreleri	Optimum Proses Parametreleri
	A ₁ B ₁ C ₁ D ₁	A ₁ B ₁ C ₃ D ₃
Köpük kapasitesi (%)	53.15	55.19
Yoğunluk (g/cm ³)	12.32	14.45
Toplam üretim süresi (dk)	-38.59	-29.25
Renk (L*)	39.22	39.25
Depo modül (Pa)	47.36	55.51
Viskoz modül (Pa)	-49.43	-57.58
Kayıp tanjant	-2.07	-2.15
Sertlik (g)	24.49	27.44
Yapışkanlık (-g.s)	24.74	-26.89
Baloncuk boyutu (48. saat)	-29.54	-27.42
Baloncuk boyutu (50. saat)	-30.88	-30.24
Gri İlişkiler Derecesi	0.734	0.893
Gri İlişkiler Derecesindeki İyileşme = 0.159		

Model köpük/köpük helvalarda genel optimum ve kontrol ürünlerinin karşılaştırılması

Bu bölümde; Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden Gri İlişkisel Analiz metoduyla belirlenen genel optimum koşullarda üretilen köpüklerin/köpük helvaların geleneksel formülasyonla üretilen kontrol örneğiyle karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Genel optimum ve kontrol köpüklerinin köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm³) yanıtları S/N oranlarının karşılaştırılması

Genel optimizasyon koşullarında üretilen ve ticari formülasyonla elde edilen kontrol örneği köpüklerinin köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm³) yanıtları ve S/N oranları Çizelge 4.43’de verilmiştir. Köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm³) sonuçları S/N oranlarının anlamlandırılmasında sırasıyla Eşitlik 3.19 ve Eşitlik 3.20 kullanılmıştır. Optimum koşullarda üretilen köpük örneği köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm³) sonuçları S/N oranları kontrol örneğinden istatistiksel olarak farklı bulunmuştur (p<0.05). Kontrol örneğinin köpük kapasitesi (%) S/N oranı 52.12 dB olarak belirlenirken; çöven ekstraktı, PASP-K ve pektin (%0.05) içeren örneğin S/N oranı 55.12 dB olarak hesaplanmıştır. Kontrol ve optimum örneğin yoğunluk (g/cm³) sonuçları S/N oranları istatistiksel açıdan farklı bulunmuştur (p<0.05). Kontrol örneği yoğunluk (g/cm³) sonucu S/N oranı optimum örneğinkinden %20.81 daha düşük bulunmuştur. Genel optimum formülasyonla üretilen köpük örneğinin köpürebilme özelliklerinin kontrol örneğinden daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 4.43. Genel optimum ve kontrol köpüklerinin köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm³) yanıtları doğrulama deney sonuçları

Yanıtlar	Örnek	Deneysel sonuç	Deneysel S/N oranı
Köpük kapasitesi	A ₁ B ₁ C ₃ D ₃	574.5±2.35	55.19 ^a
%	Kontrol	403.71±0.39	52.12 ^b
Yoğunluk	A ₁ B ₁ C ₃ D ₃	0.19±0.00	14.51 ^a
g/cm ³	Kontrol	0.27±0.00	11.49 ^b

a,b aynı satırda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

Genel optimum ve kontrol köpük helvalarının toplam üretim süresi (dk) ve renk (L*) yanıtları S/N oranlarının karşılaştırılması

Çöven ekstraktı, PASP-K ve pektin (%0.05) kullanılarak hazırlanan çözeltinin ve kontrol sıvısının 0.5 g/cm³ yoğunluktaki köpük eldesine kadar çırpılmasıyla elde edilen köpük helvalarda toplam üretim süresi (dk) ve renk (L*) sonuçları S/N oranları Çizelge 4.44’de verilmiştir. Örneklerin renk değerleri S/N oranlarının hesaplanmasında Eşitlik 3.19, toplam üretim sürelerine ait S/N oranlarının belirlenmesinde Eşitlik 3.20 kullanılmıştır. Örneklerin hem TÜS hem de renk değerlerinin birbirine yakın olduğu ve yanıtların S/N oranları arasında istatistiksel fark bulunmadığı tespit edilmiştir (p>0.05). Köpük helva üretiminde PASP-K ve pektin (%0.05) kullanımının üretim enerji maliyetleri açısından olumsuzluk oluşturmayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 4.44. Genel optimum ve kontrol köpük helvalarda toplam üretim süresi (dk) ve renk (L*) yanıtları doğrulama deney sonuçları

Yanıtlar	Model köpük	Deneyisel sonuç	Deneyisel S/N oranı
Toplam üretim süresi	A ₁ B ₁ C ₃ D ₃	29.00±0.50	-29.25 ^a
dk	Kontrol	27.17±0.17	-28.68 ^a
Renk	A ₁ B ₁ C ₃ D ₃	91.70±0.01	39.25 ^a
L*	Kontrol	91.58±0.00	39.24 ^a

Aynı satırda aynı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklı değildir (p>0.05).

Genel optimum ve kontrol köpük helvalarının dinamik reolojik özellikleri yanıtları S/N oranlarının karşılaştırılması

Çöven ekstraktı, PASP-K ve pektin (%0.05) ile hazırlanan sıvı çözeltinin 80 °C’de çırpılmasıyla üretilen optimum örnek ve geleneksel kontrol örneğinin lineer viskoelastik bölgede (0.2 Pa) gerçekleştirilen dinamik kayma reolojik analiz sonuçları ve S/N oranları Çizelge 4.45’de verilmiştir. 1 Hz’deki veriler değerlendirildiğinde, köpük helva örneklerinde elastik modül değerinin yüksek, viskoz modül ve kayıp tanjant değerlerinin düşük olması hedeflendiğinden S/N oranlarının belirlenmesinde sırasıyla Eşitlik 3.19 ve Eşitlik 3.20 kullanılmıştır. Çizelge incelendiğinde; çöven ekstraktı, PASP-K ve pektin

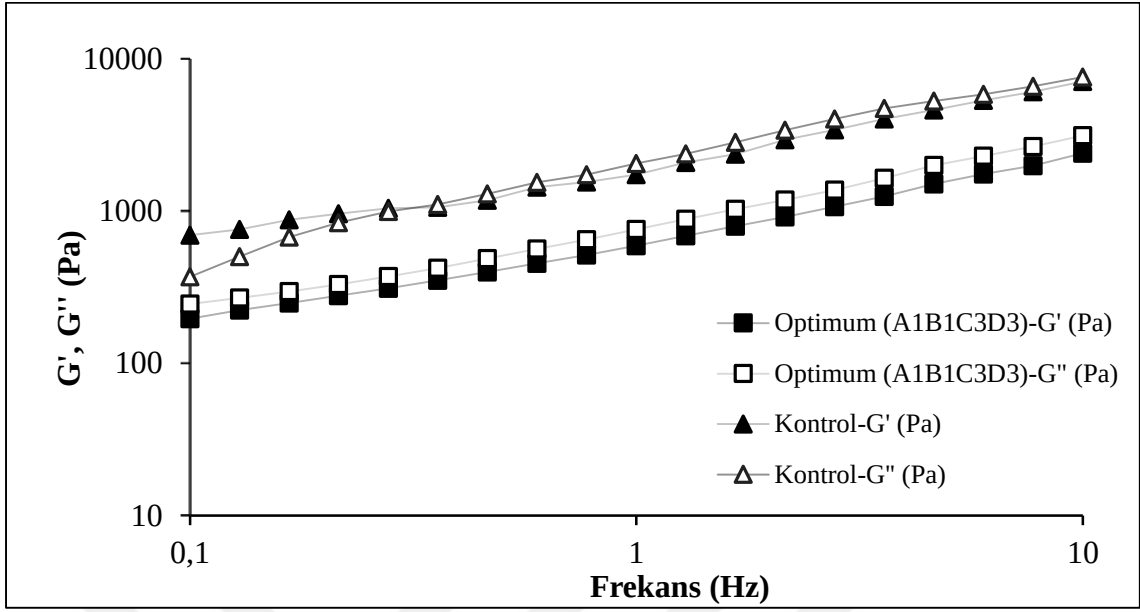
(%0.05) kullanılan optimum örnek ve çöven ekstraktı kullanılan kontrol örneğinin G' (Pa), G'' (Pa) ve $\tan(\delta)$ değerleri S/N oranlarının istatistiksel açıdan farklı olduğu görülmektedir ($p<0.05$). Ticari formülasyonla üretilen köpük helva örneğinin elastik modül (G'), viskoz modül (G'') ve kayıp tanjant ($\tan \delta$) sonuçları S/N oranlarının genel optimizasyon yöntemiyle üretilenden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Model koşullarında, PASP-K ve pektinin (%0.05) çöven ekstraktındaki saponinin reolojik özelliklerine katkı sağlayamadıkları belirlenmiştir.

Çizelge 4.45. Genel optimum ve kontrol köpük helvalarda dinamik reolojik özellikler doğrulama deney sonuçları

Yanıtlar	Örnek	Deneysel sonuç	Deneysel S/N oranı
Elastik modül, G'	$A_1B_1C_3D_3$	591.57 ± 5.31	55.51^b
Pa	Kontrol	1765 ± 25.75	64.93^a
Viskoz modül, G''	$A_1B_1C_3D_3$	756.93 ± 6.77	-57.58^a
Pa	Kontrol	2068 ± 15.25	-66.31^b
Kayıp tanjant, $\tan(\delta)$	$A_1B_1C_3D_3$	1.28 ± 0.01	-2.15^b
	Kontrol	1.16 ± 0.01	-1.34^a

a,b aynı satırda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır ($p<0.05$).

Genel optimizasyon koşullarda ($A_1B_1C_3D_3$) üretilen köpük helva örneğinin ve kontrol örneğinin 0.2 Pa basınçta frekans tarama testine ait grafik Şekil 4.52'de verilmiştir. Ölçüm yapılan frekans aralığında (0.1-10 Hz) optimum formülasyonla üretilen köpük helvada viskoz özelliğin baskın olduğu belirlenmiştir. Kontrol örneğinin hem elastik (G') hem de viskoz modül (G'') değerlerinin optimum koşullarda üretilen köpük helva örneğinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Kontrol örneğinde düşük frekanslarda elastik özellik baskınken yüksek frekanslarda (>1 Hz) viskoz özelliğin hakim olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.52. Genel optimum ve kontrol köpük helvaların frekans tarama testleri

Genel optimum ve kontrol köpük helvalarının tekstür özellikleri yanıtları S/N oranlarının karşılaştırılması

Genel optimizasyon koşullarında hazırlanan köpük helva ve geleneksel helva örneklerinin sertlik (g) ve yapışkanlık (-g.s) yanıtları ölçüm sonuçları ve S/N oranları Çizelge 4.46’da verilmiştir. Daha sert yapıda ve daha az yapışkan özellikte köpük helvaların üretimesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, model helvaların sertlik ve yapışkanlık değerleri S/N oranlarının hesaplanmasında sırasıyla Eşitlik 3.19 ve Eşitlik 3.20 tercih edilmiştir. Köpük helva örneklerinin tekstürel özellikleri S/N oranlarının istatistiksel açıdan farklı olduğu bulunmuştur ($p<0.05$). Kontrol örneğine ait köpük helvanın daha sert yapıda ve daha yapışkan özellikte olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.46. Genel optimum ve kontrol köpük helvalarda tekstür özellikleri doğrulama deney sonuçları

Yanıtlar	Örnek	Deneysel sonuç	Deneysel S/N oranı
Sertlik	A ₁ B ₁ C ₃ D ₃	19.33±0.01	26.92 ^b
g	Kontrol	22.18±0.68	27.44 ^a
Yapışkanlık,	A ₁ B ₁ C ₃ D ₃	22.10±0.01	-26.89 ^a
-g.s	Kontrol	25.16±0.75	-28.01 ^b

a,b aynı satırda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

Genel optimum ve kontrol köpük helvalarının köpük baloncuk boyutu (d₃₂) yanıtı S/N oranlarının karşılaştırılması

Model üründe daha küçük baloncuk boyutu ortalamasında örneklerin üretilmesi amacıyla belirlenen optimum model koşulları A₁B₁C₃D₃ olarak belirlenmiştir. Çöven ekstraktı, PASP-K ve pektin (%0.05) kullanılarak hazırlanan sıvıların 80 °C’de mikser ile çırpılması sonucunda elde edilen köpük helvanın 48. saat ve 50. saat ortalama baloncuk boyutu (d₃₂) sonuçları ve S/N oranları ile kontrol helva örneği sonuçları ve S/N oranları Çizelge 4.47’de verilmiştir.

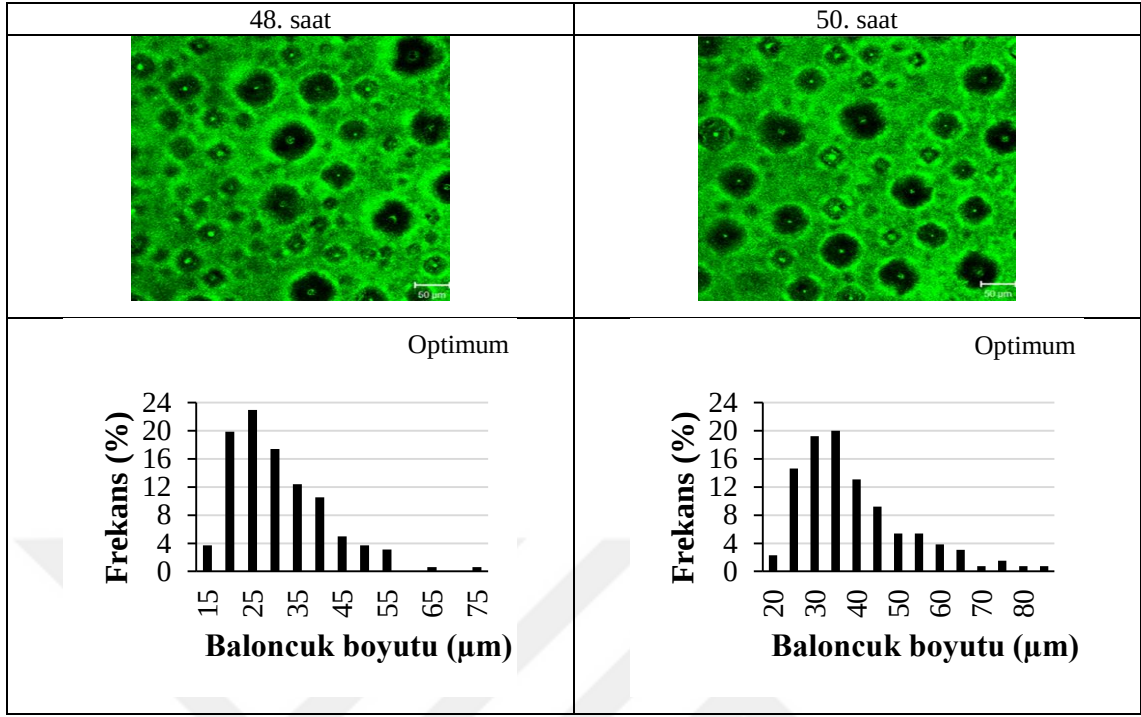
Örneklerin ortalama baloncuk boyutu S/N oranlarının belirlenmesinde Eşitlik 3.20 kullanılmıştır. Genel optimizasyon koşullarında üretilen köpük helvanın ortalama baloncuk boyutu (d₃₂) S/N oranının kontrol helvasından istatistiksel olarak farklı olduğu belirlenmiştir (p<0.05). Çöven ekstraktı, PASP-K ve pektin (%0.05) kullanımıyla daha küçük köpük baloncuk çapı ortalamasına (d₃₂) sahip köpüklerin üretilbileceği görülmüştür.

Çizelge 4.47. Genel optimum ve kontrol köpük helvalarda ortalama baloncuk boyutu (d_{32}) doğrulama deney sonuçları

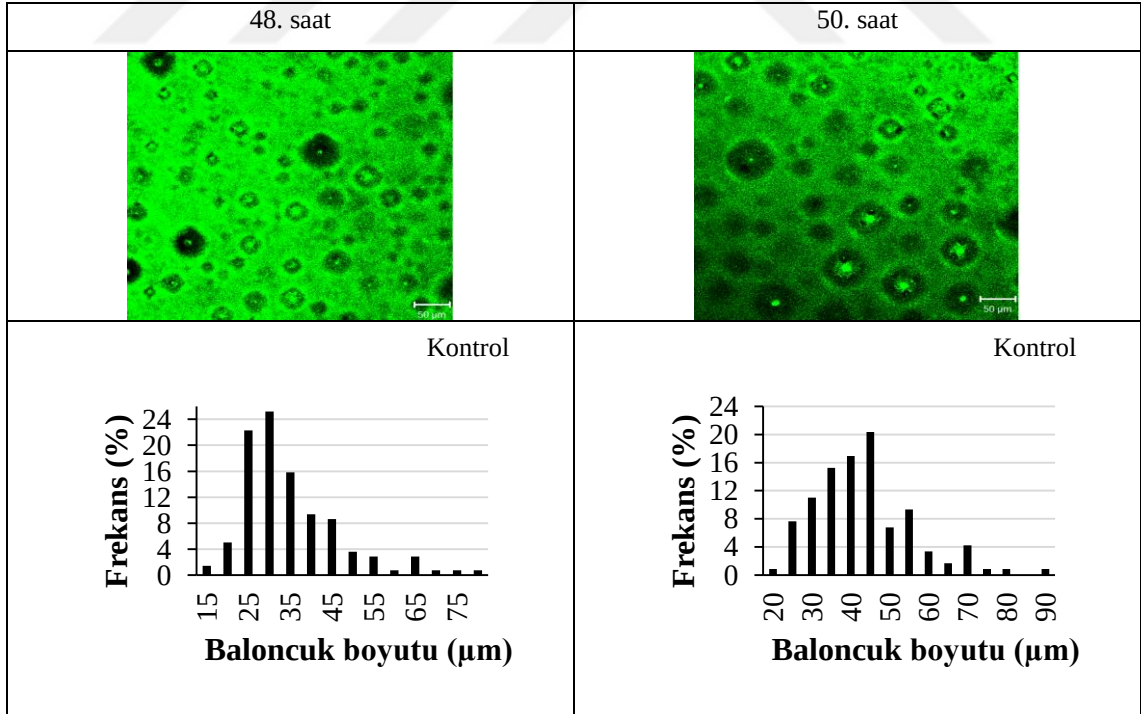
Yanıtlar	Örnek	Deneysel sonuç	Deneysel S/N oranı
Baloncuk boyutu	$A_1B_1C_3D_3$	23.5 ± 0.5	-27.42^a
48. saat	Kontrol	32.5 ± 0.5	-30.24^b
Baloncuk boyutu	$A_1B_1C_3D_3$	32.5 ± 0.5	-30.24^a
50. saat	Kontrol	41.5 ± 0.5	-32.36^b

a,b aynı satırda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır ($p < 0.05$).

Genel optimizasyon koşullarında üretilen köpük helva ve geleneksel formülasyonla elde edilen kontrol örneğinin 48. saat ve 50. saat KLTM görüntüleri ve bu görüntülerin analiz edilmesiyle elde edilen baloncuk boyutu dağılım histogramları sırasıyla Şekil 4.53 ve Şekil 4.54’de verilmiştir. Köpük helva baloncuk boyutu histogramlarında elde edilen sonuçlara göre, hem optimum örnekte hem de kontrol örneğinde zamana bağlı olarak en küçük boyuttaki baloncukların ($15 \mu m$) yok olduğu ve daha büyük boyutlarda baloncukların olduğu görülmektedir.



Şekil 4.53. Genel optimum köpük helva örneği KLTM görüntüleri ve köpük baloncuk boyutu (d_{32}) dağılım histogramları



Şekil 4.54. Kontrol köpük helva örneği KLTM görüntüleri ve köpük baloncuk boyutu (d_{32}) dağılım histogramları

4.4. Model Köpük Helvaların Köpük Stabilitesi Özellikleri

Bu bölümde, 5 faktör (protein çeşidi, hidrokolloid miktarı, hidrokolloid çeşidi, miksleme sıcaklığı ve depolama sıcaklığı) ve 4 seviye kullanılarak L_{16} deney tasarımına göre üretilen model köpük helvaların akıntı yarı ömürleri belirlenerek köpük kararlılıkları saptanmıştır. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde Taguchi yöntemiyle elde edilen Sinyal/Gürültü oranlarından yararlanılarak faktörlerin en iyi seviyeleri tespit edilmiştir. Üretim parametrelerinin köpük helva stabilitesine katkıları varyans analiziyle belirlenmiştir. Optimum koşullarda üretilen köpük helva ile kontrol örneğinin köpük kararlılıkları karşılaştırılmıştır.

Köpük helva üretimi amacıyla hazırlanan model sıvıların 0.5 g/cm^3 yoğunluğa ulaşmaya kadar çırpılmasıyla üretilen model köpük helvaların 15, 20, 25 veya 30 °C sıcaklıkta bekletilmesi sonucunda elde edilen ortalama akıntı yarı ömürleri (gün) ve S/N oranları Çizelge 4.48’de verilmiştir. Köpük helva örneklerinde akıntı yarı ömrünün uzun olması hedeflendiğinden S/N değerinin belirlenmesinde Eşitlik 3.19 kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, model köpük helvalarda drenaj yarı ömürlerinin 2.5 gün ile 56.5 gün, S/N değerlerinin de 7.96 dB ile 35.04 dB aralığında değiştiği görülmektedir. Köpük helva üretiminde kullanılan kontrol parametreleri ve seviyelerinin köpük stabilitesini önemli düzeyde etkiledikleri saptanmıştır.

Çizelge 4.48. Model köpük helvalarda akıntı yarı ömrü (gün) yanıtı ortalama sonuçları ve S/N değerleri

Örnek Kodu	Akıntı yarı ömrü		Örnek Kodu	Akıntı yarı ömrü	
	Gün	S/N (dB)		Gün	S/N (dB)
1	45.5	33.16	9	24.5	27.78
2	14.5	23.23	10	14	22.92
3	56.5	35.04	11	7.5	17.50
4	10.5	20.42	12	5.5	14.81
5	20	26.02	13	4.5	13.06
6	17.5	24.86	14	2.5	7.96
7	22	26.85	15	5.5	14.81
8	34.5	30.76	16	2.5	7.96

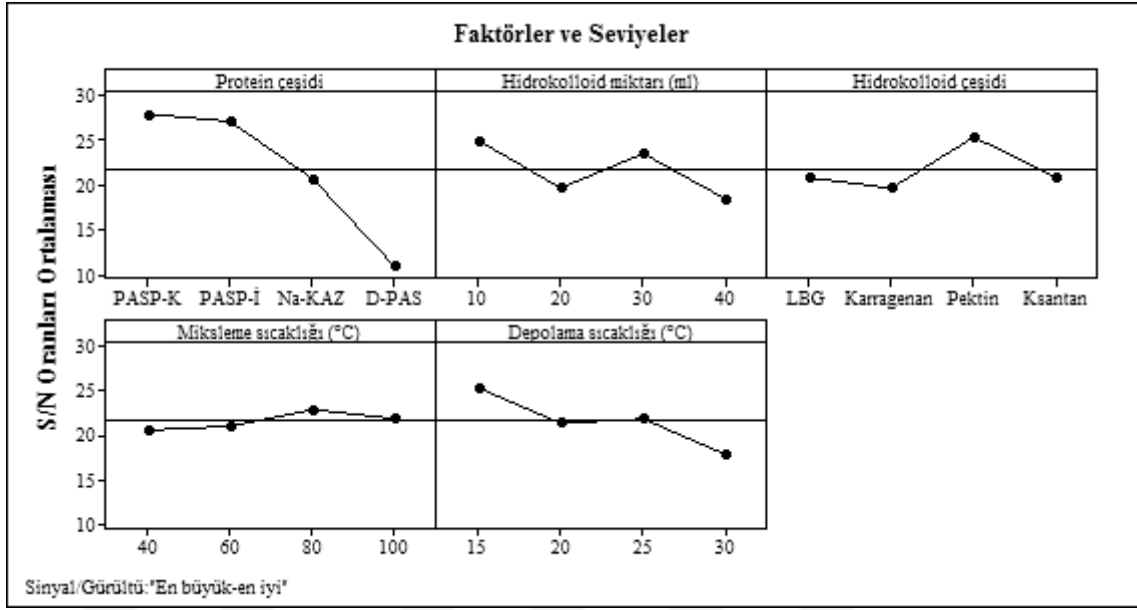
Model köpük helvaların akıntı yarı ömürleri S/N oranları yanıtları Çizelge 4.49’da verilmiştir. Köpük helvalarda köpük kararlılığında en etkili model parametrelerinin sırasıyla protein çeşidi ve depolama sıcaklığı olduğu görülmektedir. Hidrokolloid miktarı ve çeşidinin sırasıyla üçüncü ve dördüncü etkili faktör olduğu belirlenmiştir. Köpük helvaların stabilitesinde etkisi en az bulunan kontrol parametresinin çırpma sıcaklığı olduğu tespit edilmiştir. Çöven ekstraktı, PASP-K ve pektin (%0.05) ile hazırlanan sıvıların 80 °C’de çırpılmasıyla üretilen köpük helvanın 15 °C’de depolanması sonucunda ideal kararlılıkta köpük helvanın üretilebileceği belirlenmiştir (A₁B₁C₃D₃E₁).

Çizelge 4.49. Model köpük helvalarda akıntı yarı ömrü (gün) yanıtı S/N oranı tablosu

Faktörler	Akıntı yarı ömrü (gün)				
	A	B	C	D	E
Seviye 1	27.96	25.01	20.87	20.69	25.41
Seviye 2	27.12	19.74	19.72	21.14	21.45
Seviye 3	20.75	23.55	25.38	22.99	21.94
Seviye 4	10.95	18.49	20.81	21.97	17.98
Fark	17.02	6.52	5.67	2.29	7.44
Derece	1	3	4	5	2

Koyu karakterdeki sayılar en iyi seviyeyi temsil etmektedir. A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi, D=Miksleme sıcaklığı (°C), E= Depolama sıcaklığı (°C)

Model helvaların akıntı yarı ömürlerinin belirlenmesinde yararlanılan faktör seviyelerinin ortalama S/N oranları Şekil 4.55’de verilmiştir. Grafikteki veriler incelendiğinde, PASP-K ve PASP-İ kullanımıyla daha uzun ömürlü köpük helvaların üretilebileceği anlaşılmaktadır. D-PAS kullanılarak üretilen köpük helvaların en kısa raf ömrüne sahip olduğu bulunmuştur. Hidrokolloid miktarının akıntı yarı ömrü üzerine etkisi tam olarak belirlenememiştir. Köpük kararlılığı açısından en olumlu sonucu veren gamin pektin olduğu görülmektedir. Keçiyoynuzu gamı, karragenan ve ksantan gamla üretilen köpük helvaların akıntı yarı ömrü sonuçları S/N oranları ortalamanın altında kaldıkları tespit edilmiştir. Köpük helva üretiminde çırpma sıcaklığının 80 °C’ye kadar artırılmasıyla köpük stabilitesinin iyileştiği görülmektedir. Yüksek sıcaklıkta (>80 °C) çırpma işlemi uygulandığında akıntı yarı ömür süresinin nispeten azaldığı saptanmıştır. Depolama sıcaklığının 15 °C’den 30 °C’ye yükselmesi neticesinde köpük helvaların stabiliteleri belirgin olarak azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 4.55. Model köpük helvalarda akıntı yarı ömrü (gün) yanıtı S/N oranları grafiği

Köpük helvalarda akıntı yarı ömrü sonuçları S/N oranları ANOVA verileri Çizelge 4.50'de görülmektedir. ANOVA tablosunun hazırlanmasında köpük kararlılığı üzerine etkisi en az bulunan (bkz. Çizelge 4.49) miksleme sıcaklığı dikkate alınmamıştır. Tabloya göre; model köpük helvaların raf ömrüne katkısı istatistiksel olarak anlamlı bulunan üretim parametresi protein çeşididir ($p < 0.05$). Ticari süt proteinlerinin köpük stabilitesine etki oranı %70.27 olarak tespit edilmiştir. Polisakkarit miktarı ve çeşidinin köpüklerin raf ömrüne katkı oranları sırasıyla %10.82 ve %7.21 bulunmuştur. Depo sıcaklığının köpük stabilitesine etki yüzdesinin 10.54 olduğu görülmektedir. Model faktörleri dışındaki unsurların ve çırpma sıcaklığının etki oranı sadece %1.16 saptanmıştır.

Çizelge 4.50. Model köpük helvalarda akıntı yarı ömrü (gün) yanıtı S/N oranları ANOVA tablosu

Yanıt	Faktörler	Serbestlik derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri	Katkı yüzdesi
Akıntı yarı ömrü	A	3	740.5	246.9	60.61	0.003	70.27
	B	3	114.1	38.02	9.34	0.050	10.82
	C	3	75.95	25.32	6.22	0.084	7.21
	E	3	111.1	37.02	9.09	0.051	10.54
	Hata	3	12.22	4.07			1.16
	Toplam	15	1 053				100

A=Protein çeşidi, B=Hidrokolloid miktarı (ml), C=Hidrokolloid çeşidi, E= Depolama sıcaklığı (°C)

Model köpük helvalarda optimum ve kontrol örneklerinin karşılaştırılması

Köpük helvaların farklı sıcaklıklarda depolanmasıyla köpük kararlılığı için elde edilen en uygun formülasyonun $A_1B_1C_3D_3E_1$ olduğu belirlenmiştir. Optimum koşullarda üretilen ve depolanan köpük helva örneğinin ve aynı koşullarda depolanan kontrol örneğinin akıntı yarı ömürleri süresi ve S/N oranları Çizelge 4.51’de verilmiştir. Analiz sonuçları ve S/N oranlarının anlamlandırılmasında Eşitlik 3.19’dan yararlanılmıştır. Gerçekleştirilen stabilite testlerinde, kontrol örneği ve optimum koşullarda üretilen köpük helvaların akıntı yarı ömrü S/N oranları arasında istatistiksel farkın bulunduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Çöven ekstraktı, PASP-K ve pektin (%0.05) içeren optimum koşullarda üretilen köpük helva örneğinin 15 °C’de depolanmasıyla belirlenen köpük kararlılığı S/N oranının (35.92 dB) 100 °C’de üretilip aynı koşullarda bekletilen kontrol helvasından (33.53 dB) daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.51. Optimum ve kontrol köpük helvaların akıntı yarı ömrü (gün) yanıtları doğrulama deney sonuçları

Örnek	Deneyisel sonuç	Deneyisel S/N oranı
$A_1B_1C_3D_3E_1$	63.0±0.5	35.92 ^a
Kontrol	48.0±0.5	33.53 ^b

a,b aynı satırda farklı harfle işaretlenmiş ortalamalar istatistiki olarak birbirinden farklıdır ($p<0.05$).

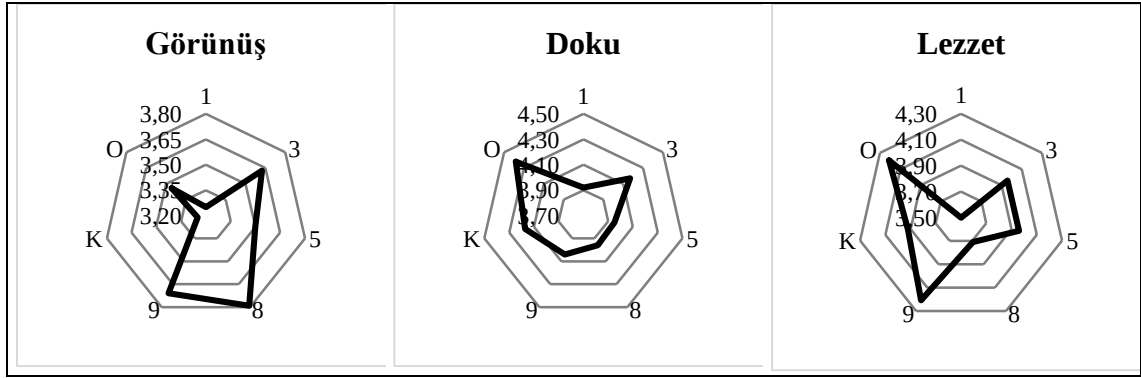
4.5. Model Köpük Helvaların Duyusal Özellikleri

Model köpük helvaların duyusal özelliklerini belirlemek amacıyla köpük kararlılığı en yüksek bulunan örnekler tercih edilmiştir. Ayrıca, bu örneklerin duyusal özellikleri ticari formülasyonla üretilen kontrol örneğiyle kıyaslanmıştır. Köpük helva örneklerinin görünüş, doku ve lezzet özelliklerindeki farklılıkları belirlemek amacıyla gerçekleştirilen duyusal analiz sonuçları Şekil 4.56’da verilmiştir.

Köpük helvaların görünüş özellikleri incelendiğinde; çöven ekstraktı, PASP-K ve pektin (%0.2) kullanılarak 60 °C’de üretilen 8 nolu örnek en beğenilen model köpük helva olurken, kontrol örneği ise görünüş özellikleri açısından en düşük puanı alarak en az tercih edilen helva olmuştur. Protein ve gamların kullanıldığı köpük helvaların görünüşleri panalistler tarafından kontrol örneğine göre daha olumlu değerlendirilmiştir.

Köpük kararlılığı en yüksek olarak saptanan; çöven ekstraktı, PASP-K ve pektin (%0.05) kullanılarak 80 °C’de hazırlanan köpük helva örneği en pürüzsüz örnek olarak tercih edilirken, 1 ve 5 no’lu model köpük helvalar dokusal özellikler açısından en az beğenilen örnekler olmuştur. Köpük stabilitesi en yüksek bulunan köpük helva örneğinin dokusal açıdan kontrol örneğinden daha iyi bulunduğu görülmektedir.

Köpük kararlılığı en yüksek bulunan optimum örnek ile çöven ekstraktı, Na-KAZ ve pektin (%0.05) kullanılarak 100 °C’de üretilen model örnek en lezzetli köpük helvalar olarak değerlendirilmişlerdir. Çöven ekstraktı, PASP-K ve keçiyoynuzu gamı (%0.05) kullanılarak 40 °C’de hazırlanan model köpük helva ile çöven ekstraktı, PASP-İ ve pektin (%0.05) içeren 60 °C’de çırpılarak üretilen model helva örnekleri lezzet açısından en düşük puanı almışlardır. Akıntı yarı ömür süresi en uzun bulunan optimum köpük helva örneği panalistler tarafından kontrol örneğinden daha lezzetli bulunmuştur.



Şekil 4.56. Model köpük helvaların duyu analizi sonuçları

1: Çöven ekstraktı, PASP-K ve keçiyoynuzu gamı (%0.05) içeren 40 °C’de çırpılan; 3: Çöven ekstraktı, PASP-K ve pektin (%0.15) içeren 60 °C’de çırpılan; 5: Çöven ekstraktı, PASP-İ ve karragenan (%0.05) içeren 80 °C’de çırpılan; 8: Çöven ekstraktı, PASP-İ ve pektin (%0.2) içeren 60 °C’de çırpılan; 9: Çöven ekstraktı, Na-KAZ ve pektin (%0.05) içeren 100 °C’de çırpılan; K: Kontrol (Çöven ekstraktı); O: Çöven ekstraktı, PASP-K ve pektin (%0.05) içeren 80 °C’de çırpılan

Köpük helva örneklerinin duyu özellikler açısından değerlendirilmesinde Çoklu Karar Verme Yöntemlerinden olan TOPSİS yöntemi kullanılmıştır. Örneklerin duyu özelliklerine ait karar matrisleri Çizelge 4.52’de verilmiştir.

Çizelge 4.52. Model köpük helvaların duyu analizi sonuçlarının karşılaştırmalı karar matrisi

Örnekler	Normalize karar matrisi								
	Sonuçlar			(NKM)			Ağırlıklandırılmış NKM		
	Görünüş	Doku	Lezzet	Görünüş	Doku	Lezzet	Görünüş	Doku	Lezzet
1	3.50	3.95	3.50	0.3761	0.3653	0.3365	0.1252	0.1216	0.1121
3	3.63	4.17	3.96	0.3895	0.3856	0.3807	0.1297	0.1284	0.1268
5	3.25	3.92	3.96	0.3492	0.3625	0.3807	0.1163	0.1207	0.1268
8	3.79	3.96	3.71	0.4074	0.3662	0.3567	0.1357	0.1219	0.1188
9	3.71	4.04	4.21	0.3985	0.3736	0.4047	0.1327	0.1244	0.1348
K	3.25	4.17	3.92	0.3492	0.3856	0.3769	0.1163	0.1284	0.1255
O	3.46	4.38	4.21	0.3716	0.4050	0.4047	0.1237	0.1349	0.1348

1: Çöven ekstraktı, PASP-K ve keçiyoynuzu gamı (%0.05) içeren 40 °C’de çırpılan; 3: Çöven ekstraktı, PASP-K ve pektin (%0.15) içeren 60 °C’de çırpılan; 5: Çöven ekstraktı, PASP-İ ve karragenan (%0.05) içeren 80 °C’de çırpılan; 8: Çöven ekstraktı, PASP-İ ve pektin (%0.2) içeren 60 °C’de çırpılan; 9: Çöven ekstraktı, Na-KAZ ve pektin (%0.05) içeren 100 °C’de çırpılan; K: Kontrol (Çöven ekstraktı); O: Çöven ekstraktı, PASP-K ve pektin (%0.05) içeren 80 °C’de çırpılan

Çizelge 4.53’de, köpük helva örneklerinin duysal özelliklerinin genel değerlendirilmesinde ideal çözüm olarak kabul edilen “1” değerine en yakın örneğin 9 no’lu model köpük helva örneği olduğu belirlenmiştir (0.7212). Bu örneği, 0.6991 olan ideal çözüme yakınlık derecesiyle köpük kararlılığı en yüksek bulunan optimum örnek izlemiştir. Görünüş, doku ve lezzet açısından en düşük performans sıralamasına sahip olan 1 no’lu köpük helva ideal çözüme yakınlık derecesi en düşük (0.2408) bulunan helva örneği olmuştur.

Köpük helva örneklerinden kontrol örneği 0.4075 olan ideal çözüme yakınlık derecesiyle performans sıralamasında beşinci olmuştur. Çöven ekstraktı, PASP-K ve pektin (%0.05) kullanılarak 80 °C’de çırpılarak hazırlanan optimum köpük helva örneğinin kontrol örneğinden daha çok tercih edildiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.53. Model köpük helvaların duysal analiz sonuçları performans sıralaması

Örnek kodu	Pozitif uygun çözüm	Negatif uygun çözüm	İdeal çözüme yakınlık derecesi	Performans sıralaması
1	0.0283	0.0090	0.2408	7
3	0.0119	0.0213	0.6413	3
5	0.0253	0.0147	0.3668	6
8	0.0206	0.0205	0.4991	4
9	0.0109	0.0282	0.7212	1
K	0.0225	0.0155	0.4075	5
O	0.0120	0.0278	0.6991	2

1: Çöven ekstraktı, PASP-K ve keşiboynuzu gamı (%0.05) içeren 40 °C’de çırpılan; 3: Çöven ekstraktı, PASP-K ve pektin (%0.15) içeren 60 °C’de çırpılan; 5: Çöven ekstraktı, PASP-İ ve karragenan (%0.05) içeren 80 °C’de çırpılan; 8: Çöven ekstraktı, PASP-İ ve pektin (%0.2) içeren 60 °C’de çırpılan; 9: Çöven ekstraktı, Na-KAZ ve pektin (%0.05) içeren 100 °C’de çırpılan; K: Kontrol (Çöven ekstraktı); O: Çöven ekstraktı, PASP-K ve pektin (%0.05) içeren 80 °C’de çırpılan

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışmasında, geleneksel tatlılarımızdan olan köpük helva üretimi laboratuvar koşullarında ısıtma fonksiyonlu mikser kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında; köpük helva üretiminde kullanılan ticari süt proteinleri ve gamların nem, kül, protein, yağ ve tuz içerikleri belirlenmiştir. Ayrıca, ticari çöven ekstraktının suda çözünür kuru madde ve toplam saponin içeriği tespit edilmiştir. İkinci bölümde; köpük helva üretiminde kullanılan model sıvıların, üçüncü kısımda; bu model sıvıların çırpılmasıyla üretilen model köpüklerin ve köpük helvaların ve son kısımda ise model köpük helvalarda akıntı yarı ömrünün optimizasyonu hedeflenmiştir. Model sıvıların ve model köpüklerin/köpük helvaların test edilen özelliklerinin bireysel optimizasyonunda Taguchi yöntemi, genel optimizasyonunda Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden Gri İlişkisel Analiz kullanılmıştır. Köpük stabilitesinin indikatörü olan akıntı yarı ömrünün optimizasyonunda Taguchi yönteminden yararlanılmıştır.

Taguchi L₁₆ dizi tasarımı kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde üretim faktörlerinin test edilen özelliklere (yanıtlara) etki düzeyinin belirlenmesinde deney sonuçları S/N oranları yanıt tablosundan yararlanılmıştır. Ayrıca S/N oranları grafiklerinden faktör seviye düzeylerinin yanıtlara etkileri ve optimum etki seviyeleri saptanmıştır. Üretim faktörlerinin yanıtlar üzerine istatistiksel etkisi %95 güven aralığında varyans analiziyle (ANOVA) değerlendirilmiştir.

Model sıvıların ve model köpüklerin/köpük helvaların analiz edilen özellikleri için genel optimizasyon koşullarının belirlenmesinde Gri İlişkisel Analiz kullanılmıştır. Bu yöntemde; test edilen özellikler için en ideal faktör seviyelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Genel optimizasyon koşulları kullanılarak ve geleneksel formülasyonla hazırlanan sıvıların ve model köpüklerin/köpük helvaların test yanıtları S/N oranları karşılaştırılarak aralarındaki farklılık ve benzerlikler vurgulanmıştır.

Köpük helva üretiminde kullanılan model sıvılara ait özelliklerin belirlenmesinde Taguchi L₁₆ (3⁴) deney tasarımından yararlanılmıştır. Protein çeşidi (PASP-K, PASP-İ, Na-KAZ ve D-PAS), hidrokolloid miktarı (10, 20, 30 ve 40 ml) ve hidrokolloid çeşidi

(keçiyoynuzu gamı, karragenan, pektin ve ksantan gam) model faktörleri olarak kullanılmıştır. Bu şekerli sıvıların renk, bulanıklık ve arayüzey gerilimleri, yatışkın hal (steady state) reolojik özellikleri ve dinamik kayma (dynamic shear) reolojik özelliklerine ait optimum faktör ve seviye kombinasyonları belirlenmiştir.

Model köpüklerin ve köpük helvaların analizlerinin gerçekleştirilmesinde Taguchi L₁₆ (4⁴) deney matrisi kullanılmıştır. Köpük helva üretimi amacıyla hazırlanan şekerli sıvıların farklı sıcaklıklarda (40, 60, 80 ve 100 °C) 15 dakika çırpılması sonucunda elde edilen model köpüklerde; köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm³) analizleri yapılmıştır. Analizleri tamamlanan köpüklerin 0.5 g/cm³ yoğunluk değerine ulaşana kadar çırpılmasıyla model köpük helvalar üretilmiştir. Bu helvalarda; toplam üretim süresi (TÜS), renk (L*), dinamik kayma (dynamic shear) reolojik özellikler, köpük baloncuk boyutu (d₃₂) ve tekstürel özellikleri yanıtları için en ideal faktör seviyeleri belirlenmiştir.

Model köpük helvaların köpük kararlılıklarının optimizasyonunda Taguchi L₁₆ (5⁴) deney tasarımı kullanılmıştır. Protein çeşidi, hidrokoloid miktarı ve çeşidi, mikslleme sıcaklığı ve depolama sıcaklığı olmak üzere 4 seviyeli 5 faktörün köpük stabilitesine etkisi araştırılmıştır. Belirli ağırlıktaki köpük helva örnekleri üretildikten hemen sonra plastik kaplara (280 ml) aktarılıp farklı depolama sıcaklıklarında (15, 20, 25 ve 30 °C) bekletilerek akıntı yarı ömürleri saptanmıştır.

Tez çalışmasının sonununda; köpük stabilitesi en yüksek bulunan toplam 7 örneğin görünüş, doku ve lezzet özellikleri açısından duyuusal analizi yapılmıştır. Duyusal analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden TOPSİS kullanılarak duyuusal özellikler açısından en çok tercih edilen örnekler belirlenmiştir.

5.1. Hammadde Özellikleri

Köpük helva üretiminde kullanılan ticari süt proteinleri ve polisakkaritlerin nem (%), kül (%), protein (%), yağ (%) ve tuz (%) içeriklerinde istatistiksel olarak önemli farklılıklar saptanmıştır (p<0.05). Ticari biyopolimerlerin nem içeriklerindeki temel farklılık,

polimer maddelerin havanın serbest nemini bağlama yeteneğindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Bu durumun, polisakkarit tozlarının protein tozlarından daha hidrofilik özellikte olmasıyla ilişkilendirilmiştir (Walstra, 2003).

İstatistiksel olarak değerlendirildiğinde; köpük helva üretiminde kullanılan polimerlerden karragenanın en yüksek oranda kül ve tuz içerdiği, keçiyoynuzu gamının ise en düşük mineral madde ve NaCl içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ticari olarak kırmızı deniz yosunlarından elde edilen karragenanın yapısında amonyum, kalsiyum, magnezyum, potasyum ve sodyum sülfat esterleri bulunduğundan dolayı mineral madde içeriğinin yüksek olduğu bildirilmiştir (Venkatesan ve ark., 2015). Mineral esterleşmesi görülmeyen keçiyoynuzu gamı ise keçiyoynuzu bitkisinin meyvelerinden saflaştırma yöntemleriyle üretilmektedir (Walsh ve ark., 2008). İyonik özellikte olmayan keçiyoynuzu gamı mineral maddelerle etkileşmediğinden dolayı kül içeriği en düşük polimer olduğu düşünülmektedir.

Ticari protein ve polisakkarit tozlarının protein içerikleri karşılaştırıldığında, beklenildiği üzere, protein tozlarının azot içerikleri polisakkaritlerden yüksek bulunmuştur. Süt proteinlerden protein oranı en düşük olarak belirlenen D-PAS (%7.66) iken hidrokolloidlerden keçiyoynuzu gamının protein içeriği en yüksek bulunmuştur (%2.82). Peynir altı suyu proteinlerinin elde edilmesinde kullanılan protein ayrıştırma tekniğine bağlı olarak, protein tozları farklı oranlarda protein, yağ, laktoz ve mineral madde içerebilmektedir. Bileşimdeki farklılıklar peynir altı suyu proteinlerinin emülsifiye etme ve köpürme gibi fonksiyonel özelliklerini önemli düzeyde etkilemektedir (Ghanimah, 2018). Keçiyoynuzu gamı, Akdeniz Bölgesinde yetişen keçiyoynuzu ağacının meyvelerinin kabuklarının ayrılmasıyla ortaya çıkan çekirdeğin endosperminin ezilmesiyle elde edilen beyazımsı sarımtırak renkte bir tozdur. Bu gamın elde edilmesinde, keçiyoynuzu çekirdeğinin kabuk ve tohum (germ) tabakalarının ayrıştırılması büyük önem arz etmektedir. Protein içeriği yüksek tohum tabakasının (%54-67) endüstriyel işlemlerde ticari keçiyoynuzu gamlarına karışmasıyla hidrokolloidin toplam azot içeriği yükselmektedir (Dakia ve ark., 2008).

Ticari polimer tozlarından sodyum kazeinatın yağ içeriği en yüksek bulunmuştur (%1.95). Hava/sıvı arayüzeyinin oluşturulması ve sürekliliğin sağlanmasının önem arzettiği köpüklerde yağ bulunması köpük özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Örneğin, peynir altı suyu protein izolatında bulunan süt yağının β -Laktoglobulinlerin hava/sıvı arayüzeyinde kümeleşmesini engelleyerek daha zayıf özellikte protein filmlerinin oluşmasına neden olmaktadır (Nastaj ve Sołowiej, 2020). Gıda köpüklerinin özellikleri köpük üretiminde kullanılan hammaddelerin safsızlık unsurlarından önemli derecede etkilenmektedir. Yapılan çalışmalarda gıda köpüklerinde süt proteinlerinin üretimi olumlu yönde etkilediği yağ ve mineral madde varlığının ise köpük yapısını bozarak üretimi olumsuz yönde etkilediği bulunmuştur (Pugh, 1996; Miller, 2008). Köpüklerde havanın yapıda kalmasını sağlayan polisakkarit ve/veya arayüzey maddelerince oluşturulan elastik bariyerin hasar görmesine neden olan bu etmenler köpükteki mevcut havanın hızla yapıyı terketmesine sebep olarak köpük kararlılığının bozulmasını tetiklemektedirler.

Çöven ekstraktının yapısında %6.4 saponin bulunduğu belirlenmiştir. Böttcher ve Drusch (2016), çöven ekstraktının vanilin-sülfirik asit yöntemiyle belirlenen saponin içeriğinin toplam kuru maddenin %45.5'ine tekabül ettiğini belirlemişlerdir. Bu tez çalışmasında, benzer şekilde, çöven ekstraktında toplam kuru maddenin %46.7'sini saponinlerin oluşturduğu tespit edilmiştir.

5.2. Köpük Helva Üretiminde Kullanılan Sıvıların Değerlendirilmesi

Bu bölümde; çöven ekstraktı, ticari süt protein tozları ve farklı oranlarda polisakkaritler kullanılarak elde edilen sıvıların renk, bulanıklık ve yüzey gerilimi (basıncı), yatışkın hal (steady state) ve dinamik kayma (dynamic shear) reolojik özelliklerinin Taguchi yöntemi ve Gri İlişkisel Analiz kullanılarak optimizasyonu amaçlanmıştır. En ideal faktör-seviye kombinasyonunda hazırlanan ve ticari formülasyonla üretilen kontrol örneği sıvılarının test sonuçları istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

5.2.1. Renk, bulanıklık ve yüzey gerilimi özelliklerinin değerlendirilmesi

Biyopolimer karışımlarını içeren sulu sistemlerde ışığın emilim düzeyi makromoleküller arasındaki etkileşimler hakkında bilgi vermektedir. Pozitif yüklü protein ($pH < pI$; pI = protein izoelektrik pH) ve negatif yüklü polisakkarit ($pH > pK_a$) arasındaki elektrostatik etkileşimler sonucunda çözünür ve/veya çözünmez kompleksler oluşmaktadır (Dickinson, 1998; Benichou ve ark., 2007; Sadahira ve ark., 2016). PASP-İ ve karragenan karışımlarının (%0.25, PASP-İ:karragenan oranı=12:1) bulanıklık değerleri $pH=4.5$ 'de en yüksek bulunmuştur. Kompleks oluşumuna bağlı olarak gerçekleşen bulanıklık artışı protein ve hidrokolloidin zıt yüklü oldukları pH değerinde gerçekleşmiştir (Stone ve Nickerson, 2012). Protein ve polisakkaritler arasında sınırlı düzeyde etkileşim olduğunda sıvılar daha berrak iken etkileşimin artmasıyla oluşan çözünür/çözünmez komplekslere bağlı olarak bulanıklık artış göstermektedir (Souza ve Garcia-Rojas, 2017). Biyopolimer karışımında (pH 3.8), küçük ve çok sayıda kompleks oluşumuyla bulanıklık değeri artmakta ve L^* değeri düşmektedir (Pereyra ve ark., 1997). Bu tez çalışmasında, süt proteinleri ve artan konsantrasyonlarda pektin veya ksantan gam arasındaki elektrostatik etkileşimler sonucunda daha bulanık ve daha koyu renkte model sıvılar elde edilmiştir.

Yapılan analizlerde, hem peynir altı suyu proteinlerinin hem de sodyum kazeinatın çözeltilerdeki biyopolimer etkileşimlerden sorumlu olduğu görülmektedir. pH 4.0'de, ticari peynir altı suyu tozlarındaki proteinlerin %75'inden fazlasını temsil eden β -Laktoglobulin ve α -laktalbuminin hidrokolloidlerle etkileşimleri farklılık göstermektedir. β -Laktoglobulin ($pI=5.2$) anyonik gamlarla etkileşime geçerek kompleks koaservasyona neden olurken, net yükü sıfıra yakın olan α -laktalbumin ($pI=4.1$) çözelti ortamında kalmaktadır (Syrbe ve ark., 1998). Süt protein tozlarından protein içeriği en düşük bulunan D-PAS'nin bu etkileşimlerdeki etkinliği en düşük bulunmuştur. Ayrıca, model sıvıların bulanıklık değerleriyle gam konsantrasyonu arasında doğrusal bir ilişki olduğu da tespit edilmiştir. Protein ve hidrokolloidler arasındaki etkileşimlerde protein-polisakkarit oranı önem arz etmektedir. Ganzewles ve ark. (2006)'nın bildirdiğine göre, β -Laktoglobulin ve pektin karışımında (pH 4) protein oranı 6:1 oluncaya kadar çözünür kompleksler oluşmakta, protein oranının yükselmesi sonucunda çözünür kompleksler

birleşerek daha büyük çözünmez bileşiklere dönüşmektedir. Ayrıca, örneklerin tuz içeriklerindeki farklılık da bulanıklık değerinin gam konsantrasyonundan bağımsız değişmesine neden olabilmektedir. Protein ve karragenan içeren çözeltilerde (toplam biyopolimer konsantrasyonu=%0.25 ve protein:polisakkarit oranı=15:1), 45 mM düzeyinde ilave edilen NaCl çözünmez kompleks oluşumunu teşvik ederken; daha yüksek oranlarda tuz ilavesiyle kompleks oluşumu azalmaktadır (De Kruif ve ark., 2004). Na^+ ve Cl^- iyonları protein ve gamların yüklü gruplarıyla etkileşime geçerek kompleks oluşumunu engellemektedir (Stone ve Nickerson, 2012). Bu tez çalışmasında, tuz içeriği %10.45 ile en yüksek bulunan karragenanın model sıvıların renk ve bulanıklık yanıtlarını olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Taguchi optimizasyonu sonucunda; saponin (%0.096), Na-KAZ (%0.5) ve pektin (%0.2) içeren şekerli çözeltinin renk ve bulanıklık açısından en ideal örnek olduğu saptanmıştır. Wusigale ve ark. (2020), seyreltilmiş sütte (pH 4) negatif yüklü pektinin karboksil grupları ve pozitif yüklü kazeinin katyonik amino grupları arasındaki elektrostatik etkileşimler sonucunda pektinin kazein yüzeyine adsorbsiyonunun kolaylaştığını rapor etmiştir.

Bir proteinin hava/sıvı arayüzeyi gerilimini düşürme hızı köpük özelliklerini etkileyen en önemli faktördür (Damodaran, 2005). Yüzey/arayüzey geriliminin azaltılması neticesinde köpük sisteminde hava baloncuklarının oluşturulması için daha az enerjiye ihtiyaç duyulacağından dolayı elde edilen köpüklerin daha uzun ömürlü olmaları beklenmektedir (Dickinson, 2010). Proteinler ve saponinler tarafından hava/sıvı arayüzey geriliminin düşürülmesi; i. Yüzey aktif bileşenin arayüzeye difüzyonu, ii. Makromoleküllerin arayüzeyde adsorbe olması ve molekülün açılması, iii. Adsorbe kısımların hidrofilik ve hidrofobik uçlarının konumlanması, şeklinde üç aşamada gerçekleşmektedir. Proteinler ve saponinler yüzey gerilimini düşürmenin yanı sıra kovalent ve kovalent olmayan etkileşimlerle arayüzeylerde viskoelastik filmler oluşturmaktadırlar (Dickinson, 2003; Singh ve ark., 2003; Benichou ve ark., 2007; Böttcher ve Drusch, 2016).

Köpük helva üretiminde kullanılan sıvılarda yüzey gerilimini azaltmada en etkili protein çeşidinin PASP-İ olduğu, Na-KAZ ve D-PAS'nin arayüzey gerilimini düşürmedeki etkisinin sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Protein-gam çözeltilerinde azotlu maddeler

dışındaki unsurların proteinlerin yüzey aktivitelerini olumsuz etkiledikleri belirtilmiştir. Özellikle yağ içeriği yüksek olan protein konsantrisinde protein izolatına göre yüzey geriliminin daha yüksek olduğu saptanmıştır (Nastaj ve Sołowiej, 2020). Bu çalışmada da benzer şekilde, en yüksek yağ içeriğine sahip Na-KAZ (%1.95) ve protein içeriği en az bulunan D-PAS (%7.66) içeren örneklerin yüzey gerilimlerinin PASP-K ve PASP-İ içerenlere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Model sistemde; %0.1 düzeyine kadar gam konsantrasyonu artışı arayüzey özelliklerine olumlu etki gösterirken, daha yüksek oranda gam ilavesiyle arayüzey gerilimlerinin arttığı saptanmıştır. Hava/sıvı arayüzey gerilimini düşürmede en fazla etkisi olan kolloid çeşidinin iyonik özellikteki ticari pektin olduğu, iyonik grup içermeyen keçiyoynuzu gamının ise en az etkili polisakkarit çeşidi olduğu tespit edilmiştir.

Varyans analizi sonucunda, model faktörleri dışındaki unsurların da çözeltilerin arayüzey gerilimini düşürmede etkili olduğu belirlenmiştir. Düşük oranlarda şeker varlığında (%1), sakkaritler ortamdaki serbest suyu bağlayarak proteinlerin hava/sıvı arayüzeyine konumlanmalarını kolaylaştırmakta ve köpük özelliklerine katkı sağlamaktadır (Herceg ve ark., 2007). Yüksek şeker konsantrasyonlarında (>%50); basit şekerler protein (PASP-İ, %2) ve/veya gamlarla (ksantan gam, pektin ve guar gam, %0.1) zayıf etkileşimde olduklarından yüzey gerilimi sonuçlarını etkilememektedirler (Narchi ve ark., 2009). Sukroz moleküllerinin hidroksil grupları ve sodyum kazeinatın fonksiyonel grupları arasındaki zayıf hidrojen bağlarının proteinlerin arayüzey etkinliklerini zayıflatabilmektedir. Bununla birlikte, sukroz; proteinin izoelektrik noktasına yakın pH değerlerinde protein-protein etkileşimlerinin artmasına (kümeleşme) neden olarak yüzey aktivitesini azaltmaktadır (Antipova ve ark., 1999). Benzer etki; ovalbumin ve hidroksipropil metil selüloz içeren sistemde (pH 4.5) görülmüştür (Sadahira ve ark., 2018).

İyonik ve iyonik olmayan saponinleri içeren çöven ekstraktı kullanımı protein çözeltilerinin arayüzey gerilimini etkilemektedir (Böttcher ve Drusch, 2016). β -Kazein ve saponin (QBS) arasında belirli konsantrasyonlarda meydana gelen etkileşimler hava/su arayüzeyinin stabilizasyonunda önemlidir. Bununla birlikte, ortamda bulunan diğer

bileşenler protein ve saponinler arasındaki etkileşimde önem arzedeabilmektedir (Wojciechowski ve ark., 2014; Góral ve Wojciechowski, 2020). Ayrıca, β -Laktoglobulin ve saponin (QBS) içeren sistemde arayüzey gerilimindeki azalma ile köpük kapasitesi arasında ilişki gözlemlenmediği de bildirilmiştir (Piotrowski ve ark., 2012).

Arayüzey basıncı, birbirine komşu iki farklı faz arasında arayüzey alanı oluşturmak için gereken enerjiyi tanımlamaktadır. Sıvıların arayüzey basıncındaki değişimler incelendiğinde, peynir altı suyu proteinleri ve pektin kullanılarak hazırlanan çözeltilerin arayüzey basınçlarındaki değişimin en fazla olduğu görülmektedir. Benzer ilişki, Na-KAZ ve karragenan arasında belirlenmiştir. Süt proteinleri ve keçiyoynuzu gamı içeren çözeltilerde arayüzey basıncındaki değişimin sınırlı düzeyde gerçekleştiği bulunmuştur.

Örneklerin arayüzey basınç grafiklerinin bazı kısımlarda dalgalanmalar görülmektedir. Bu iniş çıkışlar, proteinler gibi yüksek moleküler ağırlıklı yüzey aktif maddeler ve saponinler gibi düşük molekül ağırlığına sahip bileşenlerin hava/sıvı arayüzeyinde konumlanmak için birbirleriyle yarışmasından kaynaklanmaktadır (Dickinson, 1998). Yüzey aktif bileşenlerin tipi ve konsantrasyonu, bu bileşenlerin arayüzeye ilgileri ve çözelti koşulları (pH, sıcaklık, iyonik güç) yüzey basıncını belirlemektedir. Bununla birlikte, başlangıçta arayüzeyde olan bazı moleküllerin arayüzeye ilgisi oldukça yüksek olan çözeltideki diğer moleküllerle yer değiştirmesi nedeniyle yüzey basıncı zamanla değişebilmektedir (Baeza ve ark., 2005). β -Laktoglobulin ve saponin (QBS) içeren sıvı sistemde arayüzeyde meydana gelen kompleks bileşenlerin arayüzey aktiviteleri azalarak sürekli faza geçmelerinden kaynaklı arayüzey basıncında dalgalanmalar görüldüğü belirtilmiştir (Böttcher ve ark., 2016). Bu çalışmada, çöven ekstraktı-süt proteinleri-hidrokolloidler içeren model ortamında arayüzey gerilimi ve basınçlarında benzer dalgalanmaların olduğu saptanmıştır.

Bu tez çalışmasında; arayüzey basıncı grafiklerinde, arayüzey basınçlarındaki artışın ilk 100 saniye çok belirgin olduğu, sonrasında artış hızının yavaşladığı saptanmıştır. Proteinlerin hava/su arayüzeyine adsorbsiyonunda 3 aşamalı bir kinetikten söz edilmektedir: 1) protein difüzyonuna bağlı olarak yüzey basıncının sıfıra yakın olduğu bir

başlangıç noktası, 2) arayüzeyde protein konumlanmasına bağlı olarak yüzey basıncında hızlı bir artışın olduğu periyot, 3) protein etkileşimlerine bağlı olarak yüzey basıncının stabilizasyon zamanı veya yavaş bir artışın görüldüğü evredir (Cao ve ark., 2018). Neves ve ark. (2018)'nın bildirdiğine göre; protein çözeltilerinde, proteinlerin hava/su arayüzeyine difüzyonuna bağlı olarak yüzey gerilimleri hızla azalmaktadır. Proteinlerce hemen hemen doygun arayüzeylerde sürekli adsorbsiyon ve moleküler konformasyon düzenlemesine bağlı olarak yüzey basınçlarında kısmi değişimler olmaktadır. β -Laktoglobulin ve saponin (QBS) içeren sulu sistemde, arayüzey gerilimi ölçümünün ilk aşamasında arayüzey geriliminde hızlı bir azalış gerçekleştiği; sonrasında bu düşüşün yavaşladığı belirlenmiştir. Bu durumun, düşük molekül ağırlıklı saponinlerin arayüzeylere hızla difüze olarak arayüzey gerilimini düşürürken daha büyük molekül ağırlıklı polimerlerin daha çok arayüzey stabilizasyonda görev almalarından kaynaklandığı belirtilmiştir (Piotrowski ve ark., 2012).

Gri İlişkisel Analiz yöntemiyle bulunan genel optimizasyon koşullarında saptanan renk, bulanıklık ve arayüzey gerilimi değerleri S/N değerlerinin kontrol örneğinden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Saponin (%0.096), PASP-İ (%0.5) ve ksantan gam (%0.1) ile hazırlanan çözeltinin kontrol örneğinden daha bulanık ve koyu renkte olduğu ve ayrıca hava/sıvı arayüzeyini düşürmede daha etkili olduğu deney sonuçları ve S/N oranlarıyla saptanmıştır. pH 4'de, zıt yüklü PASP-İ ve ksantan gam arasındaki elektrostatik etkileşimlerin kompleks oluşumunu artırarak ışığın daha fazla absorbe olmasını sağladığı, biyopolimerler arasındaki sinerjistik etkileşimler neticesinde hava/sıvı arayüzeyine yüzey aktif madde difüzyonunun hızlandığı ve film arayüzey özelliklerinin iyileştiği rapor edilmiştir (Perez ve ark., 2010; Martínez-Padilla ve ark., 2015).

Kontrol örneğinin arayüzey basıncı grafiği incelendiğinde, zamana bağlı olarak arayüzey basıncındaki değişimin optimum örneğe göre çok az gerçekleştiği belirlenmiştir. Yüksek şeker içerikli model ortamında; saponinlerin hava/sıvı arayüzeyine difüzyonunun çok yavaş gerçekleştiği, hava/sıvı arayüzeyine adsorbsiyonunun çok kısıtlı olduğu görülmektedir. Ayrıca, kontrol örneği arayüzey gerilimi grafiğinde dalgalanmalar olduğu belirlenmiştir. Böttcher ve ark. (2016)'nın bildirdiğine göre, çöven ekstraktındaki iyonik

ve iyonik olmayan saponinler hava/sıvı arayüzeyine adsorbe olmak için yarıştıklarından dolayı arayüzey gerilimi/basıncında dalgalanmalar olmaktadır. Ayrıca, arayüzeyde meydana gelen moleküller arası (protein/saponin/sakkaritler) etkileşimlerin de bu dalgalanmalarda etkili olabileceği rapor edilmiştir. Yüzey aktivitesi yüksek bir protein ve/veya saponin hava/sıvı arayüzeyinde diğer moleküllerle birleşerek yüzey aktivitesini kaybedebilmekte ve böylece zamanla arayüzeyden ayrılabilir. Bu bileşiğin yerini sürekli fazda bulunan daha yüzey aktif bir madde doldurabilmektedir.

5.2.2. Reolojik özelliklerin değerlendirilmesi

Gıda ürünlerinde protein ve hidrokolloidler arasındaki etkileşimlerin gıda kalitesini belirleyen önemli bir parametre olduğu bilinmektedir. Bu etkileşimlerin kontrol edilmesiyle yeni gıda formülasyonları geliştirilebilmekte veya mevcut gıda reçeteleri iyileştirilebilmektedir (Benichou ve ark., 2007). Protein ve gıdaları içeren sistemler kullanılarak reolojik özelliklerin iyileştirilmesi neticesinde spesifik tıktürel özelliklere sahip gıda ürünleri hazırlanabilmektedir (Walstra, 2003). Köpük helva üretiminde kullanılan sıvılarda bu biyopolimerler arasındaki etkileşimlerin ürün özelliklerine etkisinin araştırılması önemlidir. Sıvı/yarı katı gıda sistemlerinde yatışkın hal (steady state) ve dinamik kayma (dynamic shear) reolojik özelliklerin belirlenmesiyle örnekler arasında yapısal farklılıkların anlaşılabilmesi hedeflenmiştir.

Yatışkın hal (steady state) reolojik özelliklerin değerlendirmesi

Ticari süt proteinleri ve farklı konsantrasyonda hidrokolloidlerin kullanıldığı sıvılarda kıvam katsayısı (K), akış davranış indeksi (n) ve görünür viskozite (η) özellikleri araştırılmıştır. Viskozitenin köpük stabilitesini etkileyen en önemli faktör olduğu rapor edilmiştir. Köpük sistemlerinde baloncuklar arasındaki katmanlardan sıvı akıntısı sürekli faz viskozitesinin artırılması yoluyla önlenmektedir (Xu ve ark., 2020). Liszka-Skoczylas ve ark., (2014)'nın bildirdiğine göre, PASP-K çözeltilerine ksantan gam ilavesiyle yüzey gerilimi azalırken görünür viskozite artmaktadır. Ayrıca, bu araştırmacılar protein-gam karışımının çırpılmasıyla elde edilen köpüklerin sadece protein içeren köpüklere kıyasla daha kararlı olduklarını tespit etmişlerdir.

Taguchi yöntemi L₁₆ deney matrisine göre gerçekleştirilen yatışkın hal reolojik analizler sonucunda, köpük helva üretiminde kullanılan sıvıların akış özelliklerini etkileyen en önemli parametrenin gam çeşidi olduğu belirlenmiştir. Polimer sistemlerinde kıvam katsayısı ve akış davranış indeksi değerinin ters orantılı olarak değiştiği bilinmektedir (Steffe, 1996). Genel olarak değerlendirildiğinde, ksantan gam kullanılan sıvılarda K ve η_{11} değeri en yüksek, n değeri ise en düşük bulunmuştur. Ksantan gamın aynı konsantrasyondaki diğer hidrokolloidlere göre çözelti viskozitesini daha fazla artırdığı bildirilmiştir (Dogan ve ark., 2014; Barcelos ve ark., 2020). Kompleks yapıda bir heteropolisakkarit olan ksantan gamın yatışkın halde (düşük kayma hızlarında) yüksek viskoziteye sahip olmasından dolayı uzun süreli stabilitenin istendiği kolloidal sistemlerde kullanılabileceği bildirilmiştir (Narchi ve ark., 2009). Model sıvılarda gam miktarındaki artışın yatışkın hal reolojik özellikleri önemli düzeyde etkilediği tespit edilmiştir. Bu sistemde, polisakkarit konsantrasyonunun artmasıyla birlikte polimer zincirleri arasındaki moleküler etkileşimine bağlı olarak kıvam katsayısında iyileşme görülmüştür (Neves ve ark., 2018). PASP-İ ve alginat içeren karışımlarda (pH 4) elektrostatik etkileşimler neticesinde oluşan çözünür/çözünmez bileşiklerin de görünür viskoziteyi artırdıkları belirlenmiştir (Xu ve ark., 2020).

Yatışkın hal reolojik özelliklere etkisi en az bulunan kontrol parametresi protein çeşidi olmuştur. Genel olarak, sodyum kazeinat ile hazırlanan sıvıların peynir altı suyu proteinleriyle hazırlananlara göre kıvam katsayısı ve viskozitelerinin daha yüksek bulunmasının nedeni süt proteinlerinin su tutma kapasitelerindeki farklılıktır. Kazein misellerinde suyun tutulması temel olarak kolloidal kalsiyum fosfat ve hidrofilik κ -kazein tarafından sağlanmaktadır. Peynir altı suyu proteinlerinde hidrofilik özellikteki aminoasitlerin çoğu globular yapı içerisinde kaldığından suyu kazeinatlara göre daha az bağlayabilmektedirler (Kneifel ve Seiler, 1993).

Köpük helva üretiminde kullanılan model sıvılarda artan kayma hızlarında ($0.1-100\text{ s}^{-1}$) akış davranışları araştırılmıştır. Bütün örneklerin kaymayla incelleme (shear thinning) özelliği gösterdikleri belirlenmiştir. Örneklerde polimer maddelerden kaynaklanan yapısal unsurların kayma hızındaki artışa bağlı olarak parçalandığı söylenebilir. Benzer

durum, PASP-İ/pektin (Raei ve ark., 2018) ve PASP-İ/sodyum aljinat (Xu ve ark., 2020) sistemlerinde görülmüştür. Düşük kayma hızlarında jel benzeri bir davranış sergileyen ksantan gam sıvılarında yüksek kayma hızlarında yapısal hidrojen bağlarının kopmasıyla jellerin deformasyonuna bağlı olarak viskozitelerinin belirgin olarak azaldığı belirlenmiştir (Narchi ve ark., 2009). Tez çalışmasında, ksantan gam kullanılan örneklerde kayma hızının artmasına bağlı olarak görünür viskozite değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Bununla birlikte, bütün kayma hızı aralıklarında ksantan gam kullanılan model sıvıların görünür viskoziteleri diğer örneklerle göre yüksek bulunmuştur. Bu durum ksantan gamın diğer gamlara göre daha kompleks yapıda olmasıyla açıklanabilmektedir.

Gri İlişkisel Analiz yöntemiyle belirlenen genel optimizasyon koşullarında hazırlanan sıvının yatışkın hal (steady state) reolojik özellikleri kontrol sıvısından istatistiksel açıdan farklı bulunmuştur ($p < 0.05$). Saponin (%0.096), PASP-İ (%0.5) ve ksantan gam (%0.1) içeren genel optimizasyon sıvısının akma direncine sahip olduğu ve Herschel-Bulkley akış modeline uyduğu belirlenmiştir. Ksantan gam ve peynir altı suyu proteinlerinin arasında meydana gelen kompleks biyopolimer yapısının akmaya direnç gösterdiği görülmektedir. Çöven ekstraktı kullanılarak hazırlanan kontrol örneğinin akma direncinin olmadığı ve Oswald-de waele akış modeline uyduğu saptanmıştır. Saponin/süt proteini/gam ve şeker içeren asidik sıvının (pH 4) kontrol sıvısına göre daha kıvamlı yapıda olduğu ve akmaya daha dirençli olduğu saptanmıştır. Optimum faktör seviyelerinde hazırlanan sıvının kesme hızının (s^{-1}) artmasına bağlı olarak görünür viskozitesindeki azalma kontrol sıvısına göre daha belirgindir (shear thinning). Kontrol sıvısının viskozitesinin kesme hızına daha az bağımlı olmasından dolayı daha çok newtonian davranış özelliği gösterdiği belirlenmiştir ($n=0.969$).

Dinamik kayma (Dynamic shear) reolojik özelliklerin değerlendirilmesi

Köpük üretiminde kullanılan sıvıların reolojik özelliklerinin tanımlanmasında sadece yatışkın hal reolojik analizlerin yorumlanması yeterli değildir. Bu sıvıların viskoz ve elastik özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir (Steffe, 1996). Model sıvıların dinamik reolojik özellikleri incelendiğinde (1 Hz), peynir altı suyu proteinleriyle

hazırlanan örneklerde G' değerinin G'' verisinden yüksek olması bu sıvıların jel benzeri yapı sergilediklerini göstermektedir. Örneklerde daha yüksek elastik modül (G') değeri biyopolimerler arasında daha güçlü ağ yapısının kurulduğunu göstermektedir. Bizim çalışmamızda; köpük helva üretimi için hazırlanan model sıvılarda peynir altı suyu proteinleri, özellikle de PASP-K, ve ksantan gam/pektin kullanımıyla Na-KAZ-polisakkarit ile hazırlanan örnekler göre daha sıkı bir yapının elde edildiği söylenebilmektedir. Na-KAZ ile hazırlanan sıvılarda genel olarak viskoz karakterin baskın olduğu görülmüştür. Süt proteini çeşitlerinin model sıvının dinamik reolojik özelliklerine anlamlı etkisi bulunduğu tespit edilmiştir. Çalışma koşullarında, sodyum kazeinatın polisakkaritlerle zayıf etkileşimde bulunduğu sonucuna ulaşılabilmektedir.

Protein-kolloid çözeltilerinde gam konsantrasyonuyla sıvıların elastikiyeti arasında bağlantı bulunmuştur. Le ve Turgeon (2013)'nin bildirdiğine göre, β -Laktoglobulin-ksantan gam hidrojelinde 3 boyutlu yapının ancak proteininin polisakkariti tamamıyla bağlayabilmesiyle mümkündür. Proteinler bu ağ yapısında çapraz bağ ajanı olarak görev yaptığı, daha sıkı yapıda hidrojellerin üretilmesinde biyopolimerlerin oranlarının önemli olduğu da rapor edilmiştir. β -Laktoglobulinin ksantan gama oranı 0.6 olduğunda G' değeri en yüksek jellerin elde edildiğini, daha yüksek protein oranlarında çapraz bağların azalmasıyla elastikliğin azaldığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, Souza ve Garcia-Rojas (2017), lizozim/ksantan gam ve ovalbumin/ksantan gam çözeltilerinde (pH 3) yüksek elastikiyette ağ yapısının oluşması için biyopolimerlerin belirli oranda kullanılması gerektiğini bildirmiştir. Bizim çalışmamızda; saponin (%0.096) içeren çözeltilerde elastik özelliğin PASP-K ve pektin/ksantan gam oranı 5 oluncaya kadar arttığı, daha düşük oranlarda (protein:gam oranı<5) azaldığı saptanmıştır. KG kullanılarak hazırlanan örneklerde viskoz özelliklerin baskın olduğu belirlenmiştir. İyonik özellikte olmayan KG, proteinlerle elektrostatik etkileşime girmediğinden sürekli faz viskozitesini geliştirerek model sıvıların viskoz özelliğine katkı sağlamaktadır.

Örneklerin frekans tarama (0.1-10 Hz) sonuçları incelendiğinde, elastik ve viskoz modülün frekansa bağımlı olduğu görülmektedir. Wang ve ark. (2007) ve Raei ve ark. (2018), PASP-İ ve pektin ile hazırlanan çözeltinin (pH 4) elastik yapısından protein

molekülleri ve polisakkarit zincirleri arasındaki etkileşimler sonucunda oluşan kompleks bileşikler sorumlu olduğunu rapor etmişlerdir. Yüksek şekerli ortamda gerçekleştirilen bu çalışmalarda; düşük frekanslarda protein ve pektin moleküllerinin kısıtlı etkileşimine bağlı olarak vizkoz karakter (G'') baskınken, yüksek frekanslarda biyomoleküller arasındaki etkileşimlerin artmasıyla örneklerde elastik özelliğin (G') hakim olduğu bildirilmiştir. Bu tez çalışmasında da pektin içeren örneklerde benzer sonuçlar bulunmuştur. Bununla birlikte, ksantan gam içeren model sıvıların, düşük frekanslarda daha elastik, yüksek frekanslarda daha viskoz özellik gösterdikleri tespit edilmiştir. Bu durum, ksantan zincirlerinin sağlamlığı ve makromoleküller arası zayıf hidrojen bağlarıyla ilişkilendirilmektedir. Protein ve ksantan gam içeren sıvıların reolojik özelliklerinin gam konsantrasyonu ve protein çeşidine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği bildirilmiştir (Martínez-Padilla ve ark., 2015).

Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen genel optimizasyon çözeltisinin kontrol sıvısına göre daha yüksek elastikiyet gösterdiği belirlenmiştir. Frekans tarama testinde (0.1-10 Hz), saponin (0.096), PASP-İ (%0.5) ve ksantan gam (%0.1) ile hazırlanan genel optimizasyon sıvısının saponin (%0.192) içeren kontrol örneğinden daha yüksek elastik modül değerine sahip olduğu saptanmıştır. Kontrol örneğinde, saponinlerin yüksek şeker içerikli ortamda elastik modül (G') değerine sınırlı düzeyde katkıda bulunduğu görülmüştür.

5.3. Köpüklerin/Köpük Helvaların Değerlendirilmesi

Bu bölümde çöven ekstraktı, ticari süt proteinleri ve farklı miktarlarda gamları içeren şekerli (70 briks) ve asitli (pH 4) model sıvıların 40, 60, 80 veya 100 °C sıcaklık uygulanarak 158 rpm'de 15 dakika çırpılmasıyla elde edilen köpüklerin köpük kapasitesi ve yoğunluk özelliklerinin; 0.5 g/cm³ yoğunluk değerine kadar çırpılmasıyla üretilen köpük helvaların toplam üretim süresi (TÜS), renk özellikleri, dinamik kayma reolojik özellikleri, köpük baloncuk boyutu (d_{32}) ve tekstürel özelliklerinin Taguchi yöntemi ve Gri İlişkisel Analiz ile optimizasyonu hedeflenmiştir. Genel optimizasyon koşullarında ve geleneksel formülasyonla hazırlanan köpüklerin/köpük helvaların farklılıkları tespit edilmiştir.

5.3.1. Köpük kapasitesi ve yoğunluk özellikleri

Köpük kapasitesi (köpürebilme), protein köpüklerinin karakterizasyonunda kullanılan en önemli özelliklerden birisidir. Bu değer, protein çözeltisine karıştırılabilen hava miktarının bir göstergesidir. Köpürebilme değerinin belirlenmesinde, protein çözeltisinin köpük hacmindeki artıştan faydalanılmaktadır (Raikos ve ark., 2007; Gharbi ve Labbafi, 2019). Gıda ürünlerinin köpürtülmesindeki temel amaçlar: ürün yoğunluğunu azaltmak, kalorik değeri düşürmek, tekstür ve reolojik özellikleri iyileştirmek ve duyu özellikleri geliştirmektir (Liszka-Skoczylas ve ark., 2014; Zmudziński ve ark., 2014; Ptaszek ve ark., 2016; Lazidis ve ark., 2017). Köpük helvalarda köpük kapasitesi arttıkça yoğunluk değeri azalmaktadır.

Taguchi L₁₆ tasarım matrisine uygun hazırlanan sıvıların farklı sıcaklıklarda (40, 60, 80 veya 100 °C) 15 dakika çırpılmasıyla hazırlanan model köpüklerde köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm³) üzerine en etkili protein çeşitleri PASP-K ve PASP-İ olarak belirlenmiştir. Model koşullarında, D-PAS ve Na-KAZ proteinlerinin arayüzey aktivitelerinin daha zayıf olduğu saptanmıştır. Bu durumun; D-PAS'nin protein içeriğinin diğer proteinlerden daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Graham ve Phillips (1979) ve Martin ve ark. (2002), sodyum kazeinat gibi esnek proteinlerin hava/sıvı arayüzeyine peynir altı suyu proteinleri gibi globüler proteinlerden daha hızlı ulaşacağından köpürme kapasitelerinin yüksek bulunduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte, pH değişiminin (pH 2, 4, 6) Na-Kaz (%1) köpüklerinin kapasitelerine etkilerinin araştırıldığı çalışmada, sodyum kazeinatın net yükünün ve çözünürlüğünün azaldığı pH değerinde (pH 4) köpük kapasitesinin en düşük bulunduğu tespit edilmiştir (Walsh ve ark., 2008). Tez çalışmasında; sodyum kazeinatın net yükünün düşük ve çözünürlüğünün zayıf olmasından dolayı arayüzey aktivitesinin zayıflamasıyla aynı koşullardaki PASP-K ve PASP-İ'ne göre daha az köpürebildiği saptanmıştır.

Model köpüklerde, protein:gam oranının azalmasına bağlı olarak yoğunluk yanıtı S/N oranlarının azaldığı saptanmıştır. PASP-İ (%2) ve ksantan gam (%0.1) kullanılarak hazırlanan yüksek viskoelastik özellikteki sıvılardan elde edilen köpüklerin sadece PASP-İ (%2) ile üretilenlerden daha düşük köpük kapasitesi (%) değerine sahip olduğu

bildirilmiştir (Narchi ve ark., 2009). Kolloidal sistemlerde, protein ve polisakkaritler arasındaki elektrostatik etkileşimler neticesinde oluşan komplekslerin yüzey aktiviteleri zayıflamaktadır. Bundan dolayı, gamlar genel olarak köpük kararlılığını artırmak amacıyla kullanılmaktadırlar (Girard ve ark., 2003; Ganzevles ve ark., 2006; Sadahira ve ark., 2018).

Model köpüklerde, protein oranının artmasıyla yoğunluk yanıtı S/N oranlarının arttığı görülmektedir. Pozitif yüklü protein ve negatif yüklü polisakkaritler arasındaki etkileşimler neticesinde oluşan çözünür komplekslerin köpük özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir (Dickinson, 1998; Lau ve Dickinson, 2005; Benichou ve ark., 2007; Sadahira ve ark., 2014). Köpük oluşumunda kullanılan çözeltinin pH değeri (pH 4), süt proteinlerinin izoelektrik noktasının (pI) altında ($pI_{\beta\text{-Laktoglobulin}}=5.2$ ve $pI_{\text{Na-KAZ}}=4.6$) ve iyonik polisakkaritlerin karboksil gruplarının pKa değerinin ($pK_{a\text{karragenan}}=2.0$, $pK_{a\text{pektin}}=3.5$ ve $pK_{a\text{ksantan}}=3.1$) üzerinde olduğundan, negatif yüklü polisakkaritler pozitif yüklü proteinlerle etkileşerek elektrostatik kompleks oluşumuna neden olmaktadır (Gu ve ark., 2005; Piotrowski ve ark., 2012; Raei ve ark., 2018). Gharbi ve Labbafi (2019), lizozim ve polisakkaritler tarafından oluşturulan benzeri komplekslerin köpük özelliklerini iyileştirmesinin üç nedeni olduğunu bildirmiştir. Bunlar: i) proteinin polisakkarite bağlanması neticesinde hidrofobik özelliğinin ve çözünürlüğünün iyileşmesi, ii) proteinin kısmi denatürasyonu ile esnekliğinin artmasına bağlı olarak arayüzey adsorbsiyonunun kolaylaşması, iii) Maillard konjugasyonu ile proteinin pozitif yükünde azalmayla hava/sıvı arayüzeyinde moleküller arası etkileşimin zayıflaması neticesinde adsorbsiyonun hızlanmasıdır. Bununla birlikte, krem şanti üretiminde proteinler ve polisakkaritler arasındaki etkileşimlerin sürekli faz viskozitesinde artışa neden olarak köpük kapasitesinin azaldığı görülmüştür (Camacho ve ark., 1998).

Model köpüklerde gam konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak köpük üretmek için gerekli mekanik enerji artmaktadır. Çırpıcı hızının 158 rpm'de sabit tutulduğu bu çalışmada, ortam viskozitesinin artmasına bağlı olarak köpük yapısına daha az havanın hapsedilebileceği tespit edilmiştir. Özellikle ksantan gam kullanılan örneklerde viskozitenin daha çok arttığı belirlendiğinden bu örneklerde köpük kapasitesi değerleri

daha düşük bulunmuştur. Pektin kullanımıyla daha düşük yoğunluklarda köpükler üretilmektedir.

Düşük sıcaklıklarda uygulanan kısmi denatürasyon işleminin PS proteinlerinin hidrofobik özelliklerini artmasına neden olarak hava/su arayüzeyine konumlanmaları için gerekli enerji gereksinimini azalttığı bildirilmiştir (Kim ve ark., 2005; Indrawati ve ark., 2008). Bununla birlikte, PS proteinlerinin 80 °C'nin üzerine ısıtılması sonucunda köpürme özelliklerinin olumsuz etkilendiği de belirtilmiştir (Schmidt ve ark., 1984; Kim ve ark., 2005). Bu çalışmada, model köpüklerin çırpılması esnasında uygulanan sıcaklık artışına bağlı olarak (80 °C'ye kadar) köpüklerdeki hava oranının arttığı belirlenmiştir. Yüksek sıcaklıkta (>80 °C) çırpılan köpüklerde, proteinlerin hava/sıvı arayüzey etkinliklerinin belirgin şekilde azaldığı sonucuna ulaşılabilmektedir. Ayrıca, model köpüklerde 100 °C'de belirlenen yoğunluk yanıtı S/N oranlarının 40 °C ve 60 °C'dekilerden yüksek bulunduğu görülmektedir. Bunun nedeni, saponinlerin PS proteinleriyle etkileşerek onların ısıl dirençlerini artırması (Guclu-Ustundag ve Mazza, 2007) ve/veya yüksek sıcaklıklarda köpük oluşumunda daha etkin görev almasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bağlamda, köpük oluşumunun hedeflendiği mikrobiyolojik güvenilirliği önem arzeden ve yüksek sıcaklık uygulamaları gerektiren gıda ürünlerinin (krem şanti, pasta dolguları vb.) imalatında PS proteinleri ve/veya çöven ekstraktının kullanılabileceği düşünülmektedir.

Gri ilişkisel Analiz ile belirlenen genel optimizasyon koşullarında ($A_1B_1C_3D_3$) üretilen köpüklerin köpük kapasitesi (%) ve yoğunluk (g/cm^3) değerleri S/N oranlarının geleneksel formülasyonla üretilen köpüklerden istatistiksel olarak farklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır ($p<0.05$). Saponin (%0.096), PASP-K ve pektin (%0.05) ile hazırlanan sıvı çözeltinin 80 °C'de çırpılmasıyla üretilen köpük örneğinin yapısına saponin (%0,192) içeren ve 100 °C'de hazırlanan kontrol örneğinden daha yüksek oranda hava hapsedebildiği saptanmıştır. Yüksek şeker içeren asidik ortamda (pH 4); saponin, PASP-K ve pektin arasındaki sinerjist etkileşimlerin köpürmede etkili olduğu belirlenmiştir.

5.3.2. Köpük helvaların toplam üretim süresi ve renklerinin değerlendirilmesi

Tez çalışmasında, Na-KAZ içeren köpük helvaların daha kısa sürede üretildikleri belirlenmiştir. Walsh ve ark. (2008)'nın bildirdiğine göre, pH 4 dolaylarında Na-KAZ'ın net yükü az ve çözünürlük özelliği zayıftır. Bundan dolayı, yapısına daha az hava katabilen örneklerin hedeflenen yoğunluk değeri olan 0.5 g/cm^3 'e daha kısa sürede ulaştığı belirlenmiştir. Köpük kapasitesi değeri yüksek bulunan PASP-K ve PASP-İ içeren köpük helvalarda çırpma işlemiyle yapıya karışan havanın çırpılarak azaltılması ve tekdüze dağılımının sağlanması uzun sürmektedir. Çırpma işleminde havanın köpük sistemine yeknesak dağıtılması işleminde yüksek kayma geriliminin uygulanması gerekmektedir. Yüksek enerji gerektiren bu işlem neticesinde globüler proteinlerin köpürme özellikleri zayıflamaktadır. Protein köpüklerine uygulanan uzun süreli çırpma işleminde (over whipping) proteinlerin hava/sıvı arayüzey aktiviteleri zayıflamaktadır (Zúñiga ve Aguilera, 2008). Tez çalışmasında, uzun süre çırpma işlemi uygulanan PASP-K ve PASP-İ içeren köpüklerde mekaniksel etkiyle denatürasyon oranının artması neticesinde arayüzey özelliklerinin zayıfladığı görülmektedir. Bu durum, özellikle düşük sıcaklıkta ($40 \text{ }^\circ\text{C}$) çırpma işlemine maruz kalan PS proteinlerinde daha belirgindir.

PASP-İ ve κ -karragenan içeren sistemde, polisakkarit konsantrasyonunun artmasıyla görünür viskozitenin arttığı bildirilmiştir. Yüksek konsantrasyonlarda (%0.3 karragenan) gam kullanımında PASP-İ (%0.5) köpüklerinde sürekli faz viskozitesinin artması sonucunda aşılması gereken enerji bariyerinin yükselmesi sonucunda yapıya daha az havanın katılabileceği belirtilmiştir (Lazidis ve ark., 2017). Tez çalışmasında, yüksek şeker içerikli model sıvılara %0.1'in üzerindeki konsantrasyonlarda gam ilavesiyle toplam TÜS'ün kısaldığı tespit edilmiştir.

Köpük helvaların çırpılması esnasında uygulanan sıcaklık işleminin TÜS üzerine en büyük etkiye sahip faktör olduğu belirlenmiştir. Denatürasyon sıcaklıklarının üzerindeki ısı işlem uygulamalarına maruz kalan proteinler hızla kümeleşerek boyutları artmaktadır. Arayüzey aktiviteleri zayıflayan bu kompleks bileşenlerin hava/sıvı arayüzeyine difüzyonu yavaş olacağından yüzey gerilimini etkin şekilde düşürememektedirler (Rullier ve ark., 2008). Tez çalışmasında, yapısına daha az hava katabilen bu köpüklerin

arzulanan yoğunluk değerine daha kısa sürede ulaştıkları saptanmıştır. Varyans analizi sonucunda da miksleme sıcaklığının toplam miksleme süresi üzerine anlamlı etkiye sahip tek faktör olduğu belirlenmiştir.

L₁₆ tasarım matrisine göre üretilen model köpük helvaların *L** değerlerinin süt proteini çeşidi ve gam konsantrasyonundaki değişimlerden daha çok etkilendiği belirlenmiştir. PASP-K ve PASP-İ kullanılarak üretilen köpük helvaların D-PAS ve Na-KAZ'lı helvalara göre daha parlak renkte oldukları saptanmıştır. Protein köpüklerinin renkleri ve köpürebilme özellikleri arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır (Campbell ve Mougeot, 1999). Tez çalışmasında, yapısına daha fazla hava katma potansiyelindeki örneklerde *L** değerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Model koşullarında, süt proteinleri ve iyonik özellikteki gamlar arasındaki elektrostatik etkileşimler neticesinde oluşan kompleks bileşikler protein çözeltilerinin köpürebilirliğini kısıtlamaktadırlar. Ayrıca, keçiyoynuzu gamı gibi iyonik özellikte olmayan kolloidal maddeler ortam viskozitesini artırarak köpüklerin hava bağlama kapasitesini azaltmaktadırlar (Rodriguez Patino ve Pilosof, 2011).

Protein köpüklerinde iyonik özellikteki gam konsantrasyonu çözünür/çözünmez bileşiklerin oluşumunda önem taşımaktadır. Bu konuda yapılan bir çalışmada, β -Laktoglobulin:pektin oranı 6 oluncaya kadar pektin ilavesiyle köpük özelliklerini iyileştiren çözünür bileşenlerin oluştuğu, protein içeriğinin azalmasıyla birlikte yüzey özellikleri zayıf çözünmeyen bileşenlerin meydana geldiği tespit edilmiştir (Ganzevles ve ark., 2006). Bu tez çalışmada, benzer şekilde, gam oranının artmasıyla (süt proteini:gam<5) yüzey aktiviteleri zayıf çözünmez bileşenlerin oluşumuna bağlı olarak yapıya yeteri kadar hava hapsedilemediğinden model köpük helvaların parlaklıkları azalmıştır.

Model helvaların üretiminde çırpma işlemi esnasında uygulanan sıcaklık derecesinin artmasıyla rengin olumsuz etkilendiği belirlenmiştir. Yüksek şeker içerikli ortamda, indirgen şeker ve proteinler arasındaki etkileşimlerin artması sonucunda ortaya çıkan Maillard reaksiyon ürünleri nedeniyle ürün parlaklığının azaldığı görülmüştür (Gharbi ve

Labbafi, 2019). Bununla birlikte, PS proteinlerine denatürasyon sıcaklığının üzerinde ($>70\text{ }^{\circ}\text{C}$) uygulanan sıcaklık işlemleri neticesinde proteinlerin arayüzey aktivitelerinin azalması da rengi olumsuz etkilemektedir. Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen genel optimizasyon koşullarında ($A_1B_1C_3D_3$) ve ticari formülasyonla üretilen köpük helvaların üretim süreleri ve renkleri arasında istatistiksel olarak fark belirlenememiştir ($p<0.05$). Saponin (%0.096), PASP-K (%0.5) ve pektin (%0.05) içeren sıvının $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de çırpılmasıyla üretilen köpük helvanın saponin içeriği (%0.192) daha yüksek olan kontrol örneği yerine başarıyla üretilebileceği görülmüştür.

5.3.3. Köpük helvaların reolojik özellikleri

Köpük helva örneklerinde lineer viskoelastik bölgede (0.2 Pa) gerçekleştirilen dinamik reolojik testler sonucunda depo modül (G'), viskoz modül (G'') ve kayıp tanjant ($\tan \delta$) değerleri saptanmıştır. Köpük helvalara dinamik reolojik analizler esnasında uygulanan makaslama (shear) işleminde örnekte depolanan deformasyon enerjisinin bir ölçüsü olan depo modülü (G') ve örnek tarafından dağıtılan enerjiyi gösteren kayıp modül (G'') belirlenmiştir. Elastik modül (G') değeri örneğin katı benzeri (jel) bir davranış sergilediğini, viskoz modül (G'') ise köpük helvanın sıvı benzeri davrandığı göstermektedir. Kayıp tanjant değeri (G''/G'), örneğin deformasyon davranışlarından viskoz karakterinin elastik özelliğine oranı şeklinde ifade edilmektedir. Köpük helva örneği elastik özellik baskınken ($\tan \delta < 1$ veya $\delta < 45^{\circ}$) katı olarak düşünülürken, viskoz karakter hakimken ($\tan \delta > 1$ veya $\delta > 45^{\circ}$) viskoz akışkan olarak kabul edilmektedir. Faz açısı (δ); $0^{\circ} < \delta < 90^{\circ}$ iken materyal viskoelastik olarak adlandırılmaktadır (Steffe, 1996; Rao, 2014). Protein köpüklerinin teknolojik özelliklerinin tahminlenmesinde yararlanılan viskoelastik özelliklerin köpük kapasitesi ve yoğunluk gibi fizikokimyasal özellikler ile yakından ilgili oldukları belirtilmiştir (Ptaszek, 2013).

Köpük helvalarda yatışkın hal reolojik özellikler reometre ölçüm probunun yüzeyi ve örnek arasında kayma probleminden (wall-slip) dolayı belirlenememiştir. Köpük helva örneklerinde L_{16} deney tasarımına uygun şekilde gerçekleştirilen dinamik reolojik testler sonucunda, örneklerin elastik veya viskoz özelliklerini anlamlı düzeyde etkileyen üretim faktörü bulunmamaktadır. Kontrol parametrelerinden hidrokolloid çeşidi ve miksleme

sıcaklığının reolojik parametreler üzerindeki etkisinin protein çeşidi ve hidrokolloid miktarından daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar varyans analiziyle de desteklenmiştir.

Model köpük helvaların viskoelastik özelliklerinin ifade edilmesinde sadece G' veya G'' değerlerinden yararlanılamayacağı saptanmıştır. $\tan(\delta)$ değeri köpük helvaların reolojik özelliklerinin tahmin edilmesinde daha doğru sonuçlar vermektedir (Steffe, 1996). ANOVA sonuçlarına göre, model köpük helvaların viskoelastik özelliklerinin belirlenmesinde anlamlı katkıya sahip tek üretim parametresinin hidrokolloid tipi olduğu tespit edilmiştir.

Model köpük helvalarda peynir altı suyu proteinleri, PASP-K ve PASP-İ, kullanılan örneklerin Na-KAZ içerenlere göre daha elastik yapıda oldukları saptanmıştır. Model helvalarda pektin veya ksantan gam kullanımıyla örneklerin daha çok katı benzeri davrandıkları belirlenmiştir. Ksantan gam ve pektin proteinlerle hem elektrostatik veya hidrofobik hem de fiziksel etkileşime girerek daha sert (elastiki) yapıda köpük olumuna neden olmaktadır (Liszka-Skoczylas ve ark., 2014; Zmudziński ve ark., 2014). Keçiyoynuzu gamı ve karragenanın model helva örneklerinin viskoelastik özelliklerine sınırlı düzeyde katkı sağladığı belirlenmiştir.

Köpük sistemlerinde protein:gam oranı reolojik özellikler açısından önem arz etmektedir. Sadahira ve ark. (2016), yumurta akı proteinleri ve pektinden oluşan karışımda pektin konsantrasyonun (protein:gam<2.86) artmasıyla elastik özelliklerin ve köpürme kapasitesinin azaldığı belirtilmiştir. Bu durum, yüksek pektin varlığında çözünmez komplekslerin oluşumuna bağlı olarak proteinlerin havayla etkileşimlerinin engellenmesine bağlanmıştır. Bu tez çalışmasında, hidrokolloid oranının artmasıyla (protein:gam oranı<3.33) viskoz özelliğin arttığı belirlenmiştir. Protein oranının artmasıyla proteinlerin kendi aralarında oluşturdukları etkileşimlerin köpük reolojisinde etkili oldukları bildirilmiştir (Schmitt ve Turgeon, 2011). Protein ve hidrokolloidlerin birlikte kullanıldıkları emülsiyon sistemlerinde, sıvı-sıvı arayüzeyinde protein-gam etkileşimleri emülsiyonların reolojik özelliklerini etkilemektedir. Yüksek oranlarda gam kullanımı

emülsiyon stabilitesini ve reolojik özelliklerini olumsuz etkilemektedir (Lam ve Nickerson, 2013).

Model köpük helvaların dinamik reolojik özellikleri model sıvılardan farklı bulunmuştur. Model sıvılarda elastik özellikler baskınken model köpüklerde viskoz özellikler hakimdir. Model sıvılara uygulanan çırpma işlemi ve uygulanan sıcaklık etkisiyle proteinler denatüre olarak hava/sıvı arayüzeyinde konumlanmaktadır. Uygulanan mekanik ve termik işlemler neticesinde peynir altı suyu proteinlerinin iç kısımlarındaki hidrofobik uzantıların açığa çıkmasıyla arayüzey etkinlikleri artmaktadır. Aynı zamanda bu proteinlerin diğer moleküllerle (proteinler, sakkarit, saponinler vb.) oluşturduğu molekül ağırlığı daha yüksek arayüzey aktif olmayan bileşikler sürekli faz viskozitesini artırarak viskoz özelliklerin ortama hakim olmasını sağlamaktadır. Dabestani ve Yeganehzad (2019)'nın bildirdiğine göre, sıcaklık uygulanmasıyla proteinlerin yapısal özelliklerinde değişimler olmaktadır. Ayrıca, protein ve hidrokolloidlerden oluşan karışımın ısıtılması neticesinde protein konfigürasyonunda değişimlere bağlı olarak gamların iyonik uzantıları ve proteinlerin pozitif grupları arasındaki elektrostatik etkileşimler ve biyopolimerler arasında hidrofobik etkileşimler sistemin reolojik özelliklerinde belirleyicidir. Zhu ve Damodaran (1994) ve Damodaran (2005), uzun süre yüksek sıcaklığa maruz bırakılan protein çözeltilerinde proteinlerin hızla kümeleşerek köpük özelliklerinin olumsuz etkilendiğini tespit etmişlerdir.

Model köpük helvaların 0.1-10 Hz arasındaki frekans tarama grafikleri incelediğinde, pektin ve ksantan gam içeren köpük helvaların farklı reolojik özellikler gösterdikleri belirlenmiştir. Pektin bulunduran örneklerde frekansın artmasıyla daha viskoz karakterde köpükler elde edilirken, ksantan gamlı helvaların düşük frekanslarda daha viskoz yüksek frekanslarda daha elastik bir reolojik özellik gösterdikleri görülmektedir. Bu durumun, yüksek şeker içerikli ortamda bulunan kompleks yapıdaki ksantan gama sabit basınçta (0.2 Pa) uygulanan deformasyon etkisiyle iyonik zincirlerinin açılarak proteinlerle/saponinlerle etkileşime girmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Model köpük helvaların model sıvılardan çok farklı reolojik karakterizasyona sahip oldukları frekans tarama testleriyle de ortaya çıkmıştır. Tarama testlerinde, model sıvıların daha çok elastik özellik gösterdikleri ($\tan(\delta) < 1$), model köpük helvaların daha çok viskoz özellik gösterdikleri ($\tan(\delta) > 1$) saptanmıştır. Bu durum, uzun süreli çırpma işlemlerinin protein yapılarını zayıflattığı tezini doğrulamaktadır. Frekans tarama testlerinde, ayrıca, pektin ve ksantan gamlı örneklerin de model sıvılarda ve model köpük helvalarda farklı davranış gösterdikleri belirlenmiştir. Model köpük helvalarda; pektinli örnekler yüksek frekanslarda daha viskoz iken, ksantan gamlı örnekler daha elastik özellik sergilemektedir. Bu durum; pektinli örneklerin deformasyona bağlı olarak jel yapısının bozulmasıyla ve ksantan gamlı örneklerin proteinlerle etkileşiminin artmasıyla açıklanabilmektedir. Ksantan gamlı örneklerde görülen bu reolojik davranış biçimi, yüksek şeker içerikli ortamda süt proteinleri ve ksantan gamın etkileşiminin faz ayırımına bağlı olarak kısıtlandığını göstermektedir. Reometre probuyla uygulanan osilasyon işlemiyle hareket eden polimerler kaynaşarak viskoelastik özellik sergilemektedirler. Fakat, bu durumun geçici olduğu köpük stabilitesi testleriyle tespit edilmiştir (bkz. Çizelge 4.48). Ksantan gamlı örneklerde, muhtemelen, çırpma aparatıyla uygulanan mekanik etkiyle açılan ksantan gam zincirleri zayıf protein-ksantan etkileşimlerinden dolayı tekrar biraraya gelme eğilimi göstererek köpük yapısını zayıflatmaktadır. Köpük helva örneklerinin genelinde yüksek frekanslarda sıvı benzeri davranış gösterdiği belirlenmiştir. Yüksek frekanslarda, depo modülü (G') kayıp modülünden (G'') daha düşük olduğunda materyali deforme etmek için kullanılan enerji viskoz şekilde dağıtılmakta ve materyal sıvı benzeri bir davranış sergilemektedir (Rao, 2014). Gri İlişkisel Analiz ile belirlenen genel optimizasyon koşullarda ($A_1B_1C_3D_3$) üretilen köpük helvada ve kontrol köpük helvasında viskoz özelliklerin baskın olduğu ($\tan \delta > 1$), saponin (%0.192) içeren kontrol helvanın genel optimum örnekten göreceli olarak daha elastik olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Köpük helvalara uygulanan uzun süreli çırpma işlemi köpük yapısının olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır.

5.3.4. Köpük helvaların tekstürel özellikleri

Köpüklerin sertlik değeri jel gücünü temsil etmekteyken yapışkanlık değeri köpük örneğinin vizkoz özelliğini göstermektedir. Yapışkanlık, köpük örneğinin adezyon ve kohezyon kuvvetleri, viskozite ve viskoelastik özelliklere bağlı yüzey özelliğini temsil etmektedir. Bu özellik gıdanın kalitesini, görünüş ve raf ömrünü etkilemektedir (Naji ve ark., 2013). Köpük helvaların tekstürel özellikleri incelendiğinde; daha sert yapıda ve daha az yapışkan özellikte helva üretiminde en etkili proteinler PASP-K ve PASP-İ olarak belirlenirken, Na-KAZ ve D-PAS kullanılarak üretilenlerin daha az sert ve daha yapışkan özellikte oldukları belirlenmiştir.

Köpük helva üretiminde kullanılan model sıvılarda biyopolimerler (saponin, protein, polisakkarit vb.) arasındaki etkileşimlerin arayüzey geriliminde değişikliklere neden olduğu belirtilmiştir. Bu etkileşimlerin model köpük helvaların yapısal özelliklerini de önemli düzeyde etkilediği tekstür analizleriyle anlaşılmıştır. Ksantan gam ve pektin kullanılarak üretilen model köpük helvalarda köpük sertliğinin (elastiklik) arttığı saptanmıştır. Köpük sistemindeki polimerlerin fiziksel yapılarında uygulanan gerilim (çırpma) neticesinde değişimler meydana gelmektedir. Çırpma işlemi sonlandırıldığında bazı biyomoleküllerin yapıları başlangıç konumlarına dönerken bazıları ise denatüre proteinlerle iç içe geçmektedir. Protein ve polisakkaritler arasındaki bu etkileşimler neticesinde elastik bir yapı oluşmakta ve köpüklerin sertlikleri artmaktadır (Zmudziński ve ark., 2014). Sadece peyniraltı suyu proteini (β -Laktoglobulin) kullanılarak üretilen köpüklerde hava/sıvı arayüzey filmlerinin kalınlığı ~4 nm olarak belirlenirken protein ve polisakkarit kullanılan köpüklerde biyopolimerlerin etkileşimiyle (β -Laktoglobulin-pektin) elde edilen arayüzey filmlerinin kalınlığı ~40 nm olarak belirlenmiştir. Protein-gam etkileşimi sonucunda daha sıkı ve yoğun bir tabaka elde edilmesi mümkündür. Köpük üretiminde kullanılan biyopolimerlerin konsantrasyonları da köpüklerin tekstürel özellikleri açısından önem arz etmektedir. Proteinlerle etkileşmeyen hidrokolloidler sürekli faz viskozitesini artırarak yapışkanlık değerine katkı sağlamaktadırlar (Kampf ve ark., 2003; Dickinson, 2011). Tez çalışmasında, şeker içeriği yüksek asidik ortamda (70 briks, pH 4); saponin, PASP-K/PASP-İ ve pektin/ksantan gam etkileşimlerinin protein

filmlerinin dayanıklılığını artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Benzer koşullarda, keçiyoynuzu gamıyla üretilen köpüklerin daha az sert ve daha çok yumuşak özellikte olmasının temel nedeninin proteinlerle elektrostatik etkileşime girmemesi olarak düşünülmektedir. Sıcaklığın tekstürel özelliklere etkisi net olarak gözlemlenememiştir. Bunun nedeni, mikslleme sıcaklığının köpük helvaların sertlik ve yapışkanlık özelliklerine etki derecesinin düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum, varyans analiziyle de desteklenmiştir. Köpük helvaların tekstürel özellikleri üzerine en etkili model parametreleri hidrokoloid çeşidi ve hidrokoloid miktarı olarak belirlenmiştir. Yüksek çırpma sıcaklıklarında ($>80\text{ }^{\circ}\text{C}$) üretilen model köpük helvaların diğer örneklerle göre daha çok elastik ve daha az viskoz oldukları saptanmıştır. Bu durum, literatürde, hızlı denatürasyondan kaynaklanan yüzey özellikleri zayıflamış büyük protein kümeleriyle ilişkilendirilmiştir. Yüksek şeker içerikli ortamda, hava/sıvı arayüzey difüzyonu yavaşlayan protein kümeleri daha çok sürekli fazda yer alarak yapışkanlık (vizkoz) değerine katkı sağlamaktadırlar (Bals ve Kulozik, 2003; Ibanoglu ve Erçelebi, 2007; Rullier ve ark., 2008). Fakat bu referans çalışmalarda, biyopolimerlere uygulanan ısıtma işleminin çırpmadan önce gerçekleştirildiği saptanmıştır. Bu tez çalışmasında, ısıtma işlemi çırpma esnasında uygulandığından bazı süt proteinlerinin hava/sıvı arayüzeyine ulaşma imkânı bularak kümeleştigiinden arayüzey viskoelastikliğine katkı sağladıkları düşünülmektedir. Ayrıca, yüksek sıcaklık uygulaması sonucunda sürekli fazdaki suyun buharlaşması neticesinde şeker şurubu briksinin artması (~ 80 briks) da yüksek sıcaklıkta ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$) köpük sisteminin sertliğini artıran etmen olarak düşünülmektedir.

Gri ilişkisel analiz yöntemiyle elde edilen genel optimizasyon koşullarında üretilen köpük helvanın kontrol örneğine kıyasla daha düşük sertlikte ve yapışkanlıkta olduğu saptanmıştır. Bunun temel nedeninin çırpma esnasında uygulanan sıcaklık derecelerindeki farklılık olduğu düşünülmektedir. Saponin (%0.192) içeren kontrol örneğinin $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de; saponin (%0.096), PASP-K (%0.5) ve pektin (%0.05) ihtiva eden optimum köpük helvanın $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de çırpılarak üretilmişlerdir. Gerçekleştirilen analizlerde, genel optimum ve kontrol köpük helva örneklerinin çırpma işleminden sonraki suda çözünür kuru madde değerleri sırasıyla ~ 77 ve ~ 80 briks olarak belirlenmiştir.

5.3.5. Köpük helvaların mikroskop görüntülerinin değerlendirilmesi

Protein köpüklerinin mikroskop görüntülerinde birim alandaki köpük baloncuk sayısı ve baloncuk büyüklüklerindeki değişim köpüklerin kararsızlık mekanizmasının açıklanmasında kullanılmaktadır. Protein çözeltilerinin çırpılmasıyla üretilen köpüklerde, zamana bağlı olarak köpük baloncuklarının boyutları zamanla artmaktadır (Berry ve ark., 2009). Tez çalışmasında, model köpük helvaların KLTM görüntüleri (Ek 7.1) ve baloncuk dağılım histogramları (Ek 7.2) incelendiğinde 120 dakikalık bekleme süresince köpük baloncukları boyutlarının ürün formülasyonuna bağlı olarak farklı oranlarda arttığı gözlenmiştir. Örneğin; saponin (%0.096), PASP-K (%0.5) ve keçiyoynuzu gamı (%0.05) içeren 1 no'lu örneğin ve saponin (%0.096), Na-KAZ (%0.5) ve keçiyoynuzu gamı (%0.15) ile hazırlanan 11 no'lu köpük helvada köpük baloncuklarının 120 dakika sürecinde sırasıyla %17 ve %23 oranında arttığı hesaplanmıştır.

Köpük baloncuk büyüklüklerindeki değişim hava/sıvı arayüzeyinde saponin/protein/hidrokoloid filmlerinin köpük kararlılığındaki etkisini açıklamaktadır. Bu viskoelastik filmler, büyük baloncukların oluşumunda bir bariyer vazifesi işlevi görmektedir (Lau ve Dickinson, 2005). Protein köpüklerinde, PASP-K ve ksantan gam içeren örneklerin baloncuk boyutlarıyla köpük kararlılıkları arasında ilişki olduğu belirlenmiştir. Daha küçük baloncuk çapına sahip köpüklerin daha kararlı oldukları bulunmuştur (Martínez-Padilla ve ark., 2015). Benzer sonuçlar Marinova ve ark., 2009, Yang ve ark., 2009 ve Yang ve Foegeding, 2011 tarafından teyit edilmiştir.

Model köpük helvalarda baloncuk boyutunu etkileyen en önemli üretim parametresinin süt protein çeşidi olduğu belirlenmiştir. Birbirine yakın bileşimdeki (bkz. Çizelge 4.1) peynir altı suyu proteinlerinden PASP-K ve PASP-İ'nin model köpük helvaların baloncuk çapları üzerine etkilerindeki farklılıklar köpük helvalarda baloncuk çapları üzerine diğer üretim faktörlerinin de etkili olduğunu kanıtlamaktadır. Küçük molekül ağırlıklı saponinler ve büyük molekül ağırlıklı proteinler köpük sistemlerinde hava/sıvı arayüzeyine konumlanabilmek için yarışmaktadırlar. Bu moleküller köpük baloncuklarının farklı bölgelerinde toplandıklarında arayüzey filmlerinde lokal farklılıklara bağlı olarak köpük baloncuklarının daha çabuk birleşmesine neden

olmaktadırlar (Wojciechowski ve ark., 2014). Tez çalışmasında; D-PAS kullanılan örneklerde akıntı yarı ömürleri çok kısa bulunmasına rağmen (bkz. Çizelge 4.48) köpük baloncuk büyüklüklerinin diğer peynir altı suyu protein köpükleriyle benzer olması (bkz. Çizelge 4.33) protein:saponin oranının köpük baloncuk boyutunun tahmin edilmesinde önemli bir veri olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak; saponinler (%0.096), %7.66 protein içeren D-PAS çözeltisi (%0.5) ve farklı konsantrasyonlarda (%0.05-0.2) gamların varlığında baloncuk boyutları nispeten küçük fakat stabil olmayan köpük helvalar üretilmektedir.

Yüksek şeker içeren ortama hidrokolloidlerin ilave edilmesiyle ortam viskozitesinin artması sonucunda yapıya hava karıştırılması zorlaşmaktadır. Ayrıca, viskoz ortamda yapıya alınan havanın yeknesak şekilde dağıtılması neredeyse imkânsız hale gelmektedir. Sonuç olarak, ortam viskozitesinin artmasıyla köpük baloncuk boyutunun arttığı görülmüştür. Model köpük helvaların üretilmesinde ksantan gam kullanım miktarının artmasıyla daha büyük baloncuk çapına sahip köpüklerin üretildiği tespit edilmiştir.

Şeker şurubu kullanılarak ortam viskozitesi artırılmış protein çözeltilerinin ısıtılarak (~80 °C) çırpılmasıyla proteinlerin hava/sıvı arayüzeyine geçişleri hızlanmaktadır (Nicorescu ve ark., 2010). Bununla birlikte, daha yüksek sıcaklıklarda (~90 °C) β -Laktoglobulin'in köpük özellikleri kötüleşmekte, protein denatürasyonu ile sürekli faz viskozitesinin artması sonucunda köpüklerde baloncuk boyutu ortalaması yükselmektedir (Bals ve Kulozik, 2003). Tez çalışmasında, çırpma işlemi esnasında uygulanan sıcaklığın artmasına bağlı olarak köpük helvaların baloncuk boyutlarının küçüldüğü gözlenmiştir. Bu durumun, köpük helva üretiminde kullanılan ısıya dirençli saponinlerin peynir altı suyu proteinlerinin ısıl stabilitesini arttırması ve/veya yüzey aktif maddelerin arayüzey filmlerinin viskoelastik özelliklerini artırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Gri ilişkisel analiz yöntemiyle belirlenen genel optimizasyon koşullarında üretilen köpük helvaların baloncuk boyutu ortalamasının kontrol helvasından daha düşük bulunması, saponin/PASP-K/pektin etkileşimlerinin köpük kararlılığındaki etkisini göstermektedir. Belirli koşullarda, peynir altı suyu proteinleri ve pektin arasındaki etkileşimler nedeniyle

daha sıkı ve kararlı yapıda protein filmlerinin oluşması neticesinde daha kararlı yapıda köpük baloncuklarının oluştuğu rapor edilmiştir (Sadahira ve ark., 2018). Tez çalışmasında; saponin (%0.096), PASP-K (%0.5) ve pektin (%0.05) kullanılmasıyla, boyutları daha küçük ve daha kararlı yapıda köpük baloncuklarının oluştuğu tespit edilmiştir.

5.4. Köpük Helvaların Köpük Kararlılıklarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde model köpük helvaların 15, 20, 25 veya 30 °C’de depolanarak sıcaklığa bağlı köpük kararlılıklarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Köpük helvadan başlangıç ağırlığının yarısı kadar sıvının köpük yapısından ayrılması için gerekli süre “akıntı yarı ömrü” olarak hesaplanmıştır. Taguchi yöntemi kullanılarak köpük kararlılığının optimum olduğu faktör seviyeleri belirlenmiştir.

Protein köpüklerinin kalitesinin belirlenmesinde kullanılan en önemli parametrelerden birisi köpük kararlılığıdır (Raikos ve ark., 2007; Gharbi ve Labbafi, 2019). Köpük üretiminde kullanılan çözeltilerde proteinlerin hava/sıvı arayüzeyine adsorbe olup konformasyonel değişime uğrayarak konumlanması köpük kapasitesinde kilit nokta iken, proteinlerin bu arayüzeylerde sağlam bir viskoelastik tabaka oluşturması köpük kararlılığı açısından kritik öneme sahiptir (Azizpour ve ark., 2017). Köpüklerin duyuşal özelliğini de etkileyen kararlılığın belirlenmesinde sürekli fazı oluşturan sıvının köpük yapısından ayrılma hızı veya köpük miktarındaki azalışın ölçülmesi yöntemleri kullanılmaktadır (Raikos ve ark., 2007; Gharbi ve Labbafi, 2019). Köpük kararlılığı köpük helvaların ticari önemini etkileyen en önemli özelliktir.

PASP-K ve PASP-İ kullanılarak üretilen model köpük helvaların D-PAS ve Na-KAZ kullanılarak üretilenlere göre daha kararlı yapıda oldukları tespit edilmiştir. Ticari D-PAS tozlarında protein içeriklerinin (%7.66) PASP-K ve PASP-İ tozlarından (sırasıyla %77.31 ve %88.81) tozlarından çok düşük bulunmasından dolayı hava/sıvı arayüzey filmlerinin viskoelastik yapısına sınırlı düzeyde katkı sağladıkları düşünülmektedir. Yüksek şeker içerikli ortamda (pH 6-7), sodyum kazeinat globüler proteinlere göre arayüzeylere daha

hızlı adsorbe olarak yüzey gerilimini düşürebilmektedirler. Bununla birlikte, peynir altı suyu proteinlerinin daha iyi köpük kararlılığı göstermesinin temel nedeni; arayüzey viskozite ve elastikiyetinin Na-KAZ'a göre daha iyi olmasından kaynaklanmaktadır (Narchi ve ark., 2009). Sodyum kazeinatın izoelektrik noktasına yakın pH değerinde ($pI=4.6$) çözünürlüklerinin ve net yüklerinin azalmasından dolayı hem köpük kapasitesi hem de köpük kararlılığı değerleri düşük bulunmuştur (Walsh ve ark., 2008). Köpük sistemlerinde; saponin, protein, polisakkarit ve şeker şurubu dışındaki diğer bileşenler (lipid, mineral maddeler vb.) köpük kararlılığı açısından olumsuzluğa neden olabilmektedir. Hidrofobik özellikteki maddelerin köpüklerin temas yüzeyleriyle etkileşimleri sonucunda Laplace basıncının artmasına ve köpüklerin çökmesine neden olmaktadır (Dickinson, 2010). Ayrıca, saponin maddeler yağlarla köprü oluşturarak model sıvıların köpük kapasitesi ve köpük kararlılığının azalmasında etkilidirler (Maldonado-Valderrama ve Patino, 2010).

Tez çalışması kapsamında kullanılan çöven ekstraktında bulunan saponinler dispersiyonların kararlılığını etkilemektedir. Küçük molekül ağırlıklı yüzey aktif maddelerin (sorbitan esterleri, polisorbitatlar vb.) hava/sıvı arayüzeyindeki proteinlerle yer değiştirmesi sonucunda emülsiyon filmlerinin zayıflaması sonucunda emülsiyon stabiliteeleri azalmıştır. Bunun nedeni, proteinlerin konformasyonel yapısının değişmesi ve termodinamik değişimlerin film kararlılığını olumsuz etkilemesidir. Proteinler hava/sıvı arayüzeyinde konumlandıklarında oradaki diğer polimerlerle kovalent olmayan bağlar (hidrojen bağı, hidrofobik bağ vb.) kurmaktadır. Arayüzeye yüzey aktif maddelerin dahil olmasıyla protein konformasyonu bozulmakta ve yeni oluşan bağlardan kaynaklanan termodinamik etkiler emülsiyon stabilitesinin zayıflamasına neden olmaktadır (Lam ve Nickerson, 2013). Bununla birlikte, β -Laktoglobulin ve saponin (QBS) arasındaki sinerjistik etkileşimler (pH 7-9) emülsiyon kararlılığını sadece protein veya sadece saponinle hazırlanan emülsiyonlara göre arttırdığı saptanmıştır (de Faria ve ark., 2017). Bu tez çalışmasında, saponin ve peynir altı suyu proteinleri arasındaki etkileşimlerin protein oranına bağlı olarak köpük kararlılığını etkilediği görülmektedir. Hidrokolloid tipi ve miktarından bağımsız olarak, mevcut model koşullarında, peynir altı suyu proteinlerinin baskın olduğu durumda (protein:saponin= ~ 4) köpük stabilitesinin

arttığı görülmüştür. Saponinlerin hakim olduğu durumda ($\text{protein:saponin} \leq 1$) köpük kararlılığının azaldığı belirlenmiştir.

Hidrokolloid ilavesiyle ortam vizkozitesinin artması genel olarak köpük stabilitesini artırmakta ve tekstürü iyileştirmektedir (Mott ve ark., 1999; Carp ve ark., 2004; Redgwell ve ark., 2005; Capitani ve ark., 2007; Perez ve ark., 2009). Protein ve polisakkarit içeren sistemde, biyopolimerlerin zıt yüklü oldukları pH aralığında ($\text{pK}_{\text{ahidrokolloid}} < \text{pH} < \text{pI}_{\text{protein}}$) toplam biyopolimer konsantrasyonu ve protein/polisakkarit oranının köpük özelliklerini iyileştiren çözünebilir kompleks oranını etkileyen fizikokimyasal parametreler olduğu belirlenmiştir. Yüksek şeker içerikli asidik ortamda (80 briks, pH 3), yumurta akı köpüklerinde pektin oranının artmasıyla (YAP:pektin<35) biyopolimerler arasında oluşan çözünmez komplekslerin hava/sıvı arayüzeyinde viskoelastik bir tabaka oluşturarak gaz geçirgenliğini düşürdüğü ve köpük stabilitesini artırdığı saptanmıştır (Sadahira ve ark., 2016, 2018). Benzer şekilde, β -Laktoglobulin-pektin, ovalbumin-pektin ve β -Laktoglobulin-akasya gamı arasında oluşan nötral komplekslerin köpük stabilitesini artırdığı belirlenmiştir (Ganzevles ve ark., 2006; Kudryashova ve ark., 2007). Tez çalışmasında hidrokolloid konsantrasyonunun köpük kararlılığı üzerine etkisi tam olarak belirlenememiştir. Bu durumun, köpük stabilitesinde etkili protein:gam oranının hidrokolloid çeşidine bağlı olarak değişkenlik göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu konuda daha kapsamlı çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Model köpük helvaların kararlılığında en etkili gam çeşidinin pektin olduğu tespit edilmiştir. Peynir altı suyu proteinleri ve pektin arasında elektrostatik etkileşimlerin olabileceği en uygun pH aralığı 3.5-4.5 olarak belirlenmiştir (Raei ve ark., 2018). Uygun koşullarda, β -Laktoglobulin ve pektin arasındaki etkileşimler sonucu oluşan kompleks bileşenlerin arayüzey filmlerinin sağlamlığını artırarak köpük kararlılığına katkı sağladığı tespit edilmiştir (Ghosh ve Bandyopadhyay, 2012; Oduse ve ark., 2018). Bu tez çalışmasında; saponin, PASP-K/PASP-İ ve pektin arasındaki etkileşimlerin köpük kararlılığına katkı sağladıkları belirlenmiştir.

Protein/polisakkarit karışımlarının ısıtılması sonucunda köpük stabilitesinde iyileşmeler görülmüştür (Davis ve Foegeding, 2004; Ibanoglu ve Erçelebi, 2007). Globüler protein çözeltilerinin ısıtılması sonucunda, kısmi denatürasyona uğrayan proteinlerde iç kısımlardaki uzantılar açığa çıkmakta ve hidrofobiklik artmaktadır (Gharbi ve Labbafi, 2019). Yapısal değişikliğe uğrayan proteinler çevredeki maddelerle etkileşime geçerek kompleks bileşikler oluşturmaktadır. Moleküler ağırlığı artan bu bileşiklerin arayüzeye difüzyonu ve adsorbsiyonu zorlaşmaktadır. Bu kompleks bileşikler arayüzeyde yoğun bir tabaka oluşturarak köpük kararlılığına katkı sağlamaktadırlar (Oduse ve ark., 2018). Protein çözeltilerine uygulanan ısı işlem derecesine bağlı olarak monomerik (daha küçük ve esnek) ve polimerik (daha büyük ve kompleks) polimerler oluşmaktadır. Bu çözeltilerde monomerik yapılar arayüzelere hızlı bir şekilde adsorbe olarak arayüzey gerilimini düşürürken polimerik bileşenler hava/sıvı arayüzey filmlerinin elastikiyetine katkı sağlamaktadırlar. Monomerik ve polimerik bileşenler arasındaki denge köpük kararlılığı açısından çok önemlidir. Denatürasyon sıcaklığının çok üzerinde uzun süre ısı işlem uygulanan protein çözeltilerinde daha yüksek oranda meydana gelen polimerik bileşenler köpük özelliklerini olumsuz etkilemektedir (Lazidis ve ark., 2017). Tez çalışmasında, mikseleme sıcaklığının model köpük helvaların kararlılığını etkileyen önemli bir parametre olduğu belirlenmiştir. 80 °C'ye kadar uygulanan çırpma sıcaklıklarında model helvalarda kararlılığın arttığı, daha yüksek sıcaklıklarda (>80 °C) azaldığı belirlenmiştir. Bunun, monomerik ve polimerik bileşenlerin köpük kararlılığındaki etkilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Protein ve karbonhidratlar arasında sıcaklık etkisiyle meydana gelen glikasyon reaksiyonları sonucunda çözünür ve/veya çözünmez kompleksler oluşmaktadır. Maillard reaksiyonlarıyla proteinlerin hidrofilik özelliklerinin artırılması yoluyla hava/sıvı arayüzeylerinin viskoelastik özelliklerinin iyileştirilebileceği saptanmıştır. Bununla birlikte, yüksek sıcaklık uygulamalarıyla elde edilen çözünmez formdaki glikasyon ürünleri köpük kapasitesi ve köpük kararlılığını olumsuz etkilemektedir (An ve ark., 2014; Gharbi ve Labbafi, 2019; Nooshkam ve ark., 2020).

Saponinler ortamdaki mineral maddelerle ve proteinlerle etkileşerek protein çözeltilerinin özelliklerini değiştirmektedirler. Örneğin, soya saponinleri serum albüminin ısıl direncini artırdığı rapor edilmiştir. Isıl işlem uygulanan çözeltilerde (78 °C, >26 dk), saponinler kazeinlerle etkileşime geçerek yüksek molekül ağırlıklı kompleksler oluşturmaktadırlar (Guclu-Ustundag ve Mazza, 2007). Tez çalışmasında, saponinlerin proteinler ve iyonik özellikteki polisakkaritlerle etkileşime girerek köpük stabilitesine katkı sağlayan kompleks bileşenlerin oluştuğu düşünülmektedir.

Dispersiyon sistemlerinde sıcaklık artışına bağlı olarak sürekli faz viskozitesinin azalmasına bağlı olarak köpük stabilitesinin olumsuz etkilendiği bildirilmiştir (Mita ve ark., 1977; Yang ve Foegeding, 2010). Tez çalışmasında, model köpük helvaların kararlılıkları depolama sıcaklığındaki artışa bağlı olarak olumsuz etkilenmektedir. Köpük helva üretiminde süt proteini çeşidi ve depolama sıcaklığı faktörleri köpük kararlılığı üzerine etki eden en önemli üretim parametreleri olarak belirlenmiştir.

Taguchi optimizasyon sonuçlarına göre; saponin (%0.096), PASP-K (%0.5) ve pektin (%0.05) içeren yüksek şekerli ve asitli sıvının (70 briks, pH 4) 80 °C’de çırpılmasıyla üretilen köpük helvanın 15 °C’de bekletilmesiyle elde edilen akıntı yarı ömrü süresinin geleneksel formülasyonla üretilen ve aynı koşullarda depolanan kontrol örneğinden daha uzun olduğu belirlenmiştir. Saponinlerin, belirli koşullarda, süt proteinleri ve gamlarla kullanılarak köpürtme işlemi uygulanan çeşitli ürünlerde köpük stabilitesinin iyileştirilmesinde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

5.5. Köpük Helvaların Duyusal Değerlendirmesi

Köpük helvalardan en kararlı yapıdaki yedisi eğitimli panalistler tarafından puanlama testiyle görünüş, doku ve lezzet özellikleri açısından değerlendirilmiştir. Duyusal puanlama sonucunda; çöven ekstraktı, PASP-İ ve pektin (%0.2) içeren “8” no’lu örneğin görünüş özelliği; çöven ekstraktı, PASP-K ve pektinli (%0.05) “O” örneğinin doku özelliğiyle en yüksek puanı aldıkları belirlenmiştir. Ayrıca; çöven ekstraktı, Na-KAZ ve pektin (%0.05) ile hazırlanan “9” no’lu köpük helva ile “O” örneği panalistler tarafından

en lezzetli köpük helvalar olarak değerlendirilmişlerdir. Sonuç olarak, pektin içeren köpük helvaların duyusal açıdan en çok tercih edilen örnekler oldukları belirlenmiştir.

Test edilen duyusal özellikler açısından en uygun ürünün belirlenmesi amacıyla Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden TOPSİS kullanılarak panalistlerin tercih sıralaması bulunmuştur. Na-Kaz ve %0.05 pektin kullanılarak üretilen “9” no’lu örnek en çok beğenilen helva olurken, PASP-K ve %0.05 keçiyoynuzu gamı ile hazırlanan “1” no’lu örnek en az tercih edilen köpük helva olmuştur. Köpük helvalarda köpük kararlılığı açısından optimum koşullarda üretilen köpük helva örneği, “O”, ikinci en çok beğenilen örnek olmuştur. Saponin, süt proteinleri (PASP-K ve PASP-İ) ve pektin kullanılarak üretilen köpük helvaların görünüş, doku ve lezzet özellikleri açısından kontrol örneğinden daha çok tercih edildiği sonucuna ulaşılmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Abascal, D.M. ve Gracia-Fadrique, J., 2009. Surface tension and foam stability of commercial calcium and sodium caseinates. *Food Hydrocoll.* 23, 1848–1852.
- Abd El-Salam, M.H. ve El-Shibiny, S., 2020. Preparation and potential applications of casein–polysaccharide conjugates: a review. *J. Sci. Food Agric.* 100, 1852–1859.
- Alavi, F., Emam-Djomeh, Z., Mohammadian, M., Salami, M. ve Moosavi-Movahedi, A.A., 2020. Physico-chemical and foaming properties of nanofibrillated egg white protein and its functionality in meringue batter. *Food Hydrocoll.* 101, 105554.
- Albano, K.M., Cavallieri, Â.L.F. ve Nicoletti, V.R., 2019. Electrostatic interaction between proteins and polysaccharides: Physicochemical aspects and applications in emulsion stabilization. *Food Rev. Int.* 35, 54–89.
- An, Y., Cui, B., Wang, Y., Jin, W., Geng, X., Yan, X. ve Li, B., 2014. Functional properties of ovalbumin glycosylated with carboxymethyl cellulose of different substitution degree. *Food Hydrocoll.* 40, 1–8.
- Anonim, 2015. Türk Gıda Kodeksi Tahin Helvası Tebliği (Tebliğ No:2015/28). Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Ankara.
- AOAC, 2003. Official methods of analysis of the association of official's analytical chemists, 17th edn. Association of official analytical chemists, Arlington, Virginia.
- Antipova, A.S., Semenova, M.G. ve Belyakova, L.E., 1999. Effect of sucrose on the thermodynamic properties of ovalbumin and sodium caseinate in bulk solution and at air-water interface. *Colloids Surfaces B Biointerfaces.* 12, 261–270.
- Asghari, A.K., Norton, I., Mills, T., Sadd, P. ve Spyropoulos, F., 2016. Interfacial and foaming characterisation of mixed protein-starch particle systems for food-foam applications. *Food Hydrocoll.* 53, 311–319.
- Azizpour, M., Mohebbi, M., Yolmeh, M., Abbasi, E. ve Sangatash, M.M., 2017. Effects of different hydrocolloids on foaming properties of shrimp puree: a cluster analysis. *J. Food Meas. Charact.* 11, 1892–1898.
- Baeza, R., Carrera Sanchez, C., Pilosof, A.M.R. ve Rodríguez Patino, J.M., 2005. Interactions of polysaccharides with β -lactoglobulin adsorbed films at the air-water interface. *Food Hydrocoll.* 19, 239–248.
- Baldino, N., Mileti, O., Lupi, F.R. ve Gabriele, D., 2018. Rheological surface properties of commercial citrus pectins at different pH and concentration. *Lwt* 93, 124–130.
- Balerin, C., Aymard, P., Ducept, F., Vaslin, S. ve Cuvelier, G., 2007. Effect of formulation and processing factors on the properties of liquid food foams. *J. Food*

Eng. 78, 802–809.

- Bals, A. ve Kulozik, U., 2003. Effect of pre-heating on the foaming properties of whey protein isolate using a membrane foaming apparatus. *Int. Dairy J.* 13, 903–908.
- Barak, S. ve Mudgil, D., 2014. Locust bean gum: Processing, properties and food applications-A review. *Int. J. Biol. Macromol.* 66, 74–80.
- Barcelos, M.C.S., Vespermann, K.A.C., Pelissari, F.M. ve Molina, G., 2020. Current status of biotechnological production and applications of microbial exopolysaccharides. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 60, 1475–1495.
- Battal, H., Sarı, F. ve Velioğlu, S., 2003. A research on the Production of Soapwort Extract. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg.* 84, 75–84.
- Baynal, K. ve Gencel, İ., 2015. Taguchi yönteminin gıda sektöründe çok yanıtlı problemin eniyilemesinde uygulanması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19 (1), 107-121.
- Benichou, A., Aserin, A., Lutz, R. ve Garti, N., 2007. Formation and characterization of amphiphilic conjugates of whey protein isolate (WPI)/xanthan to improve surface activity. *Food Hydrocoll.* 21, 379–391.
- Berry, T.K., Yang, X. ve Foegeding, E.A., 2009. Foams prepared from whey protein isolate and egg white protein: 2. Changes associated with angel food cake functionality. *J. Food Sci.* 74, 269–277.
- Böttcher, S. ve Drusch, S., 2016. Interfacial Properties of Saponin Extracts and Their Impact on Foam Characteristics. *Food Biophys.* 11, 91–100.
- Böttcher, S., Scampicchio, M. ve Drusch, S., 2016. Mixtures of saponins and beta-lactoglobulin differ from classical protein/surfactant-systems at the air-water interface. *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* 506, 765–773.
- Bovskova, H. ve Míková, K., 2011. Factors influencing egg white foam quality. *Czech J. Food Sci.* 29, 322–327.
- Brent S.M. ve Murray, B.S., 2011. Rheological properties of protein films. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 16, 27–35.
- Bui, V.T.N.T., Nguyen, B.T., Renou, F. ve Nicolai, T., 2019. Rheology and microstructure of mixtures of iota and kappa-carrageenan. *Food Hydrocoll.* 89, 180–187.
- Çam, İ.B. ve Topuz, A., 2018. Production of soapwort concentrate and soapwort powder and their use in Turkish delight and tahini halvah. *J. Food Process Eng.* 41, 1–8.
- Camacho, M.M., Martínez-Navarrete, N. ve Chiralt, A., 1998. Influence of locust bean

- gum/ λ -carrageenan mixtures on whipping and mechanical properties and stability of dairy creams. *Food Res. Int.* 31, 653–658.
- Campbell, G.M. ve Mougeot, E., 1999. Creation and characterisation of aerated food products. *Trends Food Sci. Technol.* 10, 283–296.
- Canbolat, A.S., 2020. Taşıt Radyatörlerinde Isıl Performans Optimizasyonunun Deneysel ve Nümerik Olarak İncelenmesi (Doktora Tezi). Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Cao, Yanyun, Xiong, Y.L., Cao, Y. ve True, A.D., 2018. Interfacial properties of whey protein foams as influenced by preheating and phenolic binding at neutral pH. *Food Hydrocoll.* 82, 379–387.
- Capitani, C., Pérez, O.E., Pacheco, B., Teresa, M. ve Pilosof, A.M.R., 2007. Influence of complexing carboxymethylcellulose on the thermostability and gelation of α -lactalbumin and β -lactoglobulin. *Food Hydrocoll.* 21, 1344–1354.
- Carp, D.J., Baeza, R.I., Bartholomai, G.B. ve Pilosof, A.M.R., 2004. Impact of proteins- κ -carrageenan interactions on foam properties. *LWT - Food Sci. Technol.* 37, 573–580.
- Cemeroğlu, B., 2007. Gıda Analizleri, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 535 s.
- Çelik, I., Yilmaz, Y., Işık, F. ve Üstün, Ö., 2007. Effect of soapwort extract on physical and sensory properties of sponge cakes and rheological properties of sponge cake batters. *Food Chem.* 101, 907–911.
- Dabestani, M. ve Yeganehzad, S., 2019. Effect of Persian gum and Xanthan gum on foaming properties and stability of pasteurized fresh egg white foam. *Food Hydrocoll.* 87, 550–560.
- Dakia, P.A., Blecker, C., Robert, C., Wathélet, B. ve Paquot, M., 2008. Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid or water dehulling pre-treatment. *Food Hydrocoll.* 22, 807–818.
- Damodaran, S., 2005. Protein Stabilization of Emulsions and Foams. *J. Food Sci.* 70, R54–R66.
- Davis, J.P. ve Foegeding, E.A., 2004. Foaming and interfacial properties of polymerized whey protein isolate. *J. Food Sci.* 69, 404–410.
- Davis, J.P. ve Foegeding, E.A., 2007. Comparisons of the foaming and interfacial properties of whey protein isolate and egg white proteins. *Colloids Surfaces B Biointerfaces* 54, 200–210.
- de Castro, R.J.S., Domingues, M.A.F., Ohara, A., Okuro, P.K., dos Santos, J.G., Brexó, R.P. ve Sato, H.H., 2017. Whey protein as a key component in food systems:

- Physicochemical properties, production, technologies and applications, Food Structure, Elsevier.
- de Faria, J.T., de Oliveira, E.B., Minim, V.P.R. ve Minim, L.A., 2017. Performance of Quillaja bark saponin and β -lactoglobulin mixtures on emulsion formation and stability. *Food Hydrocoll.* 67, 178–188.
- De Kruif, C.G., Weinbreck, F. ve De Vries, R., 2004. Complex coacervation of proteins and anionic polysaccharides. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 9, 340–349.
- Dickinson, 1998. Stability and rheological implications of electrostatic milk protein–polysaccharide interactions. *Trends in Food Science & Technology.* 9, 347–354.
- Dickinson, E., 2003. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocoll.* 17, 25–39.
- Dickinson, E., 2010. Food emulsions and foams: Stabilization by particles. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 15, 40–49.
- Dickinson, E., 2011. Mixed biopolymers at interfaces: Competitive adsorption and multilayer structures. *Food Hydrocoll.* 25, 1966–1983.
- Dogan, M., Ersoz, N.B., Toker, O.S., Kaya, Y. ve Canyılmaz, E., 2014. Optimization of gum combination for instant pudding based on creep and recovery parameters by mixture design approach. *Eur. Food Res. Technol.* 238, 47–58.
- Edwards, P.J.B. ve Jameson, G.B., 2020. Structure and stability of whey proteins, Ed: M. Boland, H. Singh, *Milk proteins. From expression to food (3rd edn.)*, Academic Press, London, UK, pp. 251–291.
- Edwards, P.B., Creamer, L.K. ve Jameson, G.B., 2009. Milk Proteins: From Expression to Food, Structure and stability of whey proteins, Ed: A. Thompson, M. Boland, H. Singh, Academic Press, 163–190.
- Foegeding, E.A., Luck, P.J. ve Davis, J.P., 2006. Factors determining the physical properties of protein foams. *Food Hydrocoll.* 20, 284–292.
- Ganzevles, R.A., 2007. Protein/polysaccharide complexes at air/water interfaces. (Ph.D. Diss.), Wageningen Univ. Wageningen University.
- Ganzevles, R.A., Zinoviadou, K., Van Vliet, T., Stuart, M.A.C. ve De Jongh, H.H.J., 2006. Modulating surface rheology by electrostatic protein/polysaccharide interactions. *Langmuir* 22, 10089–10096.
- Ghanimah, M.A., 2018. Functional and technological aspects of whey powder and whey protein products. *Int. J. Dairy Technol.* 71, 454–459.
- Gharbi, N. ve Labbafi, M., 2019. Influence of treatment-induced modification of egg

- white proteins on foaming properties. *Food Hydrocoll.* 90, 72–81.
- Ghosh, A.K. ve Bandyopadhyay, P., 2012. Polysaccharide-Protein Interactions and Their Relevance in Food Colloids. *The Complex World of Polysaccharides*, IntechOpen Limited, 395-408.
- Girard, M., Turgeon, S.L. ve Gauthier, S.F., 2003. Quantification of the interactions between β -lactoglobulin and pectin through capillary electrophoresis analysis. *J. Agric. Food Chem.* 51, 6043–6049.
- Goh, K.K.T., Teo, A., Sarkar, A. ve Singh, H., 2020. Milk Proteins From Expression to Food, Milk protein-polysaccharide interactions, Third Edit., Ed: M. Boland ve H. Singh, Academic Press, 499-535.
- Goulding, D.A., Fox, P.F. ve O'Mahony, J.A., 2019. Milk proteins: An overview, *Milk Proteins: From Expression to Food*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815251-5.00002-5>.
- Góral, I. ve Wojciechowski, K., 2020. Surface activity and foaming properties of saponin-rich plants extracts. *Adv. Colloid Interface Sci.* 279, 102145.
- Graham, D.E. ve Phillips, M.C., 1979. Proteins at liquid interfaces. I. Kinetics of adsorption and surface denaturation. *J. Colloid Interface Sci.* 70, 403–414.
- Gu, Y.S., Decker, E.A. ve McClements, D.J., 2005. Influence of pH and carrageenan type on properties of β -lactoglobulin stabilized oil-in-water emulsions. *Food Hydrocoll.* 19, 83–91.
- Guclu-Ustundag, Ö. ve Mazza, G., 2007. Saponins: Properties, applications and processing. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 47, 231–258.
- Helou, A. 2015. *Sweet Middle East: Classic Recipes, from Baklava to Fig Ice Cream*. Chronicle Books LLC, 168 p, San Francisco, USA.
- Herceg, Z., Režek, A., Lelas, V., Krešić, G. ve Franetović, M., 2007. Effect of carbohydrates on the emulsifying, foaming and freezing properties of whey protein suspensions. *J. Food Eng.* 79, 279–286.
- Hoefler, A.C., 2004. *Hydrocolloids*. Eagan press, 111 p, Minnesota, USA.
- Hwang, C.L. ve Yoon., 1981. *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Hutchison, J.R., Brooks, S.M., Kennedy, Z.C., Pope, T.R., Kaiser, B.L.D., Vietry, K.D., Warner, C.L., Oxford, K.L., Omberg, K.M. ve Warner, M.G., 2019. Structure of xanthan gum (XG) with sub-structural components denoted. https://plos.figshare.com/articles/figure/Structure_of_xanthan_gum_XG_with_sub-structural_components_denoted_/9779873, (15.11.2020).

- Ibanoglu, E. ve Erçelebi, E.A., 2007. Thermal denaturation and functional properties of egg proteins in the presence of hydrocolloid gums. *Food Chem.* 101, 626–633.
- Indrawati, L., Wang, Z., Narsimhan, G. ve Gonzalez, J., 2008. Effect of processing parameters on foam formation using a continuous system with a mechanical whipper. *J. Food Eng.* 88, 65–74.
- Jurado Gonzalez, P. ve Sörensen, P.M., 2020. Characterization of saponin foam from *Saponaria officinalis* for food applications. *Food Hydrocoll.* 101, 105541.
- Kampf, N., Gonzalez Martinez, C., Corradini, M.G. ve Peleg, M., 2003. Effect of two gums on the development, rheological properties and stability of egg albumen foams. *Rheol. Acta* 42, 259–268.
- Kezwon, A. ve Wojciechowski, K., 2014. Interaction of Quillaja bark saponins with food-relevant proteins. *Adv. Colloid Interface Sci.* 209, 185–195.
- Kim, D.A., Cornec, M. ve Narsimhan, G., 2005. Effect of thermal treatment on interfacial properties of β -lactoglobulin. *J. Colloid Interface Sci.* 285, 100–109.
- Kneifel, W. ve Seiler, A., 1993. Water-holding Properties of Milk Protein Products -A Review. *Food Struct.* 12, 297–308.
- Kudryashova, E. V., Visser, A.J.W.G., Van Hoek, A. ve De Jongh, H.H.J., 2007. Molecular details of ovalbumin-pectin complexes at the air/water interface: A spectroscopic study. *Langmuir.* 23, 7942–7950.
- Kuropatwa, M., Tolkach, A. ve Kulozik, U., 2009. Impact of pH on the interactions between whey and egg white proteins as assessed by the foamability of their mixtures. *Food Hydrocoll.* 23, 2174–2181.
- Kurtbilal, N., 2019. 1944 Sürgünü Sonrası Özbek Türkçesinden Kırım Tatar Türkçesine Geçen Kelimeler Üzerine Bir İnceleme. *Türk Dünyası Dil ve Edebiyat Dergisi*, 47, 195-227.
- Lam, R.S.H. ve Nickerson, M.T., 2013. Food proteins: A review on their emulsifying properties using a structure-function approach. *Food Chem.* 141, 975–984.
- Lau, C.K. ve Dickinson, E., 2005. Instability and structural change in an aerated system containing egg albumen and invert sugar. *Food Hydrocoll.* 19, 111–121.
- Lau, K. ve Dickinson, E., 2006. Structural and Rheological Properties of Aerated High Sugar Systems Containing Egg Albumen. *J. Food Sci.* 69, 232–239.
- Lazidis, A., de Almeida Parizotto, L., Spyropoulos, F. ve Norton, I.T., 2017. Microstructural design of aerated food systems by soft-solid materials. *Food Hydrocoll.* 73, 110–119.

- Lazidis, A., Hancocks, R.D., Spyropoulos, F., Kreuß, M., Berrocal, R. ve Norton, I.T., 2014. Whey protein fluid gels for the stabilisation of foams. *Food Hydrocoll.* 53, 209–217.
- Le, X.T. ve Turgeon, S.L., 2013. Rheological and structural study of electrostatic cross-linked xanthan gum hydrogels induced by β -lactoglobulin. *Soft Matter* 9, 3063–3073.
- Licciardello, F., Frisullo, P., Laverse, J., Muratore, G. ve Del Nobile, M.A., 2012. Effect of sugar, citric acid and egg white type on the microstructural and mechanical properties of meringues. *J. Food Eng.*, 108, 453–462.
- Liszka-Skoczylas, M., Ptaszek, A. ve Zmudziński, D., 2014. The effect of hydrocolloids on producing stable foams based on the whey protein concentrate (WPC). *J. Food Eng.* 129, 1–11.
- Lopes, B. de M., Lessa, V.L., Silva, B.M., Filho, M.A. da S.C., Schnitzler, E. ve Lacerda, L.G., 2015. Xanthan gum: Properties, production conditions, quality and economic perspective. *J. Food Nutr. Res.* 54, 185–194.
- Mackie, A.R., Gunning, A.P., Wilde, P.J. ve Morris, V.J., 2000. Competitive displacement of β -lactoglobulin from the air/water interface by sodium dodecyl sulfate. *Langmuir* 16, 8176–8181.
- Maldonado-Valderrama, J. ve Patino, J.M.R., 2010. Interfacial rheology of protein-surfactant mixtures. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 15, 271–282.
- Marinova, K.G., Basheva, E.S., Nenova, B., Temelska, M., Mirarefi, A.Y., Campbell, B. ve Ivanov, I.B., 2009. Physico-chemical factors controlling the foamability and foam stability of milk proteins: Sodium caseinate and whey protein concentrates. *Food Hydrocoll.* 23, 1864–1876.
- Martin, A.H., Grolle, K., Bos, M.A., Cohen Stuart, M.A. ve Van Vliet, T., 2002. Network forming properties of various proteins adsorbed at the air/water interface in relation to foam stability. *J. Colloid Interface Sci.* 254, 175–183.
- Martínez-Padilla, L.P., García-Rivera, J.L., Romero-Arreola, V. ve Casas-Alencáster, N.B., 2015. Effects of xanthan gum rheology on the foaming properties of whey protein concentrate. *J. Food Eng.* 156, 22–30.
- Mekonnen, T.H., Mussone, P.G., Choi, P. ve Bressler, D.C., 2015. Development of Proteinaceous Plywood Adhesive and Optimization of Its Lap Shear Strength 198–209.
- Miller, C.A., 2008. Antifoaming in aqueous foams. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 13, 177–182.
- Miquelim, J.N., Lannes, S.C.S. ve Mezzenga, R., 2010. pH Influence on the stability of

- foams with protein-polysaccharide complexes at their interfaces. *Food Hydrocoll.* 24, 398–405.
- Mita, T., Nikai, K., Hiraoka, T., Matsuo, S. ve Matsumoto, H., 1977. Physicochemical studies on wheat protein foams. *J. Colloid Interface Sci.* 59, 172–178.
- Moghimpour, E. ve Handali, S., 2015. Saponin: Properties, Methods of Evaluation and Applications. *Annu. Res. Rev. Biol.* 5, 207–220.
- Mohanan, A., Nickerson, M.T. ve Ghosh, S., 2020. Utilization of pulse protein-xanthan gum complexes for foam stabilization: The effect of protein concentrate and isolate at various pH. *Food Chem.* 316, 126282.
- Mott, C.L., Hettiarachchy, N.S. ve Qi, M., 1999. Effect of xanthan gum on enhancing the foaming properties of whey protein isolate. *JAOCs, J. Am. Oil Chem. Soc.* 76, 1383–1386.
- Murray, B.S., 2007. Stabilization of bubbles and foams. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 12, 232–241.
- Murray, B.S. ve Ettelaie, R., 2004. Foam stability: Proteins and nanoparticles. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 9, 314–320.
- Naji, S., Razavi, S.M.A. ve Karazhiyan, H., 2013. Effect of Freezing on Functional and Textural Attributes of Cress Seed Gum and Xanthan Gum. *Food Bioprocess Technol.* 6, 1302–1311.
- Narchi, I., Vial, C. ve Djelveh, G., 2009. Effect of protein-polysaccharide mixtures on the continuous manufacturing of foamed food products. *Food Hydrocoll.* 23, 188–201.
- Nastaj, M. ve Sołowiej, B.G., 2020. The effect of various pH values on foaming properties of whey protein preparations. *Int. J. Dairy Technol.* 1-12.
- Neves, I.C.O., de Faria, J.T., Vidigal, M.C.T.R., Fidelis, P.C., Minim, V.P.R. ve Minim, L.A., 2018. Foaming properties of suspensions composed by β -lactoglobulin and polysaccharides, in the presence of sucrose or polyols. *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* 550, 199–208.
- Nicorescu, I., Loisel, C., Vial, C., Riaublanc, A., Djelveh, G., Cuvelier, G. ve Legrand, J., 2008. Combined effect of dynamic heat treatment and ionic strength on the properties of whey protein foams - Part II. *Food Res. Int.* 41, 980–988.
- Nicorescu, I., Vial, C., Loisel, C., Riaublanc, A., Djelveh, G., Cuvelier, G. ve Legrand, J., 2010. Influence of protein heat treatment on the continuous production of food foams. *Food Res. Int.* 43, 1585–1593.
- Nooshkam, M., Varidi, M. ve Verma, D.K., 2020. Functional and biological properties of Maillard conjugates and their potential application in medical and food: A review.

Food Res. Int. 131, 109003.

- Oduse, K., Campbell, L., Lonchamp, J. ve Euston, S.R., 2018. Electrostatic complexes of whey protein and pectin as foaming and emulsifying agents. *Int. J. Food Prop.* 20, S3027–S3041.
- Özakın, A.N. ve Kaya, F., 2020. Optimization of Control Parameters Affecting Panel Surface Temperature in Air-Cooled PVT Panels. *J. Inst. Sci. Technol.* 10, 509–519.
- Özçelik, H. ve Yıldırım, B., 2011. Türkiye çövenlerinin (*Gypsophila L.* ve *Ankyroptalum Fenzl spp .*) ekonomik önemi, kullanım olanakları ve korunması üzerine düşünceler. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi.* 12, 57-61.
- Özdikicierler, O., Dirim, N. ve Pazır, F., 2019. Modeling and optimization of the spray drying parameters for soapwort (*Gypsophila Sp.*) extract. *Food Sci. Biotechnol.* 28, 1409–1419.
- Ozdikicierler, O., Dirim, S.N. ve Pazır, F., 2014. The effects of spray drying process parameters on the characteristic process indices and rheological powder properties of microencapsulated plant (*Gypsophila*) extract powder. *Powder Technol.* 253, 474–480.
- Pereyra, R., Schmidt, K.A. ve Wicker, L., 1997. Interaction and Stabilization of Acidified Casein Dispersions with Low and High Methoxyl Pectins. *J. Agric. Food Chem.* 45, 3448–3451.
- Perez, A.A., Carrara, C.R., Sánchez, C.C., Rodríguez Patino, J.M. ve Santiago, L.G., 2009. Interactions between milk whey protein and polysaccharide in solution. *Food Chem.* 116, 104–113.
- Perez, A.A., Sánchez, C.C., Patino, J.M.R., Rubiolo, A.C. ve Santiago, L.G., 2010. Milk whey proteins and xanthan gum interactions in solution and at the air-water interface: A rheokinetic study. *Colloids Surfaces B: Biointerfaces.* 81, 50–57.
- Pernell, C.W., Foegeding, E., Luck, P.J. ve Davis, J.P., 2002. Properties of whey and egg white protein foams. *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* 204, 9–21.
- Pernell, C. W., Foegeding, E.A., Luck, P.J. ve Davis, J.P., 2002. Properties of whey and egg white protein foams. *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* 204, 9–21.
- Perrechil, F.A. ve Cunha, R.L., 2013. Stabilization of multilayered emulsions by sodium caseinate and κ -carrageenan. *Food Hydrocoll.*, 30, 606–613.
- Petri, D.F.S., 2015. Xanthan gum: A versatile biopolymer for biomedical and technological applications. *J. Appl. Polym. Sci.* 42035.
- Phawaphuthanon, N., Yu, D., Ngamnikom, P., Shin, I.S. ve Chung, D., 2019. Effect of fish gelatine-sodium alginate interactions on foam formation and stability. *Food*

Hydrocoll. 88, 119–126.

- Piotrowski, M., Lewandowska, J. ve Wojciechowski, K., 2012. Biosurfactant-protein mixtures: Quillaja Bark Saponin at water/air and water/oil interfaces in presence of β -lactoglobulin. *J. Phys. Chem. B* 116, 4843–4850.
- Prajapati, V.D., Jani, G.K., Moradiya, N.G., Randeria, N.P. ve Nagar, B.J., 2013. Locust bean gum: A versatile biopolymer. *Carbohydr. Polym.* 94, 814–821.
- Ptaszek, P., 2013. The non-linear rheological properties of fresh wet foams based on egg white proteins and selected hydrocolloids. *Food Res. Int.* 54, 478–486.
- Ptaszek, P., Kabziński, M., Ptasek, A., Kaczmarczyk, K., Kruk, J. ve Bieńczak, A., 2016. The analysis of the influence of xanthan gum and apple pectins on egg white protein foams using the large amplitude oscillatory shear method. *Food Hydrocoll.* 54, 293–301.
- Pugh, R.J., 1996. Foaming, foam films, antifoaming and defoaming. *Adv. Colloid Interface Sci.* 64, 67–142.
- Radványi, D., Juhász, R., Németh, C., Suhajda, Á., Balla, C. ve Barta, J., 2012. Evaluation of the stability of whipped egg white. *Czech J. Food Sci.* 30, 412–420.
- Raei, M., Rafe, A. ve Shahidi, F., 2018. Rheological and structural characteristics of whey protein-pectin complex coacervates. *J. Food Eng.* 228, 25–31.
- Raikos, V., Campbell, L. ve Euston, S.R., 2007. Effects of sucrose and sodium chloride on foaming properties of egg white proteins. *Food Res. Int.* 40, 347–355.
- Rao, A.M., 2014. Rheology of Fluid, Semisolid, and Solid Foods. Principles and Applications, *Journal of Chemical Information and Modeling*.
- Ravanfar, R., Tamadon, A.M. ve Niakousari, M., 2015. Optimization of ultrasound assisted extraction of anthocyanins from red cabbage using Taguchi design method 52, 8140–8147.
- Redgwell, R.J., Schmitt, C., Beaulieu, M. ve Curti, D., 2005. Hydrocolloids from coffee: Physicochemical and functional properties of an arabinogalactan-protein fraction from green beans. *Food Hydrocoll.* 19, 1005–1015.
- Reichert, C.L., Salminen, H., Leuenberger, B.H., Hinrichs, J. ve Weiss, J., 2015. Miscibility of Quillaja Saponins with other Co-surfactants under Different pH Values. *J. Food Sci.* 80, 2495–2503.
- Reichert, C.L., Salminen, H., Leuenberger, B.H. ve Weiss, J., 2016. Influence of heat on miscibility of Quillaja saponins in mixtures with a co-surfactant. *Food Res. Int.* 88, 16–23.

- Ren, J.N., Hou, Y.Y., Fan, G., Zhang, L.L., Li, X., Yin, K. ve Pan, S.Y., 2019. Extraction of orange pectin based on the interaction between sodium caseinate and pectin. *Food Chem.* 283, 265–274.
- Rodriguez Patino, J.M. ve Pilosof, A.M.R., 2011. Protein-polysaccharide interactions at fluid interfaces. *Food Hydrocoll.* 25, 1925–1937.
- Rouimi, S., Schorsch, C., Valentini, C. ve Vaslin, S., 2005. Foam stability and interfacial properties of milk protein-surfactant systems. *Food Hydrocoll.*, 19, 467–478.
- Roy, R.K., 2010. A Primer on the Taguchi method, Society of Manufacturing Engineers, 329 p, Michigan, USA.
- Rullier, B., Novales, B. ve Axelos, M.A.V., 2008. Effect of protein aggregates on foaming properties of β -lactoglobulin. *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.* 330, 96–102.
- Sadahira, M.S., Lopes, F.C.R., Rodrigues, M.I. ve Netto, F.M., 2014. Influence of protein-pectin electrostatic interaction on the foam stability mechanism. *Carbohydr. Polym.* 103, 55–61.
- Sadahira, M.S., Rodrigues, M.I., Akhtar, M., Murray, B.S. ve Netto, F.M., 2016. Effect of egg white protein-pectin electrostatic interactions in a high sugar content system on foaming and foam rheological properties. *Food Hydrocoll.* 58, 1–10.
- Sadahira, M.S., Rodrigues, M.I., Akhtar, M., Murray, B.S. ve Netto, F.M., 2018. Influence of pH on foaming and rheological properties of aerated high sugar system with egg white protein and hydroxypropylmethylcellulose. *LWT-Food Sci. Technol.* 89, 350–357.
- Saldamlı, İ., 2014. Gıda Kimyası, 4. Baskı, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara.
- Sarıçoban, C. ve Karakaya, M., 2004. Geleneksel gıdalardan köpük helvanın endüstriyel ölçekte üretimi. *Geleneksel Gıdalar Sempozyumu*, 23-24 Eylül, Van, Türkiye, 104-105.
- Sarpkaya, Ç., 2014. The optimization of sizing process with grey relational analysis based on Taguchi method. (Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Schmidt, R.H., Packard, V.S. ve Morris, H.A., 1984. Effect of Processing on Whey Protein Functionality. *J. Dairy Sci.* 67, 2723–2733.
- Schmitt, C. ve Turgeon, S.L., 2011. Protein/polysaccharide complexes and coacervates in food systems. *Adv. Colloid Interface Sci.* 167, 63–70.
- Seçgin, Ö., Önal, Ü. ve Özsert, İ., 2020. Kademeli Kayar Artımlı Şekillendirme Yöntemi İle Parça Üretiminin Optimizasyonu. *Deu Muhendis. Fak. Fen ve Muhendis.* 22,

561–568.

- Shen, X., Shao, S. ve Guo, M., 2017. Ultrasound-induced changes in physical and functional properties of whey proteins. *Int. J. Food Sci. Technol.* 52, 381–388.
- Silva, M.B., Carneiro, L.M., Silva, J.P.A., dos Santos Oliveira, I., Filho, H.J.I. ve de Oliveira Almeida, C.R., 2014. An Application of the Taguchi Method (Robust Design) to Environmental Engineering: Evaluating Advanced Oxidative Processes in Polyester-Resin Wastewater Treatment. *Am. J. Anal. Chem.* 05, 828–837.
- Singh, H., Tamehana, M., Hemar, Y. ve Munro, P.A., 2003. Interfacial compositions, microstructures and properties of oil-in-water emulsions formed with mixtures of milk proteins and κ -carrageenan: 1. Sodium caseinate. *Food Hydrocoll.* 17, 539–548.
- Singh, S., Singh, G. ve Arya, S.K., 2018. Mannans: An overview of properties and application in food products. *Int. J. Biol. Macromol.* 119, 79–95.
- Soba, M. ve Eren, K., 2011. Topsis Yöntemini Kullanarak Finansal ve Finansal Olmayan Oranlara Göre Performans Değerlendirilmesi, Şehirlerarası Otobüs Sektöründe Bir Uygulama. *Sos. Ekon. Araştırmalar Derg.* 11, 23–40.
- Souza, C.J.F. ve Garcia-Rojas, E.E., 2017. Interpolymeric complexing between egg white proteins and xanthan gum: Effect of salt and protein/polysaccharide ratio. *Food Hydrocoll.* 66, 268–275.
- Steffe, J.F., 1996. *Rheological Methods in Food Process Engineering*. Second Edition, Freeman Press, 418 p, Michigan, USA.
- Stone, A.K. ve Nickerson, M.T., 2012. Formation and functionality of whey protein isolate-(kappa-, iota-, and lambda-type) carrageenan electrostatic complexes. *Food Hydrocoll.* 27, 271–277.
- Syrbe, A., Bauer, W.J. ve Klostermeyer, H., 1998. Polymer science concepts in dairy systems - An overview of milk protein and food hydrocolloid interaction. *Int. Dairy J.* 8, 179–193.
- Tamm, F., Sauer, G., Scampicchio, M. ve Drusch, S., 2012. Pendant drop tensiometry for the evaluation of the foaming properties of milk-derived proteins. *Food Hydrocoll.* 27, 371–377.
- Tan, M.C., Chin, N.L., Yusof, Y.A., Taip, F.S. ve Abdullah, J., 2015. Characterisation of improved foam aeration and rheological properties of ultrasonically treated whey protein suspension. *Int. Dairy J.*, 43, 7–14.
- Ulaganathan, V., Del Castillo, L., Webber, J.L., Ho, T.T.M., Ferri, J.K., Krasowska, M. ve Beattie, D.A., 2019. The influence of pH on the interfacial behaviour of Quillaja bark saponin at the air-solution interface. *Colloids Surfaces B Biointerfaces* 176,

412–419.

- Uludağ, A. ve Doğan, H., 2016. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırılmasına Odaklı Bir Hizmet Kalitesi Uygulaması. Cankiri Karatekin Univ. İktis. ve İdari Bilim. Fak. Derg., 6 (2), 17-47.
- Üstüntaş, S., Şenyiğit, E., Mezarcıöz, S. ve Türksoy, H.G., 2020. Optimization of Coating Process Conditions for Denim Fabrics by Taguchi Method and Grey Relational Analysis, Journal of Natural Fibers, 1-15.
- Uygurtürk, H. ve Korkmaz, T., 2012. Finansal Performansın TOPSIS Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi İle Belirlenmesi: Ana Metal Sanayi İşletmeleri Üzerine Bir Uygulama. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Derg. 7 (2), 95-115.
- Venkatesan, J., Lowe, B., Anil, S., Manivasagan, P., Kheraif, A.A.A., Kang, K.H. ve Kim, S.K., 2015. Seaweed polysaccharides and their potential biomedical applications. Starch/Stärke 67, 381–390.
- Wagoner, T.B. ve Foegeding, E.A., 2017. Whey protein–pectin soluble complexes for beverage applications. Food Hydrocoll. 63, 130–138.
- Walsh, D.J., Russell, K. ve FitzGerald, R.J., 2008. Stabilisation of sodium caseinate hydrolysate foams. Food Res. Int. 41, 43–52.
- Walstra, P., 2003. Physical Chemistry of Foods. Marcel Dekker, 807 p, New York, USA.
- Wang, X., Lee, J., Wang, Y.W. ve Huang, Q., 2007. Composition and rheological properties of β -lactoglobulin/pectin coacervates: Effects of salt concentration and initial protein/polysaccharide ratio. Biomacromolecules. 8, 992–997.
- Wang, Z., Zhang, S. ve Vardhanabhuti, B., 2015. Foaming Properties of Whey Protein Isolate and λ -Carrageenan Mixed Systems. J. Food Sci., 80, 1893–1902.
- Wijaya, W., Patel, A.R., Setiowati, A.D. ve Van der Meeren, P., 2017. Functional colloids from proteins and polysaccharides for food applications. Trends Food Sci. Technol. 68, 56–69.
- Wojciechowski, K., Kezwon, A., Lewandowska, J. ve Marcinkowski, K., 2014. Effect of β -casein on surface activity of Quillaja bark saponin at fluid/fluid interfaces. Food Hydrocoll. 34, 208–216.
- Wusigale, Liang, L. ve Luo, Y., 2020. Casein and pectin: Structures, interactions, and applications. Trends Food Sci. Technol. 97, 391–403.
- Xu, Y., Yang, N., Yang, J., Hu, J., Zhang, K., Nishinari, K., Phillips, G.O. ve Fang, Y., 2020. Protein/polysaccharide intramolecular electrostatic complex as superior food-grade foaming agent. Food Hydrocoll. 101, 105574.

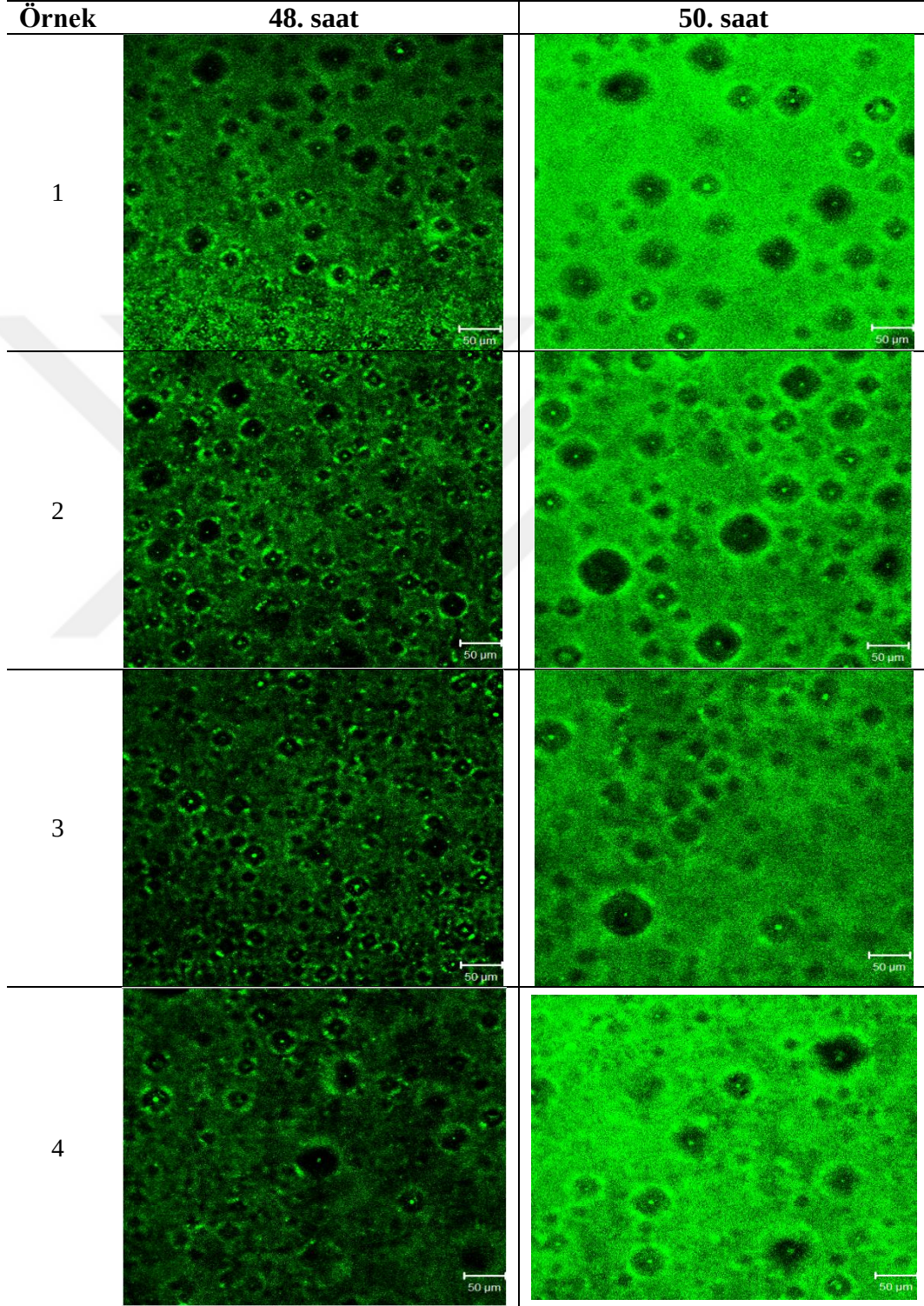
- Yang, X., Berry, T.K. ve Foegeding, E.A., 2009. Foams prepared from whey protein isolate and egg white protein: 1. Physical, microstructural, and interfacial properties. *J. Food Sci.* 74, E259-68.
- Yang, X. ve Foegeding, E.A., 2010. Effects of sucrose on egg white protein and whey protein isolate foams: Factors determining properties of wet and dry foams (cakes). *Food Hydrocoll.* 24, 227–238.
- Yang, X. ve Foegeding, E.A., 2011. The stability and physical properties of egg white and whey protein foams explained based on microstructure and interfacial properties. *Food Hydrocoll.* 25, 1687–1701.
- Ye, A., 2008. Complexation between milk proteins and polysaccharides via electrostatic interaction: Principles and applications - A review. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 43, 406–415.
- Yemenicioğlu, A., Farris, S., Turkyilmaz, M. ve Gulec, S., 2020. A review of current and future food applications of natural hydrocolloids. *Int. J. Food Sci. Technol.* 55, 1389–1406.
- Yousefi, M. ve Jafari, S.M., 2019. Recent advances in application of different hydrocolloids in dairy products to improve their techno-functional properties. *Trends Food Sci. Technol.* 88, 468–483.
- Yücekutlu, A.N. ve Bildacı, I., 2008. Determination of Plant Saponins and Some of *Gypsophila* Species : A review of the literature. *Hacettepe J. Biol. Chem.* 36, 129–135.
- Zhan, F., Hu, J., He, C., Sun, J., Li, J. ve Li, B., 2020. Complexation between sodium caseinate and gallic acid: Effects on foam properties and interfacial properties of foam. *Food Hydrocoll.* 99, 105365.
- Zhu, B., Ni, F., Xiong, Q. ve Yao, Z., 2020a. Marine oligosaccharides originated from seaweeds: Source, preparation, structure, physiological activity and applications. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 0, 1–15.
- Zhu, H. ve Damodaran, S., 1994. Heat-induced conformational changes in whey protein isolate and its relation to foaming properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 846- 855.
- Zhu, X., Zhan, F., Zhao, Y., Han, Y., Chen, X. ve Li, B., 2020b. Improved foaming properties and interfacial observation of sodium caseinate-based complexes: Effect of carboxymethyl cellulose. *Food Hydrocoll.* 105, 105758.
- Zmudziński, D., Ptaszek, P., Kruk, J., Kaczmarczyk, K., Roznowski, W., Berski, W., Ptaszek, A. ve Grzesik, M., 2014. The role of hydrocolloids in mechanical properties of fresh foams based on egg white proteins. *J. Food Eng.* 121, 128–134.

Zúñiga, R.N. ve Aguilera, J.M., 2008. Aerated food gels: fabrication and potential applications. *Trends Food Sci. Technol.* 19, 176–187.

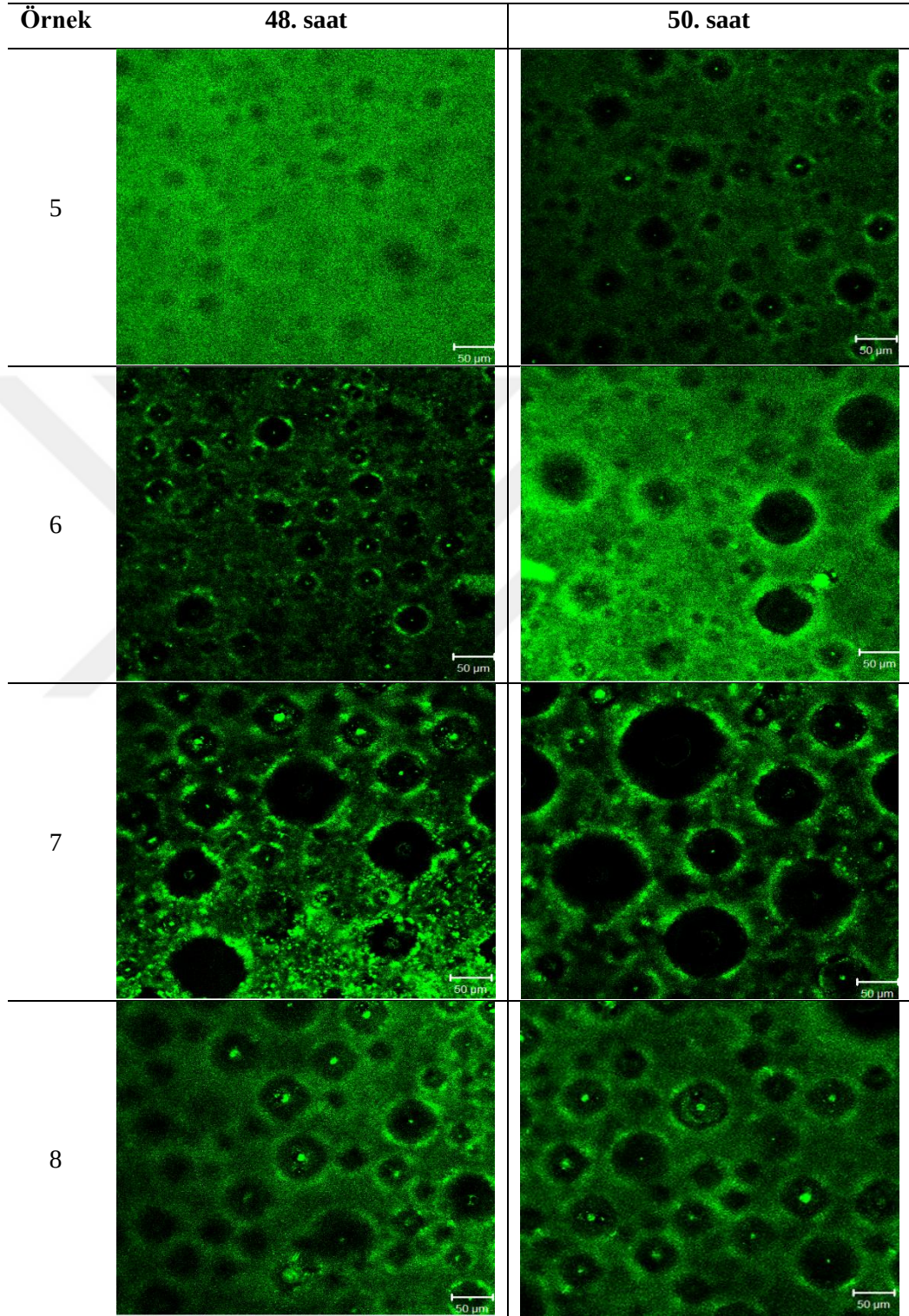


7. EKLER

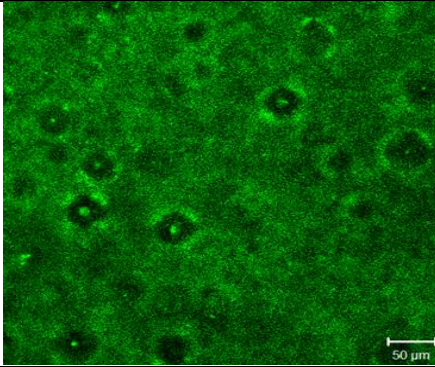
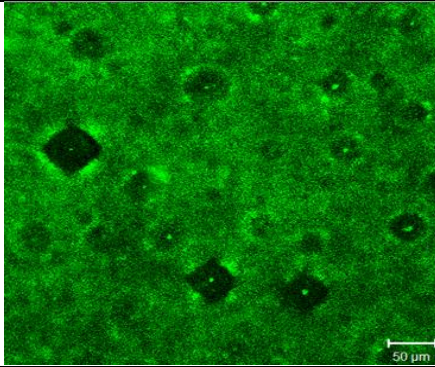
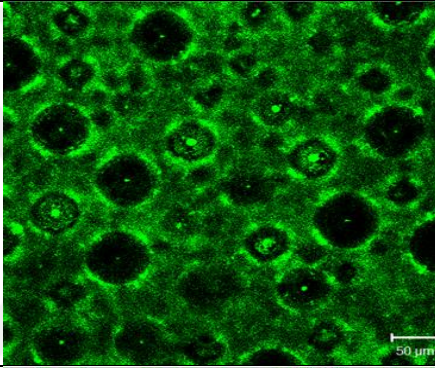
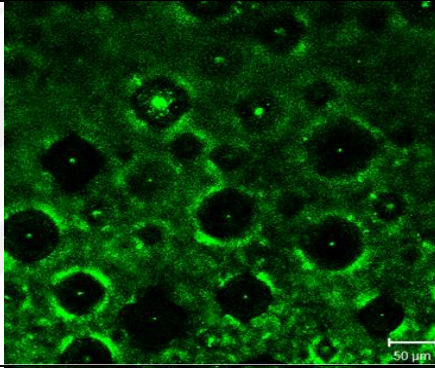
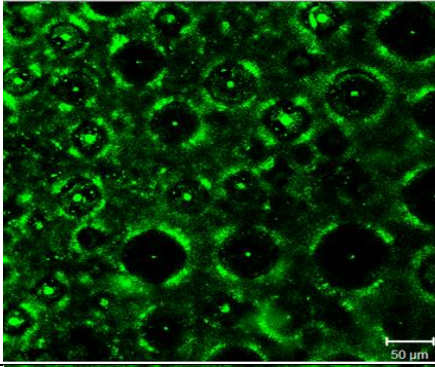
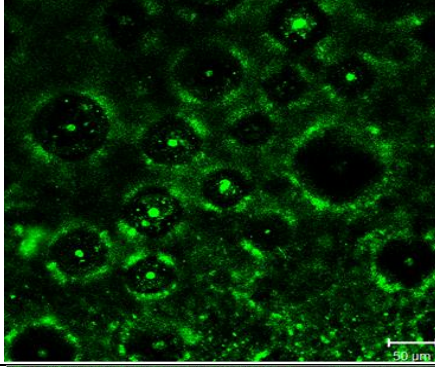
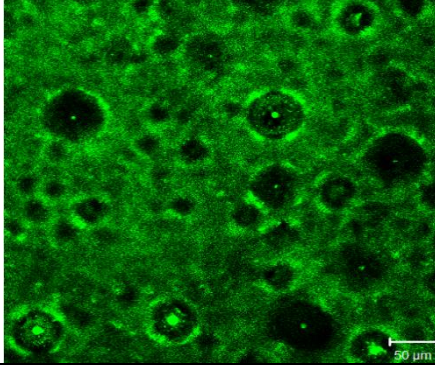
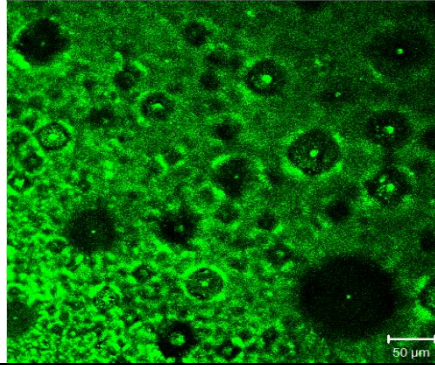
7.1. Köpük Helva Örneklerinin Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Görüntüleri



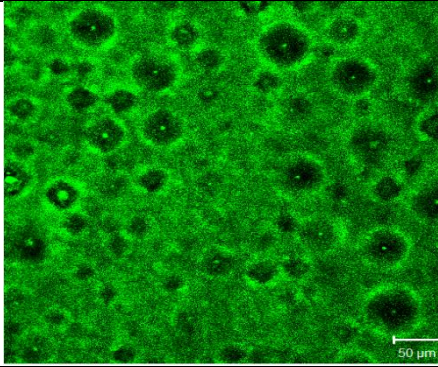
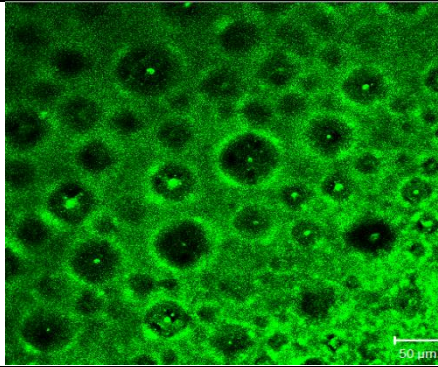
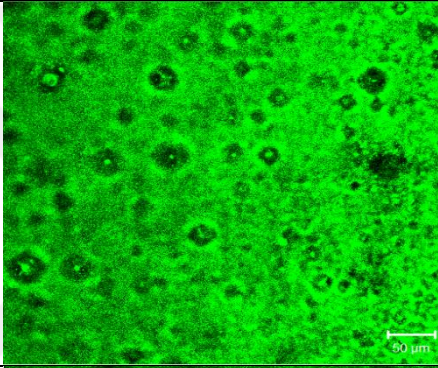
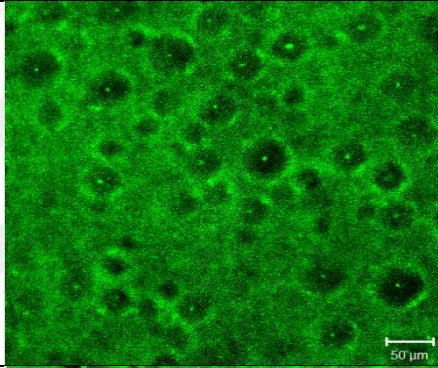
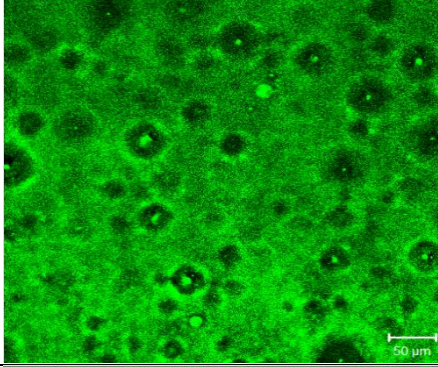
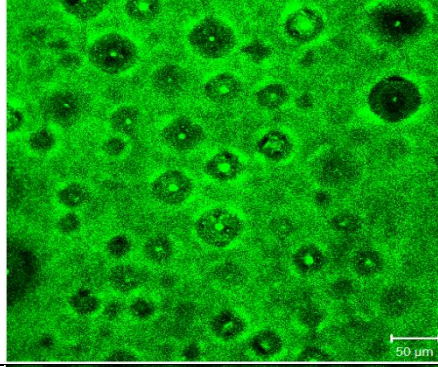
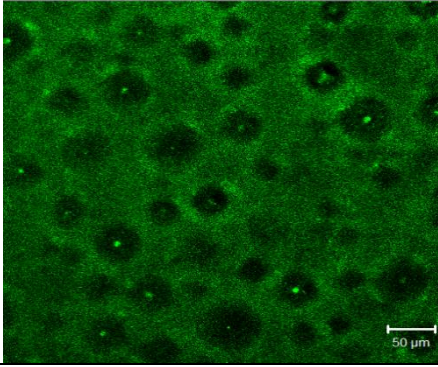
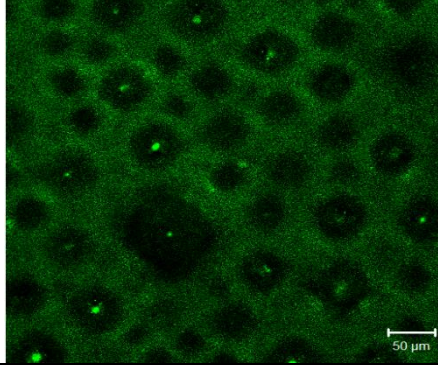
7.1. Köpük Helva Örneklerinin Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Görüntüleri (Devamı)



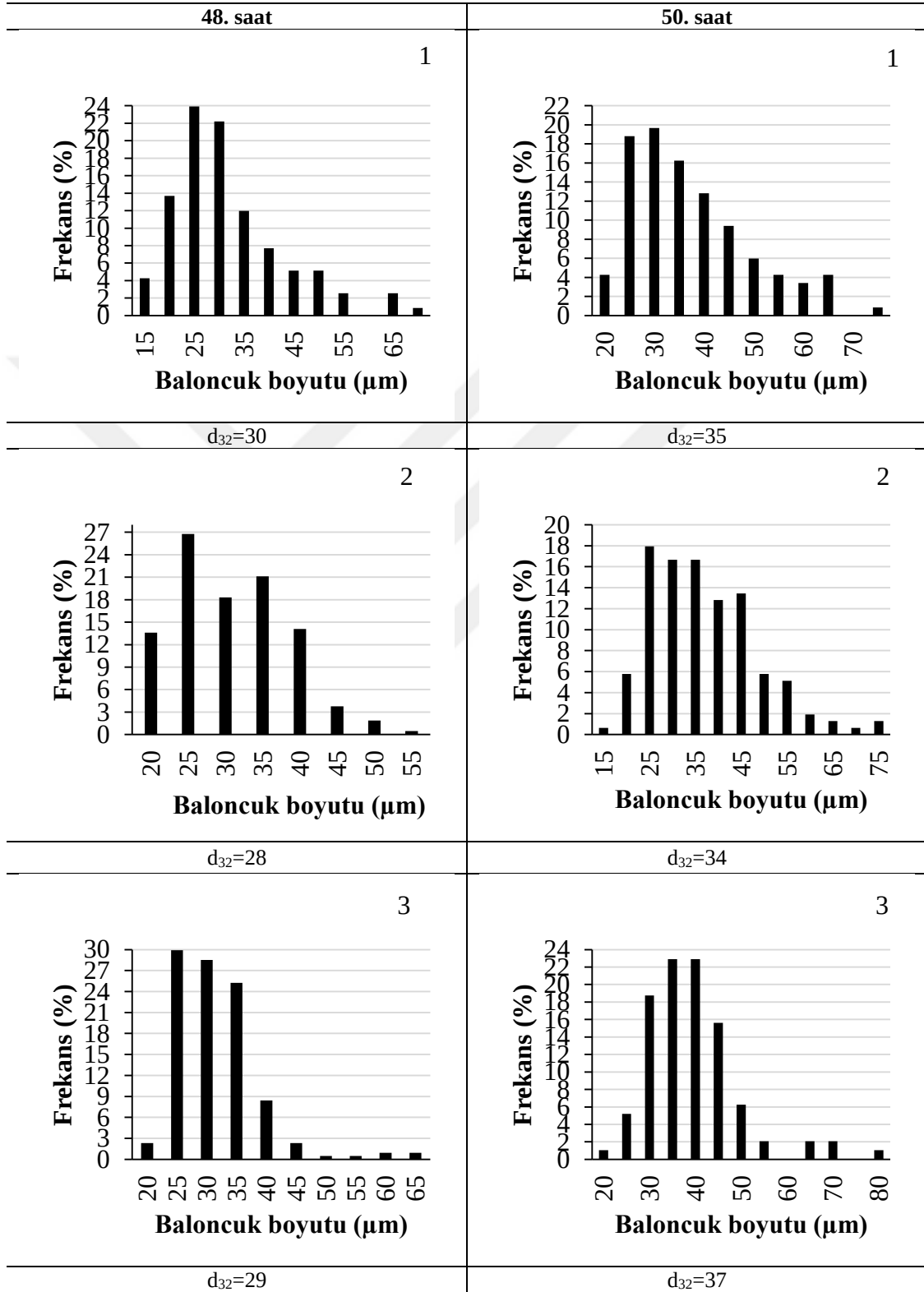
7.1 Köpük Helva Örneklerinin Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Görüntüleri (Devamı)

Örnek	48. saat	50. saat
9		
10		
11		
12		

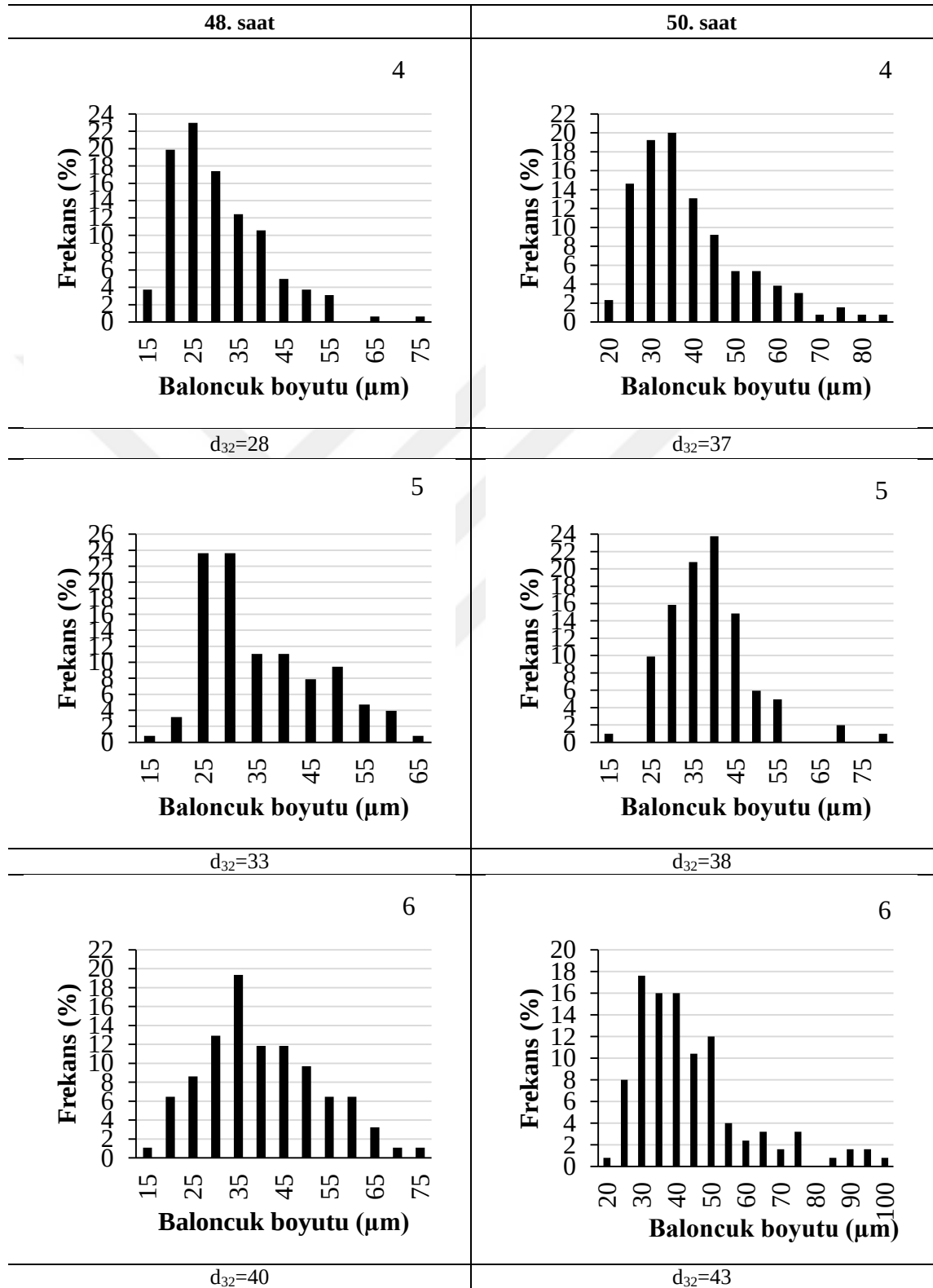
7.1. Köpük Helva Örneklerinin Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Görüntüleri (Devamı)

Örnek	48. saat	50. saat
13		
14		
15		
16		

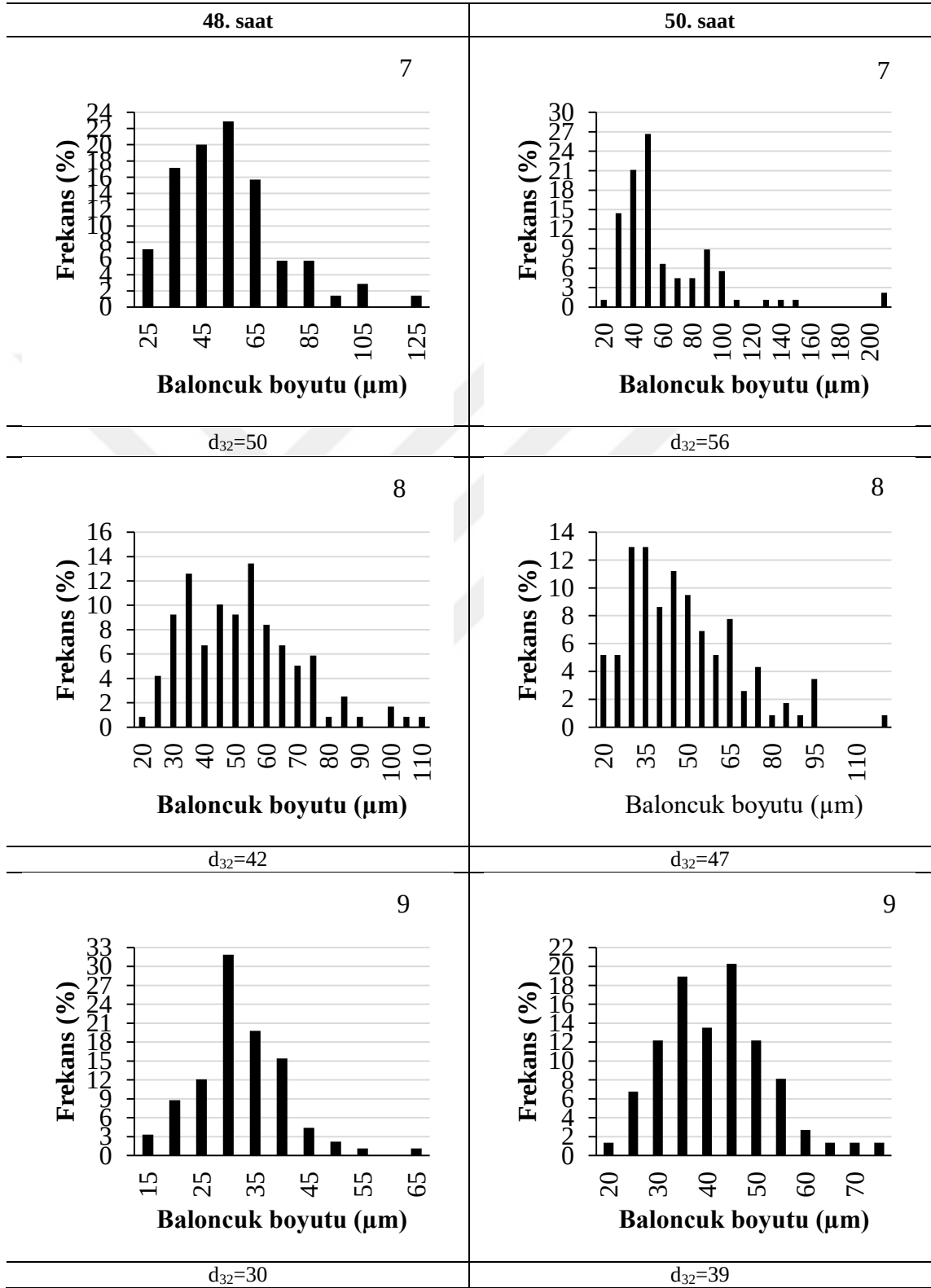
7.2. Köpük Helvaların Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Görüntüleri Baloncuk Boyutu Dağılım Histogramları



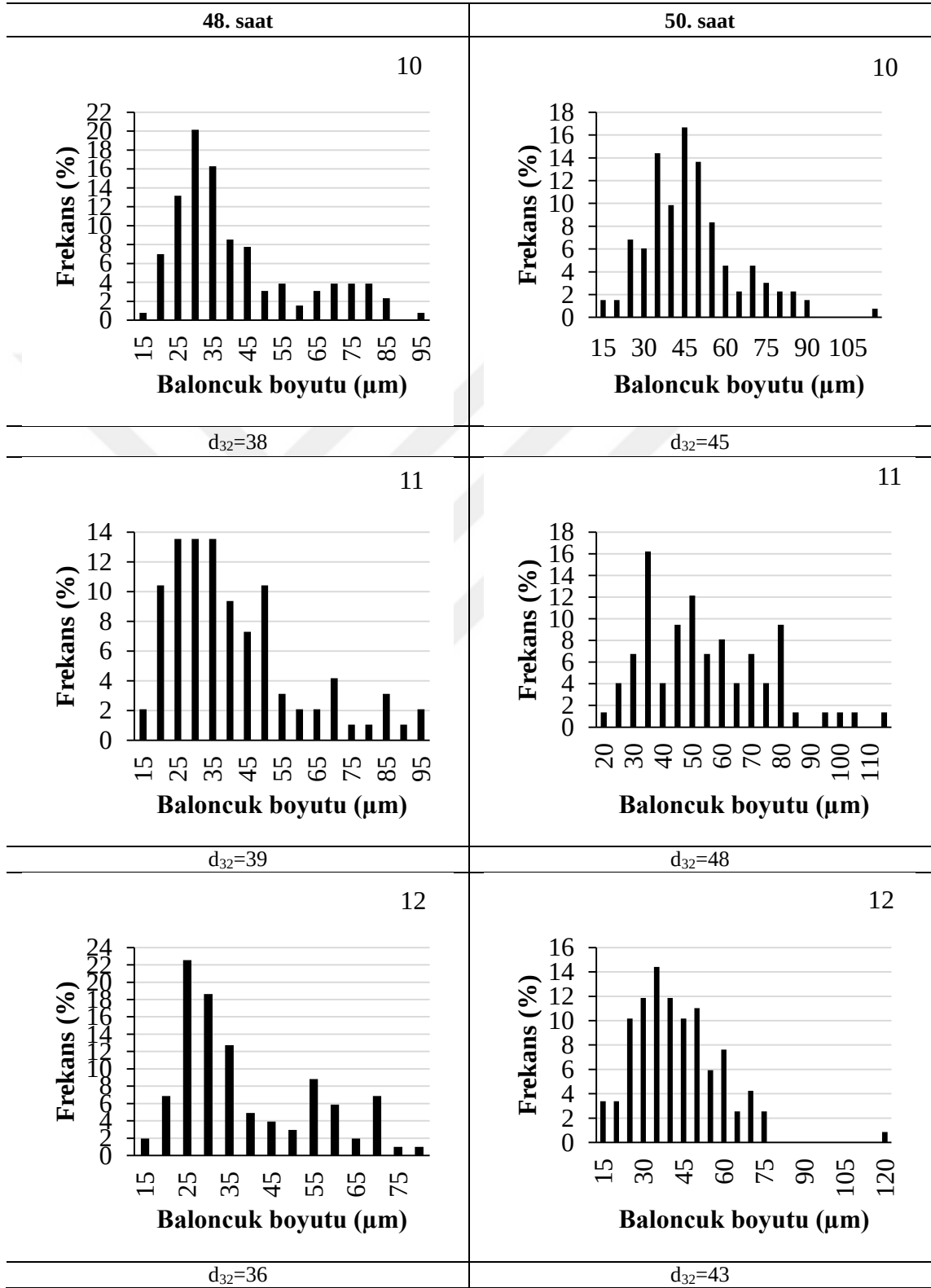
7.2. Köpük Helvaların Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Görüntüleri Baloncuk Boyutu Dağılım Histogramları (Devamı)



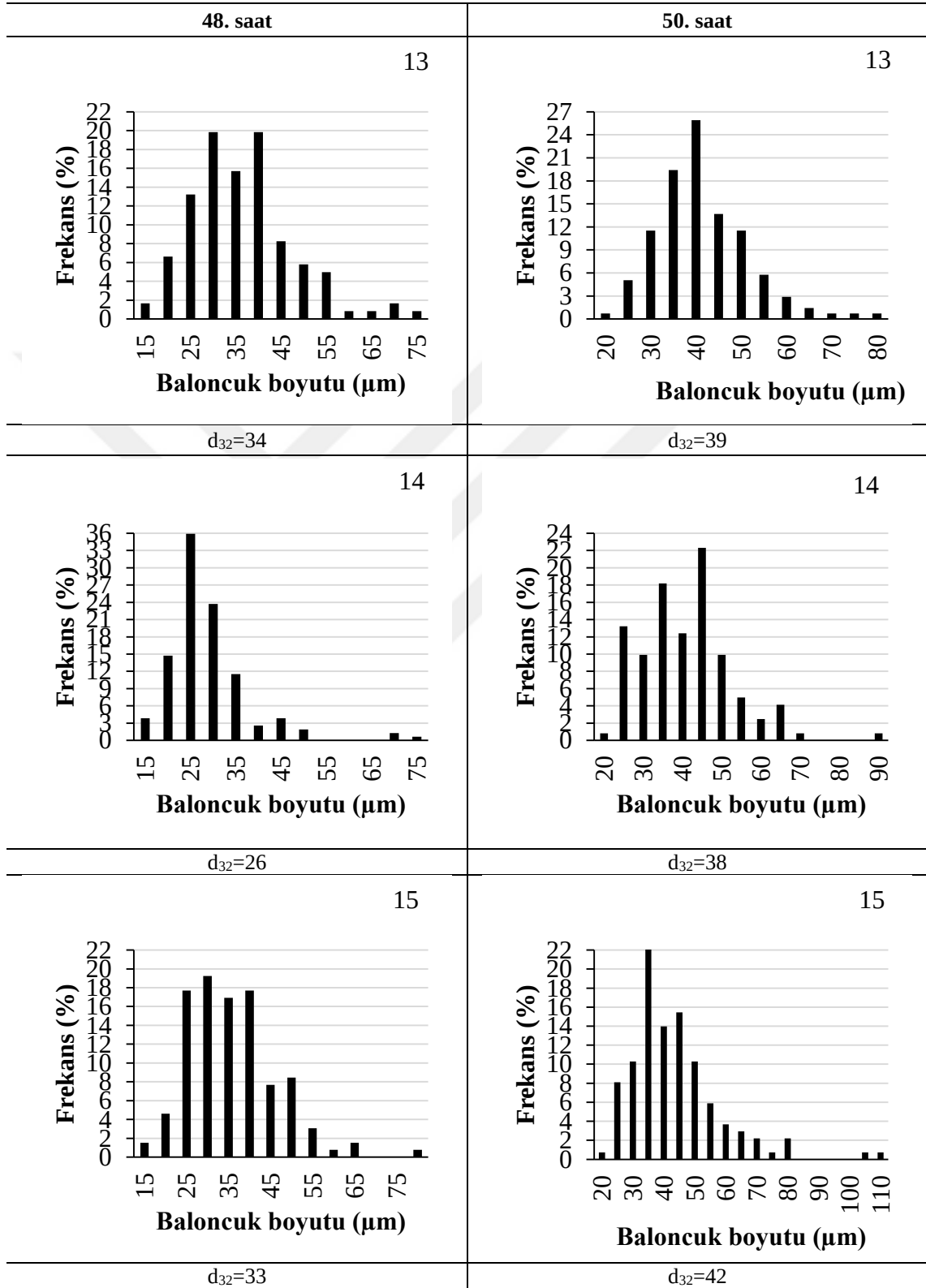
7.2. Köpük Helvaların Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Görüntüleri Baloncuk Boyutu Dağılım Histogramları (Devamı)



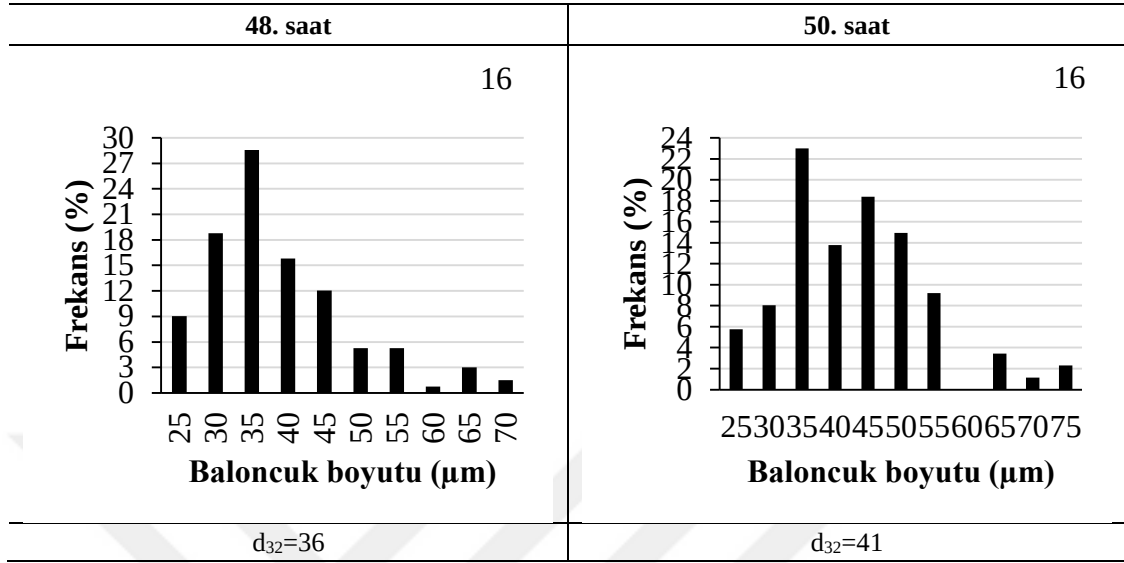
7.2. Köpük Helvaların Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Görüntüleri Baloncuk Boyutu Dağılım Histogramları (Devamı)



7.2. Köpük Helvaların Konfokal Lazer Taramalı Mikroskop Görüntüleri Baloncuk Boyutu Dağılım Histogramları (Devamı)



7.2. Köpük helvaların konfokal lazer taramalı mikroskop görüntüleri baloncuk boyutu dağılım histogramları (Devamı)



7.3. Duyusal Analiz Formu

KÖPÜK HELVA İÇİN DUYUSAL PUANLAMA FORMU			
<u>Panelistin Adı, Soyadı:</u>	<u>Tarih:</u>		
Size sunulan 7 adet helva örneğini tadarak GÖRÜNÜŞ , DOKU ve LEZZET özelliklerini size verilen puanlama skalalarına göre uygun bulduğunuz puanı yazarak değerlendiriniz.			
<u>Örnek kodu</u>	<u>GÖRÜNÜŞ</u>	<u>DOKU</u>	<u>LEZZET</u>
.....			
.....			
.....			
.....			
.....			
.....			
.....			
Teşekkürler...			
KÖPÜK HELVA İÇİN DUYUSAL ANALİZ TEST SKALASI			
YAPI SKALASI			
5. Akmaya dirençli, uzayabilen yapıda,			
4. Akmaya az dirençli, uzayabilen yapıda,			
3. Akmaya az dirençli, az uzayabilen yapıda,			
2. Akmaya çok az dirençli, çok az uzayabilen yapıda,			
1. Akmayan ve uzayamayan yapıda.			
DOKU SKALASI (AĞIZ İLE)			
5. Doygun yapıda, pürüzsüz dokuda, yumuşak ağza yapışmayan özellikte,			
4. Doygun yapıda, pürüzsüz dokuda, yarı sert ağza yapışan özellikte,			
3. Doygun yapıda, az pürüzlü dokuda veya sert/yumuşak ağza yapışan özellikte,			
2. Zayıf yapılı veya az pürüzlü dokuda ve sert/yumuşak ağza yapışan özellikte,			
1. Zayıf yapılı ve pürüzlü dokuda ve sert/yumuşak ağza yapışan özellikte.			
LEZZET SKALASI			
5. Hoş bir lezzet algılanıyor, tatlılık iyi, dolgun bir tat ve tat sonrası izlenim iyi,			
4. Hafif buruk bir lezzet algılanıyor, tatlılık iyi, hafif dolgun bir tat ve tat sonrası izlenim iyi,			
3. Buruk bir lezzet algılanıyor, tatlılık normal, hafif samanımsı bir tat ve tat sonrası izlenim normal.			
2. Buruk bir lezzet algılanıyor, tatlılık normal, yavan ve yabancı bir tat, tat sonrası izlenim kötü			
1. Kötü bir lezzet, tatlılık normal, kötü bir tat, tat sonrası izlenim çok kötü			

8. ÖZGEÇMİŞ

1. Kişisel Bilgiler:

Ad Soyad: Mehmet GÜLDANE

2. Öğrenim Bilgisi:

- Doktora (2014-2021)** Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği (DR)
- Yüksek Lisans (2011-2014)** Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği (YL) (TEZLİ)
- Lisans (2007-2011)** Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Gıda Mühendisliği Programı

3. Görevler:

- Öğretim Görevlisi (2019-)** Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi/Pamukova Meslek Yüksekokulu/Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü/Laboratuvar Teknolojisi PR.)
- Öğretim Görevlisi (2018-2019)** Sakarya Üniversitesi/Rektörlük

Araştırma Görevlisi (2014-2018) Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi

4. Eserler:

Ulusal ve Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

1. Güldane Mehmet, Doğan Mahmut (2020). Köpük Helva Üretim Parametrelerinin Renk ve Yoğunluk Özelliklerine Etkisi: Taguchi Matematiksel Model Optimizasyonu. GIDA, 45(6), 1248-1260., Doi: 10.15237/gida.GD20089.
2. Kaya Cemal, Güldane Mehmet, Topuz Semra, Bayram Mustafa (2018). Nar Suyu İlavesiyle Üretilen Lokumların Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 6, 1814., Doi: 10.24925/turjaf.v6i12.1814-1819.2176.
3. Güldane Mehmet, Bayram Mustafa, Topuz Semra, Kaya Cemal, Gök Hatice Burcu, Bülbül Murat, Koç Merve (2017). Beyaz, Siyah ve Yeşil Çay Kullanılarak Üretilen Kombuchaların Bazı Özelliklerinin Belirlenmesi (Bu yayının bir kısmı”1st International Mediterranean Science and Engineering Congress adlı kongrede sözlü olarak sunulmuştur). Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 34(1), 46-56., Doi: 10.13002/jafag1101 (Yayın No: 3494828).

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında (proceedings) basılan bildiriler:

1. Güldane Mehmet, Doğan Mahmut (2018). Determination of Coven Extract and Whey Protein Concentrate Ratio in Sugary Model System. European Conference on Science, Art Culture (ECSAC 2018) (Özet Bildiri/Poster)(Yayın No:5450977)
2. Güldane Mehmet, Doğan Mahmut (2018). Effects of Some Hydrocolloids on Drainage Rates of Milk Protein Based Food Foams. ECSAC 2018, 214-215. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:5450790)
3. Güldane Mehmet, Doğan Mahmut (2018). The Effects of Egg White and Whey Protein Concentrate on Foam Stability. European Conference on Science, Art Culture (ECSAC 2018) (Özet Bildiri/Poster)(Yayın No:5450991)
4. Güldane Mehmet, Doğan Mahmut (2018). Effects of Process Parameters on Foam Stability of Kopuk Helva. European Conference on Science, Art Culture (ECSAC 2018) (Özet Bildiri/Sözlü Sunum) (Yayın No:5450958)
5. Güldane Mehmet, Herken Emine Nur (2017). Effects of Natural Sweeteners on Biscuit Quality Parameters. 1st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3679928)
6. Güldane Mehmet, Akpınar Özlem (2017). Physicochemical Properties of Naturally Modified Starches. International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT2017) (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3699413)

7. Topuz Semra, Bayram Mustafa, Kaya Cemal, Güldane Mehmet (2017). Phenolic Compounds in Olive Leaf. 1st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (Özet Bildiri/Poster)(Yayın No:3679901)
8. Güldane Mehmet, Akpınar Özlem (2017). Physicochemical Properties of Naturally Modified Starches. 1st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3679969)
9. Bayram Mustafa, Topuz Semra, Kaya Cemal, Güldane Mehmet (2017). Why Should We Drink Kombucha? 1st International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (Özet Bildiri/Poster)(Yayın No:3679879)
10. Kaya Cemal, Topuz Semra, Güldane Mehmet, Bayram Mustafa, Esin Yücel Esra, Erarslanoğlu Sevim, Giden Gamze, Işık Seda, Durmuşoğlu Rumeysa, Çoban Şükran, Coşkun Ali Levent (2017). Determination of Some Properties of Jams Produced with Sweet and Sour Pomegranate. 1st International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies, 1170-1170. (Özet Bildiri/Poster)(Yayın No:3514808)
11. Kaya Cemal, Güldane Mehmet, Topuz Semra, Esin Yücel Esra, Bayram Mustafa, Çoban Şükran, Durmuşoğlu Rumeysa, Erarslanoğlu Sevim, Işık Seda, Giden Gamze, Coşkun Ali Levent (2017). Some Properties of Turkish Delight Produced with Sour and Sweet Pomegranate Juice. 1st International Conference on Agriculture, Forest, Food Sciences and Technologies, 243-243. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3514802)
12. Güldane Mehmet, Bayram Mustafa, Topuz Semra, Kaya Cemal, Gök Hatice Burcu, Bülbül Murat, Koç Merve (2016). Determination of Some Individual Phenolic Compounds of Kombuchas. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016) (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)(Yayın No:3683189)
13. Topuz Semra, Güldane Mehmet, Bayram Mustafa, Kaya Cemal (2016). Determination of Some Properties of Boza Produced Using Rice. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016) (Özet Bildiri/Poster)(Yayın No:3683138)
14. Bayram Mustafa, Topuz Semra, Güldane Mehmet, Kaya Cemal, Şenli Tuğba, Söylemez Ayten, Öztürk Melek, Merve Büşra Armağan (2016). Determination of Some Properties of Boza Produced Using Bulgur, Rice, Wheat. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016) (Özet Bildiri/Poster)(Yayın No:3683222)
15. Güldane Mehmet (2015). Geographic Food Modification From Past to the Present in Anatolia. The 3th International Symposium on Traditional Foods from Adriatic to Caucasus (Özet Bildiri/Poster)(Yayın No:3680096)
16. Güldane Mehmet, Akpınar Özlem (2015). Tokat Gombe. The 3th International Symposium on Traditional Foods from Adriatic to Caucasus (Özet Bildiri/Poster)(Yayın No:3680065)

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

1. Gökçe İsa, Güldane Mehmet (2015). Endüstriyel Yumurta Akı Proteinlerinin Üretimi ve Fonksiyonel Özellikleri. İç Anadolu Bölgesi 2. Tarım ve Gıda Kongresi (Özet Bildiri/Poster)(Yayın No:3683344)
2. Güldane Mehmet, Akpınar Özlem (2015). Kristalin ve Amorf Bölgelerin Nişastanın Fonksiyonelliği Üzerine Etkileri. İç Anadolu Bölgesi 2. Tarım ve Gıda Kongresi (Özet Bildiri/Poster)(Yayın No:3683261)
3. Güldane Mehmet, Herken Emine Nur (2015). Şeker Alkollerinin Bisküvi Hamuru Üzerine Etkileri. İç Anadolu Bölgesi 2. Tarım ve Gıda Kongresi (Özet Bildiri/Poster)(Yayın No:3683282)
4. Güldane Mehmet, Akpınar Özlem (2015). Selüloz ve Türevlerinin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. İç Anadolu Bölgesi 2. Tarım ve Gıda Kongresi (Özet Bildiri/Poster)(Yayın No:3683270)