

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KIRMIZI BİBER TOHUMUNUN ENDÜSTRİYEL OLARAK
DEĞERLENDİRİLMESİ: PROTEİN EKSTRAKSİYONU, FONKSİYONEL
ÖZELLİKLERİ VE MAYONEZ ÜRETİMİNDE KULLANIMI**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. F. Ebru FIRATLIGİL-DURMUŞ

Anabilim Dalı: GIDA MÜHENDİSLİĞİ

Programı: GIDA MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Özgül EVRANUZ

ARALIK 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KIRMIZI BİBER TOHUMUNUN ENDÜSTRİYEL OLARAK
DEĞERLENDİRİLMESİ: PROTEİN EKSTRAKSİYONU, FONKSİYONEL
ÖZELLİKLERİ VE MAYONEZ ÜRETİMİNDE KULLANIMI**

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Ebru FIRATLIGİL DURMUŞ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Eylül 2008

Tez Danışmanı : Prof. Dr. E. Özgül EVRANUZ

Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Nuran DEVECİ AKSOY (İ.T.Ü.)

Prof. Dr. Y. Onur DEVRES (İ.T.Ü.)

Prof. Dr. Kamil BOSTAN (İ.Ü.)

Prof. Dr. Mehmet DEMİRCİ (N.K.Ü.)

ARALIK 2008

ÖNSÖZ

Proteinler, değerli bir besin elemanı olmalarının yanında, gıda teknolojisi alanında da önemli bir yere sahiptirler. Gıdaların hazırlanması, işlenmesi, depolanması ve tüketimi sırasında, gıdaya istenilen yapısal özelliklerin kazandırılmasında proteinlerden yararlanılmaktadır. Proteinler, içinde bulunduğu ortamdaki çözgen, iyonlar, diğer proteinler, polisakkaritler ve lipidler ile etkileşime girerek gıdanın fiziksel özelliklerini değiştirmektedir. Proteinin çözünürlüğü, su tutma kapasitesi, yağ bağlama özellikleri, köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi, emülsiyon kapasitesi ve stabilitesi, viskozite ve jel oluşturma gibi bazı özellikler, ürün kalitesine önemli etkileri olan fonksiyonel özelliklerdir.

Ülkemizin ihracatında önemli bir yer tutan kırmızı biberin, kurutulmuş, dondurulmuş ve konserve olarak işlenmesi sırasında artık olarak açığa çıkan önemli bir miktarda tohum bulunmaktadır. Artık olarak adlandırılan bu tohumlar, yem sanayii için hammadde olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, besin içeriği oldukça yüksek olan bu artıkların değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, kırmızı biber tohum proteininin optimum ekstraksiyon koşulları belirlenmiş, fonksiyonel özellikleri saptanmış ve mayonez üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bu çalışmamı hazırlamamda desteğini esirgemeyen ve çalışmamı yönlendiren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Özgül EVRANUZ'a teşekkürü bir borç bilirim. Her zaman her türlü destekleri ile yanımda olan sevgili dostlarım Funda KARBANCIOĞLU GÜLER başta olmak üzere, Esra ÇAPANOĞLU GÜVEN ve Gözde DALKILIÇ KAYA'a sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca değerli yardımlarını benden esirgemeyen Nalan DEMİR ve Şeref SÖNMEZ'e de teşekkür ederim. Hayatımın her aşamasında bana sonsuz destekleri olan sevgili annem ve babam Selvet ve Erdoğan FIRATLIGİL'e, kardeşim Banu FIRATLIGİL ÖZALP'a, hayat arkadaşım Çağatay DURMUŞ'a ve herşeyim canım oğlum Kaan DURMUŞ'a sonsuz teşekkür ederim.

Eylül, 2008

F. Ebru FIRATLIGİL DURMUŞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
1. GİRİŞ	1
2. PROTEİNLER	5
2.1 Protein Ekstraksiyonu ve İzolasyonu	8
2.1.1 Ekstraksiyon işlemini etkileyen faktörler	9
2.1.1.1 Hammaddenin kaynağı	9
2.1.1.2 Hammaddenin yapısı	10
2.1.1.3 Protein tipi	10
2.1.2 Ekstraksiyon ve izolasyon metotları	10
3. PROTEİNLERİN FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ	14
3.1 Çözünürlük	15
3.2 Su ve Yağ Tutma Özellikleri	19
3.3 Emülsiyon Özellikleri	21
3.4 Köpük Özellikleri	23
3.5 Jel Özellikleri	25
3.6 Fonksiyonel Özellikleri Etkileyen Faktörler	27
3.6.1 Yapısal faktörler	27
3.6.2 Üretim koşulları etkisi	27
3.6.3 Ölçüm koşullarının etkisi	28

4. MATERYAL VE METOT	30
4.1 Materyal	30
4.2 Yağı Alınmış Kırmızı Biber Tohum Unu ve Yağının Hazırlanması	30
4.3 Kırmızı Biber Tohumunun Tanımlanması	30
4.3.1 Kimyasal analizler	30
4.3.2 Kırmızı biber tohum yağının yağ asidi kompozisyonu	30
4.3.3 Antioksidan aktivitesinin belirlenmesi	31
4.3.3.1 Fenolik bileşenlerin ekstraksiyonu	31
4.3.3.2 Toplam fenolik madde	31
4.3.3.3 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) toplam antioksidan tayini metodu	32
4.3.3.4 Fenolik madde profillerinin HPLC analizi ile belirlenmesi	32
4.4 Kırmızı Biber Tohum Protein Ekstraksiyon Koşullarının Optimizasyonu	33
4.4.1 Protein ekstraksiyonu için çözügen seçimi	33
4.4.2 Protein ekstraksiyonu	33
4.4.3 Deneysel tasarım ve istatistiksel analiz	34
4.4.4 İzoelektrik noktanın (pI) belirlenmesi	35
4.5 Kırmızı Biber Tohum Protein Konsantresinin Eldesi	36
4.6 Kırmızı Biber Tohum Unu ve Proteinin Fonksiyonel Özellikleri	36
4.6.1 Yığın yoğunluğu	36
4.6.2 Çözünürlük	36
4.6.3 Su ve yağ tutma kapasitesi	36
4.6.4 Emülsiyon özellikleri	37
4.6.5 Köpük özellikleri	37
4.6.6 Jel özellikleri	38
4.7 Kırmızı Biber Tohum Unu ve Proteinin Mayonez Model Sistemindeki Uygulaması	38
4.7.1 Mayonez örneklerinin hazırlanması	38
4.7.2 Reolojik özelliklerin belirlenmesi	39
4.7.3 Emülsiyon stabilitesinin belirlenmesi	39
4.7.4 Renk ölçümü	40
4.8 Sorpsiyon Özellikleri	40
4.8.1 Sorpsiyon izotermelerinin belirlenmesi	40
4.8.2 Sorpsiyon izotermelerin modellenmesi	41
4.8.3 Sorpsiyon ısısının belirlenmesi	42
4.9 İstatistiksel Analiz	43

5. BULGULAR VE TARTIŞMA	44
5.1 Kırmızı Biber Tohumunun Tanımlanması	44
5.1.1 Kırmızı biber tohum unu ve proteininin içerik analizleri	44
5.1.2 Kırmızı biber tohum yağının yağ asidi kompozisyonu	46
5.1.3 Kırmızı biber tohumunun antioksidan özellikleri	48
5.1.3.1 Toplam fenolik madde miktarı	48
5.1.3.2 Toplam antioksidan kapasitesi	49
5.1.3.3 Fenolik bileşiklerin tanımlanması	50
5.2 Kırmızı Biber Tohum Proteinini Ekstraksiyon Koşullarının Optimizasyonu	51
5.2.1 Ekstraksiyon için çözen seçimi	51
5.2.2 Yüzeysel tepki metodu ile ekstraksiyon modelinin belirlenmesi	52
5.2.3 Optimum ekstraksiyon koşullarının belirlenmesi	57
5.2.4 Doğrulamalı testler	61
5.2.5 Protein izolasyonu için izoelektrik pH'nın belirlenmesi	62
5.3 Kırmızı Biber Tohum Unu ve Proteinin Fonksiyonel Özellikleri	63
5.3.1 Yığın yoğunluğu	63
5.3.2 Su ve yağ tutma özellikleri	64
5.3.3 Çözünürlük	66
5.3.3.1 pH'nın etkisi	66
5.3.3.2 Tuz konsantrasyonunun etkisi	68
5.3.4 Emülsiyon özellikleri	69
5.3.4.1 Konsantrasyonunun etkisi	69
5.3.4.2 pH'nın etkisi	70
5.3.4.3 Tuz konsantrasyonunun etkisi	73
5.3.5 Köpük özellikleri	75
5.3.5.1 pH'nın etkisi	75
5.3.5.2 Tuz konsantrasyonunun etkisi	78
5.3.6 Jel özellikleri	81
5.3.6.1 pH'nın etkisi	82
5.3.6.2 Tuz konsantrasyonunun etkisi	85
5.4 Kırmızı Biber Tohum Unu ve Proteinin Mayonez Model Sistemindeki Uygulaması	88
5.4.1 Reolojik özellikler	88
5.4.2 Emülsiyon stabilitesi özellikleri	97
5.4.3 Renk özellikleri	98
5.5 Kırmızı Biber Tohum Unu ve Proteinin Sorpsiyon Özellikleri	101
5.5.1 Sorpsiyon izotermi	101
5.5.2 Sorpsiyon verilerinin modellenmesi	107
5.5.3 Sorpsiyon ısısının belirlenmesi	118

6. SONUÇLAR	122
KAYNAKLAR	127
EKLER	144
ÖZGEÇMİŞ	148

KISALTMALAR

KBT	: Kırmızı biber tohumu
KBTU	: Kırmızı biber tohumu unu
KBTP	: Kırmızı biber tohumu proteini
SPK	: Soya protein konsantresi
k.b.	: Kuru baz
HPLC	: Yüksek performanslı sıvı kromatografisi
GAE	: Gallik asit eşdeğeri
DPPH	: 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil
ANOVA	: Varyans analizi
CUO	: Çözgen/Un oranı
YS	: Yumurta sarısı
M₀	: Tekli tabaka nem içeriği

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1: Proteinlerin molekül şekillerine göre sınıflandırılması	6
Tablo 1.2: Proteinlerin çözünürlüklerine göre sınıflandırılması	7
Tablo 3.1: Gıda proteinlerinin gıda sistemlerindeki fonksiyonel özellikleri	15
Tablo 3.2: Bazı proteinlerin su tutma kapasiteleri	20
Tablo 3.3: Protein çözeltilerinin karşılaştırmalı köpük oluşturma kapasiteleri	23
Tablo 4.1: Örneklerin fenolik madde profillerinin belirlenmesinde uygulanan yöntemin HPLC çalışma koşulları	32
Tablo 4.2: Örneklerin fenolik madde profillerinin belirlenmesinde uygulanan yöntemin HPLC gradient koşulları	33
Tablo 4.3: Merkezi kompozit tasarım için değişkenler ve düzeyleri	35
Tablo 4.4: Doymuş tuz çözeltilerinin farklı sıcaklıklarda sağladıkları ortamın bağlanma değerleri.....	41
Tablo 4.5: Sorpsiyon izotermi modelleri.....	42
Tablo 5.1: Kırmızı biber tohum unu, proteini ve soya protein konsantresinin kompozisyonu	44
Tablo 5.2: Kırmızı biber tohum yağının yağ asidi kompozisyonu.....	46
Tablo 5.3: HPLC ile tespit edilen fenolik bileşenler ve miktarları	51
Tablo 5.4: Merkezi kompozit tasarımı - Değişkenler ve tepkiler	54
Tablo 5.5: Protein verimi için regresyon katsayılarının istatistiksel önemi.....	56
Tablo 5.6: Bağımsız değişkenlerin varyans analizi (ANOVA)	57
Tablo 5.7: Kırmızı biber tohum unu, proteinin ve soya protein konsantresinin yağın yoğunlukları	64
Tablo 5.8: Kırmızı biber tohum unu ve proteini, soya protein konsantresinin su ve yağ tutma kapasiteleri.....	65
Tablo 5.9: Kırmızı biber tohumunun köpük stabilitesine pH'ın etkisi	77
Tablo 5.10: Kırmızı biber tohum proteininin köpük stabilitesine pH'ın etkisi.....	77
Tablo 5.11: Soya protein konsantresinin köpük stabilitesine pH'ın etkisi.....	77
Tablo 5.12: Kırmızı biber tohumunun köpük stabilitesine tuz konsantrasyonunun etkisi.....	80
Tablo 5.13: Kırmızı biber tohum proteininin köpük stabilitesine tuz konsantrasyonunun etkisi.....	80
Tablo 5.14: Soya protein konsantresinin köpük stabilitesine tuz konsantrasyonunun etkisi.....	81
Tablo 5.15: Örnek konsantrasyonunun ve pH'ın kırmızı biber tohumunun jel özelliklerine etkisi	83
Tablo 5.16: Örnek konsantrasyonunun ve pH'ın kırmızı biber tohum proteininin jel özelliklerine etkisi	83
Tablo 5.17: Örnek konsantrasyonunun ve pH'ın soya protein konsantresinin jel özelliklerine etkisi	84
Tablo 5.18: Farklı pH değerlerindeki en düşük jel oluşturma konsantrasyonu	84

Tablo 5.19: Örnek ve tuz konsantrasyonunun kırmızı biber tohumunun jel özelliklerine etkisi	86
Tablo 5.20: Örnek ve tuz konsantrasyonunun kırmızı biber tohum proteininin jel özelliklerine etkisi	86
Tablo 5.21: Örnek ve tuz konsantrasyonunun soya protein konsantrasyonunun jel özelliklerine etkisi	87
Tablo 5.22: Farklı tuz konsantrasyonlarındaki en düşük jel oluşturma konsantrasyonları	87
Tablo 5.23: KBTU ile hazırlanan mayonez örneklerinin tiksotropi değerleri	91
Tablo 5.24: KBTP ile hazırlanan mayonez örneklerinin tiksotropi değerleri	91
Tablo 5.25: Kırmızı biber tohumunu içeren mayonez örneklerinin üslü yasa modeline göre reolojik parametreleri	92
Tablo 5.26: Kırmızı biber tohum proteinini içeren mayonez örneklerinin üslü yasa modeline göre reolojik parametreleri	92
Tablo 5.27: Kırmızı biber tohumunu içeren mayonez örneklerinin Herschel-Bulkley modeline göre reolojik parametreleri	93
Tablo 5.28: Kırmızı biber tohum proteinini içeren mayonez örneklerinin Herschel-Bulkley modeline göre reolojik parametreleri	93
Tablo 5.29: Kırmızı biber tohumunu ve tohumunu içeren mayonez örneklerinin renk özellikleri	99
Tablo 5.30: Kırmızı biber tohum proteinini ve tohum proteinini içeren mayonez örneklerinin renk özellikleri	99
Tablo 5.31: Yağı alınmış kırmızı biber tohumunun farklı sıcaklıklardaki denge bağıl nemi değerleri	102
Tablo 5.32: Kırmızı biber tohum proteininin farklı sıcaklıklardaki denge bağıl nemi değerleri	102
Tablo 5.33: Yağı alınmış kırmızı biber tohumunun farklı sıcaklıklardaki sorpsiyon modellerinin belirlenen katsayıları	109
Tablo 5.34: Kırmızı biber tohum proteininin farklı sıcaklıklardaki sorpsiyon modellerinin belirlenen katsayıları	110
Tablo 5.35: Kırmızı biber tohumunu ve proteinin spesifik yüzey alanı	115
Tablo 5.36: Sorpsiyon ısısının nem içeriğine bağlı polinomal eşitlikleri	121
Tablo A.1: Merkezi kompozit tasarımı	144

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1: Amino asitin genel yapısı.....	5
Şekil 1.2: Peptit bağı.....	6
Şekil 1.3: Protein denatürasyonu	8
Şekil 1.4: Protein ekstraksiyon, izolasyon ve saflaştırma işlemleri.....	9
Şekil 5.1: Kırmızı biber tohumunun fenolik bileşenlerinin kromatogramı	50
Şekil 5.2: Farklı çözümler ile kırmızı biber tohumundan ekstrakte edilen çözümlerin protein içerikleri	52
Şekil 5.3: Deneysel ve tahminlenen protein verimlerinin kıyaslanması.....	55
Şekil 5.4: Kırmızı biber tohumunun protein verimine sıcaklık ve çözümler/un oranının 40 dakika ekstraksiyon süresi ve pH 8'deki etkisi.....	58
Şekil 5.5: Kırmızı biber tohumunun protein verimine sıcaklık ve pH'ın 40 dakika ekstraksiyon süresi ve 20:1 çözümler/un oranındaki etkisi	58
Şekil 5.6: Kırmızı biber tohumunun protein verimine pH ve çözümler/un oranının 40 dakika ekstraksiyon süresi ve 40°C sıcaklıktaki etkisi	59
Şekil 5.7: Kırmızı biber tohumunun protein verimine ekstraksiyon süresi ve çözümler/un oranının pH 8 ve 40°C sıcaklıktaki etkisi.....	59
Şekil 5.8: Kırmızı biber tohumunun protein verimine sıcaklık ve ekstraksiyon süresinin pH 8 ve 20:1 (hacim/kütle) çözümler/un oranındaki etkisi.....	60
Şekil 5.9: Kırmızı biber tohumunun protein verimine pH ve ekstraksiyon süresinin sıcaklık 40°C ve 20:1 çözümler/un oranındaki etkisi	60
Şekil 5.10: Kırmızı biber tohumundan ekstrakte edilen proteince zengin fraksiyonun pH bağı olarak çöktürülmesi.....	63
Şekil 5.11: Kırmızı biber tohumunu, proteini ve soya protein konsantrasyonunun pH- çözünürlük profilleri	67
Şekil 5.12: Tuz konsantrasyonunun kırmızı biber tohumunu, proteini ve soya protein konsantrasyonunun çözünürlüğüne etkisi.....	69
Şekil 5.13: Protein konsantrasyonunun kırmızı biber tohumunun emülsiyon aktivitesi ve stabilitesine etkisi.....	70
Şekil 5.14: Emülsiyon aktivitesinin pH ile değişimi	71
Şekil 5.15: Emülsiyon stabilitesinin pH ile değişimi	72
Şekil 5.16: Emülsiyon aktivitesinin tuz konsantrasyonu ile değişimi	74
Şekil 5.17: Emülsiyon stabilitesinin tuz konsantrasyonu ile değişimi	74
Şekil 5.18: Köpük kapasitesinin pH ile değişimi.....	76
Şekil 5.19: Köpük stabilitesinin pH ile değişimi (60 dakika bekleme süresi sonunda)	78
Şekil 5.20: Köpük kapasitesinin tuz konsantrasyonu ile değişimi (pH 6).....	79
Şekil 5.21: Köpük stabilitesinin tuz konsantrasyonu ile değişimi (60 dakika bekleme süresi sonunda)	81
Şekil 5.22: KBTU ile hazırlanan mayonez örneklerinin akış eğrileri	89
Şekil 5.23: KBTP ile hazırlanan mayonez örneklerinin akış eğrileri	90

Şekil 5.24: Herschel-Bulkley modeli modellenmiş kırmızı biber tohum unu ile hazırlanan mayonez örneklerinin akış eğrileri	95
Şekil 5.25: Herschel-Bulkley modeli modellenmiş kırmızı biber tohum proteini ile hazırlanan mayonez örneklerinin akış eğrileri	95
Şekil 5.26: Mayonez örneklerinin viskozite eğrileri.....	96
Şekil 5.27: Mayonez örneklerinin 50 s ⁻¹ kayma hızı değerindeki viskozite değerleri.....	97
Şekil 5.28: Mayonez örneklerinden ayrılan yağ miktarları	98
Şekil 5.29: Mayonez örneklerinden toplam renk değişim değerleri.....	100
Şekil 5.30: %60 YS + % 40 KBTP mayonez örneği	100
Şekil 5.31: Kırmızı biber tohumunun farklı sıcaklıklardaki sorpsiyon izotermi	104
Şekil 5.32: Kırmızı biber tohum proteininin farklı sıcaklıklardaki sorpsiyon izotermi	105
Şekil 5.33: Kırmızı biber tohum unu ve proteininin 20°C'deki sorpsiyon izotermi'nin karşılaştırılması	106
Şekil 5.34: Kırmızı biber tohum unu ve proteininin 30°C'deki sorpsiyon izotermi'nin karşılaştırılması	106
Şekil 5.35: Kırmızı biber tohum unu ve proteininin 40°C'deki sorpsiyon izotermi'nin karşılaştırılması	107
Şekil 5.35: Kırmızı biber tohumunun sorpsiyon verileri için kalıntı grafikleri..	112
Şekil 5.36: Kırmızı biber tohum proteininin sorpsiyon verileri için kalıntı grafikleri.....	113
Şekil 5.37: Kırmızı biber tohumunun 20°C'deki verilerinin sorpsiyon modelleri ile kıyaslanması	116
Şekil 5.38: Kırmızı biber tohum proteininin 20°C'deki verilerinin sorpsiyon modelleri ile kıyaslanması	117
Şekil 5.39: Kırmızı biber tohum unu ve proteininin 20°C ve 40°C'deki verilerinin kıyaslanması.....	118
Şekil 5.40: ln (a _w)'ne karşı 1/T grafikleri	119
Şekil 5.41: Kırmızı biber tohumunun sorpsiyon ısısının nem içeriği ile değişimi.....	120
Şekil 5.42: Kırmızı biber tohum proteininin sorpsiyon ısısının nem içeriği ile değişimi.....	121
Şekil B.1: Elajik asit için kalibrasyon eğrisi.....	145
Şekil B.2: Gallik asit için kalibrasyon eğrisi	145
Şekil B.3: 3,4 hidroksi benzoik asit için kalibrasyon eğrisi	146
Şekil B.4: Epikateşin için kalibrasyon eğrisi	146
Şekil B.5: Ferulik asit için kalibrasyon eğrisi.....	147
Şekil B.6: Gallik asit kalibrasyon eğrisi	147

KIRMIZI BİBER TOHUMUNUN ENDÜSTRİYEL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ: PROTEİN EKSTRAKSİYONU, FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ VE MAYONEZ ÜRETİMİNDE KULLANIMI

ÖZET

Son yıllarda gıda işleme yan ürünleri ve atıklarının değerlendirilmesi konusuna ilgi artmıştır. Bu değerlendirme çalışmaları, yan ürünlerden ve atıklardan gıdalar için yeni ürünler üretmek ve bu ürünleri gıda maddelerine ilave ederek kullanmak şeklindedir. Bitkinin ancak az bir kısmı insanlar tarafından direkt olarak tüketilmektedir, geri kalan kısım ise gıda, yem veya gübreye ilave edilmek üzere besin öğelerine çevrilmiştir.

Kırmızı biber (*Capsicum*), ülkemizin ihracatında önemli yer tutan bir üründür. Kırmızı biberin kurutma, dondurma ve konserveye işleme sırasında açığa çıkan ve artık olarak adlandırılan tohumları sadece yem olarak değerlendirilebilmektedir. Protein, yağ ve lif içeriği oldukça zengin olan tohumların besin öğelerinin fonksiyonel özellikleri nedeniyle gıda sanayiinde kullanılarak değerlendirilmesi önemlidir.

Proteinlerin fonksiyonel özellikleri, gıdaların hazırlanması, işlenmesi, depolanması ve tüketimi sırasında proteinlerin davranışlarını etkileyen ve gıdanın kalitesi ve duyuşal özelliklerine katkıda bulunan fizikokimyasal özellikleri olarak tanımlanmaktadır. Proteinler, içinde bulunduğu ortamdaki çözgen, iyonlar, diğer proteinler, polisakkaritler ve lipidler ile etkileşime girerek gıdanın fiziksel özelliklerini değiştirmektedir. Proteinin çözünürlüğü, su tutma kapasitesi, yağ bağlama özelliği, köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi, emülsiyon kapasitesi ve stabilitesi ve jel oluşturma gibi bazı özellikleri, ürün kalitesine önemli etkileri olan fonksiyonel özelliklerdir.

Bu çalışmada, kırmızı biberin (*Capsicum frutescens*) konserveye işlenmesi, dondurulması, ve kurutulması sırasında açığa çıkan ve artık olarak adlandırılan kırmızı biber tohumlarından optimum koşullarda protein ekstrakte edilmesi, fonksiyonel özelliklerinin incelenmesi ve mayonez üretiminde kullanılması amaçlanmıştır.

Kırmızı biber tohumu, kuru bazda %9,30 nem, %19,32 yağ, %23,64 protein, %3,55 kül ve %48,98 karbonhidrat içermektedir. Yüksek protein ve diyet lif içeriği ile iyi bir protein ve diyet lif kaynağı olarak değerlendirilmesi mümkündür. Kırmızı biber tohumundan yağın uzaklaştırılması ile un içerisinde bulunan diğer bileşenlerin yüzdesi artmıştır. Kırmızı biber tohumundan protein ekstraksiyon ve izolasyon metodu ile %6,63 nem, %1,52 yağ, %67,00 protein, %4,59 kül ve %26,87 karbonhidrat içeren protein konsantresi elde edilmiştir. Kırmızı biber tohum protein konsantresi, ticari ürün olan soya protein konsantresinden daha yüksek protein içermektedir.

Kırmızı biber tohum yağı, %17,42 oranında doymuş ve % 82,58 oranında doymamış yağ asidi içermektedir. Başlıca doymuş yağ asitlerini palmitik (%12,82) ve stearik (%3,4) asit oluşturmaktadır. İz miktarda miristik, heptadekonoik, araşidik ve behenik asit de içermektedir. Tekli doymamış yağ asitlerinin %96'lık kısmını oleik asit oluşturmaktadır. Kırmızı biber tohum yağının yağ asidi kompozisyonunun büyük bölümünü çoklu doymamış yağ asitleri (%73,66) oluşturmaktadır. Başlıca çoklu doymamış yağ asidi linoleik asittir (%73,38).

Kırmızı biber tohumu, elajik asit (2,001 mg/g), gallik asit (0,053 mg/g), 3,4 hidroksi benzoik asit (0,165 mg/g), epikateşin (0,886 mg/g) ve ferulik asit (0,208 mg/g) gibi fenolik bileşenler içermektedir. Kırmızı biber tohumundan elde edilen etanol ekstraktının radikal yakalama aktivitesi %47 ve toplam fenolik madde miktarı 267,3 g GAE/100g örnek olarak belirlenmiştir. Kırmızı biber tohumu, kuvvetli bir antioksidan aktiviteye sahiptir.

Kırmızı biber tohum unundan protein ekstraksiyonu için distile su, %5 NaCl, %0,5 Na₂SO₄, 0,1 N NaOH ve %70 etanol gibi çözümler denenmiş ve en uygun çözümler distile su olarak belirlenmiştir. Kırmızı biber tohum unundan su ile protein ekstraksiyonu için optimum koşulların belirlenmesinde yüzey tepki metodu kullanılmıştır. Sıcaklık (30°C, 35°C, 40°C, 45°C ve 50°C), pH (7.0, 7.5, 8.0, 8.5 ve 9.0), ekstraksiyon süresi (20, 30, 40, 50 ve 60 dakika) ve çözümler/un oranı (10:1, 15:1, 20:1, 25:1 ve 30:1 hacim/kütle) gibi değişkenleri içeren merkezi kompozit tasarım kullanılmıştır ve protein verimi için ikinci dereceden model elde edilmiştir ($R^2 = %96,7$). Ekstrakte edilen protein verimi, başlıca pH ve çözümler/un oranından etkilenmektedir. Maksimum verim, sıcaklık 31°C, pH 8,8, ekstraksiyon süresi 20 dakika ve çözümler/un oranı 21:1 (hacim/kütle) olduğu koşullarda elde edilmektedir. Bu koşullarda protein verimi 12,24 g ekstraktaki çözünür protein/100 g yağı alınmış kırmızı biber tohum unu olarak belirlenmiştir. Modellen yeterliliği ilave deneyler ile doğrulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, kırmızı biber tohumundan optimum koşullarda protein ekstraksiyonunun tasarlanmasında yardımcı olacaktır.

Kırmızı biber tohum unu ve proteininin fonksiyonel özelliklerine pH ve tuz konsantrasyonunun etkileri, soya protein konsantresi ile karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Kırmızı biber tohum unu ve proteinin yığın yoğunlukları sırası ile 0,41 g/mL ve 0,23 g/mL olarak belirlenmiştir. Kırmızı biber tohumunun su ve yağ tutma kapasitesi sırasıyla 2,68 g/g ve 2,81 g/g, kırmızı biber tohum proteininin ise, 1,89 g/g ve 3,20 g/g olarak elde edilmiştir. Kırmızı biber tohum unu ve proteinin su tutma kapasitesi soya protein konsantresinden daha az olmasına rağmen yağ tutma kapasitesi ise soya protein konsantresi ile karşılaştırılabilir düzeydedir. Kırmızı biber tohum proteini için en düşük çözünürlük değeri pH 4'de elde edilmektedir ve bu değer altındaki ve üstündeki pH değerlerinde çözünürlük artmaktadır. Kırmızı biber tohum proteini, alkali koşullarda kırmızı biber tohum unu ve soya protein konsantresinden daha yüksek çözünürlüğe sahiptir. Genel olarak tüm örneklerde tuz konsantrasyonu arttıkça çözünürlük de artmaktadır. Kırmızı biber tohum proteininde tuz konsantrasyonunun çözünürlüğe olan etkisi kırmızı biber tohum ununa göre daha fazladır. Kırmızı biber tohumunun emülsiyon özellikleri, protein konsantresinin %2 değerine ulaşmasına kadar artmakta ve sonra değişim gözlenmemektedir. Kırmızı biber tohum unu ve proteinin emülsiyon aktivitesi değerleri sırasıyla %49,3-54,7 ve %48,8-70,4; emülsiyon stabilitesi ise %52,9-54,33 ve %47,19-64,9 aralığında değişmektedir. Kırmızı biber tohum proteininin, emülsiyon özellikleri proteinlerin çözünürlük eğrileri ile paralellik göstermektedir. Kırmızı biber tohum

proteini, bazik pH koşullarında kırmızı biber tohum ununa ve soya protein konsantresine göre daha yüksek emülsiyon özelliklerine sahiptir. Kırmızı biber tohum proteini ile oluşturulan emülsiyonun stabilitesi kırmızı biber tohum unu ile oluşturulanına göre daha yüksektir. Kırmızı biber tohum proteinin emülsiyon özellikleri tuz ilavesi ile azalırken, kırmızı biber tohum unu ve soya protein konsantresinin emülsiyon özellikleri değişmemektedir. Kırmızı biber tohum proteini için en düşük jelleşme konsantrasyonu pH 4’de %4 olarak belirlenmiştir. Kırmızı biber tohum proteinin jel özellikleri, soya protein konsantresi ile karşılaştırılabilir düzeydedir. Jel özellikleri, 0,5 M tuz konsantrasyonu değerine kadar artmaktadır. Konsantrasyonun daha da artırılması jel özelliklerini azaltmaktadır. Kırmızı biber tohum unu ve proteini için köpük kapasitesi değerleri sırasıyla %66,4-195,3 ve %52,2-182,6 aralığında değişmektedir. Kırmızı biber tohum proteini, soya protein konsantresine göre daha hacimli fakat daha az stabil köpükler oluşturmaktadır. Köpük kapasitesi ve stabilitesi değerleri, artan tuz konsantrasyonu ile istatistiksel olarak artmaktadır.

Kırmızı biber tohum unu ve proteininin, mayonez model sistem içerisinde kullanılabilirliği denenmiştir. Tüm mayonez örnekleri, tiksotropiye sahip Newtonyen olmayan psödoplastik davranış sergilemektedirler. Kırmızı biber tohum unu ve proteini ilavesi ile mayonezlerin tiksotropi özellikleri önce artmakta daha sonra un ilave edilen örneklerde azalırken protein ilave edilenler de ise sabit kalmaktadır. Mayonez örneklerinin reolojik davranışlarının modellenmesinde üslü yassa modeli (Ostwald-de-Waale model) ve Herschel-Bulkley modelinin her ikisi de uygunluk göstermektedir. Akış davranış indeksi, tüm örnekler için 1’den küçüktür. Formülasyondaki kırmızı biber tohum unu ve protein miktarının artışı ile akış davranış indeksi değeri azalmaktadır. Kırmızı biber tohum proteini ile hazırlanan mayonez örnekleri, kırmızı biber tohum unu ile hazırlanan örneklere göre daha viskoz bir yapı göstermektedirler. Kırmızı biber tohum unu ilavesi, mayonez örneklerinin akma gerilimi değerlerini azaltmaktadır, diğer yandan kırmızı biber tohum proteini ilavesi ise arttırmaktadır. Kırmızı biber tohum unu ve proteini kullanımı ile mayonezde daha fazla yağ ayrılması gözlenmiştir yani daha düşük emülsiyon stabilitesi elde edilmiştir. Artan kırmızı biber tohum unu ve protein miktarı ile parlaklık azalmakta, kırmızı renk artmakta ve sarı renk azalmaktadır. Kırmızı biber tohum proteini mayonezin rengine, kırmızı biber tohum ununa göre daha fazla değişikliğe neden olmaktadır.

Kırmızı biber tohum unu ve proteininin sorpsiyon özellikleri incelendiğinde, tüm sorpsiyon izotermelerinin, S-şekile sahip Tip II izotermine uygun karakteristik gösterdikleri gözlenmiştir. Kırmızı biber tohum unu, proteinine göre daha higroskopik özelliğe sahiptir. Sıcaklığın, sorpsiyon özelliklerine etkisinin çok düşük olduğu gözlenmiştir. Kırmızı biber tohumunun sorpsiyon izotermeleri, Iglesias ve Chirife, kırmızı biber tohum proteini için ise GAB, Iglesias ve Chirife ve Halsey modelleri ile en iyi şekilde tanımlanmıştır. Kırmızı biber tohum unu ve proteinin tekli tabaka nem içerikleri (M_0), kırmızı biber tohum unu için %3,05–3,37 (kb.), kırmızı biber tohum proteini için ise %1,29–1,57 (kb.) aralığında değişmektedir. Kırmızı biber tohum proteinin M_0 değerleri artan sıcaklık ile azalmaktadır. Diğer yandan kırmızı biber tohumunun M_0 değerleri ile sıcaklık arasında belli bir korelasyon mevcut değildir. Spesifik yüzey alanları, artan sıcaklık değerleri ile azalmaktadır.

INDUSTRIAL UTILIZATION OF RED PEPPER SEEDS: PROTEIN EXTRACTION, FUNCTIONAL PROPERTIES, APPLICATION IN MAYONNAISE PRODUCTION

SUMMARY

Recently more attention has been focused on the utilization of food processing byproducts and wastes. Obviously, such utilization would result in the production of various new products for food and contribute these products into foods. Only a small portion of plant material is utilized directly for human consumption. The remaining portion of this material or part of it may be converted into nutrients for either food or feed or into fertilizer.

Red pepper (*Capsicum*) has an important role in our export of our country. The by-product or waste of drying, freezing and canning process of red pepper was utilized as feed. Red pepper seeds are excellent sources of protein, oil and fiber. These seeds can be used in food industry because of their functional properties of ingredients.

Functional properties of proteins can be defined as physicochemical properties which affects the behaviour of proteins and contribute to the food quality and sensory properties during food preparation, processing, storage and consuming. Proteins change the physical properties of food by interacting with solvent, ions, other proteins, polysaccharides, lipids inside the surrounding environment. Properties such as solubility, water holding capacity, lipid binding property, foam capacity and stability, emulsion capacity and stability and gel formation of protein are the functional properties that affect the food quality.

The objective of this study is extracting protein from red pepper seed (*Capsicum frutescens*) at optimum conditions and using its functional properties as industrial products

The red pepper seed consists of 9.30% moisture, 19.32% fat, 23.64% protein, 3.55% ash, and 48.98% carbohydrate in dry basis. It is highly possible to use it as good source of protein and diet fiber due to its content of high protein and diet fiber. The content of other items in flour increased after defatting of red pepper seed. The protein concentration obtained from red pepper seed by protein extraction and isolation method contains of 6.63% moisture, 1.52% fat, 67.00% protein, 4.59% ash, and 26.87% carbohydrate. Red pepper seed protein concentrate contains more protein than soy protein concentrate, which is a commercial product.

The red pepper seed oil contains 17.42% saturated and 82.58% unsaturated fatty acid. The primary saturated fatty acids are palmitic (12.82%) and stearic (3.4%). It also contains myristic, heptadecanoic, eicosanoic, and behemic acid in trace amounts. Monounsaturated fatty acids contain 96% oleic acid. The fatty acid

composition of red pepper seed oil consists of mostly polyunsaturated fatty acids (73.66%). The main polyunsaturated fatty acid is linoleic acid (73.38%).

Ethanol extract of red pepper seed contains phenolic compounds such as ellagic acid (2.001 mg/g), gallic acid (0.053 mg/g), 3,4 hydroxy benzoic acid (0.165 mg/g), epicatechin (0.886 mg/g), ferulic acid (0.208 mg/g). Radical binding activity of ethanol extract, which is obtained from red pepper seed, is 47% and total phenolic content is determined as 267,3 g GAE/100g sample.

The distilled water, 5% NaCl, 0.5% Na₂SO₄, 0.1% NaOH and 70% ethanol were used as solvent in protein extraction from red pepper seed flour, and the best solvent found to be distilled water. Response surface methodology was used to determine optimum conditions for water extraction of protein from red pepper seed meal. A central composite design including variables such as temperature (30, 35, 40, 45 and 50°C), pH (7.0, 7.5, 8.0, 8.5 and 9.0), extraction time (20, 30, 40, 50 and 60 min) and solvent/meal ratio (10:1, 15:1, 20:1, 25:1 and 30:1 v/w) was used and the second order model obtained for protein yield revealed coefficient of determination of 96.7%. Extracted protein yield was primarily affected by pH and solvent/meal ratio. Maximum yield was obtained when temperature, pH, mixing time and solvent/meal ratio were 31°C, 8.8, 20 min, 21:1 (v/w), respectively. These conditions resulted in protein yield of 12.24 g of soluble protein from extract/100 g defatted red pepper seed flour. By means of additional experiments, the adequacy of this model is confirmed. These results help in designing the process of optimal protein extraction from red pepper seeds.

Effect of pH and salt concentration on functional properties of red pepper seed flour and protein were observed and compared with soy protein concentrate. The bulk density of red pepper seed flour and protein is determined as 0.41 and 0.23 g/mL, respectively. Water and oil holding capacity of red pepper seed flour and red pepper seed protein was determined as 2.68 g/g, 2.81 g/g and 1.89 g/g and 3.2 g/g respectively. Although water holding capacity of red pepper seed flour and protein is lower than soy protein concentrate, oil holding capacity is comparable with soy protein concentrate. The lowest solubility value for red pepper seed protein was obtained at pH 4 and the solubility increases below or above value of this pH.

In alkaline conditions, red pepper seed protein showed a higher solubility than red pepper flour and soy protein concentrate. Generally, solubility increased with increasing salt concentrations in all samples. The effect salt concentration on red pepper seed protein was higher than red pepper seed flour. The emulsifying properties of red pepper seed were increased with increasing protein concentration till 2%. After this concentration, no change was observed. Emulsion activity of red pepper seed flour and protein was 49.3-54.7% and 48.8-70.4%, respectively. And also emulsion stability was 52.9-54.3% and 47.2-64.9%, respectively. The emulsifying properties of red pepper seed protein showed similar trend with solubility curves. Red pepper seed protein had higher emulsion properties than red pepper seed flour in alkaline conditions. The emulsion prepared by red pepper seed protein was more stable than prepared by red pepper seed flour. The emulsifying properties of red pepper seed protein decreased with salt addition. On the other hand, the emulsifying properties of red pepper seed flour and soy protein concentrate were not affected by salt addition. The least gelation concentration of red pepper seed protein was determined as 4% at pH 4. The gelation properties of red pepper seed

protein were comparable with soy protein concentrate. The gelation properties increased with salt concentration till 0.5 M. Above 0.5 M salt concentration, the gelation properties decreased. Foaming capacity of red pepper seed flour and protein ranged between 66.4-195.3% and 52.2-182.6%, respectively. Red pepper seed protein formed higher volume but less stable foam than soy protein concentrate. Foaming capacity and stability increased with salt concentration, significantly.

The usage of red pepper seed flour and protein in mayonnaise model system was experienced. All mayonnaise samples showed Non-Newtonian, pseudoplastic behaviour with thixotropy. In the beginning, thixotropic property of mayonnaise increased after adding red pepper seed flour and protein, after that, it decreased in flour added samples, and was stable in protein added samples. Power law (Ostwald-de-Waale model) and Herschel-Bulkley models were suitable for modelling rheological properties of mayonnaise samples. Flow index values for all samples were less than 1.0. Flow index value was more away from 1 as a result of increasing in red pepper seed flour and protein content of mayonnaise formulations. Mayonnaise prepared by red pepper seed protein showed more viscous properties than prepared by red pepper seed flour. Yield stress of mayonnaise samples decreased with addition of red pepper seed flour, on the other hand increased with addition of red pepper seed protein. Usage of red pepper seed flour and protein showed higher oil separation, in other words less emulsion stability. Red pepper seed protein caused higher modification in color of mayonnaise than red pepper seed flour.

The sorption isotherm of red pepper seed flour and protein had typical S-shaped Type II profile. Red pepper seed flour was more hygroscopic than seed protein. The effect of temperature on sorption properties was not significant. The Iglesias-Chirife model for red pepper seed protein, the GAB, Iglesias-Chirife and Halsey models for red pepper seed flour were found to be the most suitable for describing the sorption isotherms. The monolayer moisture content (M_0) of red pepper seed flour and protein ranged from 3.05 to 3.37% (db) and 1.29 to 1.57% (db), respectively. Monolayer moisture content of red pepper seed protein decreased with increasing temperature. However, there was no correlation between monolayer moisture content of red pepper seed flour and temperature. Specific surface areas decreased with increasing temperature.

1. GİRİŞ

Dünyada, her yıl milyonlarca ton tarımsal gıda atığı açığa çıkmaktadır. Atıklar çoğunlukla biyolojik olarak parçalanabilen bileşenlerden oluşmasına karşın imha edilmeleri su kirliliği ve istenmeyen koku gibi ciddi çevre problemlerine yol açmaktadır. Atıkların değerlendirilmesi ile ilgili birçok çalışma, atık malzemeleri gıda bileşenlerine dönüştürmeyi amaçlamaktadır (Ku ve Mun, 2008). Meyve ve sebze işleme atıklarının değerlendirilmesi, yeni, alternatif ve ucuz protein kaynakları bulmaya yönelik birçok çalışmaya konu olmuştur (Dhamankar ve diğ., 1988; Liadakis ve diğ., 1995; Arogba, 1997; Wang ve diğ., 1999; Moure ve diğ., 2002; Quanhang ve Caili, 2005; Wani ve diğ., 2006). Meyve ve sebze işleme atıklarından aynı zamanda diyet lif ve antioksidan gibi birçok fonksiyonel bileşen üretilmektedir (Garau ve diğ., 2007; Marin ve diğ., 2007; Spigno ve Favari, 2007; Sudha ve diğ., 2007; Al-Farsi ve Lee, 2008; Chantaro ve diğ., 2008; Mollea ve diğ., 2008; Roldan ve diğ., 2008; Stojceska ve diğ., 2008).

Biberler *Capsicum* cinsine aittir ve en yaygın olarak yetiştirilen türü *C. annuum* L.'dir. Kurutma ve öğütme sonrası tohumları baharat olarak da kullanılabilir de, bunlar esas olarak meyvası için yetiştirilmektedir. Boyut ve şekilleri geniş bir aralıkta değişmektedir. Renkleri ve tatları da çeşitlilik göstermektedir ve tatları tatlıdan çeşitli derecedeki acılığa doğru değişir (Bernadac ve diğ., 2002). Domates gibi, yemek hazırlamada sayısız kullanım alanına sahip olması biberi en önemli sebze haline getirmektedir. Biberler; kurutulmuş ürünlere, salamura biberlere, donmuş ürünlere veya lezzet veya renk vermek amacı ile sos, salça, püre veya toz gibi ürünlere işlenmektedirler. Biber üretimi yapan ülkeler içinde Türkiye, Çin ve Meksika'dan sonra yıllık 1.745.000 ton üretimle Dünyada üçüncü sırada yer almaktadır (FAO, 2008). Konserveye işlenmiş ve dondurulmuş biber ürünlerinin üretiminden arta kalan sap, yaprak ve tohumlar gibi katı atıkların değerlendirilmesi ve imha edilmesi sanayi için en ilgi çekici görevlerden biridir.

El-Adawy ve Taha (2001), paprika cinsi biberin tohumlarının protein ve yağ fraksiyonlarının bileşimi ve karakteristiğini ilk kez değerlendirmişlerdir. Paprika tohumlarının iyi bir protein (%24), yağ (%26) ve diyet lif (%35) kaynağı olduklarını belirlemişlerdir. Ayrıca paprika tohumunun, FAO/WHO referanslarına göre toplam esansiyel amino asitler, lizin, threonin, toplam aromatik asitler ve triptofan içeriği bakımından zengin olduğunu tespit etmişlerdir. Biber işleme atıklarının değerlendirilmesi ile ilgili hiçbir çalışma bulunmadığından, kırmızı biber tohumlarından protein ekstraksiyonunun optimum koşullarını incelemek önemli hale gelmektedir.

Sıcaklık, pH, iyonik kuvvet, çözügen tipi, ekstraksiyon süresi, çözügen/un oranı, diğer bileşenlerin varlığı, protein ekstraksiyonunu etkileyen çeşitli parametrelerdir (Wani ve diğ., 2006). Ekstraksiyon, izolasyon ve fraksiyonlarına ayırma prosedürleri, son kullanım yerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Genellikle, gıda uygulamaları için protein konsantrisi ve izolatları, proteince zengin malzemelerin alkali çözelti ile ekstraksiyonu ve sonra 4,0 ve 5,0 aralığındaki izoelektrik pH değerinde çökeltilmesi ile hazırlanmaktadır (Mwasaru ve diğ., 2000; Aluko ve McIntosh, 2001; Chavan ve diğ., 2001; Chove ve diğ., 2001; Lqari ve diğ., 2002; Aluko, 2004; Bilgi ve Celik, 2004).

İstenen tepkileri birden fazla faktör ve etkileşimler etkiliyor ise yüzey tepki metodu, proseslerin optimizasyonu için etkili bir araçtır (Rustom ve diğ., 1991). Bu metodun kullanımı ile en kısa süre ve en az sayıda deney ile istenen bilginin elde edilmesi sağlanır. Bağımsız değişkenlerin etkilerini analiz etmenin yanı sıra kimyasal veya biokimyasal prosesleri tanımlayan matematiksel bir model oluşturur (Bas ve Boyaci, 2007).

Proteinlerin, gıda işleme ve gıda ürünleri geliştirilmesinde, gıdanın yapısını etkileyen birçok fonksiyonel özellikleri vardır. Süt, peynir ve et gibi yüksek proteinli gıdalarla, hububat ürünlerinin dokusu, duyuşsal ve besinsel özellikleri içerdikleri proteinin cins ve miktarına göre değişebilmektedir. Gıda ürünlerinin içerdikleri proteinlerin besinsel ve fizikokimyasal özellikleri birbirinden farklıdır. Proteinlerin besin kalitesi, amino asit bileşimi ve gıda proteinlerini hidrolize edebilen enzimler ile sindirilebilme kolaylığı ile tanımlanır. Gıda maddesinin doğal olarak içerdikleri veya gıda hazırlanırken içine ilave edilen proteinlerin çözünürlüğü, su tutma kapasitesi, yağ

bağlama özellikleri, köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi, emülsiyon oluşturma kapasitesi ve stabilitesi, viskozite ve jel oluşturma gibi özellikleri ise ürün kalitesine önemli etkileri olan fonksiyonel özelliklerdir. Proteinlerin fonksiyonel özellikleri ile ilgili bilgiler, bu katkıların gıdadaki performansları hakkında bilgi sağlamaktadır. Gıda bazlı yeni protein kaynaklarının araştırılması ve geliştirilmesi sırasında fonksiyonel özellikler, temel kriter olarak değerlendirilmektedir. Yeni protein kaynaklarının esansiyel amino asit bileşimi ve fonksiyonel özellikleri yanında kabul edilebilir duyu özelliklere sahip olması da aranan bir özelliktir.

Proteinlerin fonksiyonel özellikleri, protein yapısı ile ilgili özelliklerden (amino asit dizilimi ve bileşimi), proteinin elde edilişi sırasında uygulanan koşullardan (ekstraksiyon ve çöktürme koşulları, yağ uzaklaştırma metodu, enzim uygulaması, kurutma ve toz ürün elde etme metotları) ve proteinin fonksiyonel özelliklerinin saptanması sırasında uygulanan koşullardan (pH, sıcaklık, karıştırma metodu ve süresi) etkilenmektedir.

Protein konsantrasyonu ve izolatlarının kurutma işleminin tasarlanması ve optimizasyonu, çeşitli gıda formülasyonları içindeki işlevsel fonksiyonlarının incelenmesi, depolama stabilitesinin belirlenmesi ve uygun ambalajın seçilmesi için nem sorpsiyon özelliklerinin bilinmesi gereklidir (Kaymak-Ertekin ve Sultanoğlu, 2001; Vazquez ve diğ., 2003; Viswanathan ve diğ., 2003; Lee ve Lee, 2008). Nem sorpsiyon izotermi gıdanın su aktivitesi ile denge nem içerikleri arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. Kırmızı biber tohumunu ve proteininin farklı sıcaklıklardaki sorpsiyon özellikleri, depolama koşullarının belirlenmesini sağlamaktadır (Menkov, 2000).

Bu çalışmada, kırmızı biberin (*Capsicum frutescens*) konserveye işlenmesi, dondurulması, ve kurutulması sırasında açığa çıkan ve artık olarak adlandırılan kırmızı biber tohumlarının endüstriyel olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla:

Kırmızı biber tohumundan maksimum protein verimi elde edecek optimum protein ekstraksiyon koşulları (sıcaklık, pH, ekstraksiyon süresi, çözgen/un oranı) yüzey tepki metodu kullanılarak belirlenmiştir.

Optimum koşullarda elde edilen kırmızı biber tohum protein konsantresinin fonksiyonel özelliklerine (yığın yoğunluğu, renk, su ve yağ tutma, çözünürlük, emülsiyon, köpük ve jel özellikleri) pH ve tuz konsantrasyonun etkileri, kırmızı biber tohum unu ve ticari bir ürün olan soya protein konsantresi ile karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

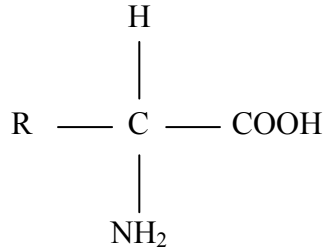
Bu fonksiyonel özelliklerden emülsiyon özelliğinin model sistemde uygulamasının gerçekleştirilmesi amacı ile mayonez formülasyonunda yer alan yumurta sarısının belli oranlarda kırmızı biber tohum unu ve proteini ile yer değiştirmesinin mayonezin reolojik, renk ve emülsiyon stabilitesi özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Kırmızı biber tohum unu ve proteinin, diğer ürünler içinde kullanımının tahmin edilebilmesi ve raf ömrü stabilitesinin belirlenebilmesi amacı ile sorpsiyon özellikleri incelenmiş ve çeşitli matematiksel modeller ile modellenmiştir.

2. PROTEİNLER

Proteinler, gıda ve biyolojik sistemlerde önemli rollere sahiptirler. Biyolojik sistemlerde proteinler, biyokatalist (enzimler) ve hücre ve organların yapılanmasında görev yaparlar. Proteinler, canlı organizmaların temel bileşenlerindedir ve hücrelerin içindeki her süreçte yer alırlar. Proteinler, insanlar için zorunlu olan aminoasitleri sağlamalarının yanında fonksiyonel özellikleri ile ilave edildikleri gıdanın yapısını da geliştirmektedirler (Li-Chan, 2004).

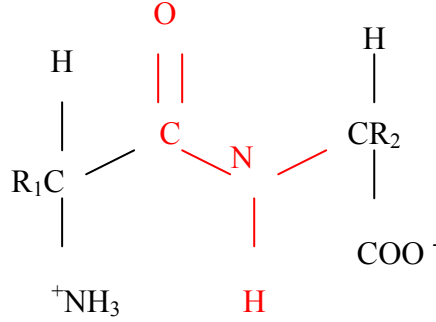
Proteinler, karbon, hidrojen, oksijen, azot içeren organik polimerlerdir. Ayrıca birçok protein kükürt, bazıları da bakır, demir, fosfor veya çinko gibi metal iyonları da içermektedir. Proteinlerin yapısında 20 farklı çeşit amino asit bulunmaktadır. Amino asitler en az bir amino grubu (-NH₂) ve en az bir karboksil grubu (-COOH) içerirler. Amino asitlerde amino grubu karboksil grubunun bağlı olduğu α-karbon atomuna bağlıdır. Bu α-karbon atomuna amino grubu, karboksil grubu, H atomu ve organik bir grup (R grubu) bağlıdır (Şekil 1.1). R grubu, amino asitin fizikokimyasal özelliklerini ve bulunduğu proteinin özelliklerini etkiler. Örneğin R grubu H ise bu amino asite glisin adı verilir (Damodaran, 1996; Gaman ve Sherrington, 1996; Belitz ve Grosch, 1999).



Şekil 1.1: Amino asitin genel yapısı

Peptit bağı, bir amino asitin amino grubu ile diğer bir amino asidin karboksil grubunun reaksiyona girmesi ile oluşur (Şekil 1.2). Bu reaksiyon sonucunda su açığa çıkar. Bu yolla 100'den fazla amino asit, farklı molekül ağırlığına ve amino asit

dizilimine sahip uzun polipeptid zincirler oluşturabilir. Polipeptit zincirinin uzunluğu ve amino asit diziliş sırası ve sayısı proteinin fiziksel, yapısal, biyolojik ve fonksiyonel özelliklerini belirler (Damodaran, 1996; Gaman ve Sherrington, 1996; Li-Chan, 2004).



Şekil 1.2: Peptit bağı

Proteinleri molekül şekillerine bağlı olarak iki ana grupta inceleyebiliriz: globüler ve lifsi proteinler (Tablo 1.1). Globüler proteinler, kıvrımlı yuvarlak yapıya sahiptirler. Molekül şeklini, amino asit zincirleri arasındaki çapraz bağlanmalar ile korumaktadır. Globüler protein moleküllerinin yapısı sıkıca paketlenmiş bir yapı olmadığı için su ve tuzlu suda çözünürler, asit, alkali ve ısıdan etkilenirler. Globüler proteinler, metabolik sistemlerde önemli rol oynarlar. Spesifik katalitik aktiviteye sahip protein grubu olan enzimler, globüler proteinlerin ana alt grubunu oluşturmaktadır. Lifsi proteinler, düz ve spiral şeklindedir. Lifsi protein molekülü ise sıkıca paketlenmiş bir yapıya sahiptir ve bitişik amino asit zincirleri arasında çapraz bağlanmalar mevcuttur. Bu nedenle su molekülleri yapıya nüfuz edemez, asit ve alkaliden etkilenmez ama ısıdan etkilenirler. Lifsi proteinler ise, kas, kemik, deri, hücre organelleri ve membranlar gibi dokular ve yapısal malzemelerde bulunur (Gaman ve Sherrington, 1996; Belitz ve Grosch, 1999).

Tablo 1.1: Proteinlerin molekül şekillerine göre sınıflandırılması

Globüler Protein	Lifsi Protein
Ovalbumin	Gluten
Kazein	Elastin
Hemoglobin	Kolajen
Miyoglobin	

Basit proteinler çözümlüklerine bağlı olarak da sınıflandırılabilirler (Tablo 1.2). Albuminler suda, globulinler seyreltik tuzlu suda, prolaminler %70 etanolde ve glutelinler ise seyreltik asit veya baz çözeltilerinde çözümlükler. Bu çözümlük özelliklerinden yararlanılarak proteinler Osborne fraksiyonlandırma metodu kullanılarak fraksiyonlarına ayrılmaktadır (Gaman ve Sherrington, 1996; Deman, 1999).

Amino asitler sulu çözeltilerde amfoterik molekül olarak davranırlar. Yani pozitif ve negatif yükler aynı molekülde bulunurlar ve pH değerine bağlı olarak asit veya baz olarak davranırlar. Buna Zwitter veya dipolar iyon denir. Molekülün dipolar iyon halinde bulunduğu pH'a izoelektrik pH denir. Dipolar iyon elektriksel alanda hareket edemez, nötraldirler. Bu nedenle proteinlerin izoelektrik noktadaki çözümlükleri en azdır yani bu noktada kolayca çökeltilerler. Proteinlerin bu özelliğinden protein ekstraksiyonunda yararlanılmaktadır. Proteinlerin ve amino asitlerin izoelektrik noktaları birbirinden farklıdır. Örneğın, buğday unundaki gliadinin izoelektrik pH'sı 6,5 veya inek sütündeki kazeinin ise 4,5'tur (Gaman ve Sherrington, 1996).

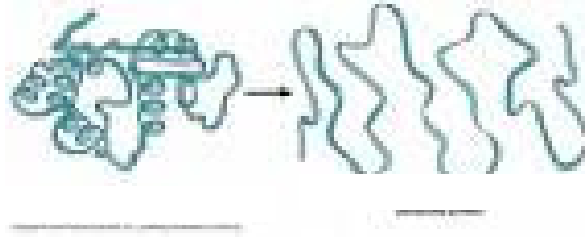
Tablo 1.2: Proteinlerin çözümlüklerine göre sınıflandırılması¹

Protein	Çözümlük	Örnek
Albumin	Suda	Ovalbumin Lactalbumin
Globulin	Seyreltik tuzlu suda	Miyozin Edestin
Prolamin	%70 etanolde	Gliadin Zein
Glutelin	Seyreltik asit/alkali çözeltilerde	Glutenin Hordenin

¹ Deman (1999)'dan alınmıştır.

Proteinlerin yapısı fizikokimyasal etkilere çok hassastır. Çeşitli prosesler denatürasyona neden olmaktadır. Denatürasyon ile proteinlerin ikincil yapıları değişir, fakat birincil yapıları değişmez. Molekülün şekli bozulur fakat amino asit dizilimi aynı kalır (Şekil 1.3). Denatürasyon ile molekülün şeklini koruyan çapraz bağlar açılır, genellikle geri dönüşümsüz bir reaksiyondur. Bu reaksiyonun gerçekleşmesinde etkili olan çeşitli fiziksel (ısıtma, soğutma, mekanik etki, hidrostatik basınç) ve kimyasal faktörler (asitler, bazlar, metaller, organik çözenler) bulunmaktadır (Deman, 1999; Belitz ve Grosch, 1999). Denatürasyon sonucu

proteinlerin özelliklerinde çeşitli değişimler meydana gelir. Protein çözünürlüğünde değişim, su bağlama kapasitesinde değişim, biyolojik aktivite kaybı (örneğin enzimlerde), daha az stabil peptit bağlarının açığa çıkması nedeni ile kimyasal parçalanmaya karşı hassasiyet, protein çözeltilerinin viskozitesinde değişim, kristallenme özelliğinde değişim örnek olarak verilebilir (Deman, 1999; Gaman ve Sherrington, 1996; Belitz ve Grosch, 1999).

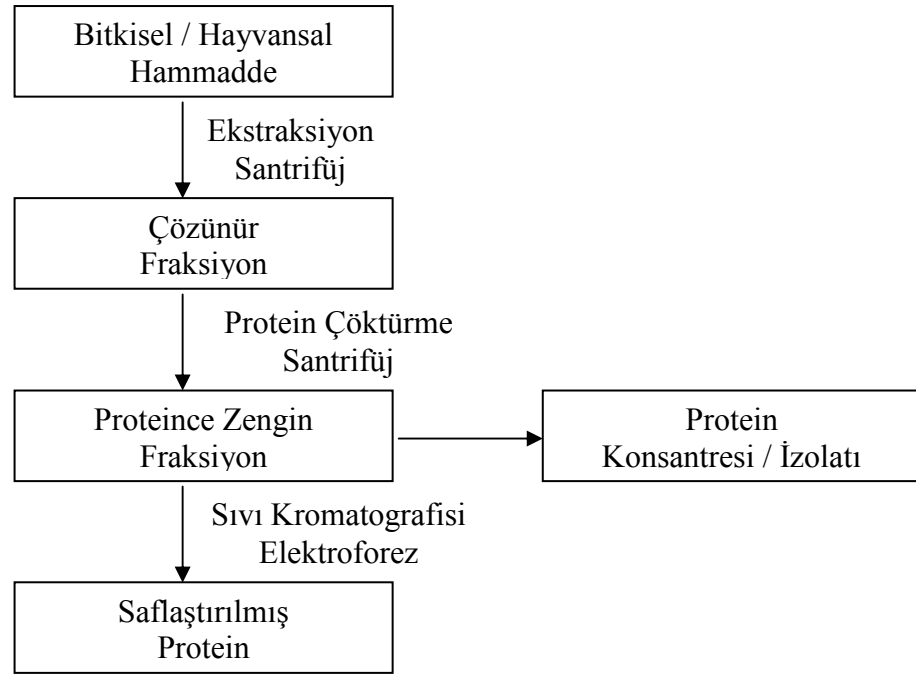


Şekil 1.3: Protein denatürasyonu

2.1 Protein Ekstraksiyonu ve İzolasyonu

Proteinlerin yapı ve fonksiyonel özelliklerinin çalışılabilmesi için proteinin, diğer proteinler ve protein olmayan bileşenlerden ayrılması gereklidir. Protein eldesindeki ilk aşama, ham maddenin uygun çözücü ile proteince zengin ürün elde etmek üzere ekstrakte edilmesidir. Proteince zengin ürün, gıda formülasyonlarında çeşitli fonksiyonel özellikleri ile kullanılabilir (Romero-Baranzini ve diğ., 1995). Gıda proteinlerinin ekstrakte edilmesinde, protein yapısına ve fonksiyonel özelliklerine, özellikle gıda sistemindeki çözünürlüğüne olan olumsuz etkileri nedeniyle organik çözümler nadiren kullanılmaktadır. Sıvı ekstraksiyon işlemi genellikle çözünür proteinlerin çözünür olmayan malzemeden ayrılması için santrifüj işlemi takip eder. Sıvı çözelti genellikle protein dışındaki diğer biyopolimerleri de ekstrakte ettiği için santrifüj sonucu elde edilen üst faz safsızlıkların giderilmesi amacıyla başka işlemlere tabii tutulur. Bu nedenle, safsızlıkların çözümlerde kalması amacı ile üst faz diyaliz edilir veya proteinlerin çökmesi için asit çözeltisi ile muamele edilir. Bir miktar safsızlıklar protein ile birlikte çökebilirler (Aluko, 2004; Li-Chan, 2004). Bu tip ekstraksiyon ve çöktürme işlemleri ile elde edilen bu tür ürünlere protein konsantresi ve protein izolatu adı verilir. Konsantreler en az %65 (k.b.) protein içeriğine, izolatlar ise en az %90 (k.b.) protein içeriğine sahiptirler. Protein konsantreleri ve izolatları, çeşitli gıda ürünlerinin üretiminde kullanılan ana bileşenlerdir.

Protein konsantreleri ve izolatları, yüksek derecede homojenliğe sahip tek bir proteinin izole edilmesi amacı ile çeşitli saflaştırma işlemlerine tabii tutulabilir. Saflaştırma işlemi, proteinlerin büyüklük, hidrofobik özellik ve iyonik özellikler gibi moleküler özelliklerine bağlı olarak ayrılmasını içerir. Saflaştırılmış proteinler, proteinlerin amino asit diziliminin ve üç boyutlu yapısının belirlenmesinde kullanılabilirler. Şekil 1.4’de protein ekstraksiyon, izolasyon ve saflaştırma işlemlerinin basitleştirilmiş özeti bulunmaktadır (Aluko, 2004).



Şekil 1.4: Protein ekstraksiyon, izolasyon ve saflaştırma işlemleri (Aluko, 2004)

2.1.1 Ekstraksiyon işlemi etkileyen faktörler

2.1.1.1 Hammaddenin kaynağı

Protein izolasyon işlemi gerçekleştirilmeden önce genellikle yüksek yağ içeriğine sahip olan hammaddenin yağı uzaklaştırılmalıdır. Yağın uzaklaştırılması ile protein ekstraksiyonu sırasında emülsiyon oluşumu engellenir. Yağı uzaklaştırmak için, hekzan (Klockeman ve diğ., 1997; Khalil, 1998; Wasche ve diğ., 2001; El-Adawy ve diğ., 2001) ve petrol eteri (Singh ve Singh, 1991), aseton (Chau ve diğ., 1997; Sze-Tao ve Sathe, 2000) gibi çözümler ve mekanik preslerden (Shrestha ve diğ., 2002; Moure ve diğ., 2002) yararlanır. Yüksek oranda nem ve yağ içeren hammaddeler,

yağların hekzan veya petrol eteri ile ekstraksiyonundan önce öğütülmeli ve dondurularak kurutulmalıdır (Aluko, 2004; Li-Chan, 2004).

2.1.1.2 Hammaddenin yapısı

Bazı tohum proteinleri, protein izolasyonu sırasında verimi azaltabilecek, rengin ve kokunun bozulmasına katkıda bulunabilecek veya izole edilen proteinin fonksiyonel özelliklerini azaltabilecek yüksek oranda fitat ve fenolik bileşenler içermektedirler. Örneğin, fenolik bileşikler emülsiyon ve jel özellikleri için gerekli olan protein-protein etkileşimini azaltabilirler. Bu nedenle, bu istenmeyen bileşenler protein izolasyonundan önce çeşitli işlemlerle uzaklaştırılmalıdır (Aluko, 2004). Ayçekirdeği tohum proteinlerinin fenolik bileşikleri %80'lik metanol ile uzaklaştırılmıştır (Gonzalez-Perez ve diğ., 2002). Patatesteki izolatın rengini bozan ve ekstraksiyon verimini azaltan fenolik bileşikler sodyum metabisülfid içeren su ile ekstrakte edilmektedir (Ralet ve Gueguen, 2001). Bezelyelerin içerdiği fitatlar ise fitaz enzimleri kullanılarak uzaklaştırılabilmektedir (Fredrikson ve diğ., 2001).

Yüksek oranda karbonhidrat içeren bitkisel kaynaklardan protein eldesi sırasında, protein ekstraksiyonunun kolaylaştırmak için karbonhidratların karbonhidraz enzimleri ile parçalanması gerekir (Wang ve diğ., 1999).

2.1.1.3 Protein tipi

Proteinlerin çözünürlüğü, pH ve iyonik kuvvette bağlı olarak farklı çözeltilerde farklıdır. Bu nedenle, proteince zengin fraksiyonlar, örneğin sadece istenen proteini alabilecek spesifik çözeltiler ile ekstrakte edilmesi ile elde edilebilir. Proteinler geleneksel Osborne prosedürü kullanılarak fraksiyonlarına ayrılabilir. Su ile albuminler, %5 NaCl ile globulinler, %60-90 etanol ile prolaminler veya gliadinler ve %0,4 NaOH ile glutelinler ekstrakte edilir. Pamuk tohumunun depo ve depo olmayan proteinleri farklı pH'daki çözünürlüklerinden yararlanılarak ayrı ayrı ekstrakte edilebilirler (Aluko, 2004).

2.1.2 Ekstraksiyon ve izolasyon metotları

Çeşitli kaynaklardan protein ekstraksiyonu için su, tuzlu su çözeltisi ve alkol gibi farklı çözenler kullanılabilir. Farklı ekstraksiyon ve izolasyon metotları ile

elde edilen protein konsantresi ve izolatlarının fonksiyonel özellikleri birbirinden farklı olmaktadır (Kwon ve diğ., 1996; Mwasaru ve diğ., 1999; Moure ve diğ., 2002).

Su ile ekstraksiyon metodunda, yağı alınmış protein kaynağındaki protein alkali ortamda çözündürülür. Çözünür olmayan maddeler (şeker, aroma ve koku bileşenleri gibi) santrifüj işlemi ile ortamdan uzaklaştırılır (Lqari ve diğ., 2002). Bu yöntem, antep fıstığından (Ayrancı ve Dalgıç, 1992), yer fıstığından (Rustom ve diğ., 1991), akaju cevizinden (Neto ve diğ., 2001), susamdan (Bandyopadhyay ve Ghosh, 2002), kolza tohumundan (Xu ve Diosady, 1994; Mahajan ve Dua, 1994), kanoladan (Aluko ve McIntosh, 2001), soya fasulyesinden (Ogora ve diğ., 1992; Chove ve diğ., 2001), ayçiçeği tohumundan (Ordonez ve diğ., 2001), keten tohumundan (Oomah ve diğ., 1994), güvercin bezelyesinden (Mizubuti ve diğ., 2000), nohuttan (Romero-Baranzini ve diğ., 1995; Sanchez-Vioque ve diğ., 1999), domates tohumundan (Sogi ve diğ., 2002) protein ekstraksiyonunda başarılı olarak uygulanmıştır.

Tohum protein konsantreleri, unun %50–60 alkol çözeltisi ile ekstraksiyonu ile de elde edilebilmektedir. Bu proses ile gıda ürünlerinin katılımının elverişli olduğu kremamsı bir protein ürünü elde edilir. Fakat alkol ekstraksiyonu ile elde edilen protein konsantresi, su ile ekstrakte edilen ile kıyaslandığında daha az biokimyasal kaliteye ve daha düşük azot çözünürlüğüne sahiptir. Bu olgu, doğal proteinlerin alkol ile belli bir derecede denatüre olmasından kaynaklanmaktadır. Bu ekstraksiyon metodu, patates (Koningsveld ve diğ., 2002) ve mısır (Parris ve diğ., 2002) proteini eldesinde kullanılmıştır.

Diğer bir protein ekstraksiyon metodu olan tuz çözeltisi ile ekstraksiyon metodunda, proteinler en az 0,2 iyonik kuvvete sahip olan tuz çözeltisi ile ekstrakte edilir. Proteinler, iyonik kuvvetin su ile seyreltme ile azalması ile miseller şeklinde çökerler. Bunun nedeni, proteinlerin çözünürlüğünün ortamda bulunan tuz konsantrasyonuna hassas olmasıdır. Düşük iyonik kuvvetlerde, protein çözünürlüğü tuz konsantrasyonu ile artmaktadır. Diğer yandan yüksek iyonik kuvvetlerde ise protein çözünürlüğü azalmaktadır. Tuzlar, çöktürülmüş proteinden diyaliz metodu ile uzaklaştırılabilirler. Bu amaçla, NaCl, KCl, CaCl₂, Na₂SO₄, NH₄(SO₄)₂ ve MgSO₄ gibi farklı tuz çözeltileri kullanılabilir. En yaygın olarak kullanılan tuz çözeltisi, amonyum sülfattır. Acı bakladan (El-Adawy ve diğ., 2001), domates çekirdeğinden (Liadakis ve diğ., 1998), keten tohumundan (Krause ve diğ., 2002),

güvercin bezelyesinden (Mwasaru ve diğ., 1999) sodyum klorür ile ekstraksiyon metodu ile protein elde edilmiştir.

Proteinler, pH veya iyonik kuvvetin değiştirilmesi veya çeşitli organik solventlerin ilavesi ile çöktürülebilirler. Birçok gıda proteini izoelektrik noktasında çözünür değildir. İzoelektrik noktada çöktürme yönteminde asit kullanılarak protein çözeltisinin pH'ı proteinlerin çözünürlüğünün en düşük olduğu pH değeri olan izoelektrik pH değerine ayarlanır, böylece proteinlerin çökmesi sağlanır. Bu yöntemin en büyük avantajı, kimyasal maliyetinin düşük olması, gerekli cihazların basitliği ve çökme pH'larının dikkatli kontrolü ile proteinlerin fraksiyonlarına ayrılabilmesidir. Dezavantajı ise, çöktürme ve santrifüj işlemlerinin proteinin çözünürlüğünde modifikasyonlara yol açabilmesidir (Sanchez-Vioque ve diğ., 1999). İzoelektrik noktada çöktürme metodu, ceviz (Sze-Tao ve Sathe, 2000), antep fıstığı (Ayrancı ve Dalgıç, 1992), yer fıstığı (Kim ve diğ., 1992), akaju cevizi (Neto ve diğ., 2001), susam (Bandyopadhyay ve Ghosh, 2002), kolza tohumu (Mahajan ve Dua, 1994), soya fasulyesi (Chove ve diğ., 2001), ayçiçeği tohumu (Ordenez ve diğ., 2001), keten tohumu (Oomah ve diğ., 1994), nohut (Sanchez-Vioque ve diğ., 1999), buğday embriyosu (Ge ve diğ., 2000), domates çekirdeği (Liadakis ve diğ., 1995), mango (Arogba, 1997) proteinlerinde başarılı olarak uygulanmıştır. Miselizasyon metodu ile elde edilen protein izolatları, izoelektrik çöktürme ile elde edilenlere göre verimi düşük ama daha az denatüre durumdadırlar. Mwasaru ve diğ. (1999), miselizasyon tekniği ile elde edilen börülce proteinlerinin çözünürlüğünün, yağ ve su tutma kapasitelerinin, emülsiyon ve jel özelliklerinin, izoelektrik çöktürme ile elde edilenlere göre daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Fakat miselizasyon tekniği ile elde edilen proteinler daha düşük köpük özelliğine sahiptirler. El-Adawy ve diğ. (2001), acı bakla protein izolatu için benzer sonuçları elde etmiştir.

Aseton, etanol, metanol ve butanol, proteinlerin çöktürülmesinde kullanılan su ile karışabilir organik çözümlerdir. Etanol, uygun fiyata sahip olması, su ile yüksek oranda karışabilmesi, yüksek uçuculuk özelliği ve düşük toksisitesi gibi özellikleri nedeniyle protein fraksiyasyonu için tercih edilen bir çözümdür (Li-Chan, 2004).

Proteinler çöktürme metodu dışında ultrafiltrasyon metodu gibi yeni metotlar kullanılarak da izole edilebilirler. Ultrafiltrasyon ile ayırma metodunda proteinler partikül büyüklüğüne veya molekül ağırlığına göre ayrılırlar. Bu metot, izoelektrik

öktürme metodunun dezavantajını ortadan kaldıran bir metottur. Çünkü çözülmüş proteinler ultrafiltrasyon ile ayırma metodu ile %25'e kadar konsantre edilir, böylece santrifüje gerek duyulmadan direkt kurutulabilir. Böylece elde edilen proteinlerin doğal yapılarında değişim söz konusu olmaz. Uygun seçici membranlar kullanılarak proteinler ultrafiltrasyon ayırma metodu ile fraksiyonlarına ayrılabilir. Bu yöntem literatürde Şile fıındığı (Moure ve diğ., 2002), kolza tohumu (Xu ve Diosady, 1994), nohut (Romero-Baranzini ve diğ., 1995) gibi az sayıda çalışmada kullanılmıştır.

3. PROTEİNLERİN FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

Tüketicilerin tercihinde, gıdanın besinsel özelliklerinin yanı sıra görünüş, renk, aroma ve doku gibi duyuşal özellikleri de önemli yer tutar. Proteinler, bazı gıda ürünlerinin duyuşal özelliklerine önemli katkıları sağlarlar. Örneğin, fırıncılık ürünlerinin duyuşal özellikleri buğday glütenuinin viskoelastik özellikleri ile ilgilidir, kazein misellerinin kolloidal özellikleri süt ürünlerinin dokusal yapısını oluşturur, kekin dokusal yapısı ise yumurta beyazının köpük oluşturma özelliğinden kaynaklanmaktadır, et ürünlerindeki dokusal yapıyı ise kas proteinleri oluşturmaktadır (Damodaran, 1996).

Proteinlerin fonksiyonel özellikleri, gıdaların hazırlanması, işlenmesi, depolanması ve tüketimi sırasında proteinlerin davranışlarını etkileyen ve gıdanın kalitesi ve duyuşal özelliklerine katkıda bulunan fizikokimyasal özellikleri olarak tanımlanmaktadır (Hui 1992; Zayes 1997; Sikorski, 2002). Proteinler, içinde bulunduğu ortamdaki çözgen, iyonlar, diğer proteinler, polisakkaritler ve lipidler ile etkileşime girerek gıdanın fiziksel özelliklerini değiştirmektedir. Proteinin çözünürlüğü, su tutma kapasitesi, yağ bağlama özelliği, köpük oluşturma kapasitesi ve stabilitesi, emülsiyon kapasitesi ve stabilitesi ve jel oluşturma gibi bazı özellikler, ürün kalitesine önemli etkileri olan fonksiyonel özelliklerdir (Damodaran, 1996; Hall, 1996; Damodaran, 1997; Zayes, 1997). Tablo 3.1'de görüldüğü gibi et, süt ve yumurta proteinlerinin içecekler, unlu mamuller, et ürünleri ve tatlılarda geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır (Damodaran, 1996). Gıda ürünlerinin duyuşal özelliklerine katkıda bulunan proteinlerin fonksiyonel özellikleri sadece tek bir fizikokimyasal özellik ile açığa çıkmamaktadır, birden fazla özelliğın etkileşimi ile gerçekleşir. Örneğin, yumurta beyazı köpük, emülsiyon, jel oluşturma ve su tutma gibi birçok fonksiyonelliği ile gıda uygulamalarında en sık kullanılan proteindir (Damodaran, 1994).

Tablo 3.1: Gıda proteinlerinin gıda sistemlerindeki fonksiyonel özellikleri¹

Fonksiyon	Gıda Sistemi	Protein Kaynağı
Çözünürlük	İçecekler	Peynir altı suyu proteini
Viskozite	Çorbalar, et suları, salata sosları	Peynir altı suyu proteini
Su Bağlama	Sosisler, kekler, ekmekler	Kas ve yumurta proteini
Jel Oluşturma	Etler, jeller, kekler, unlu ürünler, Peynir	Kas, yumurta ve süt proteini
Emülsiyon Oluşturma	Sosisler, çorbalar, kekler, soslar	Kas, yumurta ve süt proteini
Köpük Oluşturma	Çırpılmış pasta süslemeleri, dondurma, kekler, tatlılar	Yumurta ve süt proteini
Yağ ve Aroma Bağlama	Et ürünleri, unlu ürünler, donutlar	Yumurta ve süt proteini
Elastiklik	Et , unlu ürünler	Kas proteini

¹ Damodaran (1994)'den alınmıştır.

Dünya protein ihtiyacının büyük bölümü, hububat, baklagil ve yağlı tohum proteinleri gibi bitkisel proteinlerden temin edilmektedir. Bitkisel kaynaklı proteinlerin ucuz olmasına ve bol bulunmasına rağmen gıda ürünlerinde kullanımı sınırlıdır. Buna rağmen, gıda sanayiinin daha ucuz protein kaynaklarına olan taleplerindeki artış, araştırmacıları yeni protein kaynakları arayışına yöneltmiştir (Damodaran, 1997).

Bu bölümde proteinlerin bazı fonksiyonel özellikleri ve bu özellikleri etkileyen faktörler incelenmektedir.

3.1 Çözünürlük

Protein çözünürlüğü, protein içeren ürünün belirli koşullar altında içerdiği çözünür haldeki azot miktarı olarak tanımlanır (Vojdani, 1996). Yeni protein bileşenleri geliştirilirken ve test edilirken ilk olarak genellikle protein çözünürlüğü test edilir. Protein çözünürlüğü, diğer fonksiyonel özellikler ile ilişkili olan bir fizikokimyasal

özelliğidir (Zayes, 1997). Örneğin, optimum jel, köpük ve emülsiyon yapma özelliğine sahip bir gıda elde edebilmek için oldukça yüksek çözünürlüğe sahip bir protein tercih edilmelidir (Damodaran, 1997). Çözünürlük, proteinlerin sıvı gıdalarda ve içeceklerde kullanımı için en temel karakteristiktir (Zayes, 1997).

Genellikle saf proteinler için pH-protein çözünürlük eğrileri U-şeklinde ve en düşük çözünürlük değeri izoelektrik pH değerinde gerçekleşmektedir. Protein çözünürlüğü, izoelektrik pH değerine kadar azalmaktadır ve sonrasında bazik pH değerlerine doğru yükselmektedir (Bilgi ve Çelik, 2004). Benzer eğriler, keten tohumu (Krause ve diğ., 2002), karabuğday yulafı (Zheng ve diğ., 1998), kaju fıncığı (Neto ve diğ., 2001), ve baklagil (Fernandez-Quintela ve diğ., 1997) proteinleri için de elde edilmiştir. Peynir altı suyu protein konsantrisi ve kazeinat gibi protein karışımları için farklı pH-çözünürlük eğrileri elde edilebilir (Inyang ve Nwadiimkpa, 1992; Ge ve diğ., 2000).

Proteinler çözelti içinde izoelektrik pH değerinde sıfır elektrostatik yüke sahiptirler. Protein-protein etkileşimleri, elektrostatik güçlerin minimum olması nedeniyle artmaktadır ve daha az su molekülü protein molekülü ile etkileşime girebilmektedir. Bu koşul, proteinlerin çöktürülebilmesi için en uygun koşuldur (Hall, 1996). Yapılan çalışmalarla izoelektrik nokta, arpa proteini, nohut proteini ve kolza tohum proteini için pH 6 (Xu ve Diosady, 1994; Sanchez-Vioque ve diğ., 1999; Bilgi ve Çelik, 2004), pirinç kepeği, bezelye proteini ve susam proteini için ise pH 4 (Inyang ve Nwadiimkpa, 1992; Wang ve diğ., 1999; Fuhrmeister ve Meuser, 2003) olarak belirlenmiştir. İzoelektrik pH değerinin altındaki ve üstündeki değerlerde protein negatif veya pozitif yüke sahiptir ve daha fazla su protein yükleri ile etkileşime girer. Çok yüksek ve çok düşük pH değerlerinde elektrostatik bağların azalması nedeniyle proteinler denatüre olabirler (Hall, 1996). Çözünürlük ve ekstraksiyon verimi, bazik pH değerlerinde asidik koşullara göre daha yüksektir (Zayes, 1997).

Genellikle, protein çözünürlüğü 0°C ile 40-50°C arasındaki değerlerde sıcaklık ile artmaktadır. Sıcaklık 40-50°C üzerindeki değerlere çıktığı zaman protein denatüre olur ve denatürasyon geri dönüşümsüz olarak çözünürlükte azalmaya neden olmaktadır (Hall, 1996; Zayes, 1997). Protein çözünürlük profilleri, işleme sırasındaki protein denatürasyon miktarını gösteren etkin indikatörlerdir ve emülsiyon, jel, köpük oluşturma ve ekstraksiyon proseslerinde ticari koşulların

kontrol edilmesinde kullanılırlar. Birçok gıda protein konsantresi ve izolatu, minimum düzeyde ısıl işlem görmüş unlardan hazırlanmaktadır (Zayes, 1997). Protein çözünürlüğü 50°C ile 90°C arasındaki sıcaklık değerlerinde azalmaktadır ve düşük pH değerlerinde bu düşüş daha etkin olarak gözlenmektedir (Hall, 1996). Kolza tohumundaki antibesinsel bileşenleri yok etmek için uygulanan haşlama ve buhar uygulaması gibi işlemler nedeniyle kolza proteininin çözünürlüğünde azalma gözlenmektedir (Mahajan ve Dua, 1994). Pirinç kepeği ile yapılan çalışmada ekstraksiyon sıcaklığındaki artış asidik pH değerlerinde çözünürlüğü etkilememektedir ancak bazik pH değerlerinde azalmaya neden olmaktadır (Gupta ve diğ., 2008). Benzer sonuçlar, ısıl işlem görmüş yerfıstığı unu (Aminigo ve Ogundipe, 2003) ve ısıl işlem görmüş kaju fıstığı (Neto ve diğ., 2001) için de elde edilmiştir.

Dokularda proteinler saf su içinde bulunmamaktadırlar, fakat albumin gibi bazı proteinler saf suda çözünebilmektedirler. Birçok biyolojik sistemde iyonik kuvvet yaklaşık olarak 0,15 M NaCl değerine eşittir. Tuz konsantrasyonunun çözünürlüğü azaltıcı etkisi, asidik pH değerlerinde bazik pH değerlerine göre daha etkindir. Bu protein-protein ve protein-su etkileşimi ile açıklanabilir. Düşük pH değerlerinde proteinler karboksil grupları nedeniyle pozitif yüklü hale gelirler. NaCl ilavesi ile negatif yüklü Cl⁻ iyonları pozitif yüklü proteinler ile etkileşerek elektrostatik çekimde azalmaya neden olurlar. Hidrofobik etkileşimlerin artması ile proteinler çözünür olmayan yapılar oluşturmaya çalışırlar. Bu da çözünürlükte azalmaya neden olur (Massoura ve diğ., 1998; Bilgi ve Çelik, 2004). Mwasaru ve diğ. (2000) yaptıkları çalışmada ise, börülce fasulyesi ve güvercin bezelyesinden elde edilen proteinlerin çözünürlüklerinin düşük pH değerlerinde NaCl konsantrasyonundaki artış ile azaldığı fakat yüksek pH değerlerinde ise arttığını gözlemlemişlerdir. NaCl konsantrasyonundaki artış ile çözünürlük profilleri değişmektedir. Çözünürlük eğrileri, dar düşük çözünürlük alanına sahip daha sivri uçlu eğriler haline dönüşmektedir. Proteinler, tuz konsantrasyonundaki artış ile pH değişimine daha hassas hale gelmektedirler. Yüksek tuz konsantrasyonlarında, su moleküllerinin çoğu tuz iyonlarına bağlanmaktadır. Bu, protein-protein etkileşiminin protein-su etkileşiminden daha kuvvetli olmasına neden olur ve proteinlerin çökmesi ile sonuçlanır (Hall, 1996).

Çözelti içindeki bazı iyonlar ve karışabilir organik çözenler, proteinlerin çözürlük davranışlarını etkilemektedirler. Fitat, kalsiyum ve çinko varlığı, soya protein konsantrisinde olduğu gibi çözürlüğü değiştirmektedirler. Proteinlerin çözürlüğü etanol, metanol ve aseton gibi su ile karışabilen organik çözücüler ile azalmaktadır. Bu çözenler yüksek sıcaklıkta proteinleri denatüre ederler (Hall, 1996).

Lipidler, emülsiyon sistemlerinde proteinler ile etkileşime girmektedirler. Lipidlerin apolar alifatik grubu ile proteinlerin hidrofobik gruplarının etkileşimi ile protein-su çözürlüğünü azaltmaktadır (Hall, 1996). Gıda sistemlerinde, karışık bir yapı bulunmaktadır. Gıda içindeki diğer bileşenler protein ile etkileşerek gıdanın fonksiyonelliğine katkıda bulunurlar. Protein-protein, protein-lipid, protein-karbonhidrat etkileşimleri proteinlerin çözürlüğünü ve de diğer fizikokimyasal özelliklerini etkilemektedir (Hall, 1996). Mahajan ve Dua (1994) yaptıkları çalışmada, kolza tohumundan yağ uzaklaştırma işleminin protein çözürlüğünü %40 oranında arttırdığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca yağ uzaklaştırma işlemi için kullanılan petrol eteri ve hekzan çözenlerinin çözürlüğe etkisinin aynı olduğu belirlenmiştir.

Çözürlük, protein konsantrasyonunun bir fonksiyonudur. Birçok protein, çözeltiler içinde belli bir çözürlüğe sahiptirler. Püskürterek kurutulan ve dondurularak kurutulan bakla proteinlerinin çözürlükleri artan konsantrasyon ile azalmaktadır (Cepeda ve diğ., 1998)

Ekstraksiyon pH'ı, protein konsantrasi veya izolatu elde etmek için kullanılan yöntem (izoelektrik çöktürme, misellizasyon veya membran ayırma) ve kurutma gibi proses koşulları protein çözürlüğünü etkilerler. Kolza tohumu ve buruşuk bezelyeden membran ayırma metodu ile elde edilen proteinin çözürlük özelliklerinin, izoelektrik çöktürme ile elde edilenlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Mahajan ve Dua, 1994; Fuhrmeister ve Meuser, 2003). Aynı zamanda börülce ve güvercin bezelyesinden ve de keten tohumundan misellizasyon metodu ile elde edilen protein izolatlarının, alkali ekstraksiyon ve izoelektrik noktada çöktürme ile elde edilenlere göre çözürlükleri daha yüksektir (Mwasaru ve diğ., 1999; Krause ve diğ., 2002). Diğer yandan çöktürme işlemi için kullanılan farklı metotların

çözünürlüğe etkisinin olmadığı belirlenmiştir (Mahajan ve Dua, 1994). Benzer sonuçlar soya protein izolatu için de elde edilmiştir (Ogara ve diğ., 1992).

Mekanik işlemler, hidrostatik basınç, ışınlama, kurutma ve adsorpsiyon gibi fiziksel parametreler proteinlerin çözünürlüğünü etkilerler. Proteinleri denatüre edebilecek bu parametreler dikkate alınmalıdır (Hall, 1996). Bakla proteinin kurutulmasında kullanılan kurutma metodunun etkisi incelendiğinde, püskürtülerek kurutulan proteinlerin çözünürlüğünün dondurularak kurutulan proteine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Cepeda ve diğ., 1998).

3.2 Su ve Yağ Tutma Özellikleri

Gıdaların su tutma kapasiteleri, belirli koşullar altında gıda maddesi tarafından tutulan su miktarı olarak tanımlanmaktadır. Su tutma kapasitesi gıdada özellikle et ürünleri ve pişirilmiş hamurlarda doku oluşumunda önemli role sahiptir (Zayes, 1997). Protein bazlı gıdaların su tutma kapasitelerinin belirlenmesi, hem satışa sunulan ürünler için hem de yeni ürün geliştirmek için çok önemlidir. İşlenmiş gıda ürünlerinde protein formülasyona ilave ediliyorsa proteinin su tutma kapasitesi mutlaka belirlenmelidir. Birçok ticari ürün %50 hatta bazen %95 oranında su içerebildiğinden iyi bir su tutma kapasitesi çok gereklidir. Su tutma oranı düşük formülasyonlarda, işleme sırasında (pişirme, dondurma vb.) sıvı ayrılması gözlenir. Yüksek su tutma kapasitesine sahip protein bileşeni formülasyondaki diğer bileşenlerin kurummasına neden olur (Barbut, 1996; Zayes, 1997).

Su tutma kapasitesinin belirlenmesi için kullanılan standart yöntemde (AACC 88-04, 1983), örnek su ile ıslatıldıktan sonra düşük hızda santrifüjlenerek sıvı faz atılmakta ve örnekte kalan su, örneğin ağırlığındaki artıştan hesaplanmaktadır. Su tutma kapasitesi presleme, donma noktası tayini veya sorpsiyon izotermelerinin saptanması suretiyle de belirlenebilmektedir (Barbut, 1996; Arogba, 1999).

Su tutma özelliği, protein moleküllerinin bileşimi ve yapısal özelliklerine bağlıdır. Su molekülü ile proteinin hidrofilik grubu arasında hidrojen bağı oluşur. Su, proteinin polipeptid grupları arasındaki hidrojen bağlanmaları ile tutulur. Su tutma özelliği, amino, karboksil, hidroksil, karbonil ve sülfidril gibi polar hidrofilik gruplara bağlıdır. Proteinlerin su tutma kapasiteleri, polipeptid zinciri içindeki bu grupların

sayısı ve türünden etkilenmektedir. Proteinlerin su tutma özellikleri amino asit kompozisyonlarından tahminlenebilir (Zayes, 1997).

Su tutma özellikleri pH değişiminden kuvvetli bir şekilde etkilenmektedirler. Proteinlerin su tutma kapasiteleri, net elektriksel yükün sıfır olduğu ve protein-protein etkileşiminin maksimum olduğu izoelektrik noktada en düşük değere sahiptirler. Protein çözeltisinin pH'ının değişimi, protein molekülündeki yük taşıyan grupların değişimine yol açarlar. pH'daki değişim, proteinlerin yapısal özelliklerinde değişikliğe neden olarak su bağlanan bölgelerin açığa çıkmasına veya gizlenmesine neden olur. Proteinlerin su tutma özellikleri işlenmeleri sırasında değişebilmektedir. Su tutma kapasitesi sıcaklık arttıkça azalmaktadır (Zayes, 1997).

Hayvansal proteinler, bitkisel proteinlere göre daha yüksek azot içerikleri nedeniyle daha iyi su tutma kapasitesine sahiptirler (Zayes, 1997). Bazı proteinlerin su tutma kapasiteleri Tablo 3.2'de verilmiştir (Damodaran, 1996).

Tablo 3.2: Bazı proteinlerin su tutma kapasiteleri¹

Protein	Su Tutma Kapasitesi (g su/g protein)
Saf Proteinler	
Ribonükleaz	0,53
Lizozim	0,34
Miyogloblin	0,44
Lactoglobulin	0,54
Kromotripsonejen	0,23
Serum albumin	0,33
Hemoglobin	0,62
Kolojen	0,45
Kazein	0,40
Ovalbumin	0,30
Ticari proteinler	
Peynir altı suyu protein konsantresi	0,45-0,52
Sodyum kazeinat	0,38-0,92
Soya proteini	0,33

¹ Damodaran (1996)'den alınmıştır.

Yağların proteinlere bağlanması, gıdaların dokusal ve diğer kalite özelliklerini etkilemektedir. Protein tozlarında yağ tutma özelliği, toz partiküllerinin büyüklüğünden etkilenmektedir. Düşük yoğunluğa ve küçük partikül boyutuna sahip

protein tozları, yüksek yoğunluklu protein tozlarına göre daha fazla yağ absorplarlar. Yağ bağlanma mekanizması, protein malzemesinin mikro yapısı hakkındaki bilgiler ile açıklanabilir. Protein moleküllerinin polar olmayan bölgeleri, yağ-protein etkileşiminin gerçekleştiği birincil bölgelerdir. Yağ-protein etkileşimleri, hidrofobik, elektrostatik, hidrojen ve kovalent olmayan bağlar içerirler. Çözünür olmayan ve hidrofobik proteinler yüksek yağ tutma kapasitesine sahiptirler (Zayes, 1997).

3.3 Emülsiyon Özellikleri

Emülsiyon, birbiri ile karışmayan iki sıvı karışımından birinin diğeri içinde küçük damlacıklar halinde dağıtılması olarak tanımlanır. Emülsiyon oluşturma işlemi, birçok hazır gıdanın üretiminde kaliteyi belirleyen önemli bir işlem basamağıdır (Fellows, 2000). Gıda emülsiyonları, yağda su (w/o) veya suda yağ (o/w) tipleri şeklinde olabilirler. Yağda su ve suda yağ emülsiyonları arasındaki fark suda yağ emülsiyonları kremi bir yapı gösterirken yağda su emülsiyonları ise yağlı özelliğe sahiptirler (Zayes, 1997; Sikorski, 2002).

Proteinler emülsiyon oluşturma ve stabilize etmeye katkıda bulunurlar. Mayonez, sosis, salam, kek karışımı, salata sosları, dondurma gibi çok sayıdaki gıda maddesi emülsiyon, köpük, çözelti halinde bulunmaktadır. Bu sistemlerde proteinler, karbonhidratlar ve lipidlerle beraber önemli stabilizatörlerdir (Zorba ve diğ., 1998).

Proteinlerin emülsiyon özelliklerini tanımlamak için emülsiyon kapasitesi, emülsiyon stabilitesi ve emülsiyon aktivitesi gibi tanımlar kullanılır. Emülsiyon kapasitesi, protein çözeltisinin veya suspansiyonunun yağı emülsifiye edebilme kabiliyetidir ve 1 gram proteinin spesifik koşullarda emülsiyon oluşturduğu yağ miktarı (mL) ile gösterilir. Emülsiyon stabilitesi, emülsiyon damlacıklarının kremsilenme, damlaların birleşmesi ve flokülasyon olmadan çözünür kalma kapasitesidir. Emülsiyon aktivitesi ise, proteinin emülsiyon oluşturmaya katkıda bulunabilme veya emülsiyonu stabilize edebilme kabiliyetidir ve stabilize olmuş olan emülsiyonun, proteinin 1 gramındaki maksimum yüzey alanı (cm²) ile gösterilir (Zayes, 1997; Akintayo ve diğ., 1998; Mizubuti ve diğ., 2000; Aluko ve diğ., 2001).

Proteinin kaynağı, protein konsantrasyonu, pH, iyonik kuvvet, çözünürlük, sıcaklık, viskozite ve emülsiyon oluşturmada kullanılan ekipman ve metot gibi birçok faktör

ve koşul, proteinlerin emülsiyon özelliklerini etkilemektedir (Bilgi ve Çelik, 2004; Santiago ve diğ., 1998). pH, emülsiyon oluşturma özelliklerini çözünürlük, yüzey hidrofobitesi ve lipid globülleri etrafındaki koruyucu tabakanın elektriksel yükünü değiştirerek etkiler. İyonlar ise, elektrostatik etkileşimleri, yapısal özellikleri ve proteinlerin çözünürlüğünü değiştirir. Örneğin, 40-60°C'e ısıtma işlemi, protein yapısının çözünürlük kaybı olmaksızın kısmi olarak denatürasyonuna neden olur ve bu da damlacıklar etrafındaki koruyucu protein tabakasının jelleşmesine ve sürekli fazın viskozitesinin azalmasına yol açar. Bu nedenle, orta derece ısıtma işlemi ile proteinlerin emülsiyon oluşturma özellikleri geliştirilebilir (Zayes, 1997; Sikorski, 2002). Soya fasulyesinin hidrotermal olarak pişirilmesi işlemi emülsiyon özelliklerini geliştirmiştir (Wang ve Johnson, 2001).

Proteinlerin emülsiyon özelliklerinde çözünürlüğün önemli rolü vardır. Çözünürlüğü az olan proteinler, çok zayıf emülsiyon özelliği gösterirler (Damodaran, 1994). Stabil bir emülsiyon oluşturabilmek için protein malzemesinin çözünür, yüzeylerde hızlı adsorblama yeteneğine sahip olması, iyi dağılmış elektriksel yük taşıyan gruplara sahip olması, kuvvetli film oluşturma kabiliyetine sahip olması istenir. Bu özelliklere uyan ve stabil emülsiyon oluşturan protein, kazein ve peynir altı suyu proteini gibi süt proteinleridir (Zayes, 1997; Linares ve diğ., 2001). Arpa protein konsantresi (Bilgi ve Çelik, 2004) ve susam unu (Inyang ve Nwadinmpa, 1992), güvercin bezelyesi protein izolatının (Mwasaru ve diğ., 2000) emülsiyon özellikleri, çözünürlük özellikleri ile paralellik göstermektedir. Yüksek derecede çözünür olmayan proteinler, çok zayıf emülsiyon oluşturma özelliği gösterirler (Damodaran, 1994). Stabil bir emülsiyon oluşturabilmek için protein malzemesinin çözünür, yüzeylerde hızlı adsorblama yeteneğine sahip olması, iyi dağılmış elektriksel yük taşıyan gruplara sahip olması, kuvvetli film oluşturma kabiliyetine sahip olması istenir (Zayes, 1997).

Emülsiyonların stabilitesi, emülsiyon hazırlamada kullanılan protein miktarından etkilenmektedir. Düşük protein konsantrasyonunda, proteinler düşük dayanma gücüne sahip ince filmler oluştururlar (Cepeda ve diğ., 1998). İyonik kuvvet, proteinlerin emülsiyon özelliklerini etkilemektedir. Inyang ve Iduh (1996) ve Chavan ve diğ. (2001), susam protein konsantresi ve bezelye protein izolatının emülsiyon özelliklerinin artan tuz konsantrasyonu ile arttığını belirlemişlerdir.

3.4 Köpük Özellikleri

Proteinlerin stabil köpük oluşturma özelliklerinden gıda sanayiinde ekmek, kek, çırpılmış krema, dondurma ve bira gibi ürünlerde yararlanılmaktadır. Köpük, hava hücrelerinin ince ve sürekli bir sıvı faz ile ayrıldığı iki fazlı sistemlerdir (Ralet ve Gueguen, 2001). Köpükteki gaz kabarcıklarının boyut dağılımı ürünün görünümünü ve dokusal özelliklerini etkiler. Küçük kabarcıkların uniform dağılımı ürüne pürüzsüzlük sağlar (Zayes, 1997; Sikorski, 2002). Köpük oluşturma özelliğine sahip proteinlerin, düşük konsantrasyonlarda ve farklı pH aralıklarında hızlı ve etkili olarak köpük oluşturabilmeleri, yağ, alkol ve aroma bileşenleri gibi köpük inhibitörlerinin mevcut olduğu ortamlarda da etkin olabilmeleri istenmektedir (Myers ve diğ., 1994; İbanoğlu ve Karataş, 2001).

Gıda sistemlerinde köpük oluşturma amacıyla kullanılan proteinler, yumurta beyazı, jelatinler, kazein, diğer süt proteinleri, soya proteini ve glutendir. Çeşitli proteinlerin pH 8,0'daki köpük oluşturma kapasiteleri Tablo 3.3'de verilmiştir (Damodaran, 1996).

Tablo 3.3: Protein çözeltilerinin karşılaştırmalı köpük oluşturma kapasiteleri¹

Protein Tipi	% Köpük Oluşturma Kapasitesi (% 0,5'lik protein konsantrasyonunun)
Bovin serum albumin	280
Peynir altı suyu protein konsantrasyonu	600
Yumurta albumini	240
Ovalbumin	40
Bovin plazma	280
Lactoglobulin	480
Fibronojen	360
Hidrolize soya proteini	500
Jelatin	760

¹ Damodaran (1996)'den alınmıştır.

Bu geleneksel kaynaklara alternatif olabilecek yüksek köpük oluşturma kabiliyetine sahip susam (Inyang ve Nwadiukpa, 1992), nohut (Romero-Baranzini ve diğ., 1995), bakla (Fernandez-Quintela ve diğ., 1997), kavun tohumu (Khalil, 1998), kolza tohumu (Xu ve Diosady, 1994) gibi yeni bitkisel kaynaklar da bulunmaktadır.

Köpük oluşturma üç aşama içerir. Birinci aşama, globüler proteinlerin hava/su yüzeyine difuz olmaları ve yüzey gerilimini azaltmalarıdır. İkinci aşama, suya doğru olan polar parçaların oryantasyonu ile yüzeydeki proteinlerin katlanmış yapısı açılır. Proteinlerin katlanmış yapısının açılması nedeni ile sıvı ve sıvı olmayan fazlarda hidrofilik ve hidrofobik grupların oryantasyonu gerçekleşir. Üçüncü aşama ise, polipeptitler denatürasyon ve koagülasyon ile film oluşturmak için birbirini etkilerler. Proteinler yüzeyden hızla adsorbe edilirler ve kabarcıkların etrafında stabil bir film oluştururlar (Zayes, 1997).

Köpüklerdeki proteinlerin en temel fonksiyonu, yüzey gerilimini azaltmak, sıvı fazın viskoz ve elastik özelliklerini artırmak ve kuvvetli filmler oluşturmaktır. Proteinlerin köpük oluşturma kabiliyetleri, onların hava-sıvı yüzeyindeki yüzey gerilimini azaltma kapasiteleri ile orantılıdır. Gaz-sıvı ara yüzeyindeki yüzey gerilimi sıcaklıktan etkilenmektedir. Sıcaklık yükseldikçe protein konformasyonundaki değişiklik nedeniyle daha düşük yüzey gerilimi oluşur (Zayes, 1997). Gupta ve diğ. (2008), pirinç kabuğu protein konsantrasyonunun köpük özelliklerinin, ekstraksiyon sıcaklığının artması ile geliştirildiğini belirtmektedirler.

Köpük oluşturma kapasitesi, sistemin köpük oluşturma kabiliyetidir, hacimdeki artış ile ölçülür ve yüzey hidrofobikliğinden etkilenir. Köpük stabilitesi ise, baskıya direnç ile ölçülür ve filmin esnekliğinden ve reolojik özelliklerinden etkilenir. Tuzlar, şekerler ve lipidler gibi diğer sistem bileşenleri, proteinlerin özelliklerini ve sürekli fazın viskozitesini değiştirerek köpük oluşumu ve stabilitesini etkilerler (Sikorski, 2002). Susam protein izolatu (Inyang and Iduh, 1996), pirinç kabuğu protein konsantrasyonu (Gupta ve diğ., 2008), gluten proteinin (Linares ve diğ., 2001) köpük özelliklerinin artan tuz konsantrasyonu ile arttığı belirlenmiştir.

β -kazein gibi esnek moleküllere sahip proteinler yüzey gerilimini hızla azaltırlar ve iyi köpük oluşturma kapasitesi gösterirler. Diğer yandan, lizozim gibi düzenli molekül yapısına sahip olan globüler proteinler zayıf köpük oluşturma kapasitesine sahiptirler. Hava kabarcığı çevreleyen protein filmi nem kaybına dirençli olmalı ve köpük oluşumu ve depolama sırasındaki mekanik baskılara dayanabilmelidir (Zayes, 1997).

Proteinlerin köpük oluşturma özellikleri, protein kaynağı, protein izolasyonu, sıcaklık, pH, protein konsantrasyonu, karıştırma süresi ve köpük oluşturma metodu gibi proses metotları ve ısı parametrelerinden etkilenmektedir. Proteinler arasındaki elektrostatik etkileşimler en yüksek izoelektrik pH'da elde edilir ve bu noktada proteinler daha iyi köpük oluştururlar. Protein konsantrasyonu ne kadar yüksek olursa daha yoğun ve stabil köpükler elde edilebilir çünkü ara yüzey filminin kalınlığı artacaktır (Zayes, 1997). Akintayo ve diğ. (1999), güvercin bezelyesi protein konsantrasyonunun köpük özelliklerinin, düşük iyonik kuvvetli ortam, artan protein konsantrasyonu ve orta düzeydeki tuz konsantrasyonu ile geliştirildiğini belirlemişlerdir. Wang ve Johnson (2001), soya proteininin köpük özelliklerinin uygulanan hidrotermal pişirme ile geliştirilemediğini belirtmektedirler.

3.5 Jel Özellikleri

Proteinlerin jel oluşturma kabiliyetleri gıda üretiminde önemli bir fonksiyonel özelliktir. Proteinler pektin, nişasta ve gumlar ile kuvvetli jeller oluştururlar. Gıda sanayii farklı protein kaynaklarını farklı reolojik özellikler, görünüm ve jel noktasına sahip jeller oluşturmak için kullanır. Jel oluşturma, süt jelleri, et ürünleri, balık ürünleri, meyve jelleri, ekmek hamurları, tart ve pasta dolguları, koagüle yumurta beyazı gibi ürünlerin üretiminde temel prostestir. Tofu (soya fasulyesi pıhtısı), kamaboko (balık eti) ve fu (buğday gluteni), protein jellerine dayalı Uzakdoğu geleneksel ürünlerine örnektir (Matsumura ve Mori, 1996; Zayes, 1997).

Protein jellerinin en büyük özelliği katı malzeme gibi davranmaları fakat aynı zamanda sıvıların birçok özelliğini göstermeleridir. Jel oluşumu ile viskozite artar ve su tutma özelliği gelişir. Jellerin bu spesifik özellikleri, proteinlerin üç boyutlu yapısına bağlıdır (Zayes, 1997).

Jel oluşumu; protein agregasyonu ile daha fazla su tutma kapasitesine sahip, çekme ve itme kuvvetlerinin dengede olduğu iyi düzenlenmiş bir matriks yapının oluşmasıdır. Eğer çekme kuvvetleri üstün ise pıhtı oluşur ve su jel matriksinden dışarı çıkar. Eğer itme kuvvetleri üstün ise herhangi bir matriks oluşumu söz konusu değildir. Jel oluşturma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama, protein moleküllerinin konformasyonel değişimi veya kısmi denatürasyonudur. İkinci aşama ise, denatüre proteinlerin agregasyonu veya aşamalı birleşmesidir. İkinci aşamanın,

birinci aşamaya göre daha yavaş gerçekleşmesi ile iyi düzenlenmiş bir ağ örgüsü oluşabilmektedir (Matsumura ve Mori, 1996). Jel oluşumu hidrojen bağlanma, iyonik ve hidrofobik etkileşimler, Van der Waals kuvvetleri ve kovalent disülfid bağlanmaları sonucu gerçekleşmektedir. Protein jellerinin lastiksi yapısının oluşumunda çapraz bağlanmalar etkiler. Çapraz bağlanmaların sayısının azaltılması ile jel sertliği azaltılabilir. Jel kuvveti ve sertliği, jel yapısındaki polipeptitlerin amino asit kompozisyonundan çok polipeptitlerin boyutu ve şekli ile ilgilidir. Jel oluşturma sırasındaki üç boyutlu yapının geliştirilmesi, protein hazırlama metoduna, ısıtma ve soğutma hızı ve süresi gibi proses koşullarına ve pH, iyonik kuvvet gibi çevresel faktörlerden etkilenmektedir. Proteinlerin jel oluşturma kabiliyetleri, protein konsantrasyonu, amino asit kompozisyonu, molekül ağırlığı ve proteinlerin hidrofobik özelliğinden etkilenir (Zayes, 1997).

Proteinlerin jel oluşturma özellikleri gıda formülasyonundaki tuz, şeker ve yağ içeriğinden etkilenmektedir. Tuz konsantrasyonunun artışı ile protein çözünürlüğünün artması nedeniyle jel özellikleri artmaktadır. Tuz konsantrasyonunun yeterince yüksek olması durumunda jeli stabilize eden yükler nötralize olur ve jel özelliklerinde azalma gözlenir (Mwasaru ve diğ., 2000; Akintayo ve diğ., 1999). Proteinlerin jel oluşturma kabiliyetleri su tutma ve yağ bağlama gibi diğer fonksiyonel özellikleri etkiler. Jel oluşumunun emülsiyon ve köpük stabilitesinde önemli bir role sahiptir. Proteinlerin jel oluşturarak üç boyutlu yapı içinde önemli miktardaki şeker, aroma ve diğer gıda bileşenlerini tutması özelliğinden gıda proseslerinde ve yeni gıda ürünü geliştirilmesinde faydalanılmaktadır (Zayes, 1997).

Protein jellerinin kuvveti, protein konsantrasyonu artıkça artar. Jel oluşturma için gerekli olan protein konsantrasyonu, protein özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Globüler proteinler jel oluşturmak için yüksek konsantrasyonlara ihtiyaç duyarlar. Proteinlerin izoelektrik pH'larında oluşturulan jeller daha az sağlam yapıya sahiptirler. Jel kuvveti ısıtma sıcaklığından etkilenmektedir. Genellikle jel kuvveti optimum bir sıcaklık değerine kadar artmaktadır. Birçok protein için optimum sıcaklık, proteinin denatürasyon sıcaklığının biraz üzerindeki bir değerdir (Damodaran, 1994; Zayes, 1997)

3.6 Fonksiyonel Özellikleri Etkileyen Faktörler

Proteinlerin fonksiyonel özelliklerini etkileyen faktörler, etki alanlarına göre protein yapısı ile ilgili (yapısal faktörler), proteinin elde edilişi sırasında uygulanan koşullar (üretim koşulları) ve proteinin fonksiyonel özelliklerinin saptanması sırasında uygulanan koşullar (ölçüm koşulları) olmak üzere üç grupta incelenebilir.

3.6.1 Yapısal faktörler

Proteinlerin fonksiyonel özelliklerini etkileyen birçok fizikokimyasal özellik amino asit dizilimi ile ilgilidir. Bu amino asit dizilimi proteinin üç boyutlu yapısını belirler ve bu yapı, proteinin termodinamik stabilitesini, protein yüzeyindeki yük dağılımını, yüzeydeki hidrofilik ve hidrofobik alanların simetrik veya asimetrik dağılımını, protein yüzeyinin yapı haritasını belirler. Proteinlerin çoğunda, tüm hidrofilik alanlar (polar) ve yüke sahip kısımlar yüzeyde yer almasına rağmen tüm hidrofobik alanlar (polar olmayan) iç kısımda gömülü olarak bulunmamaktadırlar. Hidrofobik alanların dağılımı, molekülün şeklini ve protein yüzey yapı haritasını etkiler. Polar ve polar olmayan amino asitlerin zincirdeki oranı ve dağılımı, proteinin çözünürlüğünü, yüzey hidrofobikliğini ve köpük ve emülsiyon oluşturma kabiliyetini belirler (Hall, 1996; Pomeranz ve Meloan, 1997). Dört farklı kanola tohumundan elde edilen protein izolatının fonksiyonel özelliklerindeki farklılığın polipeptit kompozisyonundan değil protein konformasyonundaki farklılıktan kaynaklandığı belirlenmiştir (Aluko ve McIntosh, 2001). Protein konformasyonu ve protein olmayan bileşenlerin miktarı, keten tohumu protein izolatının fonksiyonel özelliklerini etkilemektedir (Krause ve diğ., 2002). Hardal tohum protein konsantresinin içerdiği yüksek molekül ağırlıklı ve disülfid bağlarına sahip polipeptitler, proteinin emülsiyon özelliklerini azaltmaktadır (Aluko, 2004).

3.6.2 Üretim koşulları etkisi

Proteinlerin fonksiyonel özellikleri, proteinin elde edilişi sırasında uygulanan işlemlerden etkilenmektedir. Örneğin, proteinlerin hangi pH'da çöktürüldüğü, sıcaklık değişimi, yağların uzaklaştırılması için çözgen ekstraksiyonu, asit/alkali/tuz ilavesi, enzim uygulaması, protein ekstraksiyon koşulları (sıcaklık, pH, iyonik kuvvet, protein-çözgen oranı, süre), kurutma ve toz ürün elde etmek için öğütme proteinin özelliklerini etkileyen etmenlerdir (Rustom ve diğ., 1991; Rustom ve diğ.,

1993; Mahajan ve Dua, 1994; Akintayo ve diğ., 1999; Neto ve diğ., 2001; Andres ve diğ., 2002; Moure ve diğ., 2002). Akaju cevizi protein izolatının su ve yağ absorplama özellikleri ısı uygulaması ile artırılmıştır fakat çözünürlüğü azalmıştır (Neto ve ark., 2001). Aynı şekilde soya protein izolatının da tüm fonksiyonel özellikleri ısı uygulamasından etkilenmektedir (Ogara ve diğ., 1992). Kolza tohumu proteinin fonksiyonel özellikleri uygulanan prosesler (yağ uzaklaştırma, kaynatma, buharla muamele etme) ile değişmektedir (Mahajan ve Dua, 1994). Güvercin bezelyesi protein izolatu eldesi sırasında ilave edilen NaCl, proteinin emülsiyon oluşturma özelliklerini geliştirmiştir (Mwasaru ve diğ., 2000). Farklı kurutma yöntemleriyle kurutulan bakla protein izolatının fonksiyonel özellikleri birbirinden farklıdır (Cepeda ve diğ., 1998). Kurutma yöntemlerinin fonksiyonel özellikler üzerine etkisi glutende incelenmiş ve molekül boyutu dağılımı ve çözünürlükte hiçbir modifikasyon olmadığı, emülsiyon özelliklerinin ise etkilendiği gözlenmiştir (Linares ve diğ., 2001).

Çözünürlük ve molekül ağırlığının kimyasal ve enzim modifikasyonu gibi bazı uygulamalar kasti olarak proteinlerin doğal yapısını değiştirmek için uygulanırlar. Hidrolizasyon sonrası iyonik grupların sayısının artması peptitleri daha çözünür hale getirir. Buna ilaveten enzimatik hidrolizasyon ile peptitlerin yüzey hidrofobiklik özelliği de artmaktadır. Hidrolizasyon sonrası oluşan peptitler sıvı veya gaz faz etrafında stabil film oluşturabilecek kadar molekül büyüklüğünü koruyabiliyorsa emülsiyon ve köpük oluşturma özellikleri enzimatik hidrolizasyon ile geliştirilmektedir. (Vioque ve diğ., 2000; Malabat ve diğ., 2001). Yerfıstığı protein izolatının α -kromotripsin enzimi ile, susam protein izolatının papain ile, kolza tohumu proteinin alkalaz ile, fonksiyonel özelliklerinde değişim meydana gelmiştir (Monteiro ve Prakash, 1994; Vioque ve diğ., 2000; Bandyopadhyay ve Ghosh, 2002; Zaghloul ve Prakash, 2002). Soya protein izolatının çözünürlüğü enzimatik modifikasyon ile artmış ve buna bağlı olarak diğer fonksiyonel özellikler de modifikasyon derecesine bağlı olarak değişmiştir (Achouri ve diğ., 1998).

3.6.3 Ölçüm koşullarının etkisi

Proteinlerin fonksiyonel özelliklerinin ölçümünde standart bir yöntem bulunmamakta ve çok farklı yöntemler kullanılmaktadır. Ayrıca ölçüm sırasında uygulanan iyonik koşullar, pH, protein konsantrasyonu, sıcaklık ve karıştırma metotları ve süresi gibi

koşulları da farklıdır (Monteiro ve Prakash, 1994). Bu nedenlerle protein fonksiyonel özellikleri, ancak aynı yöntem ve aynı koşullarda gerçekleştirilen denemelerle kıyaslanmalıdır.

İncelenmesi gereken en önemli parametre pH'dır. İzoelektrik pH değerine yakın koşullarda protein çözünürlüğü düşüktür ve bu durum diğer özellikler üzerinde de etkilidir. Çok yüksek çözünürlük değerlerinde de proteini tekrar ayrıştırmak güç olmaktadır. İyonik koşullar bazı spesifik fonksiyonel özellikleri etkilemektedir, örneğin sodyum, potasyum ve kalsiyum iyonları protein jel oluşumunda etkilidirler (Hall, 1996). Susam protein izolatının çözünürlük, emülsiyon ve köpük oluşturma özellikleri pH ve NaCl konsantrasyonu ile değişmektedir (Inyang ve Iduh, 1996).

Sıcaklık da protein yapısını ve davranışını etkileyen, özenle kontrol edilmesi gereken bir parametredir. Birçok fonksiyonellik testi oda koşullarında gerçekleştirilmektedir fakat karıştırma ve çözündürme işlemleri sırasında açığa çıkan ısı hatalı sonuçlara neden olmaktadır. Özellikle viskozite ve jel oluşturma ölçümlerinde sıcaklık kontrolü dikkatle yapılmalıdır (Hall, 1996).

Fonksiyonel özelliklerin test edilmesindeki ilk aşama proteinin çözgen içinde çözüldürülmesidir. Karıştırma koşulları özellikle çözünürlük analizlerinde çok önemlidir, çünkü ölçümler protein su ile karıştırıldıktan sonra direkt olarak ölçülmektedir. Emülsiyon ve köpük oluşturma özelliklerinde protein çözeltisinin yağ fazı veya hava fazı ile karıştırılması gerekmektedir. Bu testler için karıştırma metotları çeşitlilik göstermektedir. Su ve yağ absorplama özelliklerinde ise protein uygun ortam ile temas ettirilerek ölçülür ve bu temas şekli proteinin su ve yağ tutmasını etkiler (Hall, 1996).

Süre faktörü fonksiyonellik testlerinin iki alanında etkili olmaktadır. Birincisi karıştırma prosesinde, ikincisi ise köpük ve emülsiyon stabilitesi belirlenmesindedir. Karıştırma süresi önemlidir, çünkü test proteini yüksek kayma stresine maruz kalabilir ve ısı oluşumu söz konusu olabilir. Stabilite testleri iyi bir karşılaştırma elde edebilmek için farklı süre değerlerinde gerçekleştirilmelidir (Hall, 1996).

4. MATERYAL VE METOT

4.1 Materyal

Bu çalışmada kullanılan kırmızı biber tohumları (*Capsicum frutescens*) Agromar A.Ş.'den ve soya protein konsantresi ise Teknarom A.Ş.'den sağlanmıştır. Analizlerde kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıktadır.

4.2 Yağı Alınmış Kırmızı Biber Tohum Unu ve Yağının Hazırlanması

Kırmızı biber tohumları, 1 mm açıklıktaki elekten geçecek şekilde elektrikli öğütücüde öğütülmüştür. Tohum yağı, n-hekzan (1:5 kütle/hacim) ile 36 saat sürekli karıştırılarak tohum unundan uzaklaştırılmıştır. Tohum unu süzülerek hekzandan ayrılmış ve düşük sıcaklıkta hekzanın buharlaşması sağlanmıştır. Elde edilen un öğütülmüş ve 0,5 mm elekten elenmiş polietilen torbalara doldurulup, buzdolabında saklanmıştır.

Ekstrakte edilen yağın eldesi için, hekzan fazından, vakum altında döner buharlaştırıcı kullanılarak hekzan uzaklaştırılmış, arta kalan tohum yağı, hekzan kalıntısından arındırıldıktan sonra koyu renkli şişe içerisinde -18°C'deki derin dondurucuda analizlere kadar saklanmıştır (El-Adawy ve Taha, 2001).

4.3 Kırmızı Biber Tohumunun Tanımlanması

4.3.1 Kimyasal analizler

Kırmızı biber tohum unu, proteini ve soya protein konsantresinin protein, yağ, kül ve nem içerikleri AOAC (2000) metotlarına göre belirlenmiştir.

4.3.2 Kırmızı biber tohum yağının yağ asidi kompozisyonu

Yağ, boron trifluorit metanol kompleksi (%14 kütle/hacim) kullanılarak metil esterlerine çevrilmiştir. Karışım 100°C'de 1 saat süre ile bekletilmiştir. Reaksiyon,

0,5 mL distile su ilavesi ile durdurulmuştur. Ekstrakte edilen yağ asidi metil esterleri, gaz kromatografisi analizi için saf heptan içerisinde çözündürülmüştür. Gaz kromatografisi analizleri, alev hidrojen iyonizasyon detektörü ve kapiler kolon (HP Inovax crosslinked PEG, 30 m x 0.32 mm x 0.25 mm x 1 m) ile donatılmış olan Hewlett-Packard gaz kromatografisi ile gerçekleştirilmiştir. Kolon sıcaklığı 4°C/min hız ile 140°C'den 240°C'e çıkması için programlanmıştır. Enjeksiyon ve detektör sıcaklığı 250°C'e ayarlanmıştır. Taşıyıcı gaz olarak azot kullanılmıştır. Piklerin identifikasyonu, alıkonma süreleri ve bunların aynı koşullarda analizlenen standartlar ile kıyaslanması ile sağlanmıştır. Üç tekrarlı analizlerin pik alanları HP bilgisayar integratörü ile hesaplanmıştır (Ortega-Nieblas ve diğ., 2001; El-Adawy ve Taha, 2001; Besbes ve diğ., 2004).

4.3.3 Antioksidan aktivitesinin belirlenmesi

4.3.3.1 Fenolik bileşenlerin ekstraksiyonu

Kırmızı biber tohumunu (1 g), 100 mL %80'lik metanol ilave edildikten sonra 3 saat süreyle yatay çalkayıcıda karanlık ortamda ekstrakte edilmiştir. Daha sonra bu örnekler, 2500g ve 5 °C'de 15 dakika süreyle santrifüjlenmiştir. Hazırlanan bu ekstrakt toplam fenolik madde ve toplam antioksidan aktivitesi tayini için kullanılmıştır. Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC) için ise bu ekstrakt 0,2 µm'lik filtrelerden süzöldükten sonra HPLC sistemine verilmiştir (Sahlin ve diğ., 2004).

4.3.3.2 Toplam fenolik madde

Toplam fenolik madde tayininde modifiye edilmiş Folin-Ciocalteu kolorimetrik yöntemi kullanılmıştır (Singleton ve Rossi, 1965). Yöntemde 0,5 mL saf su, 125 µL örnek ekstraktı ve 125 µL Folin-Ciocalteu reaktifine (saf su ile 1:10 seyreltilmiş) ilave edilmiş, sonrasında 6 dakika beklenerek karışıma 1,25 mL %7,5'lik sodyum karbonat ve 1 mL su eklenmiştir. Karışım 1,5 saat boyunca karanlıkta bekletildikten sonra 760 nm'de absorbans UV-Visible spektrofotometresi (Shimadzu UV-1700 Pharmospec) kullanılarak ölçülmüştür. Deneyler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

4.3.3.3 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) toplam antioksidan tayini metodu

DPPH metodu ile örneklerin antioksidan aktiviteleri spektrofotometrik olarak tayin edilmiştir. Bu amaçla, 100 µL örnek ekstraktından alınarak 2 mL 0,1 mM DPPH (metanol içinde) ilave edilmiştir. 10 saniye çalkalamadan sonra oda sıcaklığında ve karanlık ortamda 30 dakika bekletilerek 517 nm'deki absorbans, metanol ile sıfırlamadan sonra çift ışınlı UV-Visible spektrofotometresi (Shimadzu UV-1700 Pharmospec) kullanılarak ölçülmüştür. Kontrol olarak 100 µL %80'lik metanol kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar 0,1 g/mL konsantrasyon için aşağıdaki formül (Eşitlik 4.1) ile hesaplanmış ve %DPPH Yakalama Aktivitesi olarak ifade edilmiştir. Analiz üç tekrarlı olarak gerçekleştirmiştir (Kumaran ve Karunakaran, 2006; Rai ve diğ., 2006).

$$\%DPPH \text{ Yakalama Aktivitesi} = \frac{(\text{Kör Absorbansı} - \text{Örnek Absorbansı})}{\text{Kör Absorbansı}} * 100 \quad (4.1)$$

4.3.3.4 Fenolik madde profillerinin HPLC analizi ile belirlenmesi

Bitki numunelerinin fenolik profillerini belirlemede bazı modifikasyonlar uygulanarak Dragovic-Uzelac ve diğ. (2005)'ne ait metot kullanılmıştır. Örnekler HPLC'ye her %50'lik metanol:su çözgeninde 1:1 oranında çözündürülerek 3 tekrarlı olarak enjekte edilmiştir. Kullanılan yöntemin koşulları Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Örneklerin fenolik madde profillerinin belirlenmesinde uygulanan yöntemin HPLC çalışma koşulları

HPLC sistemi:	Waters 2695 Ayırma modülü, Waters 2996 PDA dedektör
Kolon:	Supelcosil C18, 5 µm, (25 x 4,6 mm)
Mobil sistem:	Değişken (Gradient)
Mobil faz A:	%3 asetik asit - H ₂ O
Mobil faz B:	%3 asetik asit, %25 CH ₃ CN, %72 H ₂ O
Kolon sıcaklığı:	20°C
İnjesiyon hacmi:	20 µL
Dalga boyu:	278 nm (210-550 nm arası)
Yazılım	Empower Build 1154

Sonuçlar integrasyon alan hesabı ile değerlendirilmiş; alanlar, her standart için kalibrasyon eğrilerinden konsantrasyon olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.2: Örneklerin fenolik madde profillerinin belirlenmesinde uygulanan yöntemin HPLC değişken koşulları

Zaman	Başlangıç %A	Final %A	Akış Hızı
0-40 dak	%100 A	%30 A	1 mL /dak.
40-45 dak.	%30 A	%20 A	1 mL/dak.
45-55 dak.	%20 A	%15 A	1,2 mL/dak.
55-57 dak.	%15 A	%10 A	1,2 mL/ dak.
57-75 dak.	%10 A	%10 A	1,2 mL/dak.

4.4 Kırmızı Biber Tohum Proteinini Ekstraksiyon Koşullarının Optimizasyonu

4.4.1 Protein ekstraksiyonu için çözügen seçimi

Yağı alınmış tohum unu (10 g), verilmiş çözügenlerden biri – distile su, %5 NaCl, %0,5 Na₂SO₃, 0,1N NaOH, %70 etanol (çözügen/katı oranı 20:1 hacim/kütle) ile sürekli karıştırılan cam erlende 40°C sıcaklıkta 30 dakika süre ile ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon süresince süspansiyonun pH'ı 8,0 ayarlanmıştır. Çözeltiler 2700g kuvvette 20 dakika süre ile santrifüjlenmiş ve üst faz proteince zengin fraksiyon olarak toplanmıştır. Üst fazın protein içerikleri Lowry ve diğ. (1951) metodu ile tespit edilmiştir.

4.4.2 Protein ekstraksiyonu

Yağı alınmış kırmızı biber tohum unundan protein ekstraksiyonu, bir önceki aşamada belirlenen çözügen kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Protein ekstraksiyonu için optimum koşulların tespit edilmesinde tepki yüzey yöntemi kullanılmıştır. Kırmızı biber tohum proteini, sıcaklık (30°C ile 50°C), pH (7,0 ile 9,0), çözügen/un oranı (10:1 ile 30:1 hacim/kütle) ve ekstraksiyon süresi (20 ile 60 dakika) gibi bağımsız değişkenlerin 29 farklı kombinasyonu kullanılarak ekstrakte edilmiştir. Yağı alınmış tohum unu (10 g), sürekli karıştırılan cam erlende distile su ile ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon süresince süspansiyonun pH'ı 0,1N NaOH veya 0,1N HCl ile ayarlamak suretiyle sabit tutulmuştur. Sıcaklık su banyosu ile istenilen sıcaklığa

ayarlanmıştır. Herbir deney sistemi için koşullar Ek A'da (Tablo A.1) verilmiştir. Çözeltiler 2700g kuvvette 20 dakika süre ile santrifüjlenmiş ve üst faz toplanmıştır. Üst fazın protein içeriği Lowry ve diğ. (1951) metodu ile belirlenmiştir. Tüm deneyler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

4.4.3 Deneysel tasarım ve istatistiksel analiz

Dört bağımsız değişkenin etkilerinin belirlenmesi ve protein ekstraksiyonundaki optimum koşulların bulunması için tepki yüzey metodu kullanılmıştır. Proses değişkenleri ve tepkileri, yayınlanmış verilerden elde edilmiştir (Rustom ve diğ., 1991; Oomah ve diğ., 1994; Liadakis ve diğ., 1995; Liadakis ve diğ., 1998; Mizubuti ve diğ., 2000; Moure ve diğ., 2002; Quanhong ve Caili, 2004). Kırmızı biber tohum proteini izolasyonunda sıcaklık (x_1), pH (x_2), ekstraksiyon süresi (x_3) and çözgen/un oranı (x_4) değişkenlerinin etkisi incelenmiştir. Herbir değişken beş düzeyde incelenmiş ve kodlanmıştır: -2, -1, 0, 1, 2 (Tablo 4.3).

Değişkenler aşağıdaki eşitliğe bağlı olarak kodlanmıştır:

$$X_i = (x_i - \bar{x}_i) / \Delta x_i \quad (4.2)$$

Burada, X_i bağımsız değişkenin boyutsuz değeri, x_i bağımsız değişkenin gerçek değeri, \bar{x}_i bağımsız değişkenin orta noktasındaki gerçek değeri, Δx_i düzey değişim aralığını simgelemektedir.

Tepki olarak ölçülen protein verimi, ekstraktaki çözünen protein miktarının 100 g yağsız una oranı olarak tanımlanmış ve yüzde olarak ifade edilmiştir. İkinci dereceden model için merkezi kompozit tasarım düzenlenmiştir (Nakai ve diğ., 2006) (Tablo A.1). Merkezi kompozit tasarım, 2^n faktöriyel tasarım ile koordinatları verilen hiperkübün dikey kenarlarını (deney no 1-16) yıldız noktaları ile birleştirir (deney no 17-24). Yıldız noktaları faktöriyel tasarıma modelin eğriliğini tahminlemeyi sağlamak amacı ile ilave edilmiştir. Tasarımın merkezi noktasındaki altı tekrar (deney no 25-29), kareler toplamının saf hatasını tahminlemeyi sağlamak için kullanılmıştır. Tüm deneyler, tepkiye dış faktörlerin etkisini minimum yapabilmek için rastgele düzen ile gerçekleştirilmiştir.

Tepki (Y) için önerilen model:

$$Y = b_0 + \sum_{n=1}^4 b_n X_n + \sum_{n=1}^4 b_{nn} X_n^2 + \sum_{n \neq m=1}^4 b_{nm} X_n X_m \quad (4.3)$$

Burada, b_0 tasarımın merkez noktasındaki (0,0,0,0), b_n eşitliğin doğrusal kısmını açıklayan katsayıları, b_{nn} faktörlerin kendi aralarındaki etkileşimi ve b_{nm} faktörlerin birbiri ile etkileşimini gösteren katsayıları belirtmektedir.

Tablo 4.3: Merkezi kompozit tasarım için değişkenler ve düzeyleri

Değişken	Sembol	Kodlanmış değişken düzeyleri ¹				
		-2	-1	0	1	2
Sıcaklık (°C)	x_1	30	35	40	45	60
pH	x_2	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0
Ekstraksiyon süresi (dakika)	x_3	20	30	40	50	60
Çözgen/un oranı (hacim/kütle)	x_4	10:1	15:1	20:1	25:1	30:1

¹ Kodlanmış değişkenlerin (X_i) düzeylerinin gerçek değişken (x_i) düzeylerine dönüştürülmesi için kullanılan eşitlikler: $x_1 = 5X_1+40$; $x_2 = 0.5X_2+8.0$; $x_3 = 10X_3+40$; $x_4 = (5X_4+20):1$

Optimum koşulların tespiti amacıyla Minitab 12.0 yazılımı kullanılmıştır. Tahminlenen değerler (\hat{Y}), [0,1] aralığında değişen d değerine dönüştürülmektedir. Bu değer, tepkinin ulaşılmak istenen optimum değerine olan yaklaşma derecesinin bir ölçümüdür. Bizim çalışmamızda, bağımlı değişkenin (protein verimi) olabildiği kadar yüksek olması istenmektedir. Bu durumda, d değeri için ideal optimum değer 1'dir, kabul edilebilir aralık ise 0,6 ile 0,8'dir ($0,6 < d < 0,8$). Elde edilen bu optimum koşullar, bu koşullarda gerçekleştirilen deneyler ile doğrulanmıştır.

4.4.4 İzoelektrik noktanın (pI) belirlenmesi

Kırmızı biber tohumu proteinin pI değeri, maksimum çökmenin olduğu pH değeri ile belirlenmiştir. Bu amaçla, 20 g yağı alınmış un Bölüm 4.4.2'de anlatıldığı şekilde optimum ekstraksiyon koşullarında ekstrakte edilmiş, pI değeri, proteince zengin çözeltinin farklı pH değerlerine ayarlanması ve santrifüj sonrası üst fazdaki protein içeriğinin belirlenmesi ile bulunmuştur. Protein içeriği Lowry ve diğ. (1951) metodu ile tespit edilmiştir (Liadakis ve diğ., 1995).

4.5 Kırmızı Biber Tohum Protein Konsantresinin Eldesi

Bölüm 4.4.2'de anlatıldığı şekilde yağı alınmış undan optimum ekstraksiyon koşullarında kırmızı biber tohum proteini ekstrakte edilmiştir. Çözelti 2700g kuvvette 20 dakika süre ile santrifüjlenmiş, üst faz toplanmış ve pH'ı 0,1N HCl ile izoelektrik noktası olan pH 3'e ayarlanmıştır. Protein çökeltisi, 2700g kuvvette 20 dakika süre ile santrifüjlenerek ayrılmış ve dondurarak kurutulmuştur.

4.6 Kırmızı Biber Tohum Unu ve Proteinin Fonksiyonel Özellikleri

4.6.1 Yığın yoğunluğu

Yığın yoğunluğu mezür kullanılarak tespit edilmiştir. Mezürün darası tartılmıştır ve 5 mL örnek ile doldurulmuştur ve tekrar tartılmıştır. Ağırlıklar arasındaki farktan örneğin yığın yoğunluğu hesaplanmıştır ve g/mL olarak gösterilmiştir (Sogi ve diğ., 2002).

4.6.2 Çözünürlük

Örnek (100 mg), 20 mL distile su ile karıştırılmış ve karışımın pH'ı 2 ile 10 değeri arasındaki istenilen değere 0,1 N HCl veya 0,1 N NaOH kullanarak ayarlanmıştır. Karışımlar, oda sıcaklığında manyetik karıştırıcı ile 30 dakika süre ile karıştırılmış ve 2700g kuvvette 15 dakika süre ile santrifüjlenmiştir. Üst fazdaki çözülen protein miktarı Lowry ve diğ. (1951) metodu ile belirlenmiştir. Çözünürlük özellikleri, tuz konsantrasyonunun (0,1 ila 1,0 M arası) fonksiyonu olarak da belirlenmiştir (Wang ve diğ., 1999).

4.6.3 Su ve yağ tutma kapasitesi

Bir gram örnek, 10 mL distile su veya mısır yağı ile 30 saniye süre ile vorteks karıştırıcıda karıştırılmıştır. Örnekler oda sıcaklığında (~25°C) 30 dakika süre ile bekletilmiştir. Karışım 3000g kuvvetinde 20 dakika süre ile santrifüjlenmiş ve üst fazın hacmi ölçülmüştür. Su veya yağ tutma kapasiteleri 1 gram örnek tarafından tutulan su ve yağ miktarın gramı olarak belirtilmiştir (Vioque ve diğ., 2000).

4.6.4 Emülsiyon özellikleri

Kırmızı biber tohum unu ve proteininin emülsiyon özelliklerinin belirlenmesi amacı ile emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi ölçülmüştür. Emülsiyon özellikleri pH ve tuz konsantrasyonunun fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Farklı pH değerlerine (2 ile 10 arası) sahip olan 100 mL %2'lik (kütle/hacim) örnek çözeltileri 9500 rpm devir hızında 30 saniye süre ile homogenizatörde homojenize edilmiştir. 100 mL mısır yağı ilave edilmiş ve tekrar 1 dakika süre ile homogenize edilmiştir. Emülsiyonlar 50 mL'lik santrifüj tübünde 1200g kuvvette 5 dakika süre ile santrifüjlenmiştir. Emülsiyon aktivitesi aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanmıştır:

$$\% \text{Emülsiyon aktivitesi} = \left(\frac{\text{emülsiyon oluşturmuş katmanın hacmi/tüp içindeki toplam içeriğin hacmi}}{\text{toplam içeriğin hacmi}} \right) \times 100 \quad (4.4)$$

Emülsiyon stabilitesini belirlemek için yukarıda belirtilen şekilde hazırlanmış olan emülsiyonlar 80°C'de 30 dakika süre ile ısıtılmış, oda sıcaklığına soğutulmuş ve 1200g kuvvette 5 dakika süre santrifüjlenmiştir. Emülsiyon stabilitesi aşağıda belirtilen şekilde hesaplanmıştır (Mahajan ve diğ., 2002):

$$\% \text{Emülsiyon stabilitesi} = \left(\frac{\text{ısıtma sonrası emülsiyon oluşturmuş katmanın hacmi/tüp içindeki toplam içeriğin hacmi}}{\text{ısıtma öncesi emülsiyon oluşturmuş katmanın hacmi/tüp içindeki toplam içeriğin hacmi}} \right) \times 100 \quad (4.5)$$

4.6.5 Köpük özellikleri

Köpük özellikleri için, 150 mL %3'lük (kütle/hacim) örnek çözeltisi homogenizatörde 9500 rpm devir hızında 2 dakika süre ile karıştırılmıştır. Karışım hızla 250 mL'lik mezüre aktarılmış ve köpük hacmi kaydedilmiştir. Köpük kapasitesi, köpük hacmindeki artış olarak tanımlanmıştır ve aşağıda belirtilen şekilde hesaplanmıştır:

$$\% \text{Köpük kapasitesi} = \frac{\text{(karıştırma sonrası hacim - karıştırma öncesi hacim)}}{\text{(karıştırma öncesi hacim)}} \times 100 \quad (4.6)$$

Köpük stabilitesi 5, 10, 20, 30 ve 60 dakika bekletme sonrasında kalan köpük hacmi ile belirlenmiştir ve aşağıda belirtilen şekilde hesaplanmıştır:

$$\%Köpük\ stabilitesi = (bekletme\ sonrası\ hacim/karıştırma\ sonrası\ hacim) \times 100 \quad (4.7)$$

Köpük kapasitesi ve stabilitesi pH'ın (2 ila 10 arası) ve tuz konsantrasyonunun (0,1 ila 1,0 M arası) fonksiyonu olarak belirlenmiştir (Guerrero ve diğ., 2002).

4.6.6 Jel özellikleri

Jel özellikleri için, 50 mL %2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 ve 20 (kütle/hacim)'lik örnek çözeltileri hazırlanmıştır. Karışımın 5 mL'si test tüplerine aktarılmış, 1 saat süre ile kaynayan su içinde ısıtılmış ve tüpler hızla buzlu suya daldırılarak soğutulmuş ve ardından 2 saat süre ile 4°C'de bekletilmiştir. En düşük jelleşme konsantrasyonu, test tübü ters çevrildiği zaman örneğin akmadığı yada düşmediği konsantrasyon olarak belirlenmiştir. Jel özellikleri, pH'ın (2 ila 10 arası) ve tuz konsantrasyonunun (0,1 ila 1,0 M arası) fonksiyonu olarak belirlenmiştir (Lqari ve diğ., 2002).

Ticari soya protein konsantresi, fonksiyonel özelliklerin ölçülmesinde referans olarak kullanılmıştır. Tüm fonksiyonel özellik ölçümleri üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve veriler tek yönlü değişken analizi ve Duncan'ın çoklu aralık testi ile analizlenmiştir.

4.7 Kırmızı Biber Tohum Unu ve Proteinin Mayonez Model Sistemindeki Uygulaması

4.7.1 Mayonez örneklerinin hazırlanması

Mayonez örnekleri kütlece %71 mısır yağı, %10 taze yumurta sarısı, %1 tuz, %1 şeker ve %17 üzüm sirkesi kullanılarak Aluko ve McIntosh (2005) tarafından belirtilen metoda göre hazırlanmıştır. Kırmızı biber tohum unu ve proteini içeren mayonez örnekleri, yumurta sarısının kütlece %80, %60 ve %40 oranında kırmızı biber tohum unu ve proteini ile yer değiştirmesi ile elde edilmiştir. Kuru bileşenler (kırmızı biber tohum unu/proteini, tuz ve şeker), beher içinde toplam sirke miktarının 1/3 ile 5 dakika süre ile karıştırılmıştır. Bu karışım yumurta sarısına ilave edilmiş ve 5 dakika süre ile karıştırılmıştır. Yağ, karışıma emülsiyon oluşturmak için yavaş yavaş sürekli karıştırmak suretiyle ilave edilmiştir. Tüm yağ ilave edildikten sonra 5 dakika süre ile karıştırmaya devam edilmiştir. En son olarak geriye kalan sirke de

ilave edilmiş ve bir 5 dakika süre ile daha karıştırılmıştır. Reolojik ölçümler, mayonez örnekleri hazırlandıktan hemen sonra gerçekleştirilmiştir.

4.7.2 Reolojik özelliklerin belirlenmesi

Reolojik ölçümler reometre (Haake Rheowin, Almanya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mayonez örneklerinin akış özellikleri, 25°C'de 40 mm yarıçapa sahip paralel çelik levhalar sensör sistemi kullanılarak analizlenmiştir.

Mayonez örneklerinin reolojik özelliklerine kayma hızının etkisini incelemek için 0,13-50 s⁻¹ kayma hızı aralığında her örnekte iki tekrar yapılarak reolojik ölçümler uygulanmıştır. Ölçümlerde kayma hızı 0,13 s⁻¹'den 50 s⁻¹'e gitmekte ve sonra beklemeden 50 s⁻¹'den 0,13 s⁻¹'e dönmektedir. Örneklere çok basamaklı kayma hızı programı uygulanmıştır. Ölçümlerde 0-50 s⁻¹ kayma hızı aralığında 100 noktada kayma gerilimi ve viskozite değeri alınmıştır. Elde edilen verilerden akış eğrisi ve viskozite eğrisi çizilerek, örneğin reolojik davranışı değerlendirilmiştir.

Örnekleredeki tiksotropi (Pa·s⁻¹), iniş ve çıkış eğrilerinin arasında kalan alanın reometrenin yazılım programı kullanılarak hesaplanmıştır. Mayonez örneklerinin kayma hızı ve kayma gerilimi verileri üslü yasa (Eşitlik 4.8) ve Herschley-Bulkley (Eşitlik 4.9) modelleri ile modellenmiştir. Akış davranış indeksi, kıvam indeksi ve akma gerilimi, lineer olmayan regresyon yöntemi ile SPSS 13.0 programı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (4.8)$$

$$\sigma = \sigma_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (4.9)$$

Yukarıdaki eşitliklerde, σ kayma gerilimini (Pa), $\dot{\gamma}$ kayma hızını (s⁻¹), K kıvam katsayısını (Pa·sⁿ), n akış davranış indeksini ve σ_0 akma gerilimini ifade etmektedir.

4.7.3 Emülsiyon stabilitesinin belirlenmesi

Mayonez örneklerinin emülsiyon stabiliteyi, Sathivel ve diğ. (2005) tarafından belirtilen metoda göre ölçülmüştür. Örnekler (5 g), 10 mL'lik santrifüj tübüne konulmuş ve -18°C'de 2 gün depolanmışlardır. Oda sıcaklığında 1 saat süre ile

çözündürülmüş ve -2°C'de 12000g kuvvette 40 dakika santrifüjlenmiştir. Ayrılan yağ miktarı ölçülmüştür. Ayrılan yağ yüzdesi, ayrılan yağ miktarının örnek miktarına (5 g) oranıdır. Ölçümler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

4.7.4 Renk ölçümü

Kırmızı biber tohum unu ve proteininin renk ölçümleri Minolta Chroma Meter CR-300 (Minolta, Japonya) renk ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçülen değerler, L^* , a^* ve b^* renk birimi ile ifade edilmiştir. L^* değeri parlaklığı, $+a^*$ değeri kırmızıyı, $-a^*$ değeri yeşili, $+b^*$ değeri sarıyı ve $-b$ değeri maviyi belirtmektedir. Kalibrasyon için beyaz seramik kullanılmıştır ve L^* , a^* ve b^* değerleri sırasıyla 61,02 4,62 ve 17,50'dir. Toplam renk değişimi (ΔE), renk parlaklığı (C) ve renk açısı (H) aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Ölçümler iki tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

$$\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2} \quad (4.10)$$

$$C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (4.11)$$

$$H = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (4.12)$$

4.8 Sorpsiyon Özellikleri

4.8.1 Sorpsiyon izotermlerinin belirlenmesi

Kırmızı biber tohum unu ve proteininin adsorpsiyon izotermleri, 20°C, 30°C ve 40°C'de statik gravimetrik metot kullanılarak belirlenmiştir. Kırmızı biber tohum un ve proteinlerinin nem içeriklerinin düşürülmesi için 24 saat süre ile dondurarak kurutulmuştur. Örnekler (1,5 g), kapların içine tartılmıştır. Kaplar, 10 farklı doymuş tuz çözeltisi (LiCl, CH₃COOK, MgCl₂, K₂CO₃, Mg(NO₃)₂, NaBr, SrCl₂, NaCl, KCl, BaCl₂) içeren kavonozlara yerleştirilmiştir. Doymuş tuz çözeltileri Labuza (1984) tarafından önerilen şekilde hazırlanmış ve bu çözeltilerinin farklı sıcaklıklarda sağladıkları bağıl nem değerleri (Greenspan, 1977) ile birlikte Tablo 4.4'de verilmiştir. Kavonazlar, örneklerin dengeye gelmeleri için 20°C, 30°C ve 40°C'de

saklanmıştır. Örneklerin ağırlığı üç gün aralıklarla ölçülmüş ve ağırlık farkı 0,001 g ulaştığında örneklerin dengeye geldikleri kabul edilmiştir. Örneklerin dengeye gelmeleri yaklaşık olarak 1–2 hafta sürmüştür. Tohumların nem içerikleri etüvde 110°C’de 8 saat süre ile bekleterek belirlenmiş ve sonuçlar kuru bazda yüzde olarak belirtilmiştir. Ölçümler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.4: Doymuş tuz çözeltilerinin farklı sıcaklıklarda sağladıkları ortamın bağıl nem değerleri

Tuz Çözeltisi	Su (mL)	Tuz (g)	Su Aktivitesi		
			20°C	30°C	40°C
LiCl	42,5	75	0,1131	0,1128	0,1121
CH ₃ COOK	37,5	100	0,2311	0,2161	0,2010
MgCl ₂	12,5	100	0,3307	0,3244	0,3160
K ₂ CO ₃	45	100	0,4316	0,4317	0,4230
Mg(NO ₃) ₂	15	100	0,5438	0,5140	0,4842
NaBr	35	100	0,5914	0,5603	0,5317
SrCl ₂	25	100	0,7252	0,6912	0,6580
NaCl	30	100	0,7547	0,7509	0,7468
KCl	40	100	0,8511	0,8362	0,8232
BaCl ₂	35	125	0,9100	0,8980	0,8910

4.8.2 Sorpsiyon izotermlerin modellenmesi

Kırmızı biber tohumunu ve proteinin üç farklı sıcaklıktaki deneysel sorpsiyon değerleri Tablo 4.5’de gösterilen on bir farklı sorpsiyon eşitliği ile modellenmiştir.

Sorpsiyon modellerinin parametreleri (A, B, C ve M₀), deneysel verilerden SPSS 13.0 programı kullanılarak lineer olmayan regresyon analizi ile belirlenmiştir. Modellerin uygunluğu, regresyon katsayısı (R²), ortalama bağıl hata (MRE), tahminlenenlerin standart hatası (SEM) ile belirlenmiştir.

$$MRE = \frac{100}{N} \sum \left| \frac{M_{\text{exp}} - M_{\text{pre}}}{M_{\text{pre}}} \right| \quad (4.13)$$

$$SEM = \sqrt{\frac{\sum (M_{\text{exp}} - M_{\text{pre}})^2}{df}} \quad (4.14)$$

Bu eşitliklerde, M_{exp} ve M_{pre} sırasıyla deneysel ve tahminlenen nem içeriği değerleri, N ise deneysel veri sayısı ve df serbestlik derecesidir (deneysel veri sayısı-modeldeki sabit sayısı).

Tablo 4.5: Sorpsiyon izotermi modelleri

Model	Denklemler ¹
Smith Modeli	$M = A + B \cdot (1 - a_w)$
Oswin Modeli	$M = A \cdot \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^B$
Henderson Modeli	$M = \left(\frac{\ln(1 - a_w)}{-A} \right)^{1/B}$
Halsey Modeli	$M = \left(-\frac{A}{\ln a_w} \right)^{1/B}$
Chung ve Pfof Modeli	$M = -\frac{1}{B} \ln \left(-\frac{\ln a_w}{A} \right)$
Bradley Modeli	$M = A + B \cdot \ln(-\ln a_w)$
Kuhn Modeli	$M = A + \frac{B}{\ln a_w}$
Caurie Modeli	$M = \exp(A + B \cdot a_w)$
Iglesias ve Chirifie Modeli	$M = \exp[A + B \cdot \ln(C - \ln a_w)]$
BET Modeli	$M = \frac{M_0 \cdot A \cdot a_w}{[(1 - a_w) + (A - 1) \cdot (1 - a_w) \cdot a_w]}$
GAB Modeli	$M = \frac{M_0 \cdot A \cdot B \cdot a_w}{(1 - B \cdot a_w) \cdot (1 - B \cdot a_w + A \cdot B \cdot a_w)}$

¹ a_w su aktivitesi; M nem içeriği (kuru baz), A , B , C sabit, M_0 tekli katman nem içeriğidir.

4.8.3 Sorpsiyon ısısının belirlenmesi

Net izosterik sorpsiyon ısısı, nem sorpsiyon verilerinden yararlanarak Clasius-Clayperon eşitliğinden türetilen aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilmektedir (Rizvi, 1986).

$$q_{st} = -R \frac{\partial \ln a_w}{\partial (1/T)} \quad (4.15)$$

Bu eşitlikte, a_w su aktivitesi, q_{st} net izostreik sorpsiyon ısısı (kJ/mol), R gaz sabiti ve T mutlak sıcaklık (K)'dir.

Net izosterik sorpsiyon ısısı, Eşitlik 4.14'ten malzemenin seçilmiş nem içeriğinde $\ln a_w$ değerlerinin $1/T$ değerlerine karşı grafiğinin çizilmesi ile hesaplanabilir. Bu grafiğin eğimi $-q_{st}/R$ değerine eşittir (Chen, 2006; Tarigan ve diğ., 2006; Nourhene ve diğ., 2007). İzosterik sorpsiyon ısısının nem içeriği ile değişiminin incelenmesi için bu prosedür birçok nem içeriği için tekrarlanır. Burada, izosterik ısısının sıcaklık ile değişmediği kabul edilmesine rağmen bu metodun uygulanabilmesi için ikiden fazla sıcaklıkta ölçülmüş sorpsiyon izotermi gereklidir.

Örneklerin spesifik yüzey alanları aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplanmaktadır (Arslan ve Toğrul, 2005).

$$S = 35,3 \cdot M_0 \quad (4.16)$$

Bu eşitlikte, S spesifik yüzey alanı (m^2/g katı), M_0 tekli tabaka nem içeriğidir (kuru baz).

4.9 İstatistiksel Analiz

Veriler arasındaki farklılığın test edilmesi için $\alpha = 0,05$ önem düzeyinde varyans analizi (ANOVA) kullanılmış ve ortalamalar Tukey testi ile karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analizler Minitab (Minitab Release 12.2) programı ile gerçekleştirilmiştir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Kırmızı Biber Tohumunun Tanımlanması

5.1.1 Kırmızı biber tohum unu ve proteininin içerik analizleri

Kırmızı biber tohumu (KBT), yağı alınmış kırmızı biber tohum unu (KBTU), kırmızı biber tohum proteini (KBTP) ve ticari ürün olan soya protein konsantresinin (SPK) kompozisyonları Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1: Kırmızı biber tohum unu, proteini ve soya protein konsantresinin kompozisyonu

Kompozisyon (%, kuru baz)	KBT	KBTU	KBTP	SPK
Nem	9,30 ± 0,12	10,78 ± 0,04	8,10 ± 0,10	6,63 ± 0,05
Yağ	19,32 ± 0,04	4,01 ± 0,10	3,35 ± 0,11	1,52 ± 0,05
Protein	23,64 ± 0,02	26,02 ± 0,07	70,31 ± 0,27	67,00 ± 0,14
Kül	3,55 ± 0,08	4,10 ± 0,06	4,54 ± 0,05	4,59 ± 0,04
Karbonhidrat	48,98 ± 0,07	65,87 ± 0,07	21,80 ± 0,13	26,87 ± 0,25

Kırmızı biber tohumu (*Capsicum frutescens*) için elde edilen yağ (%19,32) (k.b.) ve protein (%23,64) (k.b.) değerleri, El-Adawy ve Taha (2001) tarafından paprika türü kırmızı biber tohumu (*Capsicum annuum*) için elde edilen %24,23 (k.b.) protein ve %25,61 (k.b.) yağ içeriği değerlerinden düşüktür. Bu farklılık, tür çeşidi, yetiştirme koşulları ve biberin olgunluğundaki farklılıktan kaynaklanabilmektedir (Liadakis ve diğ., 1995; Guerrero ve diğ., 2002).

Kırmızı biber tohumunun protein içeriği (%23,64), karpuz tohumu (%27,1) (Wani ve diğ., 2006), domates tohumu (%25,5) (Liadakis ve diğ., 1995), filizlenmiş balkabağı tohumu (%24,5-36) (Quanhang ve Caili, 2005), güvercin bezelyesi (15,5-28,8) (Mizubuti ve diğ., 2000), yer fıstığı (%22,04) (Rustom ve diğ., 1991), kolza tohumu

(%38,9) (Oomah ve diğ., 1994) gibi geleneksel olmayan potansiyel protein kaynakları ile kıyaslanabilir düzeydedir.

Yağsız kırmızı biber tohumunun, protein konsantrisine işlenmesi ile protein içeriği %26,02 (k.b.)'den %70,31 (k.b.) değerine çıkarılmaktadır yani kırmızı biber tohum proteini 2,7 katı konsantre edilmektedir. Benzer oran, nohut unundan ultrafiltrasyon yöntemi kullanılarak nohut protein konsantrisi elde edilirken de tespit edilmiştir (Romero-Baranzini ve diğ., 1995).

Protein ürünleri protein konsantrisi ve izolatu olarak sınıflandırılabilirler. Konsantriler en az %65 (k.b.) protein içeriğine, izolatlar ise en az %90 (k.b.) protein içeriğine sahiptirler (Aluko, 2004). Kırmızı biber tohum unundan elde edilen proteinin protein içeriği (%70,31) (k.b.), ürünün protein konsantrisi olarak adlandırılmasını sağlamaktadır. Başka bitkisel kaynaklardan elde edilen protein konsantrileri ve izolatlarının protein içerikleri, domates tohumu için %71,3 (Liadakis ve diğ.,1998), karpuz tohumu için %75,49-86,08 (Wani ve diğ., 2006), kişniş tohumu için %76,71 (Aluko ve diğ., 2001), güvercin bezelyesi için %71,13, börülce için %73,75 (Guerrero ve diğ., 2002), susam için %70,7 (Inyang ve Iduh, 1996), nohut için %65 (Romero-Baranzini ve diğ., 1995), kolza tohumu için %90,4 (Xu ve Diosady, 1994), acı bakla için %91,25 (El-Adawy ve diğ., 2001), yerfıstığı için %88,69-94,04 (Kim ve diğ., 1992), bezelye için %86,6 (Chavan ve diğ., 2001) olarak belirtilmiştir.

Kırmızı biber tohum ununda bulunan %65,87 oranındaki karbonhidrat içeriğinin, protein ekstraksiyon ve izolasyon işlemlerinden sonra da belli bir miktarı (%21,80) protein ürününde korunmuştur. Bunun nedeni, bir miktar nişastanın protein matriksi içinde tutunmuş olması ile açıklanmaktadır (Guerrero ve diğ., 2002).

Kırmızı biber tohumunun yağı tamamen uzaklaştırılmamıştır. Ekstraksiyondan sonra üründe %4 oranında yağ bulunduğu görülmektedir. Bu yağların ekstraksiyon aşamasında sabunlaşarak sulu fazda çözünür hale gelmeleri ve izolasyon aşamasında protein çökeltisi içine taşınmaları ile açıklanmaktadır (Guerrero ve diğ., 2002). Protein konsantrisi içinde kalan bu yağ miktarı, protein konsantrisinin lezzetini ve besinsel özelliklerini etkilerler (Sanchez-Vioque ve diğ., 1999; Lqari ve diğ., 2002).

5.1.2 Kırmızı biber tohum yağının yağ asidi kompozisyonu

Yağların yağ asidi kompozisyonları, yağların stabilitesi, fiziksel özellikleri ve besinsel değerleri için bir indikatördür (Besbes ve diğ., 2004). Kırmızı biber tohum yağında gaz kromatografisi analizi ile toplam 11 adet yağ asidi tanımlanmış ve miktarları belirlenmiştir. Bu yağ asitlerinin, karbon zincir uzunlukları ve doymamış bağ sayıları değişmektedir. Kırmızı biber tohum yağının yağ asidi kompozisyonu Tablo 5.2’de gösterilmektedir. Kırmızı biber tohum yağının toplam doymuş ve doymamış yağ asidi kompozisyonu sırasıyla %17,42 ve %82,30’dur ve en yüksek oranda bulunan yağ asidi linoleik asittir (%73,38).

Tablo 5.2: Kırmızı biber tohum yağının yağ asidi kompozisyonu¹

		% Yağ Asidi
Doymuş Yağ Asitleri		17,423
Miristik Asit	(C _{14:0})	0,120
Palmitik Asit	(C _{16:0})	12,817
Heptadekonoik Asit	(C _{17:0})	0,098
Stearik Asit	(C _{18:0})	3,400
Araşidik Asit	(C _{20:0})	0,554
Behenik Asit	(C _{22:0})	0,434
Tekli Doymamış Yağ Asitleri		8,923
Palmitoleik Asit	(C _{16:1})	0,278
Oleik Asit	(C _{18:1})	8,562
Ekosenoik Asit	(C _{20:1})	0,083
Çoklu Doymamış Yağ Asitleri		73,657
Linoleik Asit	(C _{18:2})	73,379
Linolenik Asit	(C _{18:3})	0,278

¹ İki ölçümün ortalaması

Başlıca doymuş yağ asitleri palmitik asit (C_{16:0}) (%12,82) ve onu takip eden stearik asittir (C_{18:0}) (%3,40). Diğer doymuş yağ asitlerinin (miristik, heptadekonoik, araşidik ve behenik asit) konsantrasyonları iz miktardadır. Stearik asit, nötr yağ asidi olarak düşünülmektedir, çünkü doymuş yağ asidi olmasına rağmen düşük yoğunluklu lipoprotein kolestrolü arttırmaz (Coetzee ve diğ., 2008).

Tekli doymamış yağ asitleri, toplam yağ asidi kompozisyonunun %8,92'sini oluşturmaktadır. Kırmızı biber tohum yağı, palmitoleik asit (C_{16:1}), oleik asit (C_{18:1}), ekosenoik asit (C_{20:1}) gibi tekli doymamış yağ asitlerini içermektedir. Tekli doymamış yağ asitlerinin %96'lık kısmını oleik asit (C_{18:1}) oluşturmaktadır. Tekli doymamış yağ asitleri de çoklu doymamış yağ asitleri gibi insanların düşük yoğunluklu lipoprotein kolestrolünü düşürmekte etkilidirler (Bora ve diğ., 2003).

Kırmızı biber tohum yağının yağ asidi kompozisyonun büyük bölümünü çoklu doymamış yağ asitleri (%73,66) oluşturmaktadır. Başlıca bulunan çoklu doymamış yağ asidi linoleik asittir (C_{18:2}) (%73,38). Kırmızı biber tohum yağı eser miktarda da linolenik asit (C_{18:3}) içermektedir. Yüksek linoleik asit içeriği nedeni ile kırmızı biber tohum yağı serum kolestrolünü azaltma kabiliyeti yüksek bir yağ olarak tanımlanabilmektedir. Diğer yandan yüksek linoleik ve oleik asit içeriği, yağı oksidasyona daha hassas hale getirmektedir (Oomah ve diğ., 2000; Ortega-Nieblas ve diğ., 2001; Besbes ve diğ., 2004). Kırmızı biber tohum yağı oleik ve linoleik asit bakımından zengin olması nedeniyle pişirme yağı, salata yağı veya margarin üretiminde kullanımı uygundur.

Çoklu doymamış yağ asitlerinin doymuş yağ asitlerine oranı, önemli bir besinsel parametredir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre bu oranın 2 veya daha yüksek olması gerektiği belirtilmiştir (Ortega-Nieblas ve diğ., 2001). Kırmızı biber tohum yağının çoklu doymamış yağ asitlerinin doymuş yağ asitlerine oranı 4,2'dir ve bu değer ile Dünya Sağlık Örgütü'nün belirttiği orana uymaktadır. Çoklu doymamış yağ asitlerinin doymuş yağ asitlerine oranı balkabağı tohumu yağı için 2,4 (El-Adawy ve Taha, 2001), karpuz tohum yağı için 2,8 (El-Adawy ve Taha, 2001), domates tohum yağı için 4,4 (Giannelos ve diğ., 2005) olarak elde edilmiştir. Yüksek çoklu doymamış yağ asitleri/doymuş yağ asitleri oranı, serum kolestrolünün azalmasını ve kalp hastalıklarının önlenmesini sağlar (Oomah ve diğ., 2000).

El-Adawy ve Taha (2001) paprika tipi kırmızı biber tohum (*Capsicum annuum*) yağı için başlıca yağ asitlerini %13,84 palmitik asit, %14,56 oleik asit ve %67,77 linoleik asit olarak belirlemişlerdir. Bu sonuçlar, elde edilen sonuçlar ile oleik asit içeriği dışında paralellik göstermektedir. Kırmızı biber tohum yağının (*Capsicum frutescens*) oleik asit içeriği daha düşük olarak elde edilmiştir. Kırmızı biber tohum

yağının yağ asidi kompozisyonu, tür çeşidinin farklılığından etkilenmektedir (Besbes ve diğ., 2004).

Kırmızı biber tohum yağının yağ asidi kompozisyonu literatürdeki bazı tohum yağları ile karşılaştırılabilir düzeydedir. Karpuz tohum yağı için %11,30 palmitik, %10,24 stearik, %18,07 oleik ve %59,64 linoleik asit (El-Adawy ve Taha, 2001), balkabağı tohum yağı için %12,51 palmitik, %5,43 stearik, %37,07 oleik ve %63,72 linoleik asit (Schinas ve diğ., 2008), domates tohum yağı için %12,26 palmitik, %5,15 stearik, %22,17 oleik ve %56,12 linoleik asit (Giannelos ve diğ., 2005) içermektedirler.

5.1.3 Kırmızı biber tohumunun antioksidan özellikleri

5.1.3.1 Toplam fenolik madde miktarı

Kırmızı biber tohumunun toplam fenolik madde miktarı gallik asit cinsinden belirlenmiştir. Toplam fenolik madde miktarının hesaplanması için gallik asit kullanılarak hazırlanan kalibrasyon eğrisi Ek B’de gösterilmektedir. Analiz sonucuna göre kırmızı biber çekirdeği ununun toplam fenolik madde miktarı 2,673 mg GAE/g örnek olarak bulunmuştur. Ahududu, yaban mersini, kızılçik ve üzüm tohumlarından elde edilen unların toplam fenolik madde miktarlarının incelendiği bir çalışmada örneklerin toplam fenolik madde miktarlarının 14,5-186,3 mg GAE/g örnek aralığında değiştiği tespit edilmiştir (Parry ve diğ., 2006). Elde edilen sonuç, bu çalışmadaki değerlerden daha düşük bulunmuştur. Bunun nedeni, toplam fenolik madde miktarlarında agronomik ve kültürel faktörler, hasat esnasındaki olgunluk düzeyi veya depolama koşulları gibi hasat öncesi ve sonrası faktörler nedeniyle farklılıklar olmasından kaynaklanmaktadır (Lenucci ve diğ., 2006). Yapılan çalışmalar, toplam fenolik madde veya antioksidan kapasitesi gibi özelliklerin analizlenen ürünün varyete veya cinsinden (George ve diğ., 2004; Kappel ve diğ., 2008), yetiştirildiği iklim koşullarından (Bradfield ve Stamp, 2004), meyvenin büyüklüğünden (Sahlin ve diğ., 2004), olgunluk düzeyinden (Kappel ve diğ., 2008) etkilendiğini göstermektedir. Bunun yanı sıra, analiz için uygulanan metotlar ve özellikle de ekstraksiyon yöntemlerinin (uygulanan sıcaklık, oksijen ya da ışık varlığı gibi koşullar) farklılık göstermesi de sonuçlar arasındaki farklılığı açıklamada kullanılmıştır (Seybold ve diğ., 2004).

5.1.3.2 Toplam antioksidan kapasitesi

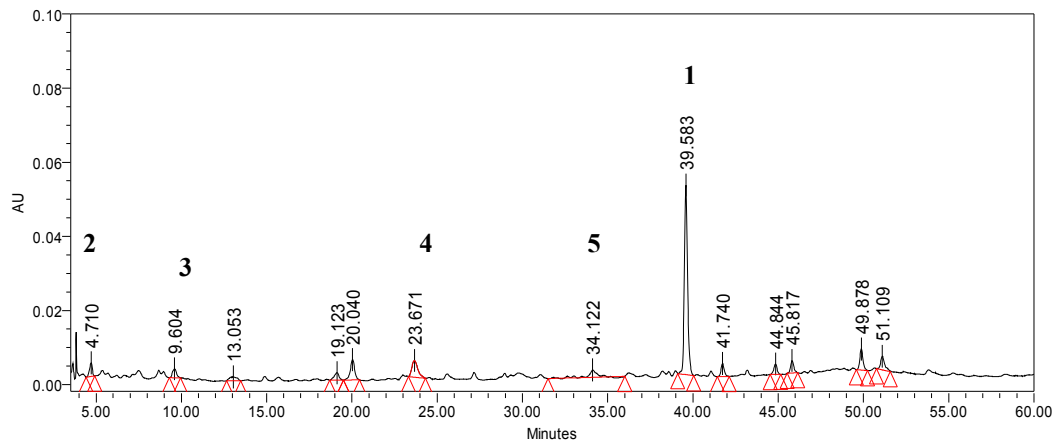
DPPH yöntemiyle yapılan toplam antioksidan kapasitesi tayini sonucuna göre kırmızı biber tohumunun radikal yakalama aktivitesi 0,1 g/mL konsantrasyondaki çözelti için %47,0 olarak bulunmuştur. Sim ve Han (2007) tarafından kırmızı biber tohumu ile gerçekleştirilen çalışmada, %70 etanol ile ekstrakte edilmiş olan ekstraktın toplam antioksidan kapasitesi %10 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bütün halde olarak kırmızı biber için yapılan analizler de bu ürünün yüksek düzeyde antioksidan aktivite (%25-70) gösterdiğini ortaya koymakta olup (Lee ve diğ., 2006; Deepa ve diğ., 2006) kırmızı biberdeki vitaminlerin, karotenoidlerin, kapsaisinoidlerin ve fenolik bileşiklerin bu aktiviteden sorumlu olduğu belirtilmektedir (Kappel ve diğ., 2008). Yapılan çalışmalar meyvelerin çekirdek kısımlarının antioksidatif bileşenler açısından oldukça zengin olduğunu göstermektedir (Sim ve Han, 2007). Üzüm çekirdeği (Jayaprakasha ve diğ., 2001), çay tohumu (Lee ve Yen, 2006), greyfurt çekirdeği (Giamperi ve diğ., 2004), nar çekirdeği (Singh ve diğ., 2002) ve domates çekirdeği (Moco ve diğ., 2006) gibi çeşitli örneklerin analizlendiği çalışmalarda bu bilgiyi desteklemektedir.

Toplam antioksidan metotları sonuçlarının kıyaslanmasındaki zorluk çalışmalarda çok farklı metotların kullanılması ve hatta aynı metotların uygulanış şekillerindeki farklılıklardır. Antioksidan kapasitesi tayin metotlarında metotların prensibi, oluşturulan radikal, son nokta tayini ve reaksiyon süresi gibi parametrelerin bir metottan diğerine değişiklik göstermesi nedeniyle farklı metotlardan elde edilen değerlerin birbiriyle kıyaslanması oldukça zordur (Arnao, 2000). Aynı prensiple çalışan metotlarda bile antioksidanlara verilen tepkiler veya uygulama tekniği bakımından farklılıklar mevcuttur. Radikallerin oluşturulma şekli veya farklı çözgen sistemleri içindeki çözünürlükleri de farklılıklara sebep olmaktadır. Antioksidan aktivitesinin, özellikle karışım içinde, çok fonksiyonlu veya kompleks çok fazlı sistemlerde olmak üzere analizlenmesi ve değerlendirilmesi, pek çok değişkenin etkili olması sebebiyle oldukça zordur. Bu nedenle antioksidan aktivite tayini için ortak metotların aynı şekilde uygulanabilmesi için protokoller oluşturulmaya çalışılmaktadır (Antolovich ve diğ., 2002).

Kırmızı biber tohumunu yüksek antioksidan aktivitesine sahip olması nedeniyle gıda sanayinde bileşen olarak kullanılabilir, gelecek vaat eden bir ürün olarak potansiyel uygulama alanları çalışmalarla değerlendirilmelidir.

5.1.3.3 Fenolik bileşiklerin tanımlanması

Kırmızı biber tohumunda bulunan fenolik bileşiklerin karakterizasyonu, yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kırmızı biber tohumundan ekstrakte edilen fenolik bileşiklerine ait kromatogram Şekil 5.1’de gösterilmektedir.



Şekil 5.1: Kırmızı biber tohumunun fenolik bileşenlerinin kromatogramı

Bileşenlerin tanımlanması, metot kısmında listelenen standart bileşenlerin elde edilen verileri ile karşılaştırılması ile gerçekleştirilmiştir. Tanımlanan fenolik bileşiklerin miktar tayini için kalibrasyon eğrilerinden yararlanılmıştır. Elajik asit, gallik asit, 3,4 hidroksi benzoik asit, epikateşin ve ferülik asit için hazırlanan kalibrasyon eğrileri Ek B’de gösterilmektedir. Bu eğriler kullanılarak pik alanları miktara dönüştürülmüştür.

HPLC analizi sonucu tespit edilen bileşenlerin alıkonma zamanları ve miktarları Tablo 5.3’de gösterilmektedir. Buna göre, kırmızı biber tohumunda en fazla oranda bulunan bileşen elajik asit olup bunun dışında gallik asit, 3,4 hidroksi benzoik asit, epikateşin ve ferülik asit gibi bileşenler de tespit edilmiştir. Kırmızı biberin farklı kısımlarının analizlendiği bir çalışmada tannik asit, gallik asit, kafeik asit, vanilik asit, ferülik asit, klorojenik asit ve sinnamik asit HPLC analizi sonucunda temel

bileşenler olarak rapor edilmiştir (Singh ve diğ., 2008). Ahududu (45,3 µg/g) (Wang ve diğ., 2009), ceviz kabuğu (0,71-21,6 mg/g) (Vekiari ve diğ., 2008), nar yaprakları (3,54 mg/g) (Xiang ve diğ., 2008), çilek (0,54-5,91 mg/100g) (Simirgiotis ve diğ., 2008) gibi ürünlerde elajik asit tespit edilmiştir. Üzüm çekirdeğinde gallik asit (6,8-9,8 mg/kg), epikateşin (60-210 mg/kg) (Montealegre ve diğ., 2006) ve balkabağı çekirdeğinde hidroksibenzoik asit (5,87-18,3 mg/kg) (Pericin ve diğ., 2008) bulunduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar, varyete veya yetiştirilme koşullarındaki farklılıkların örneklerin antioksidan profillerini önemli ölçüde değiştirebileceğini ortaya koymuştur (Daood ve diğ., 1996). Diğer taraftan, olgunluk düzeyinin de kırmızı biberlerdeki antioksidatif bileşenlerin miktarı ve dağılımı üzerinde etkili olduğu da çeşitli çalışmalarla tespit edilmiştir (Navarro ve diğ., 2006; Conforti ve diğ., 2007).

Tablo 5.3: HPLC ile tespit edilen fenolik bileşenler ve miktarları

No	Fenolik Bileşen	Alıkonma Süresi (dakika)	Miktar (mg/g, kb.)
1	Elajik asit	39,6	2,001
2	Gallik asit	4,7	0,053
3	3,4 hidroksi benzoik asit	9,6	0,165
4	Epikateşin	23,7	0,886
5	Ferülik asit	34,1	0,208

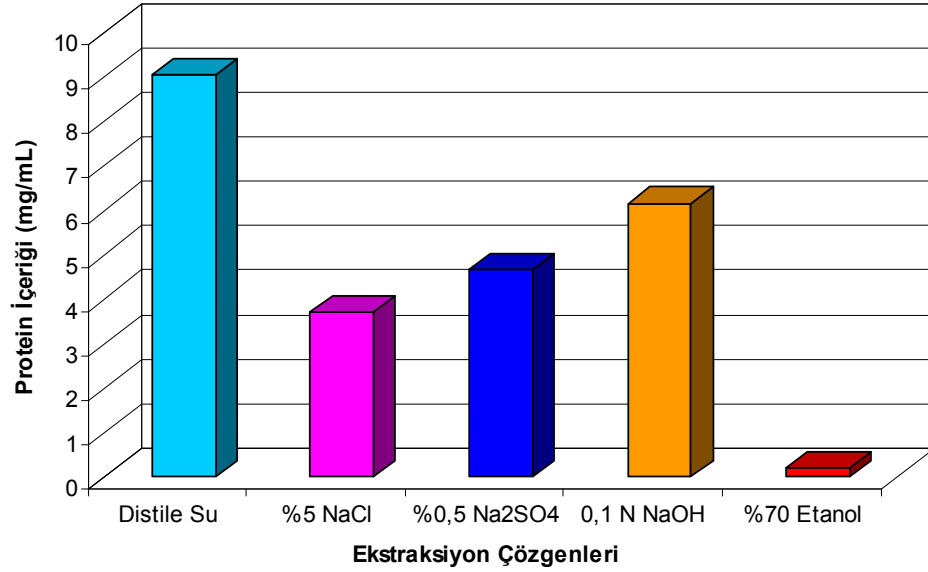
5.2 Kırmızı Biber Tohum Proteinini Ekstraksiyon Koşullarının Optimizasyonu

5.2.1 Ekstraksiyon için çözen seçimi

Kırmızı biber tohum unundan protein ekstraksiyonu için uygun çözen seçimi amacı ile distile su, %5 NaCl, %0,5 Na₂SO₄, 0,1 N NaOH, %70 etanol gibi beş farklı çözen kullanılmıştır. Yağı alınmış tohum unundan farklı çözenler kullanılarak ekstrakte edilen protein içeren çözeltilerin protein içerikleri Lowry ve diğ. (1951) metodu kullanılarak belirlenmiş ve Şekil 5.2’de verilmiştir.

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi en yüksek protein içeriği distile su ile ekstraksiyon sonucu elde edilmiştir. Bunu 0,1 N NaOH çözeltisi takip etmektedir. En düşük protein içeriği etanol ile ekstraksiyonda elde edilmiştir. Bu kırmızı biber tohum

ununun suda çözünen albumince ve seyreltik asit ve bazda çözünen glutelince zengin olduğunu, alkolde çözünen prolamin bakımından zengin olmadığını göstermektedir.



Şekil 5.2: Farklı çözümler ile kırmızı biber tohumundan ekstrakte edilen çözeltilerin protein içerikleri

Literatürde antep fıstığı (Ayrancı ve Dalgıç, 1992), keten tohumu (Krause ve diğ., 2002), pirinç kabuğu (Gupta ve diğ., 2008) yerfıstığı (Rustom ve diğ., 1993), kolza tohumu (Mahajan ve Dua, 1994), fasulye (Rahma ve diğ., 2000), bakla tohumu (Cepeda ve diğ., 1998) gibi bitkisel kaynaklı ürünlerden protein ekstraksiyonunda distile su en uygun çözümler olarak belirlenmiştir. Benzer sonuç, Liadakis ve diğ. (1998) tarafından domates tohumundan NaCl, Na₂SO₄ ve distile su çözümleri kullanılarak gerçekleştirilen ekstraksiyonda da gözlenmiştir. Diğer yandan, Khalil (1998), kavun tohumunda yaptığı çalışmada, en yüksek protein çözünürlüğünü NaOH'in çözümler olarak kullanıldığı ekstraksiyon işleminde elde etmiştir.

En yüksek protein veriminin elde edildiği çözümler olan distile su, kırmızı biber tohum proteini ekstraksiyon koşullarının optimizasyonunda çözümler olarak kullanılmıştır.

5.2.2 Yüzey tepki metodu ile ekstraksiyon modelinin belirlenmesi

Sıcaklık, pH, iyonik kuvvet, çözümler tipi, ekstraksiyon süresi, çözümler/un oranı, bağlanmaya neden olan bileşenlerin varlığı gibi parametreler proteinlerin ekstrakte edilebilirliğini etkilemektedir (Wani ve diğ., 2006). Genellikle, protein konsantrasyonu veya izolasyonu proteince zengin malzemenin alkali çözümler içerisinden ekstrakte edilmesi

ve sonra pH 4,0 ve 5,0 gibi izoelektrik pH değerlerinde çöktürülmesi ile elde edilmektedir (Mwasaru ve diğ., 2000; Chove ve diğ., 2001; Chavan ve diğ., 2001; Aluko ve McIntosh, 2001; Lqari ve diğ., 2002; Bilgi ve Çelik, 2004; Aluko ve diğ., 2005).

İstenen tepkileri etkileyen birçok faktör ve etkileşim var ise, yüzey tepki metodu prosesin optimizasyonu için en uygun metottur (Rustom ve diğ., 1991). Bu metodun kullanımı az sayıda deney ile kısa sürede yeterli bilgiye sahip olmayı sağlamaktadır. Bu deneysel metot, bağımsız değişkenlerin etkilerini analizlemek ve kimyasal ve biyokimyasal prosesleri tanımlayan matematiksel eşitliklerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır (Bas ve Boyaci, 2007).

Kırmızı biber tohumunu, proteininin eldesi için dört bağımsız değişkenin (sıcaklık, pH, ekstraksiyon süresi, çözgen/un oranı) 29 farklı kombinasyonu (Tablo 5.4) kullanılarak ekstrakte edilmiştir. Sonuçlar, deneysel protein veriminin 8,32 ile 12,31 g çözünür protein/100 g kırmızı biber tohumunu aralığında değiştiğini göstermiştir. Kırmızı biber tohumununun içerdiği proteinin %35,42 ile %52,41'lik kısmı ekstrakte edilebilmiştir. Quanhong ve Caili (2005) protein verimini 2,77–7,86 g protein/100 g filizlenmiş balkabağı tohumu olarak tespit etmiştir. Liadakis ve ark. (1995) ise, domates tohumu ununda bulunan proteinlerin %43,9–57,3'lük kısmını ekstrakte etmiştir.

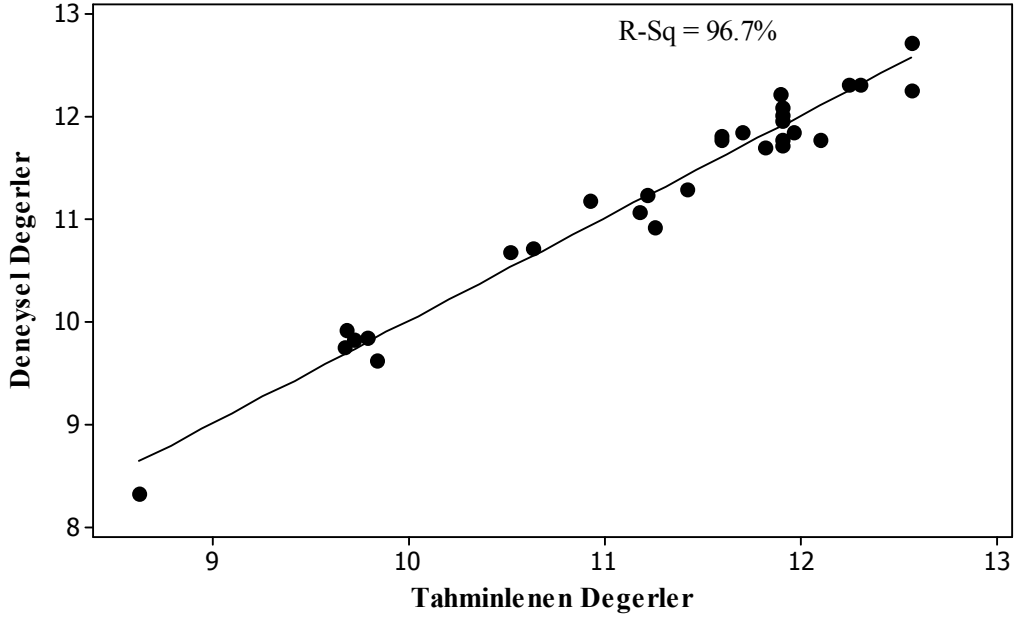
Tepki yüzey metodu uygulaması sonucunda, protein verimi ve kodlanmış birimler halindeki test değişkenleri arasındaki empirik ilişkiyi ortaya koyan aşağıdaki regresyon denklemi elde edilmiştir (Eşitlik 5.1).

$$Y = 11,9060 + 0,0658X_1 + 0,8175X_2 + 0,2883X_3 + 0,2717X_4 - 0,0184X_1^2 - 0,4109X_2^2 + 0,0216X_3^2 - 0,3809X_4^2 + 0,0537X_1X_2 + 0,0275X_1X_3 - 0,0200X_1X_4 - 0,2950X_2X_3 + 0,0975X_2X_4 + 0,1363X_3X_4 \quad (5.1)$$

Tablo 5.4: Merkezi kompozit tasarımı - Değişkenler ve tepkiler

Sıra	Kodlanmış Değişkenler				Kodlanmamış Değişkenler				%Protein Verimi (Y)	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	Deneysel	Tahminlenen
1	-1	-1	-1	-1	35	7,5	30	15:1	9,74	9,67
2	1	-1	-1	-1	45	7,5	30	15:1	9,91	9,68
3	-1	1	-1	-1	35	8,5	30	15:1	11,80	11,60
4	1	1	-1	-1	45	8,5	30	15:1	11,69	11,82
5	-1	-1	1	-1	35	7,5	50	15:1	10,68	10,51
6	1	-1	1	-1	45	7,5	50	15:1	10,71	10,63
7	-1	1	1	-1	35	8,5	50	15:1	10,91	11,26
8	1	1	1	-1	45	8,5	50	15:1	11,77	11,60
9	-1	-1	-1	1	35	7,5	30	25:1	9,84	9,79
10	1	-1	-1	1	45	7,5	30	25:1	9,82	9,72
11	-1	1	-1	1	35	8,5	30	25:1	11,78	12,10
12	1	1	-1	1	45	8,5	30	25:1	12,31	12,25
13	-1	-1	1	1	35	7,5	50	25:1	11,06	11,17
14	1	-1	1	1	45	7,5	50	25:1	11,24	11,21
15	-1	1	1	1	35	8,5	50	25:1	12,31	12,31
16	1	1	1	1	45	8,5	50	25:1	12,25	12,36
17	-2	0	0	0	30	8,0	40	20:1	11,84	11,70
18	2	0	0	0	50	8,0	40	20:1	11,84	11,96
19	0	-2	0	0	40	7,0	40	20:1	8,32	8,63
20	0	2	0	0	40	9,0	40	20:1	12,22	11,90
21	0	0	-2	0	40	8,0	20	20:1	11,28	11,42
22	0	0	2	0	40	8,0	60	20:1	12,72	12,57
23	0	0	0	-2	40	8,0	40	10:1	9,63	9,84
24	0	0	0	2	40	8,0	40	30:1	11,17	10,93
25	0	0	0	0	40	8,0	40	20:1	12,08	11,91
26	0	0	0	0	40	8,0	40	20:1	11,95	11,91
27	0	0	0	0	40	8,0	40	20:1	11,77	11,91
28	0	0	0	0	40	8,0	40	20:1	11,71	11,91
29	0	0	0	0	40	8,0	40	20:1	12,02	11,91

Protein verimleri için tahminlenen değerler, regresyon modeli kullanılarak hesaplanmış ve deneysel değerler ile Şekil 5.3’de kıyaslanmıştır. Regresyon katsayısı (R^2) %96,7 olup modelin deneysel veriler ile açık şekilde tutarlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.3: Deneysel ve tahminlenen protein verimlerinin kıyaslanması

Her bir katsayının önemi Student t-testi kullanılarak belirlenmiş olup belirlenen p değerleri Tablo 5.5’de gösterilmiştir. Buna göre, pH, çözen/un oranı ve ekstraksiyon süresi en önemli faktörler olarak görülmektedir ($p < 0,001$). Özellikle, pH ve çözen/un oranı lineer ve kuadratik terimlerde büyük oranda önemlidir ($p < 0,001$). Ayrıca, pH ve ekstraksiyon süresi arasındaki interaksiyon etkisi de istatistiksel olarak önemlidir ($p < 0,05$). Sıcaklık ise istatistiksel olarak önemli bir faktör olarak bulunmamıştır. Liadakis ve diğ. (1995) ve Wani ve diğ. (2006) da benzer etkiler tespit ettiklerini belirtmişlerdir. Fakat, diğer bazı araştırmacılar sıcaklığın da protein ekstraksiyonunu etkilediğini bildirmiştir (Al-Farsi ve Lee, 2008; Chantaro ve diğ., 2008).

İstatistiksel olarak önemsiz bulunan değişkenlerin lineer, kuadratik ve interaksiyon etkileri ihmal edildiğinde basitleştirilmiş bir regresyon denklemi (Eşitlik 5.2) elde edilebilmektedir. Bu denklem için elde edilen regresyon katsayısı %94,5 da oldukça yüksek bir değerdir.

$$Y = 11,9060 + 0,8175X_2 + 0,2883X_3 + 0,2717X_4 - 0,4109X_2^2 - 0,3809X_4^2 - 0,2950X_2X_3 \quad (5.2)$$

Tablo 5.5: Protein verimi için regresyon katsayılarının istatistiksel önemi

Değişkenler	Regresyon Katsayıları	Standart Hata	t Değeri	p Değeri
Sabit	11,9060	0,12070	98,640	0,000
Sıcaklık (X ₁)	0,0658	0,05509	1,195	0,252
pH (X ₂)	0,8175	0,05509	14,839	0,000
Ekstraksiyon süresi (X ₃)	0,2883	0,05509	5,234	0,000
Çözgen:un oranı (X ₄)	0,2717	0,05509	4,931	0,000
X ₁ X ₁	-0,0184	0,05299	-0,347	0,734
X ₂ X ₂	-0,4109	0,05299	-7,754	0,000
X ₃ X ₃	0,0216	0,05299	0,408	0,689
X ₄ X ₄	-0,3809	0,05299	-7,188	0,000
X ₁ X ₂	0,0537	0,06747	0,797	0,439
X ₁ X ₃	0,0275	0,06747	0,408	0,690
X ₁ X ₄	-0,0200	0,06747	-0,296	0,771
X ₂ X ₃	-0,2950	0,06747	-4,372	0,001
X ₂ X ₄	0,0975	0,06747	1,445	0,170
X ₃ X ₄	0,1363	0,06747	2,019	0,063

ANOVA testinin sonuçları Tablo 5.6'da gösterilmektedir. İstatistiksel analiz verileri lineer, kuadratik ve interaksiyon terimlerinin önemli olduğunu göstermiştir ($p < 0,05$). Uyum eksikliği testi, regresyona dahil edilmeyen noktalardaki deneysel alanlardaki verileri temsil eden modelin başarısızlığını ölçmektedir. Bu çalışmada, istatistiksel olarak önemsiz düzeyde uyum eksikliği olup modeli doğrulamaktadır ($p > 0,05$). Varyasyon katsayısı (VK), hesaplanan standart hatanın gözlemlenen tepkinin ortalama değerine oranıdır ve yüzde olarak ifade edilir. Modellerin tekrarlanabilirliğinin bir ölçüsüdür. Genel bir kural olarak, bir modelin varyasyon katsayısı %10'dan fazla değilse uygun ölçüde tekrarlanabilir kabul edilmektedir.

Tablo 5.6: Bağımsız değişkenlerin varyans analizi (ANOVA)

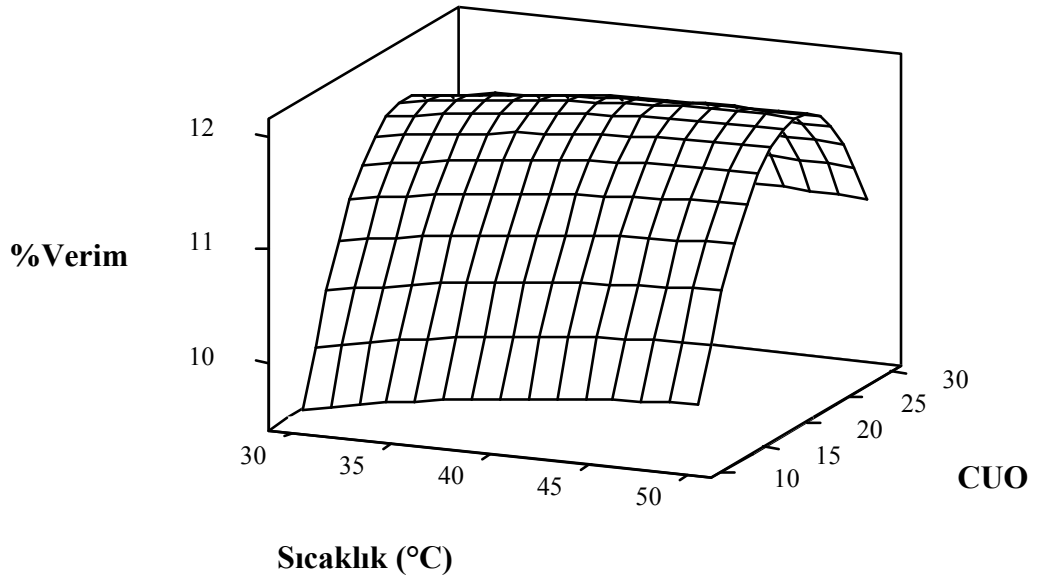
Kaynak	Serbestlik derecesi	F-değeri	Olasılık
Regresyon	14	28,91	0,000
Lineer	4	18,87	0,000
Kare	4	26,32	0,000
İnteraksiyon	6	4,36	0,011
Kalıntı Hatası	14		
Uyum Eksikliği	10	3,59	0,115
Net Hata	4		
Toplam	28		
%VK	9,26		

5.2.3 Optimum ekstraksiyon koşullarının belirlenmesi

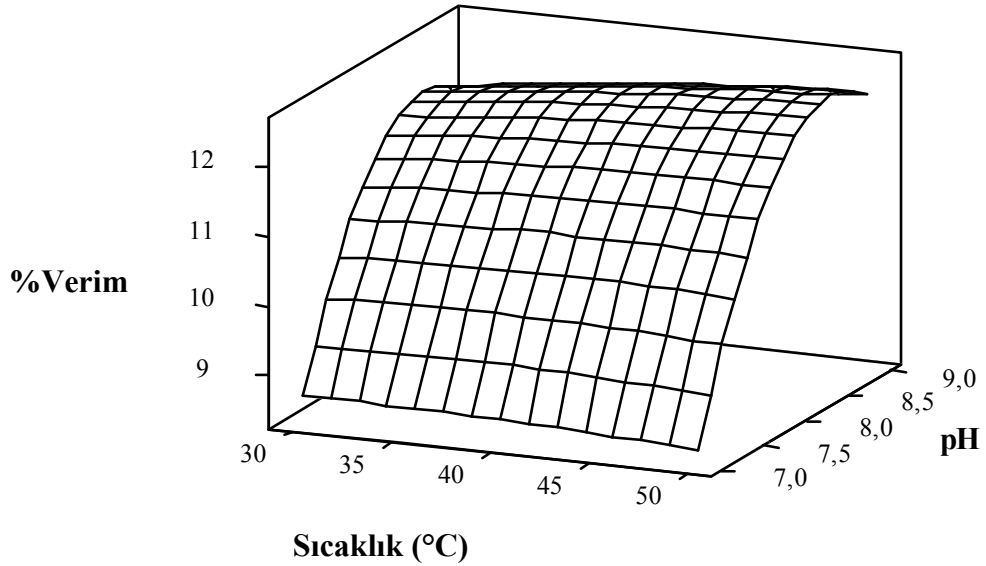
Üç boyutlu yüzey grafikleri, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken üzerindeki temel ve interaktif etkisini göstermek için çizilmiştir. Bu grafikler, iki değişken kodlanmış sıfır seviyesinde (Tablo 4.1) sabitlenirken kalan iki değişkenin değiştirilmesi ve tepki değişkeninin (protein verimi) tahminlenmesi ile elde edilmiştir.

Şekil 5.4, sıcaklığın ve çözen/un oranının (CUO) protein üretimi üzerindeki etkisini göstermektedir. Tepki üzerinde çözen/un oranının kuadratik etkisi ve sıcaklığın lineer etkisi belirlenmiştir. Şekil 5.6, sıcaklık ve pH'nın etkisini göstermektedir; pH protein üretimi üzerinde kuadratik etki gösterirken sıcaklığın etkisi lineerdir. Şekil 5.7, pH'nın ve çözen/un oranının etkisini göstermektedir; pH ve çözen/un oranının her ikisi için de kuadratik bir etki görülmektedir. Sonuçlar, pH ve çözen/un oranındaki artış ile kırmızı biber tohum unundan daha fazla miktarda proteinin ekstrakte edilebileceğini göstermiştir. Ekstraksiyon süresi ve çözen/un oranının protein verimi üzerindeki etkisi Şekil 5.7'de gösterilmektedir. Sonuçlar, ekstraksiyon süresinin protein ekstraksiyonu üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etkisi olmadığını fakat çözen/un oranındaki bir artışın protein ekstraksiyonu için artış eğilimi sağladığını göstermiştir. Sıcaklık, seçilen aralıkta protein ekstraksiyonunu etkilemiş görünmezken ekstraksiyon süresi Şekil 5.8'de görüldüğü gibi lineer bir etki göstermektedir. Şekil 5.9'daki grafik hem pH hem de ekstraksiyon süresinin protein ekstraksiyonu üzerine kuadratik bir etkisi olduğunu göstermektedir. Tüm tepkiler göz önünde bulundurulduğunda, çözen/un oranı, ekstraksiyon süresi ve pH'nın protein

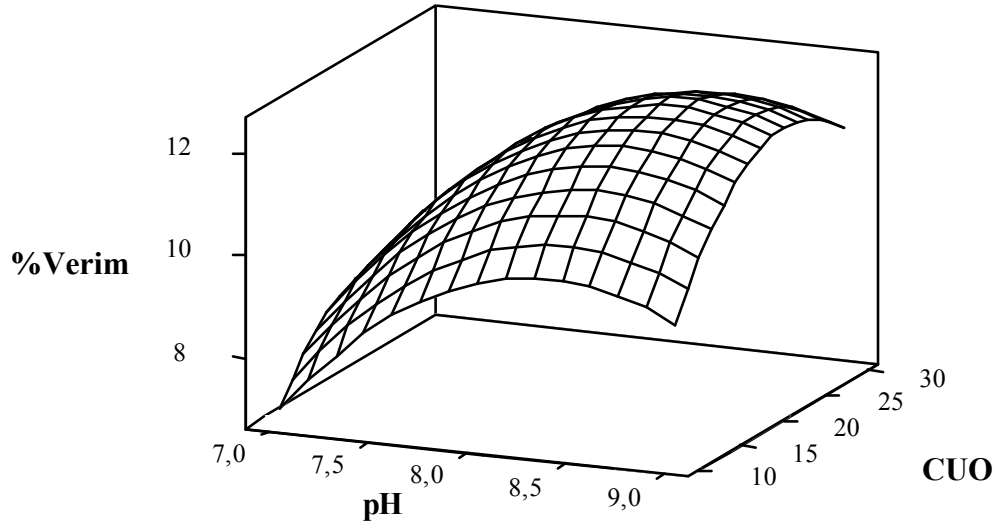
verimi üzerinde etkisi olduğu açık şekilde görülebilmekte iken sıcaklığın etkisi daha sınırlı bulunmuştur.



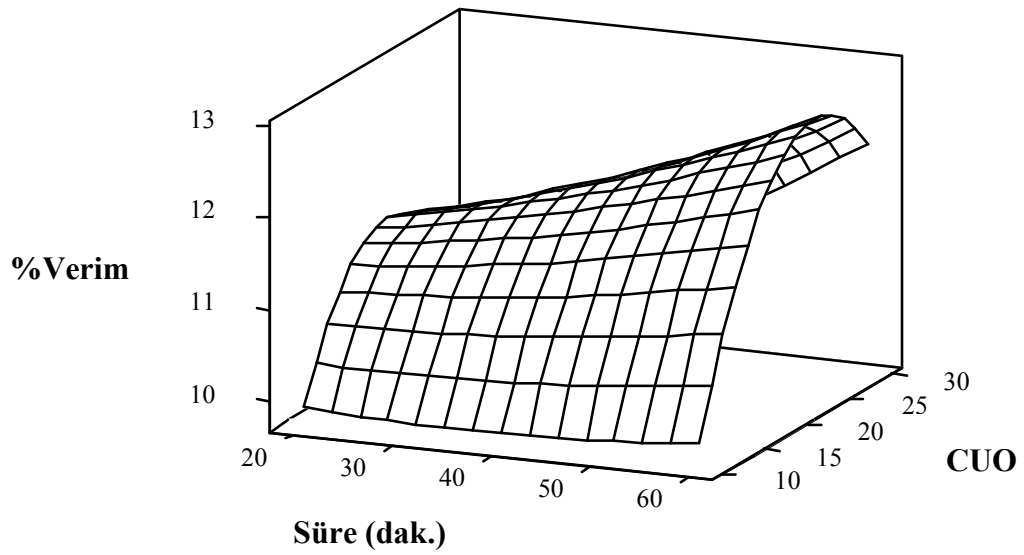
Şekil 5.4: Kırmızı biber tohumunun protein verimine sıcaklık ve çözen/un oranının 40 dakika ekstraksiyon süresi ve pH 8'deki etkisi



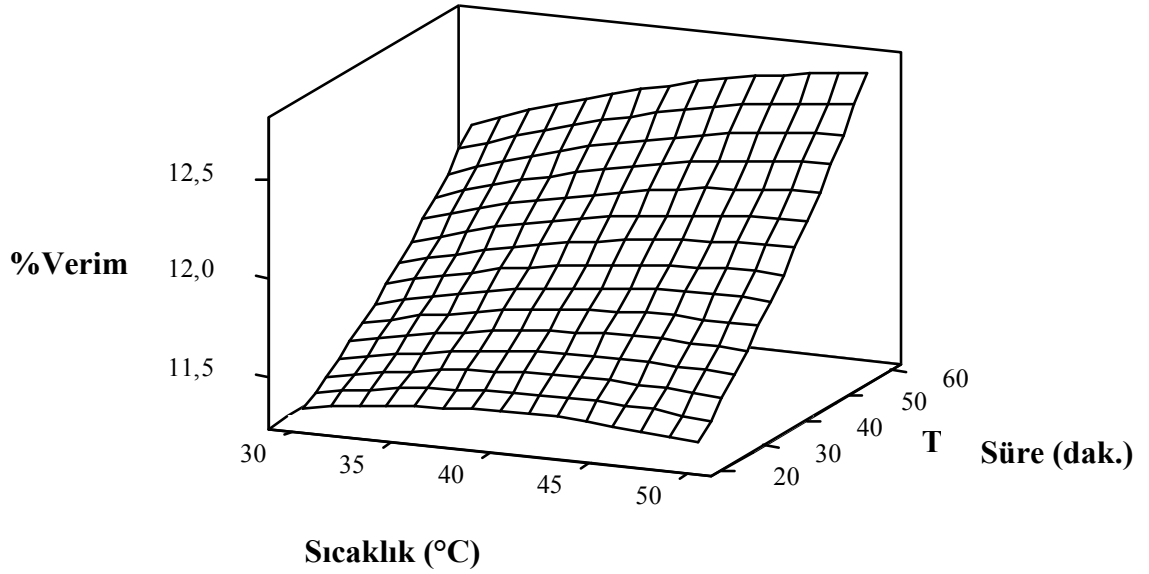
Şekil 5.5: Kırmızı biber tohumunun protein verimine sıcaklık ve pH'nın 40 dakika ekstraksiyon süresi ve 20:1 (hacim/kütle) çözen/un oranındaki etkisi



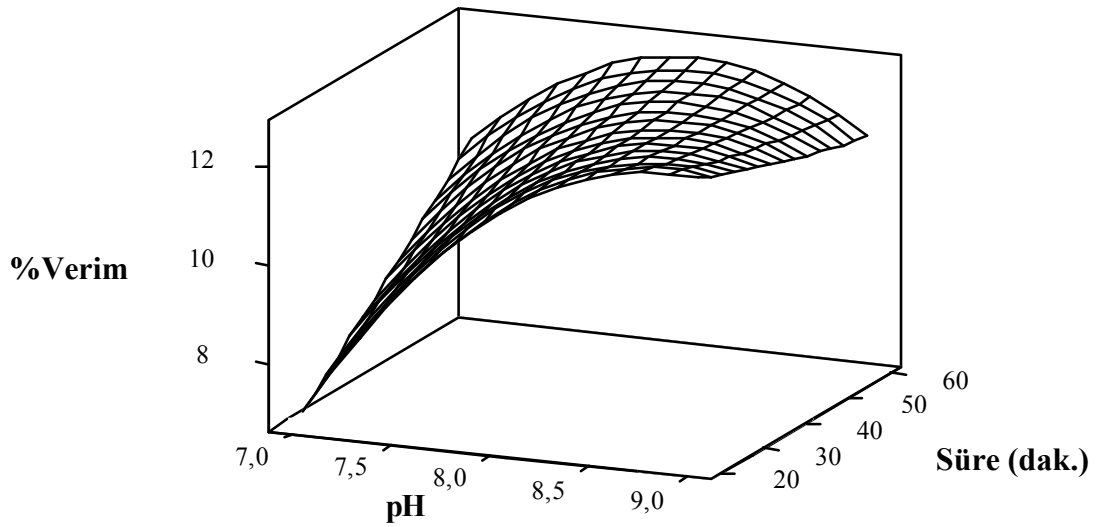
Şekil 5.6: Kırmızı biber tohumunun protein verimine pH ve çözen/un oranının 40 dakika ekstraksiyon süresi ve 40°C sıcaklıktaki etkisi



Şekil 5.7: Kırmızı biber tohumunun protein verimine ekstraksiyon süresi ve çözen/un oranının pH 8 ve 40°C sıcaklıktaki etkisi



Şekil 5.8: Kırmızı biber tohumunun protein verimine sıcaklık ve ekstraksiyon süresinin pH 8 ve 20:1 (hacim/kütle) çözügen/un oranındaki etkisi



Şekil 5.9: Kırmızı biber tohumunun protein verimine pH ve ekstraksiyon süresinin sıcaklık 40°C ve 20:1 (hacim/kütle) çözügen/un oranındaki etkisi

Optimum ekstraksiyon koşulları, Minitab 14.0 yazılımı kullanılarak belirlenmiştir. Kırmızı biber tohumundan protein ekstraksiyonu için optimum koşullar, çözügen/un oranı için 21:1 (hacim/kütle), ekstraksiyon süresi 20 dakika, pH 8,8 ve

sıcaklık 31°C (d = 1,000) olarak tespit edilmiştir. Literatürde kırmızı biber tohum proteininin ekstraksiyonuna ilişkin bir çalışma bulunmamaktadır. Fakat, diğer bitkisel kaynaklar kullanılarak yapılan benzer çalışmalar bulunmaktadır. Quanhong ve Caili (2005) filizlenmiş balkabağı tohumundan protein ekstraksiyonu üzerine çalışmış ve çözen/un oranının önemli etkilerini tespit etmiştir. Ayrıca, sonuç olarak optimum koşulları şu şekilde belirlemişlerdir: çözen/un oranı için 30,2:1 (hacim/kütle), NaCl konsantrasyonu %4,26 ve reaksiyon süresi 18,1 dakika. Wani ve diğ. (2006), karpuz tohumdan protein ekstraksiyonu için çalışmış ve maksimum protein veriminin tohumunun %1,2 konsantrasyondaki NaOH ile, 70:1 (hacim/kütle) çözen/un oranında, 15 dakika karıştırma ve 40°C sıcaklıkta ekstraksiyonu ile sağlanabileceği sonucuna varmıştır. Liadakis ve diğ. (1995) domates tohumundan protein ekstraksiyonu üzerine çalışmış ve optimum ekstraksiyonun, bir kısım domates tohumunun 30 kısım su (kütle/hacim) ile pH 11,5 ve 50°C'de 20 dakika ekstraksiyon ile başarılabileceğini tespit etmiştir. Rustom ve diğ. (1991) süre, sıcaklık, pH ve çözen/un oranının önemli etkileri olduğunu bulmuş ve optimum ekstraksiyon koşullarını şu şekilde tanımlamıştır: pH 8,0, süre 30 dakika, sıcaklık 50°C ve çözen/un oranı 8,1. Mizubuti ve diğ. (2000)'e göre güvercin bezelyesinden protein ekstraksiyonu için optimum koşullar şu şekildedir: NaCl bulunmamalı, pH = 8,5, çözen/un oranı = 5,1. Oomah ve diğ. (1994) çözenin una oranı 10 L/kg, 0,8 M NaCl ve pH 8,0 koşullarının kolza tohumundan protein ekstrakte etmek için optimum koşullar olduğunu belirlemiştir.

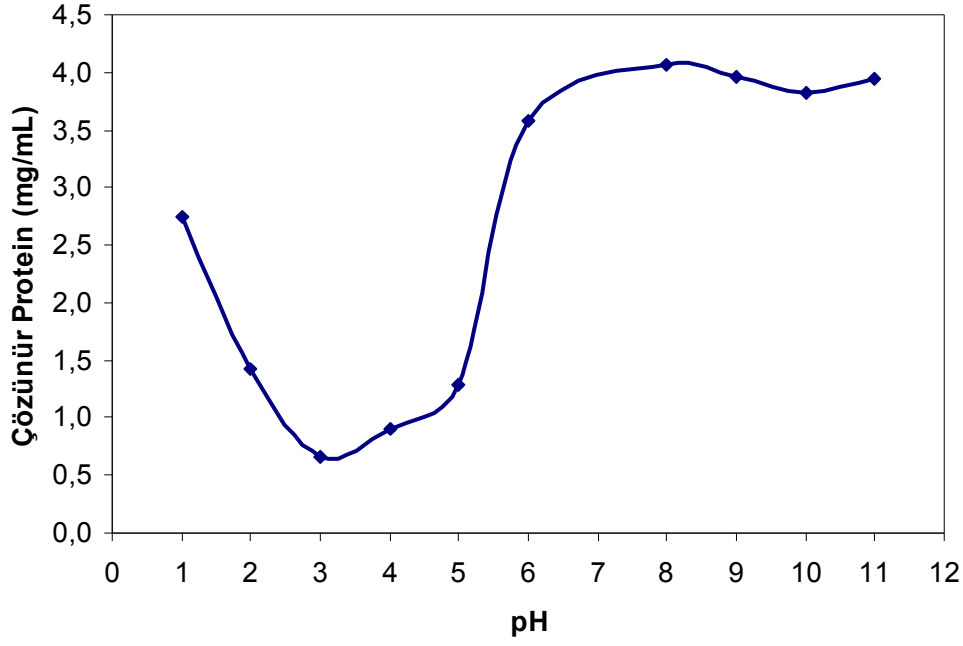
5.2.4 Doğrulayıcı testler

Model denklemin optimum tepki değerlerini tahminlemedeki uygunluğu tavsiye edilen optimum koşullar kullanılarak test edilmiştir. Bağımsız değişkenlerin optimum değerleri (sıcaklık 31°C, çözen/un oranı 21:1 hacim/kütle, ekstraksiyon süresi 20 dakika, pH 8,8) regresyon denklemi içine katıldığında, %12,40 protein verimi elde edilirken optimum koşullarda yürütülen deneyler %12,24'lük bir protein verimi vermektedir. Bu sonuçlar, uygulanan denklemlerden elde edilen tahmini değerler ile gözlemlenen değerlerin çok iyi bir uyum içinde olduğunu göstermektedir.

5.2.5 Protein izolasyonu için izoelektrik pH'ın belirlenmesi

Protein içeriği daha yüksek ürün elde etmek için proteinin kırmızı biber tohum unundan optimum koşullarda elde edilen proteince zengin ekstraktan izole edilmesi gereklidir. Bu amaçla izoelektrik nokta çöktürme metodu kullanılmıştır. İzolasyon metotlarından biri olan izoelektrik noktada çöktürme yönteminde asit kullanılarak protein çözeltisinin pH'ı proteinlerin çözünürlüğünün en düşük olduğu pH değeri olan izoelektrik pH değerine ayarlanır, böylece proteinlerin çökmesi sağlanır. Molekülün dipolar iyon halinde bulunduğu pH'a izoelektrik pH denir. Dipolar iyon elektriksel alanda hareket edemez, nötraldir. Bu nedenle proteinlerin izoelektrik noktadaki çözünürlükleri en azdır yani bu noktada kolayca çöktürebilirler (Gaman ve Sherrington, 1996).

Bu amaçla kırmızı biber tohum unu belirlenen optimum koşullarda (sıcaklık 31°C, çözen/un oranı 21:1 hacim/kütle, ekstraksiyon süresi 20 dakika, pH 8,8) ekstraksiyon işlemine tabii tutulmuş ve ekstrakte edilen proteince zengin çözeltinin farklı pH değerlerine ayarlanması ile elde edilen üst fazın protein içeriğinin en düşük olduğu değer, izoelektrik pH olarak belirlenmiştir. Kırmızı biber tohum unundan ekstrakte edilen proteince zengin fraksiyonun pH'a bağlı olarak değişen çözünür protein içerikleri Şekil 5.10'da gösterilmektedir. Şekil 5.10'da görüldüğü gibi en düşük çözünürlük değeri pH 3,0'de elde edilmiştir. Kırmızı biber tohum proteinin izolasyon işlemi bu izoelektrik pH değerinde gerçekleştirilmiştir. İzoelektrik pH, domates tohum proteini için pH 3,9 (Liadakis ve diğ., 1995), kavun tohumu, yer fıstığı, antep fıstığı ve keten tohumu proteini için pH 4,5 (Ayrancı ve Dalgıç, 1992; Kim ve diğ., 1992; Khalil, 1998; Krause ve diğ., 2002) olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.10: Kırmızı biber tohumundan ekstrakte edilen proteince zengin fraksiyonun pH'a bağlı olarak çöktürülmesi

5.3 Kırmızı Biber Tohum Unu ve Proteinin Fonksiyonel Özellikleri

5.3.1 Yığın yoğunluğu

Yığın yoğunluğu, ürünün kuru karışım içerisindeki davranışının ve ambalajlama sırasında kaplayacağı hacmin belirlenmesi açısından önemli bir özelliktir (Gupta ve diğ., 2008). Kırmızı biber tohum unu, proteini ve soya protein konsantresinin yığın yoğunlukları Tablo 5.7'de verilmiştir. Kırmızı biber tohum proteini (0,23 g/mL), ununa (0,41 g/mL) göre daha düşük yoğunluğa sahiptir. Liadakis ve diğ. (1998) su ile ekstrakte edilen domates tohumu proteininin yığın yoğunluğunu 0,33 g/mL olarak tespit etmişlerdir. Aynı çalışmada soya protein konsantresi için elde edilen 0,22-0,25 g/mL yoğunluk değerleri çalışmamızda elde edilen değer (0,29 g/mL) ile benzerlik göstermektedir. Yığın yoğunluğu, susam proteini için 0,29 g/mL (Zaghloul ve Prakash, 2002) ve yerfıstığı proteini için 0,25 g/mL (Monteiro ve Prakash, 1994), akaju cevizi kabuk unu için 0,30 g/mL (Arogba, 1999) olarak belirlenmiştir.

Tablo 5.7: Kırmızı biber tohum unu, proteinin ve soya protein konsantresinin yığın yoğunlukları

Örnek	Yığın Yoğunluğu (g/mL) ¹
Kırmızı Biber Tohum Unu	0,41 ± 0,08 ^a
Kırmızı Biber Tohum Proteini	0,23 ± 0,07 ^b
Soya Protein Konsantresi	0,29 ± 0,03 ^b

¹ Ortalama ± standart sapma

² Her sütündeki farklı harfler, değerlerin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir (p < 0,05).

5.3.2 Su ve yağ tutma özellikleri

Su tutma kapasitesi, proteinlerin su ile etkileşime girme derecesini gösteren bir özelliktir. Kırmızı biber tohum unu ve proteini, soya protein konsantresi için su ve yağ tutma özellikleri Tablo 5.8’de verilmiştir. Kırmızı biber tohumunun su tutma kapasitesi, kırmızı biber tohum proteininin su tutma kapasitesinden %42 daha fazladır. Bu, kırmızı biber tohumunun içerdiği %59,46 değerindeki yüksek karbonhidrat (Tablo 5.1) içeriğinden kaynaklanmaktadır. Karbonhidrat içeriği, onların su tutma kapasitesini etkileyen önemli bir faktördür (Guerrero ve diğ., 2002). Romero-Baranzini ve diğ. (1995) nohut proteininin su tutma kapasitesinin, nohut ununa göre daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Benzer sonuç, acı bakla unu ve proteini için de elde edilmiştir (Lqari ve diğ., 2002). Kırmızı biber tohum unu ve proteinin su tutma kapasiteleri, ticari referans ürün olan soya protein konsantresinden istatistiksel olarak düşüktür (p < 0,05). Proteinlerin su tutma kapasiteleri, protein izolatu eldesi sırasında protein pıhtısının dondurarak kurutulması öncesinde nötralize edilmesi ile geliştirilebilir (Fernandez-Quintela ve diğ., 1997). Soya protein konsantresinin su ve yağ tutma değerleri, Idouraine ve diğ. (1991) ve Guerrero ve diğ. (2002) tarafından tespit edilenler ile benzer değerlere sahiptir. Kırmızı biber tohum unu ve protein konsantresinin su tutma özellikleri ürünlerin bir gıda sistemi içinde kullanılabilmesi için istenen değerlerdedir. Yüksek su tutma kapasiteli ürünler, gıda sistemi içindeki diğer bileşenlerin su kaybetmesine neden olmaktadır (Xu ve Diosady, 1994).

Tablo 5.8: Kırmızı biber tohum unu ve proteini, soya protein konsantresinin su ve yağ tutma kapasiteleri

Örnek ²	Su Tutma Kapasitesi (g/g örnek) ¹	Yağ Tutma Kapasitesi (g/g örnek)
Kırmızı Biber Tohum Unu	2,68 ± 1,5 ^a	2,81 ± 1,2 ^a
Kırmızı Biber Tohum Proteini	1,89 ± 1,3 ^b	3,20 ± 1,6 ^b
Soya Protein Konsantresi	4,82 ± 1,6 ^c	2,81 ± 1,4 ^a

¹ Ortalama ± standart sapma

² Her sütündeki farklı harfler, değerlerin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir (p < 0,05).

Sonuçlar göstermektedir ki proteinlerin çözünürlük ile su tutma kapasitesi arasında direkt bir ilişki bulunmamaktadır. Benzer sonuç buğday protein izolatu için de elde edilmiştir (Ahmedna ve diğ., 1999). Diğer yandan Mwasaru ve diğ. (1999), proteinlerin çözünürlük özellikleri ile su absorplama özellikleri arasında ters bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Kırmızı biber tohum unu için elde edilen 2,68 g/g su tutma kapasitesi değeri, domates tohumu proteini (2,76 g/g) (Liadakis ve diğ., 1998), lima fasulyesi unu (2,65 g/g) (Guerrero ve diğ., 2002), çin kolza unu (2,48 g/g) (Xu ve Diosady, 1994), kanola unu (2,61 g/g) (Xu ve Diosady, 1994), güvercin bezelyesi unu (2,13 g/g) (Mwasaru ve diğ., 1999) için elde edilen değerlerle benzerlik göstermektedir. Kırmızı biber tohum proteini için elde edilen su tutma kapasitesi değeri (1,89 g/g) ise kaju fıstığı (1,45 g/g) (Neto ve diğ., 2001), guar proteini (1,98 g/g) (Khalil, 2001), yerfıstığı (1,5 g/g) (Kim ve diğ., 1992) için elde edilen değerler ile benzerlik göstermektedir.

Proteinlerin su tutma kapasitesi, protein molekülündeki aminoasitlerin hidrofilik-hidrofobik dengesine, lipid, karbonhidrat ve tanin varlığına, sistemin termodinamik özelliklerine, çevrenin fizikokimyasal özelliklerine (pH, iyonik kuvvet, su buharı basıncı, sıcaklık ve sürfaktan varlığı) ve proteinin çözünürlüğüne bağlı olarak değişir. Protein moleküllerinin polar amino grupları, protein-su etkileşimine giren birincil bölgelerdir. Protein izolatlarının su tutma kapasitelerindeki farklılık konformasyonel özelliklerinden kaynaklanabilmektedir (Chavan ve diğ., 2001).

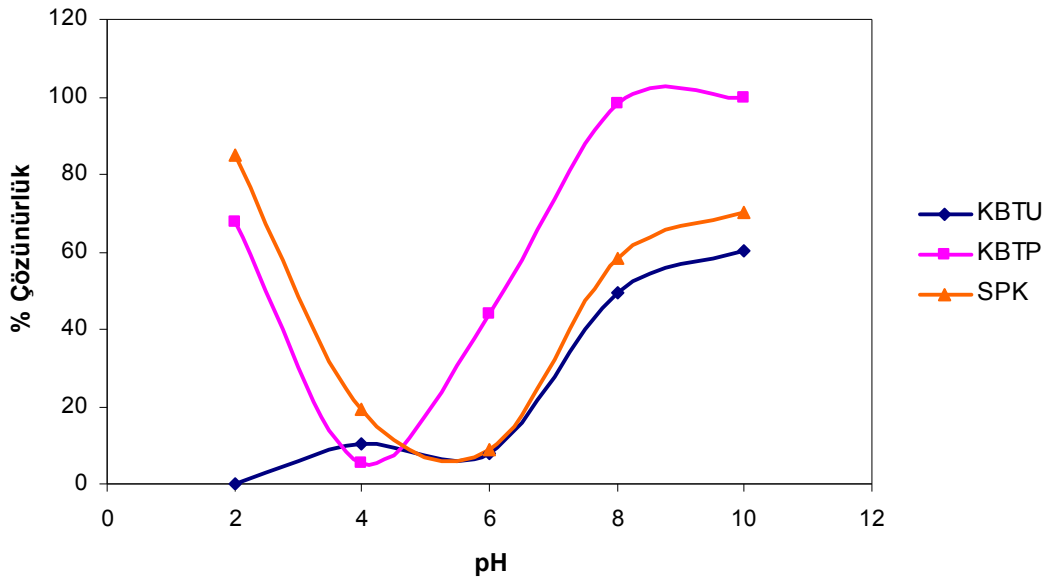
Kırmızı biber tohum proteini suya göre yağı daha iyi absorplama özelliğine sahiptir. Kırmızı biber tohum proteinin yağ tutma kapasitesi (3,20 g/g), su tutma kapasitesinin (1,89 g/g) yaklaşık olarak iki katı kadardır. Bu özellik, kek ve bisküit gibi unlu ürünlerde ağız dokusunun ve aromanın ağızda kalma süresinin geliştirilmesi gibi avantajlar sağlayabilmektedir (Khalil, 2001). Ayrıca, et ürünlerinde kullanıldıklarında su ve yağ kaybını azaltarak ürünün raf ömrünü uzatabilirler ve lezzetini geliştirirler (Guerrero ve diğ., 2002). Kırmızı biber tohum proteinin su tutma kapasitesi, soya protein konsantresi ile kıyaslandığında oldukça düşük olmasına rağmen yağ tutma özelliği daha yüksektir. Bu yüksek yağ tutma kapasitesi, protein molekülündeki polar olmayan grupların fazlalığından kaynaklanmaktadır (Idouraine ve diğ., 1991; Guerrero ve diğ., 2002). Kırmızı biber tohum proteinin yağ tutma kapasitesi (3,20 g/g), domates tohum proteini (3,17 g/g) (Liadakis ve diğ., 1998), jack fasulyesi unu (3,15 g/g) (Guerrero ve diğ., 2002), Şile fıncığı unu (3,30 g/g), acı bakla protein izolatu (2,9 g/g) (El-Adawy ve diğ., 2001) için elde edilen değer ile benzerlik göstermektedir.

5.3.3 Çözünürlük

5.3.3.1 pH'ın etkisi

Teorik olarak, protein su, yağ ve kendileri ile etkileşime girebilmek için çözünür olmalıdırlar. Bu nedenle proteinlerin çözünürlükleri, su tutma, emülsiyon ve jel özellikleri gibi teknolojik özellikleri hakkında önemli bir göstergedir (Cortes-Ruiz ve diğ., 2008). Kırmızı biber tohum unu ve proteini, soya protein konsantresinin çözünürlük profilleri pH'a bağlı olarak Şekil 5.11'de verilmiştir. Proteinlerin farklı pH değerlerindeki çözünürlük özellikleri, gıda sistemine ilave edildikleri zaman protein malzemesinin ne kadar iyi bir fonksiyon sergileyeceğinin bir indikatörüdür (Inyang and Iduh, 1996). Kırmızı biber tohum proteini ve soya protein konsantresi U-şekilli pH-çözünürlük profili göstermektedir. Kırmızı biber tohum proteini için en düşük çözünürlük değeri pH 4'de elde edilmektedir. Bu değer kırmızı biber tohum proteininin izoelektrik noktasını belirtmektedir. Çözünürlük, pH 4 değerinin altındaki ve üstündeki pH değerlerinde, pH 2'de %67,7 pH 10'da ise %99,9 değerine kadar artmaktadır. Kırmızı biber tohum proteini ve soya protein konsantresinin çözünürlükleri asidik pH koşullarında izoelektrik noktaya kadar azalmakta ve sonra bazik pH değerlerinde artmaktadır. Benzer çözünürlük profili susam proteini (Inyang

ve Nwadiimkpa, 1992), mısır proteini (Myers ve diğ., 1994), börülce ve güvercin bezelyesi proteini (Mwasaru ve diğ., 2000), keten tohumu proteini (Krause ve diğ., 2002), pirinç kepeği proteini (Gupta ve diğ., 2008), Crambe yağlı tohumu (Massoura ve diğ., 1998), arpa protein konsantresi (Bilgi ve Çelik, 2004), acı bakla tohumu protein izolatu (El-Adawy ve diğ., 2001) için elde edilmiştir. Kırmızı biber tohumunu asidik koşullarda kırmızı biber tohum proteini ile benzer davranış göstermemektedir. Kırmızı biber tohumununun asidik koşullardaki çözünürlüğü oldukça düşüktür. Bu koşullardaki düşük çözünürlük özellikleri nedeniyle, kırmızı biber tohumunu jel, köpük ve emülsiyon oluşturmada etkin bir rol üstlenemez. Kırmızı biber proteininin alkali koşullardaki çözünürlüğü asidik koşullara göre daha yüksektir. Kırmızı biber tohum proteininin %80'den fazlası pH 7 değerinin üzerinde suda çözünür hale geçmektedir. Bu sonuç albumin ve globulin proteinlerinin varlığını göstermektedir (Myers ve diğ., 1994).



Şekil 5.11: Kırmızı biber tohumunu, proteini ve soya protein konsantresinin pH-çözünürlük profilleri

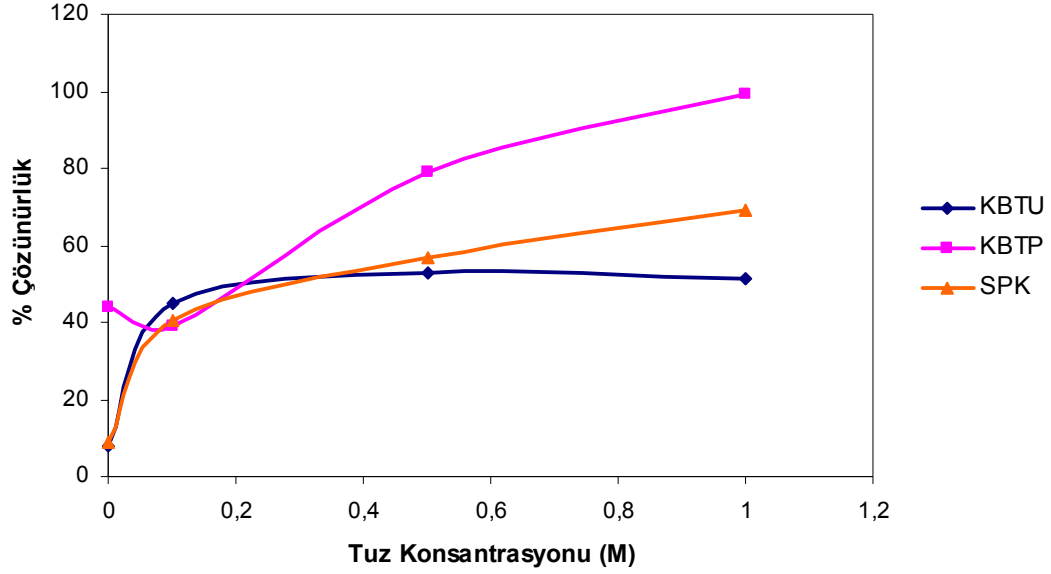
Soya protein konsantresinin çözünürlük değerleri kırmızı biber tohum proteinine göre daha geniş bir aralıkta (pH 4 – 6) düşük olarak gözlenmektedir. Çözünürlüğün düşük olduğu pH aralığının dar olması proteinlerin fonksiyonelliği için arzu edilen bir durumdur. Çözünürlüğün düşük olduğu geniş pH aralığı, protein denatürasyonunun göstergesidir (Mwasaru ve diğ., 1999). Asidik koşullarda soya protein konsantresinin çözünürlük değerleri kırmızı biber tohum proteinine göre daha

yüksektir. Alkali koşullarda ise kırmızı biber tohum proteini daha çözünür özellik kazanmaktadır. En yüksek çözünürlük değeri soya protein konsantresi için pH 2’de olan %85,12, kırmızı biber tohum proteini için ise pH 10’da %99,9 değeri elde edilmiştir.

5.3.3.2 Tuz konsantrasyonunun etkisi

Tuzlar proteinlerin çözünürlüklerini protein-protein ve protein-su etkileşimlerini etkileyerek değiştirirler. Tuz tipine ve konsantrasyonuna bağlı olarak, çözünürlük azalır veya artar. Sodyum klorür ilavesinin pH 6’da kırmızı biber tohum unu ve proteini, soya protein konsantresine etkileri Şekil 5.12’de görülmektedir. Genel olarak tüm örneklerde tuz konsantrasyonu artıkça çözünürlük de artmaktadır. Tuz konsantrasyonunun 0,0 M’den (distile su) 1,0 M’e artırılması ile kırmızı biber tohumunun ve proteininin, soya protein konsantresinin çözünürlükleri sırasıyla %8’den %51’e, %44’den %99’a, %9’dan %69’a artırmıştır. Çözünürlükteki benzer artış susam protein konsantresi (Inyang ve Iduh, 1996), bezelye protein konsantresi (Chavan ve diğ., 2001), acı bakla tohumu protein izolatu (El-Adawy ve diğ., 2001) için elde edilmiştir. Diğer yandan Bilgi ve Çelik (2004), arpa protein konsantresinin çözünürlüğünün NaCl varlığı ile azaldığını, Mwasaru ve diğ. (2000) ise börülce protein izolatının çözünürlüğünün NaCl ilavesi ile asidik koşullarda azaldığı, bazik koşullarda ise arttığını belirlemişlerdir. Çözünürlükteki bu artış, klor iyonlarının pozitif yüklü protein gruplarına bağlanma kapasitesinin daha iyi olması ile açıklanabilir (Inyang ve Iduh, 1996). Sadece kırmızı biber tohum protein konsantresinde 0,1 M değerinde distile sudaki çözünürlüğüne göre bir azalma gözlenmektedir. Kırmızı biber tohumunun çözünürlük değerleri, tuz konsantrasyonunun 0,0 M’den 1,0 M’e artırılması ile artmış ve daha sonra tuz konsantrasyonundaki artıştan etkilenmemiştir. Konsantrasyonun 0,1 M’den 1,0 M’a çıkartılması ile çözünürlük değerleri kırmızı biber tohum protein konsantresi ve soya protein konsantresi için sırasıyla %155 ve %72 oranında artmıştır.

Sonuç olarak kırmızı biber proteini, birçok gıda sisteminde bulunabilecek pH ve tuz konsantrasyonu aralığında çözündürdür. Bebek gıdaları, fırıncılık ürünleri, gazlı içecekler ve tatlılar gibi ürünlerde kullanılabilirler.



Şekil 5.12: Tuz konsantrasyonunun kırmızı biber tohum unu, proteini ve soya protein konsantrasyonunun çözünürlüğüne etkisi

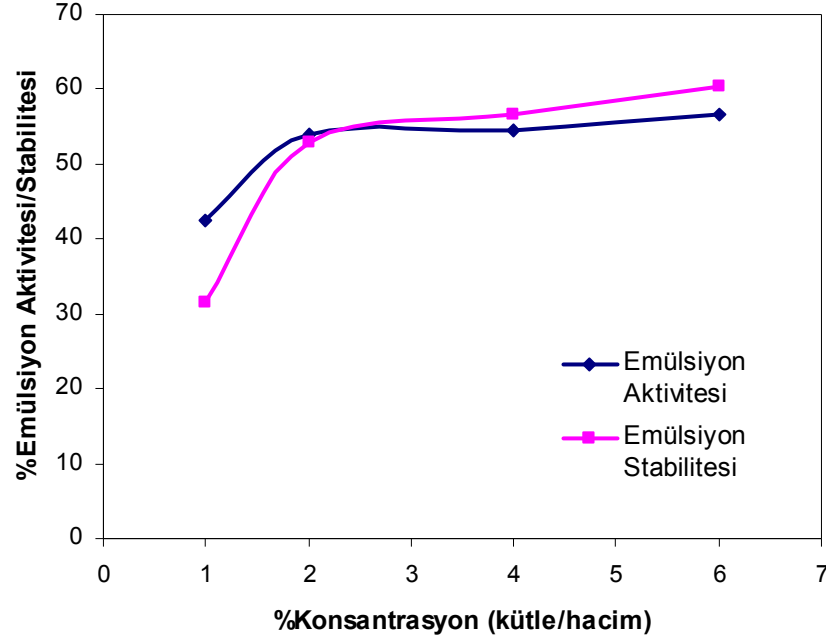
5.3.4 Emülsiyon özellikleri

Proteinlerin emülsiyon özellikleri, gıdalardaki fonksiyonellikleri açısından önemli fonksiyonel özelliklerinden biridir. Proteinlerin gıda emülsiyonlarındaki emülsiyon özelliklerini tespit etmek için emülsiyon aktivitesi ve emülsiyon stabilitesi terimleri kullanılmaktadır. Emülsiyon aktivitesi proteinin emülsiyon oluşturabilme ve emülsiyon stabilitesi ise proteinin depolama sırasında yağ/su emülsiyonunun homojenliğini koruyabilme kabiliyetidir. Emülsiyon özellikleri, protein konsantrasyonu, pH ve tuz konsantrasyonu gibi faktörlerden etkilenmektedir (Massoura ve diğ., 1998).

5.3.4.1 Konsantrasyonunun etkisi

Kırmızı biber tohum unu konsantrasyonunun pH 6'da emülsiyon aktivitesi ve stabilitesine etkisi Şekil 5.13'de görülmektedir. Un konsantrasyonunun %1'den %2'ye artışı emülsiyon aktivitesini %26,72, emülsiyon stabilitesini ise %67,04 düzeyinde istatistiksel olarak önemli oranda artırmıştır ($p < 0,05$). Konsantrasyonun %2'den daha yüksek değerlerinin emülsiyon aktivitesi ve stabilitesi üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli değildir ($p > 0,05$). Aynı sonuç, Cepeda ve diğ. (1998) tarafından bakla fasulyesi proteini ve Bilgi ve Çelik (2004) tarafından arpa proteini ile yapılan çalışmalarda da elde edilmiştir. Sze-Tao ve Sathe (2000) ise, badem protein izolatı

için konsantrasyon ile emülsiyon aktivitesinin azaldığını belirlemişlerdir. Akintayo ve diğ. (1998), güvercin bezelyesi ve lima fasulyesi protein konsantreleri için optimum emülsiyon oluşturma konsantrasyonunu %2 olarak tespit etmişlerdir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak kırmızı biber tohum unu ve proteinin emülsiyon özelliklerine pH ve tuz konsantrasyonunun etkileri %2 konsantrasyon değerinde incelenmiştir.

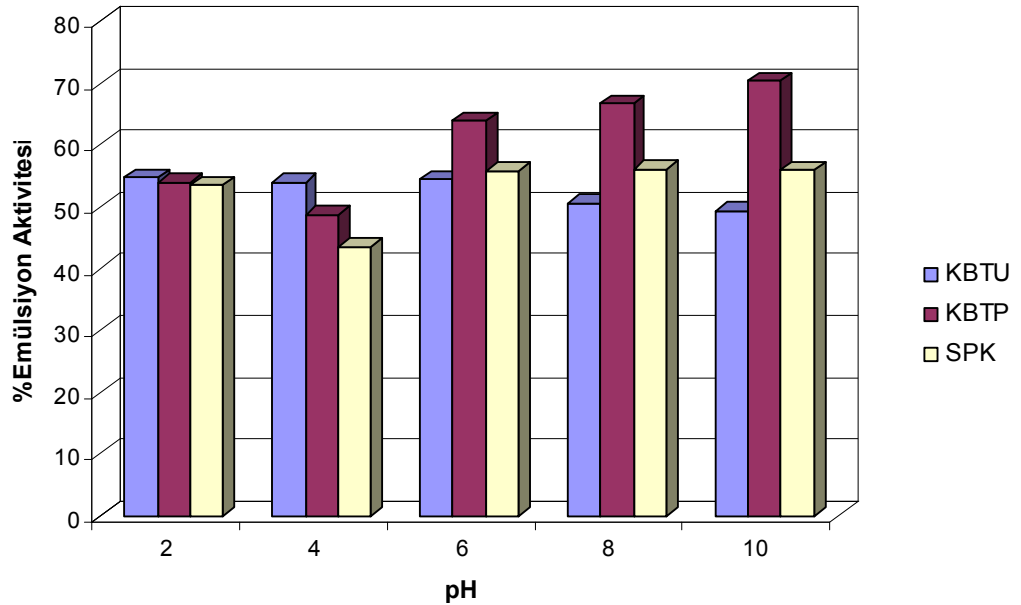


Şekil 5.13: Protein konsantrasyonunun kırmızı biber tohumunun emülsiyon aktivitesi ve stabilitesine etkisi

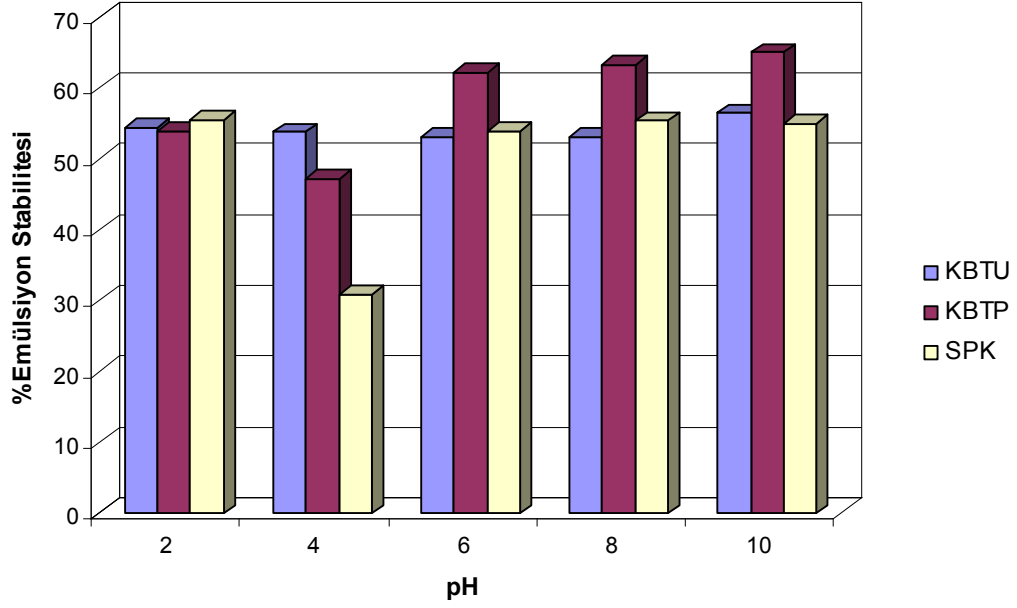
5.3.4.2 pH'ın etkisi

Kırmızı biber tohum unu ve proteini, soya protein konsantrasyonunun emülsiyon aktivitesi ve stabilitesinin pH ile değişimi Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'de görülmektedir. Sonuçlar göstermektedir ki, kırmızı biber tohum unu, proteini ve soya protein konsantrasyonunun emülsiyon aktivitesi ve stabilitesinin pH ile değişimleri benzer eğilimler göstermektedir. Bu benzer eğilim, Massoura ve diğ. (1998) ve Fuhrmeister ve Meuser (2003) tarafında da belirtilmiştir. Kırmızı biber tohum proteinin, emülsiyon özellikleri proteinlerin çözünürlük eğrileri (Şekil 5.17) ile paralellik göstermektedir. Kırmızı biber tohum proteini için en düşük emülsiyon aktivitesi (%48,81) ve stabilitesi (%47,19), izoelektrik noktası olan pH 4'de elde edilmiştir. İsoelektrik noktanın altındaki ve üstündeki pH değerlerinde emülsiyon özellikleri

istatistiksel olarak önemli düzeyde artmaktadır ($p < 0,05$). Emülsiyon aktivitesi, pH 2 ve pH 10'da sırasıyla %53,99 ve %70,42 değerlerine, emülsiyon stabilitesi ise %53,89 ve %64,90 değerlerine ulaşmaktadır. Proteinler, izoelektrik noktalarına yakın oldukları pH değerlerinde en yüksek emülsiyon oluşturma özelliklerini gösterebilmektedirler. Ortamın pH'ı emülsiyon özelliklerini çözünürlük, yüzey su tutma özelliği ve yağ globülleri etrafındaki koruyucu tabakanın elektriksel yükünü değiştirerek etkilerler. Artan protein çözünürlüğü, ara yüzeydeki protein konsantrasyonunda artışa yol açar. Bu da, yüzeyler arasında film oluşumunu artırarak emülsiyon özelliklerini geliştirilmesini sağlar (Bilgi ve Çelik, 2004). Bu sonuç, arpa protein konsantresi (Bilgi ve Çelik, 2004) ve susam unu (Inyang ve Nwadiwaka, 1992), güvercin bezelyesi protein izolatu (Mwasaru ve diğ., 2000) için elde edilen sonuçlar ile uyum göstermektedir. Alkali koşullar, kırmızı biber tohum proteininin emülsiyon özelliklerini asidik koşullara göre daha çok geliştirmektedir. Benzer sonuç, Inyang ve Iduh (1996) tarafından susam protein konsantresi için de elde edilmiştir. Kırmızı biber tohumunun emülsiyon özelliklerinin pH ile değişimi istatistiksel olarak önemli düzeyde değildir ($p > 0,05$). Bu durum, unun içerdiği diğer bileşenlerin birbiri ile etkileşimlerinin emülsiyon özellikleri etkilemesi ile açıklanabilir (Guerrero ve diğ., 2002).



Şekil 5.14: Emülsiyon aktivitesinin pH ile değişimi



Şekil 5.15: Emülsiyon stabilitesinin pH ile değişimi

Kırmızı biber tohum proteini, bazik pH koşullarında kırmızı biber tohum ununa ve soya protein konsantresine göre daha yüksek emülsiyon özelliklerine sahiptir ($p < 0,05$). Kırmızı biber tohum proteininin emülsiyon aktivitesi değerleri (%48,81-70,42), domates tohum protein izolatu (%35,4) (Liadakis ve diğ., 1998), lima fasulyesi protein izolatu (%50-57) (Mwasaru ve diğ., 2000), kolza tohumu protein izolatu (%56,1) (Xu ve Diosady, 1994), buğday proteini (%68) (Ge ve diğ., 2000) için elde edilen değerlerden daha yüksektir. Asidik koşullardaki emülsiyon özelliklerinin düşük olması, klorür iyonların varlığıyla proteinlerin net elektriksel yükleri azalması ve emülsiyon oluşturmuş damlaların birbiri ile olan etkileşimleri artmasından kaynaklanmaktadır (Chavan ve diğ., 2001).

Emülsiyonların 80°C'de 30 dakika ısıtılmalarının, emülsiyon yapısının bozulmasına etkisi çok azdır, kırmızı biber tohum unu ve proteini ile hazırlanan emülsiyonların stabiliteyi yüksektir. Proteinlerin, yüksek emülsiyon stabilitesi, uygulanan ısıl işlem nedeniyle (80°C'de 30 dakika) bazı proteinlerin parçalanması ile ilişkilendirilebilir ve oluşan sonuç bileşikler daha fazla hidrofobik grup içermeleri nedeniyle yağ fazı ile daha kuvvetli etkileşirler (Chau ve diğ., 1997). Kırmızı biber tohum proteininin emülsiyon stabilitesi değerleri, kırmızı biber tohum ununa göre istatistiksel olarak daha yüksektir ($p < 0,05$). Bu durum, Cepeda ve diğ. (1998) tarafından emülsiyon stabilitesinin proteinlerin hidrofobik karakteri ile artması ile açıklanmaktadır.

Kırmızı biber tohum proteininin, kırmızı biber tohum ununa göre daha hidrofobik özellik gösterdiği sorpsiyon özellikleri bölümünde (Şekil 5.33) gösterilmiştir.

5.3.4.3 Tuz konsantrasyonunun etkisi

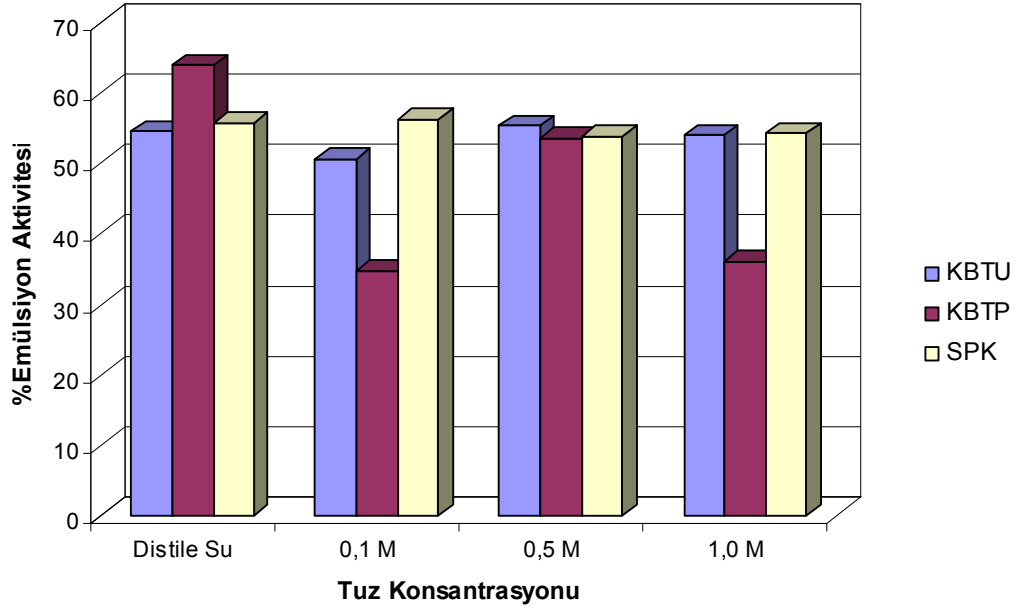
Tuzun emülsiyon özelliklerine etkisi, yağ-su arayüzeyindeki protein adsorplamasına olan etkisinden kaynaklanmaktadır (Chavan ve diğ., 2001).

Kırmızı biber tohum unu ve protein konsantrasyonunun emülsiyon özelliklerine tuz konsantrasyonunun etkisi pH 6'da ticari ürün olan soya protein konsantrasyonu ile karşılaştırılarak Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de incelenmiştir. Kırmızı biber tohum unu, proteini ve soya protein konsantrasyonunun emülsiyon aktivitesi ve stabilitesinin tuz konsantrasyonu ile değişimleri benzer eğilimler göstermektedir. Kırmızı biber tohum proteininin emülsiyon özellikleri tuz ilavesi ile istatistiksel olarak önemli düzeyde azalmaktadır ($p < 0,05$). Fakat emülsiyon özelliklerinin değişiminde kararlı bir eğilim gözlenmemektedir. Inyang ve Iduh (1996) ve Chavan ve diğ. (2001) ise, susam protein konsantrasyonu ve bezelye protein izolatının emülsiyon özelliklerinin artan tuz konsantrasyonu ile arttığını belirlemişlerdir. Kırmızı biber tohum proteini için en yüksek emülsiyon aktivitesi (%63,93) ve stabilitesi (%62,07), tuz içermeyen emülsiyonlarda gözlenmektedir. Kırmızı biber tohum unu ve soya protein konsantrasyonunun emülsiyon özelliklerinin tuz konsantrasyonunun 0,0 M'den (distile su) 1,0 M'e artırılması ile istatistiksel olarak önemli düzeyde değişim gözlenmemektedir ($p > 0,05$). Soya protein konsantrasyonu ile kırmızı biber tohum proteininin emülsiyon özelliklerinin artan tuz konsantrasyonu ile değişiminin birbirinden farklı olması, amino asit kompozisyonu ve moleküler ağırlık dağılımının farklı olmasından kaynaklanabilmektedir (Mwasaru ve diğ., 2000).

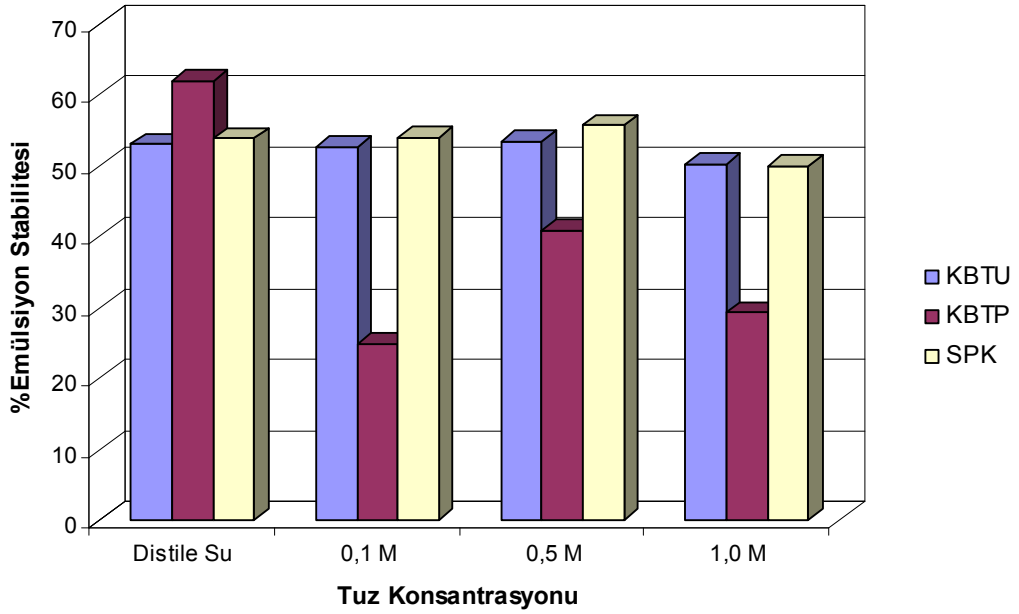
Tuz ilavesinin emülsiyon özellikleri üzerine etkileri ile tuz ilavesinin çözünürlüğe olan etkileri (Şekil 5.18) arasında bir benzerlik görülmemektedir. Benzer sonuç, börülce unu protein izolatı için de elde edilmiştir. Tuz ilavesi, emülsiyon özelliklerini protein çözünürlüğüne olan etkilerinden farklı bir mekanizma ile etkilemektedir (Mwasaru ve diğ., 2000).

Emülsiyon oluşturmada kullanılan metot (kullanılan cihaz, süre, yağ tipi vb.) emülsiyon özelliklerini etkilemektedir (Bilgi ve Çelik, 2004; Mahajan ve Dua, 1994; Idouraine ve diğ., 1991; Xu ve Diosady, 1994). Bu nedenle, literatürde farklı

metotlar kullanılarak belirlenen diğer bitkisel kaynaklara ait değerlerin elde edilen sonuçlar ile kıyaslanması mümkün olmamaktadır.



Şekil 5.16: Emülsiyon aktivitesinin tuz konsantrasyonu ile değişimi



Şekil 5.17: Emülsiyon stabilitesinin tuz konsantrasyonu ile değişimi

Kırmızı biber tohum proteini ve unu için elde edilen emülsiyon özellikleri göstermektedir ki, bu ürünler sos, mayonez ve salata sosu gibi ürünlerde emülgatör olarak kullanılabilirler.

5.3.5 Köpük özellikleri

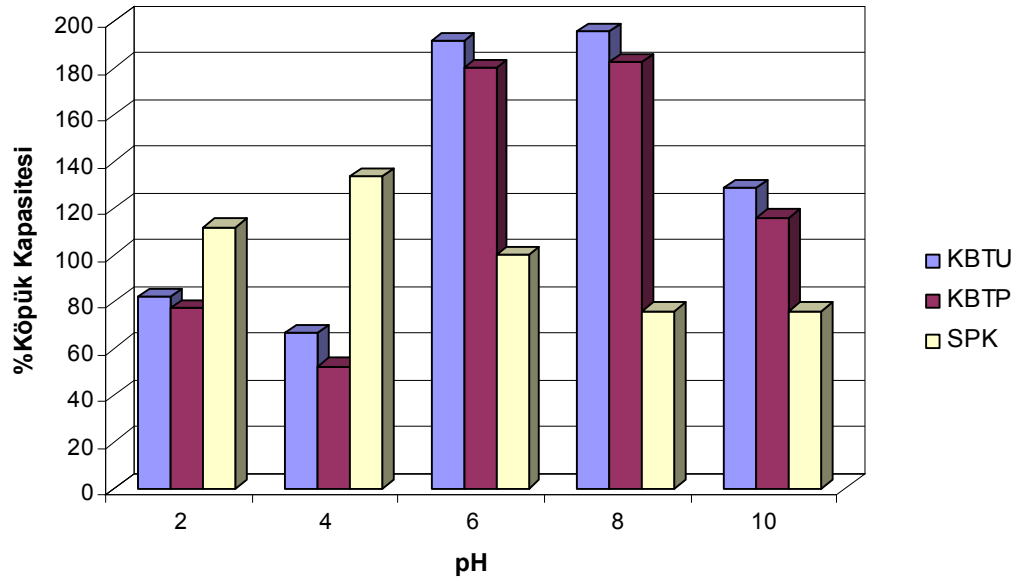
5.3.5.1 pH'ın etkisi

Proteinlerin köpük özelliklerini protein tipi, hazırlama metodu, bileşim, çözünürlük, konsantrasyon, pH, tuzların varlığı, hidrofobik özellik ve ölçüm metodu gibi birçok faktör etkilemektedir. Genellikle köpük oluşumu için proteinlerin sıvı ortam içinde çözünür oldukları ve hava-su arayüzeyinde bir tabaka oluşturduğu varsayılmaktadır. Köpük stabilitesi için protein filminin yerel deformasyona dayanacak bir esnekliğe sahip olması gerekmektedir (Massoura ve diğ., 1998).

Kırmızı biber tohum unu ve proteinin farklı pH değerlerindeki köpük oluşturma kapasitesi değerleri ticari bir ürün olan soya protein konsantresi ile karşılaştırılarak Şekil 5.18'de verilmiştir. Kırmızı biber tohum unu ve proteinin köpük oluşturma özellikleri pH'a bağlı olarak değişmektedir. En düşük köpük kapasitesi değerleri (kırmızı biber tohum unu için %66,4, kırmızı biber tohum proteini için %52,2) izoelektrik noktası olan pH 4 değerinde elde edilmektedir. İzoelektrik noktada proteinler sıfıra yakın net yüke sahiptirler ve bu da bu pH değerinde fonksiyonel özelliklerinin geliştirilmesine izin vermez (Guerrero ve diğ., 2002). İzoelektrik noktanın altındaki ve üstündeki değerlerde köpük özellikleri artmaktadır. Bu davranış çözünürlük özellikleri ile paralellik göstermektedir (Şekil 5.11). Fasulye unu ve proteini (Guerrero ve diğ., 2002), kişniş tohum unu ve proteini (Aluko ve diğ., 2001), susam unu (Inyang ve Nwadinmpa, 1992), susam protein konsantresi (Inyang ve Iduh, 1996), güvercin bezelyesi protein konsantresi (Akintayo ve diğ., 1999), bir yağlı tohum (Crambe) proteini (Massoura ve diğ., 1998), Antep fıstığı protein izolatu (Ayrancı ve Dalgıç, 1992) gibi diğer bitkisel kaynaklı ürünlerde benzer şekilde davranmaktadırlar. Köpük kapasitesi, susam protein konsantresi için %9-%97 (Inyang ve Iduh, 1996), kişniş tohum protein konsantresi için %185-%210 (Aluko ve diğ., 2001), fasulye unu protein konsantresi için %70-%160 (Guerrero ve diğ., 2002), güvercin bezelyesi protein konsantresi için %80-%140 (Akintayo ve diğ., 1999) aralığında değişmektedir. Bitkisel kaynaklı proteinlerin köpük özelliklerindeki bu farklılık, proteinlerindeki ve uygulanan konsantrasyonlardaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır (Akintayo ve diğ., 1999).

Asidik pH koşullarında (pH < 6) soya protein konsantresi kırmızı biber tohum unu ve proteinine göre istatistiksel olarak (p < 0,05) daha yüksek hacimli köpük

oluşturmaktadır. Bu sonuç, soya protein konsantresinin asidik koşullarda çözelti içinde daha esnek bir protein yapısına sahip olduğunu ve hava-su arayüzünde daha kuvvetli etkileşim göstererek daha stabil köpükler oluşturduğunu göstermektedir (Aluko ve diğ., 2001). Bunun tam tersi olarak, kırmızı biber tohum ürünleri 6, 8 ve 10 gibi bazik pH değerlerinde istatistiksel olarak soya protein konsantresine göre oldukça yüksek köpük kapasitesine sahiptirler ($p < 0,05$). Genellikle, kırmızı biber tohum unu, istatistiksel olarak kırmızı biber tohum proteinine göre daha iyi köpük oluşturma özelliği göstermektedirler ($p < 0,05$). Alkali pH değerlerinde kırmızı biber tohum unu ve proteininin köpük kapasitesi istatistiksel olarak proteinlerin negatif yük yoğunluğunun artması ile artmaktadır ($p < 0,05$). Yük yoğunluğunun artması ile protein moleküllerinin yapısındaki hidrofobik bağlar zayıflar ve köpük oluşumunu kolaylaştıran daha esnek bir yapı kazanırlar (Aluko ve diğ., 2001; Guerrero ve diğ., 2002).



Şekil 5.18: Köpük kapasitesinin pH ile değişimi

Gıda ürünleri genellikle tüketilmeye kadar oda koşullarında yada buzdolabı koşullarında depolanırlar bu nedenle köpük stabilitesi, köpük kapasitesi kadar önemli bir özelliktir (Gupta ve diğ., 2008). Kırmızı biber tohum unu, proteini ve soya protein konsantresinin köpük stabilitesi değerlerine pH'ın etkisi farklı zaman değerlerinde sırasıyla Tablo 5.9, Tablo 5.10 ve Tablo 5.11'de gösterilmiştir. Tüm örneklerin köpük kapasitesi zamanla azalmaktadır, bu beklenen bir sonuçtur. Kırmızı biber tohum unu ve proteini için maksimum köpük stabilitesi pH 4, minimum ise pH 6 ve

8 değeriinde gözlenmektedir. Asidik koşullarda stabilitenin yüksek olmasının nedeni, hava-su ara yüzeyinde köpüğe stabilite ve elastikiyet kazandıran stabil bir moleküler tabakanın oluşmasıdır (Inyang and Iduh, 1996).

Tablo 5.9: Kırmızı biber tohumunun köpük stabilitesine pH'nin etkisi

pH	Köpük Kapasitesi (%) ¹	Köpük Stabilitesi (%) ²				
		5 dak.	10 dak.	20 dak.	30 dak.	60 dak.
2	82,1±1,2 ^a	85,2±1,6 ^a	83,1±1,5 ^a	78,5±1,0 ^a	73,2±1,2 ^a	70,1±1,5 ^a
4	66,4±1,4 ^b	98,1±1,7 ^b	95,1±1,0 ^b	92,1±1,7 ^b	90,7±1,6 ^b	89,1±1,8 ^b
6	191,3±1,2 ^c	100,0±1,5 ^b	78,1±1,6 ^a	69,4±1,1 ^c	65,3±1,0 ^c	50,6±1,5 ^c
8	195,3±1,3 ^c	100,7±1,6 ^b	97,2±1,2 ^b	85,9±1,9 ^d	65,2±1,8 ^c	51,2±1,6 ^c
10	128,4±1,5 ^d	101,0±1,4 ^b	94,2±1,9 ^b	81,0±1,2 ^d	74,3±1,0 ^a	60,1±1,8 ^d

¹ Ortalama ± standart sapma

² Her sütundaki farklı harfler, değerlerin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir (P<0,05).

Tablo 5.10: Kırmızı biber tohumu proteininin köpük stabilitesine pH'nin etkisi

pH	Köpük Kapasitesi (%) ¹	Köpük Stabilitesi (%) ²				
		5 dak.	10 dak.	20 dak.	30 dak.	60 dak.
2	77,2±1,3 ^a	79,5±1,4 ^a	76,9±1,5 ^a	71,8±1,9 ^a	69,2±1,3 ^a	64,1±1,6 ^a
4	52,2±1,8 ^b	91,4±1,6 ^b	88,6±1,6 ^b	88,6±1,1 ^b	85,7±1,6 ^b	85,7±1,1 ^b
6	180,0±1,2 ^c	92,9±1,3 ^b	57,1±1,2 ^c	45,7±1,3 ^c	44,3±1,2 ^c	42,9±1,7 ^c
8	182,6±1,9 ^c	92,3±1,5 ^b	89,2±1,1 ^b	53,9±1,8 ^d	47,1±1,2 ^c	47,7±1,0 ^c
10	116,0±1,2 ^d	92,6±1,7 ^b	83,3±1,5 ^d	74,1±1,5 ^a	70,4±1,4 ^a	57,4±1,6 ^d

¹ Ortalama ± standart sapma

² Her sütundaki farklı harfler, değerlerin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir (P<0,05).

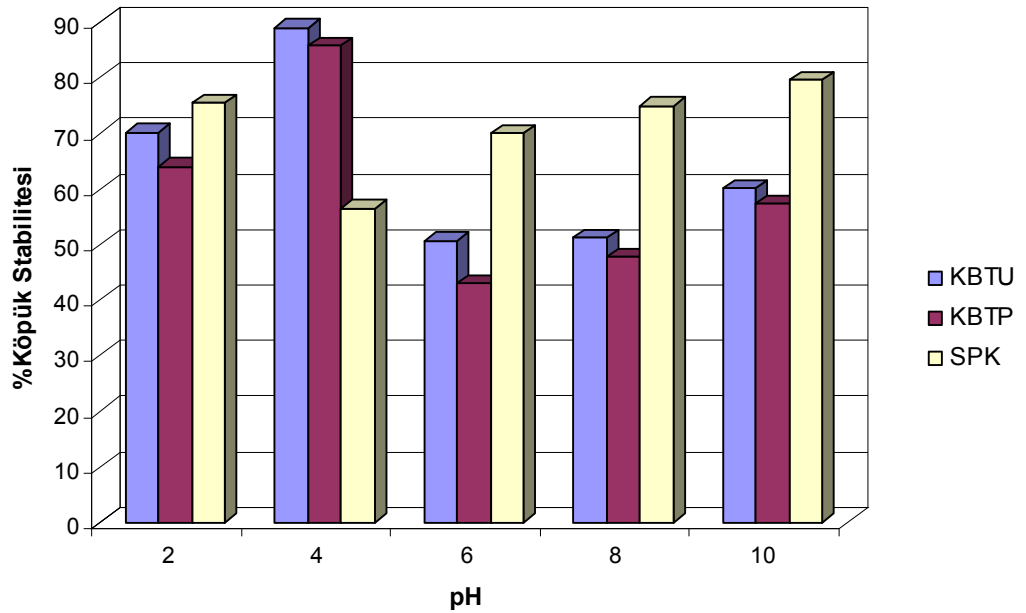
Tablo 5.11: Soya protein konsantresinin köpük stabilitesine pH'nin etkisi

pH	Köpük Kapasitesi (%) ¹	Köpük Stabilitesi (%) ²				
		5 dak.	10 dak.	20 dak.	30 dak.	60 dak.
2	112,0±1,1 ^a	94,3±1,8 ^a	88,7±1,5 ^a	84,9±1,7 ^a	84,9±1,3 ^a	75,5±1,1 ^a
4	133,3±1,9 ^b	100,0±1,9 ^b	72,7±1,3 ^b	70,9±1,0 ^b	60,0±1,7 ^b	56,4±1,4 ^b
6	100,0±1,6 ^c	96,0±1,3 ^{ab}	94,0±1,7 ^a	72,0±1,5 ^{bc}	72,0±1,3 ^c	70,0±1,7 ^c
8	76,0±1,5 ^d	79,6±1,2 ^c	77,3±1,5 ^{bc}	77,3±1,6 ^c	77,3±1,7 ^c	75,0±1,4 ^{ac}
10	76,0±1,3 ^d	90,9±1,6 ^a	81,8±1,2 ^c	81,8±1,2 ^a	81,8±1,6 ^a	79,6±1,8 ^a

¹ Ortalama ± standart sapma

² Her sütundaki farklı harfler, değerlerin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir (P<0,05).

Kırmızı biber tohum unu, proteini ve soya protein konsantresinin köpük stabilitesinin birbiri ile kıyaslanması amacı ile köpük oluşumundan sonraki 60 dakika sonundaki köpük stabilitesi değerleri Şekil 5.19'da gösterilmektedir. Kırmızı biber tohum unu ve proteini alkali koşullarda yüksek köpük hacmine sahip olmalarına rağmen köpük stabilitesi düşüktür. Benzer sonuç Guerrero ve diğ. (2002) tarafından fasulye unu ve proteini için elde edilmiştir. Soya protein konsantresinin stabilitesi alkali koşullarda istatistiksel olarak kırmızı biber tohum ürünlerinden yüksektir ($p < 0,05$). Kırmızı biber tohum unu, kırmızı biber tohum proteinine göre daha stabil köpükler oluşturmaktadır. Benzer sonuç, hardal tohum unu ve proteinleri ile yapılan çalışmada da elde edilmiş ve tohumunun içerisinde bulunan yüksek miktardaki protein olmayan bileşenlerin bu yüksek köpük kapasitesini oluşturduğu açıklanmıştır (Aluko ve diğ., 2005).

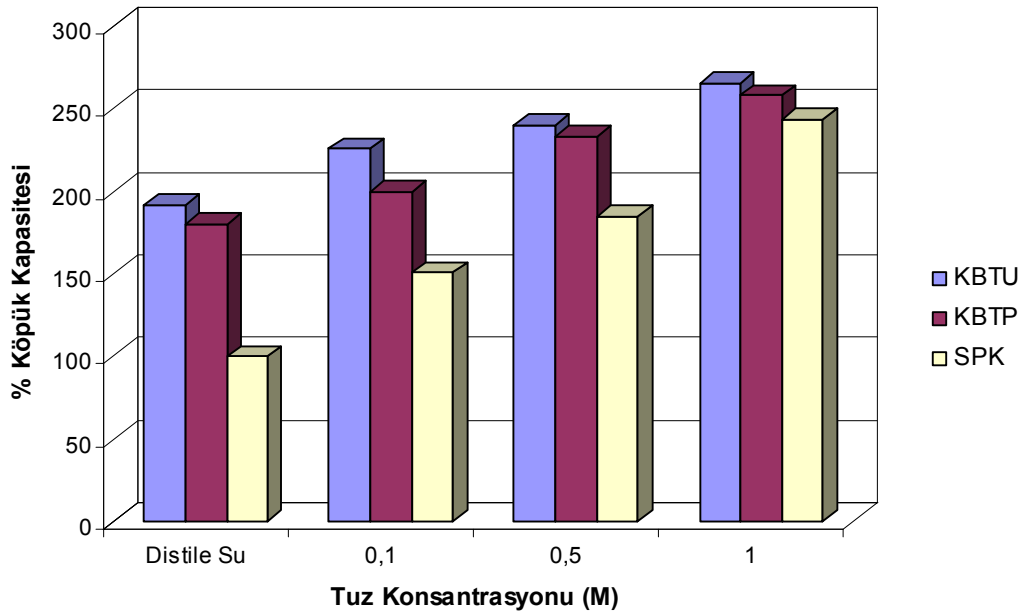


Şekil 5.19: Köpük stabilitesinin pH ile değişimi (60 dakika bekleme süresi sonunda)

5.3.5.2 Tuz konsantrasyonunun etkisi

Tuz ilavesi proteinlerin köpük özelliklerini çözünürlük, viskozite ve agregasyon özelliklerini etkileyerek değiştirmektedir. Etkileri iyon tiplerine (Na, Ca, K vb.) ve konsantrasyona göre değişmektedir (Massoura ve diğ., 1998).

Kırmızı biber tohum unu ve proteinin pH 6'da hazırlanan çözeltilerinin köpük kapasitesi değerlerinin tuz konsantrasyonu ile değişimi soya protein konsantresi ile birlikte Şekil 5.20'de gösterilmiştir. Köpük kapasitesi değerleri, artan tuz konsantrasyonu ile istatistiksel olarak artmaktadır ($p < 0,05$). Köpük kapasitesi konsantrasyonu distile sudan 0,1 M NaCl'e yükseltilmesi ile, kırmızı biber tohum unu için %191,3'den %265,1'e, kırmızı biber tohum proteini için ise %180,0'den %258,1'e yükselmektedir. Bu artış susam protein izolatu (Inyang and Iduh, 1996), pirinç kabuğu protein konsantresi (Gupta ve diğ., 2008), gluten proteini (Linares ve diğ., 2000) için de belirlenmiştir. Bu artış, tuz konsantrasyonundaki artış ile artan protein çözünürlüğü ile açıklanabilir (Şekil 5.12) (Inyang and Iduh, 1996; Akintayo ve diğ., 1999). Sadece sıvı fazdaki çözünür haldeki proteinler köpük oluşumuna katkıda bulunabilirler (Inyang and Iduh, 1996). Ayrıca köpük kapasitesi özelliğindeki artış, NaCl molekülünün arayüzeydeki difüzyona yardım etme kabiliyeti ile de açıklanabilir (Akintayo ve diğ., 1999). Akintayo ve diğ. (1999) düşük tuz konsantrasyonlarının güvercin bezelyesi protein konsantresinin köpük özelliklerini geliştirdiği, fakat yüksek konsantrasyonların ise köpük özelliklerinde azalmaya yol açtığını belirlemişlerdir.



Şekil 5.20: Köpük kapasitesinin tuz konsantrasyonu ile değişimi (pH 6)

Kırmızı biber tohum unu, proteini ve soya protein konsantresi için elde edilen köpük stabilitesi değerlerinin tuz konsantrasyonu ile değişimi sırasıyla Tablo 5.12, Tablo 5.13 ve Tablo 5.14'de gösterilmektedir. Kırmızı biber tohumunun köpük

stabilitesi değerleri tuz konsantrasyonu ile istatistiksel olarak değişmektedir ($p < 0,05$). En yksek köpük stabilitesi değeri 60 dakika sonunda 0,1 M NaCl konsantrasyonunda (%60,3), en dşyk stabilite ise 1,0 M NaCl konsantrasyonunda (%55,4) elde edilmiştir. Elde edilen en dşyk stabilite değeri, distile su için elde edilen değerden istatistiksel olarak daha yksektr ($p < 0,05$). Kırmızı biber tohum proteini ve soya protein konsantresi ise artan tuz konsantrasyonu ile benzer davranış göstermektedirler. Artan tuz konsantrasyonu ile köpük stabilitesi değerleri artmaktadır. Benzer sonuç güvercin bezelyesi protein konsantresi (Akintayo ve diğ., 1999), Crambe yağlı tohumu proteini (Massoura ve diğ., 1998), bakla tohumu proteini (Sathe ve diğ., 1982) için de elde edilmiştir. Diğer yandan, Mwasaru ve diğ. (2000), bezelye protein izolatının stabilitesinin NaCl varlığı ile azaldığını belirlemişlerdir. Aluko ve Yada (1995) ise başka bir çalışmada NaCl miktarındaki değişimin köpük stabilitesinde değişime yol açmadığını tespit etmişlerdir.

Tablo 5.12: Kırmızı biber tohumunun köpük stabilitesine tuz konsantrasyonunun etkisi

Tuz Kons. (M)	Köpük Kapasitesi (%) ¹	Köpük Stabilitesi (%) ²				
		5 dak.	10 dak.	20 dak.	30 dak.	60 dak.
Distile Su	191,3±1,4 ^a	100,0±1,5 ^a	78,1±1,7 ^a	69,4±1,0 ^a	65,3±1,4 ^a	50,6±1,1 ^a
0,1	225,4±1,1 ^b	134,1±1,3 ^b	99,8±1,6 ^b	84,3±1,4 ^b	78,6±1,1 ^b	60,3±0,9 ^b
0,5	240,3±1,0 ^c	145,3±1,1 ^c	110,3±1,3 ^c	90,8±1,8 ^c	70,3±0,9 ^c	59,8±1,3 ^b
1,0	265,1±1,1 ^d	120,8±1,2 ^d	98,7±1,5 ^b	74,5±1,3 ^d	65,2±1,2 ^a	55,4±1,3 ^c

¹Ortalama ± standart sapma

² Her stundaki farklı harfler, değerlerin istatistiksel olarak farklı olduğunu gstermektedir ($P < 0,05$).

Tablo 5.13: Kırmızı biber tohum proteininin kpk stabilitesine tuz konsantrasyonunun etkisi

Tuz Kons. (M)	Kpk Kapasitesi (%) ¹	Kpk Stabilitesi (%) ²				
		5 dak.	10 dak.	20 dak.	30 dak.	60 dak.
Distile Su	180,0±1,2 ^a	92,9±1,0 ^a	57,1±1,1 ^a	45,7±1,2 ^a	44,3±1,4 ^a	42,9±0,9 ^a
0,1	199,3±0,9 ^b	125,4±1,4 ^b	105,3±1,1 ^b	84,1±0,9 ^b	74,3±1,0 ^b	51,3±0,9 ^b
0,5	233,2±0,9 ^c	154,1±1,2 ^c	130,2±1,4 ^c	98,7±1,3 ^c	68,4±1,1 ^c	59,4±1,3 ^c
1,0	258,1±1,1 ^d	135,2±1,3 ^d	101,8±1,0 ^b	86,3±1,4 ^b	72,8±1,2 ^{bc}	60,3±1,1 ^c

¹Ortalama ± standart sapma

² Her sütundaki farklı harfler, değerlerin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir ($P < 0,05$).

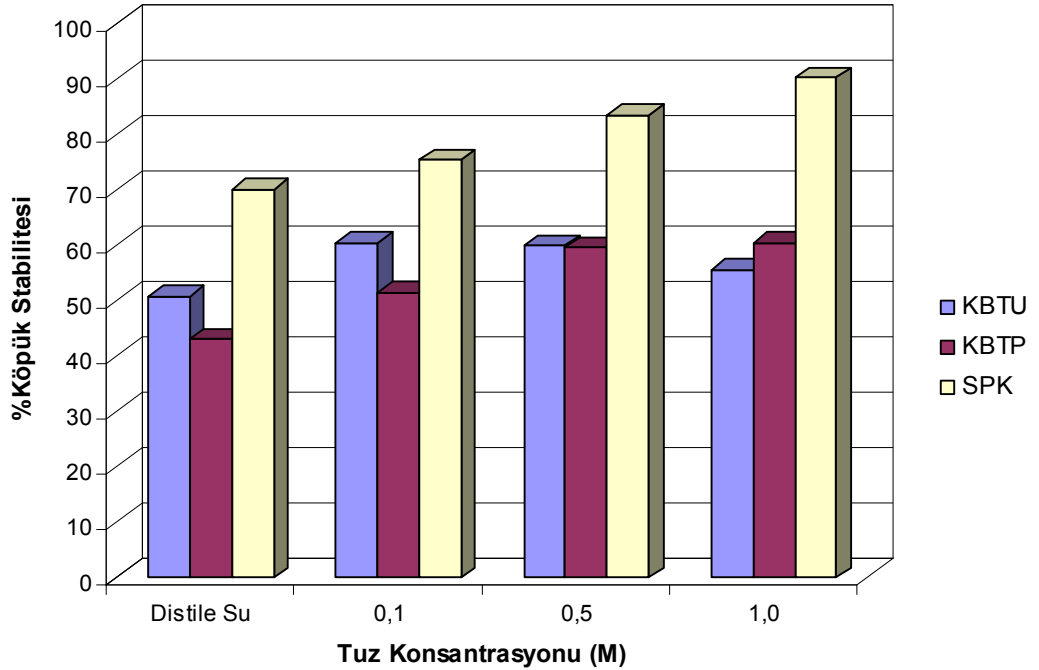
Tablo 5.14: Soya protein konsantrasyonunun köpük stabilitesine tuz konsantrasyonunun etkisi

Tuz Kons. (M)	Köpük Kapasitesi (%) ¹	Köpük Stabilitesi (%) ²				
		5 dak.	10 dak.	20 dak.	30 dak.	60 dak.
Distile Su	100,0±1,1 ^a	96,0±1,3 ^a	94,0±1,2 ^a	72,0±1,1 ^a	72,0±1,2 ^a	70,0±1,2 ^a
0,1	150,4±0,9 ^b	128,3±1,4 ^b	104,7±1,1 ^b	90,3±1,2 ^b	84,2±1,1 ^b	75,3±1,1 ^a
0,5	184,3±0,9 ^c	140,6±1,1 ^c	124,1±1,0 ^c	100,4±1,3 ^c	99,5±1,2 ^c	83,4±1,3 ^b
1,0	248,6±1,2 ^d	151,3±1,3 ^d	130,3±0,9 ^c	128,6±1,3 ^d	103,6±1,1 ^c	90,1±1,2 ^c

¹ Ortalama ± standart sapma

² Her sütundaki farklı harfler, değerlerin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir (P<0,05).

Şekil 5.21’de görüldüğü gibi tuz ilavesi kırmızı biber tohum proteininin köpük kapasitesini soya protein konsantrasyonuna göre daha iyi geliştirmektedir. Köpük stabilitesinde tuz konsantrasyonunun 0’dan (distile su) 1,0 M artırılması ile kırmızı biber tohum proteini için %40, soya proteini konsantrasyonu için ise %29 artış meydana gelmiştir.



Şekil 5.21: Köpük stabilitesinin tuz konsantrasyonu ile değişimi (60 dakika bekleme süresi sonunda)

5.3.6 Jel özellikleri

Jelleşme kapasitesi indeksi olarak kullanılan en düşük jel oluşturma konsantrasyonu, ters çevrilen tüp içerisinde jelin akmadığı konsantrasyon olarak tanımlanır. Düşük

jelleşme konsantrasyonu, daha iyi jel oluşturma kabiliyetini göstermektedir (Akintayo ve diğ., 1999).

5.3.6.1 pH'ın etkisi

Kırmızı biber tohum unu ve proteini, soya protein konsantresi için farklı örnek konsantrasyonu ve pH değerlerindeki jel özellikleri sırasıyla Tablo 5.15, Tablo 5.16 ve Tablo 5.17'de verilmiştir. Farklı pH değerlerindeki en düşük jel oluşturma konsantrasyonları ise Tablo 5.18'de özetlenmiştir. Kırmızı biber tohum proteini için en düşük jelleşme konsantrasyonunda pH 4 değerinde istatistiksel olarak belirgin bir düşüş gözlenmektedir ($p < 0,05$). Bu değer pH-çözünürlük (Şekil 5.11) eğrilerinden görüleceği gibi proteinin en az çözünür olduğu izoelektrik noktasıdır. En düşük jelleşme konsantrasyonu ile çözünürlük arasında ters ilişki mevcuttur (Mwasaru ve diğ., 2000). Bu ilişki güvercin bezelyesi ve börülce protein izolatu (Mwasaru ve diğ., 2000), balkabağı tohumları (Onimawo, 2003) için elde edilmiştir. pH, protein molekülleri arasındaki ve içindeki yükleri ve elektrostatik dengeyi etkilemektedir. Elektrostatik bağlanmalar jel oluşturmada çok etkili faktörlerdir. İzoelektrik noktadan aşağıdaki pH değerlerinde çok fazla pozitif yüklü gruplar, izoelektrik noktanın üzerindeki pH değerlerinde ise çok fazla negatif yüklü gruplar jel oluşmasına izin verirler. Bu nedenle izoelektrik pH değerinden uzaklaştıkça en düşük jelleşme konsantrasyonu artar.

Kırmızı biber tohum proteinin jelleşme özellikleri, soya protein konsantresi ile benzerlik göstermektedir. Kırmızı biber tohumunun ve proteinin alkali pH değerlerindeki en düşük jel oluşturma konsantrasyonları aynıdır, diğer yandan asidik koşullarda kırmızı biber tohum unu düşük jel özelliği göstermektedir. Soya protein konsantresi için en düşük jel oluşturma değeri, izoelektrik noktası olan pH 6'da gözlenmektedir.

Kırmızı biber tohum proteini için elde edilen en düşük jelleşme konsantrasyonu (%4), acı bakla unu (%6) ve protein izolatu (%12) (Lqari ve diğ., 2002), Şili fıncığı protein konsantresi (%14) (Moure ve diğ., 2002) güvercin bezelyesi (%8) ve börülce (%10) protein izolatu (Mwasaru ve diğ., 2000) için elde edilen değerlerden küçüktür.

Tablo 5.15: Örnek konsantrasyonunun ve pH'ın kırmızı biber tohumunun jel özelliklerine etkisi

Örnek Konsantrasyonu (%, kütle/hacim)	pH 2		pH 4		pH 6		pH 8		pH 10	
	Jelleşme	Görünüş	Jelleşme	Görünüş	Jelleşme	Görünüş	Jelleşme	Görünüş	Jelleşme	Görünüş
2	-	Sıvı	-	Sıvı	-	Viskoz	-	Viskoz	-	Sıvı
4	-	Sıvı	-	Sıvı	-	Pıhtı	-	Viskoz	-	Viskoz
6	-	Sıvı	-	Viskoz	-	Pıhtı	-	Pıhtı	-	Viskoz
8	-	Sıvı	-	Viskoz	-	Pıhtı	-	Pıhtı	-	Viskoz
10	-	Viskoz	-	Viskoz	+	Jel	-	Pıhtı	-	Viskoz
12	-	Viskoz	-	Viskoz	+	Jel	+	Jel	-	Pıhtı
14	-	Viskoz	-	Viskoz	+	Sert Jel	+	Jel	+	Jel
16	-	Viskoz	-	Pıhtı	+	Sert Jel	+	Jel	+	Jel
18	-	Viskoz	+	Jel	+	Katı Jel	+	Sert Jel	+	Jel
20	-	Viskoz	+	Jel	+	Katı Jel	+	Sert Jel	+	Sert Jel

Tablo 5.16: Örnek konsantrasyonunun ve pH'ın kırmızı biber tohum proteininin jel özelliklerine etkisi

Örnek Konsantrasyonu (%, kütle/hacim)	pH 2		pH 4		pH 6		pH 8		pH 10	
	Jelleşme	Görünüş	Jelleşme	Görünüş	Jelleşme	Görünüş	Jelleşme	Görünüş	Jelleşme	Görünüş
2	-	Sıvı	-	Pıhtı	-	Pıhtı	-	Viskoz	-	Viskoz
4	-	Sıvı	+	Jel	-	Pıhtı	-	Pıhtı	-	Viskoz
6	-	Sıvı	+	Jel	-	Pıhtı	-	Pıhtı	-	Viskoz
8	-	Sıvı	+	Sert Jel	-	Pıhtı	-	Pıhtı	-	Viskoz
10	-	Sıvı	+	Sert Jel	+	Jel	-	Pıhtı	-	Pıhtı
12	-	Viskoz	+	Katı Jel	+	Jel	+	Jel	-	Pıhtı
14	-	Viskoz	+	Katı Jel	+	Sert Jel	+	Jel	+	Jel
16	-	Viskoz	+	Katı Jel	+	Sert Jel	+	Sert Jel	+	Jel
18	+	Jel	+	Katı Jel	+	Katı Jel	+	Sert Jel	+	Sert Jel
20	+	Jel	+	Katı Jel	+	Katı Jel	+	Katı Jel	+	Sert Jel

(-) jel oluşumu yok, (+) jel oluşumu var

Tablo 5.17: Örnek konsantrasyonunun ve pH'ın soya protein konsantrasyonunun jel özelliklerine etkisi

Örnek Konsantrasyonu (%, kütle/hacim)	pH 2		pH 4		pH 6		pH 8		pH 10	
	Jelleşme	Görünüş	Jelleşme	Görünüş	Jelleşme	Görünüş	Jelleşme	Görünüş	Jelleşme	Görünüş
2	-	Sıvı	-	Sıvı	-	Pıhtı	-	Viskoz	-	Viskoz
4	-	Sıvı	-	Sıvı	-	Pıhtı	-	Pıhtı	-	Viskoz
6	-	Sıvı	-	Sıvı	+	Jel	-	Pıhtı	-	Pıhtı
8	-	Viskoz	-	Pıhtı	+	Jel	-	Pıhtı	-	Pıhtı
10	-	Viskoz	-	Pıhtı	+	Sert Jel	-	Pıhtı	+	Jel
12	+	Jel	-	Pıhtı	+	Sert Jel	-	Pıhtı	+	Jel
14	+	Jel	+	Jel	+	Sert Jel	+	Jel	+	Jel
16	+	Jel	+	Jel	+	Katı Jel	+	Jel	+	Sert Jel
18	+	Katı Jel	+	Jel	+	Katı Jel	+	Sert Jel	+	Sert Jel
20	+	Katı Jel	+	Sert Jel	+	Katı Jel	+	Sert Jel	+	Sert Jel

¹ (-) jel oluşumu yok, (+) jel oluşumu var

Tablo 5.18: Farklı pH değerlerindeki en düşük jel oluşturma konsantrasyonu

pH	En Düşük Jelleşme Konsantrasyonu (% kütle/hacim)		
	KBTU	KBTP	SPK
2	ND ¹	18	12
4	18	4	14
6	10	10	6
8	12	12	14
10	14	14	10

¹ Jel oluşumu gözlenmedi.

5.3.6.2 Tuz konsantrasyonunun etkisi

Kırmızı biber tohum unu ve proteini, soya protein konsantresi için farklı örnek ve tuz konsantrasyonu değerlerindeki jel özellikleri sırasıyla Tablo 5.19, Tablo 5.20 ve Tablo 5.21’de gösterilmiştir. Farklı tuz konsantrasyonundaki en düşük jel oluşturma konsantrasyonları ise Tablo 5.22’de özetlenmiştir. Distile su ile elde edilen en düşük jelleşme konsantrasyonları değerleri 0,1 M NaCl konsantrasyonundakiler ile kıyaslandığında istatistiksel olarak önemli bir azalma gözlenmektedir ($p < 0,05$). Bunun nedeni tuz çözeltisi ile protein çözünürlüğünün artması olarak açıklanabilir (Akintayo ve diğ., 1999). Daha yüksek tuz konsantrasyonlarında ise jel oluşturma özelliklerinde azalma (en düşük jel konsantrasyonunda artış) gözlenir. Jelin yapısının stabilize olmasından hidrojen ve iyonik bağlar sorumludur. Tuz konsantrasyonun yeterince yüksek olması durumunda jeli stabilize eden yükler nötralize olur ve jel özelliklerinde azalma gözlenir (Mwasaru ve diğ., 2000; Akintayo ve diğ., 1999). Sonuçlar göstermektedir ki, 0,5 M ve üstündeki tuz konsantrasyonu değerlerinde, NaCl jel oluşumunun dengesi sağlayan elektriksel yükleri nötralize edebilmekte ve daha yüksek en düşük jel oluşturma konsantrasyonu değerlerine yol açmaktadır. Bu sonuçlar, Akintayo ve diğ. (1999)’nin güvercin bezelyesi protein konsantresi için elde ettiği sonuçlar ile uyum göstermektedir.

Soya protein konsantresinin jel özellikleri, artan tuz konsantrasyonu ile değişmemektedir ($p > 0,05$). Soya protein konsantresinin yüksek tuz konsantrasyonlarındaki ($\geq 0,5$ M) en düşük jel oluşturma konsantrasyonu değerleri, kırmızı biber tohum unu ve proteinine göre daha düşüktür. Kırmızı biber tohum unu ve proteinin jel özelliklerinin tuz konsantrasyonu ile değişimi aynıdır.

Tablo 5.19: Örnek ve tuz konsantrasyonunun kırmızı biber tohumunun jel özelliklerine etkisi

Örnek Konsantrasyonu (%, kütle/hacim)	Distile Su		0,1 M		0,5 M		1,0 M	
	Jelleşme ¹	Görünüş	Jelleşme	Görünüş	Jelleşme	Görünüş	Jelleşme	Görünüş
2	-	Sıvı	-	Viskoz	-	Sıvı	-	Viskoz
4	-	Sıvı	-	Viskoz	-	Sıvı	-	Viskoz
6	-	Viskoz	-	Pıhtı	-	Viskoz	-	Viskoz
8	-	Viskoz	+	Jel	-	Viskoz	-	Viskoz
10	+	Jel	+	Jel	-	Pıhtı	-	Pıhtı
12	+	Jel	+	Jel	+	Jel	+	Jel
14	+	Jel	+	Sert Jel	+	Jel	+	Jel
16	+	Jel	+	Sert Jel	+	Sert Jel	+	Jel
18	+	Katı Jel	+	Katı Jel	+	Sert Jel	+	Sert Jel
20	+	Katı Jel	+	Sert Jel	+	Katı Jel	+	Sert Jel

¹ (-) jel oluşumu yok, (+) jel oluşumu var

Tablo 5.20: Örnek ve tuz konsantrasyonunun kırmızı biber tohum proteininin jel özelliklerine etkisi

Örnek Konsantrasyonu (%, kütle/hacim)	Distile Su		0,1 M		0,5 M		1,0 M	
	Jelleşme ¹	Görünüş	Jelleşme	Görünüş	Jelleşme	Görünüş	Jelleşme	Görünüş
2	-	Viskoz	-	Viskoz	-	Sıvı	-	Viskoz
4	-	Viskoz	-	Pıhtı	-	Viskoz	-	Viskoz
6	-	Viskoz	-	Pıhtı	-	Viskoz	-	Pıhtı
8	-	Viskoz	+	Jel	-	Pıhtı	-	Pıhtı
10	+	Jel	+	Jel	-	Pıhtı	-	Pıhtı
12	+	Jel	+	Jel	+	Jel	+	Jel
14	+	Jel	+	Sert Jel	+	Jel	+	Jel
16	+	Jel	+	Katı Jel	+	Sert Jel	+	Sert Jel
18	+	Katı Jel	+	Katı Jel	+	Katı Jel	+	Sert Jel

¹ (-) jel oluşumu yok, (+) jel oluşumu var

Tablo 5.21: Örnek ve tuz konsantrasyonunun soya protein konsantrasyonunun jel özelliklerine etkisi

Örnek Konsantrasyonu (%, kütle/hacim)	Distile Su		0,1 M		0,5 M		1,0 M	
	Jelleşme	Görünüş	Jelleşme	Görünüş	Jelleşme	Görünüş	Jelleşme	Görünüş
2	-	Viskoz	-	Viskoz	-	Viskoz	-	Viskoz
4	-	Pıhtı	-	Viskoz	-	Pıhtı	-	Viskoz
6	+	Jel	-	Pıhtı	-	Pıhtı	-	Viskoz
8	+	Jel	+	Jel	+	Jel	+	Jel
10	+	Jel	+	Jel	+	Jel	+	Jel
12	+	Sert Jel	+	Jel	+	Sert Jel	+	Jel
14	+	Sert Jel	+	Sert Jel	+	Sert Jel	+	Sert Jel
16	+	Katı Jel	+	Sert Jel	+	Sert Jel	+	Sert Jel
18	+	Katı Jel	+	Katı Jel	+	Katı Jel	+	Sert Jel

¹ (-) jel oluşumu yok, (+) jel oluşumu var

Tablo 5.22: Farklı tuz konsantrasyonlarındaki en düşük jel oluşturma konsantrasyonları

Tuz Konsantrasyonu	En Düşük Jelleşme Konsantrasyonu (% kütle/hacim)		
	KBTU	KBTP	SPK
Distile Su	10	10	6
0,1 M	8	8	8
0,5 M	12	12	8
1,0 M	12	12	8

5.4 Kırmızı Biber Tohum Unu ve Proteinin Mayonez Model Sistemindeki Uygulaması

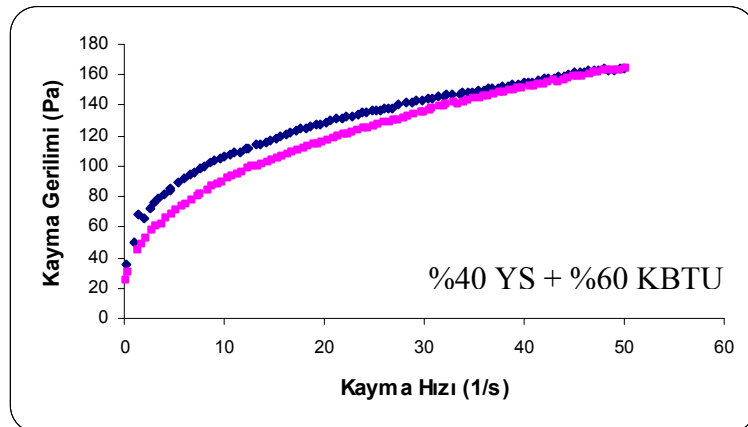
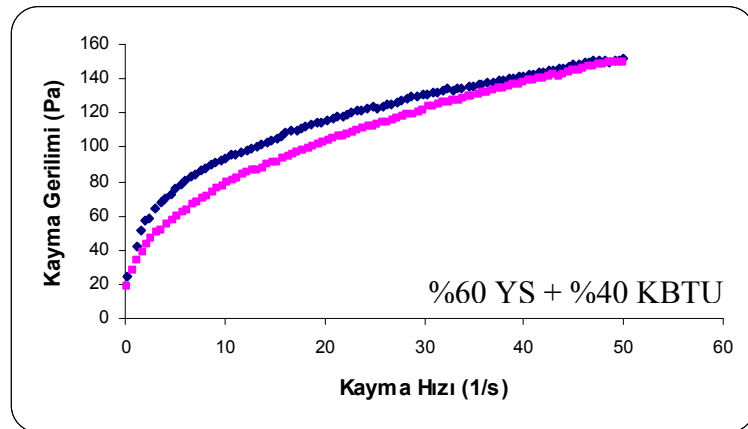
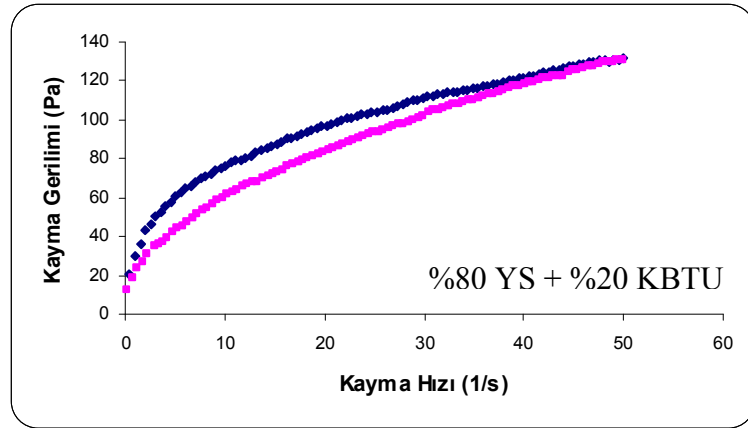
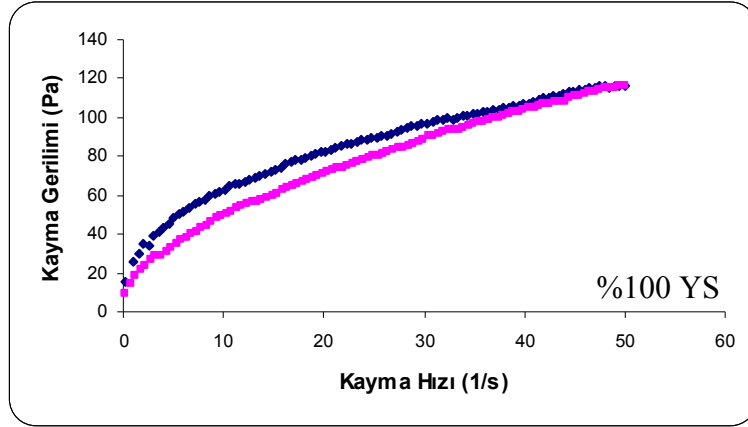
Mayonez bitkisel yağ, yumurta sarısı, sirke ve limon suyu gibi basit bileşenler içeren bir yağ/su emülsiyonudur. Emülsiyon, önceden karıştırılmış yumurta sarısı ve sirke içeren sulu fazın yavaşça yağ ile karıştırılması ile elde edilmektedir. Su fazı ile yağ fazının bir anda karıştırılması su/yağ emülsiyonu oluşumu ile sonuçlanmaktadır. Mayonez stabilitesi yağ miktarı, yumurta sarısı miktarı, viskozite, yağ fazı ile sulu fazın hacimce oranı, karıştırma metodu ve sıcaklık gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Aluko ve McIntosh, 2005).

Yumurta sarısı, birçok gıdada emülsiyon yapıcı olarak kullanılmaktadır. Fakat tek bir yumurta sarısı 210 mg kolesterol içermektedir (Makrides ve diğ., 2002). Bu değer günlük kolesterol alımı değerinin (300 mg/gün) yaklaşık olarak %70'ini oluşturmaktadır (Wardlaw ve Hampl, 2006). Mayonez gibi emülsiyonlarda formülasyonda yer alan yumurta sarısı miktarı çeşitli protein kaynaklarının kullanımı ile azaltılabilmektedir. Salata soslarında ve mayonezde arrowtooth balık unu (Sathivel ve diğ, 2005), kanola (Aluko ve McIntosh, 2005), buğday (Ghoush ve diğ, 2008), soya (Elizalde ve diğ., 1996) gibi çeşitli proteinlerin emülsiyon özellikleri denenmiştir.

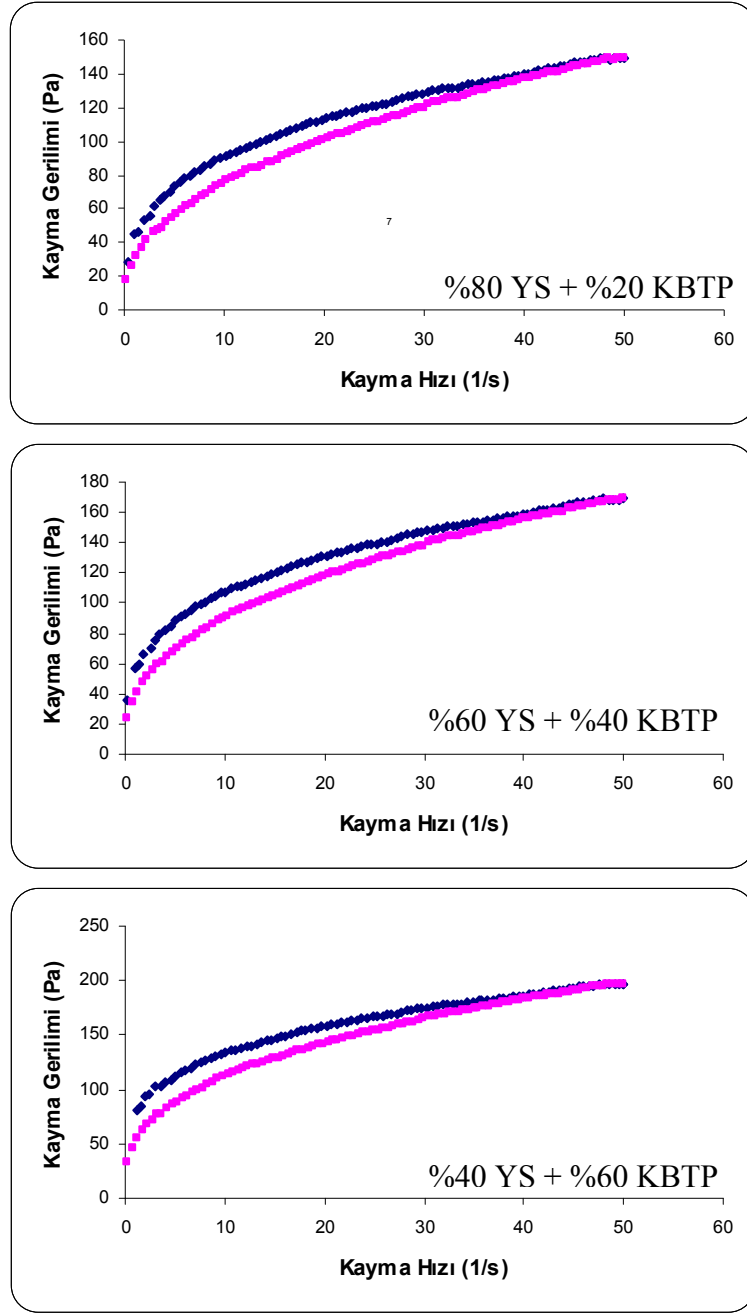
Bu çalışma ile mayonez formülasyonunda yer alan yumurta sarısının belli oranlarda kırmızı biber tohum unu ve proteini ile yer değiştirmesinin mayonezin reolojik, renk ve emülsiyon stabilitesi özelliklerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

5.4.1 Reolojik özellikler

Yumurta sarısının (YS) %20–60 oranında kırmızı biber tohum unu (KBTU) ve kırmızı biber tohum proteini (KBTP) ile yer değiştirmesi ile hazırlanan mayonez örneklerinin 25°C'de 0–50 s⁻¹ kayma hızı aralığındaki akış eğrileri sırasıyla Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'da verilmiştir. Kayma hızı eğrilerinde görüldüğü gibi, artan kayma hızı ile eğrilerin eğimi azalmaktadır yani artan kayma hızı ile viskozite azalmaktadır. Akış ve viskozite eğrilerine göre, mayonez örnekleri Newtonyen olmayan psödoplastik davranış sergilemektedir ve akış özellikleri kayma hızına ve zamana bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 5.22: KBTU ile hazırlanan mayonez örneklerinin akış eğrileri



Şekil 5.23: KBTP ile hazırlanan mayonez örneklerinin akış eğrileri

Konsantre emülsiyonlarda damlacıklar üç boyutlu yapı oluşturacak kadar birbirlerine yakındırlar. Kayma hızı artıkça hidrodinamik kuvvetlerin etkisi ile bu yapı deforme olmaktadır ve bu da viskozitenin azalmasına neden olmaktadır (Liu ve diğ., 2007). Tüm mayonez numuneleri tiksotropik davranış göstermektedirler. Aynı kayma hızı değerlerinde dönüş eğrileri, gidiş eğrilerine göre daha düşük kayma gerilimi değerlerine ulaşmıştır. Mayonezin tiksotropik karakteristiği, Liu ve diğ. (2007), Stern ve diğ. (2001) tarafından yapılan çalışmalarla da tespit edilmiştir.

Gidiş akış eğrileri ile dönüş akış eğrileri arasında kalan alan tiksotropi özelliğinin ölçüsü olarak düşünülmektedir (Şekil 5.22 ve Şekil 5.23). Mayonez örneklerinin tiksotropi değerleri Tablo 5.23 ve Tablo 5.24’de verilmiştir. Artan tiksotropi değerleri, kayma zamanı artıkça ürünün yapısındaki ilerleyen bozulmayı göstermektedir (Guilmineau ve Kulozik, 2007). Yumurta sarısının %20 oranında kırmızı biber tohumunu ile yer değiştirilmesi ile hazırlanan mayonez örneğinin tiksotropi değerinde %12 değerinde bir artış gözlenmektedir ve kırmızı biber tohumunu miktarının daha fazla oranda artırılması ise tiksotropi değerinde azalmaya neden olmaktadır. Diğer yandan, aynı oranda kırmızı biber tohumu proteini ilavesi tiksotropi değerinde %14’lük bir azalmaya neden olmaktadır ve ilave edilen kırmızı biber tohumu proteini miktarındaki artış tiksotropi değerini istatistiksel olarak etkilememektedir ($p > 0,05$).

Tablo 5.23: KBTU ile hazırlanan mayonez örneklerinin tiksotropi değerleri

Örnekler	Tiksotropi (Pa/s) ^{1,2}
%100 YS	74,18 ± 2,54 ^a
%80 YS + %20 KBTU	83,21 ± 2,68 ^b
%60 YS + %40 KBTU	75,43 ± 3,04 ^a
%40 YS + %60 KBTU	68,36 ± 2,85 ^c

¹Ortalama ± standart sapma

² Her sütundaki farklı harfler, değerlerin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir ($p < 0,05$).

Tablo 5.24: KBTP ile hazırlanan mayonez örneklerinin tiksotropi değerleri

Örnekler	Tiksotropi (Pa/s) ^{1,2}
%100 YS	74,18 ± 2,53a
%80 YS + %20 KBTP	63,51 ± 2,26b
%60 YS + %40 KBTP	62,84 ± 3,14b
%40 YS + %60 KBTP	63,08 ± 2,74b

¹Ortalama ± standart sapma

² Her sütundaki farklı harfler, değerlerin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir ($p < 0,05$).

Reolojik ölçümleri yapılan mayonez örneklerinin davranışı üslü yassa modeli (Ostwald-de-Waale model) (Eşitlik 4.7) ve Herschel-Bulkley modeli (Eşitlik 4.8) ile modellenerek kıvam indeksi (K), akış davranış indeksi (n) ve akma gerilimi değerleri

hesaplanmış ve Tablo 5.25–5.28’de verilmiştir. Her iki model için elde edilen regresyon katsayıları 0,9 değerinden büyüktür. Mayonez örneklerinin reolojik davranışlarının modellenmesinde her iki model de uygunluk göstermektedir. Herschel-Bulkley modelinde tanımlanan akma gerilimi değeri, bu modele üslü yasa ile karşılaştırıldığında daha fazla önem kazandırmaktadır. Akma gerilimi, endüstriyel uygulamalarda gerekli olan çok önemli bir parametredir. Ahmed (2004) tarafından yapılan çalışmaya göre akma gerilimi, endüstriyel proseslerde önemli bir kalite kontrol kriteridir. Farklı üretim hatlarından gelen ürünlerin karakteristikleri bu şekilde karşılaştırılabilmektedir. Sathivel ve diğ. (2005), Izidoro ve diğ. (2008), Liu ve diğ. (2007) yaptıkları çalışmalarda mayonezlerin reolojik özelliklerinin modellenmesi için üslü yasa, Herschel-Bulkley modeli ve Casson modelini kullanmışlardır.

Tablo 5.25: Kırmızı biber tohumunu içeren mayonez örneklerinin üslü yasa modeline göre reolojik parametreleri

Örnekler ^{1,2}	Kıvam İndeksi (Pa·s)	Akış Davranış İndeksi	R ²
%100 YS	16,450 ± 0,603 ^a	0,498 ± 0,009 ^a	0,9963
%80 YS + %20 KBTU	20,456 ± 1,099 ^b	0,472 ± 0,012 ^b	0,9974
%60 YS + %40 KBTU	30,779 ± 1,629 ^c	0,405 ± 0,013 ^c	0,9988
%40 YS + %60 KBTU	39,028 ± 1,889 ^d	0,368 ± 0,013 ^d	0,9952

¹ Ortalama ± standart sapma

² Her sütündeki farklı harfler, değerlerin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir (p<0,05).

Tablo 5.26: Kırmızı biber tohum proteini içeren mayonez örneklerinin üslü yasa modeline göre reolojik parametreleri

Örnekler ^{1,2}	Kıvam İndeksi (Pa·s)	Akış Davranış İndeksi	R ²
%100 YS	16,450 ± 0,603 ^a	0,498 ± 0,009 ^a	0,9963
%80 YS + %20 KBTP	29,181 ± 1,593 ^b	0,418 ± 0,014 ^b	0,9968
%60 YS + %40 KBTP	31,017 ± 1,063 ^c	0,381 ± 0,006 ^c	0,9982
%40 YS + %60 KBTP	51,415 ± 1,100 ^d	0,344 ± 0,005 ^d	0,9992

¹ Ortalama ± standart sapma

² Her sütündeki farklı harfler, değerlerin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir (p<0,05).

Tablo 5.27: Kırmızı biber tohum unu içeren mayonez örneklerinin Herschel-Bulkley modeline göre reolojik parametreleri

Örnekler ^{1,2}	Kıvam İndeksi (Pa·s)	Akış Davranış İndeksi	Akma Gerilimi (Pa)	R ²
%100 YS	12,185 ± 0,159 ^a	0,569 ± 0,003 ^a	4,968 ± 0,285 ^a	0,9993
%80 YS + %20 KBTU	16,407 ± 0,379 ^b	0,523 ± 0,005 ^b	4,843 ± 0,622 ^b	0,9978
%60 YS + %40 KBTU	26,717 ± 0,561 ^c	0,435 ± 0,004 ^c	4,601 ± 0,794 ^c	0,9986
%40 YS + %60 KBTU	35,596 ± 0,836 ^d	0,386 ± 0,044 ^d	3,953 ± 1,099 ^d	0,9977

¹Ortalama ± standart sapma

² Her sütundaki farklı harfler, değerlerin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir (p<0,05).

Tablo 5.28: Kırmızı biber tohum proteini içeren mayonez örneklerinin Herschel-Bulkley modeline göre reolojik parametreleri

Örnekler ^{1,2}	Kıvam İndeksi (Pa·s)	Akış Davranış İndeksi	Akma Gerilimi (Pa)	R ²
%100 YS	12,185 ± 0,159 ^a	0,569 ± 0,003 ^a	4,968 ± 0,285 ^a	0,9993
%80 YS + %20 KBTP	23,954 ± 0,533 ^b	0,460 ± 0,005 ^b	6,122 ± 0,785 ^b	0,9979
%60 YS + %40 KBTP	32,514 ± 0,594 ^c	0,414 ± 0,004 ^c	6,079 ± 0,814 ^c	0,9936
%40 YS + %60 KBTP	44,319 ± 0,766 ^d	0,374 ± 0,003 ^d	7,696 ± 0,987 ^d	0,9994

¹Ortalama ± standart sapma

² Her sütundaki farklı harfler, değerlerin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir (p<0,05).

Her iki modelden elde edilen kıvam katsayısı ve akış davranış indeksi değerleri benzer eğilimler göstermiştir. Akış davranış indeksi, kayma gerilimi altındaki mekanik stabilitenin bir ölçüsüdür (Gabriele ve diğ., 2008). Tüm mayonez örneklerinin Herschel-Bulkley modelinden elde edilmiş olan akış davranış indeksi değerleri 1'den küçüktür ve 0,374–0,569 değerleri arasında değişmektedir. Bu tüm örneklerin psödoplastik akışkan olarak davrandıklarını göstermektedir. Mayonezlerin, psödoplastik davranış gösterdikleri Batista ve diğ. (2006); Ma ve Barbosa-Canovas (1995); Worrasinchai ve diğ. (2006) tarafından da belirlenmiştir. Bazı ticari mayonezler ve model mayonez sistemleri için akış davranış indeksi 0,23-0,82 arasında değişen değerler tespit edilmiştir (Steffe, 1996; Sathivel ve diğ., 2005; Liu ve diğ., 2007; Izidoro ve diğ., 2008). Kırmızı biber tohum unu ve proteini ilavesi akış davranış indeksi değerini istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilemektedir (p < 0,05). Formülasyondaki kırmızı biber tohum unu ve protein miktarının artışı ile akış davranış indeksi değeri azalarak 1 değerinden uzaklaşmaktadır. Kırmızı biber

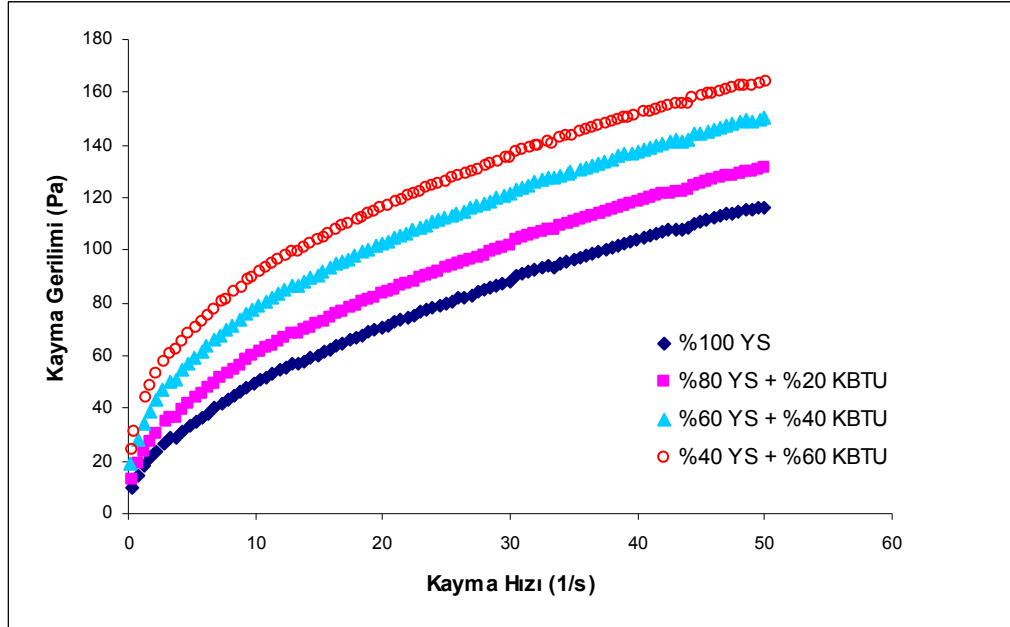
tohum unu ve proteini içeren mayonez örnekleri, kontrol örneğine göre daha fazla Newtonyen olmayan özellik göstermektedirler. Kırmızı biber tohum proteini ile hazırlanan mayonez örneklerinin akış davranış indeksi değerleri, kırmızı biber tohum unu ile hazırlananlara göre daha düşüktür. Bu kırmızı biber tohum proteini ile hazırlanan mayonezlerin kayma hızı etkilerine daha hassas olduğunu göstermektedir.

Tüm mayonez örneklerinin kıvam indeksi 16,45-51,4 Pa·s değerleri arasında değişmektedir. Kırmızı biber tohum unu ve proteini ilavesi ile elde edilen mayonez örneklerinin kontrol örneği ile karşılaştırıldıkları zaman kıvam indeksi değerleri istatistiksel olarak farklıdır ($p < 0,05$). Yumurta sarısının %20 oranında kırmızı biber tohum unu ile yer değiştirilmesi ile kıvam indeksi %24 oranında artmıştır. Aynı oranda kırmızı biber tohum proteini ise kıvam indeksini %77 oranında arttırmıştır. Kıvam indeksi değerleri incelendiği zaman, kırmızı biber tohum proteini ile hazırlanan mayonez örnekleri, kırmızı biber tohum unu ile hazırlanan örneklere göre daha viskoz bir yapı göstermektedirler.

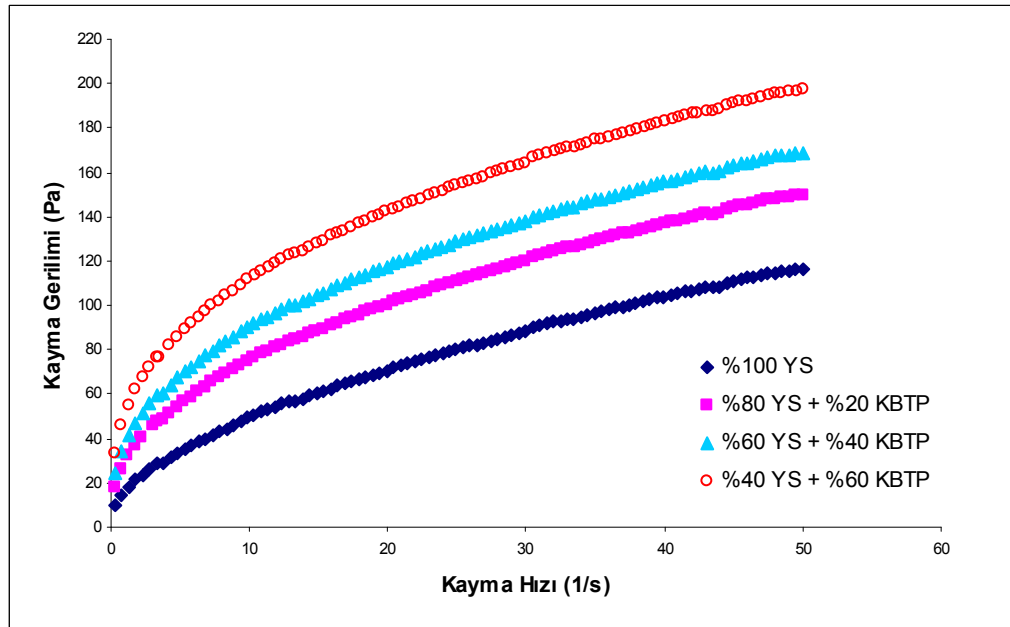
Akma gerilimi, akışı başlatmak için gerekli olan en düşük kayma gerilimi olarak tanımlanmaktadır (Izidoro ve diğ., 2008). Mayonez örneklerinin akma gerilimi 3,95-7,70 Pa değerleri arasında değişmektedir. Bu değerler literatürdeki mevcut değerlerle benzerlik göstermektedir (Izidoro ve diğ., 2008; Steffe, 1992). Kırmızı biber tohum unu ilavesi, mayonez örneklerinin akma gerilimi değerlerini azaltmaktadır, diğer yandan kırmızı biber tohum proteini ilavesi ise arttırmaktadır. Yumurta sarısının %20 oranında kırmızı biber tohum unu ile yer değiştirmesi sonucu akma gerilimi 4,97 Pa değerinden 4,84 Pa değerine düşmektedir. Formülasyona aynı oranda katılan kırmızı biber tohum proteini ise akma gerilimi değerini 6,12 Pa değerine yükseltmektedir. Mayonez salata sosu olarak kullanılacağı zaman, akma gerilimi ürünün salata yüzeyinde kalması için önemli bir karakterdir. Dolayısıyla kırmızı biber tohum proteini ile hazırlanan mayonezin yüksek akma gerilimi değerleri ile bu gibi ürünlerde kullanımı daha uygundur.

Mayonez için literatürde mevcut olan akış davranış indeksi, kıvam indeksi ve akma gerilimi değerleri farklı metotların ve farklı kayma hızı aralıklarının kullanılması nedeniyle geniş bir aralıkta seyretmektedir.

Kırmızı biber tohum unu ve proteini içeren mayonez örneklerinin Herschel-Bulkley modeline uygun olarak modellenmiş akış eğrileri Şekil 5.24 ve Şekil 5.25’de verilmiştir.



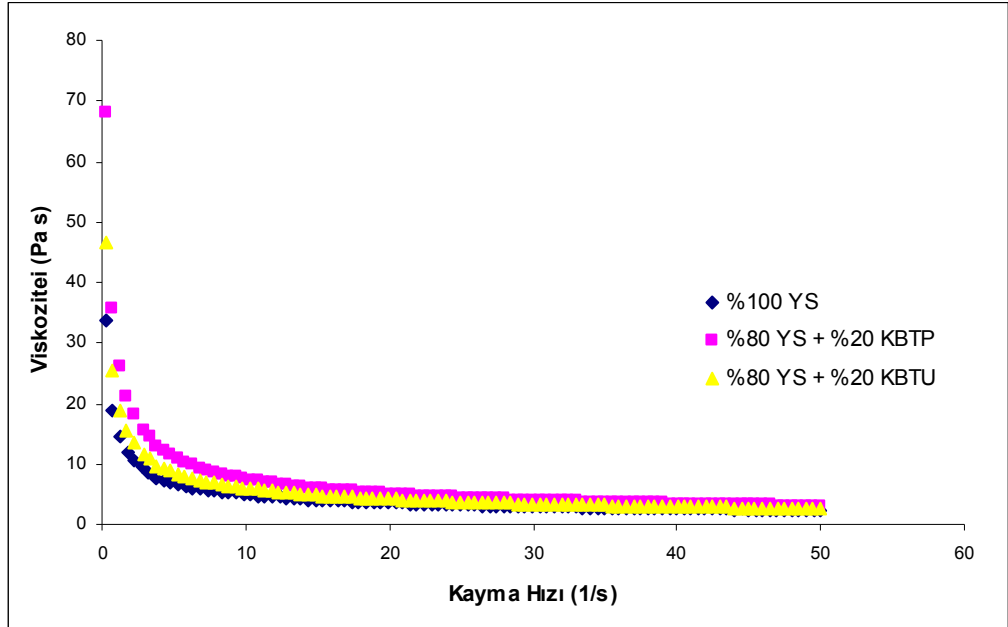
Şekil 5.24: Herschel-Bulkley modeli modellenmiş kırmızı biber tohum unu ile hazırlanan mayonez örneklerinin akış eğrileri



Şekil 5.25: Herschel-Bulkley modeli modellenmiş kırmızı biber tohum proteini ile hazırlanan mayonez örneklerinin akış eğrileri

Şekil 5.24 ve Şekil 5.25’de görüldüğü gibi kırmızı biber tohum unu ile hazırlanan mayonez örneklerinin kayma stresi yumurta ile hazırlananlara göre daha yüksektir. Kırmızı biber tohum proteini ile hazırlanan mayonez örnekleri, kırmızı biber tohum unu ile hazırlanan örneklere göre daha yüksek kayma stresi değerlerine ulaşmaktadır.

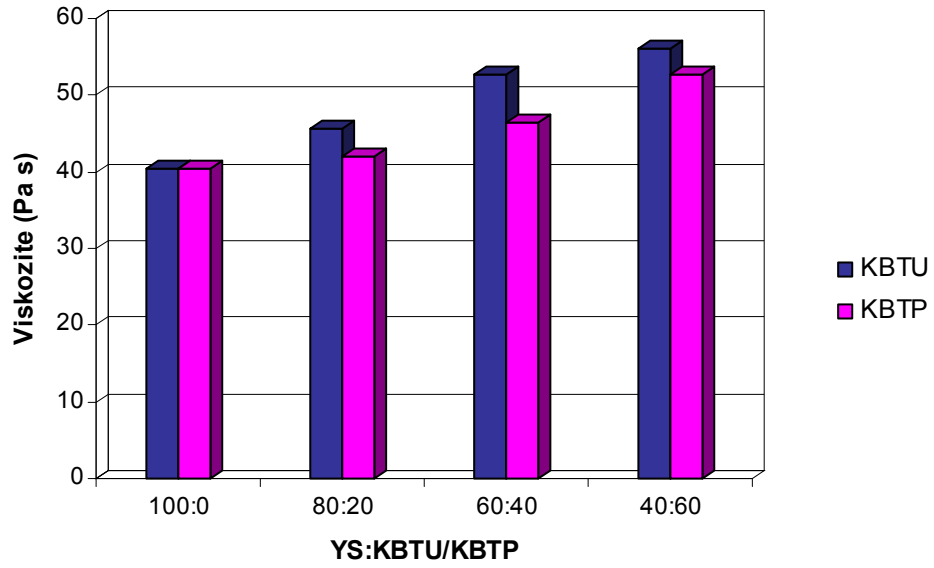
Sadece yumurta sarısı ile hazırlanan ve %20 oranında kırmızı biber tohum unu ve proteini ile hazırlanan mayonez örneklerinin viskozite eğrileri Şekil 5.26’da gösterilmiştir. Tüm mayonez örneklerinin viskozite değerleri kayma hızı arttıkça azalmaktadır. Bu davranış, oluşan hidrodinamik kuvvetler nedeni ile molekülün yapısındaki bozulmalar ile açıklanabilir (Hayati ve diğ., 2007). Viskoziteki ani azalmadan sonra, viskozite değerlerindeki değişim yüksek kayma hızı değerlerinde düz bir şekil alır.



Şekil 5.26: Mayonez örneklerinin viskozite eğrileri

Farklı formülasyondaki mayonez örneklerinin 50 s^{-1} kayma hızı değerindeki viskozite değerlerinin değişimi Şekil 5.27’de verilmektedir. Viskozite, formülasyona kırmızı biber tohum unu ve proteini katılması ile istatistiksel olarak önemli düzeyde artmaktadır ($p < 0,05$). Kırmızı biber tohumununun %20 oranında katılması ile viskozite %12 oranında artmıştır. Kırmızı biber tohum proteini formülasyona aynı miktarda ilavesi ise %28 oranında artış sağlamıştır. En yüksek viskozite değeri ($3,952 \text{ Pa}\cdot\text{s}$), formülasyona %60 oranında kırmızı biber tohum proteini ilavesi ile

elde edilmiştir. Aluko ve McIntosh (2005) mayonez formülasyonuna kanola protein ilavesi ile viskozitenin azaldığını tespit etmişlerdir. Bu azalmanın nedenini ilave edilen kanola proteinin yüksek partikül büyüklüğüne sahip olması ve yüksek partikül büyüklüğünün yağ damlacıklarının bir araya gelerek birleşmesine neden olması ile açıklamaktadırlar. Diğer yandan Logaraj ve diğ. (2008) ve Liu ve diğ. (2007) ise yaptıkları çalışmalar ile partikül boyutunun artması ile viskozitenin arttığını tespit etmişlerdir.



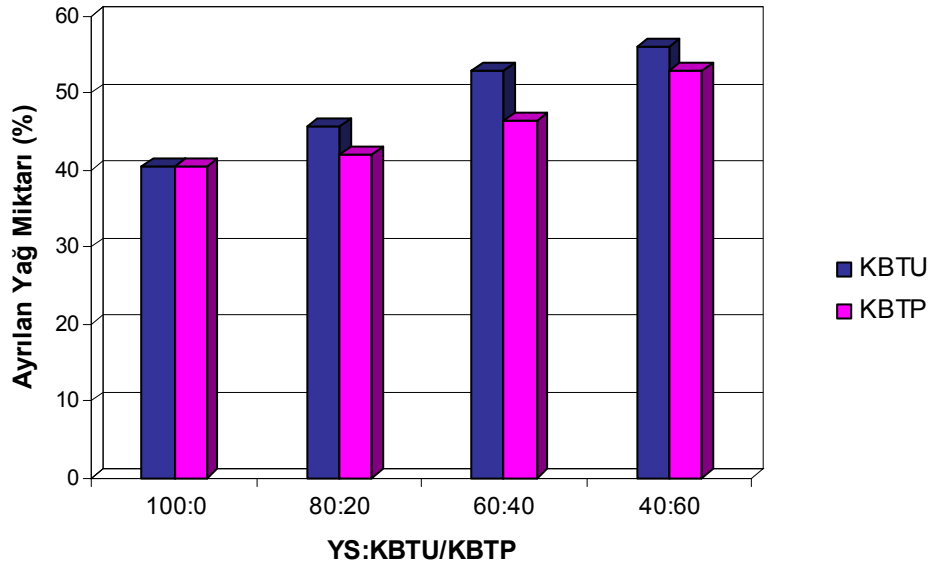
Şekil 5.27: Mayonez örneklerinin 50 s^{-1} kayma hızı değerindeki viskozite değerleri

5.4.2 Emülsiyon stabilitesi özellikleri

Emülsiyon stabilitesi, mayonez örneklerinin -20°C 'de dondurulup, daha sonra oda sıcaklığında çözündürülmesi sonucu emülsiyondan ayrılan yağ miktarı ile ölçülmüştür (Sathivel ve diğ., 2005). Farklı formülasyonlara sahip olan mayonez örneklerinin emülsiyon stabilitesi değerleri Şekil 5.28'de görülmektedir. Mayonez formülasyonuna katılan kırmızı biber tohumunu ve proteini mayonezden ayrılan yağ miktarını artırmıştır yani emülsiyon stabilitesini azaltmıştır. Mayonez emülsiyonuna %20 oranında kırmızı biber tohumunu ilavesi ayrılan yağ miktarını %13 oranında artırmıştır. Diğer yandan aynı miktarda kırmızı biber tohumu proteini ilavesi %4 oranında bir artış sağlamaktadır. Bu, kırmızı biber tohumu proteininin emülsiyon stabilitesinin (%62,17), kırmızı biber tohumu ununa (%53,04) göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 5.15). Benzer sonuçlar mayonez

formülasyonuna çözünür ve çözünür olmayan arrowtooth balık proteinlerinin ilavesinde de gözlenmiştir. Düşük emülsiyon stabilitesine sahip olan çözünür olmayan arrowtooth balık proteininin mayonez formülasyonuna ilave edilmesi ile ayrılan yağ miktarı artmıştır (Sathivel ve diğ., 2005).

Emülsiyon stabilitesindeki azalma en düşük seviyede tutulabilmesi için ürüne yumurta sarısı ile yer değiştiren kırmızı biber tohum protein miktarı %20 oranını geçmemelidir.



Şekil 5.28: Mayonez örneklerinden ayrılan yağ miktarları

5.4.3 Renk özellikleri

Kırmızı biber tohum unu ve proteini ile hazırlanan mayonez örneklerin renk özellikleri Tablo 5.29 ve Tablo 5.30'da gösterilmiştir. Renk sisteminde L^* parlaklığı, a^* ve b^* ise renk koordinatlarını temsil etmektedirler. Renk koordinatlarında +a kırmızıyı, -a yeşili, +b sarıyı ve -b ise mavi yönü belirtir. Kırmızı biber tohum proteini, kırmızı biber tohum ununa göre istatistiksel olarak daha az parlak, daha çok kırmızı ve daha az sarı renge sahiptir ($p < 0,05$). Emülsiyonların tüm görünüşü, ışık yansımaları ve absorpsiyonu olaylarının birleşimi ile belirlenmektedir. Yansıma, emülsiyonun bulanıklık ve parlaklığının absorpsiyon ise rengin belirlenmesinden sorumludur. Sadece yumurta sarısı ile hazırlanan mayonez örneği, en yüksek parlaklık değerine (L^*) ve en düşük sarı (b^*) ve kırmızı (a^*) karakterine sahiptir. Artan kırmızı biber tohum unu ve protein miktarı ile parlaklık azalmakta, kırmızı

renk artmakta ve sarı renk azalmaktadır. Aluko ve McIntosh (2005), kanola proteinin formülasyonları ilavesi ile mayonez örneğinin tıpkı bu çalışmadaki gibi parlaklığı azalmakta, kırmızı ve yeşil renk artmaktadır. Mayonez örnekleri, kanola protein ilavesi ile kırmızımsı kahverengi renk almaktadırlar. Şekil 5.29'da görüldüğü gibi kırmızı biber tohum proteininin mayonezin renginde, kırmızı biber tohum ununa göre daha fazla değişikliğe neden olmaktadır. Azalan renk açısı ve artan renk parlaklığı değerleri, ilave edilen kırmızı biber tohum unu ve protein miktarındaki artışın mayonez örneklerinin renginin kırmızımsıya doğru ilerlediğini göstermektedir.

Tablo 5.29: Kırmızı biber tohum unu ve tohum unu içeren mayonez örneklerinin renk özellikleri

Örnekler ^{1,2}	L*	a*	b*	Renk Parlaklığı	Renk Açısı
KBTU	71,4±0,4	10,8±0,3	22,3±0,4	24,7±0,4	87,0°±0,4
%100 YS	68,3±0,2 ^a	-2,1±0,1 ^a	24,5±0,2 ^a	24,5±0,2 ^a	85,1°±0,2 ^a
%80 YS + %20 KBTU	64,7±0,1 ^b	1,4±0,3 ^b	22,6±0,2 ^b	22,6±0,2 ^b	86,5°±0,3 ^a
%60 YS + %40 KBTU	60,0±0,1 ^c	3,1±0,1 ^c	22,0±0,2 ^b	22,0±0,2 ^b	81,8°±0,1 ^b
%40 YS + %60 KBTU	57,4±0,2 ^d	4,3±0,1 ^d	23,6±0,1 ^c	23,6±0,1 ^c	79,5°±0,1 ^c

¹ Ortalama ± standart sapma

² Her sütundaki farklı harfler, değerlerin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir (p < 0,05).

Tablo 5.30: Kırmızı biber tohum proteini ve tohum proteini içeren mayonez örneklerinin renk özellikleri

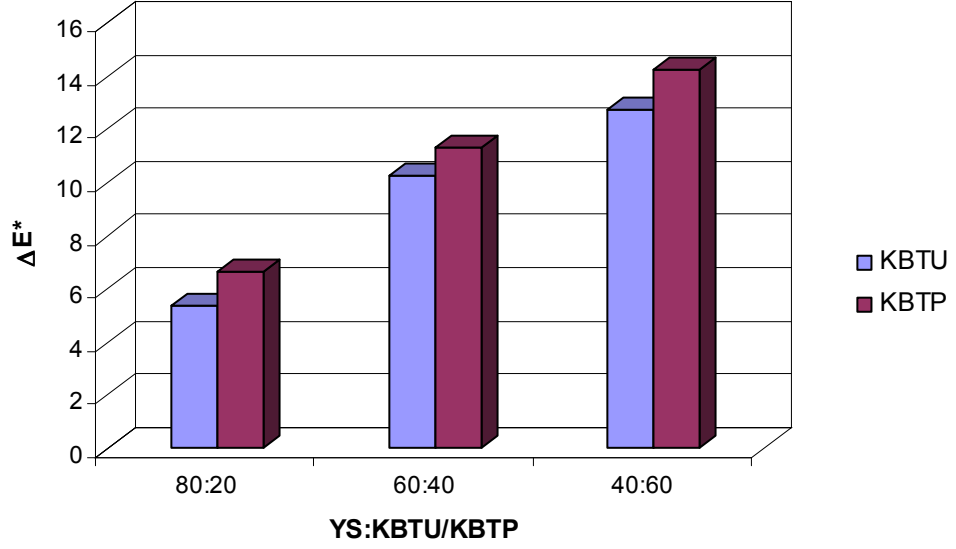
Örnekler ^{1,2}	L*	a*	b*	Renk Parlaklığı	Renk Açısı
KBTP	65,9±0,1	18,0±0,3	14,6±0,4	23,2±0,2	87,0°±0,3
%100 YS	68,3±0,2 ^a	-2,1±0,1 ^a	24,5±0,2 ^a	24,5±0,2 ^a	85,1°±0,2 ^a
%80 YS + %20 KBTP	66,8±0,1 ^b	4,1±0,1 ^b	22,4±0,1 ^b	22,8±0,1 ^b	79,7°±0,2 ^b
%60 YS + %40 KBTP	60,3±0,1 ^c	5,2±0,1 ^c	21,2±0,1 ^c	21,9±0,1 ^c	76,3°±0,1 ^c
%40 YS + %60 KBTP	58,2±0,1 ^d	7,2±0,1 ^d	20,9±0,1 ^c	22,1±0,1 ^c	70,9°±0,1 ^d

¹ Ortalama ± standart sapma

² Her sütundaki farklı harfler, değerlerin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir (p < 0,05).

Kırmızı biber tohum unu ve proteini ile hazırlanan örnekler, sadece yumurta sarısı ile hazırlanan kontrol örneğinden istatistiksel olarak farklıdır (p < 0,05). Bu farklılığı azaltmak yani kırmızı biber tohum unu ve proteinin kırmızımsı rengini yok etmek için un veya protein organik çözümler (aseton, etanol, metanol) ile ağartma işlemi uygulanabilir. Kolza tohumundan, ayçiçeği unundan ve jojoba unundan beyaz renkli protein izolatu benzer metotlar kullanılarak elde edilmiştir (Blackier ve diğ., 1983;

Sripad ve Rao, 1987; Abbot ve diğ., 1991). Diğ er yandan, Ş ekil 5.30'da görü ldü ğ ü gibi kı rmızı biber tohum unu ve proteinin mayoneze kazandı rmı ş oldu ğ u renk salata sosları gibi ü rü nlerde ü rü ne gö rsel bir ç ekicilik sa ğ layacaktır.



Ş ekil 5.29: Mayonez ö rneklerinden toplam renk de ğ iş im de ğ erleri



Ş ekil 5.30: %60 YS + % 40 KBTP mayonez ö rne ğ i

5.5 Kırmızı Biber Tohum Unu ve Proteinin Sorpsiyon Özellikleri

Gıdaların işlenmesi ve depolanması sırasında gıdaların nem içeriğinin kontrolü suyun birçok gıda reaksiyonunda ve kalitesindeki önemli rolü nedeniyle çok önemlidir. Bu nedenle sorpsiyon izotermi gıda bilimi ve teknolojisi için çok önemli bilgiler sağlayan bir araçtır (Lee and Lee, 2008). Sorpsiyon izotermi, sabit basınç ve sıcaklıkta gıda maddesinin su aktivitesi ile nem içeriği arasındaki denge ilişkisini gösterir (Kaymak-Ertekin ve Sultanoğlu, 2001). Sorpsiyon izotermi kurutma gibi proseslerin tasarlanması ve optimizasyonu, ambalaj problemlerinin giderilmesi, kurutma sırasındaki nem değişiminin modellenmesi, raf ömrü stabilitesinin belirlenmesi ve farklı bileşenlerin karıştırılabilirlik olasılıklarının tahminlenmesi için çok önemli bilgiler sağlar (Samapundo ve diğ., 2007; Jamali ve diğ., 2006).

Sorpsiyon izotermi, ürünlerin higroskopik özelliklerini gösterir ve ürünlerin sorpsiyon özellikleri sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Zayıf higroskopik ürünler bağıl nemdeki değişiklikler sonucunda nem içeriğinde az bir değişim gözlenir. Yüksek higroskopik ürünlerde ise, nem içeriği bağıl nemdeki değişim ile geniş bir aralıkta değişir (Medeiros ve diğ., 2006).

5.5.1 Sorpsiyon izotermi

Kırmızı biber tohum unu ve proteini için 20°C, 30°C ve 40°C’de elde edilen deneysel denge nem değerleri Tablo 5.31 ve Tablo 5.32’de gösterilmiştir. Her su aktivitesi (a_w) değerindeki denge nem değerleri (M), üç ölçümün ortalaması olarak verilmektedir ve ölçümlerin standart sapması 0,2 ile 0,12 arasında değişmektedir. Kırmızı biber tohumunun denge nem içerikleri 20, 30 ve 40°C’de 0,11 ile 0,91 su aktivitesi değerlerinde sırasıyla %2,93–22,90; %2,23–22,64; %1,61–22,25 (k.b.) değerleri arasında değişmektedir. Aynı koşullarda, kırmızı biber tohum proteininin denge nem içerikleri sırasıyla %1,51–9,03; %1,22–8,09; %1,20–7,80 (k.b.) değerleri arasında değişmektedir. Su aktivitesinin 0,6 olduğu değerde 20°C’de kırmızı biber tohum unu ve proteininin nem içerikleri sırasıyla yaklaşık olarak %7 ve %3 (k.b.) değerindedir. Ayrancı ve Duman (2005) bezelye unu ve proteininin nem içeriklerini 20°C’de 0,6 su aktivitesi değerinde sırasıyla %6 ve %3 (k.b.) olarak tespit etmişlerdir. Cassini ve diğ. (2006) ise soya proteini için aynı sıcaklık ve su aktivitesi değerinde nem içeriğini %15 (k.b.) olarak belirlemişlerdir. Foster ve diğ. (2005) ise

peynir altı suyu protein izolatı, kazein ve süt protein konsantresi için nem içeriklerini %12,5 (k.b.) olarak bulmuşlardır. Domates çekirdeği için 20°C’de, 0,6 su aktivitesi değerinde nem içeriği %8 (k.b.) olarak belirlenmiştir (Sogi ve diğ., 2003).

Tablo 5.31:Yağı alınmış kırmızı biber tohumunun farklı sıcaklıklardaki denge bağıl nemi değerleri (M, % kuru baz)

20 °C			30 °C			40 °C		
a _w	M ¹	SS ²	a _w	M	SS	a _w	M	SS
0,1131	2,9301	0,09	0,1128	2,2328	0,03	0,1121	1,6074	0,05
0,2311	4,6131	0,05	0,2161	4,0428	0,07	0,2010	3,7212	0,08
0,3307	4,8346	0,03	0,3244	4,5814	0,03	0,3160	4,2340	0,07
0,4316	5,6874	0,05	0,4317	5,5424	0,05	0,4230	5,3781	0,08
0,5438	6,2906	0,04	0,5140	5,7231	0,02	0,4842	5,5665	0,05
0,5914	7,0756	0,02	0,5603	6,7411	0,03	0,5317	6,6166	0,03
0,7252	10,0021	0,08	0,6912	9,7899	0,08	0,6580	8,7209	0,04
0,7547	11,0174	0,03	0,7509	10,5555	0,09	0,7468	10,4041	0,06
0,8511	14,7219	0,10	0,8362	14,4986	0,04	0,8232	14,4690	0,12
0,9100	22,8989	0,10	0,8980	22,6372	0,06	0,8910	22,2504	0,02

¹ Üç ölçümün ortalaması

² Standart sapma

Tablo 5.32: Kırmızı biber tohum proteininin farklı sıcaklıklardaki denge bağıl nemi değerleri (M, % kuru baz)

20 °C			30 °C			40 °C		
a _w	M ¹	SS ²	a _w	M	SS	a _w	M	SS
0,1131	1,5129	0,03	0,1128	1,2211	0,02	0,1121	1,1958	0,03
0,2311	1,9174	0,03	0,2161	1,6587	0,05	0,2010	1,4961	0,04
0,3307	2,2526	0,04	0,3244	1,9306	0,02	0,3160	1,7077	0,03
0,4316	2,5841	0,05	0,4317	2,4219	0,09	0,4230	2,2544	0,03
0,5438	2,8902	0,07	0,5140	2,5462	0,07	0,4842	2,3824	0,07
0,5914	3,2955	0,06	0,5603	2,6824	0,03	0,5317	2,5778	0,04
0,7252	4,6182	0,04	0,6912	4,2800	0,08	0,6580	3,7251	0,02
0,7547	5,0302	0,03	0,7509	4,6280	0,03	0,7468	4,4176	0,06
0,8511	6,7354	0,01	0,8362	6,0284	0,05	0,8232	5,4715	0,07
0,9100	9,0259	0,04	0,8980	8,0890	0,02	0,8910	7,7973	0,07

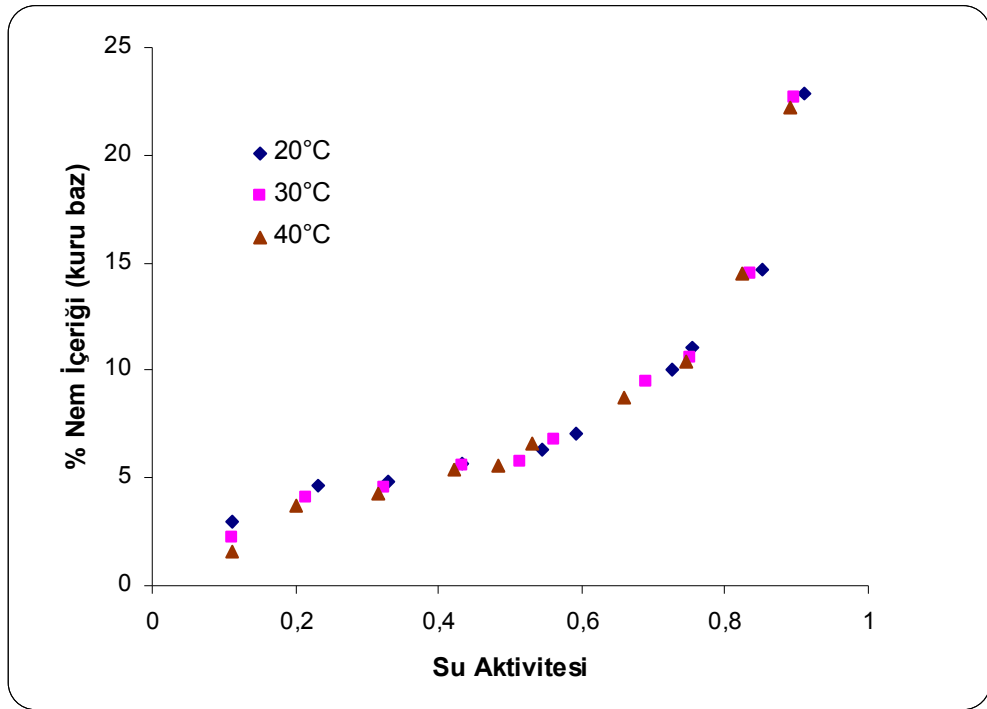
¹ Üç ölçümün ortalaması

² Standart sapma

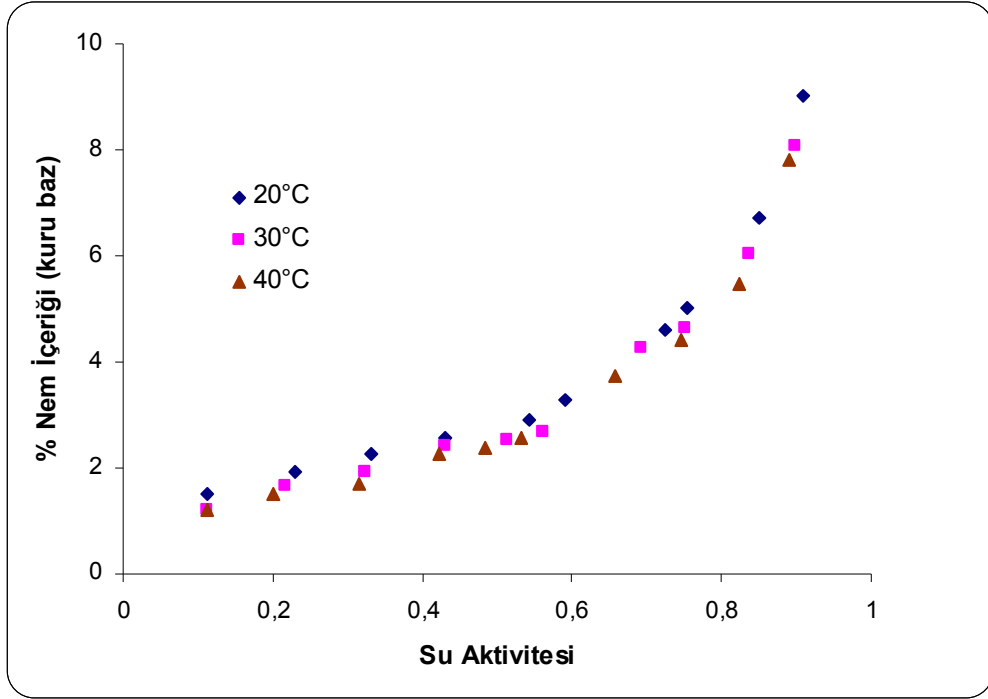
Denge nem değerleri, sabit su aktivitesi değerlerinde artan sıcaklık ile azalmaktadır. Kırmızı biber tohum unu ve proteini artan sıcaklıklar ile daha az higroskopik hale gelmektedirler, sabit bağıl nemli ortamda düşük sıcaklıklarda yüksek sıcaklıklara göre daha çok nem adsorblarlar. Yüksek sıcaklıklarda su molekülleri enerji seviyelerinin artması nedeniyle daha aktif hale gelirler ve moleküller arasındaki mesafenin artar, aralarındaki çekim gücünün azalır. Bu da su moleküllerinin daha az stabil olmalarına ve gıda maddesinin su bağlama bölgelerinden kopup uzaklaşmalarına neden olur (Sinija ve Mishra, 2008; Yan ve diğ., 2008). Bu sonuç, Kaymak-Ertekin ve Sultanoğlu (2001)'in 30, 45, 60 °C'de kırmızı ve yeşil biber ile, Ayrancı ve Duman (2005)'in 10, 20, 30 °C'de börölce unu ve proteini ile, Menkov (2000)'in 5, 20, 40, 60 °C'de nohut ile, Cassini ve diğ. (2006)'ın 10, 20, 30, 40 °C'de soya proteini ile, Sogi ve diğ. (2003)'ün 30, 40, 50, 60, 70 °C'de domates tohumu, Garcia-Perez ve diğ. (2008)'in 20, 30, 40, 50 °C'de limon kabuğu ile yaptıkları çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Denge neminin sıcaklıkla olan değişimi, kimyasal ve mikrobiyolojik bozulma reaksiyonları için çok önemlidir. Aynı nem içeriğinde, yüksek sıcaklıklar yüksek su aktivitesi değerlerine neden olur ve bu da daha hızlı bozulmaya neden olur (Samapundo ve diğ., 2007).

Kırmızı biber tohum unu ve proteinin 20, 30 ve 40 °C'deki sorpsiyon izotermi Şekil 5.31 ve Şekil 5.32'de gösterilmiştir. Tüm sorpsiyon izotermi, karakteristik S-şekile sahip Tip II izotermine uygun karakteristik göstermektedirler. Bu tip izotermi, mantar (Lee ve Lee, 2008), üzüm, kayısı, elma ve patates (Kaymak-Ertekin ve Gedik, 2004), peynir altı suyu protein izolatu (Foster ve diğ., 2005), soya proteini (Cassini ve diğ., 2006) gibi çözünür madde bakımından zengin olan gıda maddelerinde gözlemlenmiştir. Düşük su aktivitesi değerlerinde su sadece yüzeylerde adsorbe edilebilmektedir. Su aktivitesi artıkça çözünür maddelerin çözünür hale gelmesi ile çözünür maddelerin yapısı bozulur ve adsorpsiyon yüzey sayısının artması nedeniyle adsorplanan su miktarında artış gerçekleşir (Alhamdan ve Hassan, 1999; Ayrancı ve Duman, 2005). Sabit sıcaklıkta, denge nem içerikleri artan su aktivitesi değerleri ile artmaktadır. Sorpsiyon izotermi iki kısımdan oluştuğu gözlenmektedir. Su aktivitesi 0,8'in altındaki değerleri içeren kısımda denge nemi su aktivitesinin artması ile yavaşça artmaktadır. Fakat bu değerlerin üstündeki kısımda ise, denge neminde keskin bir artış meydana gelmektedir.

Şekil 5.31 ve Şekil 5.32’de görüldüğü gibi kırmızı biber tohum unu ve proteinin sorpsiyon özelliklerine sıcaklığın etkisi düşüktür. Kırmızı biber tohumunun nem içeriği 0,6 su aktivitesi değerinde sıcaklığın 20°C’den 40°C’e çıkarılması ile %7,08’den %6,62’ye düşmektedir. Diğer yandan kırmızı biber tohum proteininde ise %3,30’dan % 2,58’e düşmektedir. Cassini ve diğ. (2006) 10, 20, 30, 40 °C’de soya proteini için, Foster ve diğ. (2005) 4, 20, 37, 50 °C’de peyniraltı suyu protein izolatu, kazein ve süt protein konsantresi için, Lahsasni ve diğ. (2004) 30, 40, 40 °C’de armut için benzer davranışı tespit etmişlerdir. Sıcaklığın belirgin olarak etkisi kırmızı biber tohum proteininin 0,8’den yüksek su aktivitesi değerlerinde gözlenmektedir. Su aktivitesi 0,85 değerinde sıcaklığın 20°C’den 40°C’e çıkarılması ile kırmızı biber tohum proteininin nem içeriğinde %19’luk düşüş meydana gelmektedir.

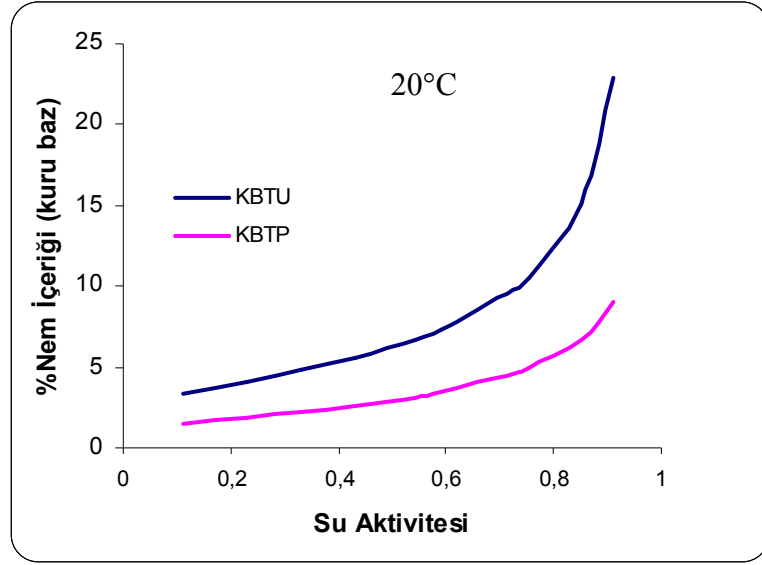


Şekil 5.31: Kırmızı biber tohumunun farklı sıcaklıklardaki sorpsiyon izotermi

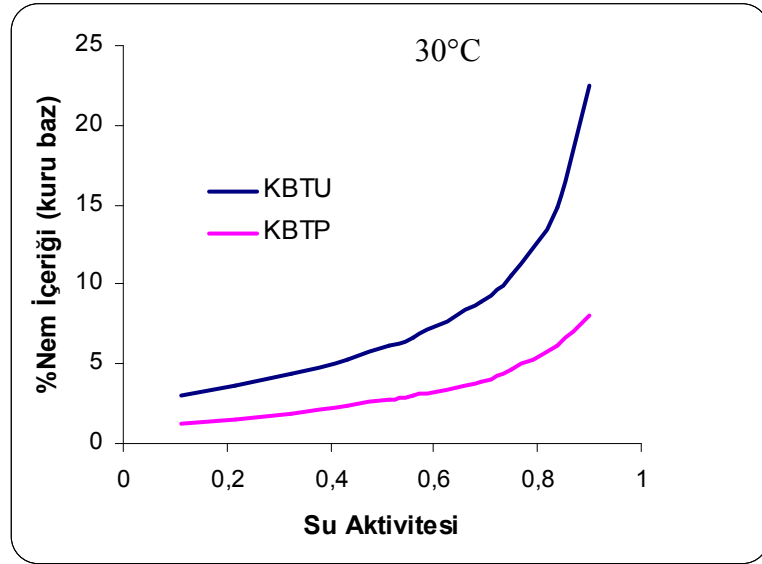


Şekil 5.32: Kırmızı biber tohum proteininin farklı sıcaklıklardaki sorpsiyon izotermi

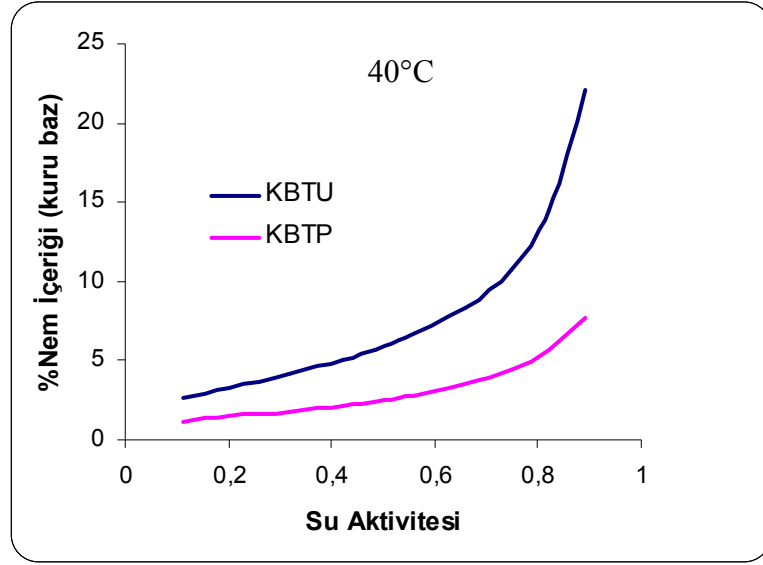
Kırmızı biber tohum unu ve proteininin farklı sıcaklıklardaki sorpsiyon izotermi Şekil 5.33, Şekil 5.34 ve Şekil 5.35’de gösterilmiştir. Eğriler, deneysel verilerin Chirifie modeli ile modellenmesi ile elde edilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi tüm sıcaklıklarda kırmızı biber tohum proteininin sorpsiyon izotermi, kırmızı biber tohum ununa göre daha düşüktür. Kırmızı biber tohum unu daha higroskopik özellik yani aynı su aktivitesi değerinde daha fazla su tutma özelliğine sahiptir. Su aktivitesi 0,6 değerinde 30°C’de kırmızı biber tohum unu ve proteininin nem değerleri sırasıyla %6,74 ve %2,68 (k.b.)’dır. Bu özellik, Bölüm 5.3.2’de belirlenen kırmızı biber tohum proteininin su tutma özelliğinin (1,89 g su/g örnek) kırmızı biber tohum ununa (2,68 g su/g örnek) göre düşük olması ile de paralellik göstermektedir. Ayrancı ve Duman (2005) bürülce unu ve proteini ile yaptıkları çalışmada benzer sonuca varmışlardır.



Şekil 5.33: Kırmızı biber tohum unu ve proteininin 20°C'deki sorpsiyon izotermelerinin karşılaştırılması



Şekil 5.34: Kırmızı biber tohum unu ve proteininin 30°C'deki sorpsiyon izotermelerinin karşılaştırılması



Şekil 5.35: Kırmızı biber tohumunu ve proteininin 40°C'deki sorpsiyon izotermelerinin karşılaştırılması

5.5.2 Sorpsiyon verilerinin modellenmesi

Denge nemi ile su aktivitesi arasındaki ilişkinin matematiksel olarak tanımlanması amacı ile çok sayıda iki veya üç parametrelilikler bulunmaktadır (Van den Berg and Bruin, 1981). Bu eşitliklerden Guggenheim-Anderson de Boer (GAB) ve Branauer-Emmett-Teller (BET) gibi modeller sorpsiyon mekanizması teorisine bağlı olarak geliştirilmişlerdir. Diğer eşitlikler ise empirik veya yarı empirik modellerdir (Kaymak-Ertekin ve Gedik, 2004; Chowdhury ve diğ., 2006). Hiçbir sorpsiyon modeli tüm su aktivitesi aralıklarındaki verileri uygun olması mümkün değildir. Çünkü su, farklı su aktivitesi bölgelerinde farklı mekanizmalar ile gıda matrisine bağlı bulunmaktadır (Labuza, 1975). Gıdaların kompleks bileşimi ve yapıları nedeniyle sorpsiyon davranışının matematiksel olarak tahminlenmesi çok zordur (Kaymak-Ertekin ve Gedik, 2004). Bu modeller içinde en yaygın olarak kullanılanı GAB modelidir. Bu model, gıdaların fiziksel özellikleri hakkındaki Avrupa Proje Grubu tarafından da gıdaların sorpsiyon özelliklerinin tanımlanmasında önerilen bir modeldir (Chowdhury ve diğ., 2006).

Bir gıda maddesinin sorpsiyon izotermi birden fazla sorpsiyon modeli ile tanımlanabilmektedir. En uygun modelin tespit edilmesi amacı ile kullanılan kriter, deneysel verilere uygunluk derecesi ve modelin basitliğidir (Kaymak-Ertekin ve Gedik, 2004).

Kırmızı biber tohum unu ve proteinin sorpsiyon izotermi, literatürde mevcut olan modellerden en yaygın olarak kullanılanlardan seçilen on bir matematiksel eşitlik ile (Smith, Oswin, Henderson, Halsey, Chung-Pfost, Bradley, Kuhn, Cauire, Iglesias ve Chirife, GAB, BET) modellenmiştir (Nourhene ve diğ., 2007; Jamali ve diğ., 2006; Aslan ve Toğrul, 2005; Ayrancı ve Duman, 2005). Bu eşitliklerdeki parametreler lineer olmayan regresyon yöntemi ile SPSS, 13.0 programı kullanılarak tespit edilmiştir. Modellerin istatistiksel olarak uygunluğunun belirlenmesi amacı ile üç farklı parametre hesaplanmıştır: (1) ortalama bağıl hata (MRE), (2) tahminlenenlerin standart hatası (SEM), (3) regresyon katsayısı (R^2). Modellerden en yüksek R^2 , en düşük MRE ve SEM değerleri elde edilen model en uygun model olarak kabul edilmiştir. Kırmızı biber tohum unu ve proteininin sorpsiyon izotermi modellerinin modellenmesinde kullanılan on bir eşitliğin hesaplanan model parametreleri ve modellerin uygunluk derecelerini gösteren parametreler Tablo 5.33 ve Tablo 5.34'de verilmiştir. Tüm model parametrelerinin (A, B, C, M_0), sıcaklığa bağlı olarak değiştikleri belirlenmiştir. Tablo 5.33'de görüldüğü gibi kırmızı biber tohum unu için en düşük MRE değeri (4,63), en düşük SEM değeri (0,35) ve en yüksek R^2 değeri (0,997) Iglesias ve Chirife modeli için elde edilmiştir. Bu modeli Halsey ve GAB modeli izlemektedir. Kırmızı biber tohum proteini için ise en düşük MRE değeri (2,38), en düşük SEM değeri (0,10) ve en yüksek R^2 değeri (0,998) Iglesias ve Chirife ve GAB modelleri için elde edilmiştir (Tablo 5.34). Bu modelleri Halsey modeli izlemektedir. Smith, Henderson, Chung-Pfost, Bradley ve Caurie modelleri kırmızı biber tohumunun, Henderson, Chung-Pfost, Bradley ve Caurie ise kırmızı biber tohum proteininin sorpsiyon davranışlarının tanımlanmasında uygun modeller değildirler (MRE > 10). Iglesias ve Chirife, GAB ve Halsey modelleri, geniş su aktivitesi aralığında (0,11–0,90) kırmızı biber tohum unu ve proteininin tüm deneysel verilerini temsil edecek en iyi modellerdir. GAB modelinin en iyi modeller arasında yer alması beklenen bir sonuçtur, çünkü literatürde birçok gıda maddesi için uygun bir model olarak belirlenmiştir. Örneğin Ayrancı ve Duman (2005) bezelye unu ve protein izolatının sorpsiyon özelliklerini en iyi temsil eden modellen GAB (MRE < 8) olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrancı ve Dalgıç (1992), GAB modelinin Antep fıstığı ve protein izolatının (*Pistacia terebinthus* L.) nem içeriğindeki değişimin tahminlenmesinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Jovanovich ve diğ. (2003) ve Cassini ve diğ. (2006) soya protein izolatının deneysel sorpsiyon izotermi GAB modelinin en iyi şekilde temsil ettiğini göstermişlerdir.

Tablo 5.33: Yağı alınmış kırmızı biber tohumunun farklı sıcaklıklardaki sorpsiyon modellerinin belirlenen katsayıları

Model	T (°C)	Model Parametreleri			Model Uygunluk Parametreleri		
		A	B		R ²	MRE	SEM
Smith	20	1,103	-7,873		0,944	15,13	1,40
	30	0,593	-8,415		0,946	15,78	1,39
	40	0,331	-8,774		0,956	13,54	1,27
Oswin	20	6,174	0,545		0,978	11,77	0,87
	30	5,962	0,591		0,982	10,82	0,80
	40	5,957	0,610		0,987	8,35	0,68
Henderson	20	0,111	1,016		0,932	21,47	1,54
	30	0,128	0,954		0,943	20,81	1,43
	40	0,130	0,940		0,956	18,12	1,27
Halsey	20	11,295	1,542		0,992	5,25	0,52
	30	8,417	1,409		0,993	7,30	0,52
	40	7,572	1,355		0,993	10,43	0,50
Chung-Pfost	20	2,488	0,175		0,886	22,98	2,00
	30	2,284	0,166		0,890	25,49	1,98
	40	2,193	0,160		0,906	26,40	1,85
Bradley	20	5,210	-5,718		0,886	23,01	2,00
	30	4,984	-6,036		0,890	25,59	1,98
	40	4,904	-6,245		0,906	26,36	1,85
Kuhn	20	3,306	-1,884		0,989	7,47	0,62
	30	2,602	-2,183		0,990	9,48	0,60
	40	2,237	-2,359		0,987	14,18	0,69
Caurie	20	0,251	3,014		0,922	19,47	1,63
	30	0,145	3,173		0,935	17,36	1,52
	40	0,134	3,209		0,948	14,51	1,37
Iglesias ve Chirife	T (°C)	A	B	C	R ²	MRE	SEM
	20	1,608	-0,529	-0,038	0,997	4,63	0,35
	30	1,539	-0,587	-0,039	0,996	6,70	0,39
	40	1,504	-0,660	-0,026	0,994	10,36	0,46
BET ¹	T (°C)	A	B	M ₀	R ²	MRE	SEM
	20	110,002	-	3,139	0,851	8,85	0,47
	30	23,739	-	3,162	0,882	10,73	0,46
	40	10,712	-	3,373	0,905	13,34	0,47
GAB	20	3724,225	0,948	3,084	0,991	6,29	0,56
	30	41,144	0,961	3,054	0,992	8,12	0,53
	40	17,462	0,962	3,175	0,993	10,03	0,50

¹ BET modeli için su aktivitesi aralığı 0,11-0,5'dir. Sadece ilk beş veri kullanılmıştır.

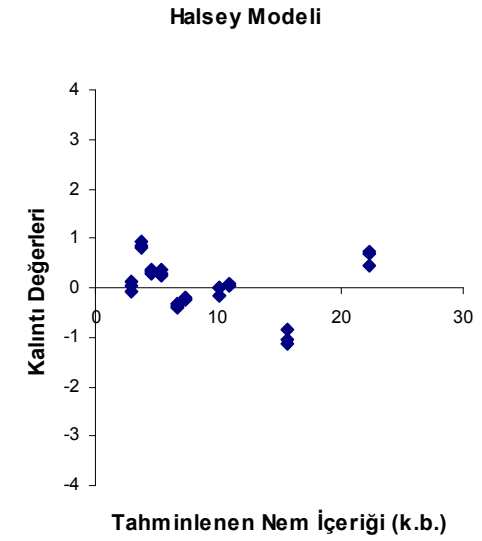
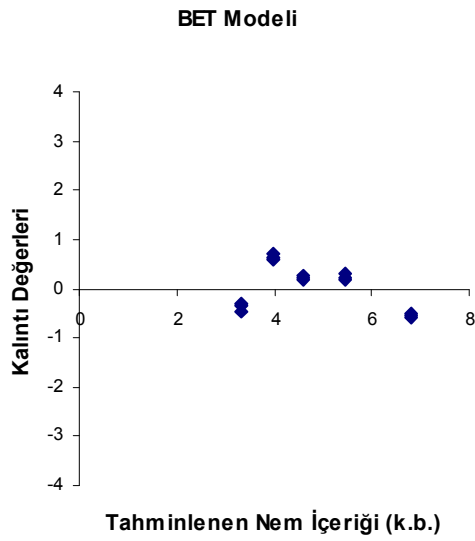
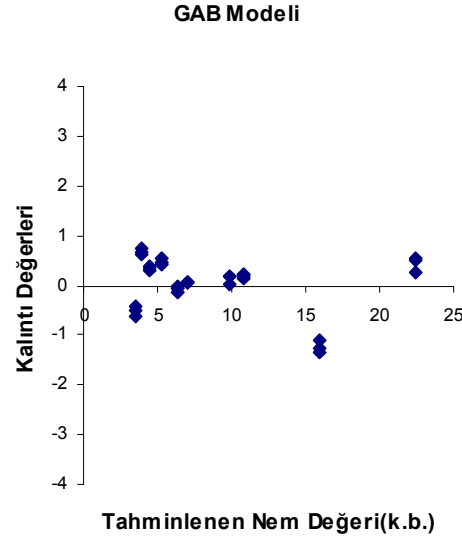
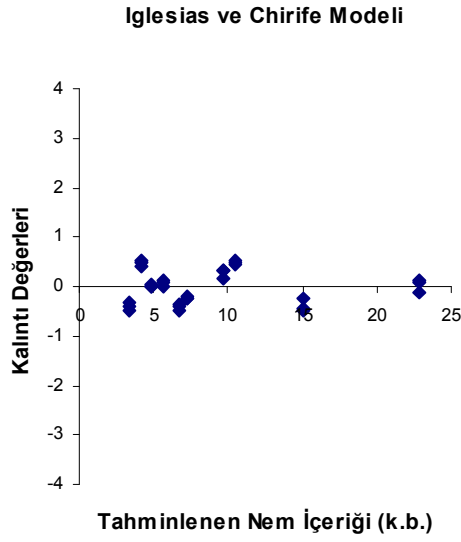
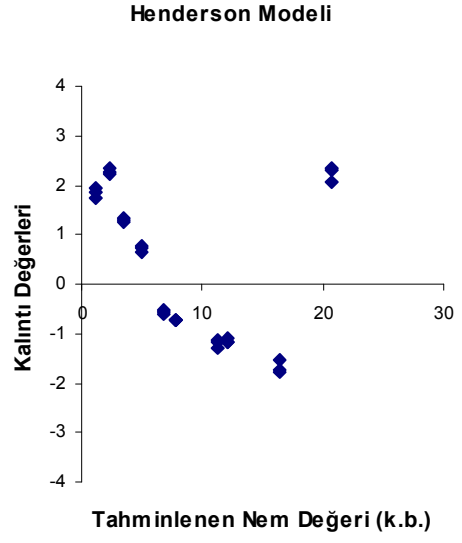
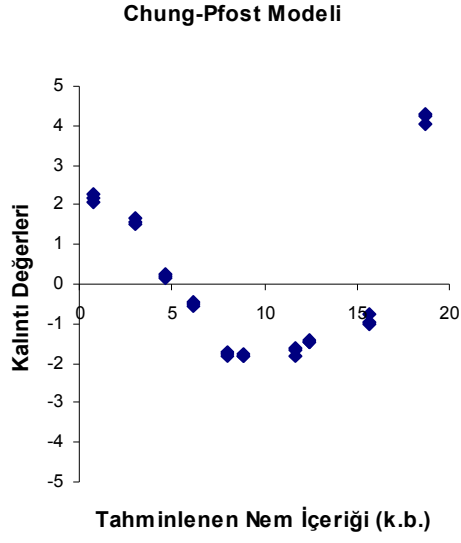
Tablo 5.34: Kırmızı biber tohum proteininin farklı sıcaklıklardaki sorpsiyon modellerinin belirlenen katsayıları

Model	T (°C)	Model Parametreleri			Model Uygunluk Parametreleri		
		A	B		R ²	MRE	SEM
Smith	20	0,787	-3,187		0,981	9,08	0,33
	30	0,620	-3,076		0,982	8,91	0,29
	40	0,563	-3,014		0,981	8,23	0,29
Oswin	20	2,951	0,476		0,991	6,96	0,22
	30	2,707	0,498		0,990	7,23	0,21
	40	2,586	0,513		0,992	6,78	0,18
Henderson	20	0,192	1,188		0,958	15,63	0,48
	30	0,216	1,162		0,966	14,92	0,40
	40	0,228	1,149		0,964	14,18	0,39
Halsey	20	4,445	1,745		0,997	2,48	0,12
	30	3,466	1,652		0,993	4,58	0,19
	40	3,013	1,589		0,996	3,26	0,12
Chung-Pfost	20	2,847	0,429		0,933	16,43	0,61
	30	2,708	0,450		0,939	16,67	0,53
	40	2,689	0,464		0,935	17,65	0,52
Bradley	20	2,438	-2,331		0,933	16,43	0,61
	30	2,215	-2,223		0,939	16,69	0,53
	40	2,132	-2,155		0,935	17,65	0,52
Kuhn	20	1,748	-0,740		0,966	10,90	0,43
	30	1,426	-0,722		0,962	12,00	0,46
	40	1,257	-0,796		0,975	10,70	0,32
Caurie	20	-0,269	2,613		0,960	13,85	0,47
	30	-0,363	2,647		0,971	11,87	0,37
	40	-0,402	2,656		0,969	10,56	0,36
Iglesias ve Chirife	T (°C)	A	B	C	R²	MRE	SEM
	20	0,851	-0,607	0,014	0,998	2,77	0,11
	30	0,753	-0,688	0,036	0,994	3,93	0,17
	40	0,694	-0,652	0,010	0,996	3,22	0,12
BET ¹	T (°C)	A	B	M₀	R²	MRE	SEM
	20	7576576	-	1,409	0,921	5,39	0,15
	30	45,174	-	1,339	0,947	4,64	0,12
	40	38,527	-	1,288	0,975	3,09	0,08
GAB	20	71,261	0,908	1,565	0,998	2,38	0,10
	30	25,013	0,908	1,498	0,994	3,62	0,17
	40	27,756	0,920	1,400	0,996	3,26	0,14

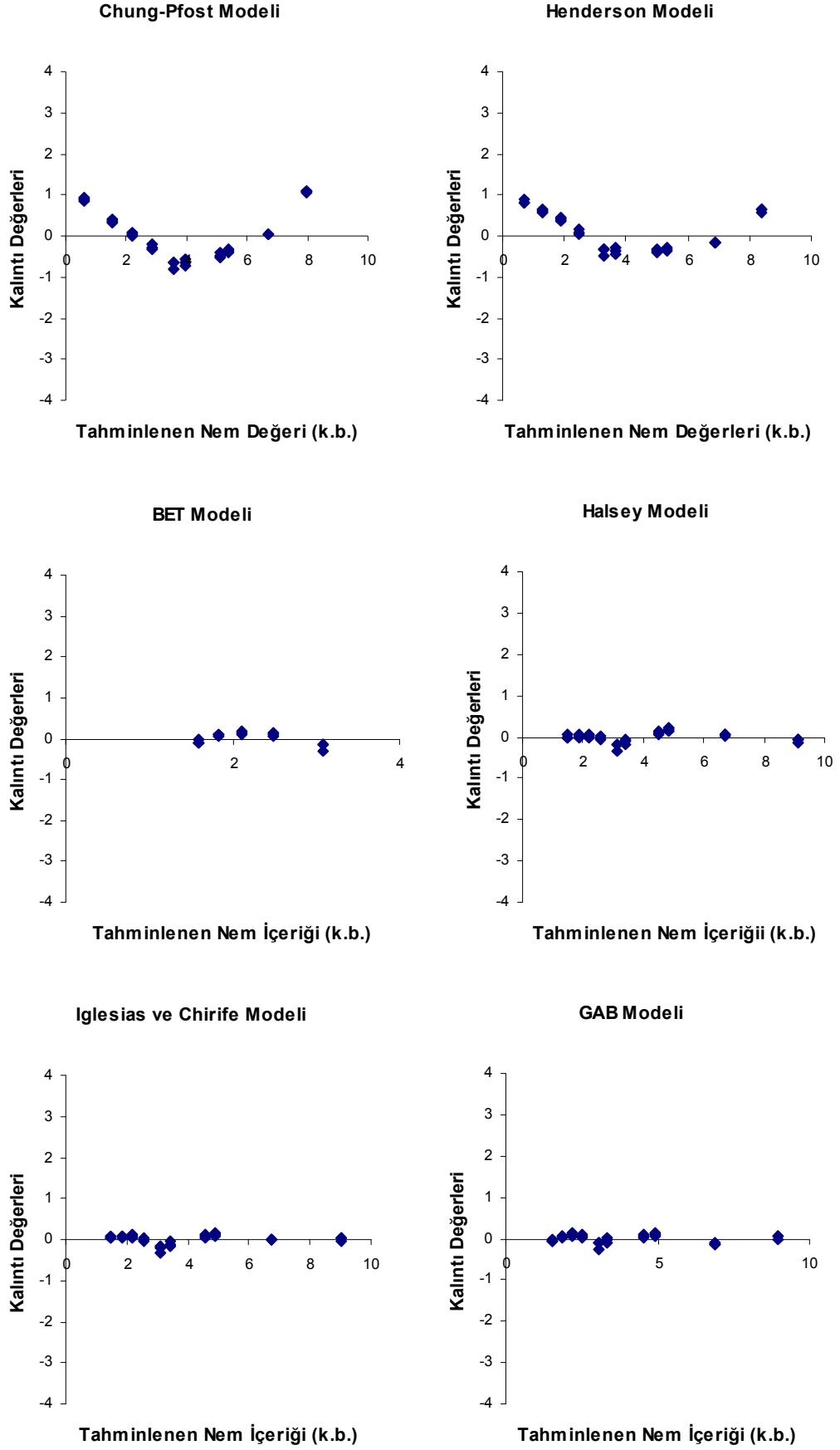
¹ BET modeli için su aktivitesi aralığı 0,11-0,5'dir. Sadece ilk beş veri kullanılmıştır.

Peynir altı suyu protein izolatu, süt protein konsantresi ve kazeinin sorpsiyon izotermelerinin modellenmesinde GAB eşitliği denenmiş ve iyi sonuçlar ($R^2 > 0,99$; $SEM < 1,02$) elde edilmiştir (Foster ve diğ., 2005). Kırmızı ve yeşil biberler için en uygun modelin Halsey ve GAB modelleri olduğu belirtilmiştir (Kaymak-Ertekin ve Sultanoglu, 2001). Sogi ve diğ. (2003) domates tohumu ile yaptıkları çalışmada Henderson, Oswin, Halsey, Chung-Pfost ve Smith modellerinin uygunluğu test etmişler ve Henderson modelinin domates tohumunun sorpsiyon özelliklerini tanımlamak için en uygun model olduğuna karar vermişlerdir ($R^2 > 0,99$; $SEM < 0,15$) . Bu çalışmada ise, kırmızı biber tohumunu için Henderson modeli uygun olmayan modeller arasında yer almaktadır.

En iyi modelin belirlenmesi için birden fazla istatistiksel parametrenin dikkate alınması gereklidir. İstatistiksel analizi tamamlamak için kırmızı biber tohumunu ve proteini için bazı modellerin 20°C'deki kalıntı analizleri sırasıyla, Şekil 5.35 ve Şekil 5.36'da gösterilmiştir. Kalıntı değerleri, modeller ile tahminlenen denge nem içerikleri ile deneysel olarak ölçülen nem değerleri arasındaki fark olarak hesaplanmıştır. Kalıntı analizlerinde modelin uygunluğu için kalıntı verilerinin sıfır ortalamaya ve sabit varyansa sahip ve normal dağılım gösteren rastgele bağımsız hatalar olması istenmektedir (Pagano ve Mascheroni, 2005). Kalıntı analizi sonuçları, istatistiksel olarak modellerin uygunluğunun tespit edilmesi için kullanılan parametreler (R^2 , MRE, SEM) ile paralellik göstermektedir. Kırmızı biber tohumunu sorpsiyon verileri için Chung-Pfost ve Henderson modellerinin R^2 değerlerinin 0,93'den büyük olmasına rağmen kalıntı grafiklerinde veriler bir desen oluşturmaktadır Őeklinindedir. Bu da bu modelleri uygun olmayan modeller haline getirmektedir. Diğer tüm modeller için elde edilen kalıntı grafiklerinde veriler rastgele dağılım (random) göstermektedir. Kırmızı biber tohum proteininde ise yüksek MRE (15-17) ve yüksek SEM (0,4-0,6) değerlerine sahip olan Chung-Pfost ve Henderson modellerinin kalıntı grafikleri rastgele dağılım göstermektedir (Şekil 5.35). Kırmızı biber tohum proteinini sorpsiyon verilerine uygunluk gösteren BET, GAB, Halsey ve Iglesias ve Chirife gibi modellerin kalıntı değerleri sıfır noktasına yakın çok dar bir bant oluştururlar. Bu da bu modellerin kırmızı biber tohum proteininin su aktivitesi–denge bağılı nem ilişkisinin tanımlanmasında mükemmel modeller olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.35: Kırmızı biber tohumunun sorpsiyon verileri için kalıntı grafikleri



Şekil 5.36: Kırmızı biber tohum proteininin sorpsiyon verileri için kalıntı grafikleri

Sorpsiyon verilerinin BET ve GAB modelleri ile modellenmesi sonucu gıdaların tekli tabaka nem içeriği değerleri (M_0) hesaplanabilmektedir. M_0 değerinin tahminlenmesi, bu değer altındaki değerlerde gıdaların lipid oksidasyonu, enzimatik olmayan esmerleşme gibi bozulma reaksiyonlarının en düşük seviyede olması nedeniyle önemlidir. Su, M_0 değerinin altındaki nem içeriklerinde gıdaya kuvvetli bir şekilde bağlıdır ve herhangi bir bozulma reaksiyonunda çözgen veya substrat olarak görev yapması mümkün değildir (Menkov, 2000; Ayrancı ve Duman, 2005).

GAB ve BET modellerinden elde edilen M_0 değerleri istatistiksel olarak birbiri ile benzerlik göstermektedirler ($p < 0,05$) (Tablo 5.33 ve Tablo 5.34). M_0 değerleri, kırmızı biber tohumunu için %3,05–3,37, kırmızı biber tohum proteini için ise %1,29–1,57 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen M_0 değerleri, gıda ürünleri için kabul edilebilir bir aralıktadır. Labuza (1984), gıdalar için maksimum M_0 değerini %10 (k.b.) olarak belirtmiştir. Ayrancı ve Duman (2005) bezelye unu ve protein izolatu için 20°C’de M_0 değerlerini sırasıyla %3,99 ve %2,18 (k.b.) olarak belirlemişlerdir. Cassini ve diğ. (2006) 20°C’de soya proteini için %6,4 (k.b.); Foster ve diğ. (2005) peynir altı suyu protein izolatu için %6,82 (k.b.), süt protein konsantresi için 7,83 ve kazein için 7,85 olarak tespit etmişlerdir.

Kırmızı biber tohum proteininin M_0 değerleri artan sıcaklık ile azalmaktadır. Ayrancı ve Duman (2005) bezelye unu ve protein izolatu ve Cassini ve diğ. (2006) soya proteini için benzer sonucu elde etmişlerdir. Diğer yandan kırmızı biber tohumununun M_0 değerleri ile sıcaklık arasında belli bir korelasyon mevcut değildir. Benzer davranış ezilmiş biber için de tespit edilmiştir (Arslan ve Toğrul, 2005).

Tanecikli gıdaların su bağlama özelliklerinin belirlenmesinde spesifik yüzey alanı önemli bir role sahiptir (Arslan ve Toğrul, 2005). Spesifik yüzey alanı Eşitlik 4.15’den GAB eşitliği ile elde edilen M_0 değerleri kullanılarak (Tablo 5.33 ve Tablo 5.34) hesaplanmış ve Tablo 5.35’de gösterilmiştir. Spesifik yüzey alanı soya proteini için 162,75-260,05 m²/g katı (Cassini ve diğ., 2006), ezilmiş biber için 201,85-340,79 m²/g katı (Arslan ve Toğrul, 2005) olarak belirlenmiştir.

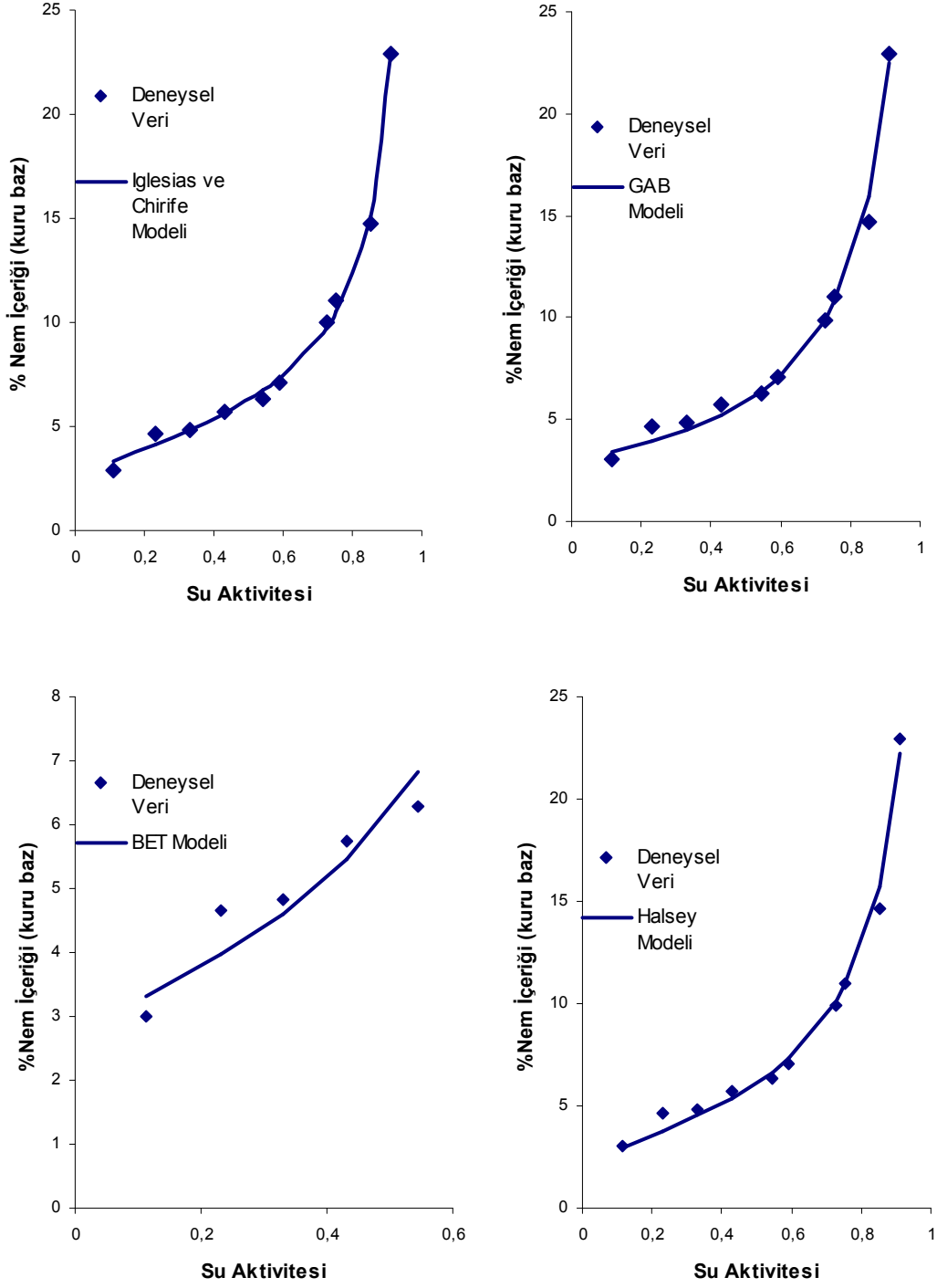
Tablo 5.35: Kırmızı biber tohum unu ve proteinin spesifik yüzey alanı (m²/g katı)

Örnek	Sıcaklık (°C)	S ₀ (m ² /g katı)
Kırmızı biber tohum unu	20	108,87
	30	107,81
	40	112,08
Kırmızı biber tohum proteini	20	55,24
	30	52,88
	40	49,22

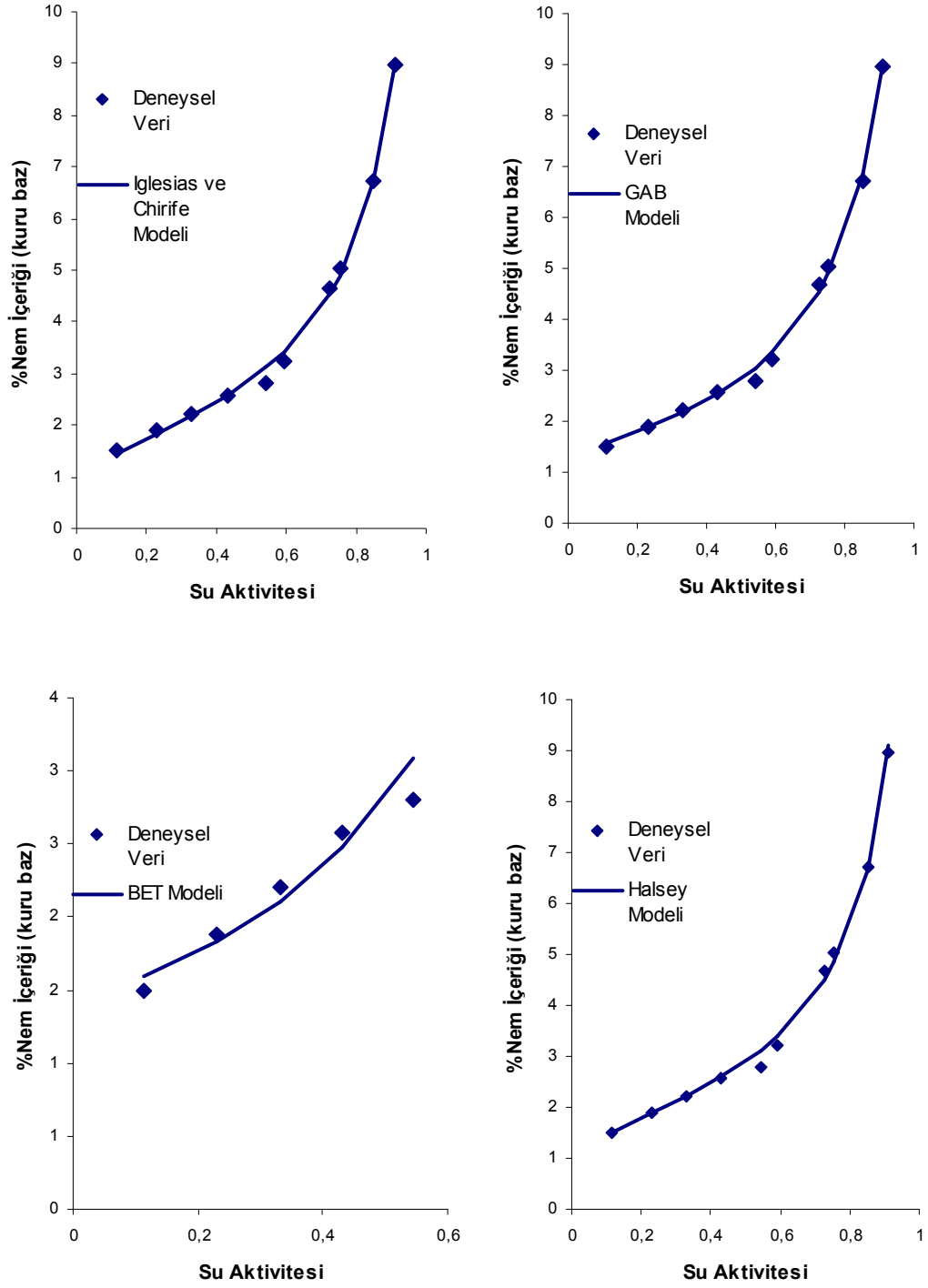
Kırmızı biber tohum unu ve proteinin 20°C'deki ölçülen ve uygun olduğu belirlenen Iglesias ve Chirife, GAB ve BET ve Halsey modelleri ile modellenen sorpsiyon izotermelerinin birbiri ile kıyaslanması Şekil 5.37 ve Şekil 5.38'de görülmektedir. Ölçülen ve modeller ile tahminlenen denge nem içerikleri birbirine uygunluk göstermektedir. Genellikle tahminlenen nem değerleri ölçülenlere göre daha yüksektir. Bu su sorpsiyonunu azaltan bazı etkileşimlerin olduğunu göstermektedir. Foster ve diğ. (2005), bileşenler arasındaki hidrojen bağlarının bileşenler ve su arasındaki hidrojen bağları ile yarışma içersinde olduklarını belirtmiştir. Bu durum su sorpsiyonunda azalmaya yol açmaktadır.

Şekil 5.39'da görüldüğü gibi kırmızı biber tohumunun 20 ve 40°C'deki sorpsiyon izotermeleri arasında çok az bir fark bulunmaktadır. Su aktivitesinin yaklaşık olarak 0,7 olduğu değerlerde sorpsiyon eğrilerinde çapraz geçiş gözlenmektedir. Bu olay şeker içeriği yüksek olan gıdalar için karakteristiktir. Labuza (1984) bunun nedenini şekerlerin çözünmesi veya/ve mikrobiyal gelişim olarak açıklamışlardır. Birçok gıda için sorpsiyon izotermelerinin çapraz geçişi tespit edilmiştir (Nourhene ve diğ, 2007; Corzo ve Fuentes, 2004; Lee ve Lee, 2008). Kırmızı biber tohum proteininde ise karbonhidrat içeriğinin düşük olması nedeniyle bu çapraz geçiş gözlenmemektedir.

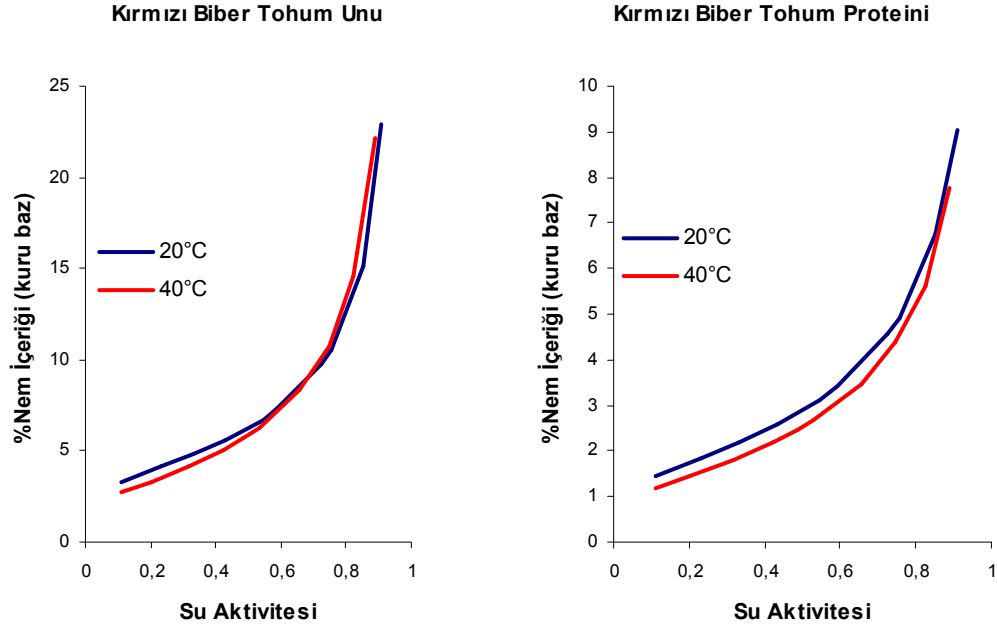
Önceden de belirtildiği gibi 20 ile 40°C arasında kırmızı biber tohum unu için Iglesias ve Chirife, Halsey, kırmızı biber tohum proteini için ise GAB, Iglesias ve Chirife modellerinin deneysel sorpsiyon eğrilerini en iyi temsil eden modeller olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.37: Kırmızı biber tohumunun 20°C'deki verilerinin sorpsiyon modelleri ile kıyaslanması



Şekil 5.38: Kırmızı biber tohum proteininin 20°C’deki verilerinin sorpsiyon modelleri ile kıyaslanması



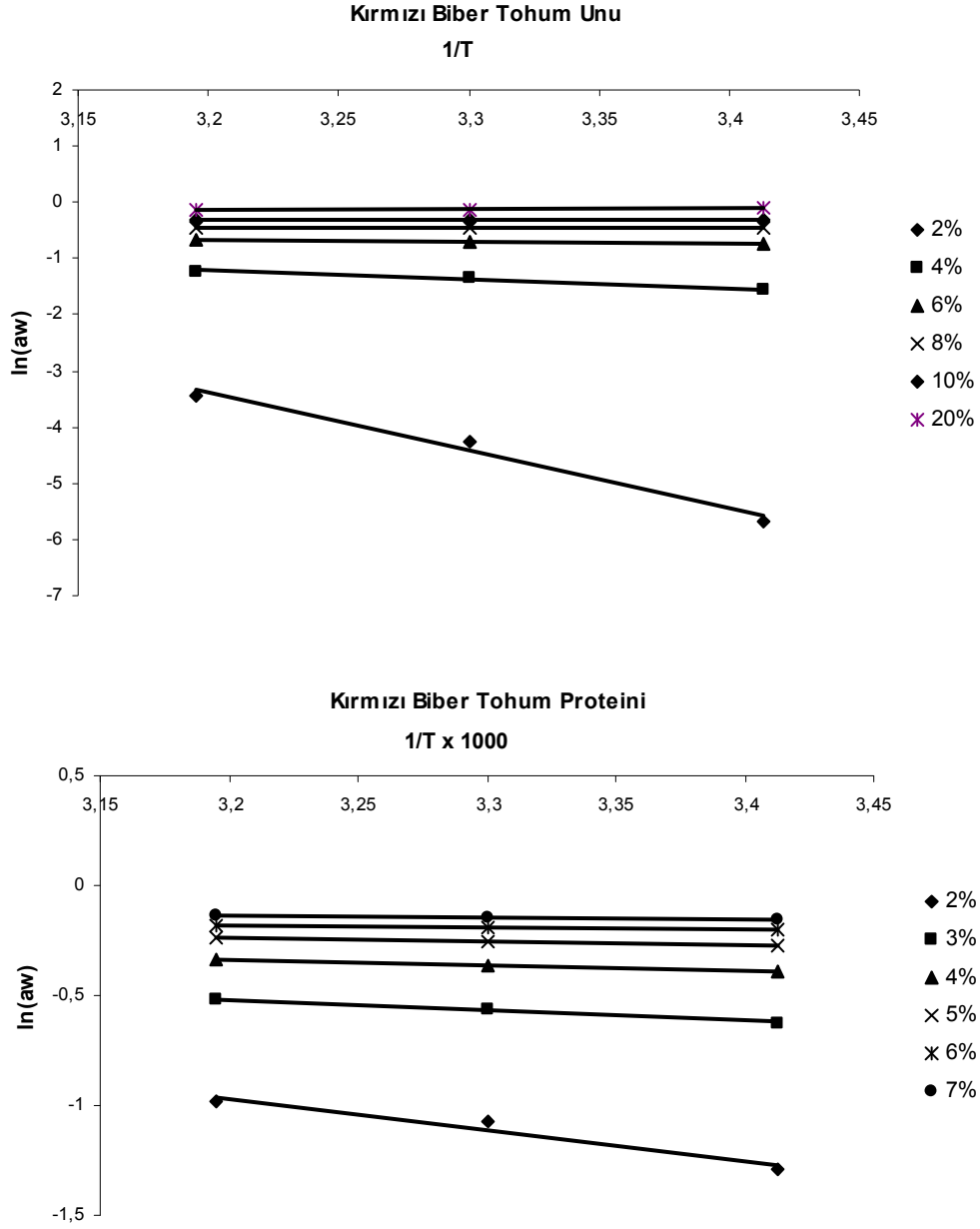
Şekil 5.39: Kırmızı biber tohum unu ve proteinin 20°C ve 40°C'deki verilerinin kıyaslanması

5.5.3 Sorpsiyon ısısının belirlenmesi

Sorpsiyon izosterik ısı gibi termodinamik özellikler, iki veya daha fazla sıcaklıkta tespit edilmiş olan sorpsiyon izotermelerinden Clausius-Clapeyron eşitliği (Eşitlik 4.14) kullanılarak hesaplanabilmektedir (Nourhene ve diğ., 2007). Sorpsiyon ısısı kullanılarak gıdanın herhangi bir sıcaklıktaki sorpsiyon izotermi tahminlenebilmektedir (Ayrancı ve Duman, 2005). Sorpsiyon ısısı, kurutma için gerekli olan enerjinin belirlenmesinde gereklidir ve gıdadaki suyun hangi durumda olduğu hakkında bilgi sağlar, gıdanın verilen depolama koşulları altındaki fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik stabilitesinin bir ölçüsüdür (Kaymak-Ertekin ve Gedik, 2004; Arslan ve Toğrul, 2005). Sorpsiyon ısısı, subuharı molekülleri ile adsorban yüzeyi arasındaki etkileşim kuvvetleri hakkında da bilgi sağlar (Corzo ve Fuentes, 2004; Chowdhury ve diğ., 2006). Suyun gizli buharlaşma ısısına ulaşmış net izosterik sorpsiyon ısısındaki gıdanın nem içeriği, gıdada bağlı su bulunduğunun bir belirtisi olarak düşünülmektedir. Sorpsiyon ısısı, düşük nem içeriklerine kurutma sırasında saf suyun buharlaşma ısısının üstündeki değerlere çıkabilmektedir (Kaymak-Ertekin ve Sultanoğlu, 2001).

Sorpsiyon ısısı değerleri, Clausius-Clapeyron eşitliğine (Eşitlik 4.14) göre sabit nem içeriğinde Şekil 5.40'da gösterilen $\ln(a_w)$ 'ne karşı $1/T$ grafiğinin eğiminden

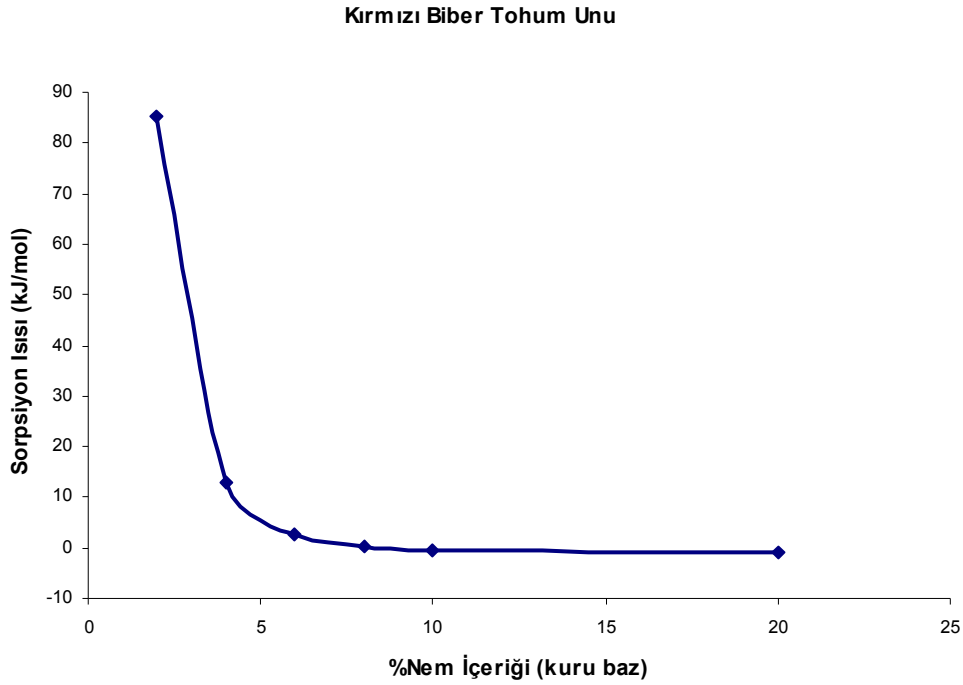
hesaplanmıştır. Sabit nem içeriğindeki farklı sıcaklıklardaki su aktivitesi değerleri belirlenmiş olan en uygun model kullanılarak elde edilmiştir. Bunun için kırmızı biber tohumunu için Iglesias-Chirife modeli, kırmızı biber tohum proteini için ise GAB modeli kullanılmıştır.



Şekil 5.40: $\ln(a_w)$ 'ne karşı $1/T$ grafikleri

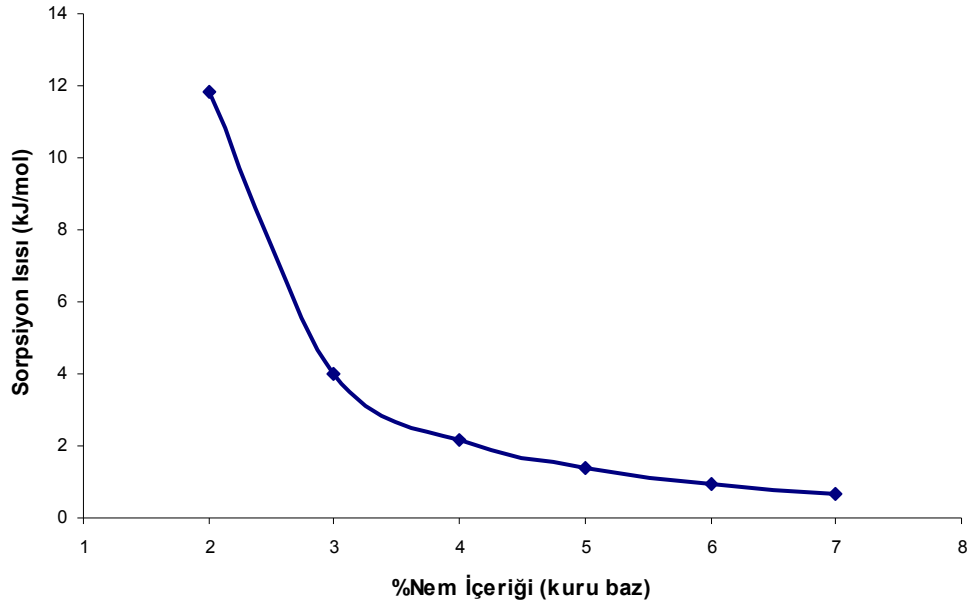
Şekil 5.40'daki grafiklerdeki eğrilerden hesaplanan sorpsiyon ısılarının nem içeriğine bağlı olarak değişimleri Şekil 5.41 ve Şekil 5.42'de gösterilmiştir. Sorpsiyon ısı, artan nem içeriği ile azalmaktadır. Sorpsiyon ısı, %3-4 (k.b.) nem içeriğine

ulaşıncaya kadar hızla azalmaktadır ve daha sonra artan nem içeriği ile yavaşca azalmaktadır. Nem içeriği artıkça suyu katıdan uzaklaştırmak için gerekli enerji azalmaktadır. Tekli tabaka bölgesindeki su, yoğunlaşmış su bölgesine göre daha sıkı bağlanmış haldedir (Arslan ve Tođrul, 2005). Tsami (1991), dűřük nem içeriklerindeki sorpsiyon ısısındaki hızlı artışın gıdanın yüzeyinde oldukça aktif polar yüzeylerin oluşmasına bağlı olduğunu belirtmiştir. Kırmızı biber tohumunun sorpsiyon ısısı değerleri, %2 nem içeriğinde 85340 J/mol ile %6 nem içeriğinde 2760 J/mol değerleri arasında değişmektedir. Kırmızı biber tohum proteini ise, %2 nem içeriğinde 11840 J/mol ile %6 nem içeriğinde 950 J/mol değerleri arasında değişmektedir.



şekil 5.41: Kırmızı biber tohumunun sorpsiyon ısısının nem içeriği ile değerimi

Kırmızı Biber Tohum Proteini



Şekil 5.42: Kırmızı biber tohum proteininin sorpsiyon ısısının nem içeriği ile değişimi

Bu çalışmada elde edilen nem içeriğine karşı sorpsiyon ısısı grafikleri, Ayrancı ve Duman (2005) tarafından börülce unu ve proteini için, Vazquez ve diğ. (2003) tarafından bakla için, elde edilenlerle benzerlik göstermektedir. Börülce unu ve proteininin sorpsiyon ısıları %12 (k.b.) nem içeriği değerinden sonra nem içeriği değişimi ile sabit hale gelmiştir. Kırmızı biber tohum unu için bu değer sırasıyla %10'dur.

Kırmızı biber tohum unu ve proteini için sorpsiyon ısısı değerleri (q_{st}) matematiksel olarak nem içeriğinin polinomal fonksiyonu olarak ifade edilebilmektedir. Bu eşitlikler ve regresyon katsayıları Tablo 5.36'de verilmiştir. Polinomal denklemler sorpsiyon ısısı ile nem içeriği arasındaki ilişkiyi uygun olarak temsil etmektedirler.

Tablo 5.36: Sorpsiyon ısısının nem içeriğine bağlı polinomal eşitlikleri

Örnek	Eşitlik	R ²
KBTU	$q_{st} = -0,1665M^3 + 5,8311M^2 - 58,901M + 176,92$	0,98
KBTP	$q_{st} = -0,2896M^3 + 4,6948M^2 - 24,987M + 45,203$	0,99

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kırmızı biberin (*Capsicum frutescens*) konserveye işlenmesi, dondurulması, ve kurutulması sırasında artık olarak ortaya çıkan kırmızı biber tohumlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla kırmızı biber tohumundan optimum koşullarda protein ekstrakte edilmiş ve elde edilen kırmızı biber tohum protein konsantrasyonunun fonksiyonel özelliklerine (yığın yoğunluğu, renk, su ve yağ tutma, çözünürlük, emülsiyon, köpük ve jel özellikleri) pH ve tuz konsantrasyonunun etkileri, kırmızı biber tohumunu ve soya protein konsantrasyonu ile karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Kırmızı biber tohumunu ve proteininin emülsiyon özelliğinin gerçek bir gıda matrisinde incelenmesi amacıyla, bu ürünler mayonez üretiminde kullanılmış ve elde edilen mayonez örneklerinin reolojik özellikleri, stabilitesi ve rengine etkileri belirlenmiştir. Kırmızı biber tohumunu ve proteininin, diğer ürünler içinde kullanımının tahminlenebilmesi ve raf ömrü stabilitesinin belirlenebilmesi amacı ile sorpsiyon özellikleri incelenmiş ve çeşitli matematiksel modeller ile modellenmiştir.

Hayvansal kaynaklı proteinlere alternatif olarak, çeşitli bitkisel kaynaklardan veya gıda sanayii işleme atık ve artıklarından fonksiyonel ve besinsel özellikleri yüksek protein eldesi önemli araştırma konuları arasındadır. Kırmızı biber tohumundan ekstraksiyon ve izolasyon metodu ile yüksek protein içeriğine sahip bir protein konsantrasyonu elde edilebilmiştir.

Distile su, %5 NaCl, %0,5 Na₂SO₄, 0,1 N NaOH, %70 etanol gibi çözümler arasından kırmızı biber tohumundan protein ekstraksiyonu için en uygun çözümlerin distile su olduğu belirlenmiştir. Yağı alınmış kırmızı biber tohumundan, tepki yüzey metodu kullanılarak 4 faktör (sıcaklık, pH, çözümler/oran ve ekstraksiyon süresi) için 5 düzeyde türetilen 29 kombinasyon ile protein ekstrakte edilmiştir. Protein veriminin deneysel değeri 8,32-12,31 g çözümler protein/100 g kırmızı biber tohumunu aralığında değişmektedir. Protein verimine en fazla etkisi olan özellikler pH ve çözümler/oran olarak tespit edilmiştir. Kırmızı biber tohum proteinlerinin

suyla optimum ekstraksiyonu, bir kısım kırmızı biber tohumunu ile 21 kısım suyun (kütle/hacim oranı) pH 8,8'de ve 31°C'de 20 dakika ekstraksiyonu ile başarılabilmektedir. Bu koşullarda protein verimi, ekstraktan 12,24 g çözünür protein/100 g kırmızı biber tohumunu ile sonuçlanmıştır. İzole edilmiş ürün ise %70,3 (kuru bazda) protein içermektedir. Optimum koşullar kırmızı biber çekirdeği unundan protein konsantrasyonu elde etmek için kullanılmıştır.

Kırmızı biber tohumunu ve proteininin su tutma özellikleri soya protein konsantrasyonuna göre düşüktür. Yağ tutma kapasiteleri ise soya protein konsantrasyonu ile karşılaştırılabilir düzeydedir. Kırmızı biber tohumu proteininin yağ tutma kapasitesi, su tutma kapasitesinin yaklaşık olarak iki katı kadardır. Bu özellik, kek ve bisküvi gibi unlu ürünlerde ağız dokusunun ve aromanın ağızda kalma süresinin geliştirilmesi gibi avantajlar sağlayabilmektedir. Ayrıca, et ürünlerinde kullanıldıklarında su ve yağ kaybını azaltarak ürünün raf ömrünü uzatabilir ve lezzetini geliştirirler. Kırmızı biber tohumunu ve proteininin asidik ve alkali koşullardaki yüksek çözünürlük (>%60) özelliklerinden içeceklerde yararlanılabilir. Çözünürlük özellikleri proteinin diğer tüm fonksiyonel özelliklerinin bir göstergesidir. Çözünürlüğün alkali koşullarda yüksek olması, kırmızı biber tohumu proteininin fonksiyonel özelliklerinin alkali koşullarda mükemmel olmasını sağlamıştır. Emülsiyon özellikleri, kırmızı biber tohumu proteininin çözünürlük özellikleri ile paralellik göstermektedir. Emülsiyon stabilitesinin yüksek olması kırmızı biber tohumunu ve proteinini, ısı işlem uygulanması gereken ürünler için çok uygun bir bileşen haline getirmektedir. Kırmızı biber tohumunu ve proteini, iyi bir köpük ajanı değildir. Kırmızı biber tohumu proteini, soya protein konsantrasyonuna göre daha hacimli fakat daha az stabil köpükler oluşturmaktadır. Kırmızı biber tohumunu ve proteini sırasıyla %10 ve %4 protein konsantrasyonunun üstündeki değerlerde jel oluşturma kabiliyetine sahiptir. Bu konsantrasyon değerinin az olması ürüne katılacak protein miktarının az olmasını sağlamaktadır. Bu da proteinin katıldığı ürünün renk, aroma ve lezzetindeki değişimin en az düzeyde olmasını sağlayacaktır. Tuz konsantrasyonunun artışı, soya protein konsantrasyonunun tersine jel özelliklerini azaltmaktadır.

İzolatların renkleri, gıdaların içinde proteinlerin kullanılmasını sınırlayan önemli bir faktördür. Açık renge sahip olmayan izolatlar, ürünün rengini istenmeyen yönde değiştirmektedir. Kırmızı biber tohumunu ve proteininin sahip olduğu açık kırmızımsı

renk, salata sosları, ve fırıncılık ürünleri gibi ürünlerde görsel bir zenginlik kazandıracaktır.

Ticari bir ürün olan soya protein konsantresinden daha mükemmel olan emülsiyon özelliklerine sahip olan kırmızı biber tohum unu ve proteininin, mayonez model sistemi içerisinde kullanılabilirliği denenmiştir. Mayonez yapımında kullanılan en temel malzeme yumurta sarısıdır. Yüksek kolestrol içeriğine sahip olan bu malzemenin mayonez formülasyonundaki miktarının azaltılması amacı ile kırmızı biber tohum unu ve proteini ile belli oranlarda yer değiştirilmiştir. Kırmızı biber tohum unu ve proteininin ilavesi ile mayonezin reolojik davranışında bir değişiklik meydana gelmemektedir, tüm mayonez örnekleri tiksotropiye sahip Newtonyen olmayan psödoplastik davranış sergilemektedirler. Artan tiksotropi değerleri, kayma zamanı arttıkça ürünün yapısındaki ilerleyen bozulmayı göstermektedir. Kırmızı biber tohum unu ve proteini ilavesi ile mayonezlerin tiksotropi özellikleri önce artmakta daha sonra un ilave edilen örneklerde azalırken protein ilave edilenler de ise sabit kalmaktadır.

Mayonez örneklerinin reolojik davranışlarının modellenmesinde üslü yasa modeli (Ostwald-de-Waale model) ve Herschel-Bulkley modelinin her ikisi de uygunluk göstermektedir. Kırmızı biber tohum unu ve proteini ilavesi akış davranış indeksi değerini istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilemektedir ($p < 0,05$). Formülasyondaki kırmızı biber tohum unu ve protein miktarının artışı ile akış davranış indeksi değeri azalarak 1 değerinden uzaklaşmaktadır. Kıvam indeksi değerleri incelendiği zaman, kırmızı biber tohum proteini ile hazırlanan mayonez örnekleri, kırmızı biber tohum unu ile hazırlanan örneklere göre daha viskoz bir yapı göstermektedirler. Akma gerilimi, akışı başlatmak için gerekli olan en düşük kayma gerilimi olarak tanımlanmaktadır. Kırmızı biber tohum unu ilavesi, mayonez örneklerinin akma gerilimi değerlerini azaltmaktadır, diğer yandan kırmızı biber tohum proteini ilavesi ise arttırmaktadır. Mayonez salata sosu olarak kullanılacağı zaman, akma gerilimi ürünün salata yüzeyinde kalması için önemli bir karakterdir. Dolayısıyla kırmızı biber tohum proteini ile hazırlanan mayonezin yüksek akma gerilimi değerleri ile bu gibi ürünlerde kullanımı daha uygundur.

Mayonez formülasyonuna katılan kırmızı biber tohum unu ve proteini mayonezden ayrılan yağ miktarını artırmıştır yani emülsiyon stabilitesini azaltmıştır. Emülsiyon

stabilitesindeki azalma en düşük seviyede tutulabilmesi için ürüne yumurta sarısı ile yer değiştiren kırmızı biber tohum protein miktarı %20 oranını geçmemelidir.

Artan kırmızı biber tohum unu ve protein miktarı ile parlaklık azalmakta, kırmızı renk artmakta ve sarı renk azalmaktadır. Kırmızı biber tohum proteininin mayonezin renginde, kırmızı biber tohum ununa göre daha fazla değişikliğe neden olmaktadır.

Kırmızı biber tohum unu ve proteininin sorpsiyon özellikleri incelendiğinde, tüm sorpsiyon izotermelerinin, karakteristik S-şekile sahip Tip II izotermine uygun karakteristik gösterdikleri gözlenmiştir. Kırmızı biber tohum unu ve proteini artan sıcaklıklar ile daha az higroskopik hale gelmektedirler ve sabit bağıl nemli ortamda düşük sıcaklıklarda yüksek sıcaklıklara göre daha çok nem adsorblarlar. Kırmızı biber tohum unu daha higroskopik özellik yani aynı su aktivitesi değerinde daha fazla su tutma özelliğine sahiptir. Kırmızı biber tohum unu ve proteini için farklı sıcaklıklar için elde edilen sorpsiyon izotermeleri birbirine oldukça yakındırlar. Bu sıcaklığın, sorpsiyon özelliklerine etkisinin çok düşük olduğunu göstermektedir.

Kırmızı biber tohumunun sorpsiyon izotermeleri, Iglesias ve Chirife, kırmızı biber tohum proteini için ise GAB, Iglesias ve Chirife ve Halsey modelleri ile en iyi şekilde tanımlanmıştır. Kırmızı biber tohum unu ve proteinin tekli tabaka nem içerikleri (M_0), kırmızı biber tohum unu için %3,05–3,37 (k.b.), kırmızı biber tohum proteini için ise %1,29–1,57 (k.b.) aralığında değişmektedir. Kırmızı biber tohum proteinin M_0 değerleri artan sıcaklık ile azalmaktadır. Diğer yandan kırmızı biber tohumunun M_0 değerleri ile sıcaklık arasında belli bir korelasyon mevcut değildir. Spesifik yüzey alanları, artan sıcaklık değerleri ile azalmaktadır.

Kırmızı biber tohumunun antioksidan özelliği ve yağ asidi kompozisyonu ile ilgili elde edilen sonuçlar, bu konunun ileriki çalışmalar ile incelenmeye değer konular olduğunu göstermektedir.

Bu alışma ile elde edilen tüm sonuçlar, kırmızı biber tohumunun değerlendirilmesi gereken çok değerli bir artık olduğunu göstermektedir. Kırmızı biber tohumlarının fonksiyonel özellikleri ile gıda ürünlerinde kullanımı artık imha probleminin de ortadan kaldırılmasını sağlayacaktır. Yüksek çözünürlük, uygun emülsiyon, köpük ve jel özellikleri ile kırmızı biber tohum proteini, işlenmiş et ürünleri (sosis, salam vb.), unlu fırıncılık ürünleri (ekmek, kurabiye, kek vb.), fermente süt ürünleri, salata

sosları, mayonez ve içecekler gibi gıda ürünlerinde fonksiyonel bir bileşen olarak kullanılabilir. Bu çalışma, protein karakterizasyonu (proteinin fraksiyonları ayrılması) ve modifikasyonu, besinsel özelliklerinin (amino asit içeriği, antibesinsel faktörler, biyoloji değeri, sindirilebilirlik) belirlenmesi ve değişik gıda ürünlerinde kullanımının denenmesi gibi ileriye yönelik çalışmalar ile desteklenmelidir.

KAYNAKLAR

- Abbot, T.P., Nakamura, I.K., Buchholz, G., Wolf, W.J., Palmer, D.M. and Gasdorf, H.J.**, 1991. Processes for making animal feed and protein isolates from jojoba meal, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **39**, 1488–1493.
- Achouri, A., Zhang, W. and Shiyang, X.**, 1998. Enzymatic hydrolysis of soy protein isolate and effect of succinylation on the functional properties of resulting protein hydrolysates, *Food Research International*, **31 (9)**, 617-623.
- Ahmed, J.**, 2004. Rheological behavior and color changes of ginger paste during storage, *International Journal of Food Science and Technology*, **39**, 325–330.
- Ahmedna, M., Prinyawiwatkul, W. and Rao, R.M.**, 1999. Solubilized wheat protein isolate, functional properties and potential food applications, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **47**, 1340-1345.
- Akintayo, E.T., Esuoso, K.O. and Oshodi, A.**, 1998. Emulsifying properties of some legume proteins, *International Journal of Food Science and Technology*, **33**, 239-246.
- Akintayo, E.T., Oshodi, A.A. and Esuoso, K.O.**, 1999. Effects of NaCl, ionic strength and pH on foaming and gelation of pigeon pea (*Cajanus cajan*) protein concentrates, *Food Chemistry*, **66**, 51-56.
- Al-Farsi, M.A. and Lee, C.Y.**, 2008. Optimization of phenolics and dietary fibre extraction from date seeds, *Food Chemistry*, **108**, 977-985.
- Alhamdan, A.M. and Hassan, B.H.**, 1999. Water sorption isotherms of date pastes as influenced by date cultivar and storage temperature, *Journal of Food Engineering*, **39**, 301-306.
- Aluko, R.E. and Yada, R.Y.**, 1995. Structure–function relationships of cowpea (*Vigna unguiculata*) globulin isolate: influence of pH and salt on physicochemical and functional properties, *Food Chemistry*, **53**, 259-265.
- Aluko, R.E., McIntosh, T. and Reaney, M.**, 2001. Comparative study of the emulsifying and foaming properties of defatted coriander (*Coriandrum sativum*) seed flour and protein concentrate, *Food Research International*, **34**, 733-738.

- Aluko, R.E. and McIntosh, T.**, 2001. Polypeptide profile and functional properties of defatted meals and protein isolates of canola seeds, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **81**, 391-396.
- Aluko, R.E.**, 2004. The extraction and purification of proteins: an introduction, in *Proteins in Food Processing*, pp. 323-346, Eds. Yada, R.Y., Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, England.
- Aluko, R.E. and McIntosh, T.**, 2005. Limited enzymatic proteolysis increases the level of incorporation of canola proteins into mayonnaise, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **6**, 195-202.
- Aminigo, E.R. and Ogundipe, H.O.**, 2003. Effect of heat treatment on functional characteristics of peanut (*Arachis hypogaea*) meal, *Journal of Food Science and Technology*, **40**, 205-208.
- Andres, M., Dominguez, H., Zuniga, M.E., Soto, C. and Chamy, R.**, 2002. Characterisation of protein concentrates from pressed cakes of *Guevina avellana* (Chilean hazelnut), *Food Chemistry*, **78 (2)**, 179-186.
- Antolovich, M., Prenzler, P.D., Patsalides, E., McDonald, S. and Robards, K.**, 2002. Methods for testing antioxidant activity, *The Analyst*, **127**, 183-198.
- AOAC**, 1997. Official methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. AOAC Inc., Virginia, USA.
- Arogba, S.S.**, 1999. Studies on kolanut and cashew kernels, moisture adsorption isotherm, proximate composition, and functional properties. *Food Chemistry*, **67 (3)**, 223-228.
- Arnao, M.B.**, 2000. Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: a practical case, *Trends in Food Science and Technology*, **11**, 419-421.
- Arogba, S.S.**, 1997. Physical, chemical and functional properties of Nigerian Mango (*Mangifera indica*) kernel and its processed flour, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **73**, 321-328.
- Arslan, N. and Toğrul, H.**, 2005. Moisture sorption isotherms for crushed chillies, *Biosystems Engineering*, **90**, 47-61.
- Ayrancı, E. and Dalgıç, A.Ç.**, 1992. Preparation of protein isolates from *Pistacia terebinthus* L. and examination of some functional properties, *LWT-Food Science and Technology*, **25**, 442-444.
- Ayrancı, E. and Duman, O.**, 2005. Moisture sorption isotherms of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and its protein isolate at 10, 20 and 30°C, *Journal of Food Engineering*, **70**, 83-91.
- Bandyopadhyay, K. and Ghosh, S.**, 2002. Preparation and characterization of papain-modified sesame (*Sesamum indicum* L.) protein isolates, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **50 (23)**, 6854-6857.

- Barbut, S.**, 1996. Determining water and fat holding, in *Methods of Testing Protein Functionality*, pp. 186-226, Eds. Hall, G.M., Blackie Academic&Professional, London.
- Bas, D. and Boyaci, I. H.**, 2007. Modelling and optimization I: Usability of response surface methodology, *Journal of Food Engineering*, **78**, 836-845.
- Batista, A.P., Raymundo, A., Sousa, I. and Empis, J.**, 2006. Rheological characterization of coloured oil-in-water food emulsions with lutein and phycocyanin added to the oil and aqueous phases, *Food Hydrocolloids*, **20**, 44–52.
- Belitz, H.D. and Grosch, W.**, 1999. Food Chemistry, Springer Verlag, Berlin.
- Bernadac, A., Latche, A., Roustan, J.P., Bouzayen, M. and Pech, J.C.**, 2002. Cucurbits, pepper, eggplant, legumes and other vegetables, in *Fruit and Vegetable Biotechnology*; pp. 325-410, Eds. Velpusta, V., Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, England.
- Besbes, S., Blecker, C., Deroanne, C., Drira, N.E. and Attia, H.**, 2004. Date seeds: chemical composition and characteristic profiles of lipid fraction, *Food Chemistry*, **84**, 577-584.
- Bhagya, S. and Sastry, M.C.S.**, 2003. Chemical, functional and nutritional properties of wet dehulled niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) seed flour, *LWT-Food Science and Technology*, **36**, 703-708.
- Bilgi, B. and Celik, S.**, 2004. Solubility and emulsifying properties of barley protein concentrate, *European Food Research Technology*, **218**, 437-441.
- Blackier, F.M., Elstner, F., Stein, W. and Mukherjee, K.D.**, 1983. Rapeseed protein isolates: Effect of processing on yield and composition of protein, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **31**, 358-362.
- Bora, P.S., Rocha, R.V.M., Narain, N., Moreira-Monteiro, A.C. and Moreira, R.A.**, 2003. Characterization of principal nutritional components of Brazilian oil palm (*Eliaes guineensis*) fruits, *Bioresource Technology*, **87**, 1-5.
- Bradfield, M. and Stamp, N.**, 2004. Effect of nighttime temperature on tomato plant defensive chemistry, *Journal of Chemical Ecology*, **30 (9)**, 1713-1721.
- Cassini, A.S., Marczak, L.D.F. and Norena, C.P.Z.**, 2006. Water adsorption isotherms of texturized soy protein, *Journal of Food Engineering*, **77**, 194-199.
- Cepeda, E., Villaran, M.C. and Aranguiz, N.**, 1998. Functional properties of faba bean (*Vicia faba*) protein flour by spray drying and freeze drying, *Journal of Food Engineering*, **36**, 303-310.

- Chantaro, P., Devahastin, S. and Chiewchan, N.,** 2008. Production of antioxidant high dietary fiber powder from carrot peels, *LWT-Food Science and Technology*, **41**, 1-8.
- Chau, C.F., Cheung, P.C.K. and Wong, Y.S.,** 1997. Functional properties of protein concentrates from three Chinese indigenous legume seeds, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **45**, 2500-2503.
- Chavan, U.D. McKenzie, D.B. and Shadidi, F.,** 2001. Functional properties of protein isolates from beach pea (*Lathyrus maritimus* L.), *Food Chemistry*, **74**, 177-187.
- Chen, C.,** 2006. Obtaining the isosteric sorption heat directly by sorption isotherm equations, *Journal of Food Engineering*, **74**, 178-185.
- Chove, B.E., Grandison, A.S. and Lewis, M.J.,** 2001. Emulsifying properties of soy protein isolate fractions obtained by isoelectric precipitation, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **81**, 759-763.
- Chowdhury M.M.I., Huda, M.D., Hossain, M.A. and Hassan, M.S.,** 2006. Moisture sorption isotherms for mungbean (*Vigna radiata* L.), *Journal of Food Engineering*, **74**, 462-467
- Coetzee, R., Labuschagne, M.T. and Hugo, A.,** 2008. Fatty acid and oil variation in seed from kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), *Industrial Crops and Products*, **27**, 104-109.
- Conforti, F., Statti, G.A. and Menichini, F.,** 2007. Chemical and biological variability of hot pepper fruits (*Capsicum annuum* var. *acuminatum* L.) in relation to maturity stage, *Food Chemistry*, **102**, 1096–1104.
- Corzo, O. and Fuentes, A.,** 2004. Moisture sorption isotherms and modeling for pre-cooked flours of pigeon pea (*Cajanus cajan* L millsp) and lima bean (*Canavalia ensiformis*), *Journal of Food Engineering*, **65**, 443-448.
- Damodaran, S.,** 1994. Structure-function relationship of food proteins, in *Protein Functionality in Food Systems*, pp. 1-39, Eds. Hettiarachchy, N.S. ve Ziegler, G.R., Marcel Dekker Inc., New York.
- Damodaran, S.,** 1996. Amino acids, peptides, and proteins, in *Food Chemistry*, pp. 321-431, Eds. Fennema, O.R., Marcel Dekker Inc., New York.
- Damodaran, S.,** 1997. Food proteins: An overview, in *Food Proteins and Their Applications*, pp. 1-56, Eds. Damodaran, S. and Paraf, A., Marcel Dekker, Inc., New York.
- Daood, H.G., Vinkler, M., Markus, F., Hebshi, E. A. and Biacs, P.A.,** 1996. Antioxidant vitamin content of spice red pepper (paprika) as affected by technological and varietal factors, *Food Chemistry*, **55**, 365-372.

- Deepa, N., Kaur, C., Singh, B. and Kapoor, H.C.**, 2006. Antioxidant activity in some red sweet pepper cultivars, *Journal of Food Composition and Analysis*, **19** (6-7), 572-578.
- Deman, J.M.**, 1999. Principles of Food Chemistry, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Dhamankar, V.S., Chavan, S.M. and Jadhav, S.J.**, 1988. Protein extraction from sugar cane press mud, *International Sugar Journal*, **90** (1074), 107-109.
- Dragovic-Uzelac, V., Delonga, K., Levaj, B., Djakovic, S. and Pospisil, J.**, 2005. Phenolic profiles of raw apricots, pumpkins, and their purees in the evaluation of apricot nectar and jam authenticity, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **53**, 4836-4842.
- El-Adawy, T.A. and Taha, K.M.**, 2001. Characteristics and composition of watermelon, pumpkin, and paprika seed oils and flours, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **49**, 1253-1259.
- El-Adawy, T.A., Rahma, E.H., El-Bedaway, A.A. and Gafar, A.F.**, 2001. Nutritional potential and functional properties of sweet and bitter lupin seed protein isolates, *Food Chemistry*, **74**, 455-462.
- Elizalde B.E., Bartholomai, G.B. and Pilosof, A.M.R.**, 1996. The effect of pH on the relationship between hydrophilic/lipophilic characteristics and emulsification properties of soy proteins, *LWT-Food Science and Technology*, **29**, 334-339.
- FAO**, 2008. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Databases. <http://faostat.fao.org> (Erişim tarihi: Ocak 2008).
- Fernandez-Quintela, A., Macarulla, M.T., Barrio, A.S. and Martinez, J.A.**, 1997. Composition and functional properties of protein isolates obtained from commercial legumes grown in Northern Spain, *Plant Foods for Human Nutrition*, **51**, 331-342.
- Foster, K.D., Bronlund, J.E. and Paterson, A.H.J.**, 2005. The prediction of moisture sorption isotherms for dairy powders, *International Dairy Journal*, **15**, 411-418.
- Fredrikson, M., Biot, P., Alminger, M.L., Carlsson, N.G. and Sandberg, A.S.** 2001. Production process for high-quality pea-protein isolate with low content of oligosaccharides and phytate, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **50**, 1208-1212.
- Fuhrmeister, H. and Meuser, F.**, 2003. Impact of processing on functional properties of protein products from wrinkled peas, *Journal of Food Engineering*, **56**, 119-129.
- Gabriele, D., Migliori, M., Sanzo, R.D., Rossi, C.O., Ruffolo, S.A. and Cindido, B.D.**, 2008. Characterisation of dairy emulsions by NMR and rheological techniques, *Food Hydrocolloids*, doi:10.1016/j.foodhyd.2008.05.002.

- Gaman, P.M. and Sherrington, K.B.,** 1996. The Science of Food, Butterworth Heinemann, Oxford.
- Garau, M.C., Simal, S., Rosello, C. and Femenia, A.,** 2007. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. *Canoneta*) by-products, *Food Chemistry*, **104**, 1014-1024.
- Garcia-Perez, J.V., Carcel, J.A., Clemente, G. and Mulet, A.,** 2008. Water sorption isotherms for lemon peel at different temperatures and isosteric heats, *LWT-Food Science and Technology*, **41**, 18-25.
- Ge, Y., Sun, A., Ni, Y. and Cai, T.,** 2000. Some nutritional and functional properties of defatted wheat germ protein, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **48**, 6215-6218.
- George, B., Kaur, C., Khurdiya, D.S. and Kapoor, H.C.,** 2004. Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype, *Food Chemistry*, **84**, 45-51.
- Ghoush, M.A., Samhouri, M., Al-Holy, M. and Herald, T.,** 2008. Formulation and fuzzy modeling of emulsion stability and viscosity of a gum-protein emulsifier in a model mayonnaise system, *Journal of Food Engineering*, **84**, 348-357.
- Giamperi, L., Fraternali, D., Bucchini, A. and Ricci, D.,** 2004. Antioxidant activity of Citrus paradisi seeds glyceric extract, *Fitoterapia*, **75 (2)**, 221-224.
- Giannelos, P.N., Sxizas, S., Lois, E., Zannikos, F. and Anastopoulos, G.,** 2005. Physical, chemical and fuel related properties of tomato seed oil for evaluating its direct use in diesel engines, *Industrial Crops and Products*, **22**, 193-199.
- Gonzalez-Perez, S., Merck, K.B., Vereikjen, J.M., Koningsveld, G., Gruppen, H. and Voragen, A.G.J.,** 2002. Isolation and characterization of undenatured chlorogenic acid free sunflower (*Helianthus annuus*) proteins, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **50 (6)**, 1713-1719.
- Greenspan, L.,** 1977. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions, *Journal of Research of the National Bureau of Standards-A. Physics and Chemistry*, **81A**, 89-96.
- Guerrero, L.C., Perez-Flores, V., Betancur-Ancona, D. and Davilla-Ortiz, G.,** 2002. Functional properties of flours and protein isolates from *Phaseolus lunatus* and *Canavalia ensiformis* seeds, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **50**, 584-591.
- Guilmineau, F. and Kulozik, U.,** 2007. Influence of a thermal treatment on the functionality of hens egg yolk in mayonnaise, *Journal of Food Engineering*, **78**, 648-654.

- Gupta, S., Chandi, G.K. and Sogi, D.S.**, 2008. Effect of extraction temperature on functional properties of rice bran protein concentrates, *International Journal of Food Engineering*, **4**, 1-18.
- Hall, G.M.**, 1996. Basic concepts, in *Methods of Testing Protein Functionality*, pp. 11-55, Eds. Hall, G.M., Blackie Academic&Professional, London.
- Hayati, I.N., Che Man, Y.B., Tan, C.P. and Aini, I.N.**, 2007. Stability and rheology of concentrated o/w emulsions based on soybean oil/palm kernel olein blends, *Food Research International*, **40**, 1051-1061.
- Hui, Y.H.**, 1992. Encyclopedia of Food Science and Technology, Volume 3, pp. 2185-2187, John Wiley&Sons Inc., New York.
- Idouraine, A., Yensen, S.B. and Weber, C.W.**, 1991. Tepary bean flour, albumin and globulin fractions functional properties compared with soy protein isolate, *Journal of Food Science*, **56 (5)**, 1316-1318.
- Inyang, U.E. and Iduh, A.O.**, 1996. Influence of pH and salt concentration on protein solubility, emulsifying and foaming properties of sesame protein concentrate, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **71 (12)**, 1663-1667.
- Inyang, U.E. and Nwadiukpa, C.U.**, 1992. Functional properties of dehulled sesame (*Sesamum indicum* L.) seed flour, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **69 (8)**, 819-822.
- Izidoro, D.R., Scheer, A.P., Haminiuk, C.I.W. and Sierakowski, M.R.**, 2008. Influence of green banana pulp on the rheological behaviour, and chemical characteristics of emulsions (mayonnaises), *LWT-Food Science and Technology*, **41**, 1018-1028.
- İbanoğlu, E. and Karataş, Ş.**, 2001. High pressure effect on foaming behaviour of whey protein isolate, *Journal of Food Engineering*, **47**, 31-36.
- Jamali A., Kouhila M., Ait Mohamed L., Jaouhari J.T., Idlimam A. and Abdenouri N.**, 2006. Sorption isotherms of *Chenopodium ambrosioides* leaves at three temperatures, *Journal of Food Engineering*, **72**, 77-84.
- Jayaprakasha, G. K., Singh, R. P. and Sakariah, K.K.**, 2001. Antioxidant activity of grape seed (*Vitis vinifera*) extracts on peroxidation models in vitro, *Food Chemistry*, **73 (3)**, 285-290.
- Jovanovich, G., Puppo, M., Giner, S. and Anon, M.**, 2003. Water uptake by dehydrated soy protein isolates. Comparison of equilibrium vapour sorption and water imbibing methods, *Journal of Food Engineering*, **56**, 331-338.
- Kappel, V.D., Costa, G.M., Scola, G., Silva, F.A., Landell, M.F., Valente, P., Souza, D.G., Vanz, D.C., Reginatto, F.H. and Moreira, J.C.F.**, 2008. Phenolic content and antioxidant and antimicrobial properties of fruits of *Capsicum baccatum* L. var. pendulum at different maturity stages, *Journal of Medicinal Food*, **11**, 267-274.

- Kaymak-Ertekin, F. and Gedik, A.**, 2004. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. *LWT-Food Science and Technology*, **37**, 429–438.
- Kaymak-Ertekin, F. and Sultanoğlu, M.**, 2001. Moisture sorption isotherm characteristics of peppers, *Journal of Food Engineering*, **47**, 225-231.
- Khalil, M.M.**, 1998. Factors affecting production of melon seed kernel protein: Yield, composition and protein isolates quality, *Nahrung*, **42**, 295-297.
- Khalil, M.M.**, 2001. Biochemical and technological studies on the production of the isolated guar protein, *Nahrung*, **45**, 21-24.
- Kim, N., Kim, Y.J. and Nam, Y.J.**, 1992. Characteristics and functional properties of protein isolates from various peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivars, *Journal of Food Science*, **57** (2), 406-410.
- Klockeman, D.M., Toledo, R. and Sims, K.A.**, 1997. Isolation and characterization of defatted canola meal protein, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, **45**, 3867-3870.
- Koningsveld, G.A., Gruppen, H., De Johgh, H.H.J., Wijngaarda, G., Van Boekel, M.A.J.S., Walstra, P. and Voragen, A.G.J.** (2002). Effects of ethanol on structure and solubility of potato proteins and the effects of its presence during the preparation of a protein isolate, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **50**, 2947-2956.
- Krause, J.P., Schultz, M. and Dudek, S.**, 2002. Effect of extraction conditions on composition, surface activity and rheological properties of protein isolates from flaxseed (*Linum usitatissimum* L.), *Journal of The Science of Food and Agriculture*, **82**, 970-976.
- Ku, C.S. and Mun, S.P.**, 2008. Antioxidant activities of ethanol extracts from seeds in fresh Bokbunja (*Rubus coreanus* Miq.) and wine processing waste, *Bioresource Technology*, **99**, 4503-4509.
- Kumaran, A. and Karunakaran, R.J.**, 2006. Antioxidant and free radical scavenging activity of an aqueous extract of *Coleus aromaticus*, *Food Chemistry*, **97**, 109–114.
- Kwon, K.S., Park, K.H. and Rhee, K.C.**, 1996. Aqueous extraction and membrane techniques improve coconut protein concentrate functionality, *Journal of Food Science*, **61** (4), 753-756.
- Labuza, T. P.**, 1975. Oxidative changes in foods at low and intermediate moisture levels, in *Water Relations of Foods*, pp. 445-474, Eds. Duckworth, R. B., Academic Press, London.
- Labuza, T. P.**, 1984. Application of chemical kinetics to deterioration of foods. *Journal of Chemical Education*, **61**, 348–358.

- Lahsasni, S., Kouhila, M. and Mahrouz, M.,** 2004. Adsorption-desorption isotherms and heat of sorption of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*), *Energy Conversion and Management*, **45**, 249-261.
- Lee, C.P. and Yen, G.C.,** 2006. Antioxidant activity and bioactive compounds of tea seed (*Camellia oleifera Abel.*) oil, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **54**, 779-784.
- Lee, J.H. and Lee, M.J.,** 2008. Effects of drying method on the moisture sorption isotherms for *Inonotus obliquus* mushroom, *LWT-Food Science and Technology*, **41**, 1478-1484.
- Lee, Y., Howard, L.R. and Villalon, B.,** 2006. Flavonoids and antioxidant activity of fresh pepper (*Capsicum annuum*) cultivars, *Journal of Food Science*, **60 (3)**, 473-476.
- Lenucci, M.S., Cadinu, D., Taurino, M., Piro, G. and Dalessandro, G.,** 2006. Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **54**, 2606-2613.
- Liadakis, G.N., Tzia, C., Oreopoulou, V. and Thomopoulos, C.D.,** 1995. Protein isolation from tomato seed meal extraction optimization, *Journal of Food Science*, **60 (3)**, 477-482.
- Liadakis, G.N., Tzia, C., Oreopoulou, V. and Thomopoulos, C.D.,** 1998. Isolation of tomato seed meal proteins with salt solutions, *Journal of Food Science*, **63 (3)**, 450-453.
- Li-Chan, E.C.Y.,** 2004. Properties of proteins in food systems: an introduction, in *Proteins in Food Processing*, pp. 2-22, Eds. Yada, R.Y., Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, England.
- Linares, E., Larre, C. and Popineau, Y.,** 2001. Freeze- or spray-dried gluten hydrolysates 1. biochemical and emulsifying properties as a function of drying Process, *Journal of Food Engineering*, **48**, 127-135.
- Liu, H., Xu, X.M., and Guo, S.D.,** 2007. Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics, *LWT-Food Science and Technology*, **40**, 946-954.
- Logaraj, T.V., Bhattacharya, S., Sankar, K.U. and Venkateswaran, G.,** 2008. Rheological behavior of emulsions of avocado and watermelon oils during storage, *Food Chemistry*, **106**, 937-943.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randal, R.J.,** 1951. Protein analysis with folin-phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, **193**, 265-275.
- Lqari, H., Pedroche, V.J. and Millan, F.,** 2002. *Lupinus angustifolius* protein isolates, chemical composition, functional properties and protein characterization, *Food Chemistry*, **76**, 349-356.

- Ma, L. and Barbosa-Canovas, G.V.**, 1995. Rheological characterization of mayonnaise, Part II: Flow and viscoelastic properties at different oil and xanthan gum concentrations, *Journal of Food Engineering*, **25**, 409–425.
- Mahajan, A. and Dua, S.**, 1994. Comparison of processing treatments on the composition and functional properties of rapeseed preparations (*Brassica campestris* L. var. *toria*), *Nahrung*, **38** (6), 578-587.
- Makrides, M., Hawkes, J.S., Neumann, M.A. and Gibson, R.A.**, 2002. Nutritional effect of including egg yolk in the weaning diet of breast-fed and formula-fed infants: a randomized controlled trial, *The American Journal of Clinical Nutrition*, **75**, 1084–1092.
- Malabat, C., Sanchez-Vioque, R., Rabiller, C. and Gueguen, J.**, 2001. Emulsifying and foaming properties of native and chemically modified peptides from the 2S and 12S proteins of rapeseed (*Brassica napus* L.), *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **78** (3), 235-241.
- Marin, F.R., Soler-Rivas, C., Benavente-Garci, O., Castillo, J. and Perez-Alvarez, P.**, 2007. By-products from different citrus processes as a source of customized functional fibres, *Food Chemistry*, **100**, 736-741.
- Massoura, E., Vereijken, J.M., Kolster, P., Derksen, J.T.P.**, 1998. Proteins from *Crambe abyssinica* Oilseed II: Biochemical and functional properties, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **75**(3), 329-335.
- Matsumura, Y. and Mori, T.**, 1996. Gelation, in *Methods of Testing Protein Functionality*, pp. 76-110, Eds. Hall, G.M., Blackie Academic&Professional, London.
- Medeiros, M.L., Ayrosa, A.M.I.B., Pitombo, R.N.D.M. and Lannes, S.C.D.S.**, 2006. Sorption isotherms of cocoa and cupuassu products. *Journal of Food Engineering*, **73**, 402-406.
- Menkov, N.D.**, 2000. Moisture sorption isotherms of chickpea seeds at several temperatures, *Journal of Food Engineering*, **45**, 189-194.
- Mizubuti, I.Y., Junior, O.B., Souza, L.W.O., Silva, R.S.S.F. and Ida, E.I.**, 2000. Response surface methodology for extraction optimization of pigeon pea protein, *Food Chemistry*, **70**, 259-265.
- Moco, S., Bino, R.J., Vorst, O., Verhoeven, H.A., de Groot, J., van Beek, T.A., Vervoort, J. and De Vos, C.H.R.**, 2006. A liquid chromatography-mass spectrometry-based metabolome database for tomato, *Plant Physiology*, **141**, 1205-1218.
- Mollea, C., Chiampo, F. and Conti, R.**, 2008. Extraction of pectins from cocoa husks: A preliminary study. *Food Chemistry*, **107**, 1353-1356.
- Montealegre, R.R., Peces, R.R., Vozmediano, J.L.C., Gascuen, J.M. and Romero, E.G.**, 2006. Phenolic compounds in skins and seeds of ten grape

Vitis vinifera varieties grown in a warm climate, *Journal of Food Composition and Analysis*, **19**, 687-693.

- Monteiro, P.V. and Prakash, V.**, 1994. Functional properties of homogenous protein fractions from peanut (*Arachis hypogaea* L.), *Journal of Agricultural Food Chemistry*, **42**, 274-278.
- Moure, A., Rua, M., Sinerio, J. and Dominguez, H.**, 2002. Aqueous extraction and membrane isolation of protein from defatted *Guevina avellana*, *Journal of Food Science*, **67** (2), 688-696.
- Mwasaru, M.A., Muhammed, K., Bakar, J. and Man, Y.B.C.**, 1999. Effects of isolation technique and conditions on the extractability, physicochemical and functional properties of pigeonpea (*Cajanus cajan*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) protein isolates II functional properties, *Food Chemistry*, **67**, 445-452.
- Mwasaru, M.A., Muhammed, K., Bakar, J. and Man, Y.B.C.**, 2000. Influence of altered solvent environment on the functionality of pigeonpea (*Cajanus cajan*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) protein isolates, *Food Chemistry*, **71**, 157-165.
- Myers, D.J., Hojilla-Evangelista, M.P. and Johnson, L.A.**, 1994. Functional properties of protein extracted from flaked, defatted, whole corn by ethanol/alkali during sequential extraction processing, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **71** (11), 1201-1204.
- Nakai, S., Li-Chen, E.C.Y. and Dou, J.**, 2006. Experimental design and response surface methodology, in *Handbook of Food and Bioprocess Modeling Techniques*, 1, pp. 293-323, Eds. Sablani, S., Datta, A., Rahman, M.S., Mujumdar, A., CRC Press, Boca Raton.
- Navarro, J.M., Flores, P., Garrido, C. and Martinez, V.**, 2006. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity, *Food Chemistry*, **96**, 1, 66-73.
- Neto, V.Q, Narain, N., Silva, J.B. and Bora, P.S.**, 2001. Functional properties of raw and heat processed cashew nut (*Anacardium occidentale* L.) kernel protein isolates, *Nahrung*, **45** (4), 258-262.
- Nourhene, B., Neila, B., Mohammed, K. and Nabil, K.**, 2007. Sorption isotherms and isosteric heats of sorption of olive leaves (*Chemlali* variety): Experimental and mathematical investigations, *Food and Bioproducts Processing*, **75**, 145-151.
- Ogara, M.C.L., Layno, M.D., Pilosof, A.M. and Macchi, R.A.**, 1992. Functional properties of soy protein isolates as affected by heat treatment during isoelectric precipitation, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **69** (2), 184-187.

- Onimawo, I.A., Nmerole, E.C., Idoko, P.I. and Akubor, P.I.,** 2003. Effects of fermentation on nutrient content and some functional properties of pumpkin seed (*Telfair occidentalis*), *Plant Foods for Human Nutrition*, **58**, 1–9.
- Oomah, B.D., Mazza, G. and Cui, W.,** 1994. Optimization of protein extraction from flaxseed meal, *Food Research International.*, **27**, 355-361.
- Oomah, B.D., Ladet, S., Godfrey, D.V., Liang, J. and Girard, B.,** 2000. Characteristics of raspberry (*Rubus idaeus* L.) seed oil, *Food Chemistry*, **69**, 187-193.
- Ordenez, C., Asenjo, M.G., Benitez, C. and Gonzalez, J.L.,** 2001. Obtaining a protein concentrate from integral defatted sunflower flour, *Bioresource Technology*, **78 (2)**, 187-190.
- Ortega-Nieblas, M., Molina-Freaner, F., Robles-Burgueneo, M.R. and Vahzquez-Moreno, L.,** 2001. Proximate composition, protein quality and oil composition in seeds of columnar cacti from the sonoran desert, *Journal of Food Composition and Analysis*, **14**, 575-584.
- Pagano, A. M., and Mascheroni, R. H.,** 2005. Sorption isotherms for amaranth grains, *Journal of Food Engineering*, **67 (4)**, 441–450.
- Parris, N., Dickey, L.C., Powell, M.J., Coffin, D.R., Moreau, R.A. and Craig, J.C.** 2002. Effect of endogenous triacylglycerol hydrolysates on the mechanical properties of zein films from ground corn, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **50**, 3306-3308.
- Parry, J., Su, L., Moore, J., Cheng, Z., Luther, M., Rao, J.N., Wang, J.Y. and Yu, L.L.,** 2006. Chemical composition, antioxidant capacities, and antiproliferative activities of selected fruit seed flours, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **54**, 3773-3778.
- Pericin, D., Krimer, V., Trivic, S. and Radulovic, L.,** 2008. The distribution of phenolic acids in pumpkin's hull-less seed, skin, oil cake meal, dehulled kernel and hull, *Food Chemistry*, doi:10.1016/j.foodchem.2008.07.079.
- Pomeranz, Y. and Meloan, C.E.,** 1997. *Food Analysis: Theory and Practice*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Quanhang, L. and Caili, F.,** 2005. Application of response surface methodology for extraction of germinant pumpkin seeds protein, *Food Chemistry*, **92**, 701-706.
- Rahma, E.H., Dudek, S., Mothes, R., Görnitz, E. and Schwenke, K.D.,** 2000. Physicochemical characterisation of mung bean (*Phaseolus aureus*) protein isolates, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **80**, 477-483.
- Rai, S., Wahile, A., Mukherjee, K., Saha, B.P. and Mukherjee, P.K.,** 2006. Antioxidant activity of *Nelumbo nucifera* (sacred lotus) seeds, *Journal of Ethnopharmacology*, **104**, 322–327.

- Ralet, M.C. and Gueguen, J.**, 2001. Foaming properties of potato raw proteins and isolated fractions, *LWT-Food Science and Technology*, **34**, 266-269.
- Rizvi, S.S.H.**, 1986. Thermodynamics properties of foods in dehydration, in *Engineering Properties of Foods*, pp. 133-214, Eds. Rao, M.A, Rizvi, S.S.H., Marcel Dekker Inc., New York.
- Roldan, E., Sanchez-Moreno, C., Ancos, B. and Cano, M.P.**, 2008. Characterisation of onion (*Allium cepa L.*) by-products as food ingredients with antioxidant and antibrowning properties, *Food Chemistry*, **108**, 907-916.
- Romero-Baranzini, A.L., Yanez-Farias, G.A. and Barron-Hoyos, J.M.**, 1995. A high protein product from chickpeas (*Cicer arietinum L.*) by ultrafiltration, preparation and functional properties, *Journal of Food Processing and Preservation*, **19**, 319-329.
- Rustom, I.Y.S., López-Leiva, M.H. and Nair, B.M.**, 1991. Optimization of extraction of peanut proteins with water by response surface methodology. *Journal of Food Science*, **56 (6)**, 1660-1663.
- Rustom, I.Y.S., Lopez-Leiva, M.H. and Nair, B.M.**, 1993. Extraction of peanut solids with water-effect of the process and enzymatic hydrolysis, *LWT-Food Science and Technology*, **26**, 72-75.
- Sahlin, E., Savage, G.P. and Lister, C.E.**, 2004. Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing, *Journal of Food Composition and Analysis*, **17**, 635–647.
- Samapundo, S., Devlieghere F., De Meulenaer, B., Atukwase, A., Lamboni Y. and Debevere, J.M.**, 2007. Sorption isotherms and isosteric heats of sorption of whole yellow dent corn, *Journal of Food Engineering*, **79**, 168–175.
- Sanchez-Vioque, R., Clemente, A., Vioque, J., Bautista, J. and Millan, F.**, 1999. Protein isolates from chickpea (*Cicer arietinum L.*), chemical composition, functional properties and protein characterization, *Food Chemistry*, **64**, 237-243.
- Santiago, L.G., Gonzalez, R.J., Remondetto, G.E. and Bonaldo, A.G.**, 1998. Emulsifying ability of proteins evaluated by response surface methodology, *LWT-Food Science and Technology*, **31**, 259-264.
- Sathe, S. K., Desphande, S. S. and Salunkhe, D. K.**, 1982. Functional properties of lupin protein concentrates, *Journal of Food Science*, **47**, 491-497.
- Sathivel, S., Betchel, P.J., Babbitt, J.K., Prinyawiwatkul, W. and Patterson, M.** 2005. Functional, nutritional, and rheological properties of protein powders from arrowtooth flounder and their application in mayonnaise, *Journal of Food Science*, **70**, 57-63.

- Schinas, P., Karavalakis, G., Davaris, C., Anastopoulos, G., Karonis, D., Zannikos, F., Stournas, S. and Lois, E.,** 2008. Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seed oil as an alternative feedstock for the production of biodiesel in Greece, *Biomass and Bioenergy*, doi:10.1016/j.biombioe.2008.04.008
- Seybold, C., Frohlich, K., Bitsch, R., Otto, K. and Bohm, V.,** 2004. Changes in contents of carotenoids and vitamin E during tomato processing, *Journal of Agricultural Food Chemistry*, **52**, 7005-7010.
- Sherestha, M.K., Peri, I., Smirnoff, P., Birky, Y. and Golan-Goldhirsh, A.,** 2002. Jojoba seed meal proteins associated with proteolytic and protease inhibitory activities, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **50**, 5670-5675.
- Sikorski, Z.E.,** 2002. Food components and their role in food quality, in *Chemical and Functional Properties of Food Components*, pp. 1-11, Eds. Sikorski, Z.E., CRC Press, New York.
- Sim, K.H. and Han, Y.S.,** 2007. The antimutagenic and antioxidant effects of red pepper seed and red pepper pericarp (*Capsicum annuum* L.), *Journal of Food Science and Nutrition*, **12**, 273-278.
- Simirgiotis, M.J., Theoduloz, C., Caligari, P.D.S. and Schmeda-Hirschmann, G.,** 2008. Comparison of phenolic composition and antioxidant properties of two native, *Food Chemistry*, doi:10.1016/j.foodchem.2008.07.043.
- Singh, R.P., Chidambara Murthy, K.N. and Jayapeekasha, G.K.,** 2002. Studies on the antioxidant activity of pomegranate (*Punica granatum*) peel and seed extracts using in vitro models, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **50**, 1, 81-86.
- Singh, U. and Singh, B.,** 1991. Functional properties of sorghum-peanut composite flour, *Cereal Chemistry*, **68 (5)**, 460-463.
- Singh, U.P., Suman, A., Sharma, M., Singh, J.N., Singh, A. and Maurya, S.,** 2008. HPLC analysis of the phenolic profiles in different parts of chilli (*Capsicum annum*) and okra (*Abelmoschus esculentus* L.) moench. *The Internet Journal of Alternative Medicine*, **5 (2)**, 1-5.
- Singleton, V.L. and Rossi, J.A.,** 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents, *American Journal of Enology and Viticulture*, **16**, 144.
- Sinija, V.R. and Mishra, H.N.,** 2008. Moisture sorption isotherms and heat of sorption of instant (soluble) green tea powder and green tea granules, *Journal of Food Engineering*, **86**, 494-500.
- Sogi, D.S., Garg, S.K. and Bawa, A.S.,** 2002. Functional properties of seed meals and protein concentrates from tomato-processing waste, *Journal of Food Science*, **67 (8)**, 2997-3001.

- Sogi, D.S., Shivhare, U.S., Garg, S.K. and Bawa, A.S.,** 2003. Water sorption isotherm and drying characteristics of tomato seeds, *Biosystems Engineering*, **84**, 297–301.
- Spigno, G. and Favari, D.M.D.,** 2007. Antioxidants from grape stalks and marc: Influence of extraction procedure on yield, purity and antioxidant power of the extracts, *Journal of Food Engineering*, **78**, 793-801.
- Sripad, G. and Rao, M.S.,** 1987. Effect of methods to remove polyphenols from sunflower meal on the physicochemical properties of the proteins, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **35**, 962-967.
- Steffe, J.F.,** 1996. Rheological Methods in Food Process Engineering, Freeman Press, East Lansing, MI, USA.
- Stern, P., Valentova, H. and Pokorny, J.,** 2001. Rheological properties and sensory texture of mayonnaise, *European Journal of Lipid Science and Technology*, **103**, 23–28.
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., Ibanoglu, E. and Ibanoglu, S.,** 2008. Cauliflower by-products as new source of dietary fibre antioxidants and proteins in cereal based ready-to-eat expanded snacks, *Journal of Food Engineering*, **87**, 554-563.
- Sudha, M.L., Baskaran, V. and Leelavathi, K.,** 2007. Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making, *Food Chemistry*, **104**, 686-692.
- Sze-Tao, K.W.C. and Sathe, S.K.,** 2000. Walnuts (*Juglans regia* L.), Proximate composition, protein solubility, protein amino acid composition and protein in vitro digestibility, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **80** (9), 1393-1401.
- Tarigan, E., Prateepchaikul, G., Yamsaengsung, R., Sirichote, A. and Tekasakul, P.,** 2006. Sorption isotherms of shelled and unshelled kernels of candle nuts, *Journal of Food Engineering*, **75**, 447-452.
- Tsami, E.,** 1991. Net isosteric heat of sorption in dried fruits, *Journal of Food Engineering*, **14**, 327–335.
- Van den Berg, C. and Bruin, S.,** 1981. Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects, in *Water Activity: Influence on Food Quality*, pp. 1-61, Eds. Rockland, L.B. and Steward, G.F., Academic Pres, London.
- Vazquez, G., Chenlo, F. And Moreira, R.,** 2003. Sorption isotherms of lupine at different temperatures, *Journal of Food Engineering*, **60**, 449-452.
- Vekiari, S.A., Gordon, M.H., Garcia-Macias, P. and Labrinea, H.,** 2008. Extraction and determination of ellagic acid content in chestnut bark and fruit, *Analytical Methods*, **110**, 1007-1011.

- Vioque, J., Sanchez-Vioque, R., Clemente, A., Pedroche, J. and Millan, F.,** 2000. Partially hydrolyzed rapeseed protein isolates with improved functional properties, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **77 (4)**, 447-450.
- Viswanathan, R., Jayas, D.S. and Hulasare, R.B.,** 2003. Sorption isotherm of tomato slices and onion shreds, *Biosystems Engineering*, **86**, 465-472.
- Vojdani, F.,** 1996. Solubility, in *Methods of Testing Protein Functionality*, pp. 11-55, Eds. Hall, G.M., Blackie Academic&Professional, London.
- Wang, M., Hettiarachchy, N.S., Qi, M., Burks, W. and Siebenmorgen, T.,** 1999. Preparation and functional properties of rice bran protein isolate, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **47**, 411-416.
- Wang, C. and Johnson, L.A.,** 2001. Functional properties of hydrothermally cooked soy protein products, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **78 (2)**, 189-195.
- Wang, S.Y., Chen, C.T. and Wang, C.Y.,** 2009. The influence of light and maturity on fruit quality and flavonoid content of red raspberries, *Food Chemistry*, **112**, 676-684.
- Wani, A.A., Sogi, D.S., Grover, L. and Saxena, D.C.,** 2006. Effect of temperature, alkali concentration, mixing time and meal/solvent ratio on the extraction of watermelon seed proteins-a response surface approach, *Biosystems Engineering*, **94**, 67-73.
- Wardlaw, G.M. and Hampl, J.,** 2006. Perspective in nutrition, McGraw Hill, New Zealand.
- Wasche, A., Müller, K. and Knauf, U.,** 2001. New processing of lupin protein isolates and functional properties, *Nahrung*, **45 (6)**, 393-395.
- Worrasinchai, S., Suphantharika, M., Pinjai, S. and Jammong, P.,** 2006. β -Glucan prepared from spent brewer's yeast as a fat replacer in mayonnaise, *Food Hydrocolloids*, **20**, 68-78.
- Xiang, L., Xing, D., Lei, F., Wang, W., Xu, L., Nie, L. and Du, L.,** 2008. Effects of season, variety, and processing method on ellagic acid content in pomegranate leaves, *Tsinghua Science & Technology*, **13**, 460-465.
- Xu, L. and Diosady, L.L.,** 1994. Functional properties of Chinese rapeseed protein isolates, *Journal of Food Science*, **59 (5)**, 1127-1130.
- Yan, Z., Sousa-Gallagher, M.J. and Oliveira, F.A.R.,** 2008. Sorption isotherms and moisture hysteresis of intermediate moisture content banana, *Journal of Food Engineering*, **86**, 342-348.
- Zaghloul, M. and Prakash, V.,** 2002. Effect of succinylation on the functional and physicochemical properties of α -globulin, the major protein fraction from *Sesamum indicum* L., *Nahrung*, **46 (5)**, 364-369.

- Zayes, S.F.**, 1997. *Functionality of Proteins in Food*, Springer, New York.
- Zheng, G.H., Sosulski, F.W. and Tyler, R.T.**, 1998. Wet-milling, composition and functional properties of starch and protein isolated from buckwheat groats, *Food Research International*, **30 (7)**, 493-502.
- Zorba, O., Özdemir, S. and Gökalp, H.Y.**, 1998. Stability of model emulsions prepared using whey and muscle proteins, *Nahrung*, **42**, 16-18.

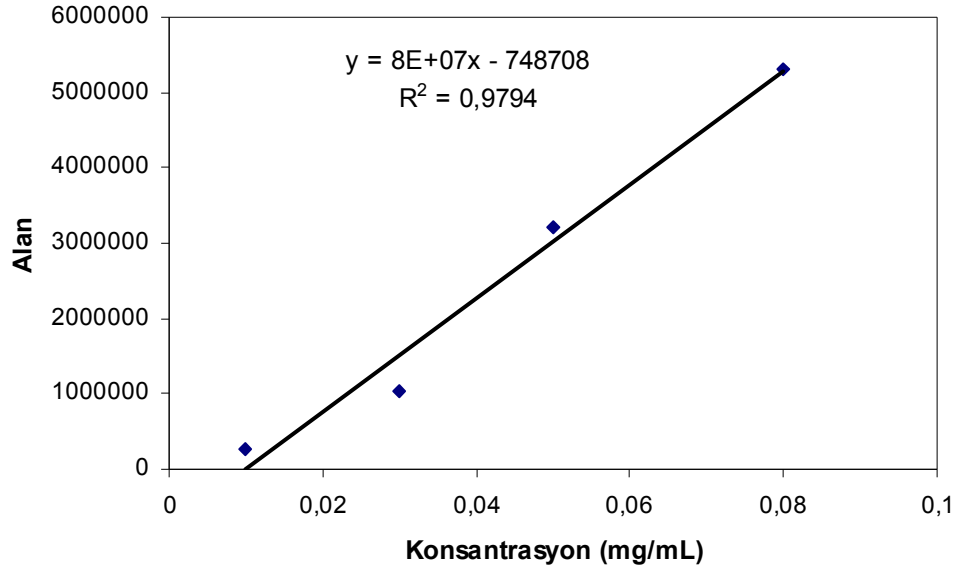
EKLER

EK - A

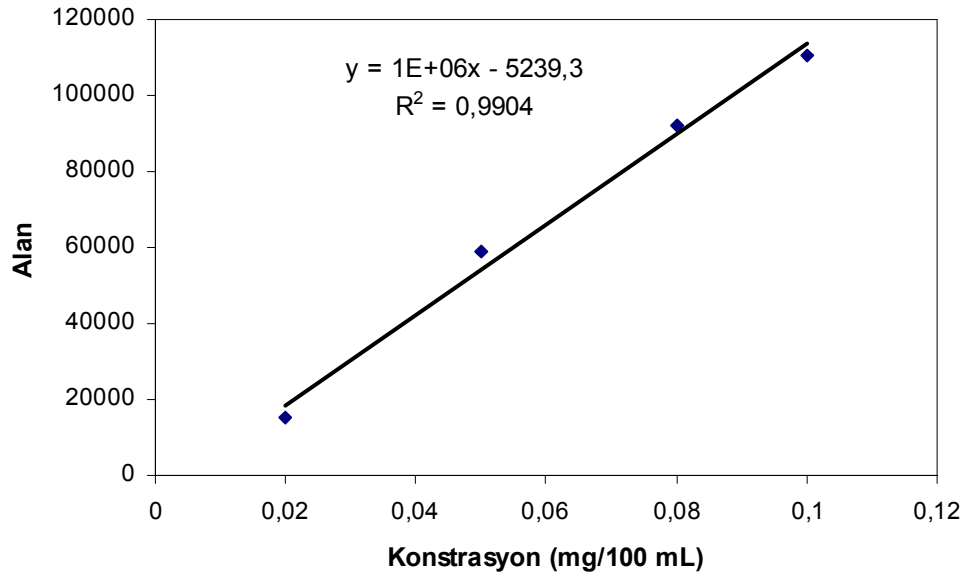
Tablo A.1: Merkezi kompozit tasarımı

Sıra	Kodlanmış Değişkenler				Kodlanmamış Değişkenler			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄
1	-1	-1	-1	-1	35	7,5	30	15:1
2	1	-1	-1	-1	45	7,5	30	15:1
3	-1	1	-1	-1	35	8,5	30	15:1
4	1	1	-1	-1	45	8,5	30	15:1
5	-1	-1	1	-1	35	7,5	50	15:1
6	1	-1	1	-1	45	7,5	50	15:1
7	-1	1	1	-1	35	8,5	50	15:1
8	1	1	1	-1	45	8,5	50	15:1
9	-1	-1	-1	1	35	7,5	30	25:1
10	1	-1	-1	1	45	7,5	30	25:1
11	-1	1	-1	1	35	8,5	30	25:1
12	1	1	-1	1	45	8,5	30	25:1
13	-1	-1	1	1	35	7,5	50	25:1
14	1	-1	1	1	45	7,5	50	25:1
15	-1	1	1	1	35	8,5	50	25:1
16	1	1	1	1	45	8,5	50	25:1
17	-2	0	0	0	30	8,0	40	20:1
18	2	0	0	0	50	8,0	40	20:1
19	0	-2	0	0	40	7,0	40	20:1
20	0	2	0	0	40	9,0	40	20:1
21	0	0	-2	0	40	8,0	20	20:1
22	0	0	2	0	40	8,0	60	20:1
23	0	0	0	-2	40	8,0	40	10:1
24	0	0	0	2	40	8,0	40	30:1
25	0	0	0	0	40	8,0	40	20:1
26	0	0	0	0	40	8,0	40	20:1
27	0	0	0	0	40	8,0	40	20:1
28	0	0	0	0	40	8,0	40	20:1
29	0	0	0	0	40	8,0	40	20:1

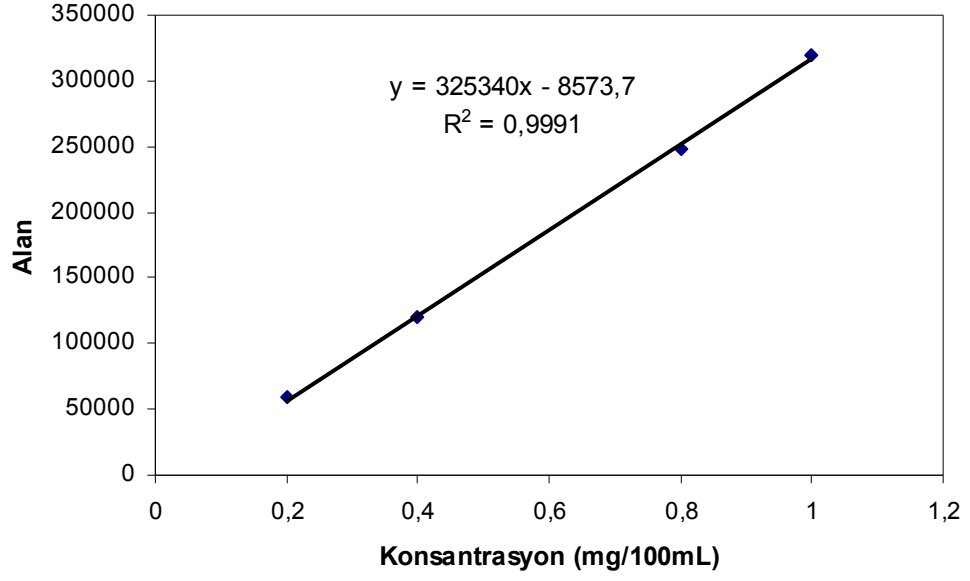
EK – B



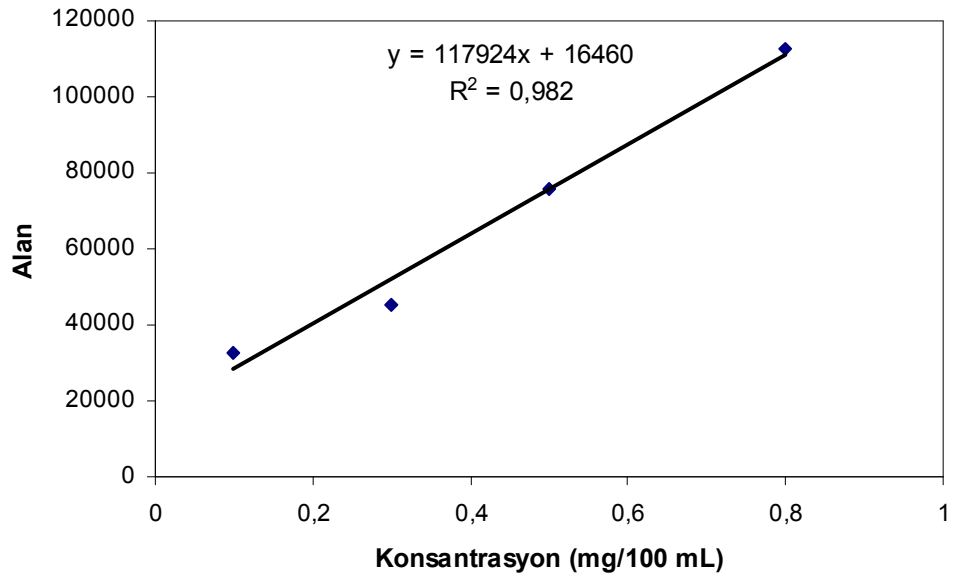
Şekil B.1: Elajik asit için kalibrasyon eğrisi



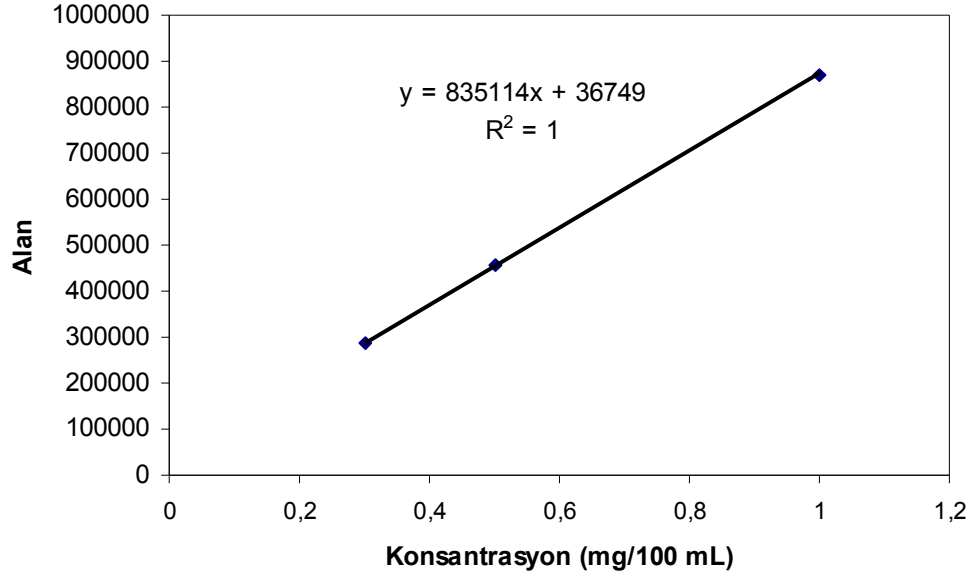
Şekil B.2: Gallik asit için kalibrasyon eğrisi



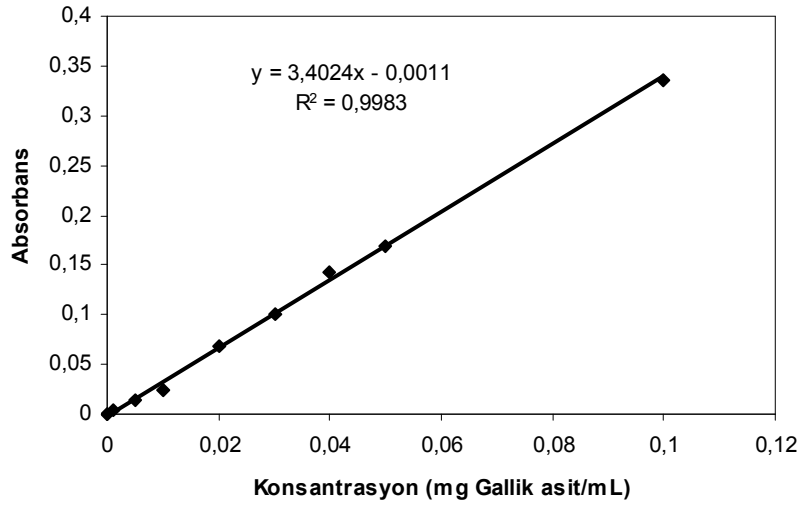
Şekil B.3: 3,4 hidroksi benzoik asit için kalibrasyon eğrisi



Şekil B.4: Epikateşin için kalibrasyon eğrisi



Şekil B.5: Ferülik asit için kalibrasyon eğrisi



Şekil B.6: Gallik asit kalibrasyon eğrisi.

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında İstanbul'da doğdu. 1993'de Özel Şişli Terakki Lisesi'nden mezun oldu. 1997 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini, 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Programı'nda yüksek lisans eğitimini tamamladı. 1997 yılından itibaren İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Food Engineering Unit Operations I (GID 331E), Gıda Mühendisliği Temel İşlemler II (GID 322), Gıda Mühendisliği Laboratuvarı (GID 332), Kütle Aktarımı (GID 351), Isı Aktarımı (GID 341), Termodinamik (GID 212) derslerinde görev almaktadır. Avrupa Birliği Long Life Learning Programme/ ERASMUS Öğrenci Değişim Programı kapsamında 15 Ekim 2007- 24 Nisan 2008 tarihleri arasında Institute of Chemical Technology-Prag, Karbonhidrat Kimyası ve Teknolojisi Bölümü'nde araştırmacı olarak bulunmuştur. "Novel Processes and Control Technologies in the Food Industry" Yaz Okulu'na (NATO-ASI) katılmıştır. Gıda Mühendisliği Bölümü Akreditasyon ve Kalite Komisyonu ve Alt Yapı Geliştirme Komisyonu Üye Yardımcılığı görevlerinde bulunmuştur. Halen Gıda Mühendisliği Bölümü Emniyet ve Atık Yönetimi Komisyonu'nda Üye Yardımcısı olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk annesidir.