T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NOHUT BİLEŞENLERİNİN KARAKTERİZASYONU

DİLAY FİŞEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: PROF. DR. ZEYNEP KATNAŞ

EDİRNE-2021

DİLAY FİŞEK' in hazırladığı "NOHUT BİLEŞENLERİNİN KARAKTERİZASYONU" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Gıda Mühendisliği Anabilim Dalında bir Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvan, Ad, Soyad): İmza

Prof. Dr. Zeynep KATNAŞ ……

Doç. Dr. İlkay ŞENSOY ……

Doç. Dr. Sami BULUT ……

Tez Savunma Tarihi: 05/02/2021

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Prof. Dr. Zeynep KATNAŞ
Tez Danışmanı ……

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

……

Doç. Dr. H.R.Ferhat KARABULUT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

05 / 02 / 2021

DİLAY FİŞEK

Yüksek Lisans Tezi
Nohut Bileşenlerinin Karakterizasyonu
Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, glütensiz beslenme unsurlarından biri olan nohuta unlu mamuller endüstrisinde kullanım alanları açmak amacıyla, nohut unu ve bileşenlerinin seçilen teknolojik, fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve bu özelliklerin unlu mamuller endüstrisinin temel taşı olan buğday ununun özellikleriyle karşılaştırılmasıdır. Unlu mamuller üretiminin ilk basamağını oluşturan kaliteli bir hamurun elde edilmesi aşamasındaki en önemli unsur, protein ile nişastanın fizikokimyasal etkileşimleri sonucu elde edilen su ve gaz tutma kapasitesi yüksek, elastik yapıdır. Tahıllar, özellikle buğday, mısır ve pirinç için bu etkileşimler büyük ölçüde incelenmiş olmakla birlikte nohut ile protein ve nişasta bileşenlerinin fizikokimyasal ve teknolojik özellikleri tahıllarda olduğu kadar açık değildir. Bu nedenle bu çalışmada, hamur oluşumunu belirleyen teknolojik özellikler (su tutma kapasitesi, yağ tutma kapasitesi, şişme kuvveti, çözünürlük) ile fizikokimyasal özellikler (sorpsiyon izotermleri, termal özellikler) hedef alınmıştır. Bileşen etkileşimlerini irdelemek amacıyla, nohut ununa ek olarak, nohut unundan ayrıştırılan lipit içeren ve lipitten arındırılmış nişasta ve protein örneklerinin de seçilen özellikleri belirlenmiştir. Araştırmalar; nohut unu, nohut unundan ayrıştırılmış nişasta ve protein bileşenleri ile lipitten arındırılmış nohut unu, nişastası ve proteini olmak üzere altı örnek grubuyla yapılmıştır.

Nohut ununun mineral içeriği sert ve yumuşak buğday türlerinin yaklaşık 2-3 katı, lipit içeriği açısından 5-7 katı, protein içeriği açısından 1,5-2,0 katıdır. Nohut unu bileşenlerinin su ve yağ tutma davranış biçimlerinin birbirlerinden farklı olduğu ve nohut nişastasının buğday nişastasına denk düzeyde su tutma kapasitesine sahip olduğu

bulunmuştur. Lipit bileşeninin, nohut unu ve bileşenlerinin su tutma ve yağ tutma kapasiteleri ile şişme kuvvetini etkilediği, ancak çözünürlük değerlerini etkilemediği belirlenmiştir.

Nohut unu ve bileşenlerinin 35 °C sıcaklıkta elde edilen sorpsiyon izotermlerinin sigmoid şekilli Tip II izotermine uyduğu gözlenmiştir. Nohut nişastasının higroskopik özellikleri nedeniyle nohut ununun sorpsiyon davranış biçimini etkileyen baskın bileşen olduğu bulunmuştur. Sorpsiyon verilerinin modellenmesi sonucunda, nohut unu ve nohut proteininin GAB modeline; lipitten arındırılmış nohut unu, nohut nişastası, lipitten arındırılmış nohut nişastası ve lipitten arındırılmış nohut proteinin Halsey modeline uyduğu görülmüştür. Lipit bileşeninin sorpsiyon davranış biçimini etkileyen önemli bir unsur olduğu ortaya çıkmıştır.

Nohut ve bileşenlerinin termal özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ile incelenmiştir. Nohut nişastasına ait jelatinizasyon pik sıcaklığının 67-78 °C arasında olduğu belirlenmiştir. Ön çalışma niteliğinde olan termal analiz gözlemleri, amiloz-lipit ve protein-lipit etkileşimlerinin irdelenmesi ve C-tipi nohut nişastasının jelatinizasyon özelliklerinin % 70 ve üstünde nem içeriklerinde belirlenebilmesi için 65-80 °C ve 85-100 °C aralıklarının detaylı incelemesinin yapılması gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Bu amaçla, sabit sıcaklıkta dengeleme, tavlama ve sıcaklık artma/azalma hızlarının yavaşlatılması önerilmiştir.

Elde edilen sonuçlar nohutun unlu mamuller endüstrisinde kullanılabilmesi için yalnızca lipit bileşeninden arındırılmasının yeterli olmayacağını, protein bileşeninin de hidrofilik gruplar açısından geliştirilmesi için kimyasal/enzimatik uyarlamalar gerektiğini göstermektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda nohut proteininde bulunan hidrofilik grupların miktar ve yerleşimlerinin ağ yapı oluşturmaya uygun olup olmadığı ve bu konuda yapılabilecek fiziksel ve kimyasal/enzimatik uyarlamaların nitelikleri araştırılmalıdır.

Yıl : 2021

Sayfa Sayısı : 108

Anahtar Kelimeler : Nohut Unu, Nohut Nişastası, Nohut Proteini, Teknolojik Özellikler, Sorpsiyon İzotermi, Termal Özellikler

MSc Thesis
Characterization of Chickpea Components
Trakya University Institute of Natural Sciences
Department of Food Engineering

ABSTRACT

The aim of the present study is to investigate the potential of chickpea flour as the basic ingredient of industrial bakeries and pasta industry to replace hard and soft wheat flour so as to provide a gluten-free diet. The primary step in production of bakery goods and pasta is to obtain an elastic dough with high water and gas holding capacities, that is closely related with the physicochemical interactions between protein and starch fractions in the presence of water. Technological properties that influence formation of an elastic dough are the water holding and oil binding capacities, swelling power and solubility that are futher affected by water sorption characterisics and thermal properties. Interaction mechanisms between starch and protein have been investigated in detail for wheat, corn and rice, while this information lacks for legumes, and especially chickpea flour. In the present study, selected properties of not only chickpea flour, but also of its isolated starch and protein fractions, together with lipid-free chickpea flour and its lipid-free fractions were investigated to clarify the influence of each of these components.

The mineral, lipid and protein contents of chickpea flour were found to be 2-3 times, 5-7 times, and 1,5-2,0 times higher than hard and soft wheat flours, respectively. The water holding and oil binding mechanisms of the starch and protein fractions were found to be different, and the starch fraction was found to have a water holding capacity comparable to that of wheat starches. Lipid content of chickpeas influenced the water holding, oil binding capacites and swelling power of the chickpea flour and its fractions, with no effect on solubility.

Sorption isotherms obtained at 35 °C were found to obey the Type II sigmoidal behavior. The starch fraction is dominant in determining the sorption characteristics of chickpea flour due to its hygroscopic nature. The sorption isotherms of chickpea flour and its protein fraction were best fit to the GAB moisture sorption model, while all the lipid-free samples were best fit to the Halsey model indicating that lipid is a major component that influences the water sorption mechanism.

Thermal properties of chickpea flour and its fractions were investigated using differential scanning calorimetry (DSC). The starch gelatinization peak was found to lie in between 67-78 °C. Preliminary thermograms revealed that primary phase transitions are expected to occur in between 65-80 °C and 85-100 °C temperature intervals. Detailed thermograms that involve equlibrium at constant temperature, annealing and a slow rate of temperature increase are needed to reveal the gelatinization behavior of Type-C starch for moisture contents above 70 %, and to reveal phase transitions of amylose-lipid and protein-lipid complexes.

It has been concluded that the lipid fraction of chickpea flour influences selected technological and physicochemical properties of chickpea flour. However, removing the lipid fraction is not enough to increase the potential of chickpea flour as the basic raw material of industrial bakeries and pasta manufacture, the protein fraction also needs to be improved in terms of hydrophilic groups through chemical and/or enzymatic modifications.

Year : 2021

Number of Pages : 108

Keywords : Chickpea Flour, Chickpea Starch, Chickpea Protein, Technological Properties, Sorption Isotherm, Thermal Properties

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde ve tez çalışmamın tüm aşamalarında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Zeynep KATNAŞ'a,

Tez çalışma süresince önerileri ve teknik desteğinden dolayı değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ufuk BAĞCI' ya,

Tez çalışma süresince yardımları ve destekleri ile her zaman yanımda olan değerli hocam Arş. Gör. Dr. Emel YILMAZ'a,

2019/83 No'lu proje kapsamında sağladıkları maddi destekten dolayı Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (TÜBAP)'ne,

Teknik altyapısı ile DSC ile termal analizlerinin yapımına olanak sağlayan Trakya Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi (TÜTAGEM)'ne,

Her zaman sevgilerini hissettiğim ve her koşulda beni destekleyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**
ABSTRACT ..... **vi**
TEŞEKKÜR ..... **viii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **xiv**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xvi**
BÖLÜM 1 ..... **1**
GİRİŞ **1**
BÖLÜM 2 ..... **6**
UNLU MAMULLER ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN UN VE BİLEŞENLERİNİN TEMEL ÖZELLİKLERİ **6**
2.1. Unun Elde Edilmesi ve Depolanması 6
2.2. Unun Hamura İşlenmesi 8
2.3. Unun Teknolojik Özellikleri 9
2.3.1. Su Tutma Kapasitesi ve Şişme Kuvveti 9
2.3.2. Çözünürlük 11
2.3.3. Yağ Tutma Kapasitesi 11
2.4. Protein Bileşeninin Teknolojideki Önemi 12
2.5. Nişasta Bileşeninin Teknolojideki Önemi 15
2.6. Unun Fizikokimyasal Özellikleri 19
2.6.1. Sorpsiyon Özellikleri 19
2.6.2. Termal Özellikler 27
BÖLÜM 3 ..... **30**

MATERYAL VE YÖNTEM **30**
3.1. Materyal 30
3.1.1. Hammadde 30
3.1.2. Kimyasallar 30
3.2. Yöntem 31
3.2.1. Nohutun Bileşenlerine Ayrılması 31
3.2.1.1. Nişasta İzolasyonu 31
3.2.1.2. Protein İzolasyonu 33
3.2.1.3. Nohut Unu ve Bileşenlerinden Lipitlerin Uzaklaştırılması 34
3.2.2. Nohut ve Bileşenlerinin Kimyasal Kompozisyon ve Karakterizasyon Analizleri 35
3.2.2.1. Kimyasal Analizler 35
3.2.3. Nohut ve Bileşenlerinin Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi 35
3.2.3.1. Çözünürlük, Şişme Kuvveti ve Su Tutma Kapasitesi 35
3.2.3.2. Yağ Tutma Kapasitesi 38
3.2.3.3. Bulamaç Berraklığı 40
3.2.4. Fizikokimyasal Özelliklerin Belirlenmesi 40
3.2.4.1. Sorpsiyon İzotermlerinin Belirlenmesi 40
3.2.4.2. Termal Özelliklerin Belirlenmesi 42
3.2.5. İstatistiksel Değerlendirme 42
BÖLÜM 4 ..... **44**
BULGULAR VE TARTIŞMA **44**
4.1. Nohut Unu ve Bileşenlerinin Kimyasal Bileşimleri 44
4.1.1. Nohut Ununun Kimyasal Bileşimi 44
4.1.2. Nohut Ununun Bileşenlerine Ayrıştırılması 47
4.1.2.1. Nohut Nişastasının Ayrıştırılması 47
4.1.2.2. Nohut Nişastasının Kimyasal Bileşimi 48
4.1.2.3. Nohut Proteinin Ayrıştırılması 48
4.1.2.4. Nohut Proteininin Kimyasal Bileşimi 49
4.2. Nohut ve Bileşenlerinin Teknolojik Özellikleri 52
4.2.1. Hamur Kalitesini Etkileyen Teknolojik Özellikler 52
4.3. Nohut ve Bileşenlerinin Fizikokimyasal Özellikleri 62

4.3.1. Sorpsiyon Özellikleri 62
4.3.1.1. Sorpsiyon İzotermleri 62
4.3.1.2. Sorpsiyon İzotermlerinin Modellenmesi 66
4.3.2. Nohut ve Bileşenlerinin Termal Özellikleri 71
BÖLÜM 5 ..... **76**
SONUÇ VE ÖNERİLER **76**
KAYNAKLAR **78**
ÖZGEÇMİŞ **92**

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

a_w	Su Aktivitesi Değeri
$BaCl_2$	Baryum Klorür
CH_3COOK	Potasyum Asetat
DMSO	Dimetil sülfoksit
I_2	İyot
KCl	Potasyum klorür
KI	Potasyum İyodür
K_2CO_3	Potasyum Karbonat
LiCl	Lityum Klorür
$Mg(NO_3)_2$	Magnezyum nitrat
NaOH	Sodyum hidroksit
NaCl	Sodyum Klorür
ΔH	Entalpi değeri
T_o	Pik başlangıç sıcaklığı
T_p	Pik tepe sıcaklığı
T_e	Pik bitiş sıcaklığı

Kısaltmalar

AACC	Uluslararası Amerikan Hububat Kimyacıları Birliği
BET	Brunauer–Emmett–Teller
DK	Değişkenlik katsayısı
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
GAB	Guggenheim-Anderson-de Boer
LDL	Low density lipoprotein
M	Denge nem içeriği
M_0	Tekli tabaka nem içeriği
TCA	Trikloroasetik Asit
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Buğdaydan un eldesi 7
Şekil 2.2. (a) glukoz birimi (b) amiloz (c) amilopektin 15
Şekil 2.3. Jelatinizasyon sırasında nişastanın mikro yapısının ve faz geçişinin şematik gösterimi 18
Şekil 2.4. Sorpsiyon izotermleri 19
Şekil 2.5. Su aktivitesinin gıda stabilitesine etkisi 20
Şekil 2.6. Sorpsiyon izotermlerinin tipleri 21
Şekil 2.7. Tip II sorpsiyon izotermi (S tipi) 23
Şekil 3.1. Nohut unundan elde edilen nohut nişastası 31
Şekil 3.2. Nohut nişasta izolasyonu akış şeması 32
Şekil 3.3. Protein eldesi akış şeması 33
Şekil 3.4. Nohut unundan elde edilen nohut proteini 34
Şekil 3.5. Soxhlet yöntemiyle özütleme 34
Şekil 3.6. Nohut nişastası amiloz/amilopektin oranı akış diyagramı 36
Şekil 3.7. Nohut nişastası çözünürlük ve şişme kuvveti akış diyagramı 37
Şekil 3.8. Nohut nişastası su tutma kapasitesi akış diyagramı 37
Şekil 3.9. Nohut proteinlerinin su tutma kapasitesi ve çözünürlük akış diyagramı 38
Şekil 3.10. Nohut nişastasının yağ tutma kapasitesi akış diyagramı 39
Şekil 3.11. Nohut proteini yağ tutma kapasitesi akış diyagramı 39
Şekil 3.12. Nohut nişastası bulamaç berraklığı akış diyagramı 40
Şekil 3.13. Sorpsiyon izotermi için kullanılan kaplar 41

Şekil 3.14. DSC cihazı 42

Şekil 4.1. Nohut unu (bu çalışma), yumuşak buğday unu ve sert buğday unu kimyasal özellikleri..... 51

Şekil 4.2. Nohut (bu çalışma), yumuşak buğday, sert buğday ve bileşenlerine ait su tutma kapasiteleri 60

Şekil 4.3. Nohut (bu çalışma), yumuşak buğday, sert buğday ve bileşenlerine ait yağ tutma kapasiteleri 60

Şekil 4.4. Nohut (bu çalışma), yumuşak buğday, sert buğday ve nişasta bileşenlerine ait şişme kuvveti değerleri 61

Şekil 4.5. Nohut (bu çalışma), yumuşak buğday, sert buğday ve bileşenlerine ait çözünürlük değerleri..... 61

Şekil 4.6. Nohut ve bileşenlerinin sorpsiyon izotermleri (× Nohut unu; ▲ Nohut nişastası; ● Nohut proteini; + Mikrokristalin selüloz; ♦ Lipitten arındırılmış nohut unu; ■ Lipitten arındırılmış nohut nişastası; ▲ Lipitten arındırılmış nohut proteini). 64

Şekil 4.7. Nohut unu ve bileşenlerinin uygun modeller ile modellenen sorpsiyon izotermleri ve ölçülen sorpsiyon izotermi kıyaslaması: (a) Halsey modeli: ♦ NU-L (Lipitten arındırılmış nohut unu); ▲ NN (Nohut nişastası); + NN-L (Lipitten arındırılmış nohut nişastası); ● NP-L (Lipitten arındırılmış nohut proteini) (b) GAB modeli: ♦ NU (Nohut unu); ▲ NP (Nohut proteini)..... 70

Şekil 4.8. 71 g/100 g nem içeriğine sahip nohut nişastası jelatinizasyon termogramı ... 72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Türkiye hububat ve baklagil ürünleri üretim miktarı 2

Çizelge 1.2. Dünya nohut üretimi (bin ton) 3

Çizelge 1.3. Nohutun genel kompozisyon değerleri 4

Çizelge 2.1. Unlu mamuller endüstrisinde kullanılan bazı bitkilerin doğal nişasta granülünün özellikleri 16

Çizelge 2.2. Sorpsiyon izotermi matematiksel modelleri 24

Çizelge 3.1. 35°C' de doygun tuz çözeltileri su aktivite değerleri 41

Çizelge 4.1. Nohut ve bileşenleri kimyasal içerikleri 46

Çizelge 4.2. Nohut ve bileşenlerinin teknolojik özellikleri 53

Çizelge 4.3. Nohut ve bileşenlerinin 35 °C' de sorpsiyon modelleri 69

Çizelge 4.4. Nohut ve bileşenlerinin DSC parametreleri 73

Çizelge 4.5. Nohut ve buğday için literatürde yayınlanmış termal analiz sonuçları 74

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Beslenme alışkanlıklarının her geçen gün değişmesine karşın tahıl ve tahıl ürünleri dünya nüfusunun beslenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Ancak buğday, çavdar, arpa gibi tahıllar ve işlenmiş tahıl ürünleri sindirim sisteminde tahılların protein bileşeni olan glütenden kaynaklanan tepkilere neden olur ve bağırsakta emilimin zorlaşmasına bağlı olarak intoleranslar oluşur. Tahıl proteinlerine karşı kalıcı intolerans olarak gelişen ince bağırsak hastalığı çölyaka ek olarak, Tip I diyabet, obeziteye bağlı insülin intoleransı ve Tip II diyabet hastalarının da tahıl ürünleri ve glütenden uzak durmaları gerekir (Pontieri vd., 2013; Saadah, Zacharin, O'callaghan, Oliver & Catto-Smith, 2004). Ayrıca otizmin, nörolojik hastalıkların, dermatolojik hastalıkların, romatizmal artrit hastalıkların ve çölyak dışında kalan sindirim bozukluklarının tedavisi gibi birçok durumda da glütensiz beslenmeye talep giderek artmaktadır (Elder vd., 2006; Hadjivassiliou vd., 2006; Humbert, Pelletier, Dreno, Puzenat & Aubin, 2006; Saadah vd., 2004).

Son yıllarda tüm dünyada yaygın olan glütensiz beslenme esaslarına uygun ürünlerin üretimi önem kazanmıştır. Glütensiz ürünlerin formülasyonlarında pirinç (de la Hera, Martinezv & Gómez, 2013; Sanchez, Osella & De La Torre, 2002), karabuğday (Schoenlechner, Drausinger, Ottenschlaeger, Jurackova & Berghofer, 2010; Wronkowska, Haros & Soral-Smietana), kinoa (Schoenlechner vd., 2010), mısır (Ferreira vd., 2016), nohut (Flores-Silva vd, 2015; Han, Janz & Gerlat, 2010; Padalino vd., 2015; Zhao, Manthey, Chang, Hou & Yuan, 2005) dahil baklagiller kullanılabilir. Glütensiz beslenme yanında, tip I ve II diyabet hastaları ve insülin direncine sahip

bireylerin mısır ve pirinç de tüketmemeleri gerektiği göz önüne alındığında unlu mamuller endüstrisinin baklagiller, karabuğday ve kinoa gibi hammaddeleri kullanma potansiyeli ortaya çıkmıştır.

Çizelge 1.1. Türkiye hububat ve baklagil ürünleri üretim miktarı (TÜİK, 2020).

Ürün		**Üretim Miktarı (Bin Ton)**				
		2015	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Buğday	*Tr. Durum*	4.100	3.620	3.900	3.500	3.150
	Diğer	18.500	16.980	17.600	16.500	15.850
Mısır		6.400	6.400	5.900	5.700	6.000
Pirinç		920	920	900	940	1.000
Nohut		460	455	470	630	630
Fasulye (Kuru)		235	235	239	220	225
Mercimek (Toplam)		360	365	430	353	354

Fasulye, mercimek, nohut gibi yemeklik tane baklagiller binlerce yıldır beslenmenin temel unsurlarından olmuşlardır. Çeşitleri bakımından bölgesel ürünler olmakla birlikte dünyada baklagillerin tarımı tahılların hemen arkasından ikinci sırada yer almaktadır (de Almeida Costa, da Silva Queiroz-Monici, Reis & de Oliveira, 2006; Duranti, 2006; Vijayakumari, Pugalenthi & Vadivel, 2007). Türkiye'de glütensiz ürün formülasyonlarında kullanılabilecek tahıllar arasında en çok yetiştirilen mısır, baklagiller arasında en fazla yetiştirilen nohuttur (Çizelge 1.1). Nohut dünyada da üretim miktarı yüksek baklagillerden biridir. Ülkeler bazında nohut üretimi incelendiğinde 2018 yılında Hindistan 11.380 bin ton üretimi ile ilk sırada yer alırken Türkiye 630 bin üretim ile 3. sırada yer almaktadır (Çizelge 1.2).

Nohut (*Cicer arietinum* L.); *Legaminosae* familyasına ait, Asya kökenli bir baklagil ürünüdür (Miñarro Vivas, 2013). Nohut; ortalama %21 protein, %60 toplam karbonhidrat, %5,9 lipit ve %7 ham liften oluşur. Nohutta toplam nişasta oranı %32-57 arasında, nohut nişastasının amiloz içeriği ise yaklaşık %20-46 arasındadır (Çizelge 1.3). Nohut mineraller açısından zengindir (Çizelge 1.3). Lisin, lösin ve arjinin

içeriklerine bakıldığında (Çizelge 1.3) günlük beslenmede gerekli olan esansiyel amino asitleri karşılayabildiği görülmektedir (Miñarro Vivas, 2013).

Çizelge 1.2. Dünya nohut üretimi (bin ton) (FAOSTAT, 2020).

Ülkeler	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
Hindistan	9.530	7.332	7.058	9.075	11.380
Avustralya	629	555	875	2.004	998
Türkiye	**450**	**460**	**455**	**470**	**630**
Myanmar	571	572	559	527	510
Pakistan	399	379	286	330	323
Etiyopya	459	521	444	474	516
Rusya	320	110	320	419	620
Diğer	1.255	1.292	1.264	1.423	2.215
Dünya	**13.613**	**11.221**	**11.261**	**14.722**	**17.192**

Nohut çözünür ve çözünmez lif kaynağıdır (Çizelge 1.3). Besinsel liflerin, gıdaların bağırsaktan geçiş süresini azalttığı, kilo kaybını hızlandırdığı, toplam ve LDL kolesterolünü düşürdüğü ve kandaki şeker seviyesini dengede tuttuğu bilindiğinden sağlık üzerine olumlu etkileri vardır (Bosaeus, 2004; Howarth, Saltzman & Roberts, 2001). Ayrıca diyet liflerinin, çözünürlük, su ve yağ tutma, şişme, jel oluşturma, emülsiyon oluşturma gibi farklı teknolojik özelliklere sahip olduğu ve bu sebeple son ürün kalitesini etkilediği de bilinmektedir (Elleuch vd., 2011).

Buğday nişastası ile buğday proteini olan glüten arasında ağ yapının optimum oluşum koşulları ve bu yapının buhar kaçışı sonucu oluşması beklenen gözenekli yapının, son ürünün tekstürüne katkıları literatürde geniş bir biçimde yer almıştır (Delcour & Hoseney, 2010; Feillet, 1988; Kieffer & Stein, 1999; Pomeranz, 1987). Ancak amaç glütensiz beslenme olduğunda glüten dışındaki proteinlerle nişastalar arasındaki etkileşim detaylı biçimde irdelenmemiş olduğu için glütensiz beslenmeye yönelik ürünlerin standardizasyonunda ciddi sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 1.3. Nohutun genel kompozisyon değerleri (Ghribi, Maklouf, Blecker, Attia & Besbes, 2015a; Khan, Alam, Ali, Bibi & Khalil, 2007; Yadav, Redden, Chen & Sharma, 2007).

		En düşük	**En yüksek**
Kimyasal Analiz (%)	Karbonhidrat	50,64	70,9
	Protein	12,6	30,57
	Yağ	2,9	8,83
	Kül miktarı	2,04	4,2
	Ham lif	1,17	13
	Nişasta	32	57,2
	Amiloz	20	46,5
Besinsel Lif (%)	Çözünmez Lif	0,00	13,9
	Çözünür Lif	5,5	8,9
Mineral Madde (mg/100g)	Kalsiyum	40	269
	Demir	3	14,3
	Magnezyum	10	239
	Potasyum	220	1333
	Sodyum	1,0	101
Esansiyel amino asit miktarları (g/16 g N)	Histidin	1,4	5,71
	İzolosin	2,15	6,03
	Lisin	4,85	9,62
	Lösin	3,12	9,95
	Metiyonin	0,61	3,63
	Fenilalanin	2,76	8,41
	Treonin	1,18	5,58
	Triptofan	0,31	2,36
	Valin	2,03	6,22
	Arjinin	5,1	13,2
Yağ asitleri (%)	Doymuş yağ asitleri	5	29
	Tekli doymamış yağ asitleri	19	29
	Çoklu doymamış yağ asitleri	62	67

Unlu mamuller üretiminin ilk basamağını oluşturan kaliteli bir hamurun elde edilmesi aşamasındaki en önemli unsurun protein ile nişastanın fizikokimyasal etkileşimleri sonucu elde edilen elastik yapı olduğu bilinmektedir. Yurdumuzda tarımsal üretimin öncülerinden olan baklagillerden yüksek besin değerine sahip nohutun, unlu

mamuller endüstrisinde alternatif hammadde olarak değerlendirilmesi için önem taşıyan fizikokimyasal ve teknolojik özelliklerinin bilinmesi gerekir.

Bu çalışmanın amacı glütensiz beslemede nohutun buğday yerine kullanım olanaklarını incelemektir. Bu ana amaç çerçevesinde nohut, temel bileşenleri olan nişasta ve proteine ayrıştırıldıktan sonra bu bileşenlerin fizikokimyasal (sorpsiyon izotermi, termal özellikleri) ve teknolojik özellikleri (su tutma kapasitesi, yağ tutma kapasitesi, şişme kuvveti ve çözünürlük) belirlenmiş, buğday bileşenlerinin eşdeğer özellikleriyle karşılaştırılmıştır. Nohut ve buğday bileşenlerinin özelliklerindeki benzerliklerin ve/veya farklılıkların glütensiz ürünlerin elde edilmesinde hangi sonuçlara yol açabileceği ve iyi bilinen buğday işleme teknolojisinde ne tür uyarlamalar yapılması gerektiği irdelenmiştir. Buğdaya göre fazla miktarda lipit içeren nohuttaki lipit bileşeninin, nişasta ve protein bileşenleriyle süreçleme sırasındaki kimyasal etkileşiminin bu bileşenlerin fizikokimyasal özelliklerine olumlu ve/veya olumsuz katkıları incelenmiştir. Bu araştırmanın sonucunda temel bilginin irdelenmesi ve buğdayın eşdeğer özellikleriyle karşılaştırılması ile nohutun, gıda endüstrisindeki kullanım alanlarının genişletilmesi sağlanacak ve nohuttan katma değeri yüksek gıda ürünlerinin elde edilmesi için gereken teknolojik uyarlamaların önünün açılmasına katkı sağlanacaktır.

BÖLÜM 2

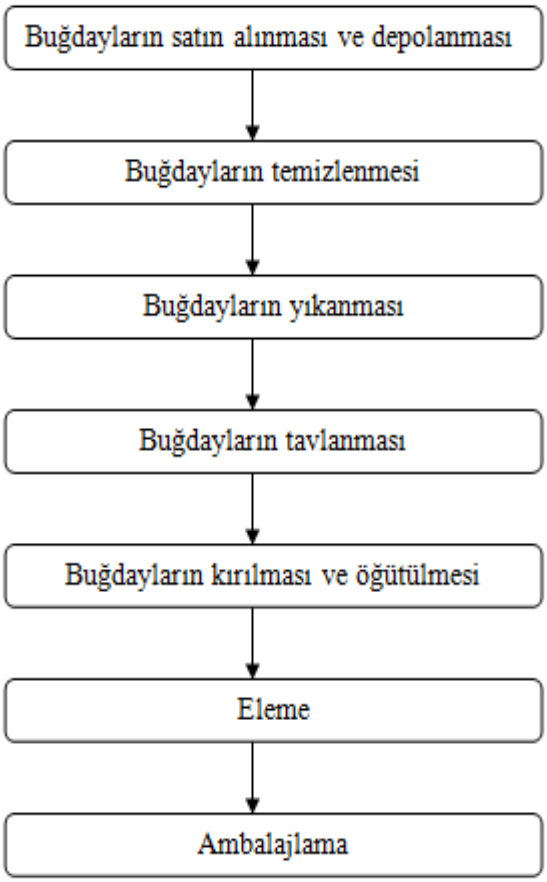
UNLU MAMULLER ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN UN VE BİLEŞENLERİNİN TEMEL ÖZELLİKLERİ

Unlu mamuller endüstrisinde geleneksel un olarak kullanılan buğday unu, ekmek ve makarna başta olmak üzere, bisküvi, kuskus, erişte, kahvaltılık gevrekler, çerez gıdalar, nişasta gibi birçok gıdanın yapımında hammadde olarak kullanılır (Yüksel, Koyuncu & Sayaslan, 2011). Buğday tanelerinin öğütülmesi ile elde edilen unlar kullanım amacına göre (ekmeklik, makarnalık, bisküvilik vb.) farklı kaliteye sahiptir. Buğdaylar yapılarına göre sert ve yumuşak buğdaylar olmak üzere iki çeşittir (Finnie & Atwell, 2016). Buğdayın sertlik veya yumuşaklık değeri genetik yapısına ve endospermdeki nişasta ve protein bağlarının kuvvetine bağlıdır (Pasha, Anjum & Morris, 2010). Buğdayın sertlik değeri unun hangi üründe kullanılacağının belirlenmesi açısından önemlidir. Sert buğday unları protein miktarları daha yüksek olduğundan ekmek ve makarna üretiminde; yumuşak buğday unları ise daha düşük protein içeriğine sahip olduğu için bisküvi ve kek yapımında tercih edilir (Pasha vd., 2010). Ayrıca ekmek ve makarna üretiminde kullanılan sert buğdaylar, nişasta zedelenmesinin yüksek olması ve yüksek su özümleme kapasitesi nedeniyle bisküvi endüstrisinde kullanılmaz (Pasha vd., 2010; Ünal, 1991).

2.1. Unun Elde Edilmesi ve Depolanması

Satın alınan buğdayların, sert ve yumuşak olmak üzere ayrıldıktan sonra belirli süreçlerin uygulanması ile un elde edilir (Şekil 2.1). Su ile yıkanan sert buğdaylar 12-18

saat %15,5-16,5 nem içeriğine, yumuşak buğdaylar ise 6-10 saat %13,5-15 nem değerine kadar tavlanır (Finnie & Atwell, 2016). Buğday kırma ve öğütme valslerinden geçirilerek istenilen incelikte un elde edilir (Bilişli, 2012).



Şekil 2.1. Buğdaydan un eldesi.

Unlu mamuller endüstrisinde hammaddeden unun elde edilmesi ilk aşamadır. Un, genel anlamıyla inceltilmiş katı madde olarak tanımlandığı için un/unumsu yarı mamul gıda maddeleri yalnızca buğdaydan değil diğer tahıllar, baklagiller ve baharatlardan da elde edilebilir. Kurt Gökhisar (2018) çalışmasında, mercimek makarnası üretimi için mercimeği öğütücü yardımıyla öğüterek mercimek ununa işlemiştir. Hosta (2012), glütensiz pirinç eriştesi üretimi için pirinç ve bezelye örneklerini değirmende öğüterek hazırlamıştır. Demir (2008) nohut ununu, çiğ ve pişmiş nohut kullanarak örneklerin %20 nem içeriğine gelmesini sağlayıp değirmende öğüterek hazırlamıştır.

2.2. Unun Hamura İşlenmesi

Unlu mamullerin ilk üretim aşaması üretilecek gıdaya uygun hamurun elde edilmesidir. Unlu mamuller endüstrisinde hamur oluşumunu sağlayan temel bileşen sudur. Una veya irmiğe su verilerek belirli oranlarda (ekmek için yaklaşık %40, makarnada yaklaşık %30, bisküvide yaklaşık %4-5) nem miktarına sahip hamur elde etmek için karıştırma işlemi uygulanır (Bilişli, 2012). Bu aşamada üretilecek ürüne göre isteğe bağlı olarak yumurta gibi yardımcı bileşenler de eklenebilir. Hamura emülgatörlerin eklenmesi, gaz tutma yeteneği, uzama yeteneği, su absorplama kapasitesi, hamurun işlenmesi ve dinlenme süresi gibi özelliklerini geliştirir (Stampfli & Nersten, 1995). Un ve suyun homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırma işlemi olan yoğurma aşaması unlu mamuller üretiminde önemli basamaklardan birisidir ve sonucunda hem katı hem sıvı maddenin özelliklerini taşıyan hamur elde edilir. Su, hamura akıcılık özelliği kazandırırken, hamurun bünyesinde bulunan proteinler elastikiyetini, nişasta şekil alma özelliğini sağlamaktadır. Suda çözünen bileşenlerin çözünmesi ve nişasta ve lif gibi çözünmeyenlerin hidratasyonu, glütenin viskoelastik yapıyı sağlaması, hamura havanın entegrasyonu ile kabarmayı sağlayacak gaz hücrelerinin oluşumu yoğurma aşamasında gerçekleşir (Arendt & Dal Bello, 2008; Cauvain, 2007). Yoğurma süresince nişasta granülleri glüten matrisi içerisine gömülürler ve güçlü elektrostatik kuvvetler nedeniyle birbirlerine sıkı şekilde bağlanırlar. Nişasta granüllerinin yüzey karakteristikleri nişasta-protein etkileşimlerini etkiler. Nişasta, glüten ile kuvvetli bir birleşim için uygun bir yüzey sağlar, glütenden su çekerek glüten ağının kararlı bir yapı kazanmasına ve sertleşmesine yardımcı olur (Çelebi, 2015; D'Appolonia & Rayas-Duarte, 1994; Pyler, 1988).

Glüten içermeyen unlardan elde edilen hamurda ağ yapı gelişmediği için sıvıya ait viskoelastik özellikler belirginleşir ve hamurun elastikiyet özelliği istenen düzeye ulaşamaz. Aynı nedenle, glüten içermeyen unlardan elde edilen hamurların gaz tutma kapasiteleri de düşüktür. Glütensiz unlu mamuller üretiminde hamur oluşumunu sağlayan özelliklerin zayıf olması nedeniyle buğdaydan farklı olarak kullanılan una ve/veya unun suyla karıştırılmasından elde edilen hamura yapı kazandırma amacıyla farklı teknolojik işlemler uygulanması gerekir (Mestres, Colonna, Alexandre & Matencio, 1993; Schober, O'brien, McCarthy, Darnedde & Arendt, 2003). Ekmek ve

makarna üretiminde hammadde olarak kullanılan un ve/veya formülasyona eklenen nişastaların (pirinç, mısır, gölevez vb.) hamur elde edebilmek amacıyla kısmi jelatinize edilmesi ve formülasyonda emülgatörlerin kullanılması son ürünün kalite özelliklerini (ekmek hacmini, makarna pişme kalitesi) geliştirdiği bilinmektedir (Cato, Gan, Rafael & Small, 2004; Chinnasarn & Manyasi, 2010; Toufeili vd., 1994; Yalçın & Başman, 2006). Ayrıca hamur oluşumu sağlamak amacıyla çözünür liflerin kullanılması da hamurun kıvamını artırarak son ürünün kalitesini olumlu yönde etkiler (Aguilar, Albanell, Miñarro & Capellas, 2015). Cato vd., (2004) glütensiz ekmek üretimi denemelerinde karboksimetil selüloz, hidroksipropilmetil selüloz ve guar sakızının ekmek kalitesi üzerine olumlu etkilerinin olduğunu ve ekmekte fermantasyon sonucu oluşan gazı tutmak için gerekli viskoziteye sahip hamur oluşturduğunu bildirmişlerdir.

2.3. Unun Teknolojik Özellikleri

Unlu mamuller endüstrisinde hammadde olarak kullanılan unun teknolojik özelliklerinin bilinmesi üretim aşamasında büyük önem taşır.

2.3.1. Su Tutma Kapasitesi ve Şişme Kuvveti

Unlu mamuller üretiminde unların su tutma kapasitesi, üretimi yapılacak gıda maddesine uygun hamurun elde edilmesi, dolayısıyla işleme sırasında gıda maddesinde tekstür oluşumunda önemli rol oynar (Zayes, 1997). Unun depolama koşulları ve süresi su tutmasını etkilemektedir. Unlar olgunlaşması için oda koşullarında yaklaşık 1 ay dinlendirildikten sonra kullanılmalıdır. Olgunlaşmayan unlar daha az su çeker, düşük kalitede ürün verirler (Bilişli, 2012; Elgün & Ertugay, 1995). İstenilen kıvamda bir hamurun elde edilmesi, unun temel bileşenleri olan protein ve nişastanın hidrasyonuyla ilgilidir. Su ile un proteinleri arasındaki etkileşim yoğurma sırasında büyük önem kazanır. Unlu mamullerin üretiminde unda bulunan protein ve nişasta bileşenin yanında, ortamda lipitlerin bulunması da su tutma kapasitesini etkilemektedir (Sissons, 2008). Unlu mamuller üretiminde ısıl işlem uygulamalarında proteinler sıcaklık artışıyla denatüre olduklarında, iç kısma gömülü hidrofobik amino asitler açığa çıkar ve yüzey alanındaki artışla birlikte su tutma ve yağ tutma kapasitesi artar. Denatürasyon protein agregasyonuna neden olursa, hidrojen bağları yerine, protein-protein etkileşimi artar ve su tutma kapasitesi azalır (Damodaran, 2008; Tiwari, Gowen & McKenna, 2011).

Şişme kuvveti, nişasta granülünün su tutma kapasitesinin bir göstergesidir (Tiwari vd., 2011). Yüksek bağıl nemli ortamda bulunan veya su eklenen nişasta molekülleri, kütle-enerji transferi sonucunda suyun yapıya yayılmasıyla şişer (Demirekin, 2019). Nişastanın şişme kuvveti, amilopektin bileşeninin özelliğidir ve çift sarmal yapıyı oluşturan amiloz ve amilopektin molekülleri arasındaki kristal yapılar, nişastanın şişme kuvvetini belirler (Tester, 1997). Amilopektin molekülünün ana zincirinin uzunluğunun artması çift sarmal yapıyı güçlendirdiği için şişme kuvveti artar (Blazek, 2008). Moleküldeki çapraz bağlar, moleküler etkileşimi artırarak suyun kristal bölgelere kadar işlemesini güçleştirerek şişme kuvvetini azaltır (Delcour & Hoseney, 2010; Ziegler, Thompson & Casasnovas, 1993). Bu nedenlerle; moleküler ağırlık, lipid-amiloz kompleksleri, amiloz-amilopektin oranı ve nişasta granülündeki amorf/kristal bölge oranı granülün şişme kuvvetini etkileyen etmenlerdir (Zhu vd., 2017). Şişme ile birlikte nişasta çözeltisinin viskozitesi artar (Huang vd., 2007; Lii, Tsai & Tseng, 1996; Tester & Karkalas, 1996).

Jagannadham, Parimalavalli, Babu ve Rao (2014), buğday ve nohut unları arasında karşılaştırmalı olarak yaptıkları çalışmada nohut ununun buğday ununa göre daha düşük su ve yağ tutma kapasitesi, yığın yoğunluğu ve şişme kuvveti, daha yüksek çözünürlüğü, köpürme kapasitesi ve köpüklenme kararlılığı gösterdiğini bildirmiştir. Aynı çalışmada, nohut ununun aşırı şişmeye gerek duyulmayan, ısıya dayanıklı bir hamurun istendiği gıda maddelerinin üretiminde kullanılması önerilmiştir. Ayrıca, yüksek köpürme kapasitesi ve köpük kararlığı nedeniyle de unlu mamullerin hazırlanmasında avantaj sağlanabileceği de ortaya konmuştur.

Uthumporn, Karim ve Fazilah (2013); mısır, buğday ve pirinç nişastaları ve bu örneklere ait yağı alınmış nişastaları 24 saat boyunca granül halde (35 °C) hidrolize etmişlerdir. Bu çalışmada mısır nişastasının en yüksek şişme kuvvetine sahip olduğu, buğday nişastasının şişme kuvvetinin pirinç nişastasından yüksek olduğu ve nişasta örneklerinin yağlarından arındırılmaları ile şişme gücünün azaldığı bulunmuştur. Nuwamanya, Baguma, Wembabazi ve Rubaihayo (2011) mısır, buğday, darı ve sorgumdan elde edilen tahıl nişastaları ile kasava, patates ve tatlı patatesten elde edilen nişastaların fizikokimyasal özelliklerini karşılaştırmıştır. Şişme kuvvetini 60-90 °C sıcaklık değeri aralığında incelemiş ve şişme kuvvetinin 60 ila 80 °C sıcaklıklar

arasında sıcaklıkla birlikte önemli ölçüde arttığını bulmuşlardır. Tüm bu tarımsal malzemelerin şişme kuvvetinin buğdaydan daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

2.3.2. Çözünürlük

Unun çözünürlük özelliği hem protein hem de nişasta bileşenin ortak bir özelliğidir. Unda bulunan nişasta oda sıcaklığında veya daha düşük sıcaklıklarda suda çözünmez, yalnızca suyu özümleyip şişerek hamur oluşumuna katkı sağlar (Arendt & Dal Bello, 2008). Buğday ununda bulunan suda çözünmeyen proteinler (gliadin ve glütenin) glüten ağ yapısını oluşturarak hamurda esnek yapıyı sağlar ve gaz tutulmasını sağlayarak son ürün kalitesinde önemli rol oynarlar (Gallagher, Gormley & Arendt, 2003). Sert buğday unlarının suda çözünür proteinini miktarı yumuşak buğday unlarından daha düşüktür ve sert buğday çeşitlerinde toplam proteinin büyük kısmı glüten halinde oluşur (Elgün & Ertugay, 1995; Torbica, Hadnađev & Hadnađev, 2012; Turabi vd., 2010).

Romero ve Zhang (2019), yumuşak buğday ve farklı fasulye türlerinden izole ettikleri nişasta örneklerinin fizikokimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Fasulye örneklerinden elde edilen nişastanın yumuşak buğday nişastasına göre daha yüksek amiloz içeriğine sahip olduğunu ve bu nedenle daha düşük şişme gücü ve çözünürlüğe sahip olduğunu bildirmişlerdir. Daha yüksek şişme kapasiteli yumuşak buğday nişastaları, fasulye nişastalarına göre amiloz-amiloz ve amiloz-amilopektin molekülleri arasındaki daha zayıf etkileşimler ve buna bağlı olarak daha düşük kristal/amorf bölge oranıyla tanımlanırlar. Bu durum, yumuşak buğday nişastalarındaki amiloz moleküllerinin kolaylıkla ana gövdeden ayrılıp suya karışmasını sağlar ve böylelikle nişasta çözünürlüğü artar. Uthumporn vd., (2013) mısır, buğday ve pirinç nişastaları arasında yaptıkları karşılaştırmalarda şişme kuvveti en yüksek olan mısır nişastasının en düşük çözünürlük değerine sahip olduğunu ve ortamdan lipitlerin uzaklaştırıldığında çözünürlüğün arttığını göstererek moleküller arasındaki etkileşimin artmasıyla çözünürlüğün azaldığı savını ölçümlerle doğrulamışlardır.

2.3.3. Yağ Tutma Kapasitesi

Yüksek yağ tutma kapasitesine sahip bileşenler, emülgatör gibi davranarak gıdaların viskozite ve tekstürünü geliştirirler (Aydın, 2020).

Sosulski ve Youngs (1979), sekiz farklı baklagil (soya fasulyesi, acı bakla, nohut, bezelye, kuzey fasulyesi, faba fasulyesi, tarla bezelye, lima fasulyesi, maş fasulyesi, mercimek) unundan nişasta ve protein bileşenlerinin verimlerini ve fonksiyonel özelliklerini araştırmışlardır. Genel olarak, söz konusu baklagillerin nişasta bileşenlerinin su tutma kapasitelerinin yüksek, protein bileşenlerininse yağ tutma kapasitelerinin yüksek olduğunu, ayrıca protein bileşenlerinin üstün emülgatör özelliklerine sahip olduklarını bulmuşlardır. Bu çalışmada nohut ununun çalışmadaki diğer unlara göre su özümleme kapasitelerinin düşük olmakla birlikte yağ tutma kapasitesinin yüksek olduğu ve üstün emülgatör özellikleri taşıdığı sonucuna varılmıştır. Joshi, Liu ve Sathe (2015) nohut tanesinin buğdaya göre daha yüksek su tutma kapasitesine sahip olduğunu ancak nohutun yağ tutma kapasitesinin buğdaydan düşük olduğunu bulmuşlardır. Yağlarından arındırılan örneklerin su ve yağ tutma kapasitelerinde artış gözlemlemişlerdir.

2.4. Protein Bileşeninin Teknolojideki Önemi

Buğday unu suyla karıştırılıp yoğrulduğunda viskoelastik özellikte hamur oluşturabilme yeteneğine sahip, karmaşık proteinler içerir. Buğday ununun protein içeriği suda çözünen albumin ve globülin ile suda çözünmeyen gliadin ve glütenin fraksiyonlarından oluşur. Bu fraksiyonlardan gliadin ve glüteninin toplamına glüten adı verilir. Glüten, hamurun suyla yıkanarak çözünen kısmın uzaklaştırılmasından sonra geride kalan viskoelastik özellik taşıyan kütledir (Attenburrow, Barnes, Davies & Ingman, 1990; Shewry, Halford, Belton & Tatham, 2002; Sivam, Sun-Waterhouse, Quek & Perera, 2010).

Hamur, su çekip şişen nişasta granüllerinin kristallenme bölgelerine entegre olmamış amiloz içeriğinin sulu evrede kısmi olarak çözünmesi sonucu nişasta granülleriyle büyük protein moleküllerinin meydana getirdiği bir ağ yapıdır. Undaki lifimsi yapılar ağ oluşumunu destekler. Bu ağ yapı hamura istenen viskoelastik özellikleri kazandırır ve hamurun fiziksel özelliklerini (uzama yetisi, gerilme direnci, karıştırma toleransı, gaz tutma kapasitesi) belirler (Gallagher, Gormley & Arendt, 2004). Bu bağlamda unlu mamullerde son ürün kalitesini etkileyen önemli parametrelerden biri protein miktarı ve kalitesidir.

Hamurun fiziksel özelliklerinden uzama yetisi ve gaz tutma kapasitesi birbiriyle ilintili özelliklerdir. Uzama yetisi ve gaz tutma kapasitesi yüksek olan mayalı hamurlarda, mayalanma sırasında maya hücreleri civarında oluşan karbondioksit, karıştırma sırasında hamura entegre edilen hava kabarcıklarına difüzyon yoluyla yayılarak, ağ yapıya hapsolur ve pişme sırasında oluşması istenen gözenek yapısının çekirdeklenme bölgelerini oluşturur (Blanshard, Frazier & Galliard, 1988). Mayasız hamurlarda ise aynı işlevi kabartma ajanlarının bozunması ile oluşan karbondioksit görür. Mayalı ve mayasız hamurların pişirilmesi sırasında buharlaşan nem difüzyon yoluyla bu çekirdeklenme bölgelerine ulaşır ve karbondioksit kabarcıklarının büyümesine neden olur. Pişirme sonrasında kaliteli bir gözenekli dokunun oluşması, gaz çekirdeklerinin yeterince büyümeden gaz kaçışına izin vermemesi ile ilgilidir. Su buharı difüzyonu ile büyüyen gaz kabarcıkları içinde oluşan basınç ağ yapıya baskı yapmaya başlar. Hamurlarda uzama yetisiyle ifade edilen elastiklik özellik ne kadar yüksekse pişme sırasındaki gaz kaçışı da o kadar zorlaşır. Unlu mamullerde buhar basıncına bağlı kabarmanın ve kabarmaya bağlı tekstürün oluşması, gaz hücrelerinde artan basıncın hücre duvarlarını yıkarak kabuk bölgesine ulaşması ve katılaşan kabuktaki küçük gözeneklerden kaçmasıyla oluşur. Hücre duvarlarının yıkılması sonucu basınç düşer, gaz kaçışı sırasında birbirine bağlanan gözenekli yapı katılaşır ve istenen doku oluşur (Hoseney, 1986; Pomeranz, 1987; Pyler, 1988). Gaz kaçışı ve katılaşma sonucu oluşan doku hamurun camsılığa geçip geçmediği ile ilgilidir. Hamur yüzeyi düşük neme sahip olduğu ve aniden katılaştığı için çok kısa zamanda camsılığa geçer ve böylelikle gaz kaçışına yüzey bariyeri oluşturan dış kabuk oluşur (Cuq, Abecassis & Guilbert, 2003). İçyapı camsılığa geçmezse ekmek ve keklerde olduğu gibi yumuşak bir doku, camsılığa geçerse kraker ve peksimetlerde olduğu gibi kırılgan bir doku oluşur (Gallagher vd., 2004; Kaletunc & Breslauer, 2003; Marconi & Carece, 2001; Oliete vd., 2010; Preichardt, Vendruscolo, Gularte & Moreira, 2011).

Glüten içermeyen unlardan yapılan hamurların akışkanlık özellikleri, glüten içeren unlardan yapılan hamurların tam tersine, elastikiyet özelliklerine göre daha baskındır. Bu nedenle, glütensiz beslenmede yararlanılabilecek glütensiz unlar çoğunlukla istenen dokuyu sağlamakta yetersiz kalırlar. Unların unlu mamullere işlenmesindeki en önemli unsur, undaki protein bileşeninin başta nişasta olmak üzere ortamdaki diğer bileşenlerle etkileşimidir ve bu etkileşimler gaz hücrelerinin çeperlerine

mekanik dayanım sağlayarak hamura elastik bir yapı sağlarlar (Primo-Martin vd., 2006).

Hamura işleme sırasında undaki protein matrisi; ortamdaki su, iyonlar, polisakkaritler ve lipitlerle kimyasal bağlar oluşturma eğilimindedir. Bu tür kimyasal etkileşimler, protein bileşeninin teknolojik açıdan su ve yağ tutma, jelleşme, çözünürlük, kıvam arttırma, köpük ve emülsiyon oluşturma ve kararlılığını destekler. Su molekülü ile proteinin hidrofilik grupları arasındaki hidrojen bağları, gaz hücrelerinin çeperlerine elastiklik özelliği kazandıran zayıf kimyasal bağlardır. Bu sebeple hidrojen bağları, doğrudan unun protein bileşeninin su tutma kapasitesi ile ilgilidir. Amino, karboksil, hidroksil, karbonil ve sülfidril gibi polar hidrofilik gruplar protein bileşeninin su tutma potansiyelini belirler. Hamur ağ yapısının su tutma kapasitesi arttıkça elastikiyeti de artar (Cauvain, 2007; DeMan, Finley, Hurst & Lee, 1999; Zayes, 1997).

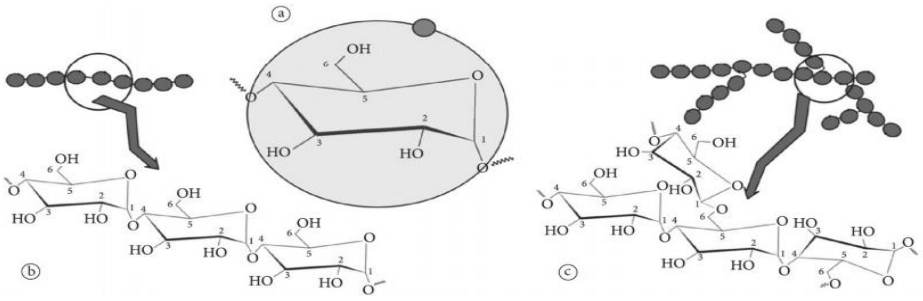
Protein moleküllerindeki polar olmayan bölgeler, protein-lipit etkileşiminin gerçekleştiği birincil bölgelerdir ve bu etkileşimler hidrofobik, elektrostatik ve hidrojen bağları içerirler. Proteinlerin hidrofobik grupları lipitlerin apolar alifatik grupları ile kimyasal etkileşime girerek protein çözünürlüğünü azaltır ve elastikiyeti arttırır (Hall, 1996). Protein yapısındaki hidrofilik (polar) ve hidrofobik (apolar) gruplara bağlı olarak çözünürlük değişir. Çözünmeyen hidrofobik proteinler yüksek yağ tutma kapasitesine sahiptir. Hamur oluşumunda su, hidrofilik bileşenleri çözerken suda çözünmeyen proteinleri hidrate ederek ağ yapının oluşumunu sağlar. Lipit fraksiyonlarından glikolipitler, hamur yapısındaki gaz hücrelerinin etrafını sararak gaz tutma kapasitesini arttırırlar. Glikolipitler, pişirme sırasında oluşan jelatinize nişasta ve denatüre proteinlerle kompleks oluşturarak gaz hücresi çeperlerinin dayanımını arttırırlar. Böylelikle gaz kaçışı zorlaşır ve bunun sonucunda pişmiş unlu mamulün hacmi artar (Pomeranz ve Chung, 1978; Sivam vd., 2010; Zayes, 1997).

Nohut proteini amino asit içeriğine bağlı olarak diğer baklagil proteinlerine göre daha yüksek düzeyde köpüklenme kapasitesi ve köpük kararlılığına sahiptir. Bu fonksiyonel özellikler baklagillerde glüten ağının bulunmamasına karşın karıştırma aşamasında hava kabarcıklarının daha verimli entegrasyonunu sağlaması ve mayalanma sırasında oluşacak karbondioksit kabarcıklarına mekân hazırlaması nedeniyle glütensiz ekmek üretiminde ürün kalitesini artırır (Miñarro Vivas, 2013). Ahmed (2014), nohut

proteininden elde edilen izolatın, kek hamuruna %20 katılmasının son ürünün duyusal ve tekstürel özelliklerine olumsuz etkisi olmadığını, ancak %20'den fazla eklenmesi durumunda kabul edilebilirliğin azaldığını bildirmiştir.

2.5. Nişasta Bileşeninin Teknolojideki Önemi

Beslenmenin temel karbonhidrat kaynağı olan nişasta bitkilerin enerji deposudur. Nişastanın gıda endüstrisinde kullanımını da etkileyen granül boyutu ve şekli, bitki türüne göre değişir (Çizelge 2.1). Bitkilerde granül halinde bulunan nişasta, amiloz ve amilopektin olmak üzere iki bileşenden oluşur (Eliasson, 2004; Ratnayake & Jackson, 2008). Amiloz zincir biçiminde α-1,4 bağları ile bağlanmış glikoz birimlerinden oluşan doğrusal bir molekül, amilopektin ise dallanmış bir moleküldür (Şekil 2.2) (Alcázar-Alay & Meireles, 2015). Amiloz molekülü 1,500–6,000 arasında glikoz birimi içerir (Finnie & Atwell, 2016). Amilopektin ise α-1,4 bağı ile bağlanmış D-glukoz birimlerinden oluşmuş ana zincir ve α-1,6 bağlarıyla ana zincirden uzanan farklı uzunluklarda glikoz birimlerinden oluşur. Amilopektin, her 20-26 glikoz ünitesinden bir α-1,6 bağları ile dallanma gösterir ve yaklaşık 300,000- 3,000,000 glikoz birimine sahiptir (Finnie & Atwell, 2016). Dallanma noktalarındaki moleküler yapılar düzensizdir. Bu nedenle molekülün entropisini minimize etmek için dallanma merkezleri arasındaki dallar ve ana zincir çifte sarmal bir üçüncül yapı oluşturarak düzenli bir şekilde sıralanırlar. Bunun sonucunda oluşan kristallenme bölgeleri granüler yapıyı sağlar (Copeland, Blazek, Salman & Tang, 2009; Finnie & Atwell, 2016; Hoseney, 1994; Parker & Ring, 2001).



Şekil 2.2. (a) glukoz birimi (b) amiloz (c) amilopektin (Alcázar-Alay & Meireles, 2015).

Çizelge 2.1. Unlu mamuller endüstrisinde kullanılan bazı bitkilerin doğal nişasta granülünün özellikleri (Tester, Karkalas & Qi, 2004).

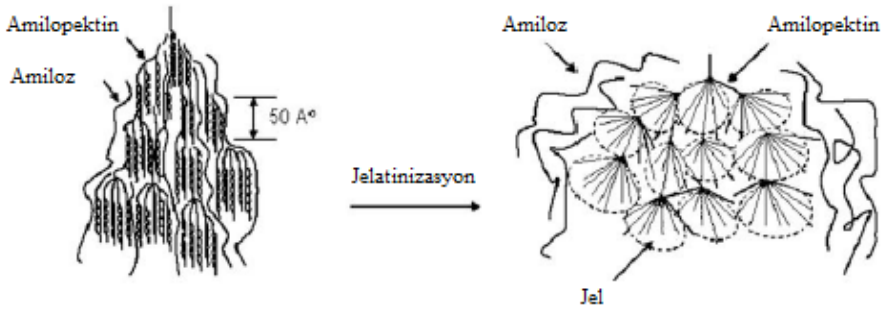
Nişasta	**Şekil**	**Büyüklük (µm)**
Buğday	Spherical (B tipi granül) Lenticular(A tipi granül)	2-10 15-35
Pirinç	Polyhedral	3-8 (basit) 150 (bileşik)
Mısır (waksy ve normal)	Spherical/ Polyhedral	2-30
Arpa	Lenticular (A tipi granül) Spherical (B tipi granül)	15-25 2-5
Yulaf	Polyhedral	3-10 (basit) 80 (bileşik)
Çavdar	Lenticular (A tipi granül) Spherical (B tipi granül)	10-40 5-10
Sorgum	Spherical	5-20
Bezelye	Rentiform	5-10
Patates	Lenticular	5-100

Nişasta granülleri amorf bölge ve kristalimsi büyüme halkalarından oluşur ve granüllerin % 70'i amorf ve % 30'u kristal olarak kabul edilir (Ratnayake & Jackson, 2008; Sajilata, Singhal & Kulkarni, 2006). Granülün amorf bölgesi, amiloz ve kristal yapıda olmayan amilopektin içerir (Ratnayake & Jackson, 2008). Kristalimsi büyüme halkaları, ~10 nm genişliğinde birbirini dönüşümlü takip eden amorf ve kristal lamellerden oluşur. Kristal lameller, amilopektin zincirlerinin çifte sarmal şeklinde paketlenmesiyle oluşur. Bu paketlenme sırasında dallanma noktaları amorf bölgede konumlanır. Bu nedenle kristal yapı yerine kristalimsi bir yapı oluşur. Bu yapıların kristalimsi olarak değerlendirilmesinin nedeni kümeler halinde dizilen amilopektin kristal tabakalarının farklı zincir sınıflarından oluşmasına karşın kristallerin özelliği olan X-ışını kırılım desenleri vermesidir (Andersson, 2001; Hoseney, 1994; Tester vd., 2004).

Nişasta, X-ışını kırınım desenlerine göre A, B ve C olmak üzere 3 tiptir (Sajilata vd., 2006). A tipi nişasta tahıllarda bulunur ve 23–29 glikoz biriminden oluşan zincir

uzunluklarına sahip amilopektin dallarından oluşur. Çifte sarmal yapı ana zincir ve dallara ait hidroksil grupları arasında zayıf hidrojen bağlarıyla oluşur. Doğrusal zincirlerden oluşmuş amiloz molekülleri çifte sarmal yapının içine hapsolur ve granüler yapı amiloz zinciri ile amilopektinin ana zinciri arasındaki zayıf hidrojen bağlarıyla kararlı hale gelir. B tipi nişasta, 30–44 glikoz biriminden oluşan zincir uzunluklarına sahip amilopektin dallarından oluşur ve patates, muz gibi bitkilerde bulunur. C tipi nişasta ise A ve B tiplerinin birleşimidir ve 26–29 glikoz molekülünden oluşan zincir uzunluklarına sahip amilopektin dallarından oluşur. Baklagillerde C tipi nişasta bulunur (Hoseney, 1994; Sajilata vd., 2006).

Çift kırınım özelliğine sahip doğal nişasta granülleri, polarize ışık altında incelendiğinde malta haçı görüntüsü verir (Finnie & Atwell, 2016). Nişasta yeterli su varlığında ısıtıldığında granüllerdeki çift kırınım özelliği kaybolur ve doğal nişasta granüllerindeki düzenli yapı bozulur (Ratnayake & Jackson, 2008). Bu olguya nişasta jelatinizasyonu denir. Nişasta jelatinizasyonunun oldukça düşük sıcaklıklarda başlamasının nedeni kristallenme bölgelerini oluşturan zayıf hidrojen bağlarının ısı dayanımının da güçsüz olmasıdır. Nişasta jelatinizasyonu, amorf bölgelerdeki amiloz zincirleri ve amilopektin ana zincirlerinin su çekmesi sonucunda kristal yapının erimesini içeren bir süreçtir (Finnie & Atwell, 2016). Doğal nişasta granülleri soğuk su içerisinde çözünmezler. Ancak, çözünürlüğü engelleyen ve zayıf hidrojen bağlarından oluşan granüler yapı suyu kolayca özümler ve şişer. Su ve ısının etkisiyle şişen granüler yapıdaki amiloz zincirlerinin hidrofilik grupları suyla karşılaşınca entropilerini düşürerek kararlılaşmak için amilopektin zincirleriyle hidrojen bağları kurmak yerine suyla hidrojen bağları kurmayı tercih ederler. Böylelikle amiloz zincirleri su evresinde çözünerek granülden su evresine özütlenirler. Amilopektinin sarmal yapısını kararlı durumda tutan amiloz zincirleri granülden özütlenince çifte sarmal yapı ayrışır ve granüler yapı geri dönüşümsüz olarak bozunur (Şekil 2.3). Bunun sonucunda doğal yapısında suda çözünmeyen nişasta suda çözünürlük özelliği kazanır ve çözeltinin özlülüğü artar. Kristalimsi bölgelerde etkin rol alan glikoz zincirlerinin uzunluğu ve amorf evreyle etkileşimde olan hidrojen bağı sayısı nişasta jelatinizasyonu etkiler. Ayrıca, farklı bitkilere ait nişastalardaki amiloz/amilopektin oranı arasındaki farklılıklar da jelatinizasyonunu yakından ilgilendirir (Şekil 2.2) (Lindeboom, 2005; Ratnayake & Jackson, 2008; Xie vd., 2009; Zobel,1984).



Şekil 2.3. Jelatinizasyon sırasında nişastanın mikro yapısının ve faz geçişinin şematik gösterimi (Ulukut, 2010).

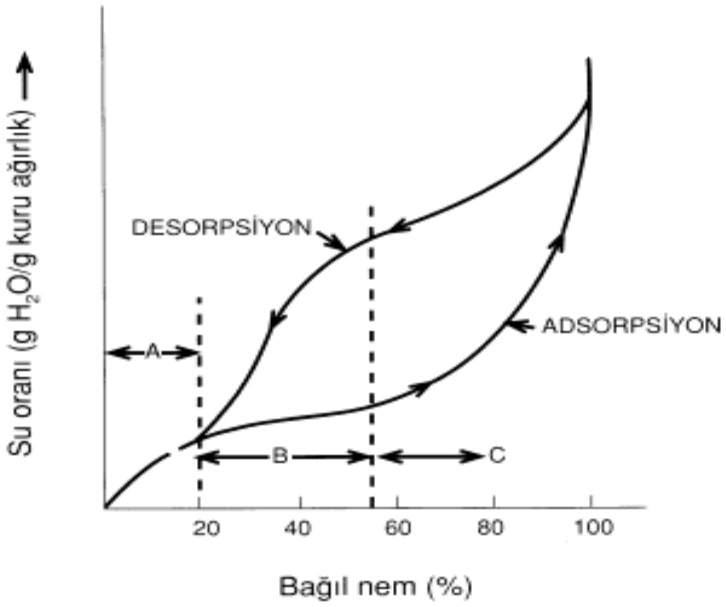
Nişasta granüllerindeki amiloz zincirleri; iyot, monogliserit, yağ asitleri ve alkollerle tekli sarmal üçüncül yapılar oluşturur. Bu tip kimyasal etkileşim sonucu oluşan amiloz-lipit kompleksi hem nişasta granüllerinde, hem de nişastanın işlenmesi sonucunda görülür. Amilozun hidrofobik yapılı zinciri ile lipidin hidrokarbon zinciri etkileşerek tekli amiloz sarmalının merkez boşluğunu doldurur (Hasjim, Li & Dhital, 2013). Amiloz-lipit kompleksi amiloz çözünürlüğünü azaltarak nişasta granülünün su çekme özelliklerini etkiler ve nişastanın şişme, yapışkanlık, jelatinizasyon ve retrogradasyon süreçleriyle ilgili fizikokimyasal özelliklerini değiştirir (Baldwin, 2001; Hasjim vd., 2013; Li, Berke & Glover, 1994; Singh, Singh, Kaur, Sodhi & Gill, 2003; Svegmark vd., 2002; Wootton, Panozzo & Hong, 1998). Lipitlerle nişasta arasındaki kompleksleşme eğilimi lipidin yapısına ve nişastadaki amiloz/amilopektin oranına bağlıdır. Yüksek amiloz içerikli nişastalar; monogliseritler, trigliseridler, serbest yağ asitleri ile kompleksler oluştururlar (Becker, Hill & Mitchell, 2001; Güler & Bilici, 2017).

Nişasta unlu mamullerde proteinlerle oluşturduğu ağ yapı sonucunda gaz tutma kapasitesini geliştirerek buhar kaçışı sonucu kabarma sürecinin ana unsurlarından biri olarak görev alır. Bu süreç sırasında nişasta ağ yapının oluşumuna ve buharın kaçması sonucunda ortaya çıkan süngerimsi, gözenekli tekstürel yapıya özlülüğü artırıcı, kararlılık sağlayıcı, jelleştirici ve su tutucu özelliklerinin tümüyle katkıda bulunur (Fredriksson, Silverio, Andersson, Eliasson & Åman, 1998; Hoseney, 1994; Parker & Ring, 2001; Singh & Singh, 2003).

2.6. Unun Fizikokimyasal Özellikleri

2.6.1. Sorpsiyon Özellikleri

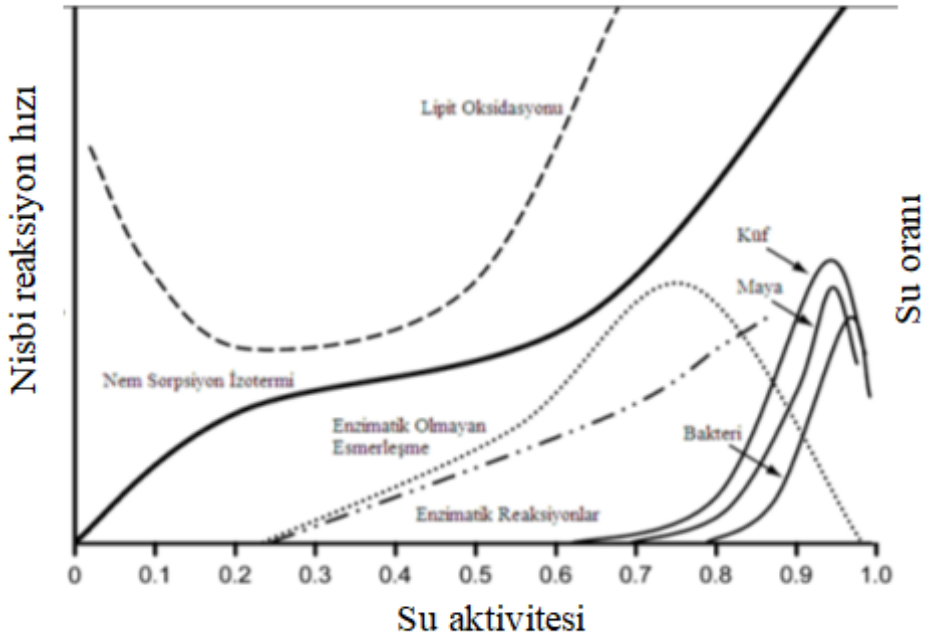
Gıdalarda bulunan su, gıda bileşenleri için uygun bir çözücü özellik göstererek biyokimyasal tepkimelerin gerçekleşmesi için ortam sağlar ve gıdanın fiziksel, duyusal ve mikrobiyolojik stabilitesini etkileyerek kalitesini belirler (Cemeroğlu, 2013; Menkov & Durakova, 2007). Gıda maddelerinde bulunan nem miktarı, gıdanın su tutma kapasitesi ile ilişkilidir ve her gıdanın su tutma özellikleri birbirlerinden farklıdır. Gıda maddesiyle onu çevreleyen hava arasındaki nem alışverişi gıdanın bileşimi, sıcaklık ve su buharı basıncı gibi ortam koşullarına bağlıdır (Caballero-Cerón, Guerrero-Beltrán, Mújica-Paz, Torres & Welti-Chanes, 2015; Cemeroğlu, 2013). Sabit sıcaklıkta gıda maddesinin nem içeriği, nem alışverişi sonucunda su aktivitesiyle ortamın buhar basıncı arasındaki denge kurulana dek değişir (Ertugay & Certel, 2000) . Farklı bağıl nem ya da su aktivitesi (a_w) değerleri ile gıdanın sabit sıcaklıktaki denge nem içerikleri grafiğe aktarıldığında nem sorpsiyon izotermleri elde edilir (Sahin & Sumnu, 2006) ve her gıda kendine özgü sorpsiyon izotermine sahiptir (Şekil 2.4) (Caballero-Cerón vd., 2015).



Şekil 2.4. Sorpsiyon izotermleri (Cemeroğlu, 2013).

Gıda maddelerindeki mikroorganizma faaliyetleri ve kimyasal reaksiyonlar su aktivitesi ile kontrol edilir (Şekil 2.5) (Sahin & Sumnu, 2006) . Mikrobiyel büyüme ve tepkime hızları gıda maddesinin içeriğine bağlı olmakla birlikte genellikle a_w=0,3

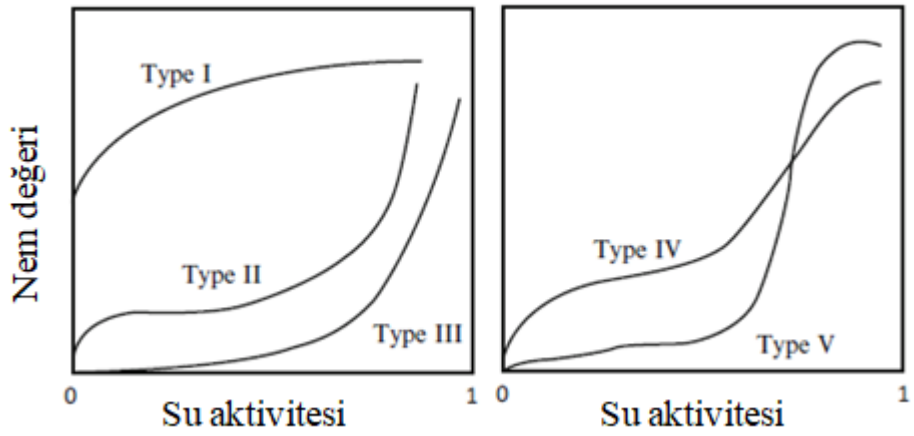
değerinden sonra artar. Bu değerden sonra gıda maddesinin yüzeyinde tutuklanmış olan su, çözücü gibi davranmaya başlayarak çözünür bileşenleri hareketli hale getirir ve tepkimelerin önünü açar. Artan su aktivitesi çözünür bileşenlerin miktarı ve hareketliliğini arttırdığı için tepkime hızlarının da artmasına neden olur. Su aktivitesi değerleri $0,2<a_w<0,3$ arasındayken lipit oksidasyonu minimum düzeydedir ve bu değerin üzerinde kimyasal reaksiyonlar başlar (Şekil 2.5). $0,35<a_w<0,45$ değerlerinde gıda maddelerinde gevreklik kaybı ve sert şekerlerin yapışkanlığı gibi fiziksel durum değişikliklerini başlar (Barbosa-Cánovas, Fontana, Schmidt & Labuza, 2007). Su aktivitesi $0,6<a_w<0,75$ değerlerine ulaştığında, enzimatik olmayan esmerleşme tepkimelerinin hızları artar ve bu aralıkta küf gelişimi daha baskın görülür (Barbosa-Cánovas vd., 2007; Cemeroğlu, 2013). Küfler ve mayalar bakterilere oranla daha düşük su aktivitesi değerlerinde gelişebilir (Şekil 2.5) ve her mikroorganizmanın gelişebildiği kendine özgü minimum ve maksimum su aktivitesi değeri vardır (Barbosa-Cánovas vd., 2007).



Şekil 2.5. Su aktivitesinin gıda stabilitesine etkisi (Cemeroğlu, 2013).

Su ile gıda arasındaki fizikokimyasal ilişkiyi anlamak, gıdanın kalite kararlılığının sürdürülebilirliği açısından önemlidir. Gıda maddelerinin kalite kararlılığı herhangi bir sıcaklıktaki denge nem içeriği ve su aktivitesi arasındaki ilişkinin bir

sonucudur. Bu ilişki deneysel olarak nem sorpsiyon izotermleri ile ifade edilir. Gözenek yapısına sahip gıda maddelerinin adsorpsiyon-desorpsiyon eğrileri farklılık gösterebilir (Şekil 2.4). Adsorpsiyon eğrisiyle desorpsiyon eğrisi arasındaki fark histerezis olarak tanımlanır (Sahin & Sumnu, 2006). Histerezise neden olan en önemli etken gözenekli gıda maddelerinin kılcal yapısıdır (Barbosa-Cánovas vd., 2007). Adsorpsiyon sırasında içi boş olan kapiler yapıdaki havanın yerini yüksek enerjili bağlar ile aktif polar uçlara bağlanan su alır. Kılcal yapıdaki gözeneklerin çapı yapı boyunca daralıp genişler. Ayrıca, desorpsiyon sırasında bir miktar su uzaklaştıktan sonra kurutmanın etkisi ile kılcal yapıda daralmalar oluşur. Rastgele oluşan bu kılcal yapıda ortaya çıkan şişe boğazı etkisi, adsorpsiyon sırasında kolayca suyu kabul eden kılcal yapının desorpsiyon sırasındaki şişe boğazı etkisinden dolayı suyu hapsetmesine neden olur. Bunun sonucunda, sabit sıcaklık ve su aktivitesi değerinde gıdanın desorpsiyon sırasındaki su içeriği, adsorpsiyondaki su içeriğine göre daha yüksektir. Sorpsiyon izotermlerinde histerezisin büyüklüğü, gıda maddesinin termodinamik durumu, su adsorpsiyonu ve desorpsiyonu sırasında ortaya çıkan termodinamik değişimler, kapiler yapının daralıp genişlemesine bağlı değişimler ve söz konusu sıcaklıktaki desorpsiyon hızına bağlıdır (Al-Muhtaseb, McMinn & Magee, 2002; Barbosa-Cánovas vd., 2007).



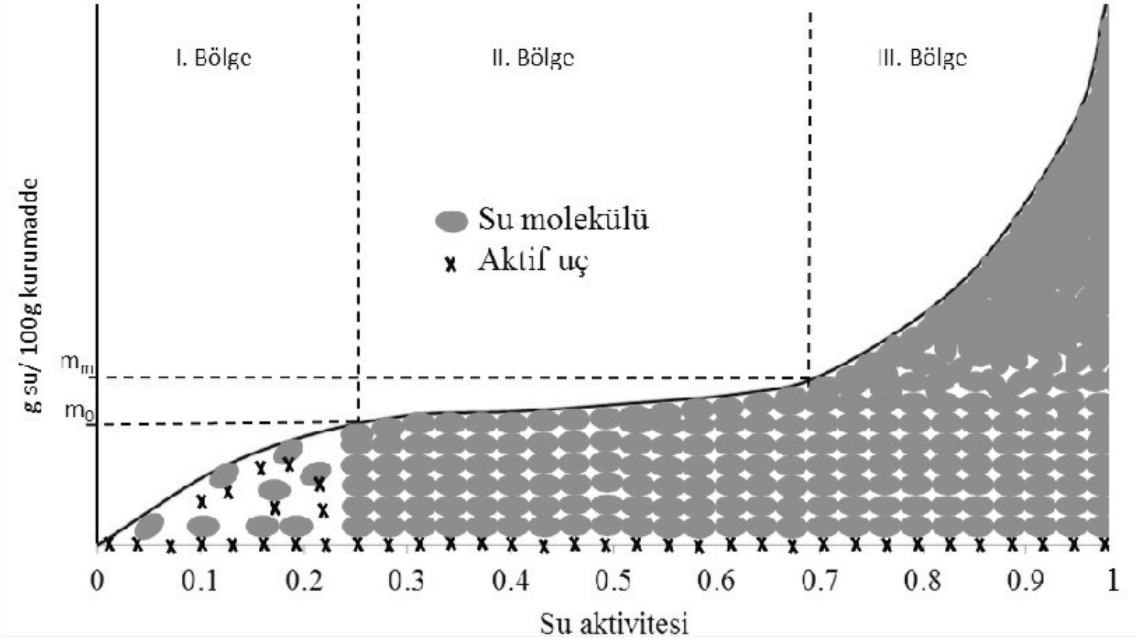
Şekil 2.6. Sorpsiyon izotermlerinin tipleri (Caballero-Cerón vd., 2015).

Sorpsiyon izotermleri 5 çeşittir (Şekil 2.6). Tip 1, Langmuir izotermi olarak bilinir ve tek tabakada sınırlı adsorpsiyon olduğunda oluşmaktadır (Caballero-Cerón vd., 2015). Genellikle inorganik materyallere ait bir özelliktir ve gıdanın izotermlerine uygulanamamaktadır. Tip 2, sigmoid biçimindedir, çözünür katı madde içeren ürünlerde gözlenir ve izotermlerin büküm noktası ilk adsorplanmış tabakanın tamamlanmasıyla

ortaya çıkar (Barbosa-Cánovas vd., 2007; Caballero-Cerón vd., 2015; Mathlouthi & Rogé, 2003). Tip 3, Flory-Huggins ya da J tipi sorpsiyon izotermi olarak bilinen izoterm şekerler ve tuzlar gibi saf kristal yapıdaki katı maddelerin bir özelliğidir (Barbosa-Cánovas vd., 2007). Bu türden kristal katı maddelerin sorpsiyon izotermlerinde çözünmeden önce az miktardaki su kazancına karşı su aktivitesinde kristal hidrasyonuna bağlı büyük bir değişim olduğu, kristal çözünmeye başladıktan sonra ise (a_w=0,75) büyük su kazançlarının küçük su aktivitesi değişimlerine neden olduğu belirlenmiştir (Barbosa-Cánovas vd., 2007; Chirife & Iglesias, 1978). Tip 4, şişme özelliği gösteren hidrofilik katının maksimum hidrasyona ulaşıncaya kadar gösterdiği izotermi tanımlar (Mathlouthi & Rogé, 2003). Tip 5 izotermi çok katmanlı adsorpsiyon izotermi olarak adlandırılır (Caballero-Cerón vd., 2015; Mathlouthi & Rogé, 2003). Gıda maddelerinin genellikle, sigmoid (S−şekilli) Tip 2 izoterm şekline uydukları; ancak yağ ve şeker içeriği yüksek gıda maddelerinin Tip 3 (J şekilli) izoterm şekline uydukları çok sayıda araştırmacı tarafından ortaya konmuştur (Durakova & Menkov, 2005; Kaymak-Ertekin & Sultanoğlu, 2001; McLaughlin & Magee, 1998; Mohamed, Kouhila, Jamali, Lahsasni & Mahrouz, 2005; Swami, Das & Maiti, 2005).

Gıda maddelerinin tipik izotermi olan Tip II izoterm suyun özelliklerinin ve işlevinin farklılaştığı üç temel bölgeden oluşur (Şekil 2.7). I. bölgede (Şekil 2.7) tek katmanlı su molekülleri gıda maddesinin yüzeyini sararak monomoleküler su katmanı oluşturur. Gıda maddeleri I. bölgede yeterince su içermediğinden bazı aktif uçları açıkta kalır ve gıdanın su içeriği tek tabaka su içeriğinin altındadır (Erbaş, Candal, Kılıç & Mutlu, 2016). Monomoleküler su filmi, polisakkaritlerin hidroksil grupları ile proteinlerin karbonil ve amino grupları gibi gruplara güçlü şekilde bağlanır. Bu bölgedeki su molekülleri çözünmez ve biyokimyasal tepkimeler için ortam sağlamaz, dondurulamaz, kurutma ile uzaklaştırılamaz (Al-Muhtaseb vd., 2002; Cemeroğlu, 2013). II. bölge (Şekil 2.7), monomoleküler su filmi üzerinde hidrojen bağlarıyla bağlanmış çok sıralı su molekülü katmanından oluşur. Dolayısıyla bu bölgedeki su, doğrudan gıda maddesine bağlanmamış olduğundan çözücü özellikleri gösterir ve katı matrisin içinde tutulur (Al-Muhtaseb vd., 2002; Debnath, Hemavathy & Bhat, 2002)). III. bölgedeki (Şekil 2.7) su, çok katmanlı suya ek olarak gıdanın gözenekli yapısındaki boşluklarda ve gözenekleri birbirine bağlayan kılcal yapıda yoğuşmuş nemden oluşur. III. bölgedeki su, serbest su özelliğinde olduğundan gıda maddelerinin kararlılığını

etkiler. Su çözücü özellik gösterir, kolaylıkla donar veya kurutma ile uzaklaştırılabilir. Mikrobiyel gelişim bu bölgede oluşur (Al-Muhtaseb vd., 2002; Chirife & Iglesias, 1978).



Şekil 2.7. Tip II sorpsiyon izotermi (S tipi) (Erbaş vd., 2016).

Gıdaların su tutma özelliği sorpsiyon izoterm eğrileri ile açıklanır. Undan yapılmış ürünlerin sorpsiyon davranışı, unlu mamullerin viskozite ve kıvam gibi reolojik ve fonksiyonel özelliklerini doğrudan etkilediğinden gıda endüstrisi için birincil öneme sahiptir. Unlu mamuller endüstrisinde su tutma kapasitelerinin ve sıcaklığın fonksiyonu olarak termodinamik özelliklerinin bilinmesi ve gıda işleme süreçlerinde bu bilgilerin dikkate alınması süreç optimizasyonunda önemli avantajlar sağlar. Unlu mamuller endüstrisinde, öğütme, pişirme, kurutma ve depolama gibi işlemlerde su ve diğer gıda bileşenleri arasındaki etkileşim önem taşır (Durakova & Menkov, 2005; Pollatos, Riganakos ve Demertzis, 2013). Kurutma ve pişirme gibi işlem basamaklarında sorpsiyon ısısının bilinmesi, bu işlemler sırasındaki ısı ve kütle geçişiminin üründe istenen nitelikler açısından optimize edilebilmesi için gereklidir (Balaban, Zuritz, Singh & Hayakawa, 1987). Ayrıca, saklama/depolama sırasındaki nem değişikliklerinin kontrol edilebilmesi ve paketleme tekniğinin/malzemesinin seçimi bakımından da önem taşır (Sahin & Sumnu, 2006). Makarna endüstrisinde, sorpsiyon izotermleri yüksek sıcaklıkta kurutma işlemleri nedeniyle mikroskopik yapının oluşumu ve matematiksel modelleme açısından önem taşır. Matematiksel modelleme, denge nem

içeriğinin ve kurutma sürelerinin belirlenmesi ve enerji kullanımının optimize edilmesini sağlar. Adsorpsiyon izotermlerinden yararlanılarak kahvaltılık gevrek gibi ekstrüde gıdalarda plastikleşme, topaklanma ve kekleşme gibi problemlerinin oluşacağı su içeriği, su aktivitesi ve sıcaklık gibi kritik değerler öngörülebilir ve gerekli önlemler alınır (Al-Muhtaseb vd., 2002; Chuma, Ogawa, Kobayashi & Adachi, 2012; Erbaş, Şekerci & Gül, 2008; Lagoudaki, Demertzis & Kontominas, 1993).

Çizelge 2.2. Sorpsiyon izotermi matematiksel modelleri (Fıratlıgil-Durmuş, 2008; Kaymak-Ertekin & Gedik, 2004; Sahin & Sumnu, 2006).

Model	Denklem[1]	
Oswin Modeli	$M = C\left(\frac{a_w}{1-a_w}\right)^n$	Oswin (1946)
Smith Modeli	$M = C_1 + C_2 \ln(1 - a_w)$	Smith (1947)
Henderson Modeli	$M = \left(-\frac{\ln(1-a_w)}{C}\right)^{1/n}$	Henderson (1952)
Halsey Modeli	$M = \left(-\frac{C}{\ln a_w}\right)^{1/n}$	Halsey (1948)
BET Modeli	$M = \frac{M_0 C a_w}{(1-a_w)[1+(C-1)a_w]}$	Brunauer, Emmett & Teller (1938)
Kuhn Modeli	$M = \frac{A}{\ln a_w} + B$	Kuhn (1967)
Chung ve Pfost Modeli	$M = -\frac{1}{B}\ln\left(-\frac{\ln a_w}{A}\right)$	Chung & Pfost (1967)
Bradley Modeli	$M = A+B\ln(-\ln(a_w))$	Boquet, Chirife & Iglesias (1978)
GAB Modeli	$M = \frac{M_0 C K a_w}{(1-Ka_w)(1-Ka_w+CKa_w)}$	Van den Berg & Bruin, (1981)

[1]aw su aktivitesi; M denge nem içeriği (kuru tabanda), A, B, C, K sabit, M_0 tekli katman nem içeriğidir.

Gıdaların nem sorpsiyon davranışını belirlemek için sorpsiyon mekanizması kuramına dayanan, deneysel ya da yarı deneysel çok sayıda matematiksel model bulunur (Çizelge 2.2) (Barbosa-Cánovas vd., 2007). Karmaşık bileşimi ve yapılarından dolayı, gıdaların sorpsiyon davranışlarının matematiksel modellemesi zordur ve bir gıdanın sorpsiyon izotermi birden fazla sorpsiyon modeli ile tanımlanabilir (Caballero-

Cerón vd., 2015). Gıda maddesine en uygun sorpsiyon modelini seçmek için kullanılan kriterler, deneysel verilere uygunluk derecesi ve modelin basitliğidir (Kaymak-Ertekin & Gedik, 2004).

BET izotermi gıda maddelerinin tanımlanmasında kullanılan ilk izoterm modellerinden biridir (Sahin & Sumnu, 2006). BET modeli sınırlı su aktivitesi için geçerlidir ve a_w<0,5 bölgesi için gıda maddelerinin deneysel sorpsiyon eğrilerine yüksek uyum sağlar (Barbosa-Cánovas vd., 2007). Modeldeki M_0 (Çizelge 2.2) her polar ve iyonik gruba bağlı suyun sıvı benzeri bir faz olarak davranmaya başladığı nem içeriği değeridir, C ise sorpsiyon ısısının etkisi ile ilgili bir sabittir (Sahin & Sumnu, 2006). GAB modeli, BET eşitliğinin geliştirilmesi ile oluşturulmuş, çoklu tabakada absorplanan suyun tutuklandığı yüzeyin özellikleri de dikkate alınarak ortaya konulmuş bir istatistiksel matematiksel modeldir. Bu nedenle GAB modeli 0<a_w<0,95 aralığında deneysel verilerle uyum gösterir (Barbosa-Cánovas vd., 2007). GAB modelinde M_0 ve C sabitlerine ek olarak, suyun çoklu tabakada bağlanma tercihi ile ilgili enerji gereksinimini gösteren K sabiti vardır (Barbosa-Cánovas vd., 2007; Erbaş vd., 2016). Smith modeli yüksek moleküler ağırlıklı biyopolimerlerin nem sorpsiyon izotermlerinde son büküm kısmını açıklamak için geliştirilmiştir (Sahin & Sumnu, 2006). Halsey modeli yüzeyden kısmen uzaklaşmış olan çoklu tabaka suyunun yoğuşmasını tanımlamak için geliştirilmiştir. Modelde bir molekülün potansiyel enerjisinin, yüzeyden uzaklığıyla ters orantılı olarak değiştiği varsayılır (Al-Muhtaseb vd., 2002). Halsey modeli nişasta içeren gıdalara uygunluk göstermektedir (Sahin & Sumnu, 2006). Oswin modeli, sigmoidal eğriler için matematiksel seri açılımına dayandırılan iki parametreli (C ve n) deneysel modeldir. Model nişastalı gıdalar, et ve et ürünleri ile sebzelerin nem sorpsiyon izotermlerine uygunluk göstermiştir (Al-Muhtaseb vd., 2002). Henderson, Kuhn, Iglesias-Chirife, Peleg modelleri de gıdaların sorpsiyon davranışlarının matematiksel modellenmesinde kullanılmaktadır (Caballero-Cerón vd., 2015).

Menkov (2000a), nohut tanesinin denge nem içeriğini, 5, 20, 40 ve 60 °C sıcaklıkta ve 0,110< a_w <0,877 aralığında gravimetrik yöntem kullanarak belirlemiştir. Elde edilen veriler altı model (Geliştirilmiş Chung- Pfost, Geliştirilmiş Halsey, Geliştirilmiş Oswin, Geliştirilmiş Henderson, Fraction-linear ve GAB) ile modellemiş ve en uygun modelin Fraction-linear eşitliğinin olduğunu belirtmiştir. Menkov (2000b),

aynı tür bir çalışmayı mercimek için yineleyerek, sabit bağıl nemde sıcaklık artışı ile sorpsiyon kapasitesinin azaldığını ifade etmiştir. Verilere ait matematiksel modelleme yapıldığında mercimek tanelerinin Geliştirilmiş GAB ve Geliştirilmiş Oswin eşitliklerine uyduğu belirtilmiştir. Mercimek tanelerinin $0,16<a_w<0,17$ aralığında depolanması halinde, nem içeriğinin tek katmanlı su içeriğine sahip olacağı bildirilmiştir. Durakova ve Menkov (2005), nohut ununun adsorpsiyon ve desorpsiyon denge nem içeriklerini, $0,11<a_w<0,85$ aralığında 10, 20, 30 ve 40 °C sıcaklıkta doymuş tuz çözeltileriyle gravimetrik yöntem ile belirlemişlerdir. Elde edilen verileri yaygın kullanılan dört model (Geliştirilmiş Chung-Pfost, Halsey, Oswin ve Henderson) ile modellemişler ve B.E.T. eşitliği ile tek katmanlı nem içeriğini tahminlenmiştir. Nohut ununun denge nem içeriğinin Geliştirilmiş Halsey ve Oswin modellerine uygun olduğunu belirlemişlerdir.

Ertugay ve Certel (2000), buğday, arpa, çavdar, yulaf ve mısır tanelerinin 20, 25, 35, 50 ve 70 °C'de nem sorpsiyon izotermlerini belirlemişlerdir. Tüm tahıl örneklerinin sorpsiyon izoterm eğrileri, tip II izoterminin özelliklerini gösterdiğini bu sebeple tahıl örneklerinde meydana gelen adsorpsiyonun çok katmanlı adsorpsiyon olduğunu ve mikrokapiler yapıya sahip olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca tahıl örneklerindeki adsorpsiyonun sıcaklık arttıkça azaldığını bildirmişlerdir. Pollatos vd. (2013) çalışmalarında, durum buğday irmiğinin 25, 30, 35 ve 40 °C sıcaklık değerlerinde nem sorpsiyon izotermlerini belirlemişler ve izotermlerin, gıdalarda yaygın olan karakteristik sigmoid şeklinde (BET tip II) olduğunu bildirmişlerdir. Sıcaklık ve su aktivitesinin artması ile sorpsiyon kapasitesinin arttığını, nem sorpsiyon kapasitelerinin ilk aşamalarda en yüksek değerlerine ulaştığını ve nem içeriği dengeye yaklaştıkça kademeli olarak azaldığını belirtmişlerdir. Sorpsiyon modelleri arasında GAB, Henderson, Chung ve Pfost ve Oswin denklemlerinin tüm su aktivitesi aralığındaki sorpsiyon verilerini açıklamak için en uygun modeller olduğunu bildirmişlerdir. Moreira, Chenlo, Torres ve Prieto (2010) buğday ununun sorpsiyon izotermlerini 20, 35, 50 ve 65 °C sıcaklıklarda gravimetrik yöntem kullanarak belirlemişler ve un sorpsiyon izotermlerinin BET sınıflandırmasına göre sigmoid şekilli tip II olduğunu bulmuşlardır. Verilerin modellemesi ile en uygun modelin GAB olduğunu ve buğday ununun denge nem içeriğinin aynı su aktivitesinde artan sıcaklıkla azaldığını bildirmişlerdir.

2.6.2. Termal Özellikler

Termal analizler, örneğe ait fiziksel özelliğin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçüldüğü ve tepkime sırasında absorplanan ya da açığa çıkan ısının izlendiği analiz yöntemleridir (Kaletunc & Breslauer, 2003). Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) termal analiz teknikleri içinde hızlı ve duyarlı olduğu için en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. DSC örnek ve referans arasındaki dengeyi sürdürmek için alınan (endotermik) veya verilen (ekzotermik) ısıyı ölçer. Böylelikle, herhangi bir evrenin ısı sığası ölçülebildiği gibi evre geçiş ısıları da ölçülebilir. Gıda maddelerinde temel birinci derece evre geçişleri nişasta jelatinizasyonu, protein denatürasyonu ve yağ kristallerinin erimesi olarak özetlenebilir. Bu tür evre geçişleri ısıalan geçişlerdir ve endotermlerle ifade edilir. Tam tersine, karbonhidratların kristalizasyonu, yağların katılaşması ve denatüre proteinlerin agregasyonu ısıveren evre geçişleridir ve ekzotermlerle ifade edilir (Harwalkar & Ma, 1990; Kaletunc & Breslauer, 2003).

Un ve unlu mamullerde kristal ve amorf yapılar birlikte bulunduğundan bu tür materyaller hem akma hem de deforme olma özelliğine sahip viskoelastik yapılardır. Bu tür materyallerde amorf-camsı ikincil evre geçişleri de söz konusudur. Dolayısıyla, un ve unlu mamullerde birincil geçişlerden önce ek olarak camsı geçiş de gözlenir. Ancak, un ve unlu mamullerdeki bileşenlerin çeşitliliği, birincil geçişler sırasında amorf-camsı geçişlerin de gerçekleşmesi nedeniyle birlikte ve/veya biri tamamlanmadan diğerinin başladığı evre geçişleri olabilir (Kaletunc & Breslauer, 2003).

Nişasta jelatinizasyonu gıdalarda hem dokusal hem de yapısal özellikler açısından önemlidir. Unlu mamullerin üretiminde hamur oluşumunu sağlamak, pişirmeli ekstrüzyon parametrelerinin optimizasyonu ve kurutma gibi üretim aşamaları göz önüne alındığında nişasta jelatinizasyonun termodinamik özellikleri büyük önem taşır. Nişasta granülleri ısıtıldığında, öncelikle, bitkisel kaynağına özgü kritik sıcaklık değerine ulaşana dek büyük miktarda su özümleyerek büyüklüklerinin birkaç katı şişer. Kritik sıcaklığın üzerinde ise nişasta granülleri jelatinize olur ve geri dönüşümsüz olarak özelliklerini değiştirir (Singh Gill, Sing & Saxena, 2004). Nişasta jelatinizasyonu bitkisel kaynağa bağlı olarak genellikle 60-80 °C'de gerçekleşir (Meares, Bogracheva, Hill & Hedley, 2004).

Addo, Xiong ve Blanchard (2001) buğday unu fraksiyonlarının termal ve dinamik reolojik özelliklerini incelemişlerdir. Termal özellikler, 1:2 (w/v) örnek: su oranında hazırlanan örneklerin 10 °C/dakika ısıtma hızıyla 20 °C'den 100 °C'ye ısıtılmasıyla DSC cihazı ile belirlenmiştir. DSC ölçümleri, unda 60 °C civarında oluşan endotermik geçişte pikin nişasta jelatinizasyonundan kaynaklandığını, glüten fraksiyonlarının herhangi bir endotermik geçiş sergilemediğini bildirmiştir.

Liu, Gu, Donner, Tetlow ve Emes (2007) çalışmalarında, iki ticari buğday ununda elde edilen A ve B tipi buğday nişastası granüllerinin fonksiyonel özellikleri, in vitro sindirilebilirlik, kimyasal kompozisyon, jelatinleşme, retrogradasyon özellikleri açısından araştırmıştır. Örnekler, % 70 nem içeriğinde hazırlanmış, 5 - 180 °C arasında 10 ° C/dakika ısıtma hızında DSC cihazı kullanılarak incelenmiştir. Nişasta örneklerinin iki endotermik geçiş gösterdiği; birinci endotermik pikin nişasta jelatinizasyonunu, ikinci pikin, amiloz-lipit kompleksinin bozunmasını temsil ettiğini bildirmiştir. Franco, Wong, Yoo ve Jane (2002) çalışmalarında yumuşak buğday nişastalarının yapısal ve fonksiyonel özelliklerini araştırmışlardır. Termal özellikler, 1:3 (w/v) örnek:su oranında hazırlanan örneklerin 10 °C/dakika ısıtma hızında 25 °C'den 100 °C'ye ısıtılmasıyla DSC cihazı ile belirlenmiştir. Uzun amilopektin zincirine sahip nişasta örneklerinin, daha yüksek jelatinizasyon sıcaklıkları gösterdiklerini bildirmişlerdir.

Gunaratne, Bentota, Cai, Collado ve Corke (2011) farklı pirinç türlerinden elde edilen esmer ve beyaz pirinç unlarının 30-140°C aralığında 10°C/dakika ısıtma hızıyla jelatinizasyon pik sıcaklığı (T_p) ve yığasını (ΔH) belirlemişlerdir. Esmer pirinç unu pik sıcaklığını 77.8-79.7°C, jelatinleşme enerjisini 5.5-8.1 J/g; beyaz pirinç ununun pik sıcaklığını 77.2-79.2°C jelatinizasyon enerjisinin 6.6-9.9 J/g aralığında olduğunu bildirmişlerdir.

Chung, Liu, Hoover, Warkentin ve Vandenberg (2008) bezelye, mercimek ve nohut unlarının termal özelliklerini 5 °C' den 180 °C sıcaklığa 10 °C/dakika ısıtma hızında DSC cihazı ile belirlemiştir. Bakliyat unlarının DSC termogramının iki endotermik pik sergilediğini; ilk pikin nişasta jelatinleşmesini, ikinci pikin ise amiloz-lipit kompleksinin bozunmasını temsil ettiğini bildirmişlerdir. Mercimek ununun en yüksek jelatinizasyon sıcaklığına sahip olduğunu, bezelye ve nohut ununun benzer jelatinizasyon sıcaklığı gösterdiğini ve bunun protein içeriği ve nişasta yapısındaki

farklılıklardan kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir. Bezelye ve mercimek unlarının amiloz-lipit kompleksinin 80-100 °C civarında bozunduğunu, nohut unu, için amiloz-lipit kompleksinin erime sıcaklığının yaklaşık 90-110 °C olduğunu belirtmişlerdir. Nohut ununun amiloz-lipit kompleksinin bozunma yığasının bezelye ve mercimek unlarından daha yüksek olmasını nohut unlarının serbest lipit içeriğinin daha yüksek olmasına bağlamışlardır.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Hammadde

Bu çalışmada Hocaoğlu, Edirne'den tedarik edilen nohut unu kullanılmıştır. Nohut unu oda sıcaklığında kuru bir ortamda depolanmıştır.

3.1.2. Kimyasallar

Sodyum klorür (Isolab, Wertheim, Almanya), sodyum hidroksit (Isolab, Wertheim, Almanya) ve etanol (Isolab, Wertheim, Almanya) nohutun bileşenlerine ayırmak amacıyla kullanılmıştır. Hidroklorik asit (Isolab, Wertheim, Almanya) ve sodyum hidroksit (Isolab, Wertheim, Almanya) nohuttan protein elde edilirken pH ayarlamak için kullanılmıştır. Nohut ve bileşenlerini yağdan arındırma işlemi sırasında solvent olarak dietil eter (Isolab, Wertheim, Almanya) kullanılmıştır.

Potasyum sodyum tartarat (Isolab, Wertheim, Almanya), potasyum iyodür (Sigma, St. Louis, MO, ABD), bakır sülfat (Merck, Darmstadt, Almanya), bovine serum albumin (BSA) (Sigma, St. Louis, MO, ABD) ve sodyum hidroksit protein izolasyon aşamalarındaki biüret metodu ile protein miktarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Metanol (Isolab, Wertheim, Almanya), dimetil sülfoksit (DMSO) (Isolab, Wertheim,

Almanya), trikloroasetik asit (TCA) (Isolab, Wertheim, Almanya), iyot (Isolab, Wertheim, Almanya) ve potasyum iyodür (Merck, Darmstadt, Almanya) amiloz ve amilopektin miktarının belirlenmesinde kullanılmıştır.

Nohut proteinlerinin su tutma kapasitesini ve çözünürlük değerini belirlemede pH ayarlama işlemi için de sodyum hidroksit (Isolab, Wertheim, Almanya) kullanılmıştır. Yağ tutma kapasitesinin belirlenmesi amacıyla mısır yağı (Şok Marketler Tic. A. Ş., İstanbul) kullanılmıştır.

Lityum klorür (Merck, Darmstadt, Almanya), potasyum asetat (Merck, Darmstadt, Almanya), potasyum karbonat (Isolab, Wertheim, Almanya), magnezyum nitrat (Merck, Darmstadt, Almanya), sodyum klorür (Isolab, Wertheim, Almanya), potasyum klorür (Isolab, Wertheim, Almanya), baryum klorür (Merck, Darmstadt, Almanya) tuzları ile mikrokristalin selüloz (Tito, İzmir, Türkiye) sorpsiyon izotermlerinin elde edilmesinde kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

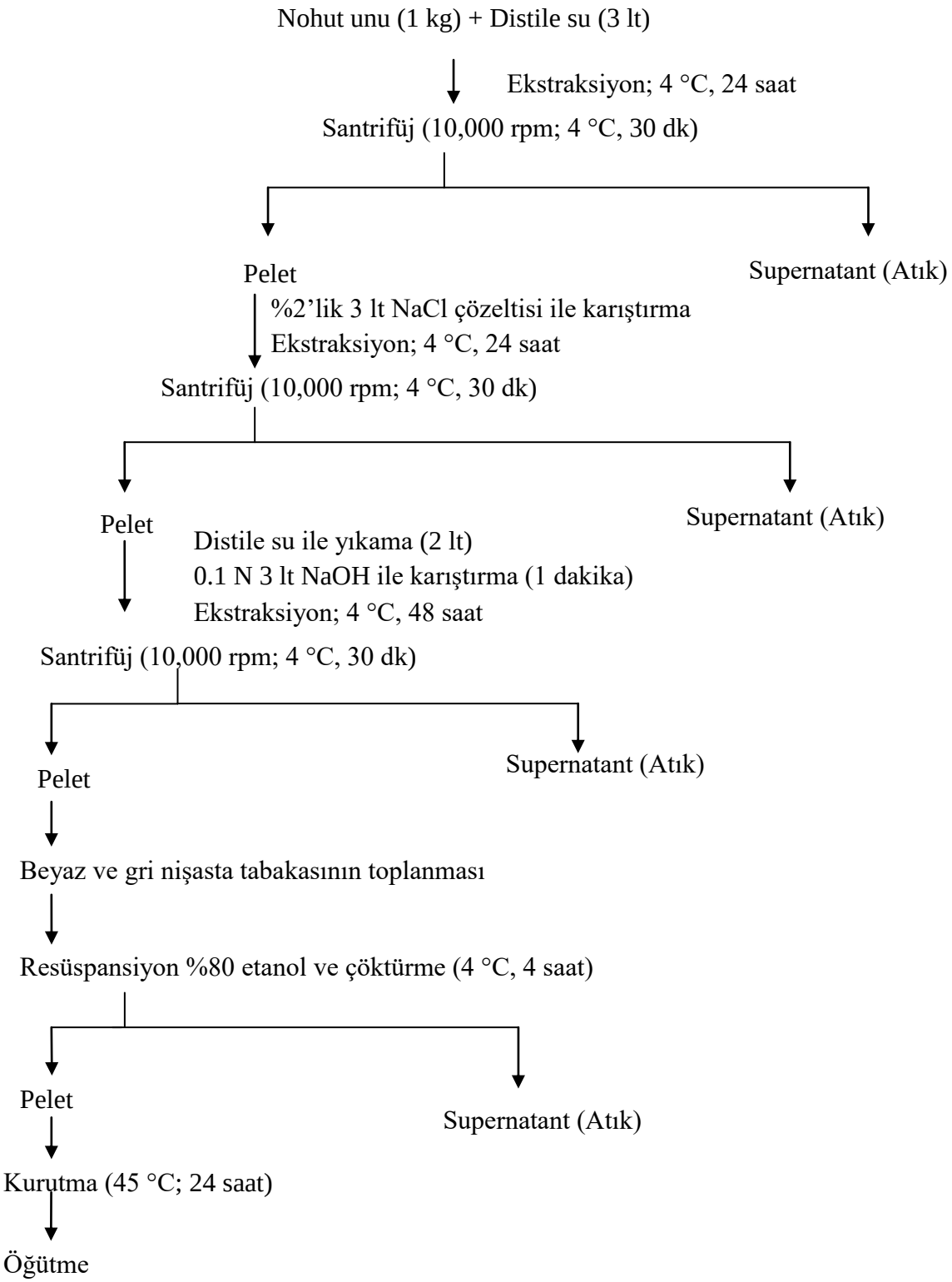
3.2.1. Nohutun Bileşenlerine Ayrılması

3.2.1.1. Nişasta İzolasyonu

Nohut unundan nişasta izolasyonu için Sathe ve Salunkhe (1981) tarafından önerilen yöntem uyarlanarak kullanılmıştır (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). Ayırma işlemleri sırasında kesikli santrifüj (SİGMA, 3-30K, Osterode am Harz, Almanya) kullanılmıştır. Nişasta verimini arttırmak amacıyla beyaz ve gri nişasta tabakasının toplanması aşamasından önceki basamaklar (Şekil 3.2) iki kez tekrarlanmıştır.



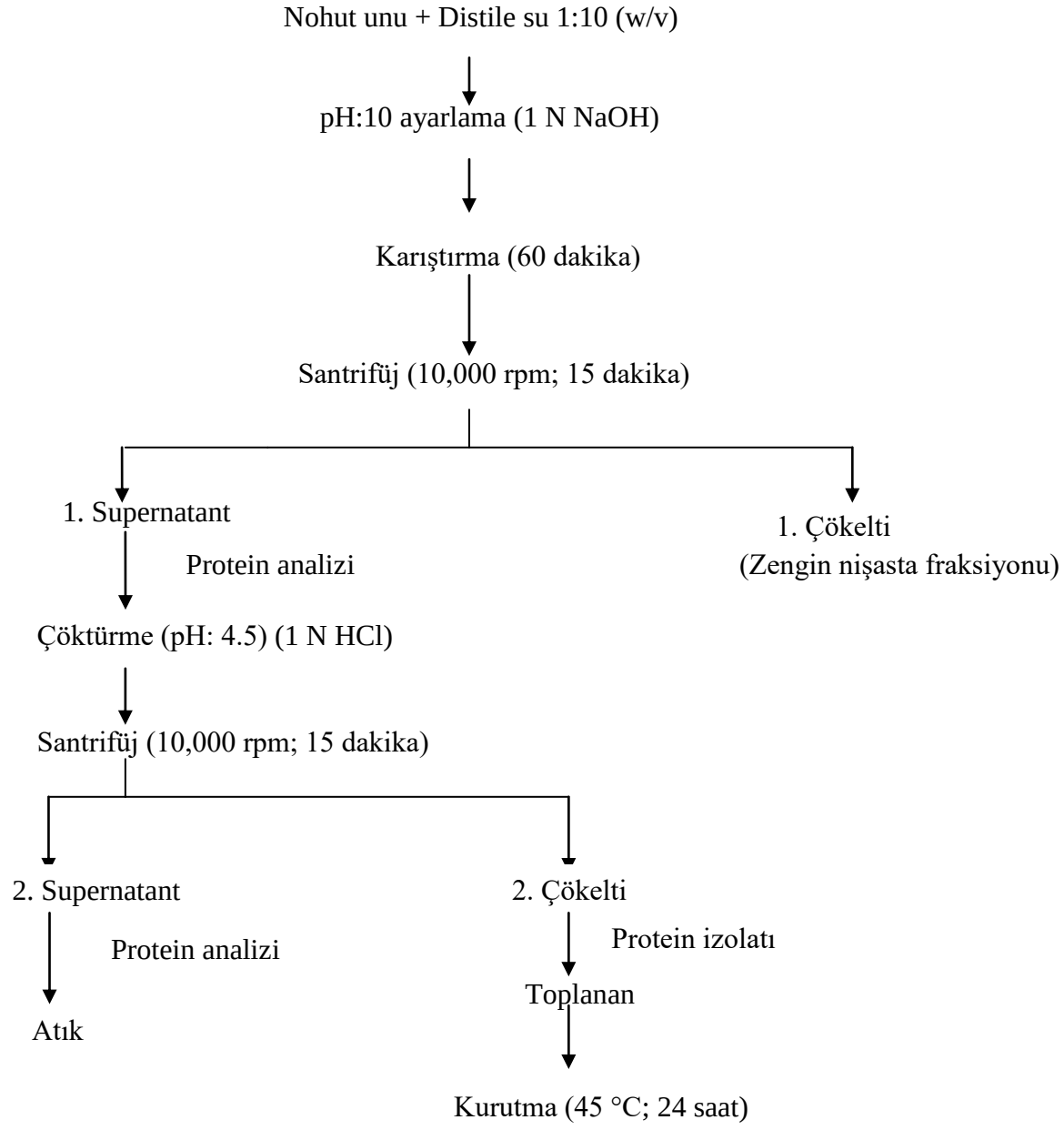
Şekil 3.1. Nohut unundan elde edilen nohut nişastası.



Şekil 3.2. Nohut nişasta izolasyonu akış şeması.

3.2.1.2. Protein İzolasyonu

Nohut unundan protein izolasyonu Doğan (2000) tarafından önerilen yöntemin optimum koşullarında (Ekstraksiyon pH:10; çözünen:çözücü oranı 1:10; ekstraksiyon süresi 60 dk; çöktürme pH 4.5) yapılmıştır (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4). Ayırma işlemleri sırasında kesikli santrifüj (SİGMA, 3-30K, Osterode am Harz, Almanya) kullanılmıştır. Protein analizi Biuret yöntemiyle belirlenmiştir (Torten ve Whitaker, 1964). Standart eğriler hazırlanarak protein miktarları hesaplanmıştır.



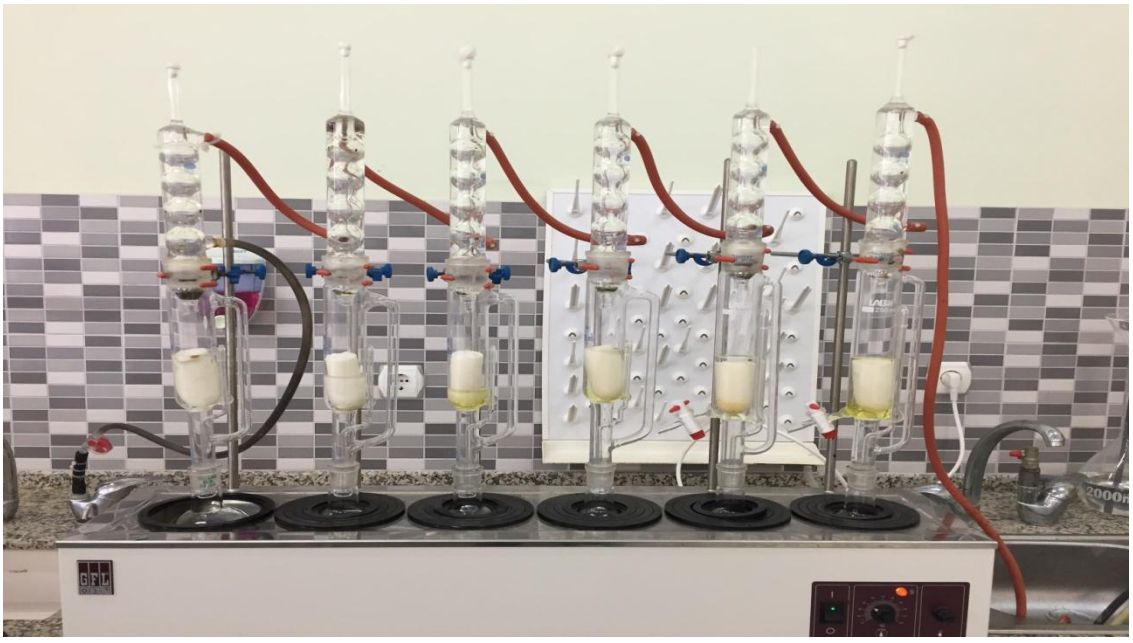
Şekil 3.3. Protein eldesi akış şeması.



Şekil 3.4. Nohut unundan elde edilen nohut proteini.

3.2.1.3. Nohut Unu ve Bileşenlerinden Lipitlerin Uzaklaştırılması

Nohut unu, nohut nişastası ve nohut proteini örnekleri yarı-kesikli–Soxhlet yöntemiyle lipit bileşenlerinden arındırılmıştır (Şekil 3.5). Her ekstraktör için kartuşlara 5 gram örnek tartılmış ve üzerine yaklaşık olarak 1,5 sifon yapacak kadar çözücü ilave edildikten sonra su banyosuna (55 °C) yerleştirilmiştir. Özütleme işlemi, çözücü olarak seçilen dietil eter (Isolab, Wertheim, Almanya) berraklaşıncaya dek (yaklaşık 5-6 saat) sürdürülmüştür. Soxhlet yöntemiyle lipit bileşenleri uzaklaştırıldıktan sonra, örnekler 45 °C sıcaklıkta 24 saat kurutulmuştur.



Şekil 3.5. Soxhlet yöntemiyle özütleme.

3.2.2. Nohut ve Bileşenlerinin Kimyasal Kompozisyonu ve Karakterizasyon Analizleri

3.2.2.1. Kimyasal Analizler

Nohut unu ile ayrıştırılan nişasta ve protein bileşenlerinin nem tayini (AACC Method No: 44-15.02), kül tayini (AACC Method No: 08-01.01), protein tayini (Kjeldahl metodu kullanılarak AACC Method No: 46-11.02), yağ tayini (Soxhlet yöntemi kullanılarak AACC Method No: 30-25.01) AACC (2000) yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Analiz sonuçları % olarak hesaplanmış, 100'den arta kalan lif dahil toplam karbonhidrat miktarı olarak rapor edilmiştir (denklem 3.1). Protein dönüşüm faktörü 6,25 olarak alınmıştır (Sánchez-Vioque, Clemente, Vioque, Bautista & Millán, 1999). Analizler üç kez tekrarlanmıştır.

% (lif + karbonhidrat) = 100 - % (kül + nem + protein + lipit) (3.1.)

Nohut nişastasının amiloz/amilopektin oranı Chrastil (1987) yöntemi ile hesaplanmıştır (Şekil 3.6). Analizler üç kez tekrarlanmıştır. Amiloz-lipit kompleksi oluşmasını engellemek amacıyla lipit ekstraksiyonu iki kez tekrarlanmıştır. Amiloz ve amilopektin miktarı kalibrasyon eğrisi kullanılarak (Doğan, 2000) hesaplanmıştır (denklem 3.2 ve 3.3).

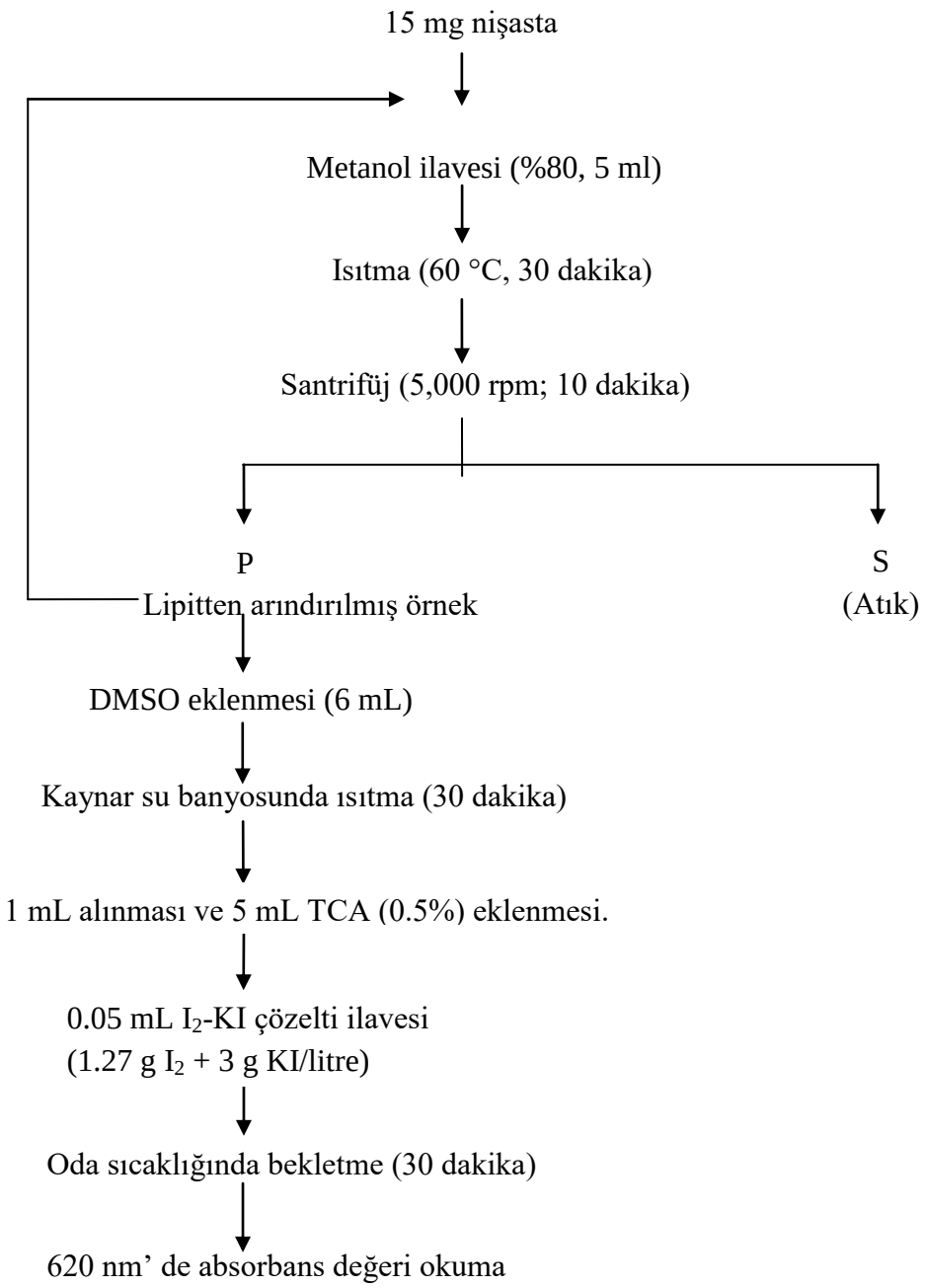
Amiloz (mg/lt) = absorbans*53,2 (3.2.)

Amilopektin (%) = 100 – (yağ + kül + amiloz) (3.3.)

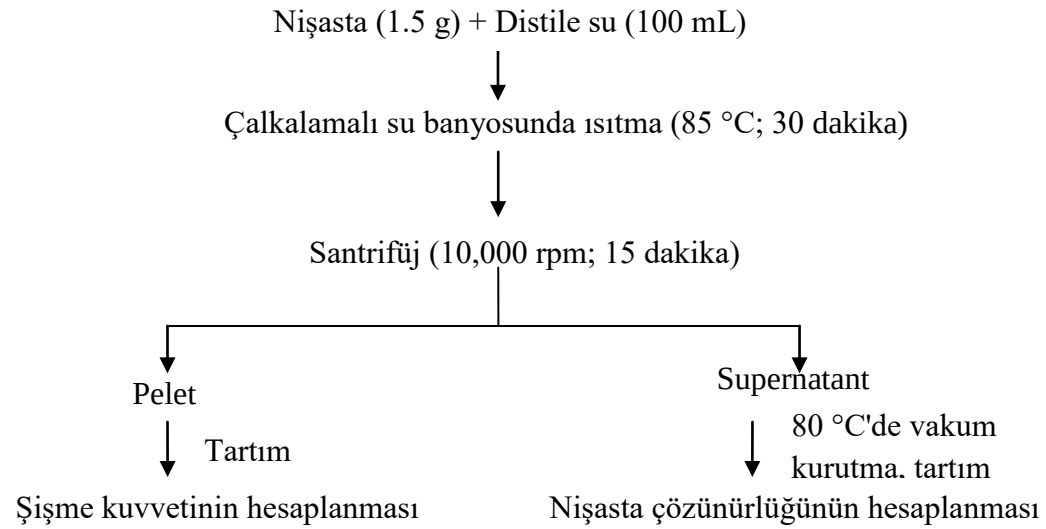
3.2.3. Nohut ve Bileşenlerinin Teknolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

3.2.3.1. Çözünürlük, Şişme Kuvveti ve Su Tutma Kapasitesi

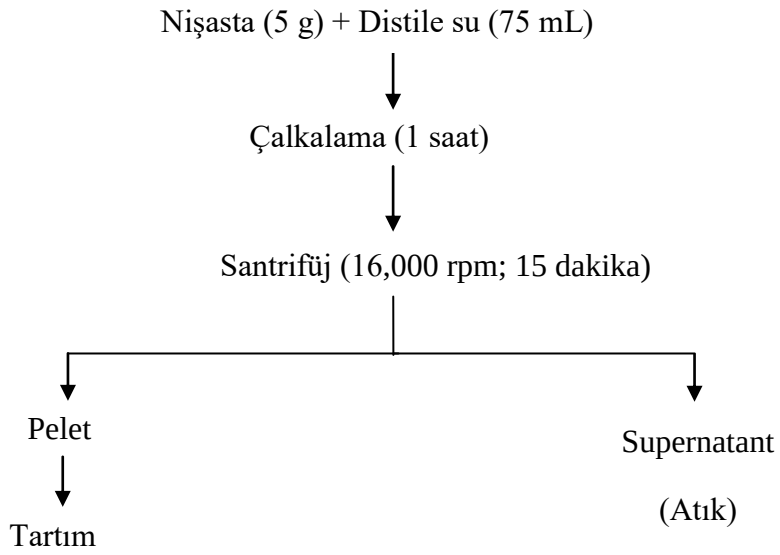
Nohut nişastasının çözünürlük ve şişme kuvveti tayini, Schoch (1964) metodu modifiye edilerek yapılmıştır (Şekil 3.7) (Doğan, 2000). Su tutma kapasitesinin tayininde Garg ve Jana (2011) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır (Şekil 3.8). Ayırma işlemleri sırasında kesikli santrifüj (SİGMA, 3-30K, Osterode am Harz, Almanya) kullanılmıştır. Çözünürlük değeri, şişme kuvveti ve su tutma kapasitesi (3.4), (3.5) ve (3.6) 'de verilen denklemlere göre hesaplanmıştır. Analizler üç kez tekrarlanmıştır.



Şekil 3.6. Nohut nişastası amiloz/amilopektin oranı akış diyagramı.



Şekil 3.7. Nohut nişastası çözünürlük ve şişme kuvveti akış diyagramı.



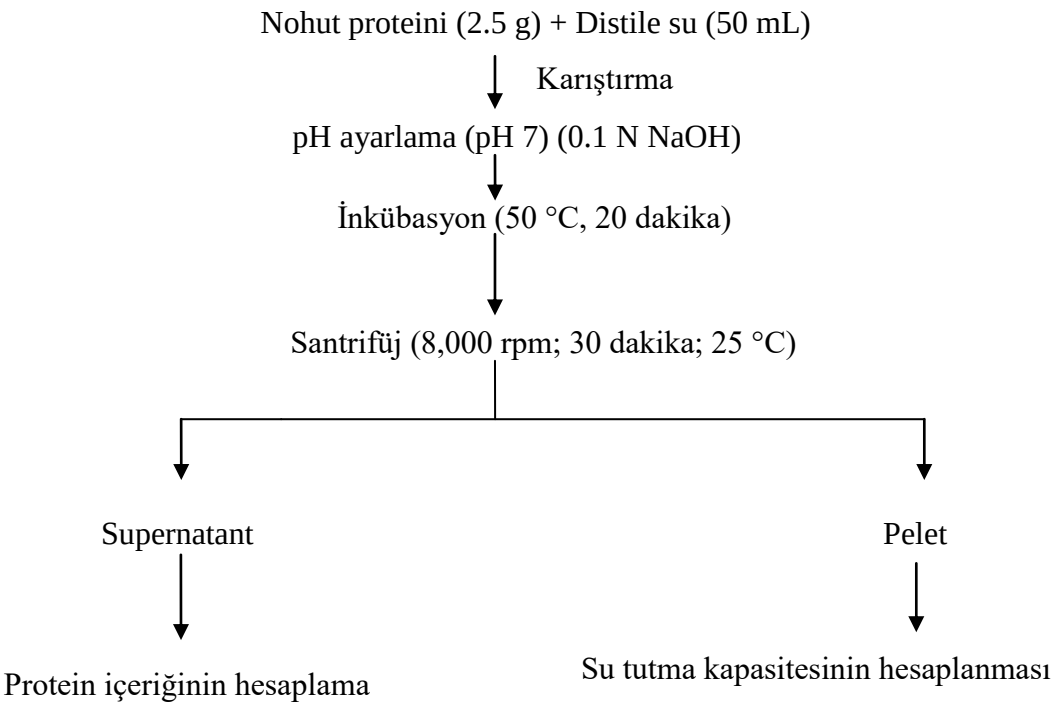
Şekil 3.8. Nohut nişastası su tutma kapasitesi akış diyagramı.

$$\text{Çözünürlük}(\%) = \frac{\textbf{Sıvı kısımda çözünmüş madde miktarı}}{\textbf{tartılan örnek miktarı}} * 100 \qquad (3.4.)$$

$$\text{Şişme kuvveti} = \frac{\textbf{çökeltinin ağırlığı}}{\textbf{kuru örnek ağırlığı} * (\textbf{100} - \% \textbf{ çözünürlük})} \qquad (3.5.)$$

$$\text{Su tutma kapasitesi (\%)} = \frac{\textbf{Yaş kalıntı miktarı}}{\textbf{kuru örnek ağırlığı}} *100 \qquad (3.6.)$$

Nohut proteinlerinin su tutma kapasitesi ve çözünürlük değerleri Lin ve Zayes (1987), Thompson (1977), McWatters ve Cherry (1977) tarafından kullanılan metotların modifiye edilmesi ile (denklem 3.7 ve 3.8) hesaplanmıştır (Şekil 3.9) (Doğan, 2000). Ayırma işlemleri sırasında kesikli santrifüj (SİGMA, 3-30K, Osterode am Harz, Almanya) kullanılmıştır. Analizler üç kez tekrarlanmıştır.



Şekil 3.9. Nohut proteinlerinin su tutma kapasitesi ve çözünürlük akış diyagramı.

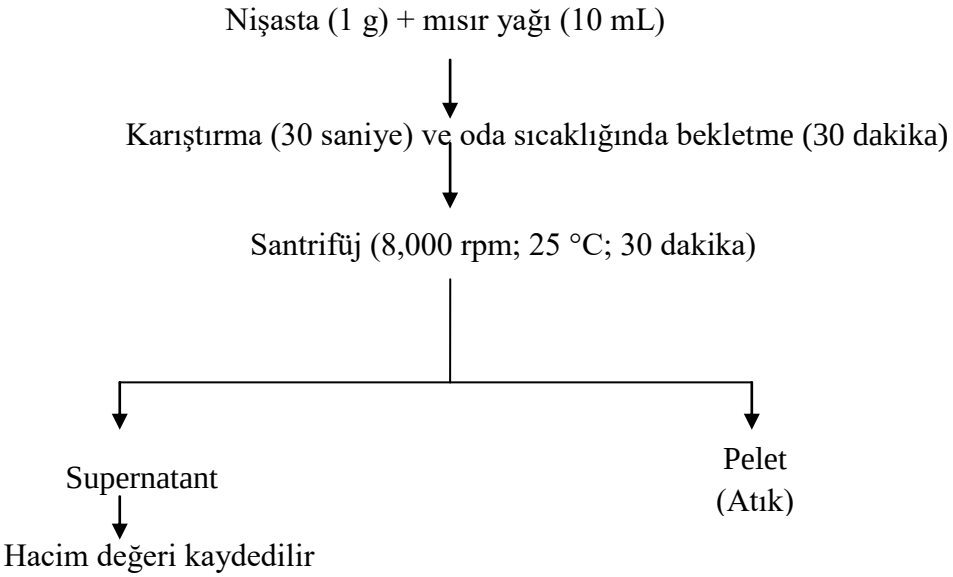
$$\text{Su tutma kapasitesi} = \frac{\textbf{g absorblanan su}}{\textbf{kuru örnek ağırlığı}*(\textbf{100}-\textbf{\% çözünürlük})} *100 \qquad (3.7.)$$

$$\text{Çözünürlük (\%)} = \frac{\textbf{g çözünmüş protein/g örnek}}{\textbf{g protein/g örnek}} *100 \qquad (3.8.)$$

3.2.3.2. Yağ Tutma Kapasitesi

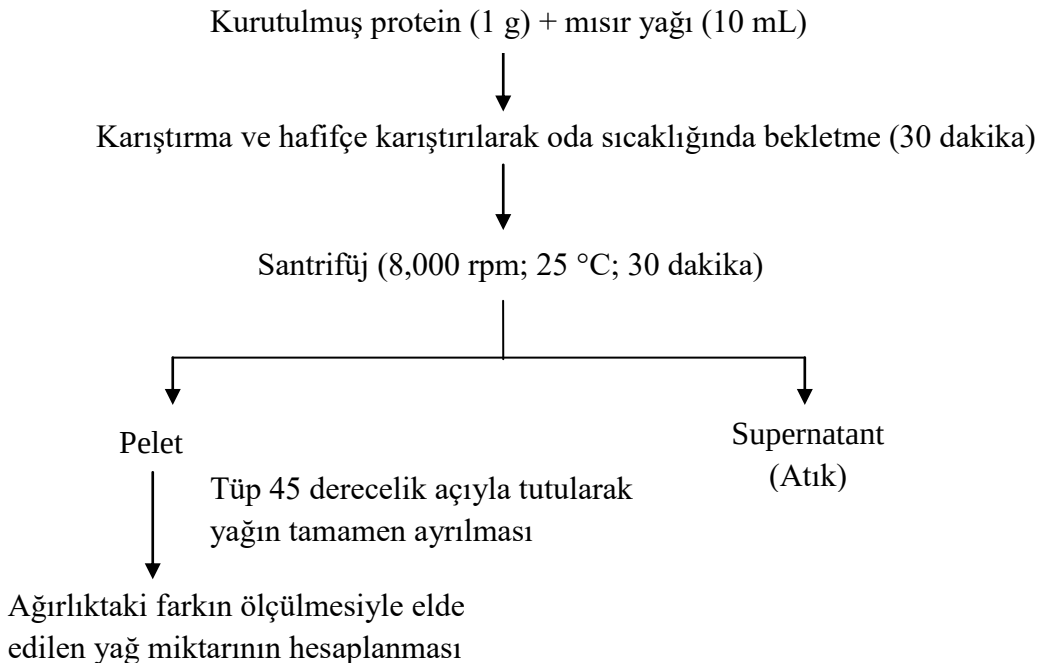
Nohut nişastasının yağ tutma kapasitesi Sathe ve Salunkhe (1981) tarafından önerilen yöntem esas alınarak belirlenmiştir (denklem 3.9) (Şekil 3.10). Nohut proteinlerinin yağ tutma kapasitesinin belirlenmesinde Singh ve Singh (1991) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır (Şekil 3.11). Ayırma işlemleri sırasında kesikli santrifüj

(SİGMA, 3-30K, Osterode am Harz, Almanya) kullanılmıştır. Çalışmada mısır yağı (Şok Marketler Tic. A. Ş., İstanbul) kullanılmış ve analizler üç kez tekrarlanmıştır.



Şekil 3.10. Nohut nişastasının yağ tutma kapasitesi akış diyagramı.

$$\text{Yağ tutma kapasitesi (g yağ/ g örnek)} = \frac{(\textbf{Absorplanan yağ hacmi}) * (\textbf{yağ özkütlesi})}{\textbf{kuru örnek ağırlığı}} \quad (3.9.)$$

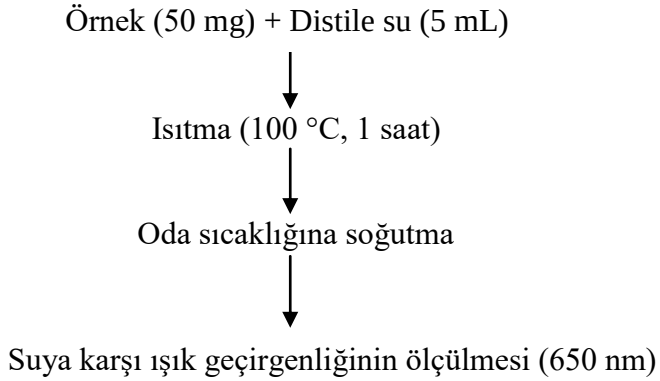


Şekil 3.11. Nohut proteini yağ tutma kapasitesi akış diyagramı.

$$\text{Yağ tutma kapasitesi (g yağ/ g örnek)} = \frac{(\textbf{Absorplanan yağ hacmi}) * (\textbf{yağ özkütlesi})}{\textbf{kuru örnek ağırlığı}} \quad (3.10.)$$

3.2.3.3. Bulamaç Berraklığı

Nişastanın berraklık özellikleri Craig, Maningat, Seib & Hoseney (1989) tarafından önerilen yöntem çerçevesinde belirlenmiştir (Şekil 3.12). Berraklık ölçümleri 650 nm dalga boyunda spektrofotometre (UV-1800 240V, Shimadzu Corporation, Japonya) kullanılarak belirlenmiştir. Analizler üç kez tekrarlanmıştır.



Şekil 3.12. Nohut nişastası bulamaç berraklık akış diyagramı.

3.2.4. Fizikokimyasal Özelliklerin Belirlenmesi

3.2.4.1. Sorpsiyon İzotermlerinin Belirlenmesi

Nohut unu, nohut nişastası ve proteiniyle lipitten arındırılmış örneklerin sorpsiyon izotermleri, farklı su aktivitelerine sahip doygun tuz çözeltileri (Çizelge 3.1) kullanılarak 35 °C'de gravimetrik metot ile belirlenmiştir (Caballero-Cerón vd., 2015; Wolf, Spiess & Jung, 1985). 1,5 g tartılan örnekler LiCl, CH_3COOK, K_2CO_3, $Mg(NO_3)_2$, NaCl, KCl, $BaCl_2$ doymuş çözeltileri içeren hava geçirmez 7 farklı kaba yerleştirilmiştir. Örnekler ve referans madde olarak kullanılan mikrokristal selüloz, çözelti ile temas etmeyecek şekilde hazırlanan platforma yerleştirilmiştir (Şekil 3.13). Küf oluşumunu engellemek amacı ile su aktivitesi 0,75'ten fazla olan kaplardaki doygun tuz çözeltilerine iki damla kekik yağı eklenmiştir. Kaplar, örneklerin dengeye gelmeleri için 35 °C sıcaklıkta inkübatörde bekletilmiştir. Örnekler belirli aralıklarla tartılmış ve iki ölçüm arasındaki ağırlık farkı 0,001 g olduğunda örneklerin dengeye geldikleri kabul edilmiştir. Örneklerin dengeye gelmeleri yaklaşık olarak 3-4 hafta

sürmüştür. Dengeye gelen örneklerin nem içerikleri nem tayin cihazı (RADWAG MA 50 R, Radom, Polonya) kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar kuru bazda hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1. 35°C'de doygun tuz çözeltileri su aktivite değerleri (Caballero-Cerón vd., 2015).

Tuz	**Su aktivitesi a_w**
Lityum klorür (LiCl)	0,113
Potasyum asetat(CH_3COOK)	0,237
Potasyum karbonat (K_2CO_3)	0,431
Magnezyum nitrat ($Mg(NO_3)_2$)	0,499
Sodyum klorür (NaCl)	0,752
Potasyum klorür (KCl)	0,830
Baryum klorür ($BaCl_2$)	0,898



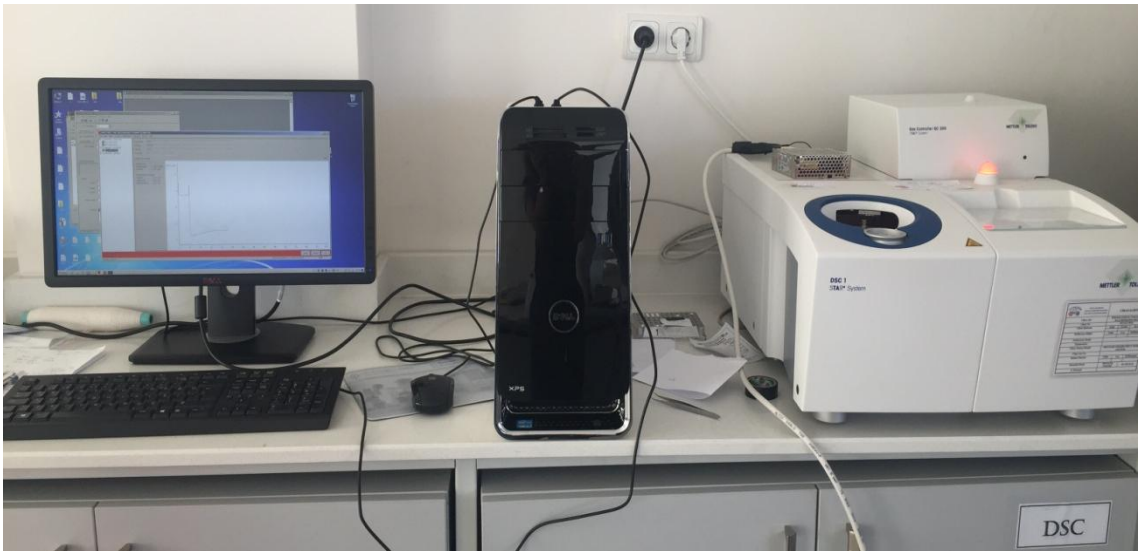
Şekil 3.13. Sorpsiyon izotermi için kullanılan kaplar.

Örneklerin 35 °C sıcaklıktaki deneysel sorpsiyon değerleri Çizelge 2.2'de verilen sorpsiyon denklemleri kullanılarak modellenmiştir. Sorpsiyon modellerinin parametreleri (A, B, C, K ve M_0), deneysel verilerden SPSS 22 (IBM Corp. Armonk, NY, ABD) programı kullanılarak doğrusal olmayan regresyon analizi ile belirlenmiştir.

3.2.4.2. Termal Özelliklerin Belirlenmesi

Nohut ve bileşenleri ile lipitten arındırılmış örneklerin termal özellikleri Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) (Mettler Toledo DSC 1, Schwerzenbach, İsviçre) kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 3.14). 5 mg örnek alüminyum tavacıklara tartılmış, 1:1 (w/v), 1:2 (w/v) örnek:su oranında ve %20 nem değerini sağlayacak şekilde distile su ilave edilen tavacıklar hermetik olarak kapatılmış, +4 °C' de 24 saat bekletilmiştir. Örnekler 4°C/dak ısıtma hızıyla 20°C' den 150°C' a ısıtılmış, sonra 150 °C' den 20 °C' ye soğutulmuştur. Referans olarak boş DSC kabı kullanılmıştır.

Nohut unu ve bileşenleri örnek grupları için pik başlangıç noktası (T_o) ve pik bitiş noktası (T_e) belirlenmiş, nohut unu ve nohut nişastası pik tepe noktası (T_p) jelatinizasyon sıcaklığı olarak, nohut proteini pik tepe noktası (T_p) protein denatürasyon sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. Pik alanı entalpi değeri (ΔH değeri) olarak belirlenmiştir. Başlangıç, tepe ve bitiş sıcaklıkları ile entalpi değerleri cihaza ait yazılım programı STAR^e Software (Mettler Toledo, Greinfensee, Switzerland) ile belirlenmiştir.



Şekil 3.14. DSC cihazı (Trakya Üniversitesi, Edirne).

3.2.5. İstatistiksel Değerlendirme

Analiz sonuçlarının standart sapmaları ve değişkenlik katsayıları Microsoft Excel 2007 programı kullanılarak hesaplanmıştır.

SPSS 22 (IBM Corp. Armonk, NY, ABD) programı kullanılarak Duncan çoklu karşılaştırma testi ile bileşenlerin ortalama değerlerinden farklılık belirlenmiştir ($p<0,05$).

SPSS 22 (IBM Corp. Armonk, NY, ABD) istatistik programı kullanılarak lineer olmayan eşitliklerin katsayıları bulunmuştur. Sorpsiyon eğrilerinin model denklemlere uygunluk derecelerinin belirlenmesi için regresyon katsayıları kullanılmıştır.

BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu araştırmanın temel amacı nohutun glisemik indeksinin düşük olması ve glüten içermemesi nedeniyle unlu mamuller endüstrisinde kullanılıp kullanılamayacağının veya hangi alanlarında kullanılabileceğinin belirlenmesidir. Bu ana amaç çerçevesinde nohut unu, protein ve nişasta bileşenlerine ayrıştırılarak nohut bileşenlerinin teknolojik özellikleri buğday bileşenlerinin teknolojik özellikleriyle karşılaştırılmıştır. Tahıllarla karşılaştırıldığında nohutun yüksek lipit içeriğinin, nohut bileşenlerinin teknolojik özelliklerini nasıl etkilediği göz önüne alınmıştır. Bu nedenle, tüm deneysel çalışmalar; nohut unu, lipitten arındırılmış nohut unu, nohut nişastası, lipitten arındırılmış nohut nişastası, nohut proteini ve lipitten arındırılmış nohut proteini olmak üzere 6 grup örnek üzerinde yürütülmüştür. Bu araştırmanın baklagillere un ve unlu mamuller endüstrisinde kullanım alanları açmak için bileşenlerinin teknolojik özelliklerinin nasıl uyarlanması gerektiği konusunda öneriler sunması beklenmektedir.

4.1. Nohut Unu ve Bileşenlerinin Kimyasal Bileşimleri

4.1.1. Nohut Ununun Kimyasal Bileşimi

Nohut tanesinin bileşiminin; cinsi, yetiştirildiği coğrafyadaki iklim koşulları, mevsimlik değişimler, toprağın yapısı ve sulama koşullarıyla değişmesi beklenen bir sonuçtur. Buna bağlı olarak, nohut ununun da bileşiminin aynı çerçevede değişmesi

beklenir. Buna ek olarak, nohut tanelerinin depolandığı koşullarla, nohut tanelerinin öğütülüp un haline getirildikten sonraki paketleme, nakliye ve saklama koşulları da unun nem oranını belirleyen en önemli etmenlerdir. Klasik bileşim belirleme yöntemlerinde; nem, kül, yağ ve protein içerikleri belirlendikten sonra, karbonhidrat miktarı, toplam madde miktarıyla bu bileşenlerin toplamı arasındaki fark olarak hesaplanır (Denklem 3.1). Bu çerçevede aynı AACC standart teknikleri (AACC Method No: 44-15.02; AACC Method No: 08-01.01; AACC Method No: 46-11.02 (Kjeldahl metodu); AACC Method No: 30-25.01 (Soxhlet yöntemi)) uygulanmış olsa da kaba bileşim analizi (proximate composition) açısından literatürdeki verilerin birbirleriyle ve yapılan çalışmayla (Çizelge 4.1) bire bir uyum içinde olması beklenmez.

Bu çalışmada kullanılan nohut unu literatürdeki verilerle karşılaştırıldığında; mineral içeriği açısından oldukça düşük kül içeriği (Çizelge 4.1), lipit içeriği açısından oldukça yüksek (8,40>7.69>5,87 g/100 g (kb) (Çizelge 4.1) ve protein içeriği açısından ortalama (23,4>22,72>22,4) g/100 g (kb) (Çizelge 4.1) değerlere sahiptir. Ancak, bu çalışmada kullanılan nohut ununun mineral içeriği açısından sert ve yumuşak buğday türlerinin yaklaşık 2-3 katı, lipit içeriği açısından 5-7 katı, protein içeriği açısından 1,5-2,0 katıdır (Şekil 4.1). Dolayısıyla, besin değeri buğdaydan çok daha yüksek olan nohutun unlu mamuller endüstrisinde kullanılmasının önünü açabilecek girişimler gıda endüstrisi için önemli gelişmeler sağlayabilecektir. Ancak, nohuttaki protein miktarının yüksekliği besin değeri açısından esansiyel amino asit içeriği çalışılmadan büyük anlam taşımadığı gibi, proteinin işlevselliği çalışılmadan da endüstriyel önemi belirlenemez.

Bu çalışmada nohut ununun unlu mamuller endüstrisi açısından işlevselliğinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Endüstriyel kullanım hedeflendiğinde incelenecek birincil özellikler teknolojik özellikleridir. Nohut gibi lif ve lipit içeriği yüksek, karmaşık materyaller için protein ve nişasta bileşenlerinin katkıları, lipit içeriğinin teknolojik özelliklere olumlu/olumsuz katkılarının incelenmesi uygun bulunmuştur. Bu nedenle nohut unu protein ve nişasta bileşenlerine ayrıştırılmış, nohut unu ve bileşenlerinin özellikleri lipitten arındırılmış halleriyle de belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Nohut ve bileşenleri kimyasal içerikleri (n[1]=3).

		Nem (g/100 g)		**Kül (g/100 g, kb)[10]**		**Lipit (g/100 g, kb)[10]**		**Protein (g/100 g, kb)[3,10]**		**CHO+lif (g/100 g, kb)[10]**	
		Ortalama	DK[2]	Ortalama	DK[2]	Ortalama	DK[2]	Ortalama	DK[2]	Ortalama	DK[2]
Bu çalışma	NU[4]	9,19	0,16	2,70	0,20	7,69	2,68	22,72	0,12	66,89	0,29
	NU-L[5]	9,01	0,10	2,81	0,55	-		24,22	0,46	72,97	0,17
	NN[6]	11,88	1,88	2,33	0,12	1,49	0,52	3,13	0,34	93,05	0,02
	NN-L[7]	11,91	0,46	2,37	0,26	-		3,22	0,31	94,41	0,01
	NP[8]	5,90	0,36	2,86	0,43	21,34	0,50	65,58	0,23	10,22	1,06
	NP-L[9]	6,67	0,72	3,12	0,16	-		86,36	0,06	10,53	0,67
Kaynak		Ortalama		Ortalama		Ortalama		Ortalama		Ortalama	
Ghribi vd. (2015a)	NU[4]			3,18		5,87		22,4		68,55	
Kaur & Sing (2007)	NU-L[5]			2,86		1,10		24,84		71,2	
	NP-L[9]			1,04		0,88		93,39		4,69	
Sánchez-Vioque vd. (1998)	NU-L[5]	8,1		3,4		1,4		22,7		64,4	
	NP-L[8]	3,3		2,8		3,4		75,0		15,5	
Polesi, Sarmento & Anjos (2011)	NN[6]			0,10		0,01		0,31		-	
Aurelia vd. (2009)	NU[4]	9,18		3,21		6,65		23,08		57,88	
	NU-L[5]	10,11		3,53		0,66		23,53		62,17	
	NP-L[9]	4,03		2,85		1,25		81,54		10,33	
Romero-Baranzini, vd. (1995)	NU[4]	-		3,02		8,4		23,4		63,50	
	NP[8]	-		3,19		14,8		65,0		17,01	

[1]Analiz tekrar sayısı, [2]Değişkenlik katsayısı (verilerin standart sapması/aritmetik ortalama*100), [3]N*6,25, [4]NU=Nohut unu, [5]NU-L=Lipitten arındırılmış nohut unu, [6]NN=Nohut nişastası, [7]NN-L=Lipitten arındırılmış nohut nişastası, [8]NP=Nohut proteini, [9]NP-L=Lipitten arındırılmış nohut proteini, [10]kb=g/100 g kuru madde.

4.1.2. Nohut Ununun Bileşenlerine Ayrıştırılması

4.1.2.1. Nohut Nişastasının Ayrıştırılması

Nohut nişastasının kimyasal bileşimi ayrıştırma tekniğine ve saflaştırma aşamalarına bağlıdır. Nohutun nişasta ve protein bileşenlerine ayrışmasında nişasta verimi, elde edilen g nişasta izolatı/g nohut; nişasta kazanımı ise 1 g nohutta başlangıçta bulunan nişastanın ayrıştırma/saflaştırma işlemlerinden sonra % kaçının elde edildiğini gösterir. Dolayısıyla, ayrıştırma kazanımının veriminden yüksek olması beklenir. Bu çalışma sonucunda nohut ununda nişastanın ayrılmasında kazanım % 48,24; verim ise % 39,56 olarak bulunmuştur. Literatür verileri farklı baklagillerde nişasta ayırma verimini % 27-52,1 arasında, nohut nişastası içinse ayrıştırma verimini % 29-40 arasında bulmuşlardır (Doğan, 2000; Hoover & Ratnayake, 2002; Lineback & Ke, 1975; Miao, Zhang & Jiang, 2009b; Sathe & Salunkhe, 1981; Sayar, Koksel & Turhan, 2005; Sung & Stone, 2004). Bu çalışmada elde edilen veriler literatürde bulunan verilerin üst sınırına yakındır. Dolayısıyla, elde edilen kazanım ve verim değerleri çerçevesinde uygulanan yöntemin nohut nişastasının ayrıştırılması açısından başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, ayrıştırma kazanım ve veriminin yüksek olması saflaştırma işleminin yeterli olduğunu göstermez.

Nişastanın ayrıştırılması sürecindeki kritik parametreler; nohut ununda nişastayla birlikte bulunan protein, yağ ve lif miktarlarının tahıllardan çok daha yüksek olması nedeniyle saflaştırma sırasında kullanılan çözücü türü ve miktarı ile özütleme süresi ve sıcaklığıdır. Nişasta, lipit ve protein gibi farklı bileşenlerden arındırılarak saflaştırma amacıyla çeşitli çözücülerle yıkanır (su, NaCl çözeltisi, NaOH çözeltisi, %80 etanol). Su ve NaCl çözeltisi ile suda çözünen proteinler; etanol ile prolaminler ve lipitler; NaOH çözeltisi ile glutelinler ekstrakte edilerek uzaklaştırılır (Deep Singh, Wani, Kaur & Sogi, 2008). Ancak, baklagiller yüksek oranda hidratlanmış ince lif fraksiyonu ve yüksek oranda çözünmeyen protein içeriğine sahip olduklarından, yıkama aşamalarıyla baklagil nişastalarının saflaştırılması zordur (Schoch & Maywald, 1968).

Nişasta veriminin düşük görünmesinin nedeni her yıkama aşamasında karşılaşılan nişasta kayıplarıdır. Çözücü miktarı ve ekstraksiyon süresinin artması ise

hidrofilik protein gruplarının seçici olarak çözünmesine neden olur ve nişasta bileşimini etkiler.

4.1.2.2. Nohut Nişastasının Kimyasal Bileşimi

Nohuttan ayrıştırılan nişasta, 3,13 g/100 g (kb) (Çizelge 4.1) protein içermektedir. Ayrıştırma işlemleri sonrasında lipit bileşeni nişasta bileşeninin yalnızca 1,49 g/100 gramını (kb) oluşturacak biçimde korunmuştur. Lipitlerin hidrofobik doğası etanol ile yapılan nişasta ayrıştırma aşamalarında nişasta bileşenine yüksek oranda geçmelerini engellemiş, ancak protein bileşenin nişasta ayrıştırma işleminin yapıldığı NaOH ile yıkama aşamasındaki pH değerinde çözünen bölümü nişasta bileşenine geçmiştir. Nişasta ayrıştırması sonucunda mineral içeriğinin de büyük ölçüde korunduğu gözlemlenmiştir (Çizelge 4.1). Nişasta bileşeninden minerallerin ayrılması işleminin etkisi çok basamaklı suyla yıkama ile yapılabilir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar çerçevesinde nohutun nişasta bileşeninin nohut ununun unlu mamuller endüstrisinde işlenmesinde olumlu katkıları olduğu gözlemlenirse, nişasta saflaştırma işlemlerinin tepki yüzeyi yöntemleri kullanılarak deneysel bir tasarım planı çerçevesinde, farklı çözücü, çözücü sıralaması ve çözücü-çözünen oranının ve tekrar sayısının arttırılması gibi ayrıştırma koşullarının optimize edilmesi mümkündür. Bileşenlerin ayrı ayrı uyarlandıktan sonra hamurda kullanılması planlandığında nişasta saflığı önem taşıyacaktır.

4.1.2.3. Nohut Proteininin Ayrıştırılması

Nohut unundan proteinin ayrılmasında geri kazanım %16,11 iken verim %9,94 olarak hesaplanmıştır. Protein verimi ve kazanımının nişastaya göre çok daha düşük olarak gözlenmiştir. Nohut unundan proteinin ayrıştırılması sırasında uygulanan temel basamaklar, proteinin çözündürülmesi ve çöktürülmesinden oluşur. Bu aşamaların her birindeki un: su oranı, pH ve ekstraksiyon süresi proteinin ayrıştırma verimini etkiler. Bu çalışmada protein alkali koşullarda (pH:10) çözündürülmüş, çöktürme ise asidik ortamda (pH:4,5) yapılmıştır. Çöktürme işlemi izoelektrik nokta (Alsohaimy, Sitohy & El-Masry, 2007; Chang, Alli, Molina, Konishi & Boye, 2012) civarında yapılmıştır. Alkali ortamda çözündürme nedeni, izoelektrik noktaları asidik ortamda yer alan proteinlerin alkali ortamda net pozitif veya negatif yüklere sahip olmaları sonucunda

birbirlerini itmeleri ve bunun sonucunda azalan hidrofobik etkileşimlerin çözünmeyi desteklemesidir. Bu yolla çözündürülen proteinler, izoelektrik nokta civarındaki pH değerlerinde pozitif ve negatif yüklerin eşitlenmesi tam tersine çekme kuvvetlerinin etkisi altında kalırlar. Çekme kuvveti altında artan hidrofobik etkileşimler proteinlerin su yerine birbirleriyle etkileşime girmelerini ve bunun sonucunda çökelmelerini sağlar (Wong, 1989). İzoelektrik çöktürme özellikle baklagil proteinlerinin ayrıştırılmasında sıklıkla kullanılan bir yöntemdir ve literatürde bu yöntemle yüksek oranda protein içeriğine sahip protein izolatları elde edildiği görülmüştür (Paredes-López, Ordorica-Falomir & Olivares-Vazquez, 1991; Sánchez-Vioque vd., 1998; Sibt-e Abbas vd., 2015; Tang, 2008). Tuz çözeltisi kullanarak çöktürme yöntemi de kullanılmış, fakat izoelektrik çöktürmenin daha etkili olduğu bulunmuştur (Karaca, Low & Nickerson, 2011). Tuzla çöktürme etkinliğinin düşük olmasının en önemli nedeni iyonlaşmış tuzlarla proteinler arasındaki kuvvetli iyonik etkileşimlerin protein molekülleri arasındaki hidrofobik etkileşimleri sonucunda çökeltme veriminin azalmasıdır (Paredes-López vd., 1991). Dolayısıyla, nohut ununun yüksek mineral içeriği asitle çöktürme sırasında klorlanmış tuzlara dönüşerek çöktürme verimi ve kazanımını etkiler. Protein verimi ve kazanımını artırmak için nohut unu ön yıkama basamaklarından geçirilerek mineral içeriği uzaklaştırılabilir.

Literatürde, proteinin de ayrıştırılmasında lipit engelinin ortadan kaldırılması amacıyla proteinin ayrıştırma basamağından önce lipit ekstraksiyonu yapılmıştır (Patharkar, 2018). Ancak, bu çalışmanın amacı lipit içeren ve lipitlerden arındırılmış protein bileşeninin özelliklerini karşılaştırmak olduğu için başlangıçta lipit ekstraksiyonu yapılmamış, bu nedenle kazanım ve verim değerleri düşük kalmıştır.

4.1.2.4. Nohut Proteininin Kimyasal Bileşimi

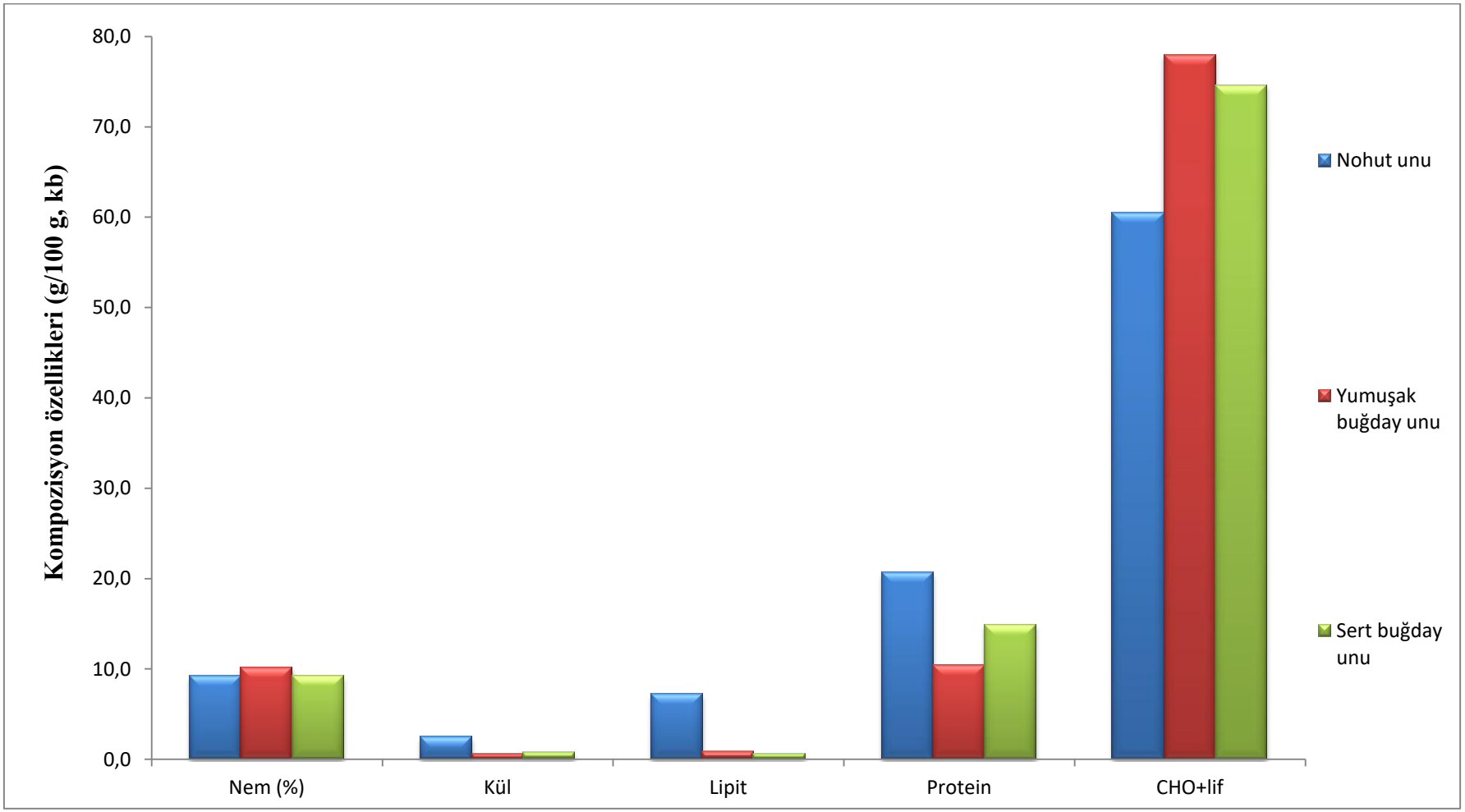
Ayrıştırma işlemleri sonrasında lipit bileşeni yalnızca nişasta bileşeninin 1,49g/100 gramını (kb) oluşturacak biçimde korunmuş, oysa protein bileşeninin 21,34 g/100 gramını (kb) (Çizelge 4.1) oluşturacak biçimde korunmuştur. Lipit bileşeni, çözündürme ve çökeltme işlemleri sırasında protein bileşeninde korunmuştur.

Karbonhidrat bileşeni protein bileşeninde 10,22 g/100 g (kb) (Çizelge 4.1) olacak biçimde korunmuştur. Bunun birinci nedeni nişastanın çözünen fraksiyonun protein çözündürme işlemi sırasında çözeltiye geçerek bir bölümünün protein

bileşeniyle birlikte çökelmiş olmasıdır. Bir başka nedeni ise yüksek oranda su çekerek şişmiş olan lif fraksiyonunun protein matrisi içinde tutunmuş olmasıdır (Chel-Guerrero, Perez-Flores, Betancur-Ancona & Davila-Ortiz, 2002; Schoch & Maywald, 1968).

Çözündürme işlemi sırasında protein bileşeniyle birlikte mineral içeriği de çözünmüş ve protein bileşeninde korunmuştur (Çizelge 4.1). Çözünmüş mineral içeriği asitle çöktürme işlemi sırasında klorlanmış tuzlara dönüşerek çökelmiş veya protein bileşeniyle iyonik bağlar oluşturmuştur.

Literatürde protein saflığı üzerine elde edilmiş verilerin büyük bir bölümünde bileşimdeki lipit oranı bildirilmiş olmakla birlikte, bu oranın lipit ekstraksiyonundan sonra ortamda kalan lipit kalıntısı olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 4.1). Bu çalışmaların çoğunda, amaç protein bileşenini ayrıştırmak olduğundan çözündürme ve çökeltme işlemlerinden önce lipit ekstraksiyonu yapılmıştır. Dolayısıyla, literatürde bildirilmiş olan protein bileşimi bu çalışmadaki lipitten arındırılmış (NP-L) örneklere karşılık gelmektedir. Ancak, bu çalışmada elde edilen sonuçlarla lipit içeren örneklerden protein ayrıştırılan Romero-Baranzini vd., (1995) ile karşılaştırıldığında protein bileşeninin saflığı açısından benzer sonuçlar elde edildiği görülmektedir (Çizelge 4.1). Ön işlem olarak lipit ektraksiyonu yapılan örneklerle, bu çalışmada elde edilmiş olan lipitten arındırılmış örneklerin saflık derecesi (93,39>86,36>81,54 g/100 g) (Çizelge 4.1) ise karşılaştırılabilir niteliktedir.



Şekil 4.1. Nohut unu (bu çalışma), yumuşak buğday unu ve sert buğday unu kimyasal özellikleri (Jagannadham, Parimalavalli, Babu & Rao, 2014; Joshi vd., 2015; Lesego, 2014; Sharoba, Farrag & Abd El-Salam, 2013; Wickramasinghe, Miura, Yamauchi & Noda, 2005).

4.2. Nohut ve Bileşenlerinin Teknolojik Özellikleri

4.2.1. Hamur Kalitesini Etkileyen Teknolojik Özellikler

Unlu mamuller endüstrisinde hammadde olarak kullanılan unun teknolojik özelliklerinin bilinmesi üretim aşamasında büyük önem taşır. Bu teknolojik özelliklerden birisi olan su tutma kapasitesi, unlu mamullerde hamur oluşumu sırasında önemli bir parametredir ve un bileşenlerinin hidrasyonu istenilen kıvamda hamur gelişimini sağlar.

Literatürde yapılan çalışmalarla (Jagannadham vd., 2014; Kaur & Singh, 2005; Sanjeewa, Wanasundara, Pietrasik & Shand, 2010) karşılaştırıldığında bu çalışmada kullanılan nohut ununun nohut için yüksek düzeyde su tutma kapasitesine ($0,79<1,31<1,38$) (Çizelge 4.2) sahip olduğu gözlenmiştir. Nohut unu bileşenlerinin su tutma davranış biçimleri istatistiksel olarak birbirlerinden çok farklıdır ($p<0,05$) ve lipit bileşeni nohut unu ve bileşenlerinin su özümleme davranışını ciddi biçimde etkilemektedir (Çizelge 4.2). Su tutma kapasitesi olarak bilinen su özümleyebilme yeteneği, lipitten arındırılmış nohut nişastası (NN-L) > nohut nişastası (NN) > lipitten arındırılmış nohut proteini (NP-L) > lipitten arındırılmış nohut unu (NU-L) > nohut unu (NU) > nohut proteini (NP) şeklinde sıralanmaktadır (Çizelge 4.2). Bu çalışmada kullanılan nohutun nişasta bileşeninin yumuşak buğdaya denk düzeyde su tutma kapasitesine sahip olduğu bulunmuştur (Şekil 4.2). Ancak, çözünürlük ve şişme kuvveti açısından değerlendirildiğinde buğday ununun şişme kuvvetinin nohut ununun yaklaşık 1,8 katı (Şekil 4.4), nohut ununun çözünürlüğünün buğday ununun yaklaşık 2,8 katı olduğu (Şekil 4.5) gözlenmiştir. Unun şişme kuvveti nişasta niteliği ile ilgili bir olgudur ve doğrudan jelatinizasyon davranış biçimini etkiler (Huang vd., 2007; Wang vd., 2010). Şişme kuvvetinin yalnızca nişasta bileşenine ait bir özellik olmasına karşın, çözünürlük hem protein hem de nişasta bileşenlerine ait ortak bir özelliktir. Bu çerçevede bakıldığında, nişastanın şişme kuvveti ve çözünürlüğü amorf ve kristal bölgelerde su, protein ve lipit ile etkileşim kapasitesiyle ilgili olduğundan kaliteli bir hamur yapısı açısından en az su tutma kapasitesi kadar önemlidir.

Çizelge 4.2. Nohut ve bileşenlerinin teknolojik özellikleri[3] (n[1]=3).

Kaynak		**Çözünürlük (g çözünen madde/ g örnek)**		**Şişme kuvveti (g/ g)**		**Su tutma kapasitesi (g su/g örnek)**		**Yağ tutma kapasitesi (g yağ/ g örnek)**	
		Ortalama	DK[2]	Ortalama	DK[2]	Ortalama	DK[2]	Ortalama	DK[2]
Bu çalışma	NU[4]	0,25[a]	0,21	6,32[d]	0,31	1,31[e]	0,53	0,71[f]	0,86
	NU-L[5]	0,26[a]	0,27	7,23[b]	0,20	1,87[d]	0,73	1,20[d]	0,50
	NN[6]	0,06[b]	0,32	6,80[c]	0,58	2,46[b]	0,86	1,65[b]	0,16
	NN-L[7]	0,07[b]	0,33	9,08[a]	0,59	2,83[a]	0,34	2,17[a]	0,12
	NP[8]	0,04[c]	0,78	-	-	1,24[f]	0,16	1,11[e]	0,21
	NP-L[9]	0,04[c]	0,65	-	-	2,06[c]	0,05	1,38[c]	0,48
		Ortalama		Ortalama		Ortalama		Ortalama	
Kaur & Singh (2005)	NU[4]	0,22				1,38		1,14	
Sanjeewa vd. (2010)	NU[4]					0,79		0,84	
Jagannadham vd. (2014)	NU[4]	~0,01		~4,2		1,01		0,81	
Miao vd. (2009b)	NN[6]	0,14		12,44		0,90			
Sung & Stone (2004)	NN[6]	0,02		9,25		4,87			

Kaynak (devam)		Çözünürlük (g çözünen madde/ g örnek)	Şişme kuvveti (g/ g)	Su tutma kapasitesi (g su/g örnek)	Yağ tutma kapasitesi (g yağ/ g örnek)
Jagannadham & Parimalavalli (2015)	NN[6]	~0,03	~6,5	0,94	0,73
Sanjeewa (2008)	NP[8]			2,34-4,31	3,06-5,74
Sánchez-Vioque vd. (1999)	NU-L[5] NP-L[9]	0,32 0,27			
Deep Sing vd. (2008)	NP-L[9]			1,85	3,88
Kaur & Singh (2007)	NU-L[5] NP-L[9]			~1,5 ~3	~1 ~3

[1]Analiz tekrar sayısı, [2]Değişkenlik katsayısı (verilerin standart sapması/aritmetik ortalama*100), [3]Her sütundaki farklı harfler, değerlerin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermektedir ($p < 0,05$), [4]Nohut unu, [5]Lipitten arındırılmış nohut unu, [6]Nohut nişastası, [7]Lipitten arındırılmış nohut nişastası, [8]Nohut proteini, [9]Lipitten arındırılmış nohut proteini.

Su tutma kapasitesi moleküler yapıdaki hidrofilik bileşenlerin miktarına, yapısına ve üçüncül yapıda gömülü kalmayıp yüzeyde suyla etkileşecek konumda olmalarıyla ilgilidir (Zayes, 1997). Nişastanın su tutma kapasitesinin yüksek olması amilopektin zincirlerindeki dalların kolaylıkla suyla etkileşime geçip hidrate olmalarından ve suyun hidrate olmuş dallardan kolaylıkla tersiyer çifte sarmal yapıya hidrofilik gruplar arasında geçişerek yayılmasıyla ilgilidir. Özümlenen su çifte sarmal yapının giderek ortamdan daha çok su çekip şişmesine neden olur (Wang vd., 2010). Lipit bileşeni, nişasta ayrıştırılırken büyük ölçüde bertaraf edilmiş olmasına karşın (Çizelge 4.1), nişastanın su tutma kapasitesini istatistiksel olarak farklılaştırmıştır ($p<0,05$). Bunun nedeni, lipit bileşeninin kolayca nişasta ile zayıf bağlar yoluyla kompleks oluşturması ve hidrofobik yapısı nedeniyle nişastanın hidrofilik gruplarını sudan uzaklaştırmasına bağlanabilir. Lipitlerin temel bileşenlerinden monogliseritler ve serbest yağ asitlerinin nişastanın amiloz bileşeniyle kompleks oluşturduğu bilinmektedir (Hasjim, Ai & Jane, 2013). Nişastadaki lipit, amilopektin dallarından yayılmaya başlayan suyun çifte sarmal dalları arasına yerleşmiş olan amiloza ulaşmasını engeller. Bu olgu ise, nişasta jelatinizasyonu sırasında amilozun nişasta granülünün kısmen çözünerek granül dışına sızmasını engeller. Bunun sonucunda, nişasta granüllerinin su bağlayarak şişmesi zorlaşır (Ghribi vd., 2015a; Uthumporn vd, 2013). Çalışmada nişasta bileşeninin 32,28 g amiloz/100 g nişasta, 64,36 g amilopektin/100 g nişasta içerdiği bulunmuştur. Baklagil nişastalarının, % 20,7 - 34,3 civarında amiloz içerdiği, (Hoover & Ratnayake, 2002; Huang vd., 2007; Kaur & Singh, 2006; Miao vd, 2009b) ve nohut nişastalarındaki amiloz seviyenin % 20,7- 42,2 arasında olduğu bilinmektedir (Yadav vd., 2007). Ayrıştırılan nişasta literatürde raporlanmış aralığın yüksek amiloz içeriği sınırına yakındır. Sert buğday nişastası %17,5-28,2, yumuşak buğday nişastası %19,4-27,6 amiloz içermektedir (Kaur vd., 2016; Sung & Stone, 2003). Bu çalışma, nişastanın su bağlama ve tutma yetkinliğinin çok düşük lipit düzeylerinde bile ortamda yeterli amiloz olduğu sürece etkilendiğini göstermiştir. Bu durum, düşük lipit düzeylerinde bile hamur aşamasında nişastanın şişerek protein ağ yapısı içinde yayılmasının engellenebileceğini ortaya koymuştur.

Yağ tutma kapasitesi sonuçları da bu olguyu desteklemektedir. Yağ tutma kapasitesi olarak bilinen sıvı yağı özümleyebilme yeteneği, lipitten arındırılmış nohut nişastası (NN-L) > nohut nişastası (NN) > lipitten arındırılmış nohut proteini (NP-L) >

lipitten arındırılmış nohut unu (NU-L) > nohut proteini (NP) > nohut unu (NU) şeklinde sıralanmaktadır (Çizelge 4.2). Örnekler arasındaki istatistiksel farklılık ($p<0,05$) yağ tutma kapasitesi sonuçlarında da göze çarpmaktadır (Çizelge 4.2). Literatürdeki verilerle karşılaştırıldığında bu çalışmada kullanılan nohut ununun yüksek lipit içeriğiyle (Çizelge 4.1) tanımlanması, sonuçta en düşük yağ tutma kapasitesine sahip örnek (Çizelge 4.2) olmasına neden olmuştur. Bu sonuç, nohut lipitlerinin hidrofobik gruplara ve amiloz ünitelerine bağlanarak hem su hem de yağ tutma kapasitesini azalttığını göstermektedir. Bu olgunun bir başka göstergesi ise çok az miktarda lipit içeren nişasta bileşeninin (Çizelge 4.1) yağ tutma kapasitesinin, nohut ununun yağ tutma kapasitesinin yaklaşık 2,3 katı olmasıdır (Çizelge 4.2). Lipitten arındırılmış nohut nişastasının düşük lipit içeriğine (Çizelge 4.1) karşın yağ tutma kapasitesinin yaklaşık 1,3 katına çıkması, amiloz açısından zengin olan nohut nişastasının lipitli ortamda su yerine lipidi tercih ettiğinin farklı bir göstergesidir.

Una şişme kuvveti özelliğini veren yalnızca nişasta bileşenidir. Bu çalışma sonucunda, 85 °C sıcaklıkta belirlenen şişme kuvveti ölçümleri de, yüksek amiloz içeriğine bağlı olarak, düşük lipit düzeyinin bile şişme kuvvetini lipitten arındırılmış nişastaya oranla istatistiksel olarak ($p<0,05$) ayrıştığını göstermiştir (Çizelge 4.2). Aynı olgu nohut ununda gözlenmiştir. Ancak, un ve nişasta örnekleri karşılaştırıldığında (Çizelge 4.2) aralarındaki istatistiksel farklılığın ($p<0,05$) tek nedeninin lipit kaynaklı olmadığını, miktarı düşük de olsa (Çizelge 4.2) çözünür protein fraksiyonlarının da şişme kuvvetini etkilediği anlaşılmıştır. Çözünürlük (85 °C) ölçümleri de, bu çalışmada kullanılan nohut ununun yüksek amiloz içeriği nedeniyle, protein çözünürlüğü düşük olmasına karşın (Çizelge 4.2) toplam çözünürlüğün yumuşak ve sert buğday unlarının yaklaşık 2,5 katı (Şekil 4.5) olduğunu göstermiştir. Nişastanın çözünürlüğü amiloz içeriğinden, şişme kuvveti ise amilopektinin özelliklerinden etkilenir (Wang vd. 2010). Amilopektin şişmeyi sağlarken, çözünerek granül dışına salınan amilozun hidrasyon suyunu çekmesi ve granül dışında sürekli bir evre oluşturması sonucunda amilopektin zincirlerinin kristal bölgelerine su çekerek şişmesi engellenir (Hermansson & Svegmark, 1996). Buğday nişastasının şişme kuvvetinin nohut nişastasının şişme kuvvetinin yaklaşık 1,5 katı (Şekil 4.4) olmasının nedeni nohut nişastasının yüksek amiloz içeriği ile açıklanabilir. Çözünürlük ölçümleri, bu olguyu bariz bir biçimde doğrulamaktadır.

Ayrıca, buna ek olarak buğday nişastası A-tipi nişastadır, nohut nişastası ise C-tipi nişastadır. Nişasta tipleri, kristalimsi-amorf bölgeler cinsinden tanımlanmış tersiyer granüler yapıyla ilgili bir sınıflandırmadır. C-tipi nişastaların en önemli özelliği A- ve B-tipi nişastaların karışımı olmasıdır (Hizukuri, Kaneko & Takeda, 1983; Huang vd., 2007; Lii vd., 1996; Tester & Karkalas, 1996). C-tipi nişastaların şişmesi zordur, çünkü granüler yapıdaki kristalimsi bölgeler, B-tipi nişasta merkezde, A-tipi nişasta çevrede olacak biçimde konumlanmışlardır. Çevredeki A-tipi nişasta kristalimsileri daha zor su çekerler ve erime sıcaklıkları daha yüksektir. Dolayısıyla, çevredeki kristalimsi yapıların kolay bozunmaması merkezdeki B-tipi yapılara suyun ulaşmasını zorlaştırır. Nohut nişastasında, B-tipi nişastanın A-tipi nişastayla çevrelenmiş olması, nohut unuyla karşılaştırıldığında, nohut nişastasının çözünürlüğünün buğday nişastasına yakın, hatta daha düşük olması sonucunu ortaya çıkarmıştır (Şekil 4.5). Bu olgunun, nişasta bileşeni açısından baskın bir olgu olduğunun göstergelerinden biri de çözünürlük açısından bakıldığında lipitten arındırılmış nişasta örnekleriyle, lipitli nişasta örneklerinin çözünürlük açısından birbirinden istatistiksel anlamda ayrışmamış ($p<0,05$) olmasıdır. Bu sonuç, C-tipi nohut nişastasının jelatinizasyonunun tümü A-tipi nişasta olan buğday nişastasından daha zor olduğunu göstermiştir. Baklagil nişastalarının unlu mamuller endüstrisinde kullanımını kısıtlayan etmenlerden biri de bu uyarlanmaya muhtaç tersiyer kristalimsi granüler yapıdır.

Nohut proteini bileşenler arasında su tutma kapasitesi en düşük olan örnektir (Çizelge 4.2). Protein bileşeninin ayrıştırılması sırasındaki çözünme aşamasında, protein bileşeni içinde büyük ölçüde korunan lipit bileşeninin (Çizelge 4.1), adeta bir zar gibi proteinlerin etrafını sararak hidrofilik grupların suyla etkileşimini engellediği anlaşılmaktadır. Proteinin su tutma kapasitesinin düşük olması polar amino asit içeriğinin azlığına bağlanmıştır (Kuntz Jr, 1971). Ancak, bu çalışmada elde edilen sonuçlar polar amino asit içeriğinin düşüklüğüyle açıklanamaz. Zira protein bileşeni lipitten arındırıldığında su tutma kapasitesi açısından ilerleme kaydederek lipitten arındırılmış nohut nişastasından sonra üçüncü sıraya yerleşmiş ve lipitli-lipitsiz nohut ununda daha iyi bir performans sergilemiştir (Çizelge 4.2). Yağ tutma kapasitesi sonuçları da su tutma kapasitesi sonuçlarını desteklemektedir. Protein bileşeninin yağ tutma kapasitesi lipitten arındırıldıktan sonra yaklaşık 1,2 katı artış göstermiştir. Sonuç olarak nohut ununda lipit bileşeninin unlu mamullerin üretiminde hamur oluşumunun

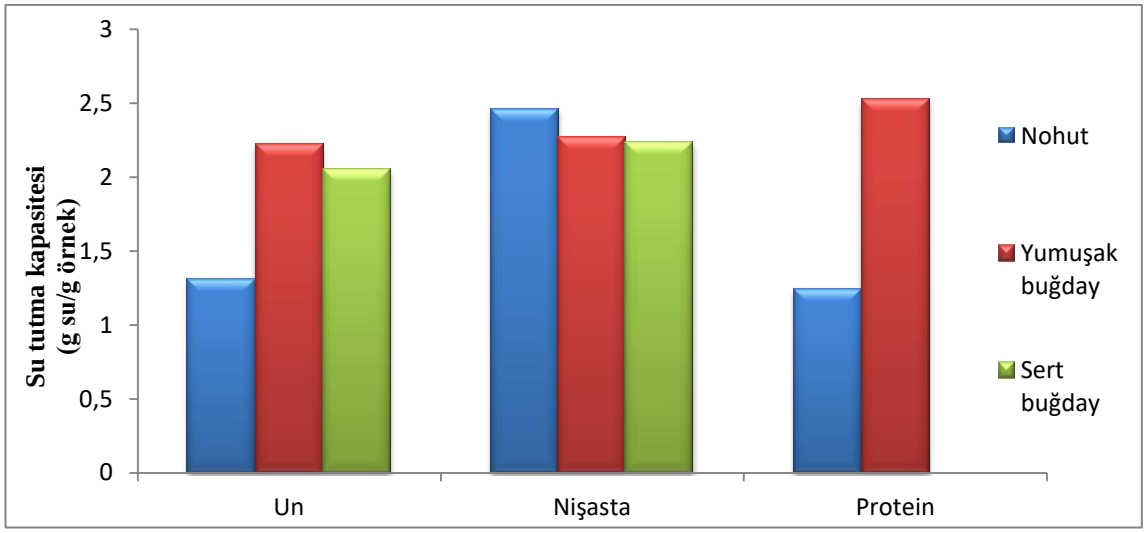
ilk basamağı olan suyun özümlenmesi açısından istenmeyen bir bileşen olduğu ortaya çıkmıştır.

Ancak, protein çözünürlüğüyle ilgili veriler incelendiğinde (Çizelge 4.2) lipit içeren protein bileşeniyle, lipitten arındırılmış protein bileşeninin çözünürlük açısından istatistiksel olarak ($p<0,05$) birbirinden ayrışmadığı ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla, lipitten arındırmanın protein çözünürlüğüne etkisi olmamıştır. Bu sonuç ise yukarıdaki açıklamayla çelişmektedir. Ayrıca, buğdayın protein bileşeniyle karşılaştırıldığında, buğdayın protein bileşeninin çözünürlüğünün nohutun protein bileşeninin yaklaşık 10 katı (Şekil 4.5) olmasını su özümlemeyi etkileyen etmenlerle açıklamak çok zordur. Protein bileşeni ortamdan önce çözündürülüp, sonra çökelterek ayrıştırıldığı için elde edilen protein denatüre olmuş proteindir ve denatüre olmuş nohut proteini özelliklerini taşımaktadır.

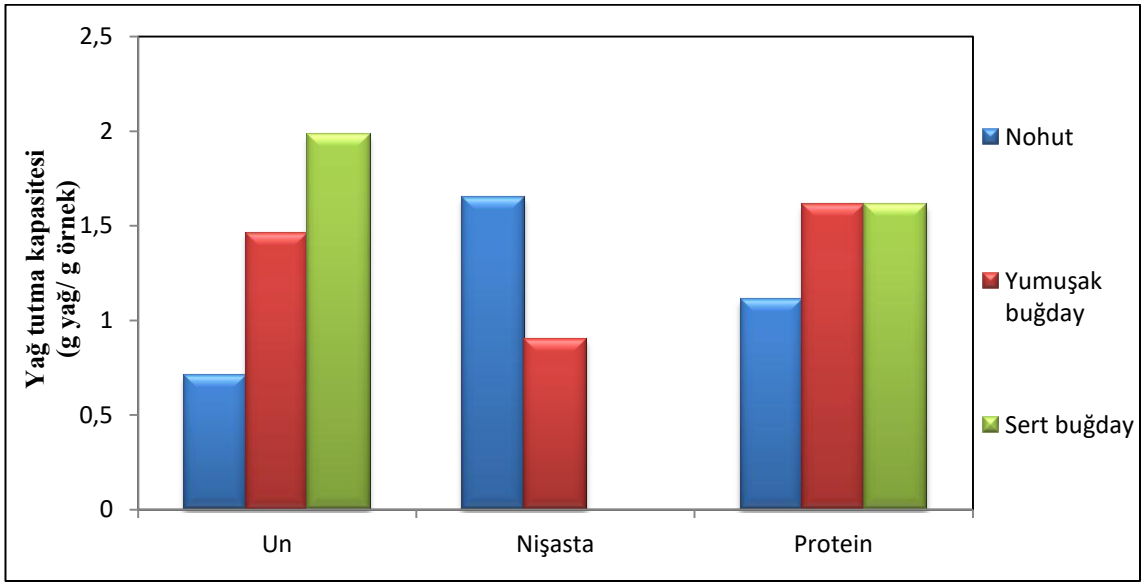
İzoelektrik çöktürme özellikle baklagil proteinlerinin elde edilmesinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir (Adebowale & Lawal, 2003; Paredes-López vd., 1991; Sánchez-Vioque vd., 1998; Sibt-e Abbas vd., 2015; Tang, 2008). Kimyasal maliyeti düşüktür, karmaşık cihazlar gerektirmez ve çökelme pH'larının dikkatli kontrolü ile proteinlerin fraksiyonlarına ayrılabilmesi mümkün olmakla birlikte, çöktürme ve santrifüj işleminin proteinin çözünürlüğünde modifikasyonlara yol açtığı tartışılmıştır (Sánchez-Vioque vd., 1999). Bu çalışmada elde edilen çok düşük çözünürlük değeri ise bunun en önemli göstergesidir (Çizelge 4.2). Ayrıca literatürdeki çalışmalar incelendiğinde proteinlerin ayrıştırılmasında aynı yöntemin kullanıldığı çalışmalarda nohuta ön işlem olarak lipitten arındırılma işlemi uygulanmıştır (Aurelia vd., 2009; Kaur & Singh, 2007; Sánchez-Vioque vd., 1999). Bu çalışmada protein örneklerinin lipitten arındırılması çözünürlük değerlerinde istatistiksel farka ($p<0,05$) neden olmamakla birlikte, literatür ile kıyaslandığında çözünürlüğün düşük olma (Çizelge 4.2) nedeni çözündürme aşamasında hidrofilik bileşenlerin amilozla, çökelme sırasında ise hidrofobik grupların lipitlerle kararlılaşarak (Çizelge 4.1) çözünmeye dirençli hale gelmesiyle açıklanabilir. Çözünürlüğü az olan proteinler emülsiyon oluşturmazlar. Bunun nedeni ortamda yeterince çözünür protein olmayınca hava kabarcıkları çözünür proteinler aracılığıyla ağ yapıyı oluşturan protein yüzeylerine hızla adsorplanıp ağ yapıyı kararlılaştıramazlar (Damodaran, 1994). Dolayısıyla, hamurun yoğrulması

aşamasında havanın hamura entegrasyonu ve fermantasyon sırasında hamurun gelişmesini sağlayan gaz tutma kapasitesini desteklemezler.

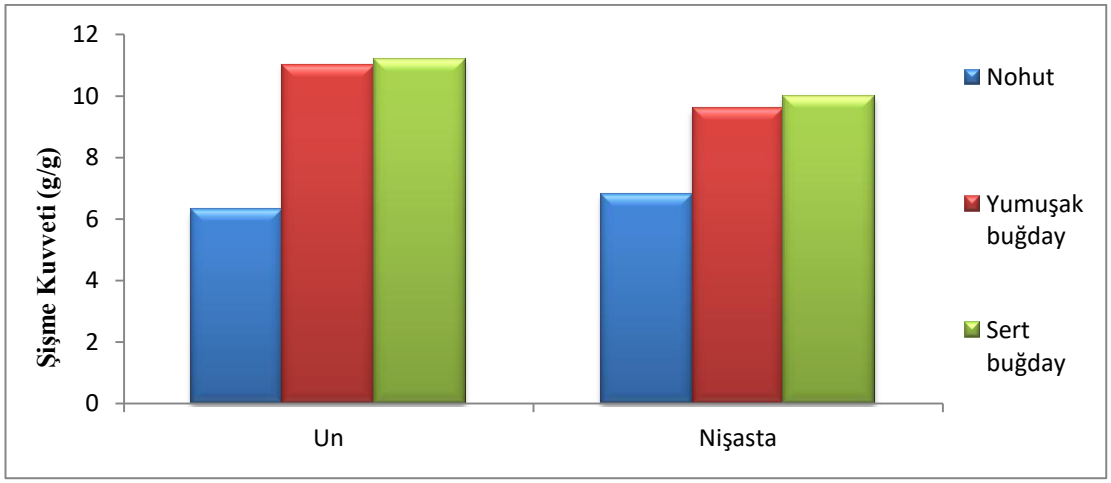
Protein bileşeninin lipitten arındırıldıktan sonraki su tutma kapasitesi değeri literatür verileriyle karşılaştırıldığında (Çizelge 4.2) ortalama bir değere karşılık gelmektedir. Nohut unu ve protein bileşeninin, sert ve yumuşak buğday örneklerine kıyasla daha düşük su tutma kapasitesi değerine sahip olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 4.2.). Bu durum nohut unu için hem protein bileşeninin su tutma kapasitesinin düşüklüğünden, hem de doğal halindeki lipit içeriğinden kaynaklanmaktadır. Nohut ununun protein miktarının buğday ununa göre daha yüksek olmasına (Şekil 4.1) karşın buğday proteinin su tutma kapasitesinin nohut proteinine göre daha yüksek olması protein kalitesinin su tutma kapasitesi açısından önemini göstermektedir. Buğday ununun su tutma kapasitesinin nohut ununa kıyasla daha yüksek olmasında protein kalitesinin yanında daha yüksek çözünür lif de etkilidir. Nohut nişastasının su tutma kapasitesinin yüksek olması nohut unu kullanılarak üretilecek hamurun istenilen kıvamda elde edilmesine olumlu etkisi olacaktır. Nohut nişastasının yüksek yağ tutma kapasitesi (Şekil 4.3) nedeniyle unlu mamullerin üretiminde iyi bir emülgatör olarak davranarak (de Escalada, Ponce, Stortz, Gerschenson & Rojas, 2007; Kuntz, 1994) hamurun yoğurma ve fermantasyon toleranslarını artırması, böylelikle gaz tutma yeteneğini artırması beklenir. Fakat protein bileşeninin su tutma kapasitesi hamurda ağ yapı oluşumunu başlatan önemli bir özelliktir (Arendt & Dal Bello, 2008) ve nişasta ancak bu ağ yapının içini doldurabildiğinde istenilen hamur yapısı elde edilebilir. Dolayısıyla, nohutun unlu mamuller endüstrisinde kullanılabilmesi için yalnızca lipit bileşeninden arındırılması yeterli olmayacak, protein bileşeninin de hidrofilik gruplar açısından geliştirilmesi için kimyasal/enzimatik uyarlamalar gerekecektir.



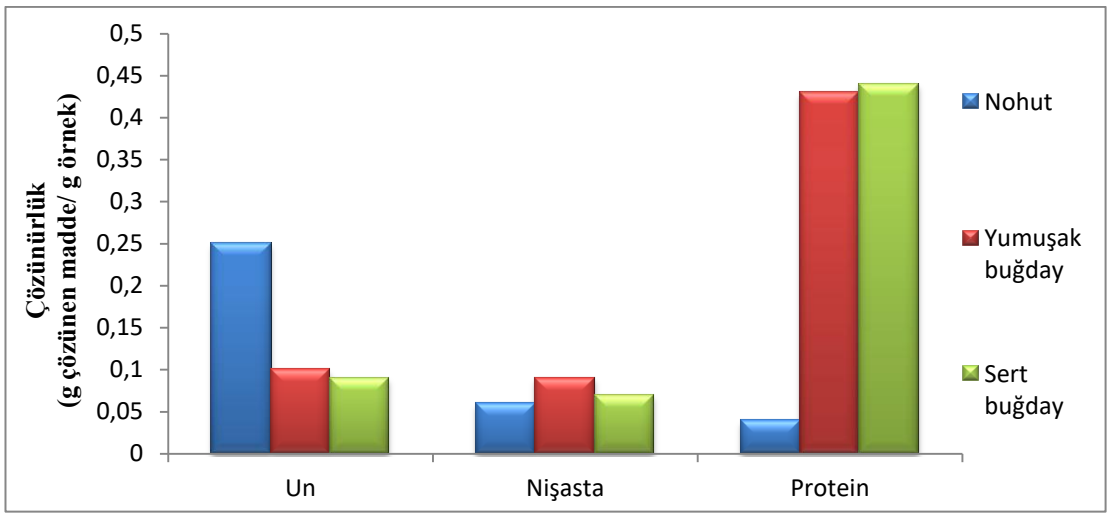
Şekil 4.2. Nohut (bu çalışma), yumuşak buğday, sert buğday ve bileşenlerine ait su tutma kapasiteleri (Dhankhar, Vashistha & Sharma, 2019; Hassan, Afify, Basyiony, Ahmed & Ghada, 2010; Jribi, Sahagùn, Debbabi & Gomez, 2019; Sung & Stone, 2003).



Şekil 4.3. Nohut (bu çalışma), yumuşak buğday, sert buğday ve bileşenlerine ait yağ tutma kapasiteleri (Chandra & Samsher, 2013; Hassan vd., 2010; Jagannadham & Parimalavalli, 2015; Jribi vd., 2019).



Şekil 4.4. Nohut (bu çalışma), yumuşak buğday, sert buğday ve nişasta bileşenlerine ait şişme kuvveti değerleri (Alviola & Monterde, 2018; Kaur vd., 2016; Nuwamanya vd., 2011; Romero & Zhang, 2019; Tao vd., 2018; Vansteelandt & Delcour, 1999).



Şekil 4.5. Nohut (bu çalışma), yumuşak buğday, sert buğday ve bileşenlerine ait çözünürlük değerleri (Alviola & Monterde, 2018; Hassan vd., 2010; Jagannadham & Parimalavalli, 2015; Romero & Zhang, 2019; Vansteelandt & Delcour, 1999).

Baklagillerin bulanıklık değerindeki artış nişastanın jelatinizasyonu sırasında amiloz ve amilopektinin suya geçmesidir (Perera & Hoover, 1999). Bu çalışmada berraklık değerini belirlemek amacıyla 650 nm dalga boyunda spektrofotometre kullanılarak absorbans ölçümü yapılmış ve %T değeri hesaplanarak (Absorbans=2-log(%T) (Anonim,2012)) ışık geçirgenliği belirlenmiştir. Geçirgenlik değerleri olarak ifade edilen % T nişasta bulamaçlarının berraklık değerleridir. Zhang, Tian, Wang, Jiang & Li (2019) çalışmalarında nohut nişastasına ait ışık geçirgenlik değerini %8,97 olarak bildirmiştir. Bu çalışmada elde edilen nohut nişastasına ait ışık geçirgenliği

değeri %8,24 olarak bulunmuştur ve Zhang vd., (2019) ile benzerlik göstermektedir. Buğday nişastası %T değeri %12-24 arasındadır (Nuwamanya vd., 2011; Wattanachant, Muhammad, Hashim & Rahman, 2002) ve çalışmada elde edilen nohut unu değerlerinden 1,5 kat yüksektir. Bunun nedeni bu çalışmada kullanılan nohut ununun yüksek amiloz içeridir. Lipitle amilozun birlikte olduğu durumda yüksek miktarda amiloz-lipit kompleksi oluşması beklenir. Amiloz-lipit komplekslerinin nişastalarda bulanıklığa neden olduğu bilinmektedir (Craig vd., 1989; Galkowska, Witczak, Korus & Juszczak, 2014). Ayrıca, hamur oluşumunda düşük berraklık değeri ile şişme kuvveti arasındaki ilişki (Kaur & Singh, 2006) berrak olmayan nişastaların amilozun lipitle stabilize edilmesi sonucunda şişme kuvvetinin azalması sonucunu doğrulamaktadır.

4.3. Nohut ve Bileşenlerinin Fizikokimyasal Özellikleri

4.3.1. Sorpsiyon Özellikleri

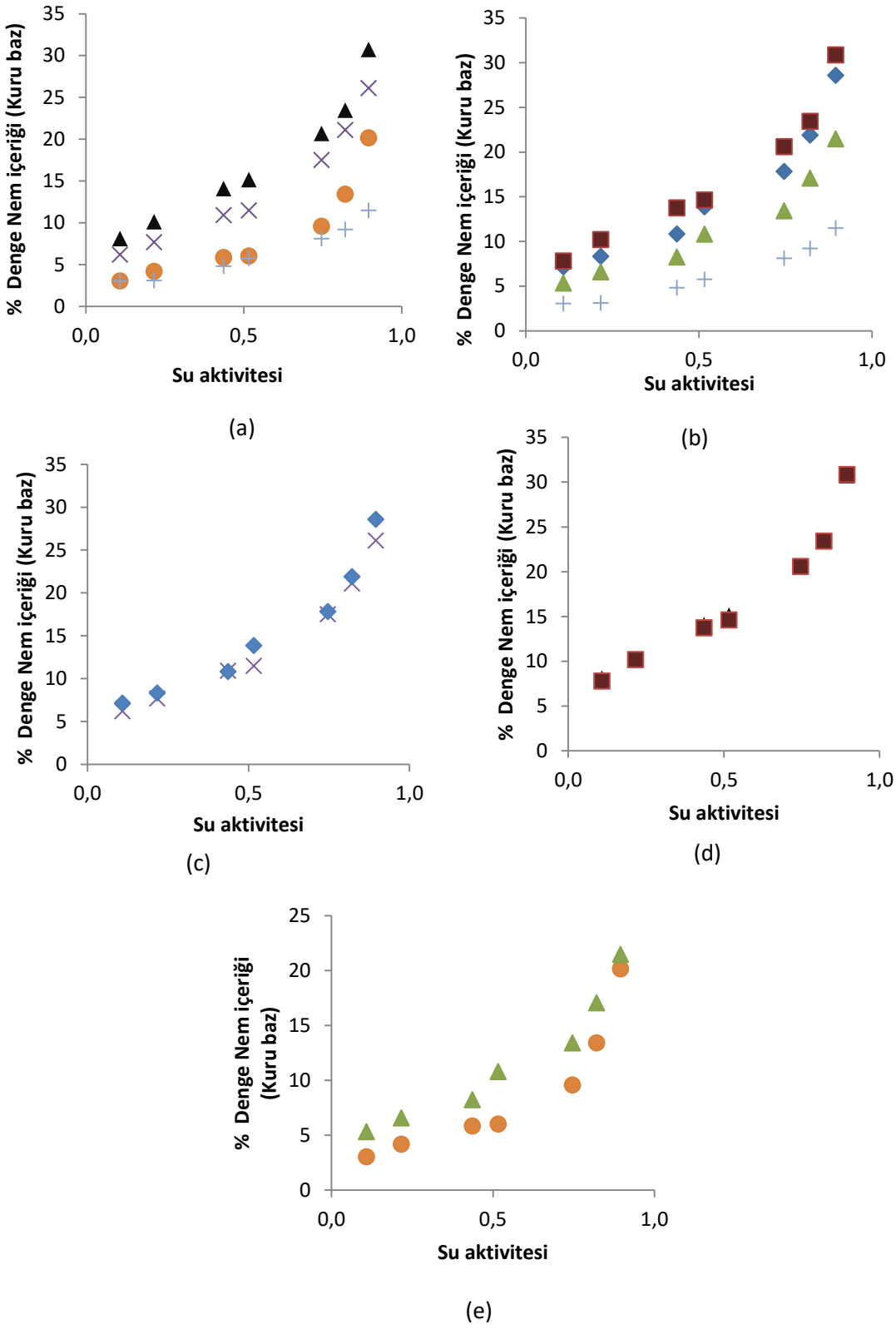
4.3.1.1. Sorpsiyon İzotermleri

Gıdaların sorpsiyon özellikleri (denge nemi içeriği, su aktivitesi-sorpsiyon yığası, su aktivitesi-camsı geçiş sıcaklığı), kurutma, paketleme ve depolama gibi birçok işlemin tasarımı ve optimizasyonu açısından büyük önem taşır (Durakova & Menkov, 2005). Sorpsiyon izotermleri, sabit basınç ve sıcaklıkta gıdanın su aktivitesi ile nem içeriği arasındaki denge ilişkisini gösterir (Caballero-Cerón vd., 2015). Çeşitli bileşenlerden oluşan bir karışımın termodinamik özelliklerini bileşenlerin termodinamiğinin bireysel etkileri belirler. Camsı geçiş ikincil bir evre geçişidir ve nişasta jelatinizasyonu, protein denatürasyonu, katı yağların erimesi ve donması gibi birincil evre geçişlerinden çok farklıdır. İkincil evre geçişleri reolojik açıdan hem katı, hem de sıvı özellikleri içeren ve viskoelastik olarak nitelenen polimer ve biyopolimerlerin özelliğidir. Biyopolimerler, birincil geçiş mekanizmaları sonucu birincil katı-katı evre geçişlerinden sonra elastik özelliklerini değiştirseler bile viskoelastik karakterlerini değiştirmezler. Biyopolimerler, camsı geçişle birlikte kırılgan camsı bir yapı edinirler. Camsı geçişten sonra immobilize olan su molekülleri mikroorganizmaların gelişmesi ve enzim tepkimelerinin oluşması için gerekli ortamı sağlayamazlar. Dolayısıyla, gıda süreçlemesi açısından camsı geçiş bir koruma yöntemi olarak kullanılabileceği gibi, gıda tekstürünü değiştirdiği için istemli olarak yapılmadığı sürece biyopolimerin tekstürel özelliklerini tamamen değiştiren bir termodinamik

olgudur. Temelde karışımın su içeriğiyle doğrudan ilişkili olan bu olgu, su aktivitesindeki dalgalanmalar nedeniyle camsı-elastiki geçişin sürekli tekrarlandığı koşullarda gıda maddesinin raf ömrünü etkiler. Dolayısıyla, camsı geçiş gerek yarı işlenmiş, un haline getirilmiş materyalin, gerekse işlenmiş ürünlerin paketleme özelliklerini belirler (Chirife & María Del Buera, 1994; Cuq vd., 2003; DeMan vd., 1999; Karaoğlu, Boz, Kotancılar & Gerçekaslan, 2009).

Bu çalışmada, nohut unu, nohut nişastası, nohut proteini ve lipitten arındırılmış örneklerinin 35 °C sıcaklıkta farklı su aktivitesi koşullarındaki denge nemi değerleri belirlenerek sorpsiyon izotermleri çizilmiş (Şekil 4.6) ve deneysel olarak elde edilen verilerin çeşitli izoterm modellerine uygunluğu sınanarak tartışılmıştır. Elde edilen sorpsiyon verileri Durakova ve Menkov (2005) tarafından nohut unu için 10-40 °C sıcaklık aralığında belirlenen sorpsiyon izotermleriyle benzerlik göstermiştir. Nohut unu ve bileşenlerinin sorpsiyon özelliklerinin sigmoid şekilli Tip II izotermine uyduğu belirlenmiştir. Sert ve yumuşak buğday unları da nohut unu gibi tip II sorpsiyon izotermine uygunluk göstermektedir (Chuma vd., 2012; Ertugay & Certel, 2000; Pollatos vd., 2013). Roman-Gutierrez, Guilbert ve Cuq (2002), sert ve yumuşak buğday ununa ait tek tabakalı nem içeriklerinin buğday nişastası > sert buğday unu > yumuşak buğday unu > glüten şeklinde sıralandığı bildirilmiştir. Nohut unu ve bileşenleri için de aynı durumun gözlenmiş olması (Çizelge 4.3) istenilen kıvamda hamurun elde edilmesinde önemli bir etmen olan su tutma kapasitesinin undaki nişasta bileşeninin özelliği olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, sorpsiyon verileri nohut ve bileşenleri için incelenen teknolojik özelliklerle ilgili verileri termodinamik açıdan destekler niteliktedir.

Örneklerin sorpsiyon karakteristiklerinin belirlendiği deneylerde, mikrokristal selüloz standart madde olarak kullanılmıştır. Mikrokristal selüloz tip II izotermine uyar (Roja, Moren, & Lopez, 2011). Mikrokristal selüloz için elde edilen verilerin literatür değerlerine uygun olması (Camargo & Garcia 2011; Roja vd., 2011), örnekler için elde edilen sorpsiyon izotermlerinin deneysel hata çerçevesinde örneklere özgü davranış biçimini temsil ettiğini gösterir. Örneklere ait deneysel verilerle mikrokristal selüloz için elde edilen veriler karşılaştırıldığında örneklerin de tip II izotermine uydukları gözlemlenmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Nohut ve bileşenlerinin sorpsiyon izotermleri (× Nohut unu; ▲ Nohut nişastası; ● Nohut proteini; + Mikrokristalin selüloz; ♦ Lipitten arındırılmış nohut unu; ■ Lipitten arındırılmış nohut nişastası; ▲ Lipitten arındırılmış nohut proteini).

Örneklerin denge nemleri a_w>0,752 değerlerinde yüksek artış göstermiştir (Şekil 4.6). Düşük su aktivitesi değerlerinde sorpsiyon yalnızca yüzeyde olur ve su aktivitesinin artmasıyla tek tabaka olmaktan çıkarak yüzeyi kaplar. Ortamda artan su molekülleri örnekteki aktif uçlara ve diğer su moleküllerine hidrojen bağı ile bağlanarak kapiler boşlukları doldurur (Caballero-Cerón vd., 2015). Bu nedenle, tüm örneklerin nem adsorplama özellikleri a_w>0,752 değerlerinde farklı bir rejim izlemiştir (Şekil 4.6).

Sorpsiyon izotermi verileri nohut nişastasının su aktivitesindeki değişimlere karşı nem alışverişi açısından en duyarlı bileşen, nohut proteininin ise en duyarsız bileşen olduğunu göstermiştir (Şekil 4.6). Bu veriler çerçevesinde, nohut nişastasının higroskopik bileşen olduğu ve nohut ununun nem sorpsiyon özelliklerinin nişastaya bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Yüzeyde adsorplanan su miktarı hidrofilik bağların yüzeyde olması ve suyla hidrojen bağı kurmalarına bağlıdır. Su molekülleri, düşük su aktivitesi değerlerinde nişastadaki aktif polar bölgelere bağlanır. Su aktivitesi arttıkça su molekülleri yüzeyi kaplar ve nişasta granüllerinin arasında birikmeye başlar. Bunun sonucunda şişen nişasta granüllerinde daha fazla polar grup açığa çıkar ve giderek daha çok su molekülü yüzeye adsorplanır. Buna karşılık nohut proteininin nem alışverişine karşı duyarsız olması özellikle hamura işleme sürecinde hidrasyon sonucu ağ yapının oluşması açısından sorunlu görünmektedir. Bunun nedeni, tersiyer protein yapısında hidrofilik grupların protein yapısı içinde gömülü olması veya hidrofilik protein gruplarının az olmasıdır (Barbosa-Cánovas vd., 2007; Ghribi vd., 2015b). Nohut proteininin sorpsiyon izotermi verileri de nohut unu ve nişasta bileşeni gibi su tutma kapasitesi sonuçlarına (Çizelge 4.2) paraleldir.

Nohut nişastasının lipitten arındırılması su aktivitesi açısından sorpsiyon karakteristiğini etkilememiştir. Bu durum, nohut lipitlerinin nişasta bileşeninin ayrıştırılması işlemi sırasında nişasta bileşimine geçmemiş olmalarıdır (Çizelge 4.1). Nohut unu ise lipitten arındırıldığında a_w > 0,752 değerlerinde yüzeye nem adsorplama kapasitesinin arttığı gözlenmiştir (Şekil 4.6c). Bunun nedeni lipitli ortamda amiloz-lipit kompleksiyle kararlılaşmış çözünür amilozun lipitsiz ortamda su bağlamaya yatkın duruma gelmesinden kaynaklanabilir. Buna ek olarak, her ne kadar nohut ununun sorpsiyon karakteristikleri birincil olarak nişasta bileşenine bağlı olsa da, lipitten arındırılmış protein bileşeninin tüm su aktivitesi aralığında sorpsiyon

karakteristiklerinin lipit içeren örneklerden farklı olduğu ve yüzeye nem adsorplama kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.6e). Dolayısıyla, nohut unu ile lipitten arındırılmış nohut unu arasındaki farkın bir kısmı da bu olgudan kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni ise protein bileşeninde korunan nohut lipitlerinin (Çizelge 4.1) protein bileşeninin hidrofobik gruplarıyla girdiği etkileşim sonucunda hidrofilik grupların tersiyer protein yapısının içine gömülmüş olmalarıdır. Dolayısıyla, lipit engeli ortadan kalkınca proteinlerin hidrofilik gruplarının suya ulaşımı ve hidrate olmaları kolaylaşmıştır. Bu çerçevede, nohut ununun özellikle hamura işlenmesi sırasında lipitten arındırılmış olmasının hidrasyon aşaması ve ağ yapı oluşumu açısından önemli olduğu olgusu sorpsiyon izotermi verileriyle de desteklenmektedir. Ancak, gelecekte yapılacak çalışmalarda nohut proteininde bulunan hidrofilik grupların miktar ve yerleşimlerinin ağ yapı oluşturmaya uygun olup olmadığı ve bu konuda yapılabilecek fiziksel ve kimyasal/enzimatik uyarlamaların nitelikleri araştırılmalıdır.

4.3.1.2. Sorpsiyon İzotermlerinin Modellenmesi

Nohut unu ve bileşenlerinin su aktivitesine karşı nem alışverişi duyarlılıklarının farklı olması ve a_w>0,752 değerinden sonra sorpsiyon rejiminin farklılaşması, sorpsiyon izotermlerinin Tip II olarak belirlenmesinin yeterli olmadığını, çeşitli ampirik modellerin uygulanarak, her bir örnek için uygun ampirik modelin ve/veya model parametrelerinin belirlenmesi ve ampirik sabitler açısından değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu araştırmada nohut ve bileşenlerine ait su aktivitesi-nem içeriği verileri Oswin, Smith, Handerson, Halsey, BET, Kuhn, Chung ve Pfost, Bradley ve GAB modelleri çerçevesinde incelenmiştir (Çizelge 3.2). BET modelinin geçerli olduğu su aktivitesi aralığı 0,11<a_w<0,5 olduğundan yalnızca Çizelge 4.6'da verilen ilk dört deneysel nokta için uygulanmış ancak düşük regresyon katsayıları nedeniyle (Çizelge 4.3) değerlendirmeye alınmamıştır. BET izotermi gıda maddelerinin tanımlanmasında kullanılan ilk izoterm modellerinden biridir (Sahin & Sumnu, 2006). Ancak BET modeli, nohut unu gibi, protein, lipit, nişasta ve lif bileşenlerinin etkileşim halinde bulundukları karmaşık kimyasal yapıların sorpsiyon özelliklerinin belirlenmesinde yetersiz kalmıştır. Bu nedenle ilk çıkış modeli BET izotermi olmakla birlikte, bu izotermin uyarlanması sonucunda birçok yeni model ortaya atılmıştır (Chirife & Iglesias, 1978). Çünkü nem sorpsiyonu olgusu doğrudan materyalin

yüzeyinde bulunan hidrofilik gruplarla su arasında zayıf hidrojen bağlarının kurulabileceği çekim kuvvetleriyle ilgidir ve doğrudan materyalin kimyasal yapısına bağlıdır.

Sorpsiyon izoterm verilerini baskın biçimde etkileyen nohut nişastası (Çizelge 4.3, R^2=0,995) ve lipitten arındırılmış nohut nişastası örnekleri (Çizelge 4.3, R^2=0,996) Halsey modeline uymuştur (Şekil 4.7). Halsey modeli, nişasta örneklerinin nem adsorpsiyonunun çok katmanlı tabakada oluştuğunu göstermiştir (Chirife & Iglesias, 1978). Lipitten arındırılmış nohut unu (Çizelge 4.3, R^2=0,994) ve protein bileşeninin de (Çizelge 4.3, R^2=0,992), sorpsiyon davranış biçiminin Halsey modeline uyduğu bulunmuştur (Şekil 4.7). Çok tabakalı nem adsorpsiyon sabiti, n değerinin nişasta örnekleri için lipitten arındırılmış nohut unu ve protein bileşeni örneklerinin yaklaşık 1,3 katıdır (Çizelge 4.3). Halsey modelinde 1/n üssü çok tabakalı nem adsorpsiyonu için gereken polar uçlara bağlanma enerjisini temsil eder (Chirife & Iglesias, 1978) (Çizelge 2.2). Dolayısıyla, nişasta örneklerinin polar uçlara bağlanma enerjisinin daha düşük olması nedeniyle suyu kolayca çoklu tabaka halinde adsorplayabildiğini ve sorpsiyon mekanizması açısından belirleyici olduğunu gözlenmiştir. Ancak, nohut unu ve protein bileşenin de lipitten arındırılması sorpsiyon modelini etkilemiştir. Bu çerçevede, lipit bileşeninin de sorpsiyon mekanizmasında hidrofilik grupları nemden uzaklaştırarak adsorpsiyon mekanizmasını etkilediği gözlenmiştir. Halsey modelinde mikroskopik gözenekli yüzey yapısı ile ilişkili olan C sabitinin de (Çizelge 2.2) nişasta örneklerinde, lipitten arındırılmış nohut unu örneklerinin yaklaşık 2 katı ve protein bileşeni örneklerinin ise yaklaşık 4 katı olması (Çizelge 4.3), nişasta bileşeninin kimyasal yapısına bağlı yüzey özelliklerinin de sorpsiyon mekanizmasını baskın biçimde etkilediğini ortaya koymuştur.

Lipit içeren nohut ununun sorpsiyon davranış biçimi GAB modeline (Çizelge 4.3, R^2=0,999), lipit içeren nohut proteini ise GAB (Çizelge 4.3, R^2=0,994) ve Kuhn (Çizelge 4.3, R^2=0,994) modellerine uymuştur. Sorpsiyon izotermleri (Şekil 4.6), nohut ununun sorpsiyon davranış biçiminin büyük ölçüde nişasta bileşeninden etkilendiğini göstermiş olmakla birlikte, nohut unu ve protein bileşeninin lipitten arındırılmasının sorpsiyon modelini çok tabakalı nem adsorpsiyonu mekanizmasından tek tabaka nem adsorpsiyonuna dönüştürdüğü gözlenmiştir. Lipit bileşeninin sorpsiyon ortamından ayrılması lipitle etkileşim halinde olan hidrofobik grupların serbest kalması sonucunda,

hidrofilik grupların neme ulaşımının kolaylaştığını, sorpsiyon yüzey alanının genişlediğini ve suyu tek tabakada sıkıca bağlayabildiklerini göstermiştir (Çizelge 4.3). GAB modelindeki M_0 değeri tek tabaka su değeridir (Roman-Gutierrez vd., 2002). Tek tabaka su değeri ve su aktivitesinin katsayıları C ve K katsayılarından C>10, K<1 olması Tip II izoterminin önemli karakteristiğidir. C<10 olması durumunda Tip II izoterm Tip III izoterme dönüşür (Medeiros, 2006). C değerinin artması, K değerinin azalmasıyla nem tek sıra tabaka halinde yüzeye daha sıkıca bağlanır. Lipitten arındırma işlemi sonucunda nohut ununun C değeri yaklaşık 3 kat, protein bileşeninin C değeri ise yaklaşık 4 kat artmıştır, her iki örnek için de K değerleri azalmıştır (Çizelge 4.3). Bunun sonucunda, özellikle lipitten arındırılmış protein bileşeninin tek tabaka nem içeriğinin yaklaşık 2 kat arttığı gözlenmiştir (Çizelge 4.3). Bu bulgular, lipit bileşeninin su özümleme ve su tutma mekanizmalarını etkilediğini, teknolojik özellikleri uyarladığını göstermiştir. Dolayısıyla, hamur oluşumunda suyu bağlayarak ağ yapının oluşumunu sağlamak açısından yüksek lipit içeriğinin olumsuz katkısını (Çizelge 4.2) destekler niteliktedir.

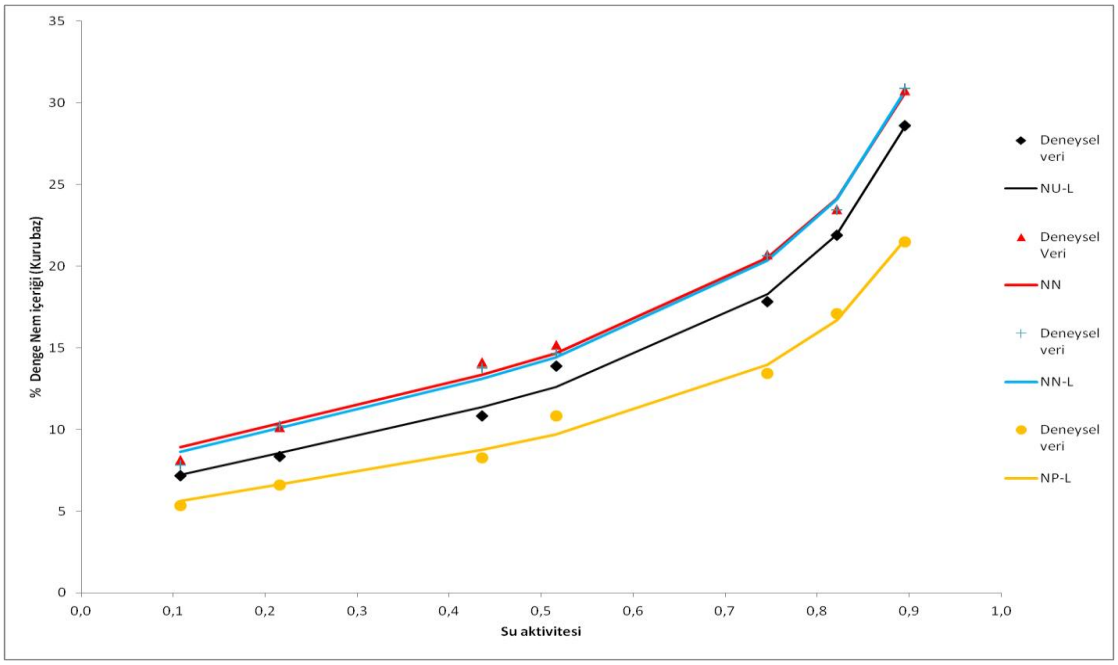
GAB modelindeki 35 °C sıcaklıkta tek tabaka su değeri (M_0) nohut proteini (2,989 g/100 g, kb) < nohut unu (6,953 g/100 g, kb,) < nohut nişastası (8,933 g/100 g, kb) biçiminde sıralanmaktadır (Çizelge 4.3). Roman-Gutierrez vd., (2002) 25 °C sıcaklıkta buğday unu örneklerini GAB denklemi ile modellemiş ve M_o değerini (kb) yumuşak buğday unu için % 6,32 (c=8,95; k=0,78; R^2=0,998), sert buğday unu için % 6,85 (c=7,41; k=0,76; R^2=0,997) bulmuştur. Sorpsiyon izotermlerinin belirlendiği sıcaklıklar birbirinde farklı olduğu için tam bir karşılaştırma yapmak mümkün olmamıştır. Ancak, nişasta bileşeninin baskın karakteri nedeniyle nohut ve buğday ununun sorpsiyon özellikleri açısından benzerlik gösterdiği söylenebilir.

Sonuç olarak, sorpsiyon verilerinin modellenmesi Tip II izoterm verilerinin irdelenmesini sağlamış ve lipit bileşeninin de sorpsiyon mekanizmasında nohut unu açısından nişasta bileşeni kadar belirleyici olduğunu göstermiştir.

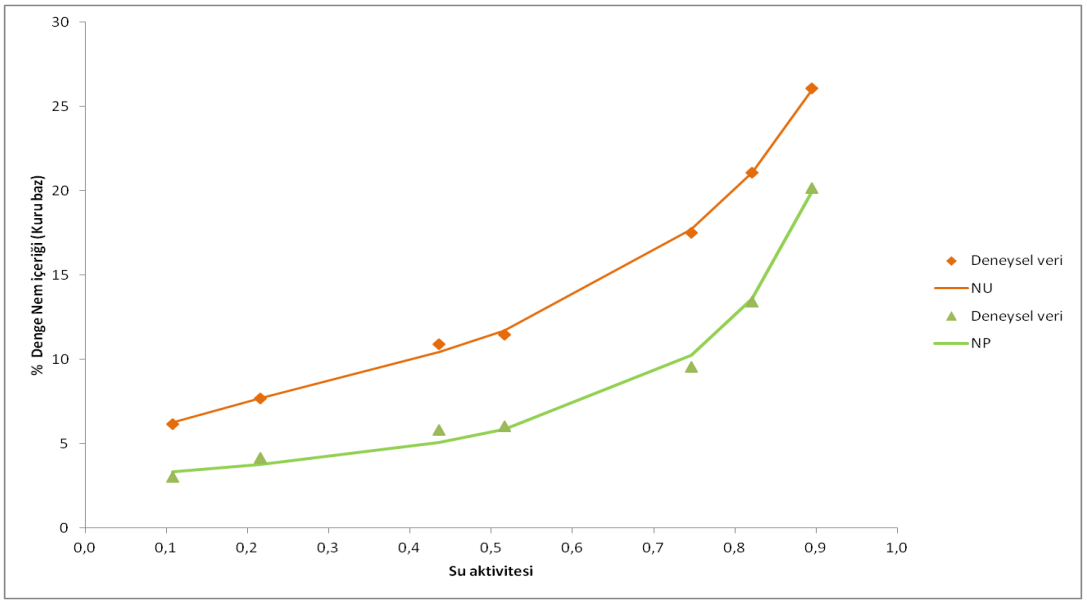
Çizelge 4.3. Nohut ve bileşenlerinin 35 °C' de sorpsiyon modelleri.

Model	Parametreler	Nohut unu	Lipitten arındırılmış nohut unu	Nohut nişastası	Lipitten arındırılmış nohut nişastası	Nohut proteini	Lipitten arındırılmış nohut proteini
Oswin	C	11,982	12,879	15,012	14,757	6,214	9,919
	n	0,362	0,359	0,320	0,330	0,529	0,351
	R^2	0,996	0,987	0,994	0,993	0,976	0,986
Smith	C_1	5,248	5,832	7,584	7,259	1,494	4,570
	C_2	-9,183	-9,662	-9,900	-10,064	-7,407	-7,281
	R^2	0,998	0,988	0,991	0,991	0,951	0,987
Handerson	C	0,009	0,007	0,003	0,003	0,091	0,010
	n	1,727	1,763	2,011	1,945	1,104	1,803
	R^2	0,973	0,952	0,963	0,961	0,930	0,955
Halsey	C	140,658	169,083	450,400	361,222	11,039	105,559
	n	2,176	2,188	2,429	2,362	1,542	2,232
	R^2	0,996	0,994	0,995	0,996	0,992	0,990
BET[1]	M_0	5,865	6,491	7,669	7,465	3,148	5,056
	C	269,237	439,152	296,613	358,808	91,086	171,048
	R^2	0,959	0,975	0,970	0,946	0,928	0,960
Kuhn	A	-2,287	-2,442	-2,481	-2,529	-1,947	-1,830
	B	7,467	8,059	9,931	9,623	2,971	6,278
	R^2	0,936	0,954	0,940	0,946	0,994	0,942
Chung ve Pfost	A	4,672	4,922	6,062	5,722	2,894	5,064
	B	0,151	0,144	0,139	0,137	0,190	0,190
	R^2	0,980	0,963	0,979	0,976	0,898	0,966
Bradley	A	10,237	11,096	12,946	12,718	5,582	8,530
	B	-6,640	-6,963	-7,184	-7,291	-5,254	-5,258
	R^2	0,980	0,963	0,979	0,976	0,898	0,966
GAB	C	47,034	136,347	67,030	72,034	23,019	84,264
	K	0,821	0,835	0,784	0,797	0,950	0,882
	M_0	6,953	7,093	8,933	8,620	2,989	5,607
	R^2	0,999	0,989	0,988	0,990	0,994	0,987

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



(a)



(b)

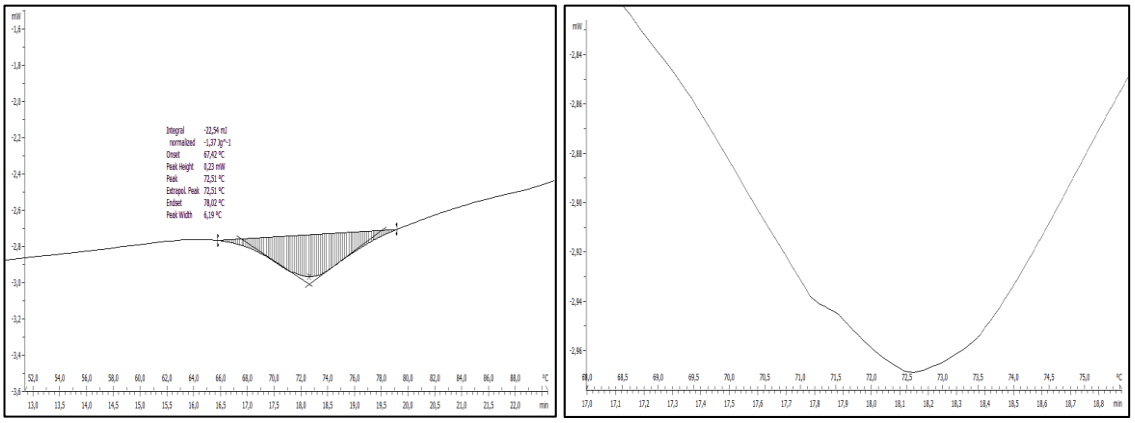
Şekil 4.7. Nohut unu ve bileşenlerinin uygun modeller ile modellenen sorpsiyon izotermleri ve ölçülen sorpsiyon izotermi kıyaslaması: (a) Halsey modeli: ♦ NU-L (Lipitten arındırılmış nohut unu); ▲ NN (Nohut nişastası); + NN-L (Lipitten arındırılmış nohut nişastası); ● NP-L (Lipitten arındırılmış nohut proteini) (b) GAB modeli: ♦ NU (Nohut unu); ▲ NP (Nohut proteini).

4.3.2. Nohut ve Bileşenlerinin Termal Özellikleri

Bu çalışmada nohut unu ve bileşenleri ile lipitten arındırılmış örneklerin birincil geçiş özellikleri bir termal analiz sıcaklık programı belirlemek amacıyla yapılan ön çalışma niteliğindedir. Uygulanan sıcaklık programında, örnekler 20-150 °C arasında 4 °C/dk ısıtma hızıyla ısıtılıp, sonra soğutularak karmaşık bir kimyasal sistem olan nohut ununun jelatinizasyon ve bileşen etkileşimleri açısından gösterdiği termal özelliklerin sıcaklık aralıkları ve entalpilerinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Seçilen nem değerleri, nişasta jelatinizasyonu beklenmeyen, ancak lipit içeren nişasta örneklerinde protein-lipit kompleksinin gözlenme olasılığı olan nem içeriği (20g/100g); nişasta jelatinizasyonunun başlangıcına karşılık gelen nem içeriği (56 g/100g) ve nişasta jelleşmesinin tamamlanması beklenen (71 g/100 g) nem içerikleri olarak seçilmiştir. Lif, lipit, protein ve nişasta içeren bu sistemin termal özelliklerinin detaylarının irdelenebilmesi için sabit sıcaklık hızında elde edilen verilerin yeterli olması beklenmez. Bu ön çalışma sonucunda belirlenen değişim piklerinin gelecekte yapılacak termal analiz ölçümlerine öncül olması amaçlanmıştır. Birincil evre geçişleri ve kompleks oluşumlarının pik sıcaklık aralıklarının belirlenmesi, yapılacak ölçümlerinin pik bölgelerinden önce sabit sıcaklıkta dengeleme ve pik bölgesinde yapılacak sıcaklık tarama hızının ön görülmesi hedeflenmiştir.

Nohut nişastasının termogramları incelendiğinde 20 g/100 g nem içeriğinde beklendiği üzere (Zhou vd., 2009) nişasta jelatinize olmamış, ancak 90-100 °C civarında bir pik gözlenmiştir (Çizelge 4.4). Bu sıcaklık aralığında ortamda nişasta jelatinizasyonu sonucu ortama salınan amiloz beklenmediği göz önüne alındığında gözlemlenen pikin protein-lipit kompleksinin erime sıcaklığına karşılık gelmesi beklenir. Nişasta jelatinizasyonunun beklendiği 71 g/100 g nem içeriğinde C-tipi nişastaya uygun olarak (Şekil 4.8) B-tipi nişastayı çevreleyen A-tipi nişastanın jelatinizayonunun tamamlandığı ve B-tipi nişastanın da jelatinize olduğu gözlenmiştir (Hizukuri, Kaneko & Takeda, 1983; Zhu vd., 2017; Huang vd., 2007; Lii vd., 1996; Tester & Karkalas, 1996). Ayrıca, 71 g/100 g nem içeriğinde 89 - 98 °C aralığında gözlenen ikinci pikte amiloz-lipit kompleksinin de katkısı olması beklenir (Chung vd., 2008) (Çizelge 4.4). Buna karşın, 56 g/100 g nişasta örneğinde, jelatinizasyonun B-tipi nişastaya kadar ulaşmadığı görülmüş ve yüksek sıcaklıktaki protein-lipit kompleksine

ait olduğu düşünülen pike rastlanmamıştır. Nişasta jelatinizasyonunun 56 g/100 g nem içeriğinde desteklenmesi sonucunda ortama salınan amilozun protein-lipit kompleksinin oluşmasını engellediği, nem içeriğinin ise amiloz-lipit kompleksi oluşumunu desteklemediğini düşündürmektedir. Ayrıca, 20 g/100 g nem içeriğinde lipitten arındırılmış nişasta örneğinde 64-83 °C sıcaklıkta gözlenen pikin (Çizelge 4.4) nişasta jelatinizasyon piki olmadığı göz önüne alındığında nohut sisteminde nişasta-protein etkileşimlerinin lipit içermeyen ortamda hem düşük hem de yüksek sıcaklık aralıklarında gözlenebileceğini düşündürmektedir.



Şekil 4.8. 71 g/100 g nem içeriğine sahip nohut nişastası jelatinizasyon termogramı.

Nohut unu ve lipitten arındırılmış nohut unuyla yapılan termal tarama analizi de seçilen tarama programının nişasta jelatinizasyon özelliklerini ortaya çıkardığını (Çizelge 4.4), bileşen etkileşimlerinin jelatinizasyon piki içinde kaybolduğunu ve baskılandığını göstermiştir. Lipitli ve lipitten arındırılmış nohut unu örneklerinde 20 g/100 g nişasta örneklerinde pike rastlanmamıştır. Yalnızca 55 g/100 g ve 70 g/100 g nem içeriklerinde nişasta jelatinizasyonu pikleri gözlenmiştir (Çizelge 4.4). Literatürde nohut unu jelatinizasyon pik sıcaklıkları 62,59 °C ile 73,3°C arasında, ΔH değerleri ise 0,65-4,9 J/g arasındadır (Çizelge 4.5) (Chung vd., 2008; Chung, 2011; Kaur & Singh, 2005; Sanjeewa, 2008). Entalpi değerlerinin literatürde birbirinden uzak olması verilerin tekrarlanabilirliğinin sorgulanmasını ve nişasta jelatinizasyonu dışındaki bileşen etkileşimlerinin pik entalpilarını farklılaştırdığını düşündürmektedir. Bu çalışmada elde edilen nohut unu jelatinizasyon pik sıcaklıkları literatüre uygundur, ancak nohut nişastası için pik sıcaklık aralığının 67-78 °C arasında olması (Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5) protein-lipit etkileşimlerini işaret etmektedir.

Çizelge 4.4. Nohut ve bileşenlerinin DSC parametreleri.

Örnek	Nem	Endoterm I				Endoterm II			
		T_o (°C)	T_p (°C)	T_e (°C)	ΔH (J/g)	T_o (°C)	T_p(°C)	T_e(°C)	ΔH(J/g)
Nohut unu	70 g/100g	67,13	72,63	76,36	0,81				
	55 g/100g	68,36	73,10	77,60	0,83				
	20 g/100g	-	-	-	-				
Lipitten arındırılmış nohut unu	70 g/100g	65,10	69,89	69,29	0,16				
	55 g/100g	66,96	72,98	77,63	0,18				
	20 g/100g	-	-	-	-				
Nohut nişastası	71 g/100g	67,42	72,51	78,02	1,37	87,52	93,32	98,10	1,21
	56 g/100g	65,73	71,66	76,35	1,35	–	–	–	–
	20 g/100g	–	–	–	–	89,99	97,12	100,63	0,13
Lipitten arındırılmış nohut nişastası	71 g/100g	67,85	71,82	76,11	0,66	-	-	-	-
	56 g/100g	64,60	71,84	82,98	1,23	-	-	-	-
	20 g/100g	64,00	71,77	82,86	1,34	89,76	94,97	101,09	0,29
Nohut proteini	69 g/100g	-	-	-	-				
	53 g/100g	84,53	92,55	-	0,77				
	20 g/100g	79,78	84,63	-	0,39				
Lipitten arındırılmış nohut proteini	69 g/100g	96,95	97,19	-	0,0049				
	53 g/100g	74,59	78,56	-	0,14				
	20 g/100g	79,88	84,5	-	0,48				

T_o: Pik başlangıç sıcaklığı °C, T_p : Pik tepe sıcaklığı °C, T_e: Pik bitiş sıcaklığı °C, ΔH: Entalpi, J/g.

Çizelge 4.5. Nohut ve buğday için literatürde yayınlanmış termal analiz sonuçları[1]

		T_o (°C)	T_p (°C)	T_e (°C)	ΔH (J/g)
Kaur ve Singh (2005)	NU	65,4- 67,9	70,6- 73,3	77- 79,4	3,5- 4,9
Chung vd. (2008)	NU	60,1- 60,8	70,3- 72,5	80,1-81,5	4,3-5,1
Chung (2011)	NU	62,4	72,5	81,5	5,1
	NN	58,9	67,6	80,2	13,3
Sanjeewa (2008)	NU	54,88- 62,34	62,59- 67,36	-	0,65- 1,73
	NN	53,82-56,29	58,80-60,60	-	1,99-3,08
	NP	73,6-92,1	82,2-97,4	-	2,4-4,0
Polesi vd. (2011)	NN	59,9	64,6	68,2	14,7
Miao vd. (2009b)	NN	59,4-62,237	67-68,833	-	1,198-1,868
Kaur & Sing (2007)	NP	89,45	98,9	-	4,59
Eliasson, Gudmundsson & Svensson (1995)	Yumuşak buğday unu	55,1	60,8		10,26
Morita vd (2002)	Yumuşak buğday unu	53,4	63,0	67,3	0,67
Wickramasinghe vd. (2005)	Yumuşak buğday unu	52,8- 55,6	60,7- 61,2	-	10,9- 11,7
	Sert buğday unu	52,1- 54,9	60,9- 61,7	-	9,6- 10,0
El-Khayat, Samaan & Brennan (2003)	Sert buğday unu	58,2- 60,0	63,0- 64,2	69,7- 71,1	3,6- 4,7
Addo vd. (2001)	Sert buğday unu	60,0	64,5	-	2,07
Abdel-Aal, Hucl, Chibbar, Han & Demeke (2002)	Sert buğday unu	54,6	62,5	73,4	11,5

[1] T_o: Pik başlangıç sıcaklığı °C, T_p : Pik tepe sıcaklığı °C, T_e: Pik bitiş sıcaklığı °C, ΔH: Entalpi, J/g

Nohut unu, sert ve yumuşak buğday unlarına kıyasla yüksek jelatinizasyon sıcaklığına sahiptir (Tablo 4.4 ve Tablo 4.5). Jelatinizasyon sıcaklığı nişastanın kristal yapısının düzgünlüğünü, entalpi değeri ise kristal amilopektin miktarını belirtmektedir (Tester, 1997). Nişastaların jelatinizasyon sıcaklıklarındaki farklılıklar, granüllerinin amiloz içeriği, nişasta boyutu, formu ve dağılımına bağlıdır (Tester, 1997). Nohut unundaki jelatinizasyon sıcaklıklarının yüksek olması nişastanın uzun zincir ve daha büyük kristal yapıdan meydana geldiğini gösterir (Miao, Jiang & Zhang, 2009a). Yüksek jelatinizasyon sıcaklığı şişmeye karşı bir direnç oluşturmaktadır (Meares vd., 2004). Nişastanın suyu yapısına alması ve şişmesi viskozitenin artmasını sağlamaktadır. Nohut nişastası buğdaya kıyasla yüksek jelatinizasyon sıcaklığına sahip olduğundan unlu mamuller üretiminde buğday yerine kullanılmasında hamur üretimi esnasında sorun teşkil etmektedir. Bu sebeple nohut ununun jelatinizasyon özelliğinden yararlanmak ve viskoelastik hamur oluşturmak için modifikasyonlar yapılması gerekmektedir.

Elde edilen sonuçlar, lipitli ve lipitten arındırılmış nohut unu ve nohut nişastası örnekleri için incelenmiş, protein bileşeni için anlamlı sonuçlar elde edilememiştir. Protein çözünürlüğü değerlerinin beklenenden düşük ölçülmüş olmasının (Çizelge 4.2) yanında termal analiz verilerinden de anlamlı sonuçlar elde edilememiş olması protein ayrıştırma aşamasının yeniden gözden geçirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Protein bileşeniyle ilgili verilerde anlamlı birincil evre geçişi ve bileşen etkileşimi piklerinin gözlemlenememiş olması çözünürlük verilerine paralel olarak ayrıştırma işlemi sırasında proteinlerin denatüre olma olasılığına işaret etmektedir. Bu çalışma sonucunda yapılan gözlemler, amiloz-lipit ve protein-lipit etkileşimlerinin irdelenmesi ve C-tipi nohut nişastasının jelatinizasyon özelliklerinin % 70 ve üstünde nem içeriklerinde 65-80 °C ve 85-100 °C aralıklarının detaylı biçimde incelenmesi gerektiğini göstermiştir.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Nohutun unlu mamuller endüstrisinde buğday yerine kullanılıp kullanılamayacağının belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada ilk olarak nohut temel bileşenleri olan nişasta ve proteine ayrıştırılmış ve lipit etkileşimini de incelemek amacıyla her örnek grubu lipitten arındırılmıştır. Nişasta izolasyonunda uygulanan yöntem elde edilen kazanım ve verim açısından başarılı olmuştur. Ancak, daha yüksek saflıkta nişasta elde etmek amacıyla nişasta saflaştırma işlemlerinin tepki yüzeyi yöntemleri kullanılarak deneysel bir tasarım planı çerçevesinde, farklı çözücü, çözücü sıralaması ve çözücü-çözünen oranının ve tekrar sayısının arttırılması gibi ayrıştırma koşullarının optimize edilmelidir.

Nohutun nişasta bileşeninin su tutma kapasitesinin yumuşak buğdaya denk düzeyde olduğu bulunmuştur. Çözünürlük ve şişme kuvveti açısından buğday ununun daha yüksek şişme kuvvetine sahip olduğu, nohut ununun ise daha yüksek çözünürlüğe sahip olduğu bulunmuştur. Teknolojik özelliklerin belirlenmesi konusunda elde edilen sonuçlar, yüksek amiloz ve lipit içeriğine sahip olan nohut ununda nişasta işlevselliği bu iki bileşeninin etkileşimi sonucu engellendiğini göstermektedir. Dolayısıyla, nohut unundaki lipit bileşeninin unlu mamullerin üretiminde hamur oluşumunun ilk basamağı olan suyun özümlenmesi açısından istenmeyen bir bileşen olduğu ortaya çıkmıştır. Nohutun protein bileşeninin ayrıştırılması sırasında uygulanan çözdürme/çökelme işlem parametrelerinin yüzey tepkisi yöntemiyle optimize edilmesi ve özellikle çökelme işleminin basamaklı olarak yapılması gereği ortaya çıkmıştır.

Nohut unu ve bileşenlerine ait örnekler ile lipitten arındırılmış örnekler 35 °C'de sigmoid şekilli Tip II izotermine uygun karakteristik göstermiştir. Nohut ununun sorpsiyon özelliklerini belirleyen baskın bileşen nişastadır. Ancak, ortamda bulunan lipit bileşeninin sorpsiyon mekanizmasını etkilediği gözlemlenmiştir. Sorpsiyon mekanizmasında sıcaklık önemli bir parametredir ve modelleme işleminin tamamlanması için GAB ve Halsey model parametrelerinin sıcaklıkla olan ilişkisini irdelemek üzere bir dizi deneysel veri elde edilmelidir.

Ön çalışma niteliğindeki termal analiz sonuçları, uygulanacak sıcaklık programının, amiloz-lipit ve protein-lipit etkileşimlerinin irdelenmesi ve C-tipi nohut nişastasının jelatinizasyon özelliklerinin % 70 ve üstünde nem içeriklerinde 65-80 °C ve 85-100 °C aralıklarının detaylı olarak incelenmesi gereğini ortaya koymuştur. Bu sıcaklık aralıklarında, termal dengeleme, tavlama ve dar sıcaklık aralıklarında taramadan oluşan sıcaklık tarama programlarının tasarlanması gereklidir.

Elde edilen sonuçlar nohutun unlu mamuller endüstrisinde kullanılabilmesi için yalnızca lipit bileşeninden arındırılması yeterli olmayacağını ve protein bileşeninin de hidrofilik gruplar açısından geliştirilmesi için kimyasal/enzimatik uyarlamalar yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu çerçevede, nohut proteininde bulunan hidrofilik grupların miktar ve yerleşimlerinin ağ yapı oluşturmaya uygun olup olmadığı ve bu konuda yapılabilecek fiziksel ve kimyasal/enzimatik uyarlamaların nitelikleri araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

AACC (American Association of Cereal Chemists). (2000). Approved methods of the american association of cereal chemists. (11th ed.). The Association: St Paul. MN.

Abdel-Aal, E. S., Hucl, P., Chibbar, R. N., Han, H. L., & Demeke, T. (2002). Physicochemical and structural characteristics of flours and starches from waxy and nonwaxy wheats. *Cereal chemistry*, *79*(3), 458-464.

Addo, K., Xiong, Y. L., & Blanchard, S. P. (2001). Thermal and dynamic rheological properties of wheat flour fractions. *Food research international*, *34*(4), 329-335.

Adebowale, K. O., & Lawal, O. S. (2003). Foaming, gelation and electrophoretic characteristics of mucuna bean (*Mucuna pruriens*) protein concentrates. *Food Chemistry*, *83*(2), 237-246.

Aguilar, N., Albanell, E., Miñarro, B., & Capellas, M. (2015). Chickpea and tiger nut flours as alternatives to emulsifier and shortening in gluten-free bread. *LWT-Food science and Technology*, *62*(1), 225-232.

Ahmed, M. A. (2014). Protein Isolates from Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and Its Application in Cake. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, *8*(11).

Alcázar-Alay, S. C., & Meireles, M. A. A. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology*, *35*(2), 215-236.

Al-Muhtaseb, A. H., McMinn, W. A. M., & Magee, T. R. A. (2002). Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. *Food and bioproducts processing*, *80*(2), 118-128.

Alsohaimy, S. A., Sitohy, M. Z., & El-Masry, R. A. (2007). Isolation and partial characterization of chickpea, lupine and lentil seed proteins. *World Journal of Agricultural Sciences*, *3*(1), 123-129.

Alviola, J. N. A., & Monterde, V. G. (2018). Physicochemical and Functional Properties of Wheat (*Triticum aestivum*) and Selected Local Flours in the Philippines. *Philippine Journal of Science*, *147*(3), 419-430.

Andersson, L. (2001). *Studies on starch structure and the differential properties of starch branching enzymes* (Doktora Tezi). Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

Anonim. (2012). *Kimya Teknolojisi-Spektrofotometre*. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Ankara.

Arendt, E. K., & Dal Bello, F. (2008). Gluten-Free Cereal, Products and Beverages (Food Science and Technology). *International Series. Academic Press, London*.

Attenburrow, G., Barnes, D. J., Davies, A. P., & Ingman, S. J. (1990). Rheological properties of wheat gluten. *Journal of Cereal Science*, *12*(1), 1-14.

Aurelia, I., Iuliana, A., Aura, D., Gabriela, G., Cristina, B., & Andrei, N. (2009). Chemical and functional characterization of chickpea protein derivates. *The*

Annals of the University of Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI. Food Technology, *33*, 16.

Aydın, E. (2020). Unlu Mamullerin Kompozit Unlar ile Zenginleştirilmesi. *Akademik Gıda*, *18*(2), 217-227.

Balaban, M. O., Zuritz, C. A., Singh, R. P., & Hayakawa, K. I. (1987). Estimation of heat of moisture sorption and improved criteria for evaluating moisture sorption isotherm equations for foods. *Journal of Food Process Engineering*, *10*(1), 53-70.

Baldwin, P. M. (2001). Starch granule-associated proteins and polypeptides: A review. *Starch-Stärke*, *53*(10), 475-503.

Barbosa-Cánovas, G. V., Fontana, A. J., Schmidt, S. J., & Labuza, T. P. (2007). Water activity in foods. *Fundamentals and applications*. John Wiley & Sons.

Becker, A., Hill, S. E., & Mitchell, J. R. (2001). Relevance of amylose-lipid complexes to the behaviour of thermally processed starches. *Starch-Stärke*, *53*(3-4), 121-130.

Bilişli, A. (2012). *Gıda Teknolojisi*. İzmir: Sidas.

Blanshard, J. M. V., Frazier, P. J. & Galliard, T. (1988). Chemistry and pysics baking. *Royal Society of Chemistry*. England, 276 s.

Blazek, J. (2008). *Role of Amylose in Structure-Function Relationship in Starches from Australian Wheat Varieties* (Doktora Tezi). Sydney Üniversitesi.

Boquet, R., Chirife, J., & Iglesias, H. A. (1978). Equations for fitting water sorption isotherms of foods. *Journal of Food Technology*, 13, 319–329.

Bosaeus, I. (2004). Fibre effects on intestinal functions (diarrhoea, constipation and irritable bowel syndrome). *Clinical Nutrition Supplements*, *1*(2), 33-38.

Brunauer, S., Emmett, P. H., & Teller, E. (1938). Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American chemical society*, *60*(2), 309-319.

Caballero-Cerón, C., Guerrero-Beltrán, J. A., Mújica-Paz, H., Torres, J. A., & Welti-Chanes, J. (2015). Moisture sorption isotherms of foods: experimental methodology, mathematical analysis, and practical applications. In *Water Stress in Biological, Chemical, Pharmaceutical and Food Systems* (pp. 187-214). Springer, New York, NY.

Camargo, J. R., & Garcia, C. A. O. (2011). Effect of silicification on the water sorption properties of microcrystalline cellulose II. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, *47*(1), 125-135.

Cato, L., Gan, J., Rafael, L., & Small, D. (2004). Gluten free breads using rice flour and hydrocolloid gums. *Food Australia*, *56*(3), 75-78.

Cauvain, S. P. (2007). *Technology of breadmaking* (Third Edition). Springer.

Cemeroğlu, B. (2013). *Meyve Sebze İşleme Teknolojisi II. Cilt* (5. Baskı). Ankara: Bizim Grup.

Chandra, S., & Samsher, L. (2013). Assessment of functional properties of different flours. *African Journal of Agricultural Research*, *8*(38), 4849-4852.

Chang, Y. W., Alli, I., Molina, A. T., Konishi, Y., & Boye, J. I. (2012). Isolation and characterization of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seed protein fractions. *Food and bioprocess technology*, *5*(2), 618-625.

Chel-Guerrero, L., Perez-Flores, V., Betancur-Ancona, D., & Davila-Ortiz, G. (2002). Functional properties of flours and protein isolates from *Phaseolus lunatus* and *Canavalia ensiformis* seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*(3), 584-591.

Chinnasarn, S., & Manyasi, R. (2010). Chemical and physical properties of taro flour and the application of restructured taro strip product. *World applied sciences journal*, *9*(6), 600-604.

Chirife, J., & Iglesias, H. A. (1978). Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part 1—a review. *International Journal of Food Science & Technology*, *13*(3), 159-174.

Chirife, J., & María del Buera, P. I. L. A. R. (1994). Water activity, glass transition and microbial stability in concentrated/semimoist food systems. *Journal of Food Science*, *59*(5), 921-927.

Chrastil, J. (1987). Improved colorimetric determination of amylose in starches or flours. *Carbohydrate Research*, *159*(1), 154-158.

Chuma, A., Ogawa, T., Kobayashi, T., & Adachi, S. (2012). Moisture sorption isotherm of durum wheat flour. *Food Science and Technology Research*, *18*(5), 617-622.

Chung, D. S., & Pfost, H. B. (1967). Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their products Part I: Heat and free energy changes of adsorption and desorption. *Transactions of the ASAE*, *10*(4), 549-0551.

Chung, H. J. (2011). Studies for physicochemical and in vitro digestibility characteristics of flour and starch from chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Food Science & Technology*, *16*(4), 339-347.

Chung, H. J., Liu, Q., Hoover, R., Warkentin, T. D., & Vandenberg, B. (2008). In vitro starch digestibility, expected glycemic index, and thermal and pasting properties of flours from pea, lentil and chickpea cultivars. *Food Chemistry*, *111*(2), 316-321.

Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., & Tang, M. C. (2009). Form and functionality of starch. *Food hydrocolloids*, *23*(6), 1527-1534.

Craig, S. S., Maningat, C. C., Seib, P. A., & Hoseney, R. C. (1989). Starch paste clarity. *Cereal chemistry*, *66*(3), 173-182.

Cuq, B., Abecassis, J., & Guilbert, S. (2003). State diagrams to help describe wheat bread processing. *International journal of food science & technology*, *38*(7), 759-766.

Çelebi, N. (2015). *Nohut unu kullanımının Siverek tırnaklı ekmek kalitesine etkileri* (Yüksek Lisans Tezi). Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

D'appolonia, B. L., & Rayas-Duarte, P. (1994). *Wheat carbohydrates: structure and functionality*. In *Wheat* (pp. 107-127). Springer, Boston, MA.

Damodaran, S. (2008). Amino Acids, Peptides and Proteins. In S. Damodaran, K. Parkin, O.R. Fennema, *Fennemas food chemistry*, 4nd edition, CRC Press/ Taylor & Francis.pp 219-323.

Damodaran, S. (1994). Structure-function relationship of food proteins. *Protein functionality in food systems*, *9*, 1-37.

de Almeida Costa, G. E., da Silva Queiroz-Monici, K., Reis, S. M. P. M., & de Oliveira, A. C. (2006). Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food chemistry*, *94*(3), 327-330.

Debnath, S., Hemavathy, J., & Bhat, K. K. (2002). Moisture sorption studies on onion powder. *Food Chemistry*, *78*(4), 479-482.

de Escalada Pla, M. F., Ponce, N. M., Stortz, C. A., Gerschenson, L. N., & Rojas, A. M. (2007). Composition and functional properties of enriched fiber products

obtained from pumpkin (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poiret). *LWT-Food Science and Technology*, *40*(7), 1176-1185.

de la Hera, E., Martinez, M., & Gómez, M. (2013). Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice bread. *LWT-Food Science and Technology*, *54*(1), 199-206.

Deep Singh, G., Wani, A. A., Kaur, D., & Sogi, D. S. (2008). Characterisation and functional properties of proteins of some Indian chickpea (*Cicer arietinum*) cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *88*(5), 778-786.

Delcour, J. A., & Hoseney, R. C. (2010). Principles of cereal science and technology.

DeMan, J. M., Finley, J. W., Hurst, W. J., & Lee, C. Y. (1999). *Principles of food chemistry* (Fourth Edition). Gaithersburg: Aspen Publishers.

Demir, B. (2008). *Nohut ununun geleneksel erişte ve kuskus üretiminde kullanım imkanları üzerine bir araştırma* (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Demirekin, A. (2019). *Pirinç nişastasından çeşitli yöntemler ile elde edilen enzime dirençli nişastanın karakterizasyonu ve ekmek kalitesi üzerine etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta

Dhankhar, J., Vashistha, N., & Sharma, A. (2019). Development of biscuits by partial substitution of refined wheat flour with chickpea flour and date powder. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, 2019*, 1093-1097.

Doğan, H. (2000). *The effect of component ınteractions on the structural and functional properties of legume extrudates* (Doktora Tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Durakova, A. G., & Menkov, N. D. (2005). Moisture sorption characteristics of chickpea flour. *Journal of food engineering*, *68*(4), 535-539.

Duranti, M. (2006). Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia*, *77*(2), 67-82.

Elder, J. H., Shankar, M., Shuster, J., Theriaque, D., Burns, S., & Sherrill, L. (2006). The gluten-free, casein-free diet in autism: results of a preliminary double blind clinical trial. *Journal of autism and developmental disorders*, *36*(3), 413-420.

Elgün, A., & Ertugay, Z. (1995). Tahıl işleme teknolojisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, *718*, 376.

Eliasson, A. C. (Ed.). (2004). *Starch in food: Structure, function and applications*. CRC press.

Eliasson, A. C., Gudmundsson, M., & Svensson, G. (1995). Thermal behaviour of wheat starch in flour—Relation to flour quality. *LWT-Food Science and Technology*, *28*(2), 227-235.

El-Khayat, G. H., Samaan, J., & Brennan, C. S. (2003). Evaluation of vitreous and starchy Syrian durum (*Triticum durum*) wheat grains: the effect of amylose content on starch characteristics and flour pasting properties. *Starch-Stärke*, *55*(8), 358-365.

Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food chemistry*, *124*(2), 411-421.

Erbaş, M., Şekerci, H., & Gül, S. (2008). Gıdaların Sorpsiyon İzotermlerinin Belirlenmesi ve Kullanımı. Türkiye 10. Gıda Kongresi, Erzurum.

Erbaş, M., Candal, C., Kılıç, Ö., & Mutlu, C. (2016). Gıdalarin nem sorpsiyon izotermlerinin belirlenmesi ve eşitliklerinin çözümü. *GIDA*, *41*, 171-178.

Ertugay, M. F., & Certel, M. (2000). Moisture sorption isotherms of cereals at different temperatures. *Food/Nahrung*, *44*(2), 107-109.

FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistic Division). (2020). URL http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E. (Erişim Tarihi: 05.02.2020).Organization Of The United Nations.

Feillet, P. (1988). Protein and enzyme composition of durum wheat. Durum Wheat: Chemistry and Technology. G. Fabriani and C. Lintas, eds. Am. Assoc. St. Paul, MN. *Cereal Chemistry*, 93-119.

Fıratlıgil-Durmuş, F. E. (2008). *Kırmızı biber tohumunun endüstriyel olarak değerlendirilmesi, protein ekstraksiyonu, fonksiyonel özellikleri ve mayonez üretiminde kullanımı* (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Finnie, S., & Atwell, W. A. (2016). *Wheat Flour* (No. Ed. 2). American Association of Cereal Chemists, Inc (AACC).

Ferreira, S. M. R., de Mello, A. P., dos Anjos, M. D. C. R., Krüger, C. C. H., Azoubel, P. M., & de Oliveira Alves, M. A. (2016). Utilization of sorghum, rice, corn flours with potato starch for the preparation of gluten-free pasta. *Food chemistry*, *191*, 147-151.

Flores-Silva, P. C., Berrios, J. D. J., Pan, J., Agama-Acevedo, E., Monsalve-González, A., & Bello-Pérez, L. A. (2015). Gluten-free spaghetti with unripe plantain, chickpea and maize: physicochemical, texture and sensory properties. *CyTA-Journal of Food*, *13*(2), 159-166.

Franco, C. M., Wong, K. S., Yoo, S. H., & Jane, J. L. (2002). Structural and functional characteristics of selected soft wheat starches. *Cereal Chemistry*, *79*(2), 243-248.

Fredriksson, H., Silverio, J., Andersson, R., Eliasson, A. C., & Åman, P. J. C. P. (1998). The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. *Carbohydrate polymers*, *35*(3-4), 119-134.

Gałkowska, D., Witczak, T., Korus, J., & Juszczak, L. (2014). Characterization of some spelt wheat starches as a renewable biopolymeric material. *International Scholarly Research Notices*, *2014*.

Gallagher, E., Gormley, T. R., & Arendt, E. K. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology*, *15*(3-4), 143-152.

Gallagher, E., Gormley, T. R., & Arendt, E. K. (2003). Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *Journal of food engineering*, *56*(2-3), 153-161.

Garg, S., & Jana, A. K. (2011). Characterization and evaluation of acylated starch with different acyl groups and degrees of substitution. *Carbohydrate Polymers*, *83*(4), 1623-1630.

Ghribi, A. M., Gafsi, I. M., Sila, A., Blecker, C., Danthine, S., Attia, H., ... & Besbes, S. (2015b). Effects of enzymatic hydrolysis on conformational and functional properties of chickpea protein isolate. *Food Chemistry*, *187*, 322-330.

Ghribi, A., Maklouf, I., Blecker, C., Attia, H., & Besbes, S. (2015a). Nutritional and com-positional study of Desi and Kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) flours

from Tunisian cultivars. *Advances in Food Technology and Nutrition Sciences Open Journal*, *1*(2), 38-47.

Güler, M. S., & Bilici, S. (2017). Besinin içeriği, işleme ve pişirme yöntemlerinin glisemik indeks üzerine etkisi. *Gazi Sağlık Bilimleri Dergisi*, *2*(3), 1-12.

Gunaratne, A., Bentota, A., Cai, Y. Z., Collado, L., & Corke, H. (2011). Functional, digestibility, and antioxidant properties of brown and polished rice flour from traditional and new-improved varieties grown in Sri Lanka. *Starch-Stärke*, *63*(8), 485-492.

Hadjivassiliou, M., Grünewald, R. A., Kandler, R. H., Chattopadhyay, A. K., Jarratt, J. A., Sanders, D. S., ... & Davies-Jones, G. A. B. (2006). Neuropathy associated with gluten sensitivity. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *77*(11), 1262-1266.

Hall, G. M. (1996). Basic concepts, in Methods of Testing Protein Functionality. (Hall, G.M.(Ed.) (s. 11-55). London: Blackie Academic&Professional.

Halsey, G. (1948). Physical adsorption on non-uniform surfaces. *The Journal of chemical physics*, *16*(10), 931-937.

Han, J. J., Janz, J. A., & Gerlat, M. (2010). Development of gluten-free cracker snacks using pulse flours and fractions. *Food Research International*, *43*(2), 627-633.

Harwalkar, V. R. & Ma, C. Y. (1990). *Thermal analysis of foods*, Elsevier Science Publishers LTD.

Hasjim, J., Ai, Y., & Jane, J. L. (2013). Novel applications of amylose-lipid complex as resistant starch type 5. *Resistant starch*, 79-94.

Hasjim, J., Li, E., & Dhital, S. (2013). Milling of rice grains: Effects of starch/flour structures on gelatinization and pasting properties. *Carbohydrate polymers*, *92*(1), 682-690.

Hassan, H. M. M., Afify, A. S., Basyiony, A. E., Ahmed, G. T., & Ghada, T. (2010). Nutritional and functional properties of defatted wheat protein isolates. *Aust J Basic Appl Sci*, *4*(2), 348-358.

Henderson, S. M. (1952). A basic concept of equilibrium moisture. *Agricultural engineering*, *33*, 29-32.

Hermansson, A. M., & Svegmark, K. (1996). Developments in the understanding of starch functionality. *Trends in Food Science & Technology*, *7*(11), 345-353.

Hizukuri, S., Kaneko, T., & Takeda, Y. (1983). Measurement of the chain length of amylopectin and its relevance to the origin of crystalline polymorphism of starch granules. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, *760*(1), 188-191.

Hoover, R., & Ratnayake, W. S. (2002). Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada. *Food Chemistry*, *78*(4), 489-498.

Hoseney, R. C. (1994). Principles of Cereal Science and Technology, American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, U.S.A.

Hoseney, R. C. (1986). *Principles of cereal science and technology. A general reference on cereal foods*. American Association of Cereal Chemists, Inc..

Hosta, H. G. (2012). *Farklı baklagil unları ile zenginleştirilmiş glutensiz pirinç erişte*lerinin *kalite ve bazı besinsel özelliklerinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Howarth, N. C., Saltzman, E., & Roberts, S. B. (2001). Dietary fiber and weight regulation. *Nutrition reviews*, *59*(5), 129-139.

Huang, J., Schols, H. A., van Soest, J. J., Jin, Z., Sulmann, E., & Voragen, A. G. (2007). Physicochemical properties and amylopectin chain profiles of cowpea, chickpea and yellow pea starches. *Food Chemistry*, *101*(4), 1338-1345.

Humbert, P., Pelletier, F., Dreno, B., Puzenat, E., & Aubin, F. (2006). Gluten intolerance and skin diseases. *European Journal of Dermatology*, *16*(1), 4-11.

Jagannadham, K., & Parimalavalli, R. (2015). Comparative study on chemical, functional and pasting properties of chickpea (non cereal) and wheat (cereal) starches. *International Food Research Journal*, *22*(2).

Jagannadham, K., Parimalavalli, R., Babu, A. S., & Rao, J. S. (2014). A study on comparison between cereal (wheat) and non cereal (chickpea) flour characteristics. *International Journal Current Trend Research*, *3*(2), 70-76.

Joshi, A. U., Liu, C., & Sathe, S. K. (2015). Functional properties of select seed flours. *LWT-Food Science and Technology*, *60*(1), 325-331.

Jribi, S., Sahagùn, M., Debbabi, H., & Gomez, M. (2019). Evolution of functional, thermal and pasting properties of sprouted whole durum wheat flour with sprouting time. *International Journal of Food Science & Technology*, *54*(9), 2718-2724.

Kaletunc, G., & Breslauer, K. J. (Eds.). (2003). *Characterization of cereals and flours: properties, analysis and applications*. CRC Press.

Karaca, A. C., Low, N., & Nickerson, M. (2011). Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction. *Food Research International*, *44*(9), 2742-2750.

Karaoğlu, M. M., Boz, H., Kotancılar, H. G., & Gerçekaslan, K. E. (2009). Tahıl Ürünlerinde Camsı Yapıya Geçiş Sıcaklığı ve Önemi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *40*(2), 93-99.

Kaur, A., Shevkani, K., Katyal, M., Singh, N., Ahlawat, A. K., & Singh, A. M. (2016). Physicochemical and rheological properties of starch and flour from different durum wheat varieties and their relationships with noodle quality. *Journal of food science and technology*, *53*(4), 2127-2138.

Kaur, M., & Singh, N. (2007). Characterization of protein isolates from different Indian chickpea (Cicer arietinum L.) cultivars. *Food Chemistry*, *102*(1), 366-374.

Kaur, M., & Singh, N. (2006). Relationships between selected properties of seeds, flours, and starches from different chickpea cultivars. *International Journal of Food Properties*, *9*(4), 597-608.

Kaur, M., & Singh, N. (2005). Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (Cicer arietinum L.) cultivars. *Food chemistry*, *91*(3), 403-411.

Kaymak-Ertekin, F., & Gedik, A. (2004). Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. *LWT-Food Science and Technology*, *37*(4), 429-438.

Kaymak-Ertekin, F., & Sultanoğlu, M. (2001). Moisture sorption isotherm characteristics of peppers. *Journal of food engineering*, *47*(3), 225-231.

Khan, A. R., Alam, S., Ali, S., Bibi, S., & Khalil, I. A. (2007). Dietary fiber profile of food legumes. *Sarhad Journal of Agriculture*, *23*(3), 763.

Kieffer, R., & Stein, N. (1999). Demixing in wheat doughs—Its influence on dough and gluten rheology. *Cereal chemistry*, *76*(5), 688-693.

Kuhn, I. (1967). A generalized potential theory of adsorption. I. Derivation of a general equation for adsorption isotherms. *Journal of Colloid And Interface Science*, *23*(4), 563.

Kuntz Jr, I. D. (1971). Hydration of macromolecules. III. Hydration of polypeptides. *Journal of the American Chemical Society*, *93*(2), 514-516.

Kuntz, L. A. (1994). Fiber: From frustration to functionality. *Food Product Design*, *2*(91), 108.

Kurt Gökhisar, Ö. (2018). *Kırmızı mercimek (Lens culinaris) makarnası üretiminin araştırılması* (Doktora Tezi). Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.

Lagoudaki, M., Demertzis, P. G., & Kontominas, M. G. (1993). Moisture adsorption behaviour of pasta products. *LWT-Food Science and Technology*, *26*(6), 512-516.

Lesego, B. (2014). *Physico-functional properties of wheat-morama bean composite flour and its performance in food systems* (Doctoral dissertation, M. Sc. Thesis, University of Akera, Akera, Ghana).

Li, J., Berke, T. G., & Glover, D. V. (1994). Variation for thermal properties of starch in tropical maize germ plasm. *Cereal Chemistry*, *71*(1), 87-90.

Lii, C. Y., Tsai, M. L., & Tseng, K. H. (1996). Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. *Cereal chemistry*, *73*(4), 415-420.

Lindeboom, N. (2005). *Studies on the characterization, biosynthesis and isolation of starch and protein from quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)* (Doctoral dissertation). University of Saskatchewan.

Lineback, D. R., & Ke, C. H. (1975). Starches and low-molecular-weight carbohydrates from chick pea and horsebean flours. *Cereal Chemistry (USA)*.

Liu, Q., Gu, Z., Donner, E., Tetlow, I., & Emes, M. (2007). Investigation of digestibility in vitro and physicochemical properties of A-and B-type starch from soft and hard wheat flour. *Cereal Chemistry*, *84*(1), 15-21.

Marconi, E., & Carcea, M. (2001). Pasta from nontraditional raw materials. *Cereal Foods World*, *46*(11), 522-530.

Mathlouthi, M., & Rogé, B. (2003). Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. *Food chemistry*, *82*(1), 61-71.

McLaughlin, C. P., & Magee, T. R. A. (1998). The determination of sorption isotherm and the isosteric heats of sorption for potatoes. *Journal of Food Engineering*, *35*(3), 267-280.

McWatters, K. H., & Cherry, J. P. (1977). Emulsification, foaming and protein solubility properties of defatted soybean, peanut, field pea and pecan flours. *Journal of Food Science*, *42*(6), 1444-1447.

Meares, C. A., Bogracheva, T. Y., Hill, S. E., & Hedley, C. L. (2004). Development and testing of methods to screen chickpea flour for starch characteristics. *Starch-Stärke*, *56*(6), 215-224.

Medeiros, M. L., Ayrosa, A. M. I. B., de Moraes Pitombo, R. N., & da Silva Lannes, S. C. (2006). Sorption isotherms of cocoa and cupuassu products. *Journal of Food Engineering*, *73*(4), 402-406.

Menkov, N. D. (2000a). Moisture sorption isotherms of chickpea seeds at several temperatures. *Journal of Food Engineering*, *45*(4), 189-194.

Menkov, N. D. (2000b). Moisture sorption isotherms of lentil seeds at several temperatures. *Journal of Food Engineering*, *44*(4), 205-211.

Menkov, N. D., & Durakova, A. G. (2007). Moisture sorption isotherms of sesame flour at several temperatures. *Food Technology and Biotechnology*, *45*(1), 96-100.

Mestres, C., Colonna, P., Alexandre, M. C., & Matencio, F. (1993). Comparison of various processes for making maize pasta. *Journal of Cereal Science*, *17*(3), 277-290.

Miao, M., Jiang, B., & Zhang, T. (2009a). Effect of pullulanase debranching and recrystallization on structure and digestibility of waxy maize starch. *Carbohydrate Polymers*, *76*(2), 214-221.

Miao, M., Zhang, T., & Jiang, B. (2009b). Characterisations of kabuli and desi chickpea starches cultivated in China. *Food Chemistry*, *113*(4), 1025-1032.

Miñarro Vivas, B. (2013). *Development of gluten-free bread formulations* (Doctoral dissertation).Universitat Autònoma de Barcelona,.

Mohamed, A., Kouhila, M., Jamali, A., Lahsasni, S., & Mahrouz, M. (2005). Moisture sorption isotherms and heat of sorption of bitter orange leaves (Citrus aurantium). *Journal of food Engineering*, *67*(4), 491-498.

Moreira, R., Chenlo, F., Torres, M. D., & Prieto, D. M. (2010). Water adsorption and desorption isotherms of chestnut and wheat flours. *Industrial Crops and Products*, *32*(3), 252-257.

Morita, N., Maeda, T., Miyazaki, M., Yamamori, M., Miura, H., & Ohtsuka, I. (2002). Dough and baking properties of high-amylose and waxy wheat flours. *Cereal Chemistry*, *79*(4), 491-495.

Nuwamanya, E., Baguma, Y., Wembabazi, E., & Rubaihayo, P. (2011). A comparative study of the physicochemical properties of starches from root, tuber and cereal crops. *African Journal of Biotechnology*, *10*(56), 12018-12030.

Oliete, B., Pérez, G. T., Gómez, M., Ribotta, P. D., Moiraghi, M., & León, A. E. (2010). Use of wheat, triticale and rye flours in layer cake production. *International journal of food science & technology*, *45*(4), 697-706.

Oswin, C. R. (1946). The kinetics of package life. III. The isotherm. *Journal of the Society of Chemical Industry*, *65*(12), 419-421.

Padalino, L., Mastromatteo, M., Lecce, L., Spinelli, S., Conte, A., & Alessandro Del Nobile, M. (2015). Optimization and characterization of gluten-free spaghetti enriched with chickpea flour. *International journal of food sciences and nutrition*, *66*(2), 148-158.

Paredes-López, O., Ordorica-Falomir, C., & Olivares-Vazquez, M. R. (1991). Chickpea protein isolates: physicochemical, functional and nutritional characterization. *Journal of Food Science*, *56*(3), 726-729.

Parker, R., & Ring, S. G. (2001). Aspects of the physical chemistry of starch. *Journal of Cereal Science*, *34*(1), 1-17.

Pasha, I., Anjum, F. M., & Morris, C. F. (2010). Grain hardness: a major determinant of wheat quality. *Food Science and Technology International*, *16*(6), 511-522.

Patharkar, S. R. (2018). Process isolation of protein isolate from chick pea (Cicer arietinum) with the solubility and color characteristics. *International Journal of Chemical Studies* 2019, 7(1): 1113-1118.

Perera, C., & Hoover, R. (1999). Influence of hydroxypropylation on retrogradation properties of native, defatted and heat-moisture treated potato starches. *Food Chemistry*, *64*(3), 361-375.

Polesi, L. F., Sarmento, S. B., & Anjos, C. B. P. (2011). Composition and characterization of pea and chickpea starches. *Brazilian J. Food Technol.*, *14*(1), 74-81.

Pollatos, E. P., Riganakos, K. A., & Demertzis, P. G. (2013). Moisture sorption characteristics of Greek durum wheat semolina. *Starch-Stärke*, *65*(11-12), 1051-1060.

Pomeranz, Y. (1987). Modern Cereal Science and Technology, VCH Publishers, Inc., Washington, U.S.A.

Pomeranz, Y., & Chung, O. K. (1978). Interaction of lipids with proteins and carbohydrates in breadmaking. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *55*(2), 285-289.

Pontieri, P., Mamone, G., De Caro, S., Tuinstra, M. R., Roemer, E., Okot, J., ... & Massardo, D. R. (2013). Sorghum, a healthy and gluten-free food for celiac patients as demonstrated by genome, biochemical, and immunochemical analyses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *61*(10), 2565-2571.

Preichardt, L. D., Vendruscolo, C. T., Gularte, M. A., & Moreira, A. D. S. (2011). The role of xanthan gum in the quality of gluten free cakes: improved bakery products for coeliac patients. *International journal of food science & technology*, *46*(12), 2591-2597.

Primo-Martin, C., Van de Pijpekamp, A., Van Vliet, T., De Jongh, H. H. J., Plijter, J. J., & Hamer, R. J. (2006). The role of the gluten network in the crispness of bread crust. *Journal of Cereal Science*, *43*(3), 342-352.

Pyler, E. J. (1988). Baking Science and Technology, Sosland Publishing Company, U.S.A.

Ratnayake, W. S., & Jackson, D. S. (2008). Starch gelatinization. *Advances in food and nutrition research*, *55*, 221-268.

Roja, J., Moren, S., & Lopez, A. (2011). Assessment of the water sorption properties of several microcrystalline celluloses. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, *3*(7), 1302.

Roman-Gutierrez, A. D., Guilbert, S., & Cuq, B. (2002). Distribution of water between wheat flour components: A dynamic water vapour adsorption study. *Journal of Cereal Science*, *36*(3), 347-355.

Romero, H. M., & Zhang, Y. (2019). Physicochemical properties and rheological behavior of flours and starches from four bean varieties for gluten-free pasta formulation. *Journal of Agriculture and Food Research*, 1, 100001.

Romero-Baranzını, A. L., Yáñez-Farías, G. A., & Barrón-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*(5), 319-329.

Saadah, O. I., Zacharin, M., O'callaghan, A., Oliver, M. R., & Catto-Smith, A. G. (2004). Effect of gluten-free diet and adherence on growth and diabetic control in diabetics with coeliac disease. *Archives of disease in childhood*, *89*(9), 871-876.

Sahin, S., & Sumnu, S. G. (2006). *Physical properties of foods*. Springer Science & Business Media.

Sajilata, M. G., Singhal, R. S., & Kulkarni, P. R. (2006). Resistant starch–a review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, *5*(1), 1-17.

Sanchez, H. D., Osella, C. A., & De La Torre, M. A. (2002). Optimization of gluten-free bread prepared from cornstarch, rice flour, and cassava starch. *Journal of food science*, *67*(1), 416-419.

Sánchez-Vioque, R., Clemente, A., Vioque, J., Bautista, J., & Millán, F. (1998). Polar lipids of defatted chickpea (Cicer arietinum L.) flour and protein isolates. Food Chemistry, 63(3), 357-361.

Sánchez-Vioque, R., Clemente, A., Vioque, J., Bautista, J., & Millán, F. (1999). Protein isolates from chickpea (*Cicer arietinum* L.): chemical composition, functional properties and protein characterization. *Food Chemistry*, *64*(2), 237-243.

Sanjeewa, T. (2008). *Physico-chemical properties of chickpea flour, starch and protein fractions and their utilization in low-fat pork bologna* (Doctoral dissertation, University of Saskatchewan).

Sanjeewa, W. T., Wanasundara, J. P., Pietrasik, Z., & Shand, P. J. (2010). Characterization of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flours and application in low-fat pork bologna as a model system. *Food Research International*, *43*(2), 617-626.

Sathe, S. K., & Salunkhe, D. K. (1981). Isolation, partial characterization and modification of the great northern bean (Phaseolus vulgaris L.) starch. *Journal of Food Science*, *46*(2), 617-621.

Sayar, S., Koksel, H., & Turhan, M. (2005). The effects of protein-rich fraction and defatting on pasting behavior of chickpea starch. *Starch-Stärke*, *57*(12), 599-604.

Schober, T. J., O'brien, C. M., McCarthy, D., Darnedde, A., & Arendt, E. K. (2003). Influence of gluten-free flour mixes and fat powders on the quality of gluten-free biscuits. *European Food Research and Technology*, *216*(5), 369-376.

Schoch, T. J. & Maywald, E. C. (1968). Preparation and properties of various legume starches. *Cereal Chem.*, *45*, 564-573.

Schoch, T. J. (1964). Swelling power and solubility of granular starches. Methods in Carbohydrate Chemistry. Vol. 4, Whistler, R.L. (Ed.), Academic Press, New York. 106-108.

Schoenlechner, R., Drausinger, J., Ottenschlaeger, V., Jurackova, K., & Berghofer, E. (2010). Functional properties of gluten-free pasta produced from amaranth, quinoa and buckwheat. *Plant foods for human nutrition*, *65*(4), 339-349.

Sharoba, A. M., Farrag, M. A., & Abd El-Salam, A. M. (2013). Utilization of some fruits and vegetables waste as a source of dietary fiber and its effect on the cake making and its quality attributes. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, *19*(4), 429-444.

Shewry, P. R., Halford, N. G., Belton, P. S., & Tatham, A. S. (2002). The structure and properties of gluten: an elastic protein from wheat grain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, *357*(1418), 133-142.

Sibt-e-Abbas, M., Butt, M. S., Sultan, M. T., Sharif, M. K., Ahmad, A. N., & Batool, R. (2015). Nutritional and functional properties of protein isolates extracted from defatted peanut flour. *International Food Research Journal*, *22*(4), 1533.

Singh Gill, B., Singh, N., & Saxena, S. K. (2004). The impact of starch properties on noodle making properties of Indian wheat flours. *International Journal of Food Properties*, *7*(1), 59-74.

Singh, J., & Singh, N. (2003). Studies on the morphological and rheological properties of granular cold water soluble corn and potato starches. *Food hydrocolloids*, *17*(1), 63-72.

Singh, N., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N. S., & Gill, B. S. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food chemistry*, *81*(2), 219-231.

Singh, U., & Singh, B. (1991). Functional properties of sorghum-peanut composite flour. *Cereal chemistry*, *68*(5), 460-463.

Sissons, M. (2008). Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread. *Food*, *2*(2), 75-90.

Sivam, A. S., Sun-Waterhouse, D., Quek, S., & Perera, C. O. (2010). Properties of bread dough with added fiber polysaccharides and phenolic antioxidants: A review. *Journal of food science*, *75*(8), R163-R174.

Smith, S. E. (1947). The sorption of water vapor by high polymers. *Journal of the American Chemical Society*, *69*(3), 646-651.

Sosulski, F., & Youngs, C. G. (1979). Yield and functional properties of air-classified protein and starch fractions from eight legume flours. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *56*(3), 292-295.

Stampfli, L., & Nersten, B. (1995). Emulsifiers in bread making. *Food chemistry*, *52*(4), 353-360.

Sung, W. C., & Stone, M. (2004). Characterization of legume starches and their noodle quality. *Journal of Marine Science and Technology*, *12*(1), 25-32.

Sung, W. C., & Stone, M. (2003). Characterization of various wheat starch in pasta development. *Journal of marine science and technology*, *11*(2), 61-69.

Svegmark, K., Helmersson, K., Nilsson, G., Nilsson, P. O., Andersson, R., & Svensson, E. (2002). Comparison of potato amylopectin starches and potato starches—influence of year and variety. *Carbohydrate Polymers*, *47*(4), 331-340.

Swami, S. B., Das, S. K., & Maiti, B. (2005). Moisture sorption isotherms of black gram nuggets (bori) at varied temperatures. *Journal of Food Engineering*, *67*(4), 477-482.

Tang, C. H. (2008). Thermal denaturation and gelation of vicilin-rich protein isolates from three Phaseolus legumes: A comparative study. *LWT-Food Science and Technology*, *41*(8), 1380-1388.

Tao, H., Huang, J. S., Xie, Q. T., Zou, Y. M., Wang, H. L., Wu, X. Y., & Xu, X. M. (2018). Effect of multiple freezing-thawing cycles on structural and functional properties of starch granules isolated from soft and hard wheat. *Food chemistry*, *265*, 18-22.

Tester, R. F., & Karkalas, J. O. H. N. (1996). Swelling and gelatinization of oat starches. *Cereal Chemistry*, *73*(2), 271-277.

Tester, R. F., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). Starch—composition, fine structure and architecture. *Journal of cereal science*, *39*(2), 151-165.

Tester, R.F. (1997). Influence of growth conditions of barley starch properties, *International Journal of Biological Macromolecules*, 21 ,37-45.

Thompson, L. U. (1977). Preparation and evaluation of mung bean protein isolates. *Journal of Food Science*, *42*(1), 202-206.

Tiwari, B. K., Gowen, A., & McKenna, B. (Eds.). (2011). *Pulse foods: processing, quality and nutraceutical applications*. Academic Press.

Torbica, A., Hadnađev, M., & Hadnađev, T. D. (2012). Rice and buckwheat flour characterisation and its relation to cookie quality. *Food Research International*, *48*(1), 277-283.

Torten, J., & Whitaker, J. R. (1964). Evaluation of the biuret and dye-binding methods for protein determination in meats. *Journal of Food Science*, *29*(2), 168-174.

Toufeili, I. M. A. D., Dagher, S. H. A. W. K. Y., Shadarevian, S. O. S. S. Y., Noureddine, A. B. I. R., Sarakbi, M., & Farran, M. T. (1994). Formulation of gluten-free pocket-type flat breads: optimization of methylcellulose, gum Arabic, and egg albumen levels by response surface methodology. *Cereal Chemistry*, *71*(6), 594-600.

Turabi, E., Sumnu, G., & Sahin, S. (2010). Quantitative analysis of macro and micro-structure of gluten-free rice cakes containing different types of gums baked in different ovens. *Food hydrocolloids*, *24*(8), 755-762.

TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). (2020). Bitkisel üretim istatistikleri. https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1 (Erişim tarihi: 08.07.2020).

Ulukut, A. G. K. (2010). *Çerezlik Mısır Hamuruna Nohut Unu, Yerfıstığı Unu Ve Kırmızıbiber Tohum Unu Eklenmesi Sonucu Isıl ve Reolojik Özelliklerde Meydana Gelen Değişimin İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Uthumporn, U., Karim, A. A., & Fazilah, A. (2013). Defatting improves the hydrolysis of granular starch using a mixture of fungal amylolytic enzymes. *Industrial crops and products*, *43*, 441-449.

Ünal, S. S. (1991). Hububat Teknolojisi (Ders Kitabı). Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İzmir.

Van den Berg, C., & Bruin, S. (1981). Water activity and its estimation in food systems: Theoretical aspects. In *Water Activity: Influences on Food Quality*, ed. L. B. Rockland and G. F. Stewart, pp. 1–61, New York: Academic Press.

Vansteelandt, J., & Delcour, J. A. (1999). Characterisation of starch from durum wheat (Triticum durum). *Starch-Stärke*, *51*(2-3), 73-80.

Vijayakumari, K., Pugalenthi, M., & Vadivel, V. (2007). Effect of soaking and hydrothermal processing methods on the levels of antinutrients and in vitro protein digestibility of *Bauhinia purpurea* L. seeds. *Food Chemistry*, *103*(3), 968-975.

Wang, L., Xie, B., Shi, J., Xue, S., Deng, Q., Wei, Y., & Tian, B. (2010). Physicochemical properties and structure of starches from Chinese rice cultivars. *Food Hydrocolloids*, *24*(2-3), 208-216.

Wattanachant, S., Muhammad, S. K. S., Hashim, D. M., & Rahman, R. A. (2002). Suitability of sago starch as a base for dual-modification. *Songklanakarin J. Sci. Technol*, *24*(3), 431-438.

Wickramasinghe, H. A. M., Miura, H., Yamauchi, H., & Noda, T. (2005). Comparison of the starch properties of Japanese wheat varieties with those of popular commercial wheat classes from the USA, Canada and Australia. *Food chemistry*, *93*(1), 9-15.

Wolf, W., Spiess, W. E. L., & Jung, G. (1985). Standardization of isotherm measurements (COST-project 90 and 90 bis). In *Properties of water in foods* (pp. 661-679). Springer, Dordrecht.

Wong, D. W. (1989). *Mechanism and theory in food chemistry* (Vol. 115). New York: Van Nostrand Reinhold.

Wootton, M., Panozzo, J. F., & Hong, S. H. (1998). Differences in gelatinisation behaviour between starches from Australian wheat cultivars. *Starch-Stärke*, *50*(4), 154-158.

Wronkowska, M., Haros, M., & Soral-Śmietana, M. (2013). Effect of starch substitution by buckwheat flour on gluten-free bread quality. *Food and bioprocess technology*, *6*(7), 1820-1827.

Xie, F., Yu, L., Su, B., Liu, P., Wang, J., Liu, H., & Chen, L. (2009). Rheological properties of starches with different amylose/amylopectin ratios. *Journal of Cereal Science*, *49*(3), 371-377.

Yadav, S. S., Redden R. J., Chen, W., & Sharma, B. (Eds.). (2007). *Chickpea breeding and management*. CABI.

Yalçın, S., & Başman, A. (2006). Glutensiz makarna ve erişte üretimi. *Türkiye*, *9*, 24-26.

Yüksel, F., Koyuncu, M., & Sayaslan, A. (2011). Makarnalık buğday (*Triticum durum*) kalitesi. *Turkish Journal of Scientific Reviews*, *4*(2), 25-31.

Zayes, S. F., 1997. *Functionality of Proteins in Food*, Springer, New York.

Zhang, Z., Tian, X., Wang, P., Jiang, H., & Li, W. (2019). Compositional, morphological, and physicochemical properties of starches from red adzuki bean, chickpea, faba bean, and baiyue bean grown in China. *Food science & nutrition*, *7*(8), 2485-2494.

Zhao, Y. H., Manthey, F. A., Chang, S. K., Hou, H. J., & Yuan, S. H. (2005). Quality characteristics of spaghetti as affected by green and yellow pea, lentil, and chickpea flours. *Journal of Food Science*, *70*(6), s371-s376.

Zhou, Y. G., Li, D., Wang, L. J., Li, Y., Yang, B. N., Bhandari, B., ... & Mao, Z. H. (2009). Effect of water content on thermal behaviors of common buckwheat flour and starch. *Journal of Food Engineering*, *93*(2), 242-248.

Zhu, D., Zhang, H., Guo, B., Xu, K., Dai, Q., Wei, C., ... & Huo, Z. (2017). Physicochemical properties of indica-japonica hybrid rice starch from Chinese varieties. *Food Hydrocolloids*, *63*, 356-363.

Ziegler, G. R., Thompson, D. B., & Casasnovas, J. O. H. N. N. Y. (1993). Dynamic measurement of starch granule swelling during gelatinization. *Cereal Chemistry*, *70*, 247-247.

Zobel, H. F. (1984). Gelatinization of starch and mechanical properties of starch pastes. In *Starch: Chemistry and technology* (pp. 285-309). Academic Press.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	:Dilay FİŞEK
Doğum Yeri	:Keşan/Edirne
Doğum Tarihi	:05.10.1994

Eğitim Durumu

Lise	:2008-2012 Lüleburgaz Anadolu Lisesi
Lisans	:2012-2016 Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği
Yabancı Dil	:İngilizce

İş Tecrübesi

2016-2018	Yemekçim Gıda Anonim Şirketi, Gıda Mühendisi