

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAHVERENGİ MERCİMEK NİŞASTASININ KARAKTERİZASYONU VE
LİPİDLER İLE DİRENÇLİ NİŞASTA TİP 5 OLUŞTURMA ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bahar Nur OKUMUŞ

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAHVERENGİ MERCİMEK NİŞASTASININ KARAKTERİZASYONU VE
LİPİDLER İLE DİRENÇLİ NİŞASTA TİP 5 OLUŞTURMA ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Bahar Nur OKUMUŞ
(506111505)**

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Gıda Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Dilara NİLÜFER ERDİL

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506111505 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Bahar Nur OKUMUŞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KAHVERENGİ MERCİMEK NİŞASTASININ ÇEŞİTLİ LİPİDLER İLE ETKİLEŞİMİ VE DİRENÇLİ NİŞASTA OLUŞTURMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Dilara NİLÜFER ERDİL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Neşe ŞAHİN YEŞİLÇUBUK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Sanem ARGİN
Yeditepe Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **27 Mayıs 2015**

Canim aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam süresince değerli görüşlerini, anlayışını, ilgisini ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli danışmanım Sn. Yrd. Doç. Dr. Dilara NİLÜFER ERDİL'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar aşamasındaki büyük yardımları ve desteğinden dolayı çok değerli Sn. Zeynep TACER CABA'ya teşekkürü borç bilirim.

Tezimi tamamlamam konusunda bana olağanüstü destek veren, tüm imkanlarını sunan ve anlayışını esirgemeyen çok değerli müdürüm Krzysztof SKIERKOWSKI'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım (*Special thanks to my great manager Krzysztof SKIERKOWSKI for his remarkable support, understanding and endless encouragement. He provided all oppurtunties for me to complete my thesis).

Gerek deneysel çalışmalarımda gerekse tez yazım aşamasında desteğini hiç esirgemeyen hep yanımda olan, sıkıntılı zamanlarımda moral veren sevgili arkadaşım Hülya YARAR'a çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca desteklerini ve sevgilerini benden esirgemeyen, yaşadığım her zorlukta yanımda olan ve bu tezin tamamlanmasında büyük katkıları olan canım aileme, özellikle en başta annem Sezgin OKUMUŞ'a, babam Mehmet OKUMUŞ'a ve abim Hakan OKUMUŞ'a teşekkürlerimi ve en derin sevgilerimi sunarım.

Mayıs 2015

Bahar Nur OKUMUŞ
(Gıda Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
2.1 Baklagiller	3
2.2 Mercimek	5
2.3 Nişasta	7
2.4 Baklagil Nişastas1.....	8
2.5 Dirençli Nişasta	10
2.6 Amiloz-Lipid Kompleksi	13
3. MALZEME VE YÖNTEM	17
3.1 Malzeme	17
3.1.1 Kahverengi mercimek	17
3.1.2 Yağlar ve yağ asitleri	17
3.1.3 Çalışmada kullanılan kimyasallar ve cihazlar	17
3.2 Yöntemler.....	18
3.2.1 Kahverengi mercimekten nişasta izolasyonu	18
3.2.2 Nişastada kompozisyon ve karakterizasyon analizleri.....	19
3.2.2.1 Toplam nem miktarı tayini	19
3.2.2.2 Toplam kül miktarı tayini	20
3.2.2.3 Toplam protein miktarı tayini	20
3.2.2.4 Toplam yağ miktarı tayini	20
3.2.2.5 Amiloz/amilopektin miktarı tayini	21
3.2.3 Amiloz-lipid kompleksinde analizler	21
3.2.4 İstatiksel analiz.....	24
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	25
4.1 Nişastanın ve Unun Kompozisyonu ve Karakterizasyonu	25
4.2 Sindirilebilirlik	26
4.3 Nişasta Örneklerinin Termal Özellikleri	28
4.4 Nişasta Örneklerinin Viskozite Özellikleri (RVA)	32
4.5 Nişasta Örneklerinin Granül Yapısı (SEM)	35
5. SONUÇ.....	43
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ.....	47

KISALTMALAR

AOAC International:	Uluslararası Amerikan Resmi Analitik Kimyacıları Birliği
DN	: Dirençli Nişasta
G₂₀	: Hidrolizin 20. dakikasında alınan örnekteki glukoz miktarı
G₁₂₀	: Hidrolizin 120. dakikasında alınan örnekteki glukoz miktarı
HSN	: Hızlı Sindirilen Nişasta
YSN	: Yavaş Sindirilen Nişasta
KMN	: Kahverengi Mercimek Nişastası
KMU	: Kahverengi Mercimek Unu
RVA	: Mikro-Visko Analizör
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Yaygın tüketilen bakliyat çeşitleri.....	4
Çizelge 2.2 : Ülkeler bazında dünya mercimek verimi.	5
Çizelge 2.3 : Baklagil nişastasının kompozisyonu ve verimi (kg/ha).	10
Çizelge 2.4 : Dirençli nişasta tipleri.	12
Çizelge 4.1 : Doğal nişasta ve una ait temel bileşenler (%) kuru madde bazında.....	25
Çizelge 4.2: Nişastanın amiloz ve amilopektin içeriği (%).	26
Çizelge 4.3 : Nişasta örneklerine ait DN, HSN ve YSN değerleri.	27
Çizelge 4.4 : Saf nişasta ve %10 lipid ilaveli nişasta örneklerinin DSC ile elde edilen termal özellikleri.....	31
Çizelge 4.5 : %10 lipid ilaveli pişmiş nişasta örneklerinin DSC ile elde edilen termal özellikleri.....	31
Çizelge 4.6 : Nişasta örnekleri ve un için RVA ile elde edilen değerler.	33

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Üretici ülkelerin mercimek üretimindeki payları.	6
Şekil 2.2 : Kahverengi mercimek.	7
Şekil 2.3 : Amiloz (a) ve amilopektin (b) yapısı.	7
Şekil 2.4 : Amiloz-lipid kompleksinin yapısı.	14
Şekil 3.1 : Nişasta izolasyonu.	19
Şekil 4.1 : Nişasta ve un örneklerine ait RVA grafikleri.	35
Şekil 4.2 : Kahverengi mercimek nişastasına ait SEM görüntüleri.	36
Şekil 4.3 : Kahverengi mercimek ununa ait SEM görüntüleri.	37
Şekil 4.4 : Lipid ilaveli kahverengi mercimek nişastasına ait SEM görüntüleri.	38
Şekil 4.5 : Lipid ilaveli pişirilmiş kahverengi mercimek nişastasına ait SEM görüntüleri.	40

KAHVERENGİ MERCİMEK NİŞASTASININ KARAKTERİZASYONU VE LİPİDLER İLE DİRENÇLİ NİŞASTA TİP 5 OLUŞTURMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Baklagiller, insanlar tarafından ilk olarak 3000 yıl önce yetiştirilen *Leguminosae* ailesine aittir. Bu ailenin bireyleri, mükemmel bir karbonhidrat (%50-60) ve ucuz protein kaynağı (%20-24) olmaları sebebiyle dünyada tahıl ürünlerinden sonra en önemli ikinci gıda kaynağıdır.

Mercimek, FAO'nun belirlediği 11 en yaygın tüketilen bakliyat çeşitleri arasında 7. sırada yer almaktadır. Mercimek (*Lens culinaris*) merccek-şekilli tohumlara sahip baklagil türüdür. Sarı, yeşil, kırmızı, kahverengi ve siyah gibi farklı renklerle geniş bir yelpazeye sahiptir. Yüksek protein içeriğinin yanı sıra, mercimekte diyet lifi, folat, manganez, fosfor ve B₁ vitamini içeriği de oldukça yüksektir. Hastalıklara dayanıklı çeşitlerin ıslahı ve bunların kullanılması ile makineli hasada geçilmesi dünya mercimek veriminin son 40 yılda %102,9 oranında artış göstermesini sağlamıştır. Ülke bazında dünya mercimek verimine bakıldığında Türkiye 3. sırada yer almaktadır. Kahverengi mercimek, Türkiye'de Malatya bölgesine özgü bir mercimek çeşididir ve *Lens culinaris Medikus* ailesine dahildir. Yeşil mercimek türüne göre daha küçük boyutta ve daha yuvarlak şekle sahiptir.

Bu çalışmada kullanılan kahverengi mercimek, Duru Bulgur firmasından temin edilmiştir. Kahverengi mercimek nişastasını ve mercimeğin öğütülmesiyle elde edilen kahverengi mercimek ununu tanımlamak amacıyla kompozisyon analizleri uygulanmıştır. Nişasta ve una ait elde edilen nem içeriği değerleri sırasıyla %14,5 ve %12,9; kül içeriği değerleri %0,3 ve %2,9; protein içeriği değerleri %0,8 ve %24,9; yağ içeriği değerleri %0,4 ve %2,5 olarak bulunmuştur. Kahverengi mercimeğin amiloz/amilopektin oranı ise 29:71 olarak tespit edilmiştir.

Amiloz-lipid kompleksi, enzim hidrolizine direnci sebebiyle DN tip 5 olarak tanımlanmıştır. Nişasta granüllerinde amiloz-lipid komplekslerinin oluşması, pişirme sırasında granüllerin şişmesini kısıtlayarak nişastanın enzime direncini arttırmaktadır. Amiloz-lipid komplekslerinin enzime dirençleri lipidlerin moleküler yapısına ve tekli sarmalların kristal yapısına bağlıdır. DN Tip 5 diyeti ile tokluk glisemik ve insülinemik indekslerinde azalma rapor edilmesi, DN Tip 5'i tip-2 diyabet, obezite, hipertansiyon, kalp rahatsızlıkları gibi metabolik sendromlar için önerilen diyet yapmaktadır.

Bu çalışmada; amiloz-lipid kompleksi oluşturulma özelliklerini incelemek üzere mısır yağı, zeytin yağı, soya yağı, hidrojenize ayçiçek yağı, palmitik asit ve stearik asit kullanılmıştır. Amiloz-lipid komplekslerinde ilk aşamada dirençli nişasta tayini, hızlı sindirilen nişasta tayini ve yavaş sindirilen nişasta tayini gerçekleştirilmiştir. Kahverengi mercimek nişastasının %9,9 olarak bulunan dirençli nişasta içeriğinin yağ veya yağ asidi ilavesiyle önemli oranda arttığı (%1,9-5,0) gözlemlenmiştir. Lipid

ilaveli nişastaların dirençli nişasta içeriği ile lipid ilaveli pişirilmiş nişastalarındaki karşılaştırıldığında, pişirme işleminin dirençli nişasta içeriğinin %2 oranında artmasında etkili olduğu görülmüştür.

Doğal nişasta ve %10 lipid ilaveli pişirilmemiş ve pişirilmiş nişasta örneklerinin termal özellikleri diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ile incelenmiştir. Buna göre jelatinizasyon pik değerleri (T_p) ve entalpi değerleri karşılaştırıldığında lipid ilaveli örnekler ile saf kahverengi mercimek nişastasası arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Ancak amiloz-lipid kompleksine ait geçişin entalpisi en yüksek hidrojenize ayçiçek yağı ilave edilen örnekte gözlenmiştir.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak kahverengi mercimek ununun, saf kahverengi mercimek nişastasının ve %10 lipid ilaveli pişirilmemiş ve pişirilmiş nişasta örneklerinin granül yapıları ve dağılımları incelenmiştir. Saf kahverengi mercimek nişastasının oval granüller halinde olduğu, un yapısının ise nişasta granüllerine bağlı olan protein molekülleri ile daha kompleks bir yapıda olduğu görülmüştür. Lipid ilaveli nişasta örneklerine ait görüntülerde nişasta sarmalının içindeki boşluğa özellikle doymuş yağ asitleri içeren yağ veya doymuş yağ asitlerinin yerleştiğini gösteren beyaz renkli granüllerin görüntüleri elde edilmiştir. Pişirilmiş nişasta örneklerine ait görüntüler incelendiğinde ise granüller yapının pişirme işlemi sebebiyle bozulduğu, ancak kristal yapının daha belirgin olduğu görülmüştür.

Farklı yağların (mısır yağı, soya yağı, zeytin yağı, hidrojenize ayçiçek yağı) ve yağ asitlerinin (palmitik asit, stearik asit) nişastanın sindirilebilirliği, amiloz-lipid kompleksi oluşumu ve termal özellikleri üzerine farklı etkileri gözlenmiştir. Nişasta ve lipidlerin birbiriyle olan etkileşimi düşük glisemik indekse sahip nişastalı gıda formülasyonlarının geliştirilmesinde faydalı olacağı düşünülmektedir. Yağların farklı kaynaklardan elde edilen nişastalarla etkileşimlerinin inceleneceği yeni çalışmalara ihtiyaç olduğu görülmektedir.

CHARACTERIZATION OF BROWN LENTIL STARCH AND INVESTIGATION OF RESISTANT STARCH TYPE V FORMATION WITH DIFFERENT LIPIDS

SUMMARY

Pulses were cultivated by humans 3000 years ago and belong to the family *Leguminosae*. Members of the family are the second most important food source in the world after cereal grains as they are excellent source of carbohydrates (50-60%) and an inexpensive source of proteins (20-24%). Pulses are recommended as a staple food by health organizations due to their rich sources of vitamins, minerals and carbohydrates in the human diet. In addition, they have important role for being source of protein to vegetarians.

FAO recognizes 11 primary pulses and lentil is the 7th of this list. The lentil (*Lens culinaris*) is a feathery legume with lens-shaped seeds. Lentil types comprise a wide variety with that colors that include yellow, red, green, brown and black. In addition to the high protein content, lentils are high in dietary fiber, folate, manganese, phosphorous and B₁. The improvement of disease resistant cultivars and the use of harvesting machine have increased the yield of lentil production as 102,9% for the last 40 years worldwide.

Turkey takes 3rd place when all countries are considered regarding lentil production yield. Brown lentil is special to Malatya region and belongs to *Lens culinaris Medikus*. It is smaller in size with respect to green lentil and have ball-like structure.

Starch is the major carbohydrate source in human diet and it consists of amylose and amylopectin. Amylose is an essentially linear molecule with α -1,4 linkages, whereas amylopectin is a highly branched with α -1,6 linkages. Starch has commercial importance for food industry due to its desirable functional properties. One of the important properties of starch is its ability to absorb water which results in gelatinization and loss of granular organization.

Legume starches are characterized by their high amylose content (25-65%). The high amylose content is responsible for a higher resistant starch content which results in their lower digestibility. Due to important nutritional characteristic of legume starches, their value in the industry is increased especially for chronic diseases such as obesity, cardiovascular disease and colon cancer.

As a major energy source, starch is hydrolyzed to glucose by amylolytic enzymes which is present in the gastrointestinal tract. Glucose is then absorbed in the small intestine and increases the blood glucose concentration. However, it has been realized that starch is not completely digested in the small intestine. Most starch products contain rapidly digestible starch (RDS), slowly digestible starch (SDS) and resistant starch (RS). Resistant starch is classified into four groups: RS1, RS2, RS3 and RS4. RS1 is physically inaccessible starch. RS2 is partially crystalline native uncooked starch granules. RS3 is especially formed in cooked products such as

bread, corn flakes or potatoes after cooling and it consists of retrograded amylose. RS4 can be produced by chemical modifications (conversion or cross-linking).

Because of the growing population suffering with insulin resistance, diabetes, overweight, obesity, and other related metabolic syndromes, there are increasing demands for starchy foods that have reduced glycemic-index.

Amylose-lipid complex has been proposed as RS type 5 due to its resistance to enzyme hydrolysis. Molecular structures of the complexing lipid & amylose and the crystalline structure of the amylose-lipid complex affect the enzyme resistance of amylose-lipid complex. Amylose-lipid complex is generally found in native starch and processed starch. The hydrocarbon chain of the lipid interacts with the hydrophobic moiety of the amylose chain and fills the central cavity of the amylose single helix.

The presence of amylose-lipid complex in starch granules increases their enzyme resistance by restricting the granule swelling during cooking. The enzyme resistance of amylose-lipid complex depends on the molecular structure of the lipid and the crystalline structure of the single helices. As it is reported that the diet with RS type 5 reduced postprandial glycemic and insulinemic responses, RS Type 5 is suggested as a potential to intervene in metabolic syndromes including type-2 diabetes, obesity, hypertension, and heart disease.

Compared with control bread made with wheat flour, ingestion of bread with palmitic acid-complexed RS5 causes less postprandial plasma-glucose and insulin responses.

Composition analyses are done to define brown lentil used in this study is obtained from Duru Bulgur company. Brown lentil starch and brown lentil flour. Moisture content of 14,5% and 12,9%; ash content of 0,3% and 2,9%; protein content of 0,8% and 24,9%; fat content of 0,4% and 2,5% were obtained for the starch and flour, respectively. Amylose/amylopectin ratio is determined as 29:71 for brown lentil starch.

Corn oil, olive oil, soy oil, hydrogenated sunflower oil, palmitic acid and stearic acid are used to form amylose-lipid complex. As a first step, resistant starch analysis, rapidly digestible starch analysis and slowly digestible starch analysis were done on amylose-lipid complexes. Resistant starch content of brown lentil starch was calculated as 9,9% which was increased by addition of lipid or fatty acids (1,9-5,0%). When the resistant starch content of lipid added starch samples and lipid added cooked starch samples were compared, it is seen that cooking has an effect on 2% increase of resistant starch content.

Thermal properties of native starch and 10% lipid added uncooked and cooked starch samples were obtained by differential scanning calorimetry (DSC). According to this, there is no difference for gelatinization peak temperatures (T_p) and enthalpy values of lipid added starch samples and native brown lentil starch. On the other hand, amylose-lipid complex transition enthalpy was found to be higher in hydrogenized sunflower oil.

Scanning electron microscope (SEM) was used to obtain the granular structure and distribution of native brown lentil starch, %10 lipid added uncooked and cooked starch samples. It is observed that brown lentil starch has oval granular shape while brown lentil flour has more complex structure with protein molecules embedded into starch granules. Opaque white granule structures were observed for saturated fatty

acids or lipids that are added to starch samples, which is indicating that lipids and fatty acids interacting with the amylose chain and fills the central cavity of the amylose single helix. The images of cooked starch samples show that granular structure of starch were lost and crystal structure became more distinct because of the cooking and cooling process.

Rapid visco analyzer (RVA) measurements show that the addition of fats and fatty acids result in decrease of peak viscosity. Palmitic acid and stearic acid added starch samples show the lowest peak viscosity values as 1468 cP and 1366,5 cP respectively.

It was observed that different lipid types (corn oil, soy oil, olive oil, hydrogenated sunflower oil) and fatty acids (palmitic acid, stearic acid) had different effects on digestibility, amylose-lipid complex formation and thermal properties of starch. By this knowledge gained from this study, new starch and lipid containing formulations having reduced glycemic index can be developed. Future studies are also necessary to investigate the effects of lipids with different starches derived from various sources.

1. GİRİŞ

Son 20 yılda karbonhidratların sağlık üzerine etkilerinin araştırılmasındaki en önemli gelişme dirençli nişastanın keşfidir. Nişastanın içerdiği α -glukozidik bağların insan sindirim sistemindeki enzimler tarafından parçalanarak tamamen hidrolize edildiği bilinmekteyken, son yıllarda yapılan çalışmalar nişastanın insan metabolizmasında tamamen sindirilmediğini, bir kısmının ince bağırsakta sindirime direnç gösterdiğini ortaya koymuştur. Buna göre nişasta beslenme açısından tekrar sınıflandırılmıştır: hızlı sindirilen nişasta, yavaş sindirilen nişasta ve dirençli nişasta (El, 2006).

Dirençli nişasta (DN) kavramı nişastanın biyo yararlılığı ve besinsel lif kaynağı olarak kullanılması konusunda ilgi alanı oluşturmuştur. Yapılan araştırmalarda DN'nin fizyolojik fonksiyonlarının besinsel lif ile benzer olduğu görülmüştür. İncebağırsakta sindirilemeyen nişasta fraksiyonları kalınbağırsaktaki mikroorganizmalar için substrat oluşturmakta ve yararlı mikroorganizmaların gelişmesine olanak sağlamaktadır. Dirençli nişasta fiziksel ve kimyasal özellikleri açısından DN tip1, DN tip2, DN tip3 ve DN tip4 olmak üzere 4 alt fraksiyondan oluştuğu bilinmektedir (Kotancılar, 2008). Ancak yeni bir fraksiyon olarak amiloz-lipid kompleksi enzim hidrolizine direnci sebebiyle DN tip 5 olarak önerilmiştir. Amiloz-lipid kompleksi genellikle saf nişasta granüllerinde ve işlenmiş nişastalarda bulunur. Lipidin hidrokarbon zinciri amilozun hidrofobik yapılı zinciri ile etkileşime geçer ve tekli amiloz sarmalının merkez boşluğunu doldurur (Hasjim ve diğ, 2013).

Baklagiller, yavaş salınımlı karbonhidrat kaynağı olmakla birlikte mineral, vitamin ve yüksek oranda protein (%18-25) içerirler. Tüm bu özellikler baklagillerin, diyabet, kolon kanseri ve kalp hastalıkları gibi metabolik rahatsızlıkları önleme ve kontrol etme üzerinde olumlu fizyolojik etkiler göstermesini sağlamaktadır. Baklagil nişastaları tahıl nişastaları ile karşılaştırıldığında, asıl farkın düşük glisemik indeks olduğu görülmüştür. Ayrıca baklagillerin amiloz içeriği tahıllara göre daha fazla olduğundan dirençli nişasta üretimi için daha iyi bir hammadde olacağı düşünülmektedir (Medina, 2014).

Bu tez çalışmasında; Malatya'ya özgü bir yöresel ürün olan kahverengi mercimek kullanılmıştır. Kahverengi mercimek *Lens culinaris Medikus* ailesine dahildir ve yeşil mercimek türüne göre daha küçük boyutta ve şekil olarak daha yuvarlaktır.

Tez çalışmasının ilk aşamalarında kahverengi mercimeği tanımlamak için mercimekten elde edilen un ve izole edilen nişasta üzerinde kompozisyon analizleri uygulanmıştır. Çalışmanın devamında kahverengi mercimek nişastasına %10 oranında yağ ve yağ asitleri ilave edileren örnekler hazırlanmıştır. Sindirilebilirlik analizleri yapılarak lipid ilaveli pişirilmiş ve pişirilmemiş nişasta örneklerinin ve saf nişasta örneğinin dirençli nişasta, yavaş sindirilebilir nişasta ve hızlı sindirilir nişasta içerikleri karşılaştırılarak lipid ve pişirme işleminin etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca saf nişasta, lipid ilaveli pişirilmiş ve pişirilmemiş nişasta örneklerinin diferensiyel taramalı kalorimetre (DSC) ile termal özellikleri, mikro-visko analizör (RVA) ile viskozite özellikleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile granül yapıları ve dağılımları incelenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Baklagiller

İnsanlar tarafından ilk olarak 3000 yıl önce yetiştirilen *Leguminosae* ailesi 650 cins ve 18000'den fazla türden oluşmaktadır. Bu ailenin bireyleri, dünyada tahıl ürünlerinden sonra en önemli ikinci gıda kaynağıdır (Tiwari ve diğ, 2011).

Baklagiller, mükemmel bir karbonhidrat (%50-60) ve ucuz protein kaynağı (%20-24) olmaları ile beslenme açısından önem taşımaktadırlar (Kaur ve diğ, 2010).

Fasulye, mercimek, bakla, bezelyeyi içeren 80'den fazla bakliyat türü insanlar tarafından tüketilmektedir. Ancak Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Çizelge 2.1'de yer alan 11 bakliyat çeşidini birincil sınıflar olarak belirlemiştir (Tiwari ve diğ, 2011).

Besinsel değerine ek olarak; baklagiller atmosferik azotu düzenleme yeteneği, toprağın genel verimliliğini artırması ve pahalı olan azotlu gübre ihtiyacını azaltması sebepleri ile oldukça önemli hale gelmektedirler. Yaygın olarak tüketilen bakliyat çeşidi bölgeden bölgeye veya ülkeden ülkeye değişebilir, ancak bunların çoğu çok çeşitli ekolojik koşullar altında yetişebilir, hatta yoksul topraklarda gübre uygulaması olmaksızın yetiştirilebilir (Tiwari ve diğ, 2011).

Çizelge 2.1: Yaygın tüketilen bakliyat çeşitleri.

Baklagil sınıfı	Genel isimleri	Botanik isimleri
1. Kuru fasulye		<i>Phaseolus</i> spp., <i>Vigna</i> spp.
	Barbunya, kuru fasulye	<i>Phaseolus vulgaris</i>
	Maş fasulyesi	<i>Vigna radiata</i>
	Azuki fasulyesi	<i>Vigna angularis</i>
	Çalı fasulyesi	<i>Phaseolus coccineus</i>
2. Kuru bakla		<i>Vicia faba</i>
	Bakla	<i>Vicia faba equina</i>
	Kuru bakla	<i>Vicia faba</i>
3. Kuru bezelye		<i>Pisum</i> spp.
	Bahçe bezelyesi	<i>Pisum sativum</i> var.
	Protein bezelyesi	<i>sativum</i>
		<i>Pisum sativum</i> var.
		<i>arvense</i>
4. Nohut	Nohut	<i>Cicer arietinum</i>
5. Kuru börülce	Siyah gözlü bezelye, siyah gözlü fasulye	<i>Vigna unguiculata</i>
6. Güvercin bezelyesi	Kongo fasulyesi, Arhar/Toor	<i>Cajanus cajan</i>
7. Mercimek		<i>Lens culinaris</i>
8. Bambara yerfıstığı	Yer bezelyesi	<i>Vigna subterranea</i>
9. Fiğ	Genel fiğ	<i>Vicia sativa</i>
10. Acı bakla		<i>Lupinus</i> spp.
11. Minör baklagiller		
	Sümbül fasulyesi	<i>Lablab purpureus</i>
	Jack fasulyesi	<i>Canavalia ensiformis</i>
	Kılıç fasulyesi	<i>Canavalia gladiata</i>
	Kanatlı fasulye	<i>Psophocarpus</i>
	Kadife fasulye	<i>teragonolobus</i>
		<i>Mucuna puriens</i> var. <i>utilis</i>

2.2 Mercimek

Mercimek (*Lens culinaris*) merccek şekilli tohumlara sahip baklagil türüdür ve Neolitik zamandan beri insan beslenmesinin bir parçasını oluşturmaktadır. Mercimek çeşitleri, sarı, yeşil, kırmızı, kahverengi ve siyah gibi farklı renklerle geniş bir yelpazeye sahip olmakla birlikte Akdeniz diyetinin önemli bir gıdasıdır.

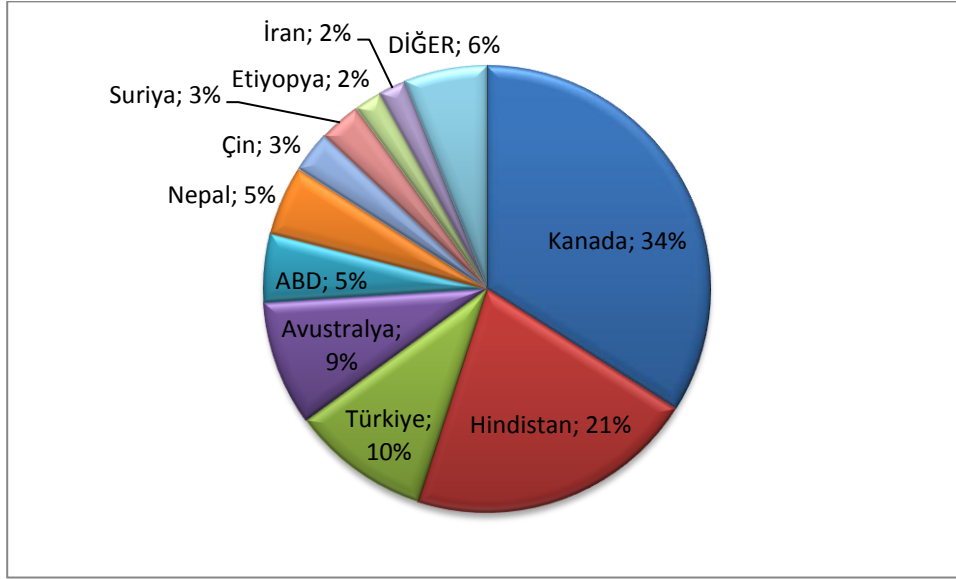
Yüksek protein içeriğinin yanı sıra, mercimekte diyet lifi, folat, manganez, fosfor ve B₁ vitamini içeriği de oldukça yüksektir. Mercimek, en iyi bitkisel demir kaynaklarından biridir ve yüksek tanen içeriği de dikkat çekicidir. Tanen, bitkilerde anti-mikrobiyal özelliklere sahip iken insan vücudunda antioksidan gibi davranmakta, kan basıncını ve kolesterolü düşürerek bağışıklık sistemini düzenlemektedir (USA Dry Pea & Lentil Council, 2010).

Dünya mercimek üretim alanlarında yıldan yıla dalgalanmalar görülmekle birlikte 2010 yılında 4,4 milyon ha ile zirve yapmıştır. Hastalıklara dayanıklı çeşitlerin ıslahı ve bunların kullanılması ile makineli hasada geçişi dünya mercimek verimini son 40 yılda %102,9 oranında artış göstermesini sağlamıştır. Ülkeler bazında dünya mercimek verimine bakıldığında ilk sırayı Avustralya almakta, onu Çin ve Türkiye takip etmektedir. Çizelge 2.2’de ülkeler bazında dünya mercimek verimi sıralaması belirtilmiştir (T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 2013).

Çizelge 2.2: Ülkeler bazında dünya mercimek verimi (kg/ha).

Sıra no	Ülke	2008	2009	2010	2011	2012
1	Avustralya	549	1375	986	1735	2237
2	Çin	2190	1935	2000	2500	2164
3	Türkiye	669	1437	1909	1889	1844
4	Lübnan	1000	1993	1687	1761	1833
5	Mısır	2028	1853	1578	1693	1636
6	Kanada	1490	1568	1458	1534	1509
7	Malavi	961	1164	1060	1485	1458
8	Irak	1319	1504	1520	1398	1400
9	Amerika	1028	1613	1530	1290	1321
10	Meksika	984	982	697	1206	1297
	Dünya	853	1059	1092	1056	1071

Mercimek, yoğun olarak Kanada ve Hindistan'da üretilmektedir. Bu iki ülke dünya mercimek üretiminin %50'sinden fazlasına sahiptir. Kanada %34'ünü gerçekleştirirken, Hindistan %21 ve Türkiye %10'unu üretmektedir. Şekil 2.1'de ülkelerin mercimek üretimindeki payları görülmektedir (T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 2013).



Şekil 2.1: Üretici ülkelerin mercimek üretimindeki payları.

Türkiye mercimek alanlarına bakıldığında, yeşil mercimekte Orta Anadolu Bölgesi ilk sırada yer alırken, onu Batı Karadeniz, Ege, Batı Anadolu ve Akdeniz Bölgesi takip etmektedir. Kırmızı mercimek üretiminin %98'i ise Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yapılmaktadır (T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 2013).

Mercimek tohumları yaklaşık %69 oranında karbonhidrat içermekte ve çoğu nişasta formunda yer almaktadır (Joshi, 2013). Kompleks karbonhidratlar, protein, diyet lifi, vitaminler, mineraller ve yüksek enerji değeri açısından zengin bir kaynaktır. Diyabetli insanlarda glisemik indeksi düşürme, lif içeriği sayesinde kardiyovasküler hastalıklara karşı koruma sağlama gibi fonksiyonları bulunmaktadır. Sayısız çalışma göstermiştir ki yüksek lif içerikli beslenmeye sahip insanlar düşük lif içerikli beslenmeye sahip insanlara göre daha düşük kan basıncına sahiptirler (Wang ve diğ., 2009).

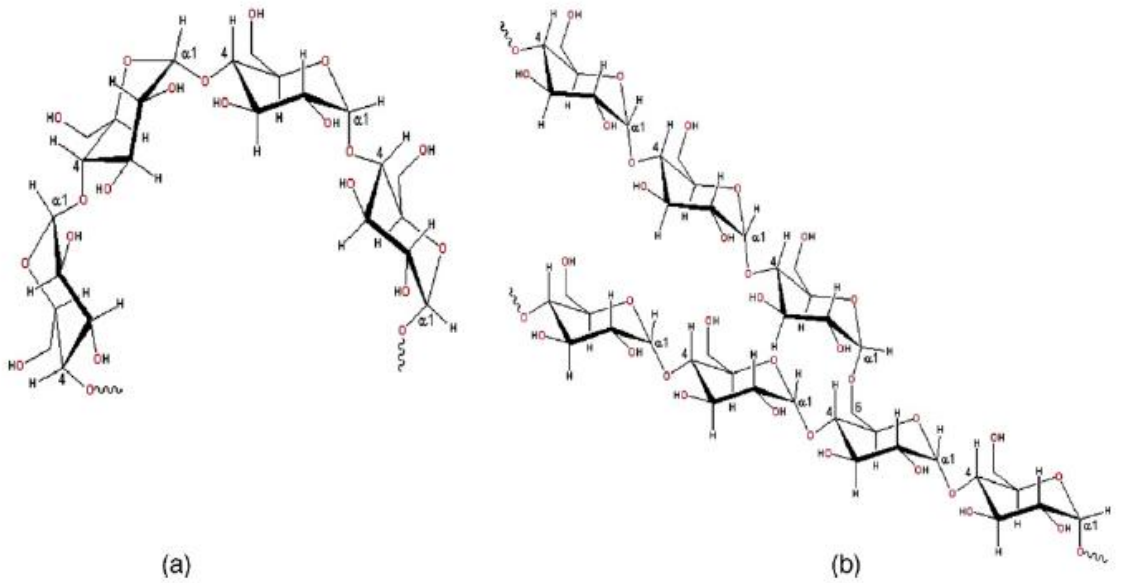
Kahverengi mercimek (Şekil 2.2) Türkiye’de Malatya bölgesine özgü bir mercimek çeşididir ve *Lens culinaris Medikus* ailesine dahildir. Yeşil mercimek türüne göre daha küçük boyutta ve şekil olarak daha yuvarlaktır. Geleneksel yemeklerde genel olarak köfte, mercimek köftesi, pirinç pilavı veya çorbalarda kullanılmaktadır (Yalçın, 2014).



Şekil 2.2: Kahverengi mercimek.

2.3 Nişasta

Nişasta, insan beslenmesinde yer alan temel bir karbonhidrat kaynağıdır (Güzel ve Sayar, 2010). Bitkilerde granül halinde bulunan nişasta, bitki çeşidi ayırt etmeden iki temel fraksiyon içerir: amiloz ve amilopektin (Eliasson, 2004) (Şekil 2.3). Amiloz, α , 1-4 bağlı, amilopektin ise α , 1-4 ve α , 1-6 bağlı glukoz monomerlerinden meydana gelmektedir (Brouns, ve diğ. 2002).



Şekil 2.3: Amiloz (a) ve amilopektin (b) yapısı (Oomah ve diğ, 2011).

Nişasta, birçok istenen fonksiyonel özellikleri sebebiyle ve özellikle ürünlerin tekstürünü direkt olarak etkileyebilme özelliği ile çok önemli ticari değere sahiptir. Nişastanın bir önemli özelliği de jelatinizasyona ve granüler yapının kaybolmasına sebep olan su tutma yeteneğidir. Nişastanın fizikokimyasal karakteristikleri arasındaki farklar fonksiyonel ve reolojik davranışlarına belirgin etkiler yapmaktadır. Bu durum, nişastanın spesifik uygulamalardaki kullanımlarını belirleyici olmaktadır (Kaur ve diğ, 2010).

Nişasta, 1980'li yılların başlarında öngöröldüğü gibi ince bağırsakta tamamen sindirilmez. Englyst, Kingman ve Cummings (1992) nişasta olmayan polisakkarit ölçümü hakkındaki araştırmaları sırasında enzimatik hidrolize dirençli nişasta fraksiyonlarının varlığını farketmişlerdir. Çoğu nişasta ürünü bir miktar, hızlı sindirilen nişasta (HSN), yavaş sindirilen nişasta (YSN) ve sindirime dirençli bir fraksiyon (DN) içerir. Dirençli nişastanın (DN) besleyici liflere benzer şekilde potansiyel fizyolojik faydaları ve benzersiz fonksiyonel özellikleri vardır (Kaur ve diğ, 2010).

2.4 Baklagil Nişastası

Baklagillerin önemli bir bileşeni de nişastadır. Nişasta, ürünün fonksiyonelliğine etki edebilecek moleküler ve fiziksel değişikliklere neden olan, çeşitli fizikokimyasal ortamlarda molekül içi yapılar ortaya çıkaran amiloz (AM) ve amilopektin (AMP) zincirlerini içerir (Farooq ve Boye, 2011).

Yeterli miktarda nem varlığındaki bir ısıtıl işlem sırasında, nişasta molekülündeki multidinamik değişimler sonucunda nişastanın su ve yağ tutma kapasitesi değişikliğe uğrar. Bu değişiklikler sonucu gıda prosesleri sırasında gıdalarda jelatinizasyon, retrogradasyon ve dekstrinizasyon olayları meydana gelir (Farooq ve Boye, 2011).

Yüksek nişastalı un elde etmek için (özellikler bezelye için) birçok proses geliştirilmiştir. Hem solventlerin kullanıldığı yağ proses tekniği hem de hava ile ayırma gibi kuru proses tekniği kullanılmıştır. Yüzde 50 ila 80 üzerinde nişasta içeriğine sahip bezelye nişastası ticari olarak hali hazırda mevcuttur ve birçok gıda ürününde kullanılmaktadır. Gıda uygulamalarında nişasta ve karbonhidrat olarak zengin fraksiyonlar sıklıkla et ürünlerinde katı yağ ikamesi olarak kullanılırlar ve yavaş salınımlı karbonhidratlar için iyi birer kaynaktırlar (Farooq ve Boye, 2011).

Baklagil nişastaları yüksek miktarda (%24-65) amiloz içeriği ile nitelendirilirler. Bu yüksek amiloz içeriği dirençli nişasta (DN) oranını da arttırdığı için sindirilebilirliğinin düşmesine yol açar. Dirençli ve yavaş sindirilebilen nişastalar, nişasta bazlı ürünlerde diyabet ve hiperlipidemi kontrolüne yardımcı düşük bir glisemik indeks oluşumuna katkıda bulunurlar. Bu nişastalar kolon kanserini ve minerallerin aşırı emilimini önlemeye yardımcı olurken aynı zamanda probiyotik organizmaların gelişimi için gerekli birer substrattırlar. Bu önemli beslenme karakteristikleri ile baklagil nişastasının diyet gıdalardaki kullanımının yaygınlaşması, obezite, kalp hastalıkları ve kolon kanseri risklerini düşürmeye yardımcı olabilecek düşük yağlı ve yüksek lif içerikli gıdaların endüstriyel olarak üretiminde baklagil nişastasının değerini arttırmaktadır (Farooq ve Boye, 2011).

Mekanizması tam olarak anlaşılmadıysa da geçtiğimiz yıllarda yürütülen araştırmalar, baklagil nişastası tüketiminin kandaki kolesterol seviyesini düşürmede, kan şekeri ve insülin seviyesini ise düzenlemede olumlu etki yaptığını göstermiştir. Örneğin serum kolesterolünün, pişirilmiş fasulye, mercimek ve nohut gibi gıdaların günlük şekilde tüketilmesi ile azaldığı rapor edilmiştir. Baklagillerin karbonhidrat fraksiyonlarının (lif ve dirençli nişasta gibi) bu faydalı etkilerin ortaya çıkmasına katkı sağlayabileceği öne sürülmüştür (Farooq ve Boye, 2011).

Çizelge 2.3'te baklagillere ait nişasta miktarı, toplam amiloz miktarı ve nitrojen değerleri belirtilmiştir. Buna göre nişasta içeriği %18-49, toplam amiloz miktarı %11,6-88,0 ve azot değeri %0,01-0,43 arasında değişkenlik göstermektedir (Oomah ve diğ, 2011).

Çizelge 2.3: Baklagil nişastalarının kompozisyonu ve verimi.

Nişasta kaynağı	Verim (%)	Toplam amiloz miktarı (%)	Azot (%)
Azuki fasulyesi	21,5	17,6-34,9	0,01-0,07
Kara fasulye	16,4-22,2	27,2-39,3	0,04-0,07
Nohut	29,1-46,0	30,4-35,0	0,08-0,10
Börülce	37	25,8-33,0	0,06-0,09
Bakla	39,9	17,0-42,0	0,33-0,43
Bahçe bezelyesi	21,1-25,5	35,2-38,3	0,04-0,09
Jack fasulyesi	18,4	37,5	0,09-0,16
Barbunya fasulyesi	25-45	34,0-41,5	0,02-0,05
Mercimek	27,4-47,1	23,5-32,3	0,03-0,09
Maş fasulyesi	31,1	33-45,3	0,02-0,05

2.5 Dirençli Nişasta

Nişasta çoğunlukla sindirilebilir polimerdir, ancak, dirençli nişasta (DN) olarak adlandırılan bazı nişastalar ince bağırsakta sindirilmeye direnç göstererek doğrudan kalın bağırsağa geçmekte ve burada lif gibi davranmaktadır. Granül yapısı, amiloz-amilopektin oranı, nişasta kaynağını içeren çeşitli faktörler saf nişastanın sindirime direncini etkileyebilir (Finocchiaro ve diğ., 2009).

Nişasta, *in vitro* sindirilebilirliğinin hızına ve oranına göre genellikle hızlı sindirilebilir nişasta (HSN), yavaş sindirilebilir nişasta (YSN) ve dirençli nişasta (DN) olarak sınıflandırılır. HSN, ince bağırsakta hızlıca sindirilir ve yüksek tokluk glisemik tepkiye katkı sağlar. YSN, yavaşça ama tamamen sindirilir, ve zamanla plazma glukoz düzeyini devam ettirir. DN ise üst mide bağırsak yolunda sindirilememekte, ancak kolonda oluşturduğu mikrobiyal fermantasyon kısa zincirli

yağ asitleri üretmektedir. Bu yağ asitleri vücuda ek enerji ile birlikte kolon sağlığına faydalı yüksek oranda bütirat sağlamaktadır (Zhang ve diğ, 2012).

Englyst'e göre dirençli nişasta dört ana gruba ayrılır: DN1, DN2, DN3 ve DN4. DN1, sindirilemeyen bir matris içinde ve fiziksel olarak erişilemez durumdadır. DN2, kısmen kristallenmiş doğal (pişirilmemiş) nişasta granülleri olarak kabul edilir. DN3 özellikle ekmek, mısır gevreği veya patates gibi pişirilmiş ürünlerde soğuduktan sonra oluşan yeniden kristillenmiş amiloz içerir. DN4 kimyasal modifikasyonlar (konversiyon veya çapraz bağlama) ile elde edilebilir. Bu tür modifikasyonlar DN4'ün enzimlere erişimini engelleyerek ve tipik olmayan bağlar oluşturarak ($1 \rightarrow 2$, $1 \rightarrow 3$, $1 \rightarrow 4$, $1 \rightarrow 6$) sindirilmesini önlemektedir (Zhang ve Jin, 2011).

Dirençli nişasta sınıfları, özellikleri ve bulundukları gıdalar Tablo 2.3'te özetlenmiştir (Finocchiaro ve diğ, 2009).

Çizelge 2.4: Dirençli nişasta tipleri.

DN Nişasta tipi	Tanımı	Özellikleri	Gıdalar	Diğer
DN1	Gıda matrisinin içinde fiziksel olarak erişilmez durumdadır.	Tamamen jelatinize veya dağılmış durumda değildir. Matris sindirim enzimleri tarafından kolayca nüfuz edilemez.	Tam veya kısmen öğütülmüş tahıl, tatlı mısır, yarı haşlanmış pirinç, baklagiller.	Öğütme, püre haline getirme, çiğneme ve jelatinizasyon işlemlerinden etkilenmektedir.
DN2	Oldukça kristal bölgelere sahip granül yapıdadır.	Granül yapıdadır.	Çiğ patates, yeşil muz, yüksek amilozlu mısır.	Nişasta jelatinze olursa DN içeriği azalır.
DN3	Retrograde amiloz ve amilopektin.	Granül olmayan yapıdadır.	Patates, pirinç, ekmek kabuğu, mısır lavaşındaki (tortilla) pişirilmiş ve soğutulmuş nişastalar.	Proses teknikleri ile artırılabilir. 0°C - 4°C arasında daha hızlı görülür.
DN4	Kimyasal olarak modifiye edilmiş nişasta.	Çözünür veya çözünmez olabilir.	Doğada veya gıdalarda doğal olarak bulunmaz.	Fizyolojik etkilerine daha çok kanıt gerekmektedir.
DN5	Amiloz-lipid kompleksinden meydana gelir			

İnsan ve hayvanların temel enerji kaynağı olarak nişasta, sindirim sisteminde bulunan amilolitik enzimler ile glukoza parçalanır. Daha sonra glukoz ince bağırsakta emilir ve kan şeker konsantrasyonunu artırır. Nişastalı ürünlerin nişasta sindirim oranı glisemik indeks olarak açıklanmaktadır. İnsülin direnci, diabet, şişmanlık, obezite ve diğer ilgili metabolik sendromlardan etkilenen nüfusun artması sebebi ile düşük glisemik indekse sahip nişastalı gıdalara olan ilgi artmaktadır. Yüksek amiloz mısır nişastasının serbest yağ asitleri ile işlenmesi yolu ile yeni bir tip dirençli nişasta “DN5” geliştirilmiştir. Buğday unu ile yapılan kontrol ekmeği ile kıyaslandığında palmitik asit ile kompleks oluşturmuş DN5 içeren ekmeğin tüketimi insanlarda önemli ölçüde kanda daha az tokluk glukoz seviyesi ve insülin tepkisi ile sonuçlanmıştır. Farklı yapılar sahip yağların (trigliseritler, lesitinler, serbest yağ asitleri) farklı yapılarıdaki nişastaların enzimatik hidrolizini ve fiziksel özelliklerini nasıl etkilediği tam olarak anlaşılmamıştır (Ai ve diğ, 2013).

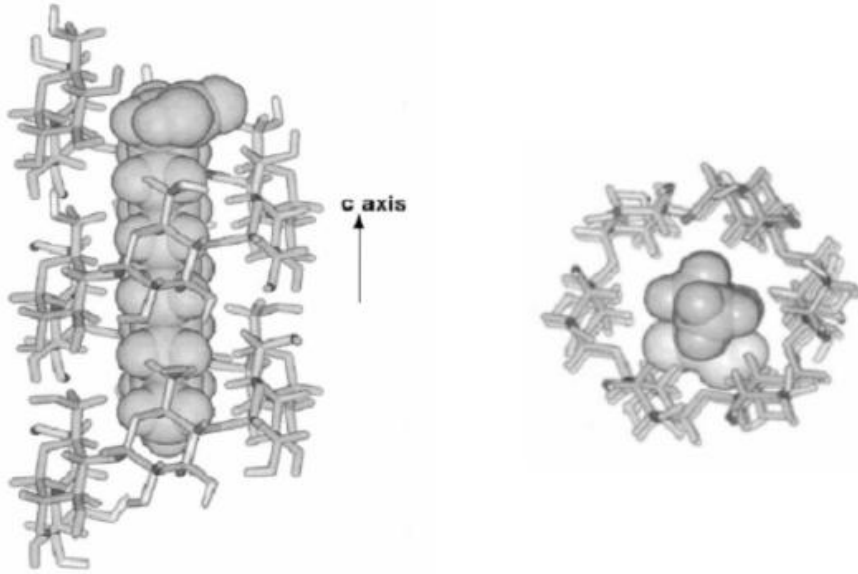
2.6 Amiloz-Lipid Kompleksi

Nişasta ve lipidler gıdaların temel bileşenleridir. Bu bileşenler gıdaların yapısında ve aromasında önemli rol oynamaktadırlar. Lipidler organik çözücülerde çözünürler ve genellikle üç gruba ayrılırlar: basit lipidler (monogliseritler, digliseritler, trigliseritler), bileşik lipidler (fosfolipidler) ve türetilmiş lipidler (serbest yağ asitleri ve uzun zincirli alkoller) (Ai ve diğ, 2013).

Amiloz-lipid kompleksi enzim hidrolizine direnci sebebiyle DN tip 5 olarak önerilmiştir. Nişasta granüllerinde amiloz-lipid komplekslerinin oluşması pişirme sırasında granüllerin şişmesini kısıtlayarak nişastanın enzime direncini arttırmaktadır. Amiloz-lipid komplekslerinin enzime dirençleri lipidlerin moleküler yapısına ve tekli sarmalların kristal yapısına bağlıdır. Uzun hidrokarbonlu zincir içeren yağ asitlerinin enzime direnci daha yüksek amiloz-lipid kompleksleri oluşturduğu raporlanmıştır (Hasjim ve diğ, 2013).

Amiloz-lipid kompleksi oluşumunun enzim duyarlılığını iki şekilde etkilediği düşünülmektedir. Birincisi; nişasta granüllerinin şişme oranını azaltması ve böylece enzimin granül içine ulaşmak için daha az şans bulabilmesidir. İkincisi ise; amiloz-lipid kompleksinin serbest amiloza kıyasla sindirim enzimlerine karşı daha dirençli olmasıdır (Zhang ve diğ, 2012).

Amiloz fraksiyonu, iyot, monogliserit, lisofosfolipit, yağ asitleri ve alkoller dahil pek çok bileşen ile tekli sarmal kompleksler oluşturmasıyla bilinir. Amiloz-lipid kompleksi genellikle saf nişasta granüllerinde ve işlenmiş nişastalarda bulunur. Lipidin hidrokarbon zinciri amilozun hidrofobik yapılı zinciri ile etkileşime geçer ve tekli amiloz sarmalının merkez boşluğunu doldurur (Hasjim ve diğ, 2013).



Şekil 2.4: Amiloz-lipid kompleksinin yapısı (Blazek, 2008).

Amiloz-lipid kompleksi amilolitik enzim hidrolizine karşı dirençlidir. Mevcut dirençli nişasta türlerine fiziksel olarak erişilmez nişasta (DN, tip 1), polimorfik nişasta granülleri (DN, tip 2), retrograde amiloz (DN, tip 3) ve kimyasal olarak modifiye nişastaya (DN, tip 4) ilave olarak yeni bir dirençli nişasta (DN, tip 5) kaynağı önerilmiştir. Amiloz-lipid kompleksi yemek sonrası glisemik indeksde ve insülinemik tepkilerde azalma göstermiştir. Saf yüksek amilozlu mısır nişastasından lipidin uzaklaştırılması nişastanın enzime olan direncinde düşüşe sebep olmuştur. Amiloz-lipid kompleksinin diğer DN tipleri ile karşılaştırıldığında avantajları şöyledir:

- 1- Amiloz-lipid kompleksi DN tip 2'ye göre daha fazla ısıya dayanıklıdır.
- 2- Amiloz-lipid kompleksinin oluşturulması DN tip 3 ve DN tip 4'e kıyasla daha az kapsamlı fiziksel ve/veya kimyasal proses gerektirmektedir.
- 3- Amiloz-lipid kompleksi, çözünme sıcaklığının üstüne ısıtıldıktan sonra soğutma sırasında kompleks yapısını kendiliğinden korur (Hasjim ve diğ, 2013).

DN tip 5 içeren diyet ile beslenme ve beyaz ekmek içeren kontrol diyeti karşılaştırıldığında DN tip 5 diyetinde tokluk glisemik ve insülinemik indekslerde azalma rapor edilmiştir. Bu durum DN Tip 5'i; tip-2 diyabet, obezite, hipertansiyon, kalp rahatsızlıkları gibi metabolik sendromlar için önerilen diyet yapmaktadır (Haşjim ve diğ, 2013).

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Malzeme

3.1.1 Kahverengi mercimek

Malatya yöresine ait olan kahverengi mercimek, 2014 yılında Duru Bulgur firmasından temin edilmiş ve oda sıcaklığında kuru bir ortamda muhafaza edilmiştir.

3.1.2 Yağlar ve yağ asitleri

Amiloz-lipid kompleksi oluşturulmasında mısır yağı, zeytinyağı, soya yağı, hidrojenize ayçiçeği yağı, palmitik asit ve stearik asit kullanılmıştır. Bitkisel yağlardan mısır yağı olarak Kırlangıç marka ürün, zeytinyağı olarak Yudum marka sızma zeytinyağı, soya yağı olarak KRK markalı ürün, hidrojenize ayçiçek yağı ise Unipro Gıda'dan temin edilmiştir. Kullanılan yağ asitleri palmitik ve stearik asit ise Sigma Aldrich'den temin edilmiştir. Sıvı yağlar oda sıcaklığında kuru bir ortamda muhafaza edilirken, yağ asitleri analize dek -18°C'de muhafaza edilmiştir.

3.1.3 Çalışmada kullanılan kimyasallar ve cihazlar

Kimyasallar; Etanol (Sigma Aldrich), Hekzan (Sigma Aldrich), Maleik asit (Merck), Sodyum hidroksit (Sigma Aldrich). Analiz kiti olarak; Amiloz/amilopektin tayin kiti (Megazyme, Co. Wicklow, İrlanda), ve Dirençli nişasta tayin kiti (Megazyme, Co. Wroclow, İrlanda) kullanılmıştır.

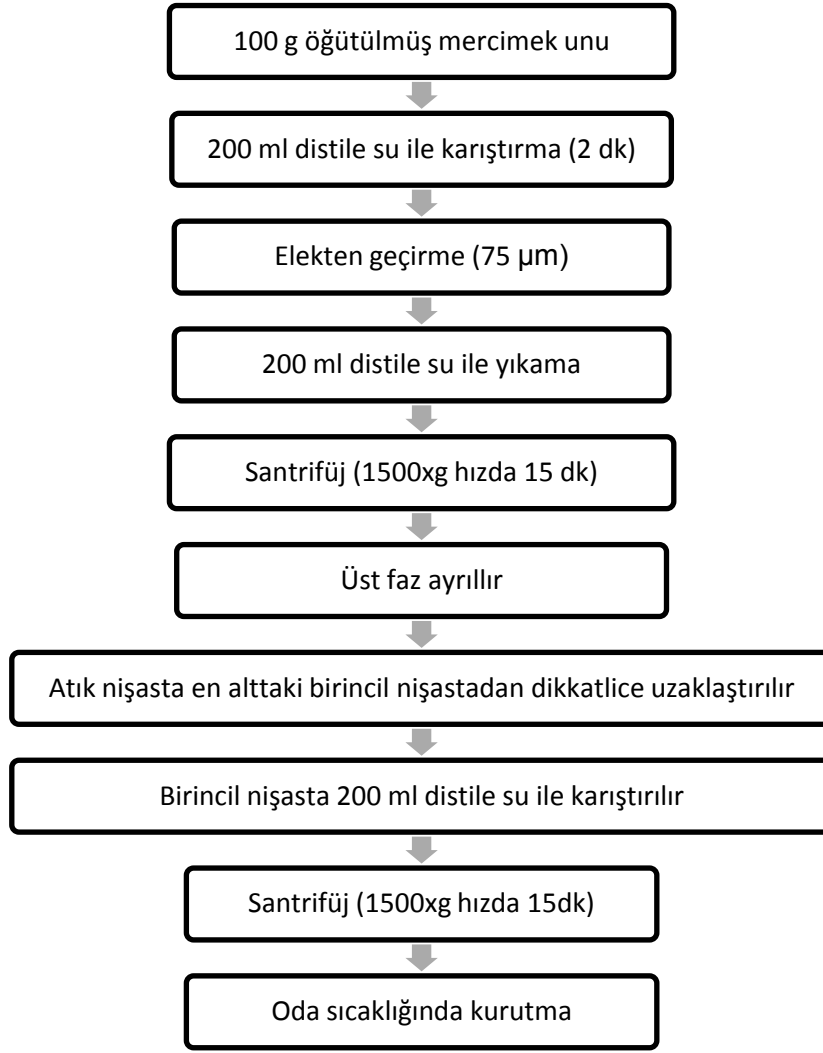
Kullanılan cihazlar; Diferansiyel taramalı kalorimetre (TE Q10 TA Instrument, ABD), Taramalı elektron mikroskobu (FEI Quanta 250 Company, Hillsboro, Oregon, ABD), Hassas terazi (S-403 Denver Instrument, Almanya), Çalkalamalı su banyosu (Memmert, WNB 14, Almanya), Etüv (Memmert UNB-100, Almanya), pH metre (HI 110 Series, HANNA Instruments, ABD), Tüp karıştırıcı (IKA, Almanya), Blender (Waring Commercial 7011 HS, ABD), Manyetik karıştırıcı (IKA RH Basic 2 IKAMAG, Almanya), Santrifüj (SIGMA 2-16 PK, Almanya), Gerhardt Soxtherm Otomatik Yağ Tayini Cihazı (Gerdthart Soxtherm, Almanya), UV-Visible spektrofotometre (SP-3000 nano OPTIMA, Japonya).

3.2 Yöntemler

3.2.1 Kahverengi mercimekten nişasta izolasyonu

Öğütülen kahverengi mercimek örnekleri (100g) 200 ml distile su ile 2 dakika süresince blender (Waring Commercial 7011 HS, ABD) kullanılarak bulamaç haline getirilmiş ve sonrasında 75 µm'lik elekten geçirilmiştir. Kalıntı 200 ml distile su ile yıkandıktan sonra 1500xg hızda 15 dakika santrifüjlenmiştir. Üst fazlar atılarak kalan katı faz 200 ml distile su ilave edilere blender ile karıştırılmış ve ardından tekrar santrifüj edilmiştir. Aynı prosedür iki kere tekrarlanmıştır. Atık nişasta en alttaki birincil nişastadan dikkatli bir şekilde uzaklaştırıldıktan sonra birincil nişasta distile su ile karıştırma ve santrifüj aşamalarından geçirilerek saflaştırılmıştır. Bu saflaştırma aşaması üç tekrarlı yapılmıştır. Saflaştırılan nişasta oda sıcaklığında kurutulduktan sonra öğütülmüş ve 125 µm'lik elekten geçirilmiştir.

Nişasta izolasyonu şematik olarak Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Nişasta izolasyonu

3.2.2 Nişastada kompozisyon ve karakterizasyon analizleri

Kahverengi mercimekten elde edilen nişastada ve kahverengi mercimek ununda toplam nem, toplam kül, toplam protein ve toplam yağ miktarları tayin edilmiştir. Kahverengi mercimek nişastasında ayrıca amiloz/amilopektin tayini de gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.1 Toplam nem miktarı tayini

Toplam nem miktarı tayini AOAC 925.10 numaralı metot kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Önceden sabit tartıma getirilmiş metal kaplara yaklaşık 2 g örnek tartılarak 135°C etüvde 2 saat kurutulmuştur. Analiz iki tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve sonucu aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\% Nem = \frac{\text{örnek} - \text{kurutulmuş örnek}}{\text{örnek}} \times 100 \quad (3.1)$$

3.2.2.2 Toplam kül miktarı tayini

Toplam kül miktarı tayini AOAC 923.03 nolu metot kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 3 g örnek ağırlığı bilinen kroze içine tartılmıştır. 425°C’de 45 dakika kapağı açık bir şekilde, 485°C’de kapak yarım açık şekilde 45 dakika ve 550°C’de kapak tam kapalı şekilde 16 saat boyunca kül fırınında bekletilmiştir. Analiz iki tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve sonucu aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Kül} = \frac{\text{kül ağırlığı}}{\text{örnek ağırlığı}} \times 100 \quad (3.2)$$

3.2.2.3 Toplam protein miktarı tayini

Toplam protein miktarı tayini AOAC 920.87 metot kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 1 g örnek yakma tüpüne alınarak üzerine katalizör ve 25 ml derişik H₂SO₄ eklenmiştir. Açık yeşil renk görüldükten sonra 30 dakika daha yakma işlemine devam edilmiş, soğuduktan sonra destilasyon aşamasına geçilmiştir. Destilat 0.2 N HCl çözeltisi ile titre edilmiştir. Titrasyon aşamaları sonunda elde edilen sarfiyat kaydedilerek toplam azot ve protein miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. Analizler iki tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

$$\% N = \frac{(V2 - V1) \text{ml} \times \text{normalite} \times 0,014}{\text{örnek ağırlığı}} \times 100 \quad (3.3)$$

V1, kör için harcanan 0.2 N HCl sarfiyatını, V2 ise örnek için harcanan 0.2 N HCl sarfiyatını temsil etmektedir.

$$\% \text{ Protein} = \% N \times 6,25 \quad (3.4)$$

3.2.2.4 Toplam yağ miktarı tayini

Toplam yağ miktarı tayini Gerhardt Soxtherm Otomatik Yağ Tayin Cihazı (Gerhardt Soxtherm, Almanya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık olarak 3 g örnek tartılmış ve cihaz 200°C’de çalıştırılmıştır. İşlem sonucunda döner buharlaştırıcıya alınan çözgen uçurulmuştur. İki tekrarlı gerçekleştirilen analizin sonucu aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{ yağ} = \frac{\text{yağ ağırlığı}}{\text{örnek ağırlığı}} \times 100 \quad (3.5)$$

3.2.2.5 Amiloz/amilopektin miktarı tayini

Amiloz/amilopektin tayini için Megazyme Amiloz/Amilopektin Analiz Kiti (140609-2, Megazyme Int., İrlanda) kullanılmıştır. Nişasta örneği dimetil sülfoksit ilave edilerek kaynar su banyosunda tamamen disperse edilmiştir. Etanol ilave edilerek nişasta çökeltilmiş, çökeltinin geri dönüşümüyle yağlar uzaklaştırılmıştır. Nişasta çökeltisi asetat içinde çözündürüldükten sonra concanavalin A (ConA) çözeltisi ilave edilmiş ve santrifüjlenmiştir. Böylece amilopektin uzaklaştırılmıştır. Daha sonra amiloz ve toplam nişasta D-glukoza hidroliz edilmiştir, amiloz değeri glukoz oksidaz peroksidaz ilavesi ile spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Analiz iki tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve amiloz miktarı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Amiloz (\%)} = \frac{\text{ConA absorbands değeri}}{\text{toplam nişasta absorbands değeri}} \times 66,8 \quad (3.6)$$

3.2.3 Amiloz-lipid kompleksinde analizler

3.2.3.1 Dirençli nişasta ve toplam nişasta miktarı tayini

Dirençli nişasta tayini için Megazyme Dirençli Nişasta Analiz Kit'i (140307-1, Megazyme Int., İrlanda) kullanılmıştır. Kahverengi mercimek nişastasını pankreatik α -amilaz ve amiloglukosidaz varlığında 16 saat boyunca 37°C'lik çalkalamalı su banyosunda inkübe edilmiştir. Reaksiyon etanol ilavesi ile durdurulduktan sonra santrifüj işlemine tabi tutulmuştur. Böylece dirençli olmayan nişasta ile çöküntü kısmında yer alan dirençli nişasta ayrılmıştır. Dirençli nişasta buz banyosunda KOH ilavesi ile çözündükten sonra amiloglukosidaz enzimi ile glukozu hidroliz edilmiştir. Dirençli nişasta ve toplam nişasta değerleri glukozun spektrofotometrik olarak belirlenmesi ile elde edilmiştir. Analizler iki tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş olup sonuç aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{dirençli nişasta (\%)} = \Delta E_1 \times \frac{F}{W} \times 9,27 \quad (3.7)$$

$$\text{dirençli olmayan kısım (\%)} = \Delta E_2 \times \frac{F}{W} \times 90 \quad (3.8)$$

ΔE_1 , kör numuneye karşı okunan absorbands (dirençli nişasta için) değerini temsil ederken, ΔE_2 dirençli olmayan nişasta için kör numuneye karşı okunan absorbands değerini göstermektedir. F ise absorbands değerinin mikrograma çevrimidir ve

100/GOPD absorbans denklemi ile hesaplanmaktadır. Analiz edilen örneğin kuru ağırlığı W ile gösterilmiştir. 9,27 ve 90 ise deneysel çevirme kat sayılarıdır.

3.2.3.2 Hızlı ve yavaş sindirilen nişasta tayini

Hızlı sindirilen nişasta tayini için Megazyme Dirençli Nişasta Analiz Kit'i (140307-1, Megazyme Int., İrlanda) kullanılmıştır. Kahverengi mercimek nişastasını pankreatik α -amilaz ve amiloglukosidaz varlığında 20 dakika boyunca 37°C'lik çalkalamalı su banyosunda inkübe edilmiştir. Reaksiyon etanol ilavesi ile durdurulduktan sonra santrifüj işlemine tabi tutulmuştur. Böylece dirençli olmayan nişasta ile çöküntü kısmında yer alan dirençli nişasta ayrılmıştır. Glukoza parçalanmış olan sindirilen kısımdan hızlı sindirilen nişasta miktarı spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde pankreatik α -amilaz ve amiloglukozidaz varlığında 120 dakika boyunca 37°C'lik çalkalamalı su banyosunda inkübe edildikten sonra sindirilen kısımdan santrifüj sonrası çökelti haline gelen dirençli nişasta miktarı ayrılmış, yavaş sindirilen nişastanın absorbans değerinden hızlı sindirilen nişastanın (HSN) absorbans değeri çıkartılarak yavaş sindirilen nişasta miktarı (YSN) aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır. Analizler iki tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

$$HSN (\%) = \frac{G_{20} \times 0,9 \times F}{W} \times 100 \quad (3.9)$$

$$YSN (\%) = \frac{(G_{120} - G_{20}) \times 0,9 \times F}{W} \times 100 \quad (3.20)$$

G_{20} , 20 dk'lık inkübasyondan sonra serbest kalan glukozun absorbansını göstermektedir. G_{120} ise 120 dk'lık inkübasyondan sonra serbest kalan glukozun absorbansını temsil etmektedir. F ise absorbans değerinin mikrograma çevrimidir ve 100/GOPD absorbans denklemi ile hesaplanmaktadır. Analiz edilen örneğin kuru ağırlığı W ile gösterilmiştir. 0,9 ise deneysel bir faktör olarak monosakkaritlerin polisakkaritlere dönüşümü amacıyla kullanılmaktadır.

3.2.3.3 Termal özelliklerin DSC ile analizi

Diferansiyel taramalı kalorimetre "DSC" (TA Q10, TA Instruments, ABD) kullanılarak kahverengi mercimek nişastasında ve lipidlerle oluşturulan komplekslerde jelatinizasyon incelenmesi yapılmıştır. Bu analiz için Yongfeng ve diğ. (2013) tarafından belirtilen yöntem kullanılmıştır.

Kahverengi mercimek nişastasının termal özelliği ve lipid ilavesinin etkisini araştırmak üzere; alüminyum tavacıklara kuru bazda yaklaşık 5mg kahverengi mercimek nişastası örneği tartılmış, üzerine 15 µl distile su ilave edilerek hermetik olarak kapatılmıştır. Hazırlanan örnekler 10°C/dak ısıtma hızıyla 10°C'den 180°C'a ısıtılarak termogramları elde edilmiştir. Referans olarak boş DSC kabı kullanılmıştır. Aynı analiz prosedürü kuru bazda %10 oranında farklı lipid ilaveli nişasta örnekleri için tekrarlanmıştır. Elde edilen verilerde örneklere ait jelatinizasyon endotermik piklerinden yararlanılmış, başlangıç (T0), pik (Tp) ve sonuç (Tc) sıcaklıkları ile pikin altında kalan alandan entalpi değerleri (ΔH) hesaplanarak termogramlar değerlendirilmiştir. Analizler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Lipid ilaveli pişirilmiş kahverengi mercimek nişastasının termal özelliklerini araştırmak üzere; kuru bazda %10 oranında lipid çeşitleri ilaveli kahverengi mercimek nişastası distile su ilave edildikten sonra 8 dakika boyunca kaynayan su banyosunda pişirilmiştir. 45°C'lik etüvde kurutulan örnekler kahve öğütücüsü kullanılarak öğütülmüştür. Yine alüminyum tavacıklara kuru bazda yaklaşık 5 mg örnek tartılıp üzerine 15 µl distile su ilave edilerek hermetik olarak kapatılmıştır. Hazırlanan örnekler önce 10°C/dak ısıtma hızıyla 10°C'den 180°C'a ısıtılmış sonra 40°C/dak soğutma hızıyla 10°C'ye soğutulmuş ardından tekrar 10°C/dak ısıtma hızıyla 180°C'a ısıtılmıştır. Elde edilen jelatinizasyon endotermik piklerinden yararlanılmış, başlangıç (T0), pik (Tp) ve sonuç (Tc) sıcaklıkları ile pikin altında kalan alandan entalpi değerleri (ΔH) hesaplanarak elde edilen termogramlar değerlendirilmiştir. Analizler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.3.4 RVA ile viskozite özellikleri

Lipid ilaveli ve lipid ilaveli pişirilmiş kahverengi mercimek nişastası ve kahverengi mercimek unu örneklerinin viskozite özellikleri ayrı ayrı incelenmiştir. Her bir nişasta örneğinden 2,24 g (dsb) tartılarak üzerine distile su ilavesiyle toplamda 28,0 g (%8'i nişasta, w/w) olan bir suspansiyon hazırlanmıştır. Visko analizör (Rapid Visco Analyzer: RVA; Newport Scientific, Avustralya) kullanılarak viskozite özellikleri analiz edilmiştir. Örnekler önce 50°C'de 1 dakika tutulmuş, daha sonra 6°C/dakika hızla 95°C'ye ısıtılmış ve bu sıcaklıkta 5 dakika tutulduktan sonra yine 6°C/dakika hızla 50°C'ye soğutulmuştur. Pedalın dönme hızı 160 rpm, ancak sadece ilk 10 saniye için 960 rpm olarak kullanılmıştır. Analizler iki tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.3.5 Granül yapısının SEM ile incelenmesi

Lipid ilaveli ve lipid ilaveli pişirilmiş kahverengi mercimek nişastası ve kahverengi mercimek unu örneklerinin granül yapısı taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak ayrı ayrı incelenmiştir (FEI Quanta 250 Company, Hillsboro, Oregon, ABD). Karbon kullanılarak sivri uçlu alüminyum aparata yapıştırılan örnekler, yüzeydeki fazlalık yüksek basınçlı hava ile uzaklaştırılmasının ardından altın-palladyum ile kaplanmıştır (Quorum SC7620, Quorum Teknoloji LTD, Kent, UK). Hazırlanan örnekler 600-1500-4000X oranında büyütülerek görüntülenmiştir.

3.2.4 İstatiksel analiz

Tüm istatiksel değerlendirmeler Minitab yazılım programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Araştırma verileri tek yollu varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş, ortaya çıkan farklılıkların hangi düzeyler arasında önemli olduğunu tespit etmek için ise Tukey testi ile %95 güven düzeyinde çoklu karşılaştırma yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Nişastanın ve Unun Kompozisyonu ve Karakterizasyonu

Kahverengi mercimek unu (KMU) ve nişastasına (KMN) ait toplam nem, kül, protein ve yağ değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Doğal nişasta ve una ait temel bileşenler (%) kuru madde bazında.

Örnek	Nem	Kül	Protein	Yağ
KMN	14,5±0,0	0,3±0,0	0,8±0,0	0,4±0,1
KMU	12,9±0,3	2,9±0,1	24,9±0,1	2,5±0,1

Kahverengi mercimek ununa ait nem değeri %12,9 olarak, kahverengi mercimek nişastası için ise %14,5 olarak bulunmuştur. Chung ve diğ. (2008) kırmızı ve yeşil mercimek ile yaptıkları çalışmada mercimek ununa ait nem değerlerini %8,6-8,8 aralığında bulmuşlardır. Kaur ve diğ. (2010) ise, kırmızı mercimek nişastası için nem aralığını %8,9-9,4 olarak bulmuşlardır.

Kahverengi mercimek ununa ait protein değeri %24,9 olarak hesaplanmıştır. Literatürde Chung ve diğ. (2008) yaptıkları çalışmada protein değerini kırmızı ve yeşil mercimek için %28,7-31,5 aralığında bulmuşlardır. Kırmızı ve yeşil mercimek ile yapılan bir başka çalışmada Ma ve diğ. (2011) mercimek unu için protein değerini %24,39-25,79 aralığını belirtmişlerdir. Kahverengi mercimek nişastasının protein içeriği %0,8 olarak bulunmuştur. Kırmızı mercimek nişastası ile yaptıkları çalışmada Kaur ve diğ. (2010) protein içeriğini %0,69-0,81 aralığında bulmuşlardır. Elde edilen protein değerleri literatür verileri ile uyumlu görülmektedir.

Yağ değeri kahverengi mercimek nişastası için %0,36, kahverengi mercimek unu için %2,45 olarak bulunmuştur. Kaur ve diğ. (2010), mercimek nişastası için %0,09-0,14 aralığını belirtmişlerdir. Literatürde mercimek unu % yağ içeriği Chung ve diğ. (2008) tarafından %2,3-2,4 olarak hesaplanmıştır.

Kül değeri kahverengi mercimek nişastası için %0,3 olarak hesaplanmıştır. Kaur ve diğ. (2010)'nin mercimek nişastası için belirledikleri değerler %0,19-0,25 aralığında olmuştur. Kahverengi mercimek unu için kül değeri %2,9 olarak bulunmuştur. Ma ve diğ. (2011) yaptıkları çalışmada % kül değeri aralığını %2,27-2,36 olarak belirtmişlerdir.

Kahverengi mercimek nişastasına ait saptanan amiloz/amilopektin miktarı Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2: Nişastanın amiloz ve amilopektin içeriği (%).

Örnek	Amiloz %	Amilopektin %
KMN	28,6±1,12	71,4

Buna göre kahverengi mercimek nişastasının amiloz içeriği %28,6 olarak görülmektedir. Joshi ve diğ. (2013) mercimek nişastası üzerinde yapmış oldukları çalışma sonucunda amiloz içeriğini %32,52 olarak bulmuşlardır. Literatürde Kaur ve diğ. (2010) yapmış oldukları çalışmada mercimek nişastasının amiloz içeriğini %30,6-31,2 aralığında bulmuşlardır. Bu değerlerle karşılaştırıldığında; kahverengi mercimek nişastasının amiloz içeriği diğer mercimek çeşitlerinin amiloz içeriğine kıyasla daha düşük bulunmuştur.

4.2 Sindirilebilirlik

Doğal nişastaya ve %10 lipid ilaveli pişirilmiş/pişirilmemiş nişastalara ait dirençli nişasta (DN), hızlı sindirilebilir nişasta (HSN) ve yavaş sindirilebilir nişasta (YSN) miktarları Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3: Nişasta örneklerine ait DN, HSN ve YSN değerleri (%).

Örnek	DN %	HSN %	YSN %
KMN	9,9±1,03j	27,4±1,05a	62,5±1,84c
KMN+mısır yağı	11,8±0,23hı	24,6±0,72cd	62,9±0,93c
KMN+mısır yağı (pişirilmiş)	13,0±0,04fg	23,4±0,43de	63,5±1,04c
KMN+soya yağı	13,0±0,85fg	23,9±0,41de	62,9±1,07c
KMN+soya yağı (pişirilmiş)	15,2±0,46bc	22,9±0,64e	61,9±0,33c
KMN+zeytin yağı	10,7±0,09ij	26,1±0,56ab	62,9±0,93c
KMN+zeytin yağı (pişirilmiş)	12,1±0,08gh	25,9±0,68bc	59,0±0,83d
KMN+hidojenize ayçiçek yağı	14,1±0,44def	14,8±0,36f	71,2±0,49a
KMN+hidrojenize ayçiçek yağı (pişirilmiş)	16,6±0,06a	14,5±0,40f	68,8±0,78b
KMN+stearik asit	13,5±0,08ef	14,6±0,35f	71,7±0,61a
KMN+stearik asit (pişirilmiş)	14,4±0,06cde	12,2±0,28h	71,5±0,42a
KMN+palmitik asit	14,9±0,64cd	13,8±0,31fg	70,9±0,52a
KMN+palmitik asit (pişirilmiş)	16,3±0,08ab	12,7±0,28gh	70,9±0,41ab

*Değerler iki işlem tekrarı ve üç tekrarlı analiz sonuçlarına ait ortalama ± standart sapması olarak verilmiştir. Aynı sütun içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiki olarak önemli düzeyde farklıdır ($p < 0,05$).

Saf kahverengi mercimek nişastasının dirençli nişasta içeriği %9,9 olarak bulunmuştur. Çizelge 4.3 incelendiğinde; dirençli nişasta içeriğinin yağ veya yağ asidi ilavesiyle arttığı görülmektedir. Saf kahverengi mercimek nişastası ile mısır yağı, soya yağı, zeytinyağı, hidrojenize ayçiçek yağı, palmitik asit ve stearik asit ilaveli nişastaların dirençli nişasta içeriği arasındaki fark önemli düzeyde farklıdır ($p<0,05$). Pişirilmemiş örneklerde en yüksek dirençli nişasta içeriği % 14,9 ile palmitik asit ilaveli nişastada görülmüştür. Lipid ilaveli pişirilmiş nişastalar arasında en yüksek dirençli nişasta içeriği ise hidrojenize ayçiçek yağı ilaveli nişastada gözlenmiştir. Lipid ilaveli nişastaların dirençli nişasta içeriği ile lipid ilaveli pişirilmiş nişastalarınki karşılaştırıldığında gözlenen artış miktarının önemli düzeyde farklı olduğu anlaşılmaktadır ($p<0,05$). Diğer bir deyişle nişastanın yağ ile birlikte pişirilmesi işlemi dirençli nişasta içeriğinin artmasında (%2 oranında) etkili olmuştur. Bunun sebebi, pişirme işleminin fiziksel karıştırma işlemine göre daha iyi karışma sağlaması ya da lipid ve nişastanın daha fazla reaksiyona girmesini sağlaması ile açıklanabilir.

Saf kahverengi mercimek nişastasının %27,4 olan hızlı sindirilen nişasta oranının lipid ilavesiyle önemli düzeyde azaldığı görülmektedir ($p<0,05$). HSN miktarları mısır yağı, soya yağı ve hidrojenize ayçiçek yağı ilavesi ile %3-4 düzeyinde azalma gösterirken, zeytin yağı, stearik asit ve palmitik asit ilavesi ile %13-14 düzeyinde azalmaya neden olmuştur. Bu azalmanın DN'ye dönüşümden çok YSN'ye dönüşümü söz konusudur. Pişirme işlemi sonrasında bu düşüş devam etmiştir. Ancak stearik asit için pişirilmiş ve pişirilmemiş numuneler karşılaştırıldığında HSN'deki azalmanın önemli düzeyde olmadığı görülmüştür ($p>0,05$).

Yavaş sindirilen nişasta içeriği saf kahverengi mercimek nişastası için %62,5 olarak bulunmuştur. Hidrojenize ayçiçek yağı, palmitik ve stearik asit ilavesiyle bu oranın önemli düzeyde arttığı ($p<0,05$), ancak mısır yağı, soya yağı ve zeytinyağı ilavelerinin YSN içeriğini önemli düzeyde artırmadığı gözlenmiştir ($p>0,05$). Pişirme işleminin YSN içeriği üzerinde etkisi ise farklı olmuştur. Mısır yağı, soya yağı, palmitik asit ve stearik asit ilaveli nişastalarda pişirme işleminin YSN içeriği üzerinde önemli bir etkisi olmazken ($p>0,05$), zeytinyağı ve hidrojenize ayçiçek yağı ilaveli nişastalarda YSN oranında istatistiksel olarak önemli düzeyde düştüğü (%3-4) görülmüştür ($p<0,05$).

4.3 Nişasta Örneklerinin Termal Özellikleri

Doğal nişasta ve %10 lipid ilaveli pişirilmemiş ve pişmiş nişasta örneklerinin termal özelliklerine ait değerler sırasıyla Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te gösterilmektedir.

Saf kahverengi mercimek nişastası ve lipid ilaveli kahverengi mercimek nişastası örneklerinin jelatinizasyon başlangıç sıcaklığına ait değerler 60,2-68,1°C arasında değişkenlik göstermiştir. En yüksek T_0 değeri stearik asit ilaveli nişasta örneğinde gözlenmiştir. Başka bir deyişle; jelatinizasyon en geç stearik asit ilaveli nişastada gerçekleştirilmiştir. Stearik asit ilaveli nişasta örneği dışında diğer lipid ilaveli örnekler ile saf kahverengi mercimek nişastası örneğine ait T_0 değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamaktadır ($p>0,05$).

Örneklerin jelatinizasyon pik değerleri (T_p) karşılaştırıldığında; 62,2-72,1°C arasında değişkenlik gösterirken, lipid ilaveli örnekler ile saf kahverengi mercimek nişastası arasında önemli bir fark gözlenmemiştir ($p>0,05$). En yüksek T_p sıcaklığı değerine

mısır yağı ilaveli örnekte rastlanmıştır. Numuneler arası önemli farklılıklar mısır yağı ve soya yağı, hidrojenize ayçiçek yağı ve palmitik asit arasında olmuştur ($p<0,05$).

Jelatinizasyon entalpi değerleri kıyaslandığında; saf kahverengi mercimek nişastası ile lipid ilaveli örnekler arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde bir fark gözlenmemiştir ($p>0,05$). Ancak stearik asit+nişasta örneğinin bitkisel yağların (zeytin yağı, mısır yağı ve soya yağı) nişasta ile kombinasyonlarına göre daha düşük bir entalpi değerine sahip olduğu açıktır ($p<0,05$).

Chung ve diğ. (2009) yaptıkları çalışmada mercimek nişastasına ait jelatinizasyon başlangıç sıcaklığını $63,1^{\circ}\text{C}$, tepe sıcaklığını $69,9^{\circ}\text{C}$, son sıcaklığı $83,4^{\circ}\text{C}$ ve entalpiyi $13,5 \text{ J/g}$ olarak bulmuştur. Bu bulgular saf kahverengi mercimek nişastası için bulunan değerler ile benzerlik göstermekte ve bulunan sonuçları desteklemektedir.

Amiloz-lipid kompleksine ait değerler incelendiğinde; en yüksek T_p değerine sırasıyla stearik asit ($109,8^{\circ}\text{C}$), hidrojenize ayçiçek yağı ($109,6^{\circ}\text{C}$), mısır yağı ($107,7^{\circ}\text{C}$) ve palmitik asit ($107,1^{\circ}\text{C}$) ilaveli örneklerde rastlanmıştır. Stearik asit, palmitik asit ve hidrojenize ayçiçek yağı ilaveli örneklerin T_p değerleri istatistiksel olarak benzer bulunmuştur ($p>0,05$). Stearik asit ilaveli örneğin en yüksek T_p sıcaklığını göstermesinin sebebinin, stearik asidin düz ve diğer yağ asitleri arasında en uzun hidrokarbon zincirine sahip olmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Çünkü böylece stearik asit amiloz sarmalında bulunan hidrofobik boşluk ile daha güçlü etkileşime geçmektedir. Zeytin yağı ilavesi ile en düşük sıcaklıkta ($100,6^{\circ}\text{C}$) amiloz-lipid kompleksi oluşumu gözlenmiştir ($p<0,05$). Hidrojenize ayçiçek yağı ilaveli örnek en yüksek ALC entalpi değerini ($7,1 \text{ J/g}$) gösterirken ($p<0,05$), diğer lipid ilaveli örneklerin entalpi ALC entalpi değerleri ($0,4-2,4 \text{ J/g}$) arasında ise istatistiksel olarak fark bulunamamıştır ($p>0,05$). Benzer şekilde dirençli nişasta miktarı da hidrojenize ayçiçek yağı ilave edilmiş nişasta örneğinde daha fazla bulunmuştur. Bu durum dirençli nişastanın amiloz lipid kompleksi sonucu oluşabileceği kanısını desteklemektedir.

Ai ve diğ. (2013)'nin mısır nişastası ile yaptıkları çalışmanın amiloz-lipid kompleksine ait değerler incelendiğinde, en yüksek T_p değerinin palmitik asit ilave edilmiş nişasta örneğinde rastlandığı ($103,8^{\circ}\text{C}$), onu $102,2^{\circ}\text{C}$ ile oleik asit ve $101,5^{\circ}\text{C}$ ile stearik asit takip ettiği görülmüştür. Mısır yağı ilaveli örnek ise $101,3^{\circ}\text{C}$

ile yağ asitlerini takip etmiştir. Yağ asitlerinin (palmitik asit, stearik asit, oleik asit, linoleik asit) ilavesiyle amiloz-lipid kompleksi entalpi değeri artmış, en yüksek entalpi değerini 1,9 J/g ile oleik asit göstermiş, onu 1,8 J/g ile palmitik asit, 1,7 J/g ile linoleik asit ve 1,2 J/g ile stearik asit takip etmiştir. Mısır yağı ilaveli nişasta örneği ise 0,9 J/g değerine sahiptir.

Çizelge 4.4: Saf nişasta ve %10 lipid ilaveli pişirilmemiş nişasta örneklerinin DSC ile elde edilen termal özellikleri.

Jelatinizasyon			Amiloz-lipid kompleksi			
Örnek	T ₀	T _p	ΔH	T ₀	T _p	ΔH
KMN	60,2±0,56 b	67,2±2,66 abc	10,5±1,97 ab	ND	ND	ND
KMN+mısır yağı	63,8±1,01 b	72,1±1,75 a	13,9±2,72 a	99,2±1,24 c	107,7±1,64 ab	2,4±1,35 b
KMN+soya yağı	61,2±0,62 b	66,3±2,13 bc	14,1±2,94 a	101,5±0,89 c	103,7±2,28 bc	0,6±0,46 b
KMN+zeytinyağı	63,7±1,5 b	67,6±0,49 ab	14,8±2,63 a	98,7±1,95 c	100,6±2,76 c	1,5±0,46 b
KMN+hidrojenize ayçiçek yağı	63,2±2,8 b	65,2±2,29 bc	14,9±2,06 a	106,4±2,14 ab	109,6±3,18 a	7,1±1,54 a
KMN+stearik asit	68,1±0,73 a	70,1±1,64 ab	7,3±1,59 b	106,1±2,53 a	109,8±2,12 a	0,5±0,12 b
KMN+palmitik asit	60,5±0,20 b	62,2±0,39 c	9,7±1,07 ab	102,6±0,47 bc	107,1±0,53 a	0,4±0,07 b

*Aynı sütun içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiki olarak önemli düzeyde farklıdır (p < 0,05).

T₀: Başlangıç sıcaklığı, °C, T_p: Tepe (pik) sıcaklığı, °C, ΔH: Geçiş entalpisi, J/g, ND: Tespit edilemedi.

Çizelge 4.5: %10 lipid ilaveli pişirilmiş nişasta örneklerinin DSC ile elde edilen termal özellikleri.

İlk tarama				Yeniden tarama		
Örnek	T0	Tp	ΔH	T0	Tp	ΔH
KMN+mısır yağı	96,0±2,30 b	99,1±2,07 b	1,0±0,08 b	ND	ND	ND
KMN+soya yağı	98,0±2,46 b	100,8±3,26 ab	8,2±2,74 a	ND	ND	ND
KMN+zeytin yağı	93,5±0,32 b	96,9±2,36 b	4,9±0,98 a	ND	ND	ND
KMN+hidrojenize ayçiçek yağı	102,9±1,78 a	105,7±2,18 a	0,2±0,01 b	ND	ND	ND
KMN+stearik asit	95,9±1,35 b	99,1±1,96 b	0,6±0,17 b	ND	ND	ND
KMN+palmitik asit	ND	ND	ND	ND	ND	ND

*Aynı sütun içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiki olarak önemli düzeyde farklıdır (p < 0,05).

To: Başlangıç sıcaklığı, °C, Tp : Tepe (pik) sıcaklığı, °C, ΔH: Geçiş entalpisi, J/g, ND: Tespit edilemedi.

Çizelge 4.5'te lipid ilaveli pişirilmiş nişasta örneklerine ait DSC verileri incelendiğinde, 95-105°C aralığında bir geçiş olduğu saptanmış olup soğutulup tekrar tarama yapıldığında bu geçişin yok olduğu gözlenmiştir. Bu geçişe ait değerler tam jelatinizasyon ve amiloz-lipid kompleksi geçişlerinin ortasında bir değerdir. Ai ve diğ. (2013)'ne göre jelatinizasyona ait pik sıcaklık değerinin görülmemesi nişasta örneklerinin jelatinizasyonunun tamamlandığını göstermektedir.

En yüksek T_0 ve T_p değerlerine hidrojenize ayçiçek yağının sahip olduğu ($p<0,05$), diğer lipid ilaveli nişasta örnekleri arasında ise önemli düzeyde fark olmadığı gözlemlenmiştir ($p>0,05$). Entalpi değerleri incelendiğinde; soya yağı ve zeytin yağı ile pişirilen nişastalarda bu geçişe ait entalpi değerlerinin daha yüksek olduğu ($p<0,05$) görülmektedir. Palmitik asit numunesinde ise hiçbir geçiş saptanmamıştır. Ai ve diğ. (2013)'nin mısır nişastası ile yaptıkları çalışmada en yüksek T_0 değerine saf mısır nişastasında rastlanırken (89,2°C), onu stearik asit (89,°C), palmitik asit (88,2°C) ve mısır yağı (88°C) takip etmiştir.

Tüm numuneler ALC'nin varlığını doğrulamak üzere yeniden taramaya tabi tutulmuştur. Ancak yağ ve yağ asidi ilaveli örneklerde ikinci taramada pik değeri elde edilememiştir. Ai ve diğ. (2013)'nin çalışmasında mumsu mısır nişastasında benzer şekilde pik değeri elde edilememiş, ancak diğer nişasta örneklerinde (saf mısır nişastası, yüksek amilozlu mısır nişastası, tapioka nişastası) pik değerleri elde edilmiştir. Lipid ilaveli pişirilmemiş örnekler ile pişirilmiş örnekleri kıyasladıklarında, pişirilmiş örneklerinin ALC miktarının önemli ölçüde daha fazla olduğunu, bunun da pişirme işleminin daha iyi karışma sonucu daha uzun süre reaksiyona girmeyi sağlamasından ileri geldiğini belirtmişlerdir.

4.4 Nişasta Örneklerinin Viskozite Özellikleri (RVA)

Lipid ilaveli pişirilmemiş ve pişirilmiş kahverengi mercimek nişastası ve kahverengi mercimek unu örneklerine ait viskozite değerleri Çizelge 4.6'da belirtilmiştir. Buna göre, en yüksek pik viskozitesine 2314 cP değeri ile kahverengi mercimek nişastasının sahip olduğu görülmektedir. Yağ ve yağ asidi ilavesiyle pik viskozite değerinde düşüş yaşanmış, ve bu düşüş kahverengi mercimek nişastası ile lipid ilaveli nişastalar arasında istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Yağ veya yağ asidi ilave edilen örnekler kendi içlerinde karşılaştırıldıklarında ise; palmitik asit

ilave edilen örnekte en düşük değer gözlenmiştir. Stearik asit haricinde viskozitenin diğer tüm numunelerde önemli ölçüde düşük olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.6: Nişasta örnekleri ve un için RVA ile elde edilen değerler

Örnek	PV (cP)	BV (cP)	TV (cP)	SV (cP)	FV (cP)
KMN	2314±19,8 a	1117±9,9 a	1197±9,9 a	2775,5±53 b	3972,5±43,1 a
KMN + mısır yağı	1686±48,1 b	845±70,7 b	841±22,6 cd	2077±70,7 c	2918±48,1 b
KMN + soya yağı	1705±170 b	960±120,2 ab	745±49,5 d	2038,5±92,6 c	2783,5±43,1 b
KMN + zeytin yağı	1685±31,1 b	871±25,5 b	814±56,6 cd	1988±0,0 c	2802±56,6 b
KMN + hidroje nize ayçiçek yağı	1660±26,9 b	608±14,1 c	1052±12,73 b	1762,5±55,9 d	2814,5±43,1 b
KMN + stearik asit	1468,5±33,2 bc	414±0,0 c	1054,5±33,2 b	3001±0,0 a	4055,5±33,2 a
KMN + palmitik asit	1366,5±36,1 c	413,5±0,7 c	953±35,4 bc	3001±0,0 a	3954±35,4 a

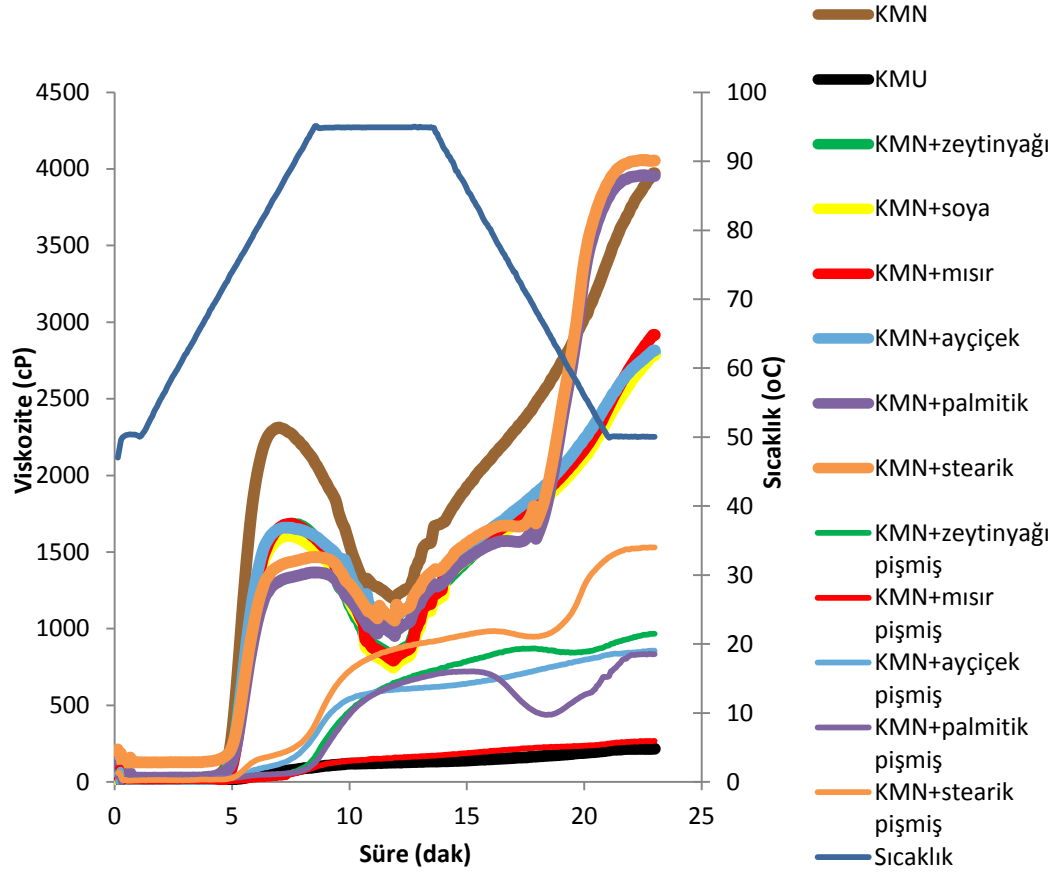
Aynı sütun içerisinde farklı harflerle gösterilen değerler birbirlerinden istatistiki olarak önemli düzeyde farklıdır ($p < 0,05$). PV: Pik viskozitesi, BV: Breakdown viskozitesi, TV: Through viskozitesi, SV: Setback viskozitesi, FV: son viskozite.

Son viskozite değerleri incelendiğinde, en yüksek değer 4055,5 cP ile stearik asit ilaveli nişasta örneğinde görüldüğü anlaşılmaktadır. Kahverengi mercimek nişastası ile stearik ve palmitik yağ asitleri arasında fark olmadığı ($p>0,05$), mısır yağı, soya yağı, zeytin yağı ve hidrojenize ayçiçek yağı arasında istatistiksel olarak fark gözlenmiştir ($p<0,05$).

Ai ve diğ. (2013) yapmış oldukları çalışmada, yağ asitlerinin ve mısır yağının ilavesinin saf mısır nişastasının pik viskozite değerini düşürdüğünü gözlemlemiştir. Yine aynı çalışmada palmitik asit ilavesinin son viskoziteyi arttırdığı bulunmuştur.

Zhou ve diğ. (2007)'nin pirinç nişastası ile yaptıkları bir başka çalışmada da benzer şekilde yağ asidi (stearik asit ve linoleik asit) ilavesiyle pik viskozite ve breakdown viskozite değerlerinde düşüş yaşandığı görülmüştür. Pik viskozitesinde alınan sonucun, yağ asidi ilavesinin nişasta granüllerini hidrasyondan ve şişme davranışından uzaklaştırdığını kanıtlar nitelikte olduğu belirtilmiştir. Bu durum; lipidlerin nişasta granüllerini film gibi kaplayarak suyun granüllere transfer olmasını önlemesi şeklinde açıklanabilmektedir. Breakdown viskozitesi pik değerinde gözlenen düşüş, lipid ilaveli nişasta granüllerinin jelatinizasyon süresince hidrotermal bozulmaya karşı daha çok direnç gösterdiğini destekler niteliktedir. Bir diğer açıklama ise jelatinizasyonu takiben oluşan amiloz-lipid kompleksinin buna sebep olduğudur. Çünkü amiloz-lipid kompleksi, önemli ölçüde amiloz bağlama özelliğine sahiptir ve kompleksin oluşumu nişastanın granül yapısını iyileşmesiyle ve breakdown viskozite değerinin azalması ile bağlantılı olabileceği düşünülmektedir (Zhou ve diğ., 2007).

Lipid ilaveli pişirilmiş ve pişirilmemiş nişasta örneklerine, saf kahverengi mercimek nişastasına ve ununa ait RVA viskozite grafikleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Pişirme ile viskozite değerlerinin belirgin şekilde daha düştüğü ve karakteristik pik viskozitesini daha geç ve daha düşük verdiği görülmektedir. Setback viskozitesinin özellikle stearik ve palmitik asit katılan örneklerde nişastaya göre daha yüksek değerlere ulaştığı saptanmıştır. Pişirilmiş mısır yağı ilaveli nişastaya ait eğri mercimek ununa ait RVA grafiğine benzer bulunmuştur.

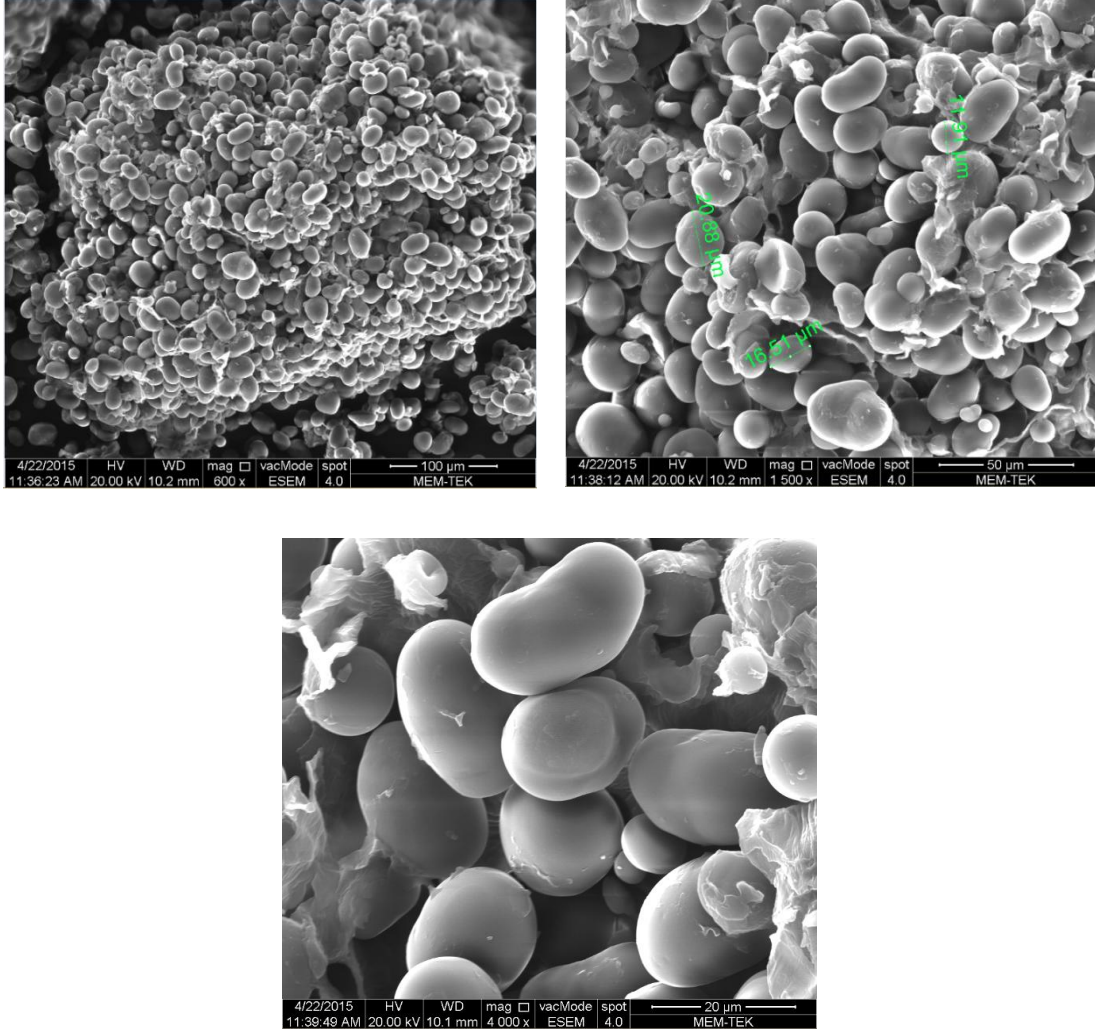


Şekil 4.1: Nişasta ve un örneklerine ait RVA grafikleri.

4.5 Nişasta Örneklerinin Granül Yapısı (SEM)

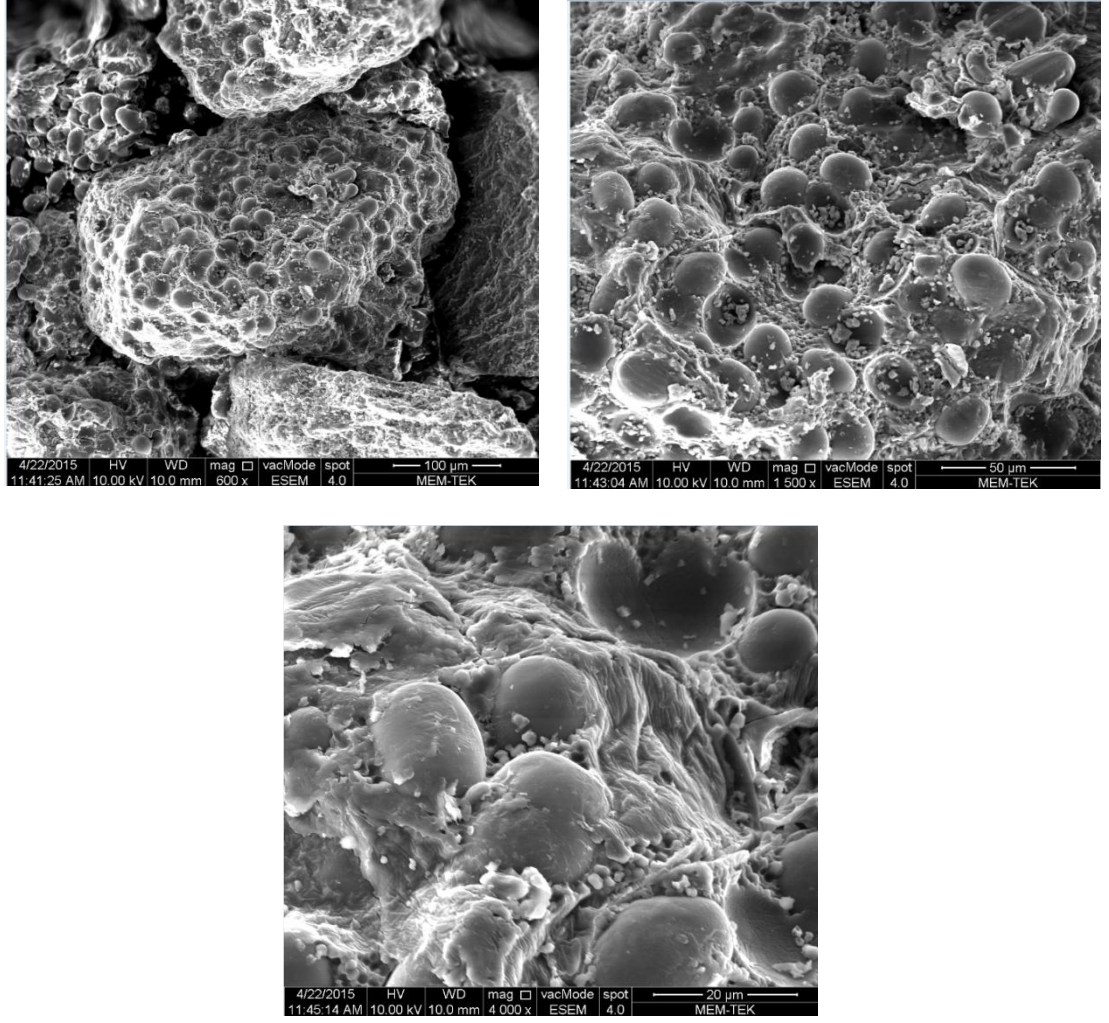
Lipid ilaveli ve lipid ilaveli pişirilmiş kahverengi mercimek nişastası ve kahverengi mercimek unu örneklerine ait SEM görüntüleri Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

Saf kahverengi mercimek nişastasının oval granüller halinde olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.2'de sırasıyla 600-1500-4000 X oranında büyütülen görüntüler verilmiştir.



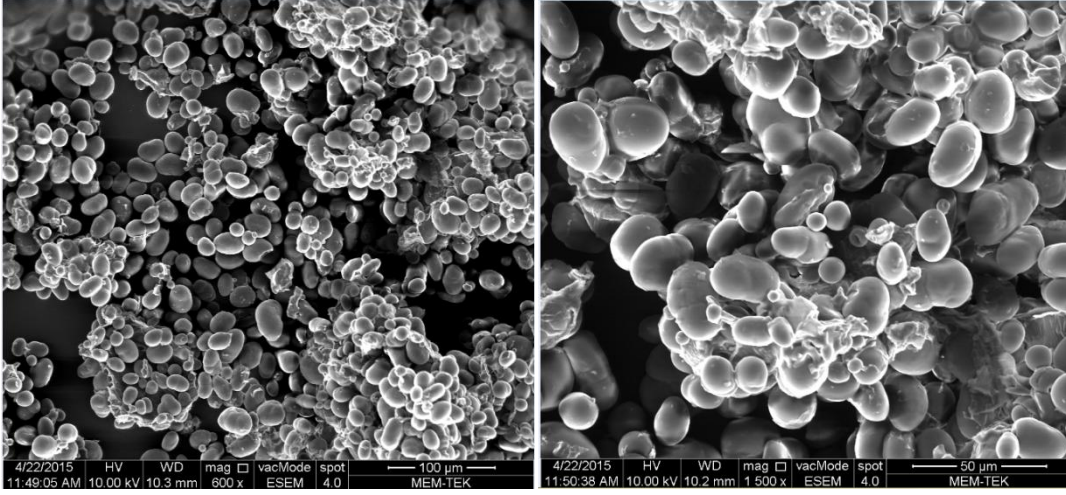
Şekil 4.2: Kahverengi mercimek nişastasına ait SEM görüntüleri.

Şekil 4.3’de verilen kahverengi mercimek ununa ait görüntüler incelendiğinde ise nişasta granüllerine bağlı duran protein molekülleri daha kompleks bir şekilde görülmektedir. Saf nişasta ve una ait bulgulara ait benzerliklere Lee ve diğ. (2007)’nin kırmızı ve yeşil mercimek ile yaptıkları çalışmada rastlanmıştır.

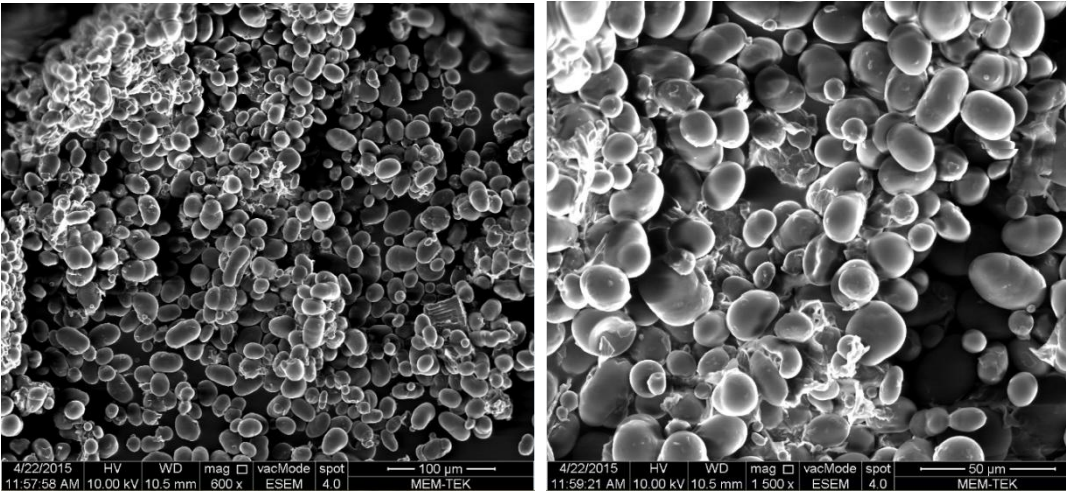


Şekil 4.3: Kahverengi mercimek ununa ait SEM görüntüleri.

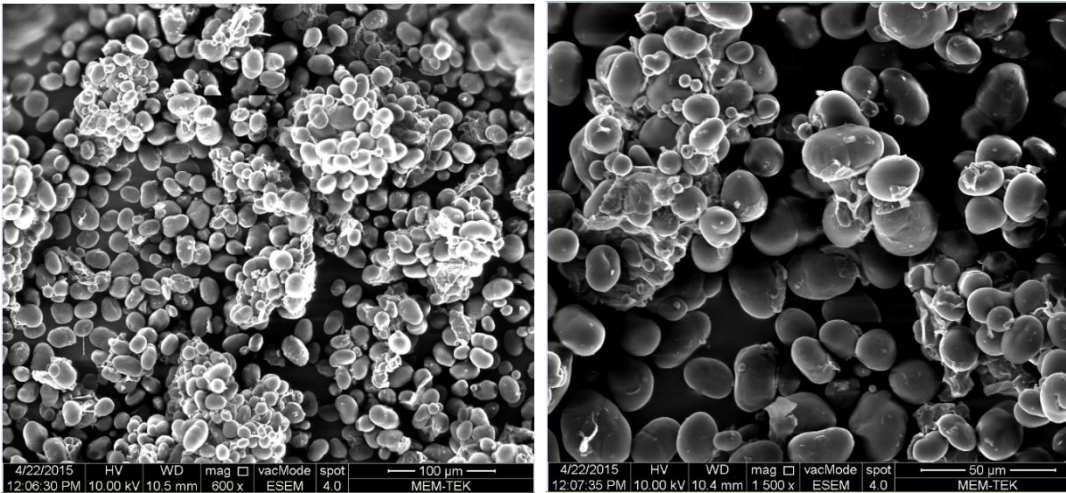
Lipid ilaveli nişasta örneklerine ait 600-1500X oranında büyütülen görüntüler Şekil 4.4'te verilmiştir. Lipid ilaveli örneklerde özellikle doymuş yağ asidi içeren hidrojenize ayçiçeği yağı, stearik asit ve palmitik asit örneklerinde nişasta granüllerinin daha beyazımsı bir görüntüye sahip lduğu görölmektedir (Şekil 4.4 c, e ve f). Diğer yağlar veya yağ asitlerinde ise daha şeffaf görüntüler elde edilmiştir. Bu durumun nişasta sarmalının içindeki boşluğa yağların veya yağ asitlerinin yerleşmeleri sonucu olabileceği düşünülmektedir. Nişasta-lipid kompleksinin oluşumunun dayandığı prensip de budur. Ayrıca yağ globüllerinin serbest halde bulunmaması da nişasta ile birleştiklerini göstermektedir.



(a)

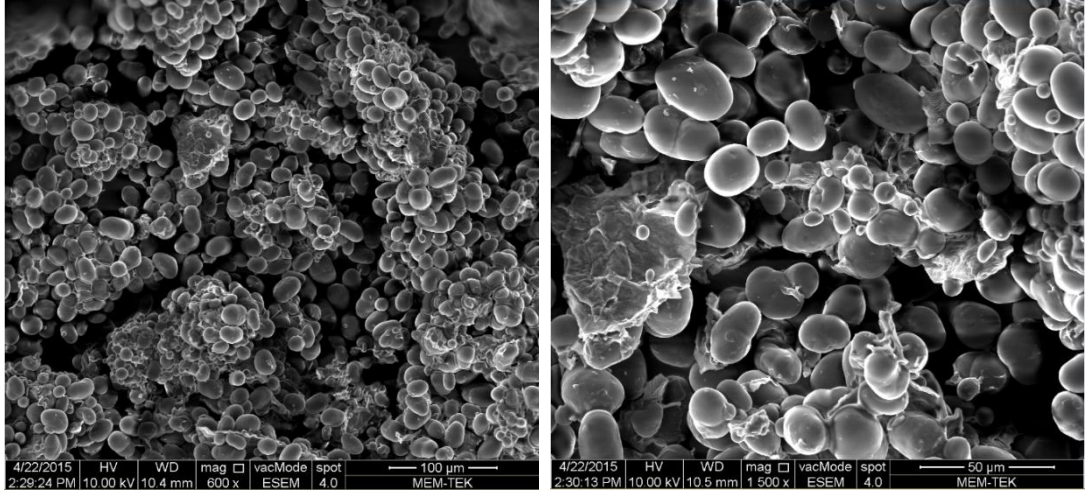


(b)

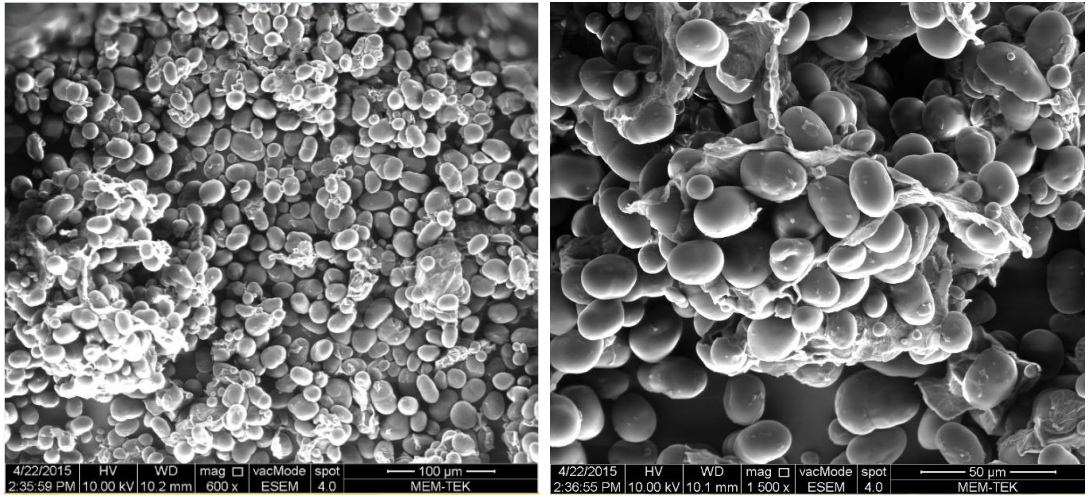


(c)

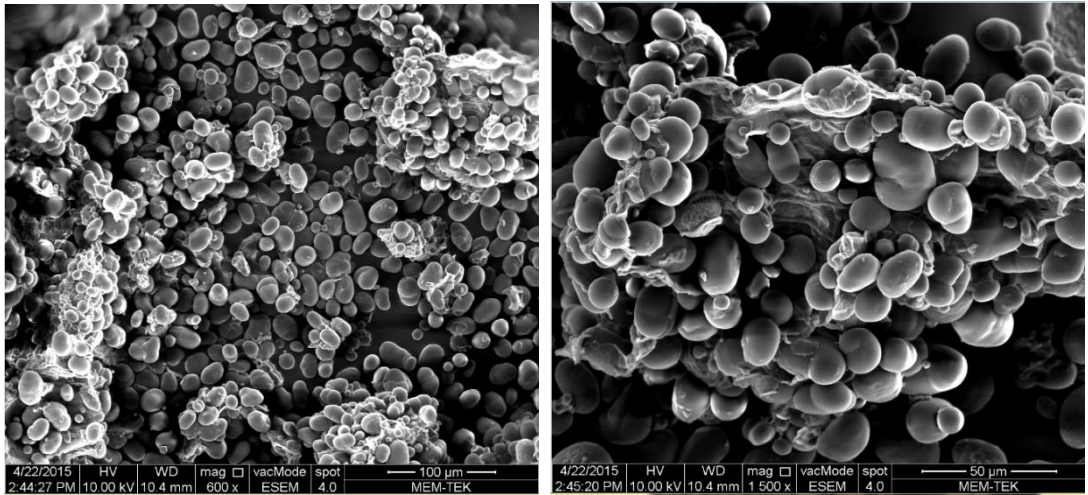
Şekil 4.4: Lipid ilaveli kahverengi mercimek nişastasına ait SEM görüntüleri (a: soya yağı, b: zeytinyağı, c: hidrojenize ayçiçek yağı).



(d)



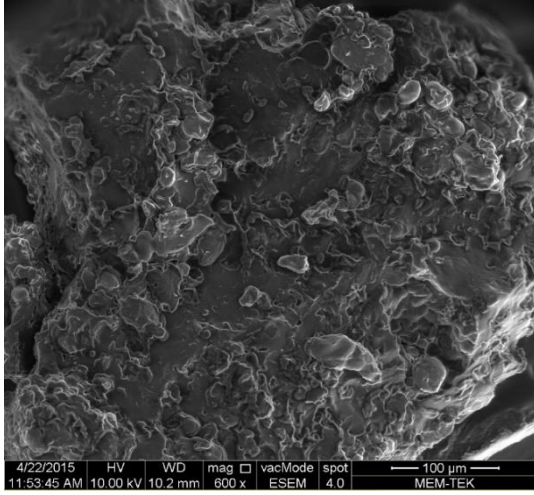
(e)



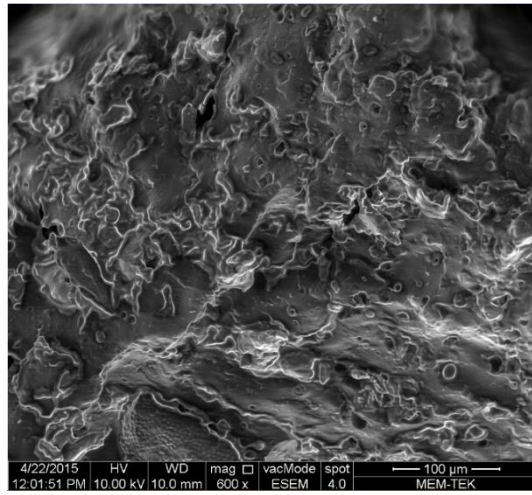
(f)

Şekil 4.4 (devam): Lipid ilaveli kahverengi mercimek nişastasına ait SEM görüntüleri (d: mısır yağı, e: stearik asit, f: palmitik asit).

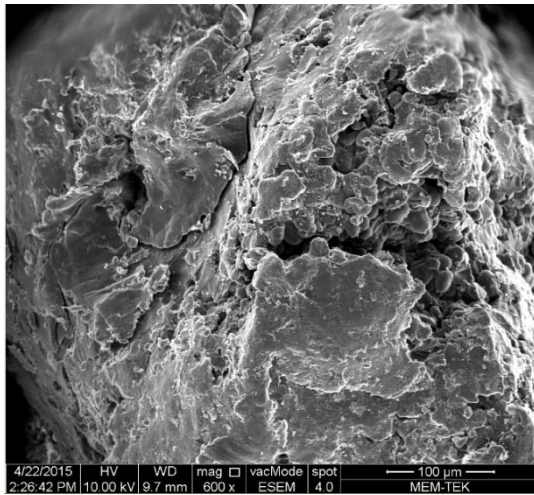
Piştirilmiş nişasta örneklerine ait Şekil 4.5'te yer alan görüntüler incelendiğinde ise granüler yapının pişirme işlemi nedeniyle bozulduğu anlaşılmaktadır. Soya yağı ve zeytinyağı ile pişirilen örneklerde (Şekil 4.5. g ve h) granüler yapı tamamen bozulurken, mısır yağı ile pişirilen örnekte (Şekil 4.5. j) granül yapının kısmen gözlendiği açıktır. Ancak hidrojenize ayçiçek yağı ve stearik asit (Şekil 4.5. i ve k) ilaveli pişmiş örneklerde yapı oldukça farklıdır ve katı bir kitle halinde gözükmemektedir. Kristal yapının daha belirgin olduğu açıkça görülmektedir.



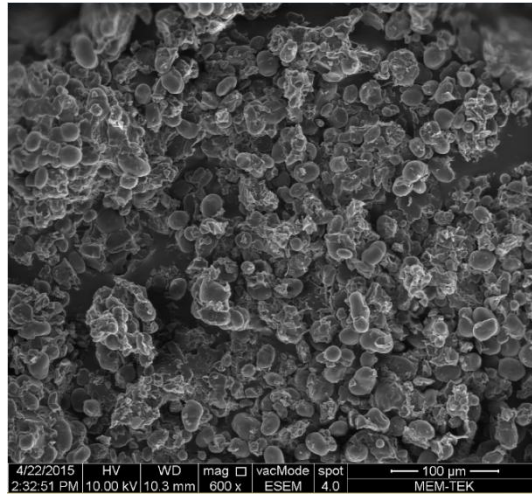
(g)



(h)

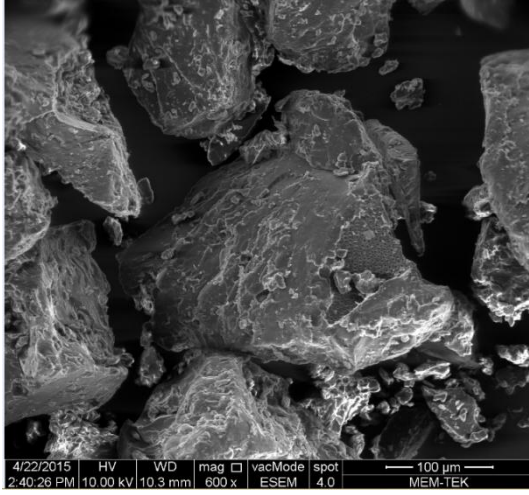


(i)

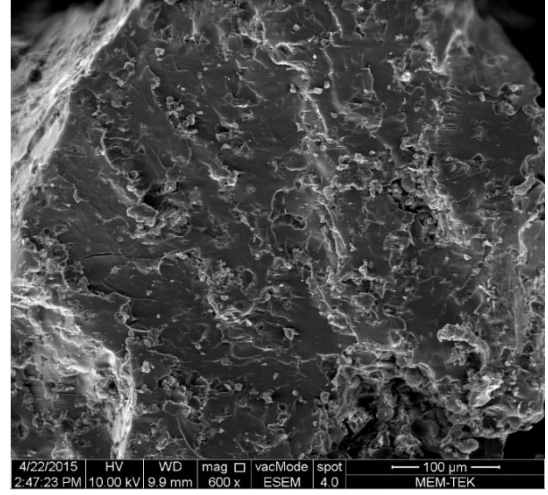


(j)

Şekil 4.5: Lipid ilaveli pişirilmiş kahverengi mercimek nişastasına ait SEM görüntüleri.



(k)



(l)

Şekil 4.5 (devam): Lipid ilaveli pişirilmiş kahverengi mercimek nişastasına ait SEM görüntüleri (k: stearik asit, l: palmitik asit).

5. SONUÇ

Bu çalışmada; yöresel bir ürün olan kahverengi mercimekten elde edilen nişastanın karakterizasyonu gerçekleştirilmiş, ve kahverengi mercimek nişastasının lipidler ile dirençli nişasta tip 5 oluşturma özellikleri incelenmiştir.

Kahverengi mercimekten öğütülen una ve izole edilen nişastaya uygulanan temel kompozisyon analizleri sonucunda nişastaya ve una ait değerler sırasıyla nem içeriği değerleri sırasıyla %14,5 ve %12,9; kül içeriği değerleri %0,3 ve %2,9; protein içeriği değerleri %0,8 ve %24,9; yağ içeriği değerleri %0,4 ve %2,5 olarak bulunmuştur. Bulunan değerler ile literatürdeki kırmızı ve yeşil mercimek üzerine yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında, kahverengi mercimeğin kırmızı ve yeşil mercimek ile benzer kompozisyonda olduğu anlaşılmıştır.

Kahverengi mercimek nişastasının %9,9 olarak bulunan dirençli nişasta içeriğinin yağ veya yağ asidi ilavesiyle önemli oranda arttığı gözlemlenmiştir. Lipid ilaveli nişastaların dirençli nişasta içeriği ile lipid ilaveli pişirilmiş nişastalarındaki karşılaştırıldığında, pişirme işleminin dirençli nişasta içeriğinin %2 oranında artmasında etkili olduğu görülmüştür.

Doğal nişasta ve %10 lipid ilaveli pişirilmemiş ve pişmiş nişasta örneklerinin termal özellikleri incelendiğinde; jelatinizasyon pik değerleri (Tp) ve entalpi değerleri karşılaştırıldığında lipid ilaveli örnekler ile saf kahverengi mercimek nişastası arasında önemli bir fark gözlenmemiştir. Ancak amiloz-lipid kompleksine ait geçişin entalpisi en yüksek hidrojenize ayçiçek yağı ilave edilen örnekte gözlenmiştir.

Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) kullanılarak kahverengi mercimek ununun, saf kahverengi mercimek nişastasının ve %10 lipid ilaveli pişirilmemiş ve pişirilmiş nişasta örneklerinin granül yapıları incelenmiştir. Saf kahverengi mercimek nişastasının oval granüller halinde olduğu, un yapısının ise nişasta granüllerine bağlı olan protein molekülleri ile daha kompleks bir yapıda olduğu görülmüştür. Lipid ilaveli nişasta örneklerine ait görüntülerde; nişasta sarmalının içindeki boşluğa özellikle doymuş yağ veya yağ asitlerinin yerleştiğini gösteren opak ve beyaz granül

görüntüleri elde edilmiştir. Pişirilmiş nişasta örneklerine ait görüntüler incelendiğinde ise granül yapının pişirme işlemi sebebiyle bozulduğu ve soğutma sonucu kristal yapının daha belirgin olduğu görülmüştür.

Yağ ve yağ asidi ilavesiyle RVA ile elde edilen pik viskozite değerinde düşüş yaşanmış, son viskozite değerlerinde stearik asit ve palmitik asit ilaveli nişasta örneklerinde diğer yağ ilave edilen örneklerle kıyasla daha yüksek değerler bulunmuştur. Set back viskozite için en yüksek değerler palmitik ve stearik asit ilave edilen nişasta örneklerinde saptanmıştır.

Farklı yağların (mısır yağı, soya yağı, zeytin yağı, hidrojenize ayçiçek yağı) ve yağ asitlerinin (palmitik asit, stearik asit) nişastanın sindirilebilirliği, amiloz-lipid kompleksi oluşumu ve termal özellikleri üzerine farklı etkileri gözlenmiştir. Nişasta ve lipidlerin birbiriyle olan etkileşimine ait elde edilen bu değerlerin düşük glisemik indekse sahip nişastalı gıda formülasyonlarının oluşturulmasında faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ai, Y. ve diğ.** (2013). Effects of lipids on enzymatic hydrolysis and properties of starch. *Carbohydrate Polymers*, 92: 120-127.
- Blazek, J.** (2008). Role of Amylose in Structure-Function Relationship in Starches from Australian Wheat Varieties. Doktora Tezi, Sydney Üniversitesi.
- Brouns, F. ve diğ.** (2002). Resistant Starch and “the butyrate revolution”. *Trends in Food Science and Technology*, 13: 251-261.
- Chung, H. J. ve diğ.** (2008). *In vitro* starch digestibility, expected glycemic index, and thermal and pasting properties of flours from pea, lentil and chickpea cultivars. *Food Chemistry*, 111: 316-321.
- Chung, H. J. ve diğ.** (2009). Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. *Carbohydrate Polymers*, 75: 436-447.
- El, S.N.** (2006). Gıda Bileşenlerinin Beslenme Açısından Önemi Ders Notu, Egge Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü.
- Eliasson, A.** (2004). Starch in Food. Starch in Food: Structure, Function and Applications, Edited by.
- Finocchiaro, E. ve diğ.** (2009). Resistant starch. Fiber Ingredients: Food Applications and Health Benefits, Edited by S. S. Cho ve P. Samuel, pp 206-207. CRC Press.
- Farooq, Z. ve Boya, J. I.** (2011). Novel Food and Industrial Applications of Pulse Flours and Fractions. Pulse Foods: Processing, Quality and Nutraceutical Applications, Edited by B. K. Tiwari, A. Gowen and B. McKenna, pp 285-286. Elsevier Inc.
- Güzel, D. ve Sayar, S.** (2010). Digestion profiles and some physicochemical properties of native and modified borlotti bean, chickpea and white kidney bean starches. *Food Research International*, 43: 2132-2137.
- Hasjim, J. ve diğ.** (2013). Novel Applications of Amylose-Lipid Complex as Resistant Starch Type 5. Resistant Starch: Sources, Applications and Health Benefits, Edited by Y. C. Shi and C. C. Maningat, pp 79-92. John Wiley & Sons Ltd.
- Joshi, M. ve diğ.** (2013). Physicochemical and functional characteristics of lentil starch. *Carbohydrate Polymers*, 92: 1484-1496.
- Kaur, M. ve diğ.** (2010). Microstructure, physicochemical properties and *in vitro* digestibility of starches from different Indian lentil (*Lentil culinaris*) cultivars. *Carbohydrate Polymers*, 79: 349-355.
- Kotancılar, H.G ve diğ.** (2008). Dirençli Nişasta. Türkiye Gıda Kongresi, Erzurum.

- Lee, H. C. ve diğ.** (2007). Alkaline extraction of starch from Australian lentil cultivars Matilda and Digger optimised for starch yield and starch and protein quality. *Food Chemistry*, 102: 551-559.
- Ma, Z. ve diğ.** (2011). Thermal processing effects on the functional properties and microstructure of lentil, chickpea, and pea flours. *Food Research International*, 44: 2534-2544.
- Medina, R.M. ve diğ.** (2014). Production of resistant starch by enzymatic debranching in legume flours. *Carbohydrate Polymers*, 101: 1176-1183.
- Oomah, B. D. ve diğ.** (2011). Chemistry of Pulses. Pulse Foods: Processing, Quality and Nutraceutical Applications, Edited by B. K. Tiwari, A. Gowen and B. McKenna, pp 16-20. Elsevier Inc.
- TC. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı.** (2013). Baklagil Raporu.
- Tian, Y. ve diğ.** (2010). Potential interaction between β -cyclodextrin and amylase-lipid complex in retrograded rice starch. *Carbohydrate Polymers*, 80: 581-584.
- Tiwari, B. K. ve diğ.** (2011). Introduction. Pulse Foods: Processing, Quality and Nutraceutical Applications, Edited by B. K. Tiwari, A. Gowen and B. McKenna, pp1-7. Elsevier Inc.
- USA Dry PEA & Lentil Council.** (2010). General Properties of Dry Peas, Lentils & Chickpeas. Processing Information & Technical Manual, pp 13-16.
- Watts, P.** (2011). Global Pulse Industry: State of Production, Consumption and Trade, Marketing, Challenges and Opportunities. Pulse Foods: Processing, Quality and Nutraceutical Applications, Edited by B. K. Tiwari, A. Gowen and B. McKenna, pp 447-448. Elsevier Inc.
- Wnag, N. ve diğ.** (2009). Influence of cooking and dehulling on nutritional composition of several varieties of lentils (*Lens culinaris*) *LWT Food Science and Technology*, 42: 842-848.
- Yalçın, B. E.** (2014). Investigating Phenolic Content, Antioxidant Activity and Bioavailability of Raw/Steam Cooked Buckwheat, Black Chickpea and Brown Lentil. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Zhang, B ve diğ.** (2012). Structural characterizations and digestibility of debranched high-amylose maize starch complexed with lauric acid. *Food Hydrocolloids*, 28: 174-181.
- Zhang, H. ve Jin, Z.** (2011). Preparation of products rich in resistant starch from maize starch by an enzymatic method. *Carbohydrate Polymers*, 86: 1610-1614.
- Zhou, Z. ve diğ.** (2007). Effect of the addition of fatty acids on rice starch properties. *Food Research International*, 40: 209-214.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Ad-Soyad: Bahar Nur OKUMUŞ
Doğum Yeri ve Tarihi: Bayburt / 11.04.1988
E-posta: baharnurokumus@gmail.com
Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi
Gıda Mühendisliği (2006-2011)
Lise: İstanbul Köy Hizmetleri Anadolu Lisesi (2002-2006)

İş Tecrübesi

2013 - : Mondelez International
Bilimsel ve Yasal İşler Departmanı
Mevzuat Uzmanı

2012-2013: The Coca Cola Company
Arge Departmanı
Yarı zamanlı