

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SENTETİK BUĞDAYLARDAN NİŞASTA ELDESİ VE
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet ŞENOL

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

TEMMUZ 2025

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SENTETİK BUĞDAYLARDAN NİŞASTA ELDESİ VE
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet ŞENOL

Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Serpil ÖZTÜRK MUTİ

TEMMUZ 2025

Ahmet ŞENOL tarafından hazırlanan “SENTETİK BUĞDAYLARDAN NİŞASTA ELDESİ VE KARAKTERİZASYONU” adlı tez çalışması 04.07.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı:	Prof. Dr. Hamit KÖKSEL İstinye Üniversitesi	
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Serpil ÖZTÜRK MUTİ (Danışman) Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi:	Prof. Dr. Oktay YEMİŞ Sakarya Üniversitesi	



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “SENTETİK BUĞDAYLARDAN NİŞASTA ELDESİ VE KARAKTERİZASYONU” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin aboneliği olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

30/ 06/ /2025

Ahmet ŞENOL



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanmasında değerli bilgi, yönlendirme ve destekleriyle katkı sağlayan danışmanım Doç. Dr. Serpil ÖZTÜRK MUTİ'ye en içten teşekkürlerimi sunarım. Bilimsel yaklaşımı, yönlendirici geri bildirimleri ve sabırlı desteği, bu sürecin her aşamasında bana yol göstermiştir.

Tez süreci boyunca laboratuvar uygulamalarında desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Kevser KAHRAMAN'a ve tez çalışmamız süresince bilimsel katkılarıyla her aşamada bize yol gösteren Prof. Dr. Hamit KÖKSEL'e özel olarak teşekkür ederim.

Ayrıca bu süreçte bilgi ve tecrübeleriyle beni cesaretlendiren, moral ve motivasyon sağlayan tüm arkadaşlarıma ve aileme, özellikle de her daim yanımda olan aile fertlerime sonsuz teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xiii
TABLO LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
2.1. Buğday Kökeni ve Kültüre Alınması	3
2.1.1. Diploid türler	6
2.1.2. Tetraploid türler	7
2.1.3. Hekzaploid türler	8
2.1.4. <i>Aegilops</i> türü	9
2.2. Sentetik Buğdaylar	12
2.2.1. Sentetik buğday üretimi	14
2.2.2. Sentetik buğdayın geçmişi	15
2.2.3. Buğday genetiğinin iyileştirilmesinde sentetik buğdayların önemi	15
2.2.3.1. Biyotik streslere karşı direnç	15
2.2.3.2. Abiyotik streslere karşı direnç	16
2.2.3.3. Hasat öncesi filizlenme	17
2.2.3.4. Verim ve verim bileşenleri	17
2.2.3.5. Beslenme kalitesi	17
2.2.3.6. Antioksidan aktivite ve fenolik madde içeriği	18
2.2.3.7. Gluten kalitesi	19
2.3. Nişasta	20
2.3.1. Nişasta granülü	21
2.3.2. Çift kırınım özelliği (Birefringence)	22
2.3.3. Kristalinite	23
2.3.4. Nişastanın kimyasal yapısı	24
2.3.5. Nişastanın sulu sistemlerde davranışı	26
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER	29
3.1. Materyal	29
3.2. Un Eldesi	29
3.3. Nişasta İzolasyonu	29
3.4. Nem Tayini	32
3.5. Amiloz Miktarı	32
3.6. Kristal Yapı	32

3.7. Morfolojik Özellikler	32
3.8. Çözünürlük ve Su Bağlama Kapasitesi	32
3.9. Şişme Kuvveti	33
3.10. Viskozite Özellikleri	33
3.11. İstatistiksel Analiz	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	35
4.1. Un ve Nişasta Verimleri	35
4.2. Rutubet Miktarı	36
4.3. Amiloz Miktarı	38
4.4. Kristal Yapı	38
4.5. Morfolojik Özellikler	49
4.6. Çözünürlük ve Su Bağlama Kapasitesi	56
4.7. Şişme Kuvveti	57
4.8. Viskozite Özellikleri	58
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	71

KISALTMALAR

ABTS	: 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)
CIMMYT	: Uluslararası Mısır ve Buğday Geliştirme Merkezi (International Maize and Wheat Improvement Center)
CUPRAC	: Cupric Reducing Antioxidant Capacity (bakır (II) indirgeyici antioksidan kapasite)
DPPH	: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
FAO	: Gıda ve Tarım Organizasyonu (Food and Agriculture Organization)
GAE	: Gallik Asit Eşdeğeri
RVA	: Hızlı Viskozite Analizörü (Rapid Visco Analyzer)
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscopy)
TE	: Trolox Eşdeğeri
TPC	: Toplam Fenolik İçerik (Total Phenolic Content)
XRD	: X-Işını Kırınımı (X-Ray Diffraction)



SİMGELER

%	: Yüzde
°C	: Santigrat derece
2θ	: Kırınım açısı
cP	: Viskozite birimi (Centipoise)
Fe	: Demir
g	: Gram
kg	: Kilogram
kV	: Kilovolt
M	: Molar
mA	: Miliamper
mg	: Miligram
mL	: Mililitre
n	: Numune sayısı
nm	: Nanometre
rpm	: devir/dakika
sa	: Saat
T_e	: Jelatinizasyon pik bitiş noktası
T_o	: Jelatinizasyon pik başlangıç noktası
T_p	: Jelatinizasyon sıcaklığı
Zn	: Çinko
ΔH	: Entalpi
μm	: Mikrometre



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Buğday türlerine ait yabani ve kültür formları.....	6
Tablo 2.2. <i>Aegilops</i> türleri	10
Tablo 2.3. Çeşitli tahıl nişastalarının bazı özellikleri	21
Tablo 3.1. Sentetik buğday örnekleri	30
Tablo 4.1. Sentetik buğdaylardan elde edilen un ve nişasta verimi değerleri	35
Tablo 4.2. Sentetik buğdaylardan elde edilen nişasta örneklerinin rutubet ve amiloz miktarları ile kristalinite oranları	37
Tablo 4.3. Sentetik buğdaylardan elde edilen nişasta örneklerinin çözünürlük, su bağlama kapasitesi ve şişme kuvveti değerleri	57
Tablo 4.4. Sentetik buğdaylardan elde edilen nişasta örneklerinin RVA çirleşme özellikleri.....	60



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Buğdayın evcilleşme süreci	5
Şekil 2.2. <i>T. urartu</i> (a) ve <i>T. boeoticum</i> (b)	6
Şekil 2.3. <i>T. dicoccoides</i> (a), <i>T. dicoccum</i> (b) ve <i>T. durum</i> (c).....	7
Şekil 2.4. <i>T. dicoccoides</i> (a), <i>T. dicoccum</i> (b) ve <i>T. durum</i> (c) tane örnekleri.....	8
Şekil 2.5. <i>T. spelta</i> (a) ve <i>T. aestivum</i> (b)	9
Şekil 2.6. <i>T. aestivum</i> tane örnekleri.....	9
Şekil 2.7. <i>Ae. speltooides</i> (a) ve <i>Ae. tauschii</i> (b)	11
Şekil 2.8. <i>Ae. umbellulata</i> (a) ve <i>Ae. cylindrica</i> (b).....	12
Şekil 2.9. Sentetik buğday ve ebeveynleri	14
Şekil 2.10. Buğday (a), mısır (b), pirinç (c) ve patates (d) nişastası granüllerinin ışık mikroskopundaki (40x) görüntüleri	22
Şekil 2.11. Buğday nişastası granüllerinin elektron mikroskopundaki görüntüsü.....	22
Şekil 2.12. Nişastanın normal ışık (a) ve polarize ışık (b) altındaki görüntüleri	23
Şekil 2.13. Buğday nişastasına ait X-ışını kırınım deseni	24
Şekil 2.14. Amiloz ve amilopektin yapısı.....	24
Şekil 2.15. Tipik bir RVA grafiği	27
Şekil 2.16. Tipik bir DSC termogramı (T_p : jelatinizasyon sıcaklığı, T_o : pik başlangıç noktası, T_e : pik bitiş noktası, ΔH : entalpi)	28
Şekil 3.1. Nişasta izolasyonu akım şeması	31
Şekil 4.1. B1 ve B2 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri	40
Şekil 4.2. B3 ve B4 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri	41
Şekil 4.3. B5 ve B6 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri	42
Şekil 4.4. B7 ve B8 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri	43
Şekil 4.5. B9 ve B10 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri	44

Şekil 4.6. B11 ve B12 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri.....	45
Şekil 4.7. B13 ve B14 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri.....	46
Şekil 4.8. B15 ve B16 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri.....	47
Şekil 4.9. B17 ve B18 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri.....	48
Şekil 4.10. B19 ve B20 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri.....	49
Şekil 4.11. B1-B4 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin SEM görüntüleri (a: 500x, b: 2000x)	51
Şekil 4.12. B5-B8 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin SEM görüntüleri (a: 500x, b: 2000x)	52
Şekil 4.13. B9-B12 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin SEM görüntüleri (a: 500x, b: 2000x)	53
Şekil 4.14. B13-B16 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin SEM görüntüleri (a: 500x, b: 2000x)	54
Şekil 4.15. B17-B20 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin SEM görüntüleri (a: 500x, b: 2000x)	55
Şekil 4.16. Sentetik buğday nişastalarına ait RVA grafikleri	59

SENTETİK BUĞDAYLARDAN NIŞASTA ELDESİ VE KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Buğday (*Triticum aestivum*), *Triticum* cinsine bağlı bütün dünyada ıslahı yapılmış tek yıllık otsu bitki türüdür. Kromozom sayılarına göre yapılan sınıflandırmada buğdaylar diploid ($2n=14$ kromozom), tetraploid ($2n=28$ kromozom) ve hekzaploid ($2n=42$ kromozom) olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Her grubun yabancı formları ile kavuzlu ve çıplak kültür formları mevcuttur.

Sentetik buğdaylar, tetraploid buğday (*Triticum durum*) ile diploid yabancı akrabası olan *Aegilops tauschii*'nin melezlenmesiyle oluşturulan ve hekzaploid genoma sahip buğdaylardır. Sentetik buğdaylar, klasik buğday ıslahına genetik çeşitlilik sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Sentetik buğdaylar, pas hastalıkları, kuraklık, tuzluluk, su basması, yüksek sıcaklık gibi bazı streslere dayanıklılık göstermektedir. Sentetik buğdaylarda verimin ve besin kalitesini de yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle sentetik buğdaylara olan ilgi artmaktadır.

Buğday tanesinin yaklaşık %65–75'ini oluşturan nişasta önemli bir karbonhidrat bileşeni olup gıda sanayiinde kıvam artırıcı, su tutucu, film oluşturucu ve tekstür düzenleyici gibi çok işlevsel özelliklere sahiptir. Nişastanın granül yapısı, kristallinitesi, amiloz/amilopektin oranı, çözünürlük, su bağlama, şişme ve viskozite özellikleri nişastanın teknolojik işlevselliğini etkilemektedir. Bu nedenle, farklı buğday türlerinden veya yeni geliştirilen genotiplerden elde edilen nişastaların karakterizasyonu büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma, farklı sentetik buğday genotiplerinden elde edilen nişastaların fizikokimyasal ve fonksiyonel özelliklerini belirlemek ve bu özellikleri doğal buğday nişastası ile karşılaştırmak ve değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada 20 farklı sentetik buğday hatlarından nişasta izolasyonu yapılmıştır. Elde edilen nişasta örneklerinin nem içeriği, amiloz miktarı, kristallinite düzeyi (XRD), morfolojik yapısı (SEM), çözünürlük, su bağlama kapasitesi, şişme kuvveti ve RVA viskozite özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğal buğday nişastasının literatürdeki özellikleriyle karşılaştırılmıştır.

Elde edilen bulgulara göre; sentetik buğdayların un verimleri %69-78 arasında değişmektedir. Sentetik buğday unlarından elde edilen nişasta verimlerinin %16,7-32,1 arasında olduğu gözlenmiştir. Nişasta verimleri doğal ekmeklik buğday nişastası verimlerine (%65-75) göre düşük bulunmuştur. Sentetik buğday nişastalarının nem içeriğinin %7,2-10,5 arasında olduğu ve numunelerin depolanması için nem değerlerinin uygun olduğu tespit edilmiştir.

Sentetik buğdaylardan elde edilen nişasta örneklerinin amiloz içerikleri %28,7–33,4 arasında değişmektedir. Çoğu örneğin amiloz içeriği, buğday nişastası için literatürde bildirilen %25-30 oranının üzerinde bulunmuştur. Sentetik buğdaylardaki yabancı

genom katkısı ve adaptasyon stratejileri, nişastasında daha yüksek amiloz oranlarının oluşmasına neden olabilir.

Elde edilen SEM görüntülerinde sentetik buğday nişastası granüllerin çoğunlukla oval, küresel ve yassı formda olduğu ve granül çaplarının yaklaşık 5–30 µm arasında değiştiği belirlenmiştir. Doğal buğday nişastasının morfolojik karakteristikleriyle uyum göstermektedir.

Sentetik buğday nişastalarının kristalinite oranları %63,7-70,6 arasında olup tüm örneklerde A-tipi XRD deseni gözlenmiştir. Kristalinite oranları doğal buğday nişastasının kristalite oranlarıyla (%29-42) karşılaştırıldığında yüksek olduğu görülmüştür.

Sentetik buğday nişastalarının çözünürlük değeri %0,18-1,78, su bağlama kapasitesi %102,5-125,5 ve şişme kuvveti 8,90-11,65 g/g olarak belirlenmiştir. Doğal buğday nişastasına göre daha düşük çözünürlük, su bağlama ve şişme değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir.

Sentetik buğday nişastalarına ait RVA analizleri, örneklerin yüksek viskozite değerlerine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ortalama olarak 5525 cP pik viskozitesi ve 6686 cP son viskozite değerleriyle birlikte, 1556 cP karıştırma ile viskozite düşüşü ve 2717 cP katılaşma değerleri elde edilmiştir. Örneklerin ortalama pik süresi 6,13 dk ve çirilenme başlangıç sıcaklığı 70,2°C olarak belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, sentetik buğday nişastalarının kıvam verme ve jel oluşturma açısından güçlü bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, sentetik buğday nişastalarının doğal buğday nişastasına alternatif olarak endüstriyel ve gıda uygulamalarında önemli potansiyel taşıdığı ortaya konulmuştur.

ISOLATION AND CHARACTERIZATION OF STARCH FROM SYNTHETIC HEXAPLOID WHEAT SAMPLES

SUMMARY

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most widely grown and consumed cereals in the world. As one of the basic food sources, wheat is of great importance in human nutrition by providing basic calories. At the same time, wheat is used in the production of many food products, especially bread, pasta, biscuits and various bakery products. It is also evaluated in various industrial applications with its components such as starch, gluten and bran.

Wheat is an annual plant species that has been improved all over the world, belonging to the genus *Triticum*. The genera *Triticum* and *Aegilops* are involved in the *Triticeae* tribe of the *Poaceae* family. The *Triticum* includes mostly the cultivated species of wheat, while the *Aegilops* includes wild species. There are similarities between *Triticum* and *Aegilops* in terms of morphological and adaptation characteristics. In wheat breeding, the *Aegilops* genome is an important gene source that helps increase the quality and resistance of wheat to biotic and abiotic stresses. Some *Aegilops* species have been reported to be resistant to various diseases and pests, drought and salinity. *Aegilops* species genes also have the potential to improve the quality of bread wheat.

In the classification made according to the number of chromosomes, wheats are divided into three groups as diploid ($2n=14$ chromosomes; A, B or D genomes), tetraploid ($2n=28$ chromosomes; A and B genomes) and hexaploid ($2n=42$ chromosomes; A, B and D genomes). Approximately 1 million years ago, the diploid wheat species *Triticum monococcum* and *Triticum urartu* separated from each other and became two different species. Later, it was determined that the species *Triticum turgidum* and *Triticum timopheevii* with tetraploid AABB and AAGG genome structures developed. Around 500 thousand years ago, the wild diploid wheat *Triticum urartu* (A^uA^u , $2n=14$) and the wild grass plant *Aegilops speltoides* (BB, $2n=14$) naturally hybridized with each other and their chromosomes were folded to form the tetraploid wheat *Triticum dicoccoides* (A^uA^uBB , $2n=28$). A cultivated wheat *Triticum dicoccum* (A^uA^uBB , $2n=28$) was domesticated through natural or artificial selection from *Triticum dicoccoides* species. Hexaploid wheat *Triticum spelta* (AABBDD, $2n=42$) developed by the natural hybridization and the chromosome doubling of the *Triticum dicoccum* species with another grass plant, the diploid *Aegilops tauschii* (DD, $2n=14$). Hexaploid bread wheat (*Triticum aestivum*) developed through natural hybridization and chromosome doubling between the tetraploid (AABB) cultivar *T. turgidum* ssp. *durum* (durum wheat) and the diploid (DD) wild species *Aegilops tauschii*.

Recently, the yield of common wheat varieties has been decreasing that causes concern over the world about food safety. To improve and enrich the gene pools of cultivated wheat, primary synthetic hexaploid bread wheat ($2n=42$, AABBDD) is obtained by

using hybridization techniques with the wild species *Ae. squarrosa* (2n=14, DD) and *T. dicoccum* (2n=28, AABB) or *T. durum* (2n=28, AABB) species. These primary genotypes are backcrossed with modern hexaploid wheat to obtain agronomically more suitable genotypes, and these are defined as "synthetic hexaploid wheat". Approximately 1200 synthetic hexaploid wheat lines with different characteristics have been developed by the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) from 1980 to the present.

Many valuable genetic variations in wild relatives of modern wheat have been lost during the domestication of wheat. Crossings between synthetic and modern wheat varieties are introducing new traits needed to improve both yield and stress tolerance in wheat. Synthetic wheat provides resistance to some stresses such as drought, salinity, rust diseases, leaf spot, head germination, and improves some traits such as protein content and dough extensibility.

Synthetic wheat is seen as an important source of new varieties in different regions due to its superior properties in terms of resistance to various biotic and abiotic stress factors. New resistance genes have been reported for stem, spike and leaf rust diseases in synthetic wheat. Additional genetic variation for salt tolerance that is limited in other common wheat genotypes has also been reported in synthetic hexaploid wheat. High temperature and drought during the wheat growing cause serious yield reductions by reducing grain size, grain number and grain weight. It has been reported that synthetic wheat produces larger spikes and grains under these stress factors and thus has a higher yield potential. Pre-harvest sprouting is an important issue as it results in poor quality wheat flour and financial losses to farmers, especially in cases of high rainfall and humidity before and/or during the harvest season. *Aegilops* has an important component for pre-harvest sprouting resistance.

Normal wheat cannot provide sufficient iron (Fe) and zinc (Zn) for humans. Approximately ¼ of the total population suffers from various health problems due to Fe deficiency. Some synthetic wheats have been reported to have high concentrations of micro and macronutrients. It was also shown that synthetic hexaploid wheat samples are valuable resources for breeding programs to develop new wheat varieties with higher concentrations and health beneficial phytochemical compositions.

Protein and gluten content is one of the most important parameters in determining the quality of wheat. Although the amount of protein depends on genetic factors, it is known that environmental factors (rain, temperature, soil, diseases, etc.) also affect the protein ratio. It has been reported that protein, sedimentation and glutenin subunits in synthetic hexaploid wheat line are superior to modern bread wheat. Wild species used in synthetic wheat production have great potential for quality improvement.

While cereal products such as bread, pasta and cookies are produced from wheat, by-products from wheat are also very important in today's world. One of the most important of these by-products is starch. Starch, which constitutes approximately 70–75% of the dry weight of wheat grain, is the most dominant carbohydrate component of wheat and has functional properties such as thickening, water retention, film forming and texture provider in the food industry. Starch is basically composed of two polysaccharides called amylose and amylopectin. The ratio, molecular structure and distribution of these two fractions affect the technological properties of starch such as swelling, solubility, gelatinization, retrogradation and viscosity. In addition, the size, shape, crystallinity structure and morphology of the starch granule are also important parameters that determine the functional properties of starch. Therefore, the

characterization of starches obtained from different wheat species or newly developed genotypes is of great importance.

The main purpose of this study is to determine the physicochemical and functional properties of starches obtained from different synthetic wheat lines and to compare these properties with natural wheat starch. It was aimed to reveal the potential of starches obtained from synthetic wheat genotypes in industrial food applications and to establish a scientific basis for the functional usage areas of these new resources.

No study has been found in literature on the extraction of starch from synthetic wheat and its characterization. In this study, starch was isolated from 20 different synthetic wheat lines. The moisture content, amylose level, crystallinity (XRD), morphological structure (SEM), solubility, water binding capacity, swelling force and pasting properties of the obtained starch samples were examined. The results obtained were compared with the properties of natural wheat starch in the literature.

According to the findings; flour yields of synthetic wheats vary between 69-78%. It was observed that starch yields obtained from synthetic wheat flours were between 16.7-32.1%. Starch yields were found to be lower than natural bread wheat starch yields (approximately 65-75%). The moisture content of synthetic wheat starches was found to be between 7.2-10.5% which is suitable for storage the samples.

Amylose contents of starch samples obtained from synthetic wheat ranged between 28.7-33.4%. Amylose contents of most samples were found to be above 25-30% which is reported in the literature for wheat starch. Wild genome contribution and adaptation strategies in synthetic wheats may lead to higher amylose contents in starch.

In the obtained SEM images, it was determined that synthetic wheat starch granules were mostly oval, spherical and flat in shape and granule diameters varied between approximately 5-30 μm . It is consistent with the morphological characteristics of natural wheat starch.

The crystallinity ratios of synthetic wheat starches were between 63.7-70.6% and A-type XRD pattern was observed in all samples. Crystallinity ratios were found to be high when compared to the crystallinity ratios of natural wheat starch (29-42%).

Solubility values of synthetic wheat starches were determined as 0.18-1.78%, water binding capacity as 102.5-125.5% and swelling force as 8.90-11.65 g/g. It was observed that it had lower solubility, water binding and swelling values compared to natural wheat starch.

RVA analyses of synthetic wheat starches revealed that the samples had high viscosity values. On average, peak viscosity of 5525 cP, final viscosity of 6686 cP, breakdown of 1556 cP and setback values of 2717 cP were obtained. The samples also have an average peak time of 6,13 min and pasting temperature of 70,2°C. The findings show that synthetic wheat starches have a strong potential in terms of thickening and gel formation.

As a result, it has been demonstrated that synthetic wheat starches have significant potential as an alternative to natural wheat starch in industrial and food applications.



1. GİRİŞ

Buğday (*Triticum aestivum* L.), dünya genelinde en yaygın olarak yetiştirilen ve tüketilen tahıllardan biridir. Temel besin kaynaklarından biri olarak buğday insan beslenmesinde çok büyük öneme sahiptir. Aynı zamanda buğday, makarna, ekmek, bisküvi ve çeşitli unlu mamuller başta olmak üzere çok sayıda gıda ürününün üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca nişasta, gluten ve kepek gibi bileşenleriyle çeşitli endüstriyel uygulamalarda da değerlendirilmektedir.

Buğday tanesinin kuru ağırlığının yaklaşık %70–75'ini oluşturan nişasta, buğdayın en baskın karbonhidrat bileşeni olup gıda sanayisinde kıvam artırıcı, su tutucu, film oluşturunu ve tekstür düzenleyici gibi çok işlevsel özelliklere sahiptir. Nişasta, temel olarak amiloz ve amilopektin adı verilen iki polisakkaritten oluşmaktadır. Bu iki fraksiyonun oranı, moleküler yapısı ve dağılımı; nişastanın şişme, çözünürlük, jelatinizasyon, retrogradasyon ve viskozite gibi teknolojik özelliklerini etkilemektedir. Buğday nişastası, genel olarak %20–30 amiloz ve %70–80 amilopektin içerir. Bununla birlikte, nişasta granülünün büyüklüğü, şekli, kristalinite yapısı ve morfolojisi de nişastanın fonksiyonel özelliklerini belirleyen önemli parametrelerdendir.

Nişastanın teknolojik işlevselliği; su bağlama kapasitesi, şişme gücü, viskozite ve çözünürlük gibi birçok özelliğiyle doğrudan bağlantılıdır. Özellikle gıda ürünlerinde yapısal stabilite, ağız hissi ve raf ömrü gibi kriterler üzerinde etkili olan bu parametreler, nişastanın üretim proseslerine ve ürün formülasyonlarına uygunluğunu gösterir. Bu nedenle, farklı buğday türlerinden veya yeni geliştirilen genotiplerden elde edilen nişastaların karakterize edilmiş olması hem bilimsel araştırmalar hem de uygulamalı endüstri açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu sınırlamaları aşmak ve klasik buğday ıslah programlarına yeni genetik çeşitlilik kazandırmak amacıyla son yıllarda sentetik buğday genotipleri geliştirilmektedir. Sentetik buğdaylar, tetraploid buğday (*Triticum durum*) ile diploid yabani akrabası olan *Aegilops tauschii*'nin melezlenmesiyle oluşturulan ve hekzaploid genoma sahip buğdaylardır. Bu genotipler, tarımsal verim, stres toleransı ve besin değeri gibi agronomik özelliklerin yanında, içerdiği nişastanın yapısı ve fonksiyonel kalitesi

bakımından da alternatif bir kaynak olabilir. Sentetik buğdaylar sayesinde, doğal buğday türlerinde sınırlı kalan bazı özellikler geliştirilebilir ve yeni ticari ürünlerin hammaddesi olarak kullanılabilecek fonksiyonel özelliklere sahip nişastalar elde edilebilir.

Sentetik buğdaylardan elde edilen nişastaların kullanım potansiyelini belirlemek için öncelikle bu nişastaların morfolojik, fizikokimyasal ve fonksiyonel özelliklerinin detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir. Mevcut literatür incelendiğinde, doğal buğday nişastasının granül yapısı, amiloz/amilopektin oranı, jelatinizasyon profili ve reolojik davranışları hakkında birçok çalışma bulunmasına karşın, sentetik buğday nişastalarının benzer kapsamda değerlendirildiği çalışma bulunmamaktadır. Sentetik buğday nişastalarının kristalin yapısı, granül şekli, çözünürlük profili, su bağlama kapasitesi, şişme davranışı ve amiloz içeriği gibi özellikleri belirlenerek doğal buğday nişastasıyla karşılaştırıldığında, bu genotiplerin teknolojik potansiyelini daha iyi anlamamıza yardımcı olacaktır.

Bu çalışmanın temel amacı, farklı sentetik buğday hatlarından elde edilen nişastaların fizikokimyasal ve fonksiyonel özelliklerini belirlemek ve bu özellikleri doğal buğday nişastası ile karşılaştırmak ve değerlendirmektir. Bu kapsamda; nem oranı, amiloz içeriği, kristalinite düzeyi, SEM ile granül morfolojisi, su bağlama kapasitesi, çözünürlük, şişme kuvveti ve RVA ile viskozite profili gibi birçok parametre analiz edilip doğal buğday nişastasının literatürde bildirilen özellikleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda, sentetik buğday genotiplerinden elde edilen nişastaların endüstriyel gıda uygulamalarındaki potansiyeli ortaya konularak, bu yeni kaynakların işlevsel kullanım alanları hakkında bilimsel bir temel oluşturulması hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Buğday Kökeni ve Kültüre Alınması

İnsan uygarlığının temelini oluşturan ana faktör, bitki ve hayvanların evcilleştirilmesi ve kültüre alınmasıdır. Anadolu coğrafyası, insan ve hayvan beslenmesinde kullanılan bazı önemli bitkilerin kültüre alınmasında, evcilleştirilmesinde ve dünya çapında yayılmasında önemli bir rol oynamıştır. Buğday, çeşitli kültürlerin ve medeniyetlerin oluşumunda her zaman öncü olmuştur. Günümüzde, yıllardır sürdürülebilir bir şekilde tarımı yapılan buğday, dünya çapında en fazla ekim alanına (217 milyon ha) sahip olan tarla bitkilerinden biridir. Buğday, mısır ve çeltikten sonra üretim miktarı en fazla (729 milyon ton) olan bitkidir. Dünya nüfusunun temel kalori ihtiyacını karşılamada kullanılan en önemli tarla bitkisi buğdaydır (Peng ve ark., 2011a).

Buğday tarımı dünyada ilk kez günümüzden yaklaşık 10-12 bin yıl önce Neolitik dönemde, Mezopotamya bölgesinde başlamıştır. Yaklaşık 12 bin yıl önce Göbeklitepe’de buğdayın kültüre alındığı ve ekmek yapımında kullanıldığı da gösterilmektedir. Bu durum, insanların toplayıcı ve avlayıcı şeklindeki yaşıtan biçiminden, yerleşik yaşam tarzına geçişini sağlamıştır (Kaya, 2018).

Beslenme için kullanılan tahıllar arasında buğday en yüksek protein içeriğine sahiptir. Buğday ve buğday ürünleri, dünya çapında insanların günlük kalori ihtiyacının %20'sinden fazlasını karşılamaktadır (CIMMYT, 2017; Peng ve ark., 2011a, 2011b). Buğdayın bu kadar yaygın olmasının ve temel kalori kaynağı olarak tercih edilmesinin birçok nedeni vardır. Bunlardan bazıları, kültüre alınan ilk tarla bitkisi olması, yetiştirme, taşınma, depolama ve işlenmesindeki kolaylıklar, besleme değerinin yüksek olması ve uygun aminoasit dengesine sahip olmasıdır. Ayrıca, prolamin grubu depo proteinleri (gluten) içermesi nedeniyle buğday, modern teknolojilere göre ekmek yapımına en uygun tahıl olarak kabul edilmektedir (Shewry, 2009). Buğday ve buğday ürünleri temel olarak karbonhidrat, protein ve lipid kaynağıdır. Tam tahıl olarak tüketildiğinde, içeriğindeki bazı bileşenler (vitaminler, diyet lifleri, fitokimyasallar)

nedeniyle de sağlık açısından faydalıdır. Bu bileşenlerin kalp, diyabet ve kanser gibi hastalıklara yakalanma riskini azalttığı bildirilmektedir (Shewry ve Hey, 2015).

Uluslararası Mısır ve Buğday Geliştirme Merkezi (CIMMYT) tarafından yapılan açıklamada, 2050 yılına kadar dünya nüfusunun yeterli beslenebilmesi için günümüzde üretilen buğdaydan yaklaşık %70'ten daha fazlasının üretilmesi gerekeceğı bildirilmiştir (CIMMYT, 2017).

Kültürü yapılan buğday ve onun yakın akraba türleri Poaceae (Graminea) familyası altındaki *Triticum* cinsi içerisinde yer almaktadır. *Triticum* cinsi yaklaşık 300 tür içermektedir (Matsuoka, 2011). Yaklaşık 13 milyon yıl öncesine kadar tahıl cinsleri ve türleri tek bir atasal bitkiyken, zamanla doğal mutasyonlar nedeniyle birbirinden ayrılmaya başlamışlardır. Buğdayın evcilleşmesi ve kromozom sayılarının değışmesi, binlerce yıllık doğal bir sürecin sonucudur.

Buğdaylar genom sayısına göre;

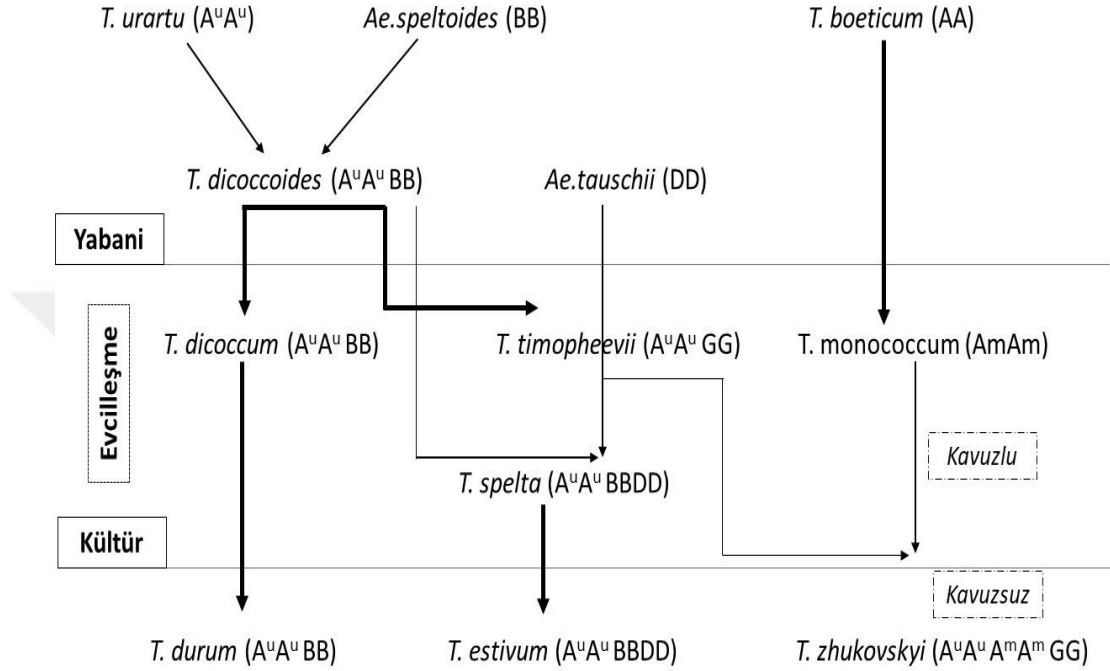
1. Diploid ($2n=2x=14$ kromozom)
2. Tetraploid ($2n=4x=28$ kromozom)
3. Hekzaploid ($2n=6x=42$ kromozom)

olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (x: temel kromozom sayısı, 7).

Diploid türlerde A, B ve D genomlarından sadece biri bulunur. Örneğın, diploid bir buğday türü olan siyez buğdayı sadece A genomuna sahiptir. Makarnalık buğday olarak kullanılan *Triticum durum* ise tetraploid tür olup A ve B genomlarını içerir. Ekmeklik buğday olarak bilinen hekzaploid tür olan *Triticum aestivum* ise A, B ve D genomlarının hepsine sahiptir.

Buğdayın kökeni ve evcilleşme süreci Şekil 2.1'de verilmiştir. Günümüzden yaklaşık 1 milyon yıl önce, diploid buğday türleri olan *Triticum monococcum* ve *Triticum urartu* birbirinden ayrılmış ve iki farklı tür haline gelmiştir. Daha sonra ise tetraploid AABB ve AAGG genom yapısına ait *Triticum turgidum* ve *Triticum timopheevii* buğday türlerinin ortaya çıktığı belirlenmiştir. Günümüzden yaklaşık 500 bin yıl önce, yabani diploid buğday olan *Triticum urartu* (A^uA^u , $2n=14$) ve yabani çim bitkisi olan *Aegilops speltoides* (BB, $2n=14$) birbirleriyle doğal olarak melezlenmiş ve kromozomları katlanarak yabani Emmer (yabani Gernik) olarak isimlendirilen tetraploid buğday *Triticum dicoccoides* (A^uA^uBB , $2n=28$) ortaya çıkmıştır. Doğal ya da yapay seleksiyonlar ile *Triticum dicocoides* türünden kültür buğdayı olan *Triticum*

dicoccum (A^uA^uBB , $2n=28$) evcilleştirilmiştir. Bu buğday günümüzde, Emmer ya da Gernik olarak bilinmektedir. *Triticum dicoccum* türünün bir başka çim bitkisi olan diploid *Aegilops tauschii* (DD, $2n=14$) ile doğal melezlenmesi ve kromozomlarının katlanması sonucu Spelt buğdayı olarak da bilinen hekzaploid buğday *Triticum spelta* (AABBDD, $2n=42$) ortaya çıkmıştır (Matsuoka, 2011; Peng ve ark., 2011a, 2011b).



Şekil 2.1. Buğdayın evcilleşme süreci

Diploid, tetraploid ve hekzaploid buğday türlerinin çeşitli yabani ve kültür formları Tablo 2.1’de verilmiştir. Emmer ve Spelt buğdaylarından doğal ve yapay seleksiyonlar sonucu geçmişte ve günümüzde kullanılan diğer ekmeklik ve makarnalık buğday türleri gelişmiştir. Buğday ıslah çalışmaları ile aynı tür içerisinde yer alan çeşitler birbiriyle melezlenerek yeni çeşitler geliştirilmiştir. İhtiyaç olduğu durumlarda, akraba türlerle yapılan doğal ve yapay melezlemelerle de yeni çeşitler geliştirilebilmektedir. Transgenik (başka organizmalardan gen aktarılmış) buğday çeşidi yetiştiriciliği dünyada ve ülkemizde yapılmamaktadır (Atak, 2017).

Tablo 2.1. Buğday türlerine ait yabani ve kültür formları

Tür	Kromozom/Genom	Yabani form	Kültür formu
Diploid	2n= 14 / AA	<i>T.boeoticum</i>	Kavuzlu <i>T.monococcum</i> <i>T.urartu</i>
Tetraploid	2n= 28 / AABB	<i>T.dicoccoides</i>	Kavuzlu <i>T.turgidum ssp.dicoccum</i>
	<i>T.monococcum</i> /AA X <i>Ae.speltoides</i> /BB	<i>T.timopheevii</i>	Çıplak <i>T.turgidum ssp.durum</i> <i>T.turgidum ssp.turanicum</i> <i>T.turgidum ssp. turgidum</i> <i>T.turgidum ssp. polonicum</i> <i>T.turgidum ssp. persicum</i>
Hekzaploid	2n= 42 / AABBDD		Kavuzlu <i>T.aestivum ssp.spelta</i> <i>T.aestivum ssp.macha</i> <i>T.aestivum ssp.vavilovii</i>
	<i>T.dicoccoides</i> /AABB X <i>Ae.squarrosa</i> /DD		Çıplak <i>T.aestivum ssp.vulgare</i> <i>T.aestivum ssp.compactum</i>

2.1.1. Diploid türler

Anadolu ve Mezopotamya, buğday türlerinin ilk oluştuğu yer olarak bilinmektedir. Günümüzden yaklaşık 3 milyon yıl önce, buğdayın ilk ataları olan *Aegilops* ve *Triticum* cinsleri meydana gelmiştir. *Aegilops* cinsine ait ilk türler *Aegilops speltoides* ve *Aegilops tauchii* iken *Triticum* cinsine ait ilk türlerin Şekil 2.2’de gösterilen *Triticum urartu* (yabani diploid) ve *Triticum boeoticum* (yabani Einkorn) olduğu kabul edilmektedir (Kaya, 2018).

**Şekil 2.2.** *T. urartu* (a) ve *T. boeoticum* (b)

Triticum urartu, modern buğday türleri olan *Triticum aestivum*'un (ekmeklik buğday) ve *Triticum durum*'un (makarnalık buğday) ilk atalarından biridir (Şekil 2.1). “A^uA^u”

sembolleri, modern buğdaylarda bulunan A genomunun vericisinin *T. urartu* olduğunu göstermektedir. Buğdayın evrim sürecinde *T. urartu*'nun baba (erkek) ebeveyn olarak hizmet ettiği belirtilmiştir. Diploid A genomunun vericisi olan *T. urartu*, $2n=14$ kromozoma sahiptir. Şu ana kadar kültüre alınmış herhangi bir *T. urartu* formu bilinmemektedir (Kaya, 2018).

2.1.2. Tetraploid türler

Triticum urartu (baba ebeveyn) ve *Aegilops speltoides* (ana ebeveyn) doğal koşullar altında melezlenerek yeni bir tür olan allotetraploid buğday *Triticum dicoccoides*'in ($2n=4x=28$, AABB) oluştuğu bildirilmiştir (Şekil 2.3a). Yabani Gernik (yabani Emmer) olarak da bilinen *Triticum dicoccoides*, tetraploid buğdayların ilk yabani formudur. *Triticum dicoccoides* tarıma geçen insan toplulukları tarafından ilk kez kültüre alınmış ve tetraploid *Triticum dicoccum* türü ($2n=4x=28$ AABB) geliştirilmiştir (Şekil 2.3b). Yabani form olan *Triticum dicoccoides* kavuzludur ve başakçıklarını döker. Kültür formu olan *Triticum dicoccum* ise başakçıklarını dökmemektedir, ancak hala kavuzludur. Her iki türün de her bir başakçığında sadece iki dane bulunmaktadır (Kaya, 2018).

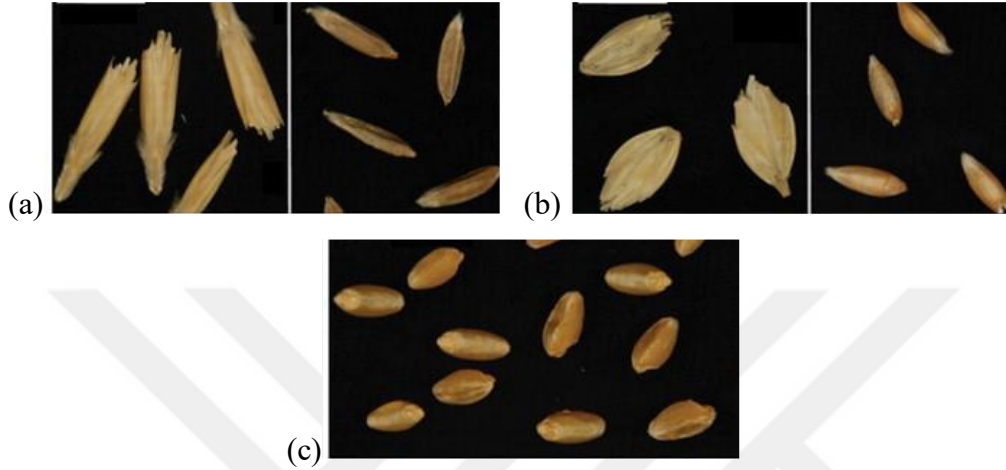


Şekil 2.3. *T. dicoccoides* (a), *T. dicoccum* (b) ve *T. durum* (c)

Triticum dicoccum, Anadolu'da Gernik, Emmer, Kavılca, Çatal Siyez ya da Çatal Kaplıca buğdayı olarak adlandırılmaktadır. Kültüre alınmış Gernik olarak bilinen *Triticum dicoccum*, modern makarnalık buğdayın (*Triticum durum*, $2n=4x=28$, AABB) atasıdır. *Triticum dicoccum* kavuzludur, ancak *Triticum durum* (Şekil 2.3c)

çıplak tanelidir. *Triticum durum*'un kavuzsuz oluşu dünya çapında hızla yayılmasını sağlamıştır (Kaya, 2018; Peng ve ark., 2011a, 2011b).

Şekil 2.4'te *T. dicoccoides* (a), *T. dicoccum* (b) ve *T. durum* (c) türlerine ait tane örnekleri verilmiştir. Yabani form olan *T. dicoccoides* ile kültür formu *T. dicoccum*'un kavuzlu ve çıplak taneleri şeklinde görülmektedir.



Şekil 2.4. *T. dicoccoides* (a), *T. dicoccum* (b) ve *T. durum* (c) tane örnekleri

2.1.3. Hekzaploid türler

Diploid ve tetraploid buğdayların ilk ortaya çıkması Mezopotamya bölgesinde iken, günümüzden 8500 yıl önce ilk hekzaploid buğdayların Hazar Denizi kıyılarında yetiştirildiği bilinmektedir (Peng ve ark., 2011a).

Diploid tür olan *Aegilpos tauschii* ($2n=2x=14$, DD) ile tetraploid türler olan *Triticum dicoccoides* ya da *Triticum dicoccum*'un ($2n=4x=28$ AABB) doğal yollarla melezlenmesi ile hekzaploid buğday *Triticum aestivum* ($2n=6x=42$, AABBDD) türünün geliştiği düşünülmektedir. Günümüzdeki modern ekmeklik buğday olan *Triticum aestivum*, kültüre alınmış hekzaploid kavuzlu buğday türü olan *Triticum spelta*'nın kavuzsuz formudur (Şekil 2.5). *Triticum spelta*, Dinkel buğdayı olarak isimlendirilmektedir. Hekzaploid buğdayların yabani türü bulunmamaktadır (Faris, 2014; Kaya, 2018). *T. aestivum* türüne ait tane örnekleri Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.5. *T. spelta* (a) ve *T. aestivum* (b)



Şekil 2.6. *T. aestivum* tane örnekleri

2.1.4. *Aegilops* türü

Triticum ve *Aegilops* cinsleri buğdaygiller (Poaceae) familyasının *Triticeae* kabilesinde yer almaktadır. *Triticum* cinsi çoğunlukla buğdayın kültür türlerini, *Aegilops* cinsi ise yabani türlerini kapsar. *Triticum* ve *Aegilops* arasında, morfolojik ve adaptasyon özellikleri bakımından benzerlikler bulunmaktadır (Najafi, 2012).

Aegilops cinsinin 20'den fazla türü vardır. Bu türler çoğunlukla Akdeniz Havzası, Güneybatı ve Orta Asya'da görülmektedir. *Aegilops* türleri genel olarak *keçi otu* olarak bilinirler. Bazı türleri Kuzey Amerika'nın bazı bölgelerinde istilacı yabani bitkiler olarak da bilinmektedir (Cabi ve ark., 2014).

Aegilops cinsinin taksonomisi ve türlerinin coğrafi dağılımı ile buğday ıslahına yarayışlılığının belirlenmesiyle ilgili pek çok araştırma bulunmaktadır. *Aegilops* türleri Atlantik kıyılarından başlayıp Akdeniz ülkeleri, Avrupa ve Balkanlar, Anadolu,

İran ve Afganistan'dan Orta Asya'ya, Sina yarımadasından Kırım yarımadasına kadar geniş bir coğrafi bölgede görülebilmektedir. Tarihsel sürece bakıldığında, ilk olarak 1700'lü yıllarda *Aegilops* için 5 tür belirlenmiş, 1900'lü yıllarda ise 22 türde sınıflandırma yapılmıştır. Bu sınıflandırmalarda *Aegilops*, tek başına bir cins olarak tanımlanmıştır (Najafi, 2012; van Slageren, 1994).

Aegilops türleri ve Türkçe isimleri Tablo 2.2.'de gösterilmektedir (Anonim, 2024)

Tablo 2.2. *Aegilops* türleri

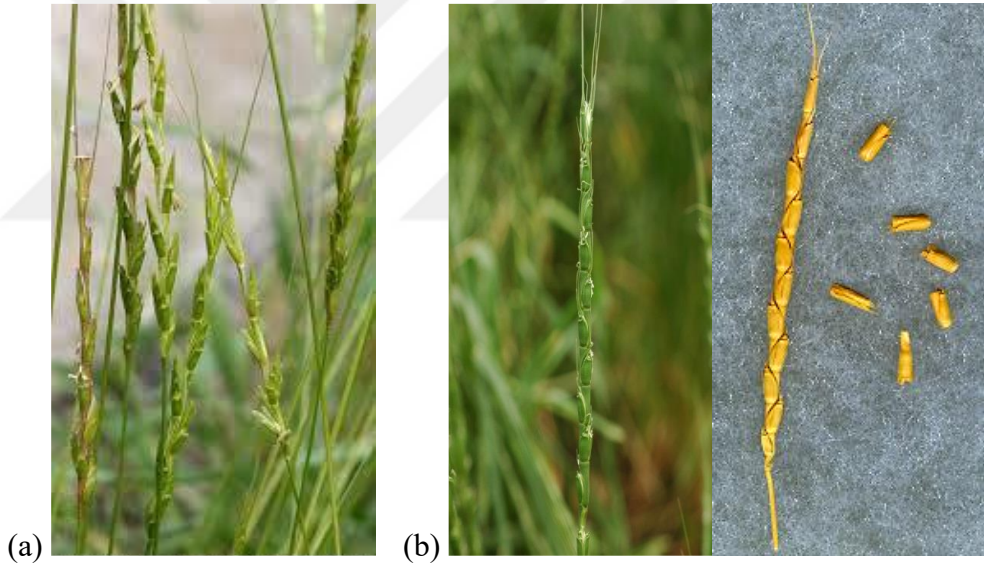
Tür Adı	Türkçe adı
<i>Aegilops biuncialis</i>	İkikılçık
<i>Aegilops caudata</i>	Karaot
<i>Aegilops columnaris</i>	Kıl buğday
<i>Aegilops comosa</i>	Uzunkılçık
<i>Aegilops crassa</i>	Kalın buğday
<i>Aegilops cylindrica</i>	Kirpikli ot
<i>Aegilops geniculata</i>	Konbaş
<i>Aegilops juvenalis</i>	Kaba buğday
<i>Aegilops kotschy</i>	Asi buğday
<i>Aegilops neglecta</i>	Tüylü buğday
<i>Aegilops peregrina</i>	Kum buğdayı
<i>Aegilops speltoides</i>	Ak buğdayanası
<i>Aegilops tauschii</i>	Tespah buğdayı
<i>Aegilops triuncialis</i>	Üçkılçık
<i>Aegilops umbellulata</i>	Hanım buğdayı
<i>Aegilops uniaristata</i>	Tekkılçık
<i>Aegilops vavilovii</i>	Zarif buğday

Aegilops cinsine ait tüm türler (diploid, tetraploid ya da hekzaploid) tek yıllık olup otsu yapıdadır ve kendine döllenir. Ancak başkalarına ait çiçek tozlarına ihtiyacı olan türler de vardır. Örneğin, *Ae. speltoides*, *Ae. mutica*, *Ae. longissima* ve *Ae. caudata* türleri üremek için başka bir türe ihtiyaç duymaktadır (Hammer ve Matzk, 1993; akt. Najafi, 2012).

20. yüzyıldan itibaren, sitoloji tekniğindeki gelişmelerin de yardımıyla, poliploid buğdaylardaki iki genomun (B ve D genomları) *Aegilops* türlerinden geldiği fikri

yaygın olarak incelenmektedir. Ekmeklik buğday ve makarnalık buğdayda bulunan “B” genomunun *Aegilops* türünden geldiği yaygın bir görüştür. Bununla birlikte, bu konuda farklı araştırmacılar farklı görüşler de bildirmişlerdir.

“AABB” genomuna sahip tetraploid buğdaylarda, “A” genomu *T. monococcum*' dan gelirken, “B” genomunun *Ae. speltoides*'ten (Sarkar ve Stebbins, 1956; akt. Najafi, 2012) ya da farklı bir görüşe göre de *Ae. bicornis*'ten (Sears, 1956; akt. Najafi, 2012) gelmiş olabileceği belirtilmiştir. “B” genomu vericisi olan *Ae. speltoides* türü ile S genomuna sahip türler, birleşme ve gen transferi ile ilgili sorunlar nedeniyle ikincil gen havuzu olarak kabul edilirler. Hekzaploid buğdaylardaki “D” genomunun ise *Ae. squarrosa* (*Ae. tauschii*)’dan geldiği yönünde yaygın görüş bulunmaktadır. *Ae. squarrosa* buğdayın birincil gen havuzunu, diğerleri ise ikincil gen havuzunu oluşturmaktadırlar (Jiang ve ark., 1994). Şekil 2.7’de *Ae. speltoides* (a) ve *Ae. tauschii* (b) örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.7. *Ae. speltoides* (a) ve *Ae. tauschii* (b)

Buğday ıslahında *Aegilops* genomu, buğdayın biyotik ve abiyotik streslere karşı dayanıklılığını ve kalitesini artırmada yardımcı olan önemli bir gen kaynağıdır. Örneğin, *Ae. geniculata* türünün çeşitli hastalıklar ve zararlılar ile kuraklık ve tuzluluk karşısında dayanıklı olduğu bildirilmiştir (Zaharieva ve ark., 2001). *Ae. speltoides* ve *Ae. longissima* türlerinden yüzeysel küllenmeye karşı dayanıklılığı artırmak için, *Ae. tauschii* türünden buğday sineği ve tahıl kistine karşı dayanıklılığı artırmak için gen transferleri gibi çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Fribe ve Gill, 1996, Romero ve ark., 1998). Pasa dayanıklı *Aegilops* türlerinden buğdaya gen aktarılmasında, *T. aestivum* x

Ae. umbellulata melezleme çalışmaları yapılmıştır. *Ae. umbellulata*'dan dayanıklılık geni taşıyan kromozomun aktarıldığı buğdayların kahverengi pasa dayanıklı olduğu gözlenmiştir (Sears, 1956, Weiss, 1961; akt. Najafi, 2012). Şekil 2.8'de *Ae. umbellulata* (a) ve *Ae. cylindrica* (b) örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.8. *Ae. umbellulata* (a) ve *Ae. cylindrica* (b)

Aegilops türlerinin genleri, ekmeklik buğdayın kalitesini artırma potansiyeline de sahiptir. *Ae. tauschii*, ekmeğin kalitesini artıran gluten proteinlerinin gen kaynağı olarak bilinmektedir. *Ae. cylindrica* türünde de glutenin alt birimi için yararlı genler olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, gluten yapısında önemli olan sistein amino asitini yüksek miktarda içermesi nedeniyle de *Ae. cylindrica* türünden buğdaya gen aktarımı yapılmıştır (Williams ve ark., 1993; Najafi, 2012).

2.2. Sentetik Buğdaylar

Dünya nüfusu giderek artmakta ve yapılan tahminlere göre önümüzdeki 50 yıl içinde artan bu nüfusu beslemeye devam edebilmek için, son 10.000 yılda üretilen toplam buğday miktarından daha fazla buğday yetiştirme gereği ortaya çıkacağı bildirilmektedir. Günümüzde küresel ısınma ve şiddetli kuraklık buğday verimini tehdit etmektedir. Son yıllarda, yaygın buğday çeşitlerinin verim potansiyeli düşmekte ve bu durum gelecekte gıda güvenliği konusunda tüm dünyada endişelere neden olmaktadır (Li ve ark., 2018).

Farklı buğday çeşitlerinin geliştirilmesi için yapılan ıslah çalışmaları ile kültür formlarında genetik çeşitliliğin azaldığı, çeşitli stres ve hastalıklara karşı hassasiyetlerin arttığı gözlenmiştir. Bunun sonucunda, kalite parametrelerini yükseltmek için genetik çeşitliliği arttıracak gen allellere ihtiyaç duyulmuştur (Baloch ve ark., 2017; Hajjar ve Hodgkin, 2007).

Hekzaploid ekmeklik buğday (*Triticum aestivum*), yaklaşık 8000 yıl önce, tetraploid ($2n=28$, AABB) kültür formu olan *T. turgidum ssp. durum* (makarnalık buğday) ile diploid ($2n=14$, DD) yabani *Aegilops tauschii* arasındaki doğal hibritleşme ve kromozom katlanması yoluyla ortaya çıkmıştır. Böylelikle, *T. urartu*'dan AA, *Ae. speltoides*'den BB ve *Ae. tauschii*'den DD olmak üzere 3 diploid gen vericiye sahiptir (Li ve ark., 2018; Rosyara ve ark., 2019).

Ekmeklik buğday gen havuzunda genetik çeşitliliğin artırılması amacıyla sentetik buğdaylar üzerinde çalışılmaktadır. Kültür buğdaylarının gen havuzlarını geliştirmek ve zenginleştirmek amacıyla, yabani formlardan *Ae. squarrosa* (*Ae. tauschii*, $2n=14$, DD) ile *T. dicoccum* ($2n=28$, AABB) veya *T. durum* ($2n=28$, AABB) türleri arasında melezleme ve ardından embriyo kurtarma tekniği kullanılarak primer sentetik hekzaploid ekmeklik buğdaylar ($2n=42$, AABBDD) elde edilmektedir. Bu primer genotipler modern hekzaploid buğdaylarla geri melezleme yapılarak agronomik olarak daha uygun genotipler elde edilmekte ve bunlar “sentetik hekzaploid buğdaylar” olarak tanımlanmaktadır. Uluslararası Mısır ve Buğday Geliştirme Merkezi (CIMMYT) tarafından şimdiye kadar 1000’den fazla farklı özellikte sentetik hekzaploid buğday hatları geliştirilmiştir (Shamanin ve ark., 2023). Şekil 2.9’da sentetik buğday ve ebeveynleri gösterilmiştir.

Modern buğdayın yabani akrabalarındaki birçok değerli genetik varyasyon, buğdayın evcilleştirilmesi sırasında kaybolmuştur. Sentetik ve modern buğday çeşitleri arasındaki geçişler, buğdayda hem verim hem de stres toleransını iyileştirmek için gerekli yeni özellikleri ortaya çıkarmaktadır. Sentetik buğday eldesi ile, kuraklık, tuzluluk, su basması, pas hastalıkları, yaprak lekesi, başak yanığı, başakta çimlenme gibi bazı streslere dayanıklılık kazanılmakta, protein oranı ve hamurun uzama kabiliyeti gibi bazı özellikler de gelişmektedir (Çay, 2020).



Şekil 2.9. Sentetik buğday ve ebeveynleri

2.2.1. Sentetik buğday üretimi

Sentetik hekzaploid buğday hatlarının çoğu, makarnalık buğday (*T. turgidum ssp. durum*, AABB) ile yabani keçi otu (*Ae. tauschii*, DD) çaprazlanarak geliştirilmiştir. Çoğu zaman, durum buğdayını tozlaştırmak için diploid türler (*Aegilops*) baba ebeveyn olarak kullanılmaktadır. Küçük embriyo boyutları ya da embriyo kusurları nedeniyle başarı düşük olsa da karşılıklı çaprazlama mümkündür. Bazı durumlarda, türler arası çaprazlamadan sonucunda türetilen embriyolar gelişmekte, ancak endospermiler gelişmemektedir. Bu nedenle, tozlaşmadan 2-3 hafta sonra embriyo kurtarma işlemi yapılması gerekmektedir. Bu işlem sırasında, embriyolar olgunlaşmamış tohumlardan ayrılır ve uygun gelişim için şeker ve tuz gibi besinler içeren bir agar ortamına aktarılır. Tetraploid ebeveynin türü endosperm oluşumunu etkileyebilmektedir. Örneğin, Langdon, nispeten yüksek endosperm gelişim oranına sahip, iyi bilinen bir durum buğdayı çeşididir. Bu çeşit, embriyo kurtarma sürecini atlamak için sentetik buğday üretiminde tercih edilmektedir. Yeni gelişen bitkiler triploiddir ve olgun bitkiler ve nihayetinde tohumlar üretmek amacıyla saksılarda toprağa aktarılmadan önce kromozom sayılarını ikiye katlamak için genellikle kolşisin ile muamele edilir. Kolşisin uygulamasına ek olarak, *T. turgidum* – *Ae. tauschii* hibritlerindeki doğal mayotik restitüsyondan türeyen indirgenmemiş gametlerin (2n) birleşmesi ile de kromozom katlanması sağlanabilmektedir. Aslında, bu doğal

kromozom katlanması, yeni sentetik hatlarının oluşturulması sırasında yaygın olarak gözlenmiştir (Luo ve ark., 2012; Shamanin ve ark., 2023; Zhang ve ark., 2010).

2.2.2. Sentetik buğdayın geçmişi

Sentetik buğday geliştirmeye yönelik ilk girişim, geçen yüzyılın ortalarında, *T. aestivum subsp. spelta* L. Thell'in atalarını belirlemek için yapılan bir çalışmada "sentetik spelta" ile yapılmıştır. Yaygın buğdayın bu en eski allopoliploid melez formlarına "sentetik hekzaploid buğday" adı verilmiştir. 1980'lerin sonlarından bu yana, CIMMYT tarafından 1000'den fazla sentetik hat geliştirilmişti, daha sonraki çalışmalarda ise bu hatlar, biyotik ve abiyotik stresler altında daha iyi performansa ve yüksek verime sahip değerli birer genetik kaynak olarak kabul edilmiştir. 2003 yılında İspanya, Carmona adında sentetik buğday türevini CIMMYT'e tescil ettirmiştir. O zamandan beri, dünya çapında en az 62 sentetik türev hatları çeşit olarak tescil edilmiştir. Sentetik türevler, ebeveynleri ile karşılaştırıldığında genetik çeşitlilikte önemli bir artış göstermiştir (Das ve ark., 2016; Masood ve ark., 2016; Mujeeb-Kazi ve ark., 2008).

2.2.3. Buğday genetiğinin iyileştirilmesinde sentetik buğdayların önemi

Buğdaylar yetiştirildiği coğrafi bölgeye göre gelişen çevresel koşullardan önemli oranda etkilenmektedir. Bu durum, buğday çeşitlerinin bölgelere ve yıllara göre verim ve kalite özelliklerini değiştirmektedir. Örneğin, sıcaklık, nem ve yağış gibi iklimsel şartlar ya da farklı bölgesel hastalıklara karşı gösterdikleri performans çeşitlerinin verim ve kaliteleri üzerine etkili olmakta, bu durum ayrıca bölgesel üreticiler için de önemli sorunlar yaratmaktadır. Sentetik buğdaylar, çeşitli biyotik ve abiyotik stres faktörlerine dayanıklılık açısından üstün özelliklere sahip olması nedeniyle farklı bölgelerde yeni çeşitler açısından önemli bir kaynak olarak görülmektedir. Bu nedenle, bir bölge için ıslah edilmesi planlanan yeni aday hatların stres faktörlerine dayanıklılığını arttırmak amacıyla sentetik buğday melezlerinden yararlanılması önemli görülmektedir (Çay, 2020).

2.2.3.1. Biyotik streslere karşı direnç

Sentetik buğdaylar, birçok patojene karşı yeni bir direnç arama fırsatı sağlamaktadır. Sentetik buğdaylarda sap, başak ve yaprak pas hastalıkları için yeni direnç genleri rapor edilmiştir (Casey ve ark., 2016; Periyannan ve ark., 2014). Birçok sentetik buğdayda, sarı yaprak lekesi gibi bazı ciddi mantar hastalıklarına ve yeşil böcek, Rus

buğday yaprak biti, ekin sineği ve süne gibi böcek zararlarına karşı yeni direnç genleri olduğu gösterilmiştir (Azhaguel ve ark., 2012; çay, 2020; Nkongolo ve ark., 1991; Liu ve ark., 2005; Tadesse ve ark., 2007).

Keçi otu *Ae. tauschii*, çoklu hastalık direnç genleri için değerli bir kaynaktır ve CIMMYT tarafından yapılan analizlerde hastalık direnci için birçok lokus bildirilmiştir (Jighly ve ark., 2016). CIMMYT koleksiyonundan seçilen yüksek tane ağırlığına sahip 37 sentetik hekzaploid buğdayların hepsinin *Tilletia indica* Mitra'nın neden olduğu sürme hastalığına karşı direnç gösterdiği, bunların %62'sinin *P. striiformis*'in neden olduğu şerit pasına dirençli olduğu bildirilmiştir. Bu durum, bu iki biyotik stresin buğday üretimi için ana kısıtlama olduğu alanlarda buğdayın verim potansiyelini artırmak için onları değerli kılmaktadır (Kazi ve ark., 2012).

Ancak bununla birlikte hem tetraploid buğdayda hem de *Ae. tauschii*'de direnç baskılayıcı genlerin bulunduğu ve bazı özelliklerin hibritleşme sonrasında sentetik buğdayda bastırılabilmesine de dikkat edilmelidir (Ma ve ark., 1995).

2.2.3.2. Abiyotik streslere karşı direnç

Dünyada buğday yetiştirilen pek çok bölgede, yüksek sıcaklık ve kuraklık stresi nedeniyle olumsuz etkiler görülmektedir. Buğday gelişme evresinde yüksek sıcaklık ve kuraklık, tane boyutu, tane sayısı ve tane ağırlığında azalmalara neden olarak ciddi verim düşüşüne sebep olur. Sentetik buğdayların bu stres faktörleri altında daha büyük başaklar ve taneler verdiği ve böylelikle verim potansiyelinin yüksek olduğu bildirilmiştir (Mujeeb-Kazi ve ark., 2008; Pritchard ve ark., 2002).

Ae. tauschii ve sentetik hekzaploidler, buğday ıslahında abiyotik stres toleransı için potansiyel yeni genetik varyasyon kaynaklarıdır. Araştırmalar, sentetik hatların kuraklık koşullarında ebeveynlerine göre %45'e varan verim artışı sağlayabileceğini göstermiştir. Avustralya, Hindistan, Pakistan, Ekvador ve Arjantin'de yağmurla beslenen koşullar altında ebeveyn hatları ve yerel kontrol çeşitlerine kıyasla verimde %8-30'luk artışlar elde edilmiştir (Dreccer ve ark., 2007; Trethowan ve Mujeeb-Kazi, 2008).

Sentetik hekzaploid buğdaylarda, diğer yaygın buğday genotiplerinde sınırlı olan tuz toleransı için ek genetik varyasyonlar da bildirilmiştir. Ayrıca, dane dolum aşamasında sentetik buğdayların yüksek sıcaklıkları (35-40°C'ye kadar) tolere edebileceği de gösterilmiştir (Muns ve ark., 1995; van Ginkel ve Ogonnaya, 2007).

2.2.3.3. Hasat öncesi filizlenme

Hasat öncesi filizlenme, genellikle hasat mevsimi öncesinde ve/veya sırasında yüksek yağış ve nemin görüldüğü durumlarda buğday ununda kalitenin düşmesi ve çiftçide mali kayıplara neden olması bakımından önemli bir konudur. *Ae. tauschii*, hasat öncesi filizlenme direnci için önemli bir bileşene sahiptir ve böylelikle tohumda uyku hali (dormancy) fazladır. Bu genetik materyaller seçkin buğday çeşitlerinin üretilmesinde önemlidir (Gatford ve ark., 2002; Imtiaz ve ark., 2008; Li ve ark., 2008).

2.2.3.4. Verim ve verim bileşenleri

Baba ebeveyn olarak *Ae. tauschii*, sentetik hekzaploid buğdaylara aktarılabilecek bir dizi verim bileşenine sahiptir. *Ae. tauschii* türleri, tane boyutu ve şekli bakımından geniş farklılıklar gösterir. Bu özellikler, modern buğday ıslahının ana hedefleri arasındadır. Bu özelliklerin altında yatan nicel özellik lokuslarını karakterize etmek için Okamoto ve ark. (2013), sentetik hatlarda tane büyüklüğü ve şekli ile ilgili çeşitli parametreleri belirlemişler ve bu özelliklerin altında yatan toplam 18 lokus tespit etmişlerdir. Bunların bazılarının *Ae. tauschii* kaynaklı olduğu ve bu nedenle buğday veriminin iyileştirilmesi için kullanılabileceği belirtilmiştir.

Sentetik buğdaylar, yaygın buğday çeşitlerine göre daha düşük verim potansiyeline sahip gibi görünse de genellikle daha yüksek tane verimine sahiptir ve daha yüksek yer üstü biyokütle oluşturmaktadırlar. Bu biyokütle aynı zamanda hasat indeksini ve tane ağırlığını da artırmaktadır. Sentetik buğdaylarda yaygın çeşitlere göre %10-30 arasında daha yüksek tane verimi belirlenmiştir (Del Blanco ve ark., 2001; Rattey ve ark., 2009; Shearman ve ark., 2005).

Bir çalışmada, 14 ekmeklik buğday çeşidi ile 11 sentetik buğday genotipi yetiştirilmiş ve tane verimi ve bazı kalite özellikleri karşılaştırılmıştır. İki yılda alınan sonuçların ortalamasına göre, sentetik ve modern ekmeklik buğdaylarda tane verimi sırasıyla 720 ve 707 kg/da ve bin tane ağırlığı 41,42 ve 37,35 g olarak bulunmuştur. Sentetik buğdayların bin tane ağırlığı bakımından daha üstün olduğu, buna karşılık yüksek tane verimine sahip olmasına rağmen ekmeklik buğdaya göre bariz bir üstünlüğü olmadığı bildirilmiştir (Aktaş ve ark., 2017).

2.2.3.5. Beslenme kalitesi

Normal buğdaylar insanlar için yeterli miktarda demir (Fe) ve çinko (Zn) sağlayamamaktadır. Toplam nüfusun yaklaşık ¼'ü Fe eksikliği nedeniyle çeşitli sağlık

sorunları yaşamaktadır. Sentetik buğdaylar mikro besinler açısından zengin buğday geliştirmek için de önemli bir kaynak olarak kabul edilmiştir. Bazı sentetik buğdayların yüksek konsantrasyonlarda mikro ve makro besin öğelerine sahip olduğu bildirilmiştir. CIMMYT tarafından Zn bakımından zengin ve yüksek verimli sentetik türevler geliştirilmiş ve bunların bir kısmı Hindistan'da çeşit olarak tescil edilmiştir (Calderini ve Ortiz-Monasterio, 2003; Guzman ve ark., 2014; Li ve ark., 2018).

2.2.3.6. Antioksidan aktivite ve fenolik madde içeriği

Yabani buğdayların fenolik madde içeriklerine ilişkin az sayıda ve farklı veriler bulunmaktadır. Bu farklılık, uygulanan analitik yöntemlerden ve yabani buğdayların genotipik çeşitliliğinden kaynaklanıyor olabilir. Einkorn, emmer ve Horasan buğdayı, ekmeklik buğday ve durum buğdayından daha yüksek biyoaktif bileşen içeriğine ve bileşimine sahiptir (Zeibig ve ark., 2022).

Shamanin ve ark. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, 21 farklı sentetik hekzaploid buğday örneği fenolik madde içeriği ve antioksidan aktivite (DPPH, ABTS ve CUPRAC) açısından karşılaştırılmıştır. Buğday örneklerinin bağlı, serbest ve toplam fenolik içerikleri (TPC'ler) sırasıyla 145,38–258,55 mg GAE/100 g, 188,19–369,38 mg GAE/100 g ve 333,58–576,93 mg GAE/100 g olarak belirlenmiştir. Fenolik madde bileşimine bakıldığında, gallik asit serbest fraksiyonlarda en yüksek konsantrasyonlarda bulunurken, gallik, p-kumarik asit ve klorojenik asit ise bağlı fraksiyonlarında en yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur. Buğday örneklerinin antioksidan aktiviteleri farklı yöntemlerle (DPPH, ABTS ve CUPRAC) belirlenmiştir. DPPH sonucuna göre, serbest ekstraktlarında antioksidan aktivite %33,0–40,5 arasında değişirken, bağlı ekstraktlarında %34,4–50,6 arasında değişmiştir. Sentetik buğday örneklerinin toplam ABTS değerleri 93,94 – 308,07 mg TE/100 g arasında değişirken, CUPRAC değerleri 107,51–364,79 mg TE/100 g arasında bulunmuştur. Bu çalışma, sentetik hekzaploid buğday örneklerinin, daha yüksek konsantrasyonlara ve sağlık açısından yararlı fitokimyasal bileşimlere sahip yeni buğday çeşitlerinin geliştirilmesi için ıslah programları için değerli kaynaklar olduğunu ortaya koymuştur. En iyi örnekler, W1 (Ukr.-Od. 1530.94/*Ae. squarrosa* (629)), W18 (Ukr.-Od. 1530.94/*Ae. squarrosa* (1027)) ve W20 (Ukr.-Od. 1530.94/*Ae. squarrosa* (392)) olarak belirtilmiştir.

2.2.3.7. Gluten kalitesi

Buğdayda protein ve gluten miktarı kalite belirlemede en önemli parametrelerden biridir. Protein miktarı genetik faktörlere bağlı olmakla birlikte, çevresel faktörlerin de (yağış, sıcaklık, toprak, hastalıklar, vb.) protein oranını etkilediği bilinmektedir (Delcour ve Hosney, 2010).

Sentetik buğdaylarda protein kalitesinin araştırıldığı bir çalışmada (Aktaş ve ark., 2017), 11 adet sentetik buğday genotipi ve 14 adet ekmeklik buğday çeşidi karşılaştırılmıştır. İki yıllık ortalama sonuçlarına göre, sentetik ve modern ekmeklik buğdayların protein içerikleri sırasıyla %10,71 ve %10,79; yaş gluten miktarları %31,7 ve %30,7; sedimentasyon değerleri 41.82 ml ve 41.75 ml olarak bulunmuştur. Değerler birbirine yakın olup, protein kalitesi açısından sentetik ve modern ekmeklik buğday genotiplerinin birbirlerine önemli bir üstünlüğü tespit edilememiştir.

Başka bir çalışmada (Pena ve ark., 2017) 14 sentetik hekzaploid buğday hattında protein, sedimentasyon ve glutenin alt birimlerini araştırmışlar ve modern ekmeklik buğdaylardan üstün olduklarını belirlemişlerdir. Sentetik buğday üretiminde kullanılan yabani türlerin kalite iyileştirme için büyük bir potansiyele sahip olduklarını belirtmişlerdir.

Lage ve ark. (2006) tarafından modern ekmeklik buğday ile sentetik buğday çeşitlerinin kalite özellikleri karşılaştırıldığı bir çalışmada, sentetik hekzaploid buğday genotiplerinin ortalama protein içeriği %15,5 olarak belirlenirken, bu oran ekmeklik kontrol çeşitte %13,1 olarak tespit edilmiş, buna göre sentetik buğdayların istatistiksel açıdan da önemli olarak daha yüksek proteine içerdiği sonucuna varılmıştır. Yaş gluten miktarı açısından ise, bazı sentetik çeşitlerde kontrole göre daha yüksek yaş gluten oranı belirlenmiş olsa da sentetik buğdayların bariz bir üstünlüğü tespit edilememiştir.

Tüm bu üstün özelliklerinin yanı sıra, sentetik buğdaylar bazı yabani özellikleri ve düşük harman olma kabiliyeti nedeni ile çeşit olarak kullanımı sınırlı olmaktadır. Özellikleri bakımından üstün olan sentetik buğday genotiplerinin modern ekmeklik çeşitlerle melezlenerek üstün yeni bireylerin elde edilmesi gerektiği bildirilmiştir (Çay, 2020).

2.3. Nişasta

Buğdaydan ekmek, makarna, bisküvi gibi tahıl ürünleri üretilirken, buğdaydan çıkan yan ürünler de günümüz dünyasında çok önemlidir. Bu yan ürünlerin en önemlilerinden biri de nişastadır.

Nişasta, selülozdan sonra doğada en yaygın var olan karbonhidrattır. Doğal nişasta, beyaz renktedir ve kısmi-granüler şekilde bitkinin tohum (mısır, buğday, pirinç ve bezelye), sap, yumru, kök (patates, manyok ve tatlı patates), yaprak (tütün) ve meyvelerinin (yeşil muz ve sinirotu) kloroplast ya da amiloplast organellerinde sentezlenir (Jiang ve ark., 2010; Liu ve ark., 2015; Robyt, 1998). Patates yumrusu ve tahıl endospermeleri gibi depo organlarında yapraklardan taşınan sakarozdan sentezlenir (James ve ark., 2003; Morell ve Myers, 2005; Myers ve ark., 2000; Smith, 2001). Diğer besinsel polisakkaritlerin aksine nişastalar, insan sindirim sistemi tarafından sentezlenen amilolitik enzimler tarafından sindirilebilen α -glukozidik bağlardan oluşurlar (Englyst ve Hudson, 1996; Htoon ve ark., 2009).

İnsanların tükettiği yiyeceklerin bir çoğu nişasta içerdiği için hububat taneleri insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir. Nişasta, ekmek, kahvaltılık gevrekler, pirinç ve makarna gibi birçok gıda ürününün ana bileşenidir. Nişasta, vücuda enerji sağlayan glukoz molekülüne kadar indirgenebilmesi nedeniyle önemli bir enerji kaynağıdır. Nişasta beslenme değerinin yanında birçok gıdada fiziksel özellikleri etkilediği için de önemlidir. Örneğin pudinglerde jelleşme, çeşitli soslarda kıvam sağlama, ekmek iç yapısının oluşumu, bayatlama ve kekta yapının oluşumu nişastanın özelliklerinden etkilenir (Delcour ve Hosene, 2010; Eliasson ve Gudmundsson, 2017).

Nişasta endüstriyel olarak çeşitli gıdalarda ve alkolsüz içeceklerde tatlandırıcı olarak kullanılan nişasta bazlı şuruplara da dönüştürülmektedir. Nişasta ayrıca, kâğıt üretimi ve yakıt veya yakıt katkı maddesi olarak kullanılmak üzere etanol üretimi için de önemli bir endüstriyel hammaddedir. Yaygınlığı ve uygulama alanlarının genişliği ile nişastalar en çok çalışılan biyopolimerlerden biridir, ayrıca ucuz, yenilenebilir ve kolay işlenebilir özellikleri de nişastanın dünya çapında gıda, kâğıt, tekstil ve plastik gibi çok çeşitli ve fazla alanda değerlendirilmesini sağlamaktadır (Du ve ark., 2011; Liu ve ark., 2015; Meshram ve ark., 2009).

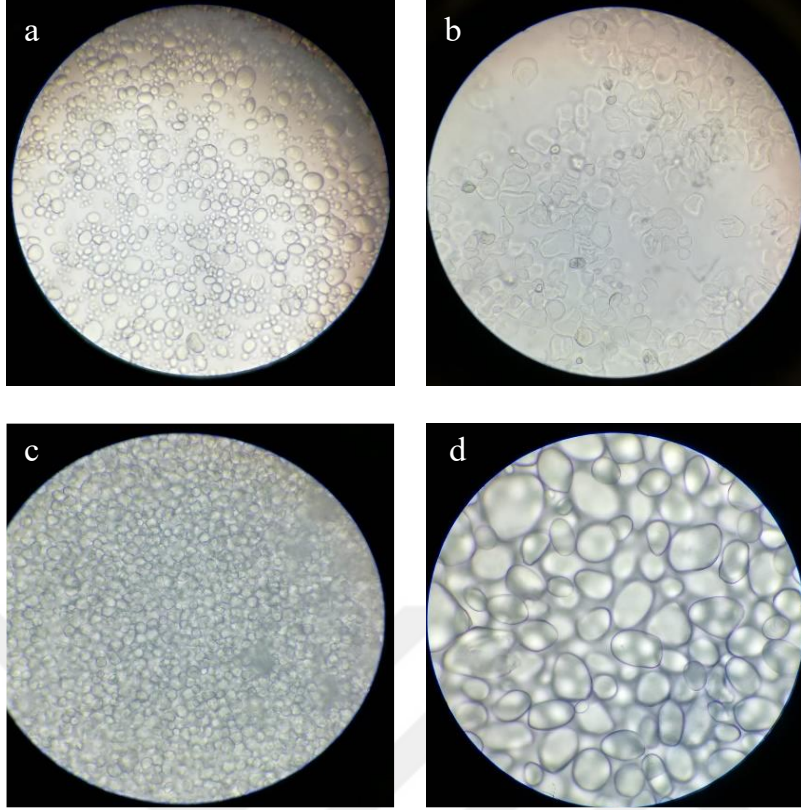
2.3.1. Nişasta granülü

Nişasta tanede granül formunda bulunur ve granüller plastitler (amiloplast) içinde oluşturulur. Tahıllar arasında, buğday, mısır, çavdar, arpa, sorgum ve darı gibi tahıllarda her bir amiloplast tek bir granül içeren basit granüller bulunmaktadır. Diğer yandan, pirinç ve yulaf gibi tahıllarda ise her amiloplast birden çok granül içeren bileşik granüller gözlemlenir (BeMiller ve Whistler, 2009; Liu, 2005; Silva Clerici ve Schmieke, 2018). Farklı tahıllardan elde edilen nişastalar şekil, büyüklük, morfolojik özellikler ve jelatinizasyon özellikleri bakımından farklılıklar arz etmektedir. Farklı tahıl nişastalarının çeşitli özellikleri Tablo 2.3'te verilmiştir (Kahraman ve Öztürk Muti, 2022).

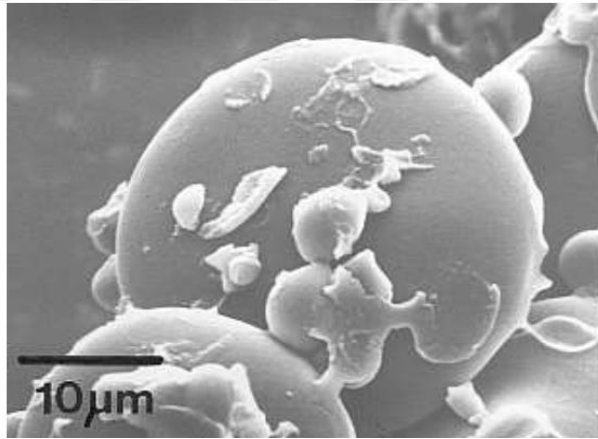
Tablo 2.3. Çeşitli tahıl nişastalarının bazı özellikleri

Tahıl	Granül şekli	Granül büyüklüğü (µm)	Jelatinizasyon sıcaklığı (°C)
Buğday	Yassı	20-35	55-62
	Yuvarlak	2-10	
Arpa	Yassı	20-25	51-60
	Yuvarlak	2-6	
Çavdar	Yassı	28	57-70
	Yuvarlak		
Mısır	Poligonal	15	62-72
Yulaf	Poligonal	3-10	53-59
Pirinç	Poligonal	3-8	68-78

Buğday, çavdar ve arpada büyük-yassı ve küçük-küresel olmak üzere iki tür nişasta granülü bulunmaktadır. Bu üç tahılın jelatinizasyon özellikleri de benzerdir. Büyük ve yassı granüller 25-40 µm uzunluğunda, küçük ve küresel olanlar ise 5-10 µm çapındadır. Mısır ve sorgum granülleri büyüklük ve şekil olarak birbirine benzerdir ve granül büyüklüğü ortalama 20 µm'dir. Darı granülleri de şekil olarak mısır ve sorgum granülleri gibidir ancak boyut olarak daha küçüktür (12 µm). Pirinç nişastasının granülleri küçük ve poligonal iken, yulaf nişastasının granülleri büyük ve yuvarlaktır. Jelatinizasyon sıcaklıkları, pirinç için ~70°C, yulaf için ise ~55°C olarak belirlenmiştir (BeMiller ve Whistler, 2009; Delcour ve Hosney, 2010; Liu, 2011). Buğday, mısır, pirinç ve patates nişastasının granüllerinin ışık mikroskopundaki (40x) görüntüleri Şekil 2.10'da, buğday nişastasına ait taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü ise Şekil 2.11'de verilmiştir (Kahraman ve Öztürk Muti, 2022).



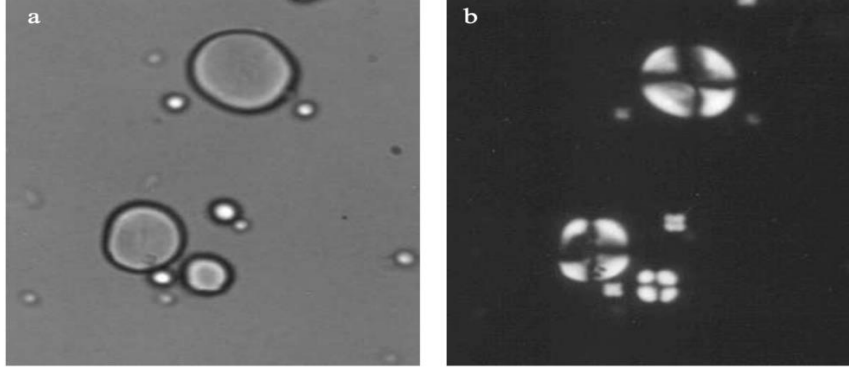
Şekil 2.10. Buğday (a), mısır (b), pirinç (c) ve patates (d) nişastası granüllerinin ışık mikroskopundaki (40x) görüntüleri



Şekil 2.11. Buğday nişastası granüllerinin elektron mikroskopundaki görüntüsü

2.3.2. Çift kırınım özelliği (Birefringence)

Nişasta granülleri mikroskopta polarize ışık altında incelendiğinde tipik Malta haçı denilen görüntü ortaya çıkmaktadır. Bu özellik, nişastanın “çift kırınım özelliği” olarak adlandırılır ve nişastanın son derece düzenli olan molekül yapısından kaynaklanır (Delcour ve Hoseneý, 2010; Köksel, 2005). Nişastanın normal ışık (a) ve polarize ışık (b) altındaki görüntüleri Şekil 2.12’de verilmiştir (Kahraman ve Öztürk Muti, 2022).

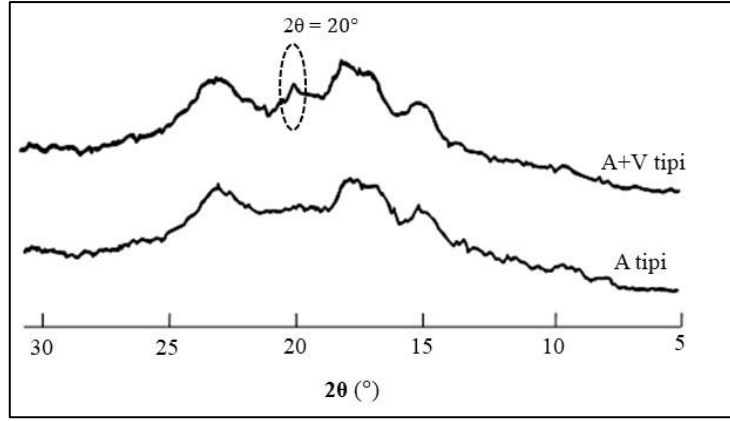


Şekil 2.12. Nişastanın normal ışık (a) ve polarize ışık (b) altındaki görüntüleri

2.3.3. Kristalinite

Nişastada kristalinite özelliği X-ışını kırınım tekniği kullanılarak analiz edilmekte olup, kristallerin düzenli atom dizilimlerinden kaynaklanan X-ışınlarının saçılması prensibine dayanmaktadır. Kırınım deseni oluşturmak için kullanılan X-ışınları kristal yapıda düzenli olarak yerleşmiş atomlardan θ açısıyla seker. Elde edilen X-ışını kırınım desenlerinde kırınım açısı “ 2θ ” olarak gösterilmekte olup birimi derecedir. Her malzemenin kendine özgü kırınım deseni bulunmaktadır (Köksel, 2005; Liu, 2005).

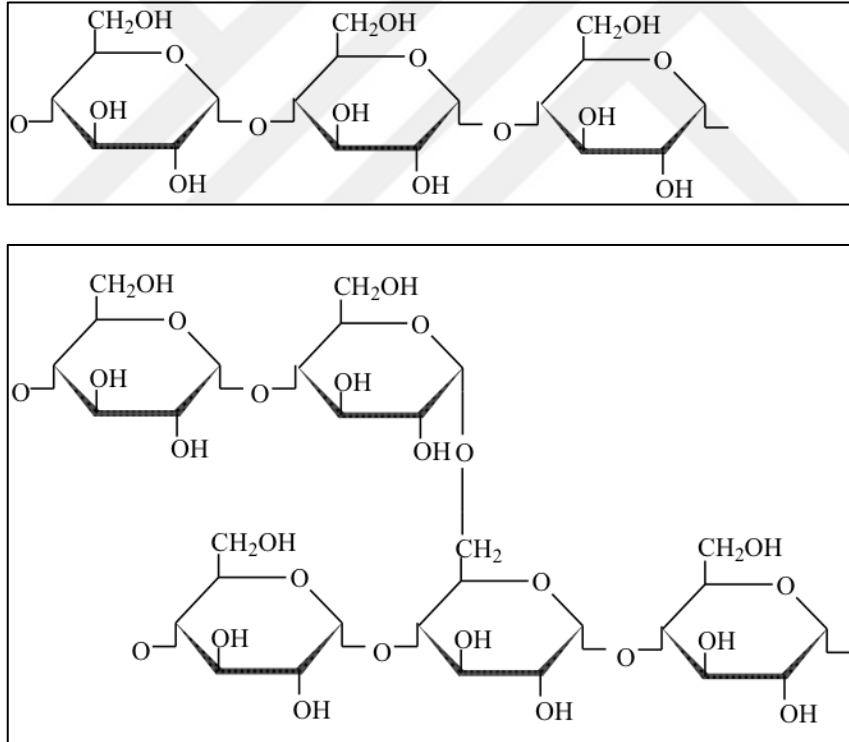
Nisasta, fiziksel olarak heterojen bir yapıya sahiptir, yani yarı-kristal karakterdedir. Nisasta içerisinde düzenli kristal ve kristal olmayan (amorf) bölgeler bulunmaktadır. Genelde, kristal kısımlar amilopektin tarafından oluşturulurken, amorf kısımlar amilozdan kaynaklanmaktadır. Nisasta içeriğindeki kristal oranı genellikle %15 ila %45 arasında değişmektedir. Tahıl nişastaları A tipi X-ışını kırınım deseni gösterirken (Şekil 2.13), yumru nişastaları B tipi desene sahiptir. B tipi desen, ısı ve nem uygulandığında A tipi desene dönüşebilmektedir. Baklagil nişastaları C tipi X-ışını kırınım deseni (A ve B tipleri arasında) gösterirler. Kristal amiloz ise doğal olarak bulunmayan bir yapı olan V tipi X-ışını kırınım desenine sahiptir ($2\theta=20^\circ$). Bu desen, jelatinize nişastada ya da nişasta-lipid komplekslerinde gözlenmektedir. (Delcour ve Hosney, 2010; Kahraman ve Öztürk Muti, 2022; Köksel, 2005).



Şekil 2.13. Buğday nişastasına ait X-ışını kırınım deseni

2.3.4. Nişastanın kimyasal yapısı

Nişasta α -D-glukoz birimlerinden oluşan bir polimerdir. Yapısında amiloz ve amilopektin olmak üzere iki tür polimer bulunmaktadır (Şekil 2.14) (Kahraman ve Öztürk Muti, 2022).



Şekil 2.14. Amiloz ve amilopektin yapısı

Amiloz α -1,4 bağlı lineer (dallanmamış) bir glukoz polimeridir. Molekül ağırlığı 80.000 ile 1.000.000 arasında değişen amiloz 500 ile 6.000 glukoz biriminden oluşmaktadır. Amilozun genel olarak düz zincir (lineer) yapıda olduğu kabul edilirken, bir kısmı α -1,6 bağları ile dallanma gösterebilmektedir. Amiloz molekülündeki

dallanmalar seyrek ve zincirlerin uzun olması nedeniyle genellikle dallanmamış kabul edilir. Nisasta aşırı su varlığında jelatinizasyon sıcaklığının üzerine ısıtıldığında, amiloz zincirleri çözünerek granülden dışarı çıkar. Sıcaklık arttıkça, daha büyük molekül ağırlıklı dallanmış amiloz çözeltiye geçer. Amilozun uzun düz zincir yapısı, çeşitli özellikler kazanmasına olanak sağlamıştır. Örneğin, iyot, alkoller ve yağ asitleri ile heliks yapıları kompleksler oluşturabilmektedir. Nisasta-iyot kompleksi, karakteristik bir mavi renge sahiptir (BeMiller ve Whistler, 2009; Delcour ve Hosney, 2010; Köksel, 2005).

Amilopektin, amiloz gibi α -1,4 bağlı glukoz birimleri ve α -1,6 bağlı dallanma noktalarından oluşmaktadır (Şekil 2.14). Amilopektindeki dallanma amilozdan çok daha fazladır. Glikozidik bağların yaklaşık %5'i α -1,6 bağlarıdır ve her 20-30 glukoz kalıntısında bir dallanma meydana gelmektedir. Amilopektinin molekül ağırlığı $\sim 10^8$ 'dir. Amilopektin molekülünün zincir uzunluğu, amilozdan daha kısa olduğu için iyot bağlama kapasitesi düşüktür ve iyot ile mavi renk vermez; bunun yerine kırmızı-mor renkli bir kompleks oluşturur (BeMiller ve Whistler, 2009; Delcour ve Hosney, 2010; Köksel, 2005).

Nisastadaki amiloz ve amilopektin oranı, kaynağına bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Tahıl ve yumru nişastaları çoğu %20 ile %27 arasında amiloz içermektedir. Amiloz miktarı, pirinçte %17'ye kadar düşebilirken, mercimekte %38'e kadar çıkabilmektedir. Bazı tahıl nişastaları %100 amilopektin içerirken (mumsu), bazıları ise normalden daha yüksek oranda amiloz içerir (amilotip, yüksek amilozlu). Örneğin, normal mısır nisastası %23 amiloz ve %77 amilopektin içerirken, %55-70 oranında amiloz içeren yüksek amilozlu mısır nişastası da mevcuttur. Nisastanın amiloz/amilopektin oranı, fizikokimyasal özellikleri etkilemektedir. Örneğin, normal nişastaların su tutma, şişme ve çözünürlük değerleri amilotip nişastalardan genellikle daha yüksektir (Delcour ve Hosney, 2010; Köksel, 2005).

Nisastanın bileşiminde, miktarları düşük olmasına rağmen özelliklerini etkileyebilen diğer bazı maddeler de bulunmaktadır. Tahıl nişastaları genellikle düşük düzeyde (%0.5-1.0) lipid içermektedir. Bu lipitler, polar yapıya sahiptir ve metanol-su gibi polar çözücülerle ekstrakte edilebilirler. Tahıl dışındaki kaynaklardan elde edilen nişastalarda ise genellikle lipid bulunmaz. Nisastanın yapısında ayrıca fosfor ve azot bulunmaktadır. Fosforun büyük bir kısmı fosfolipit formunda bulunurken, bir kısmı da esterleşmiş fosfor formundadır. Patates nisastası en yüksek fosfor oranına (200-

1000 ppm) sahiptir (BeMiller ve Whistler, 2009; Eliasson ve Gudmundsson, 2017; Liu, 2005; Silva Clerici ve Schmiele, 2018).

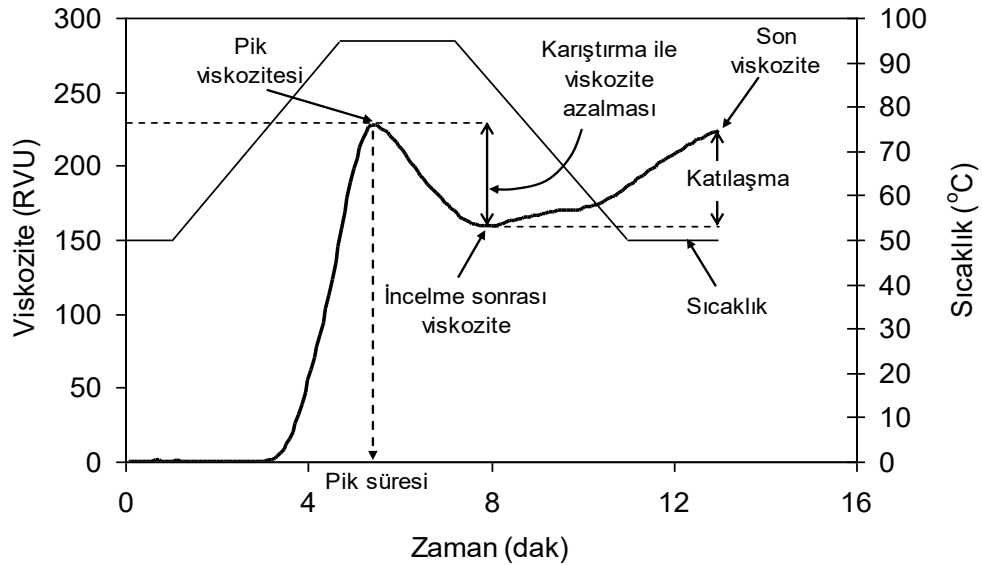
2.3.5. Nişastanın sulu sistemlerde davranışı

Nişasta bazlı gıdalar genellikle sulu ortamda ısıtılarak üretilir ve belli bir sıcaklığa soğutularak tüketilirler. Ürünlerin kendine özgü karakteri, örneğin, pudinglerin viskozite ve ağız hissi gibi özellikleri ile lokumun tekstür özellikleri, ısıtma ve ardından soğutma sırasında nişastanın yapısında meydana gelen değişikliklerden kaynaklanmaktadır (Kahraman ve Öztürk Muti, 2022).

Nişasta granülleri suda çözünmezler, ancak su ile muamele edildiğinde suyu adsorbe ederek şişerler. Nişasta kuru ağırlığının yaklaşık %30'u kadar suyu absorblayabilmekte ve granülün şişmesi ile hacim yaklaşık %5 oranında artmaktadır. Sıcaklık uygulanırsa, belli bir sıcaklık değerinden sonra nişasta granülü düzenli yapısını kaybeder ve çift kırınım özelliği yok olur. Bu olaya "jelatinizasyon" adı verilir, bu olayın gerçekleştiği sıcaklığa ise "jelatinizasyon sıcaklığı" denir. Nişasta jelatinizasyonunda yapı yarı-kristal formdan amorf forma geri dönüşümsüz bir değişim yaşar. Jelatinizasyon sıcaklığı, nişastanın kaynağına, tipine ve uygulanan ısıtma işlem yöntemine bağlı olarak değişebilmektedir (Delcour ve Hosney, 2010; Jiang ve ark., 2010). Jelatinizasyon sırasında meydana gelen değişiklikler; moleküler düzenin kaybolması, nişasta granülünün kristalliğini yitirmesi, su absorbe edilmesi, ısıtma işleminin sürdürülmesiyle şişmeye devam eden granülden polimer moleküllerin (çoğunlukla amiloz) sızmaya başlaması ve nişasta granülünün parçalanarak kısmi çözünürlük elde edilmesidir (Arık Kibar ve ark., 2010; Delcour ve Hosney, 2010). Normal buğday nişastası için jelatinizasyon sıcaklık aralığı 50-58°C'dir. Jelatinizasyonun ardından, devam eden ısıtma ile birlikte nişasta granülleri kısmen çözünür hale gelir ve çözünen nişasta suyu bağlayarak viskozitede artışa neden olur. Buna "çirilenme (pişme-pasting)" denir. Pişme devam ettikçe, viskozite zamanla artar ve granül tamamen çözünür hale gelir. Bu noktadan sonra karıştırma devam ettikçe viskozite düşmeye başlar. Bu olaya "karıştırma ile incelme" denir. Viskozite düşüşü, nişasta moleküllerinin kendilerini sistemin karıştırıldığı yönde dizilmesi nedeniyle meydana gelir. Kıvamlı bir ürün üretimi için bu olumsuz bir özelliktir, bu nedenle karıştırma süresi önemli olmaktadır. Pişirmenin ardından soğutma uygulandığında, moleküller arasında yeni hidrojen bağlarının oluşmasıyla sistemin viskozitesi tekrar artar (katılma veya set back) ve sonunda jel yapısı meydana gelir (jelleşme). Oluşan bu jel bekletilirse, nişasta zincirleri

arasında yeni hidrojen bağları meydana gelerek yapıdan su sızmaya başlar. Bu olaya "sineresis" denir. Bekletme devam ettikçe, nişasta zincirleri arasındaki etkileşim artar ve nişasta zincirleri hidrojen bağları ile kuvvetlenerek ikili sarmal yapı şeklinde yeniden dizilmeye başlar, kristal yapı oluşur. Bu olaya da retrogradasyon (yeniden kristalizasyon) denilmektedir (Delcour ve Hosney, 2010; Eliasson ve Gudmundsson, 2017; Köksel, 2005).

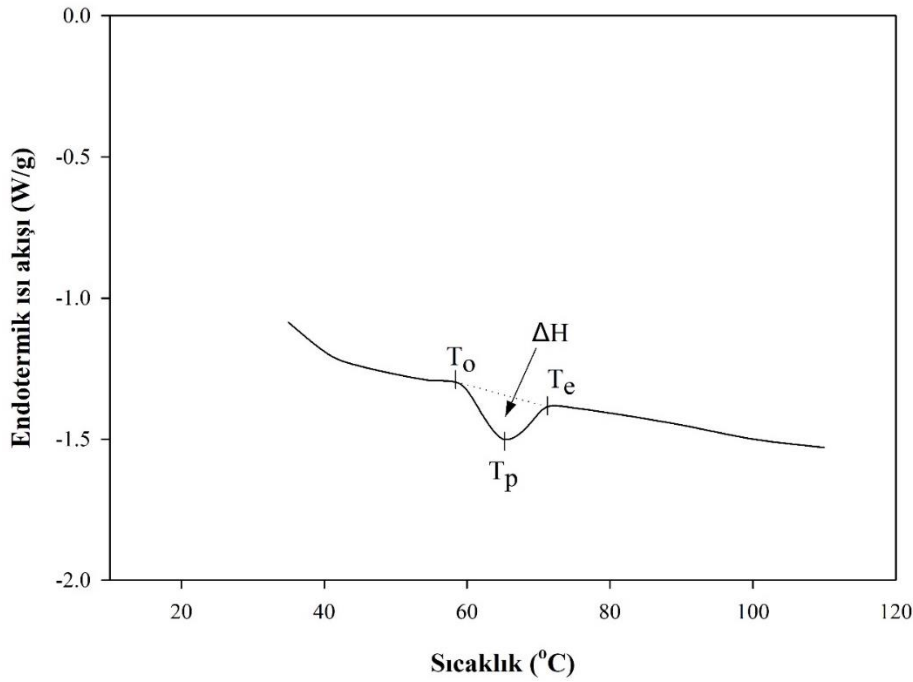
Nişastanın sulu sistemde sıcaklık değişimi ile viskozitesinde meydana gelen değişimler Amilograf ve RVA (Rapid Visco Analyser) gibi cihazlarla incelenmektedir. Şekil 2.15' de RVA ile edilen tipik grafik gösterilmiştir. Nişastanın RVA eğrisi, bir dizi faktöre bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu faktörler arasında nişasta kaynağı, amiloz ve amilopektin oranları, zedelenmiş nişasta miktarı, nişastaya uygulanan modifikasyonlar bulunmaktadır. Ayrıca, aynı nişasta örneği farklı konsantrasyonlarda veya farklı ısıtma-soğutma profillerinde RVA ile analiz edildiğinde de farklı eğriler oluşmaktadır (Kahraman ve Öztürk Muti, 2022).



Şekil 2.15. Tipik bir RVA grafiği

Nişastanın jelatinizasyonu için sıcaklık uygulamasının yanı sıra yeterli miktarda su bulunması da gerekmektedir. Jelatinizasyonun gerçekleşebilmesi için nişasta/su oranının 1/3 ve üzerinde olması önemlidir. Su miktarının az olması durumunda jelatinizasyon sıcaklık aralığı artar, süre uzar ve hatta tamamlanamayabilir. Örneğin, yeterli miktarda su ile buğday nişastası için 50-58°C arasında olan jelatinizasyon sıcaklığı, su miktarı azaltıldığında 50-70°C'ye kadar çıkabilir.

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (Differential Scanning Calorimetry-DSC), bir sistemde ısı akışını sıcaklıkla ilişkilendirerek ölçen bir cihazdır. Bu cihazla yapılan analiz neticesinde, yeterli miktarda su varsa, jelatinizasyon sırasında keskin bir pik olan "jelatinizasyon piki" gözlenir. Şekil 2.16'da tipik bir DSC termogramı verilmiştir (Kahraman ve Öztürk Muti, 2022). Pikin başlangıç noktası, çift kırınımın kaybolmaya başladığı jelatinizasyon sıcaklığını gösterir. Su miktarı azaldıkça bu pik genişlemektedir. Su miktarının azalması, pik başlangıç noktasını değiştirmese de jelatinizasyonun tamamlanmasını etkiler. Başka bir deyişle, normal buğday nişastası için yeterli su ile ısıtma yapıldığında pik başlangıcı ile sonu arasında yaklaşık 7°C fark bulunurken, su miktarı sınırlı olduğunda bu fark 30°C'a kadar çıkabilir. Pik altında kalan alan, düzenli bir yapının düzensiz hale geçmesi (kristal bölgenin erimesi) için gereken enerji miktarıdır (entalpi, ΔH). Sınırlı miktarda su ile nişasta granülünün şişmesi ve parçalanması daha az olacaktır (Delcour ve Hosney, 2010; Kahraman ve Öztürk Muti, 2022).



Şekil 2.16. Tipik bir DSC termogramı (T_p : jelatinizasyon sıcaklığı, T_o : pik başlangıç noktası, T_e : pik bitiş noktası, ΔH : entalpi)

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Materyal

Çalışmada kullanılan sentetik hekzaploid buğday örnekleri Omsk Devlet Tarım Üniversitesi'nde (Rusya) temin edilmiştir. Sentetik buğday örnekleri numara ve isimleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Örnekler içerisinde, sırasıyla B2-4-14, B5-6-19, B7-15-16-20, B8-9-18 ve B11-13 birbirlerinin kardeş hatlarıdır.

3.2. Un Eldesi

Un eldesi için buğday örneklerinin hepsi 100 gramdan öğütülmüştür. Buğdaylar %15 neme tavlansak laboratuvar değirmeninde (Chopin) öğütülmüş ve 212 µm elekten elenmiştir. Un verimi Denklem 3.1 ile hesaplanmıştır.

$$Un\ verimi\ (\%) = \frac{Un\ miktarı}{Buğday\ miktarı} \times 100 \quad (3.1)$$

3.3. Nişasta İzolasyonu

Örneklerden nişasta izolasyonu Massaux ve ark. (2008)'nin yöntemi modifiye edilerek yapılmıştır. Un ve %60 oranında su ile hamur yoğurulup dinlendirildikten sonra yaklaşık 250 mL su ile behere aktarılıp manyetik karıştırıcıda karıştırılarak gluten kısmının toplanması sağlanmıştır. Elekten süzülerek gluten kısmının elek üstünde ayrılması sağlanmıştır. Süzüntü 3 kez santrifüj-yıkama işlemlerinden geçirildikten sonra dipte kalan nişasta kısmı 40°C'de kurutulmuş ve havanda öğütülmüştür. Nişasta izolasyon aşamaları Şekil 3.1' de gösterilmiştir.

Nişasta verimi Denklem 3.2 ile hesaplanmıştır.

$$Nişasta\ verimi\ (\%) = \frac{Nişasta\ miktarı}{Un\ miktarı} \times 100 \quad (3.2)$$

Tablo 3.1. Sentetik buğday örnekleri

Örnek No	Örnek Adı
B1	Ukr-Od. 1530.94/ <i>Ae. squarrosa</i> (629)
B2	Ukr-Od. 952.92/ <i>Ae. squarrosa</i> (1031)
B3	Ukr-Od. 1530.94/ <i>Ae. squarrosa</i> (458)
B4	Ukr-Od. 952.92/ <i>Ae. squarrosa</i> (1031)
B5	Ukr-Od. 1530.94/ <i>Ae. squarrosa</i> (392)
B6	Ukr-Od. 1530.94/ <i>Ae. squarrosa</i> (392)
B7	Ukr-Od. 1530.94/ <i>Ae. squarrosa</i> (1027)
B8	Aisberg/ <i>Ae. squarrosa</i> (511)
B9	Aisberg / <i>Ae. squarrosa</i> (511)
B10	Pandur/ <i>Ae. squarrosa</i> (223)
B11	Aisberg / <i>Ae. squarrosa</i> (369)
B12	Ukr-Od. 1530.94/ <i>Ae. squarrosa</i> (310)
B13	Aisberg / <i>Ae. squarrosa</i> (369)
B14	Ukr-Od. 952.92/ <i>Ae. squarrosa</i> (1031)
B15	Ukr-Od. 1530.94/ <i>Ae. squarrosa</i> (1027)
B16	Ukr-Od. 1530.94/ <i>Ae. squarrosa</i> (1027)
B17	Langdon/Ig 131606
B18	Aisberg/ <i>Ae. squarrosa</i> (511)
B19	Ukr-Od. 1530.94/ <i>Ae. squarrosa</i> (392)
B20	Ukr-Od. 1530.94/ <i>Ae. squarrosa</i> (1027)



Şekil 3.1. Nişasta izolasyonu akım şeması

3.4. Nem Tayini

Un ve nişasta örneklerinde darası alınmış olan petri kaplarına 1 g örnek tartılıp 135°C’de etüvde yaklaşık 2 saat kurutulmuştur. Örnek ağırlığı ve kurutma sonrası kalıntı ağırlığı arasındaki farktan % nem miktarı hesaplanmıştır (AACC, 2000).

3.5. Amiloz Miktarı

Nişasta örneklerinin amiloz içerikleri Akın (2022) tarafından belirtilen yöntemle yapılmıştır. 20 mg nişasta örneğine 0,2 mL %95’lik ethanol ve 1,8 mL 1 M NaOH eklenerek oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra hacim distile su ile 20 mL’ye tamamlanmıştır. Çözeltilerden 1 mL alınmış ve üzerine 0,2 mL 1 M asetik asit eklenerek vortekslenmiştir. 0,4 mL Lugol solüsyonu eklenmiş ve ardından saf su ile hacim 20 mL’ye tamamlanmıştır. 20 dakika karanlık ortamda renk gelişimi sağlanarak 620 nm de absorbans ölçümleri yapılmıştır. Farklı konsantrasyonlarda (0.2, 0.4, 0.6, 0.8, ve 1 mg/mL) amiloz standardı hazırlanarak aynı işlemler yapılmıştır. Elde edilen kalibrasyon eğrisinden örneklerin amiloz içerikleri hesaplanmıştır.

3.6. Kristal Yapı

Nişastaların kristal yapıları X-Işını kırınım difraktometresi (AXS D8 advance model, Almanya) kullanılarak incelenmiştir. Ölçümler 45 kV ve 40 mA’de difraktometre (Cu K α , $\lambda=0.15405$) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Difraktometre konumu $2\theta=5-40^\circ$ aralığında ayarlanmıştır (Korkut ve Kahraman, 2019).

3.7. Morfolojik Özellikler

Nişasta örneklerinin morfolojik özellikleri, taramalı elektron mikroskobu (LEO, 440 SEM-EDX, Leica-Zeiss, DSM-960) kullanılarak belirlenmiştir. Örnekler ölçüm öncesinde altın paladyum ile kaplanmış ve analiz 5 kV altında gerçekleştirilmiştir (Korkut ve Kahraman, 2019).

3.8. Çözünürlük ve Su Bağlama Kapasitesi

Nişasta örneklerinin çözünürlük ve su bağlama kapasitesi değerleri Mutlu ve ark. (2018) tarafından belirtilen yöntem ile belirlenmiştir. Nişasta örneklerinden 0.5 gram

tartılıp üzerine 5 mL saf su ilave edilmiş ve vorteks ile her 5 dakikada bir 15 saniye olacak şekilde toplam 45 dakika karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi sonunda 2100 xg hızında 10 dakika santrifüj (Heraus Labofuge, Germany) yapılmıştır. Süpernatant kısmı petri kabına aktararak etüvde 100°C’de kurutulmuştur. Çöken kısım ise önce tartılmış, ardından etüvde 100°C’de kurutulmuştur. Çözünürlük ve su bağlama kapasitesi değerleri sırasıyla Denklem 3.3 ve 3.4 ile hesaplanmıştır.

$$\text{Çözünürlük (\%)} = \frac{M2}{M1} \times 100 \quad (3.3)$$

$$\text{Su bağlama kapasitesi (\%)} = \frac{M3 - M4}{M1} \times 100 \quad (3.4)$$

M1 = örnek miktarı, g (kuru madde)

M2 = petrideki kuru örnek ağırlığı, g

M3 = tüpteki yaş çökelti, g

M4 = tüpteki kuru çökelti, g

3.9. Şişme Kuvveti

Nişasta örneklerinin şişme kuvveti Jia ve ark. (2023) tarafından belirtilen yöntem ile belirlenmiştir. Nişasta örneklerinden 0,1 gram tartılıp üzerine 10 mL distile su ilave edilmiş ve vorteks ile karıştırıldıktan sonra çalkalamalı su banyosunda 85°C’de 30 dakika bekletilmiştir. Süre sonunda 2100 xg hızında 15 dakika santrifüj (Heraus Labofuge, Germany) yapılmıştır. Tüpteki yaş çökelti tartılarak şişme kuvveti Eşitlik 3.5 ile hesaplanmıştır.

$$\text{Şişme kuvveti (g/g)} = \frac{M2}{M1} \times 100 \quad (3.5)$$

M1 = örnek miktarı, g (kuru madde)

M2 = tüpteki yaş çökelti, g

3.10. Viskozite Özellikleri

Nişastaların ısıtma ve soğutma sırasındaki vizkozite değişimleri Rapid ViscoAnalyzer (RVA 4 Newport Scientific, Australia) cihazı ile belirlenmiştir. Cihazın haznesine 4 gram nişasta (%14 nem içeriğine göre) tartılarak üzerine 24 mL distile su ilave

edilmiştir. Nişasta süspansiyonları 50°C de 1 dk tutulup 6°C/dakika hızla 95°C ye ısıtılmış ve bu sıcaklıkta 2.5 dk tutulmuştur. Daha sonra 6°C/dakika hızla 50°C ye soğutulup bu sıcaklıkta 3 dk bekletilmiştir. Bu kapsamda pik vizkozitesi, incelme sonrası vizkozite, son vizkozite, karıştırma ile viskozite azalması, katılaşma viskozitesi, pik süresi ve çirilenme başlangıç sıcaklığı değerleri ölçülmüştür.

3.11. İstatistiksel Analiz

Sonuçlar SPSS 20 istatistik programı kullanılarak tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile değerlendirilmiştir. Örnekler arası farklar önemli ($p<0,05$) bulunduğunda ortalamalar DUNCAN testi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Standart sapma değerleri Excel programı (Windows 10) ile hesaplanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Un ve Nişasta Verimleri

Sentetik buğday örneklerinin un ve nişasta verimi değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Örneklerin un verimi değerleri %68,9–78,1 arasında değişmektedir.

Tablo 4.1. Sentetik buğdaylardan elde edilen un ve nişasta verimi değerleri

Örnek No	Un Verimi (%)	Nişasta Verimi (%)
B1	74,8	21,2
B2	78,1	23,2
B3	73,0	28,6
B4	73,7	18,1
B5	72,3	25,6
B6	71,9	30,8
B7	72,0	25,7
B8	68,9	32,1
B9	71,9	31,6
B10	73,2	16,7
B11	73,5	24,1
B12	71,3	26,8
B13	71,8	28,6
B14	70,2	21,0
B15	74,1	24,4
B16	73,4	23,9
B17	74,3	22,2
B18	72,5	32,1
B19	72,7	17,7
B20	76,5	20,7

En yüksek un verimi B2 numaralı (Ukr-Od. 952.92/ *Ae. squarrosa* (1031)) örnekte elde edilmiştir. En düşük un verimi ise B8 numaralı (Aisberg/ *Ae. squarrosa* (511)) örnekte saptanmıştır. Ekmeklik buğdayların un verimi ile ilgili olarak literatürde benzer sonuçlara rastlanmıştır. İlgün (2019) ekmeklik buğdayların un verimi değerlerinin %63,6–72,0 arasında değiştiğini ifade etmiştir. Ekmeklik buğdaylarla yapılan bir diğer çalışmada ise un verimlerinin %66,5 (Penjamo 62) –73,9 (Bezostaya) arasında değiştiği gösterilmiştir (Koçak ve ark., 1993). Shewry ve Hey (2015) ekmeklik buğdayın un veriminin yaklaşık %70–75 arasında olduğunu belirtmiştir. Avrupa’da ıslah edilmiş klasik buğday çeşitlerinin un verimi değerleri genellikle %68–75 arasında rapor edilmiştir (Belderok ve ark., 2000).

Sentetik buğday örneklerinin nişasta verimlerinin %16,7-32,1 arasında değiştiği gözlenmiştir (Tablo 4.1). En yüksek nişasta verimi B8 ve B18 (Aisberg/ *Ae. squarrosa* (511)) numaralı örneklerde elde edilmiştir. En düşük nişasta verimi ise B10 numaralı (Pandur/ *Ae. squarrosa* (223)) örnekte belirlenmiştir. Literatürde yer alan ekmeklik buğdaylara ait nişasta verimleri, bu çalışmada elde edilen sonuçlardan farklılık göstermektedir. Albayrak ve ark. (2020) bazı ekmeklik buğdaylarda yaptığı çalışmada nişasta verimlerinin %64,14–65,83 arasında değiştiğini belirlemişlerdir.

Bu tez çalışmasında, saf nişasta elde etmek amacıyla laboratuvar koşullarında uygulanan yöntem ve saflaştırma adımlarının sonuçları etkileyen önemli bir faktör olduğu düşünülmektedir. Bu süreçte, elek ve santrifüj işlemlerindeki kayıplar dikkate alındığında, nişastanın bir kısmı kaybolmuş ve bu durum elde edilen yüzdelerin literatürdeki değerlerden daha düşük çıkmasına sebep olmuştur. Literatürdeki çalışmalar, farklı nişasta izolasyon yöntemlerinin ve yıkama koşullarının verim ve saflığı önemli ölçüde etkileyebileceğini göstermektedir. Dolayısıyla, mevcut bulgularımızın literatürdeki bazı sonuçlarla tam olarak örtüşmemesi, kullanılan tekniklerin ve analiz yöntemlerinin farklılıklarından kaynaklanabilmektedir.

4.2. Rutubet Miktarı

Sentetik buğdaylardan elde edilen nişasta örneklerinin rutubet değerleri Tablo 4.2’ de verilmiştir. Örneklerin rutubet değerleri %7,20 – 10,55 arasında değişmektedir. En yüksek rutubet değeri B17 numaralı (Langdon / Ig 131606), en düşük rutubet değeri ise B13 numaralı (Aisberg/ *Ae. squarrosa* (369)) örnekten elde edilen nişastada

bulunmuştur. Rutubet içerikleri bakımından örnekler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli ($p<0,05$) bulunmuştur.

Tablo 4.2. Sentetik buğdaylardan elde edilen nişasta örneklerinin rutubet ve amiloz miktarları ile kristalinite oranları

Örnek No	Rutubet (%)	Amiloz (%)	Kristalinite (%)
B1	7,41±0,03 g	32,9±0,05 a	66,9
B2	7,66±0,07 f	29,8±0,52 e	68,9
B3	7,37±0,15 g	33,4±0,52 a	63,7
B4	9,70±0,11 b	29,7±0,73 e	69,7
B5	8,30±0,16 de	29,9±0,83 e	68,2
B6	7,96±0,04 e	29,3±0,52 ef	69,0
B7	8,66±0,07 d	30,8±1,04 d	67,8
B8	9,15±0,13 c	30,9±0,73 d	67,4
B9	8,05±0,06 e	30,3±0,52 de	69,9
B10	8,29±0,14 e	33,1±0,26 a	66,9
B11	10,02±0,17 b	31,3±0,52 c	67,9
B12	8,23±0,16 e	33,1±0,26 a	66,0
B13	7,20±0,08 g	28,7±0,93 f	70,4
B14	8,58±0,10 d	30,3±0,52 de	70,6
B15	9,03±0,11 c	29,8±0,83 e	70,2
B16	10,44±0,03 a	30,3±0,52 d de	68,5
B17	10,55±0,09 a	30,8±1,04 d	69,8
B18	8,65±0,12 d	31,3±0,52 c	69,9
B19	9,93±0,09 b	33,0±0,31 a	67,5
B20	8,87±0,13 cd	29,3±0,52 f	69,2

*Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır ($p<0,05$). Değerler ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir.

Literatürde farklı buğday çeşitlerinden elde edilen nişastaların nem oranına bakıldığında farklı sonuçlara rastlanmıştır. Lindeboom ve ark. (2004) buğday nişastasının nem içeriğini yaklaşık %12,4 olarak belirlemiştir. Diğer bir çalışmada ise buğday nişastasının nem içeriği %13,06 olarak belirlenmiştir (Wang ve ark., 2024).

Literatürdeki bu bulgularla karşılaştırıldığında, sentetik buğday nişastasının nem içeriği farklılık göstermektedir. Nem değerlerinin literatüre göre daha düşük çıkması temel olarak nişasta üretimi sırasında kurutma süresinin uzun tutulmasından kaynaklanmaktadır. Un ve nişasta için %13–14 neme kadar olan değerler uygun olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle çalışmada üretilen sentetik buğday nişastalarının nem değerleri depolama stabilitesi açısından uygundur.

4.3. Amiloz Miktarı

Sentetik buğdaylardan elde edilen nişasta örneklerinin amiloz içerikleri Tablo 4.2’ de verilmiştir. Örneklerde amiloz miktarı %28,7–33,4 arasında değişmektedir. En yüksek amiloz içeriği B3 numaralı örnekte (Ukr-Od 1530.94 / *Ae.squarrosa* (458)), en düşük amiloz içeriği ise B13 numaralı örnekte (Aisberg/ *Ae. squarrosa* (369)) tespit edilmiştir. Çalışmada amiloz miktarı bakımından örnekler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli ($p<0,05$) bulunmuştur.

Literatürde farklı buğday çeşitlerinden elde edilen nişastaların amiloz miktarına bakıldığında farklı sonuçlara rastlanmıştır. Kim ve ark. (2021) buğday nişastasının amiloz miktarını yaklaşık %25–30 aralığında olduğunu göstermiştir. Diğer bir çalışmada ise buğday nişastasının amiloz miktarı %25 olarak belirlenmiştir (Shevkani ve ark., 2017). Akın (2022) tarafından yapılan tez çalışmasında 25 adet ekmeklik buğday çeşidinde amiloz miktarı %24-28 arasında bulunmuş ve çeşitler arasında önemli farklar olduğu belirtilmiştir. Literatürdeki bu bulgularla karşılaştırıldığında, sentetik buğday nişastasının amiloz miktarı bazı örneklerde farklılık göstermektedir. Bunun sebebi sentetik buğdayların farklı genetik yapısı, yabancı genom katkısı ve adaptasyon stratejileri, nişastasında daha yüksek amiloz oranlarının oluşmasına neden olabilmektedir.

4.4. Kristal Yapı

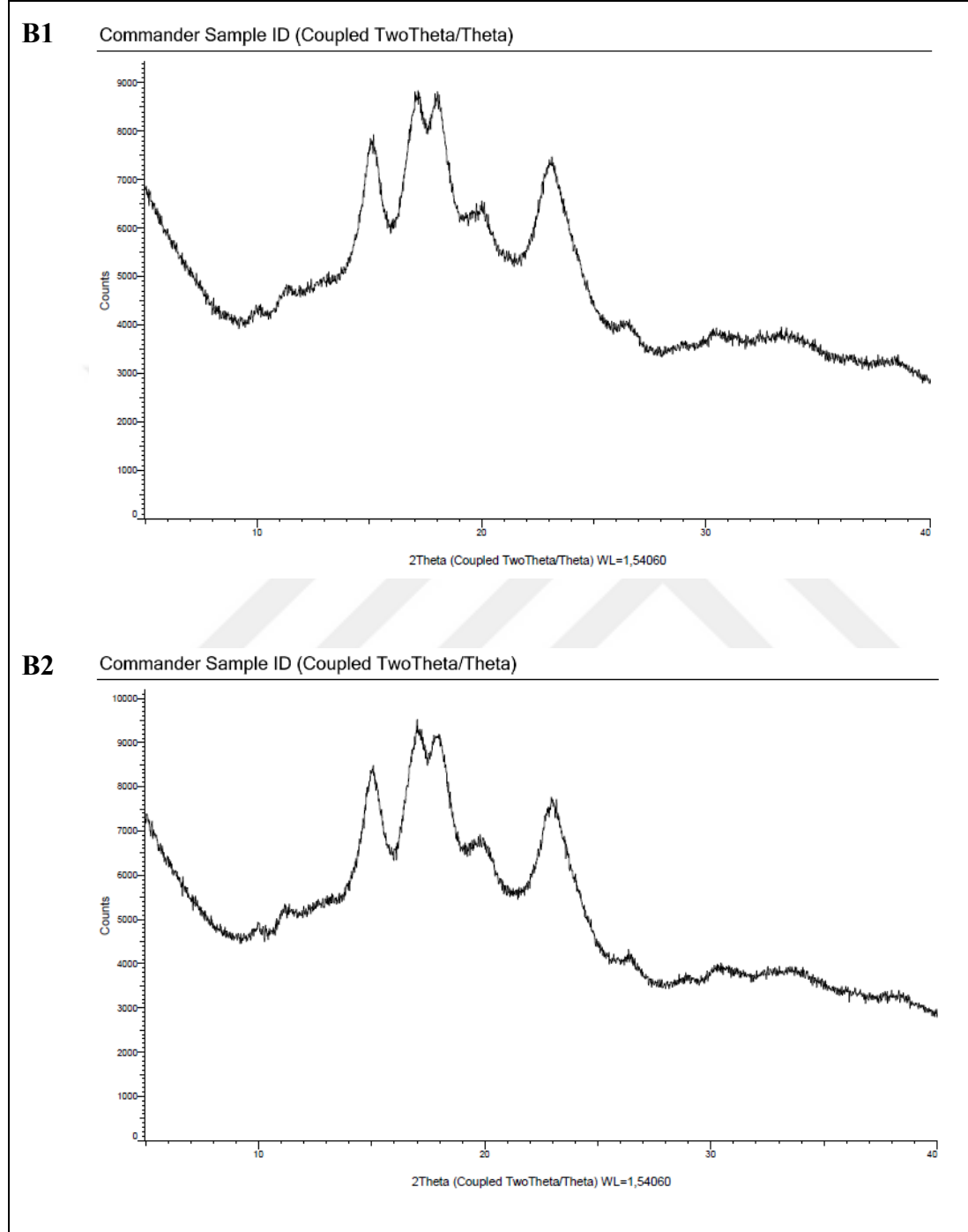
Sentetik buğdaylardan elde edilen nişasta örneklerinin kristal yapısını belirlemek amacıyla X-ışını kırınımı (XRD) analizi gerçekleştirilmiştir. Nişasta örneklerine ait XRD grafikleri Şekil 4.1 ve 4.10 arasında verilmiştir. Elde edilen grafiklerde, sentetik buğday nişastası örneklerinin kristal ve amorf bölgelerden oluşan yarı kristalin bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. XRD desenlerinde 2θ değerleri yaklaşık 15° , 17° ,

18° ve 23° civarında belirgin pikler gözlemlenmiş olup, bunlar buğday nişastası için karakteristik olan A-tipi kırınım deseni yapısına işaret etmektedir. Piklerin şiddeti ve keskinliği açısından örnekler arasında bazı farklılıklar görülmüştür, bu durum kristalinite derecesinde değişime neden olmaktadır. Bazı örneklerde daha keskin ve yüksek yoğunluklu pikler gözlemlenirken bazılarında daha geniş ve zayıf pikler görülmüştür, bu da kristal yapının düzenliliği ve oranı hakkında bilgi vermektedir. Genel olarak elde edilen XRD verileri, sentetik buğday nişastası örneklerinin kristal yapılarının literatürde bildirilen doğal buğday nişastası özellikleriyle benzerlik gösterdiğini ortaya koymaktadır (Korkut ve Kahraman, 2019). Bir çalışmada (Ni ve ark., 2022) doğal buğday nişastasına ait XRD deseninde, $2\theta = 15^\circ, 17^\circ, 18^\circ$ ve 23° civarında belirgin ve keskin pikler gözlemlenmiştir. Bu pikler, A-tipi kristal yapının tipik difraksiyon özelliklerini yansıtmakta ve yüksek kristallik derecesine işaret etmektedir. Sentetik buğday nişastası örneklerinde de benzer pik konumları ve desen profili gözlenmiş olup, kristal yapı açısından doğal buğday nişastası ile önemli benzerlik taşımaktadır.

Nişasta örneklerinin kristalinite (%) değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir. Örneklerin kristalinite oranları %63,7–70,6 arasında değişmektedir. En yüksek kristalinite oranı B14 numaralı örnekte (Ukr-Od. 952.92/ *Ae. squarrosa* (1031)), en düşük kristalinite oranı ise B3 numaralı örnekte (Ukr-Od. 1530.94/ *Ae. squarrosa* (458)) gözlenmiştir. Genel olarak, kristalinite oranlarının geniş bir aralıkta değiştiği ve bazı numunelerde belirgin farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Literatürde yapılan buğday nişastası çalışması (Liu ve ark., 2018) ile karşılaştırıldığında, B13 (Aisberg/*Ae. squarrosa* (369)) numaralı örnek, kristalinite (%70,4) ve pik konumları açısından (Şekil 4.7) en fazla benzerlik gösteren numune olarak belirlenmiştir. Buna karşılık, B3 numaralı örnek (Ukr-Od. 1530.94/ *Ae. squarrosa* (458)) ise kristalinite oranının düşük olması (%63,7) nedeniyle literatürden en farklı numune olarak değerlendirilmiştir. Kristalinite oranları farklılık göstermiş olmasına rağmen tüm örnekler literatürdeki A-tipi nişasta yapısını doğrulamaktadır.

Yapılan bir çalışmada (Zhang ve ark., 2013) buğday nişastasının kristalinite oranları %29,38–31,95 aralığında bulunmuştur. Bu değerler sentetik buğday nişastası örneklerinin kristalinite oranlarına göre belirgin şekilde düşüktür. Bu sonuç, sentetik buğday nişastalarının kontrollü koşullar altında daha yoğun ve düzenli kristal yapı geliştirdiğini, doğal nişastaların ise çevresel etkiler nedeniyle daha düşük kristaliniteye

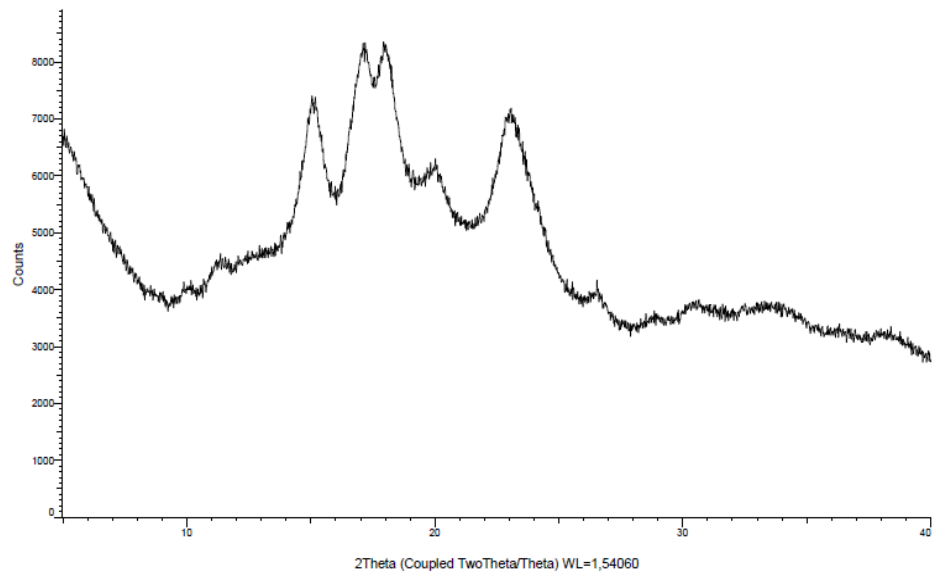
sahip olduğunu göstermektedir. Başka bir çalışmada (Korkut ve Kahraman, 2019), doğal buğday nişastasının kristalinite oranı (%42,2) benzer şekilde sentetik buğday nişastalarından düşük bulunmuştur.



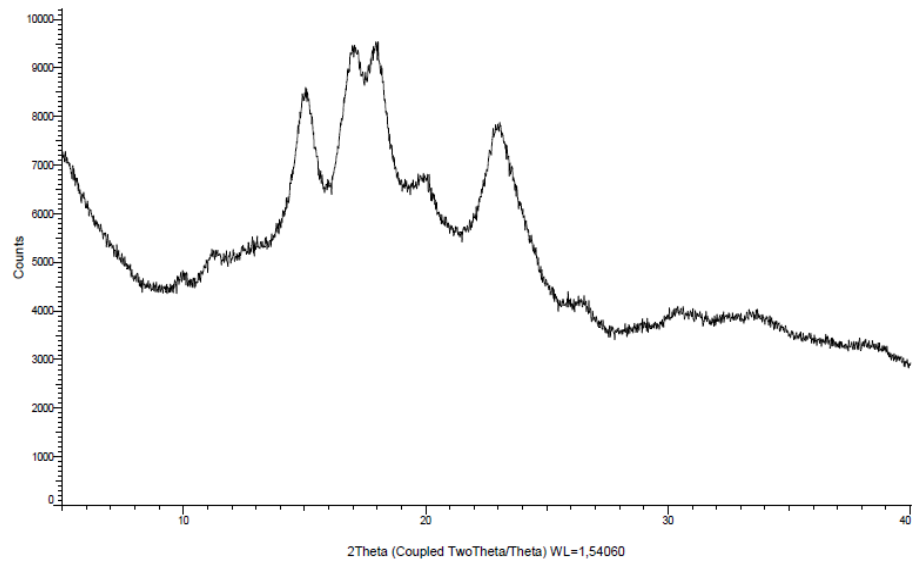
Şekil 4.1. B1 ve B2 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri

B3

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

**B4**

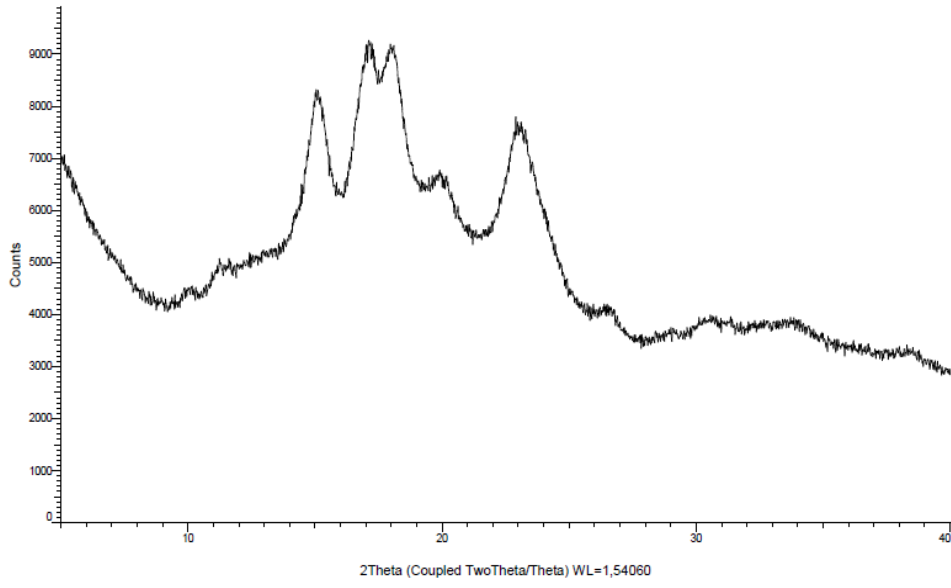
Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



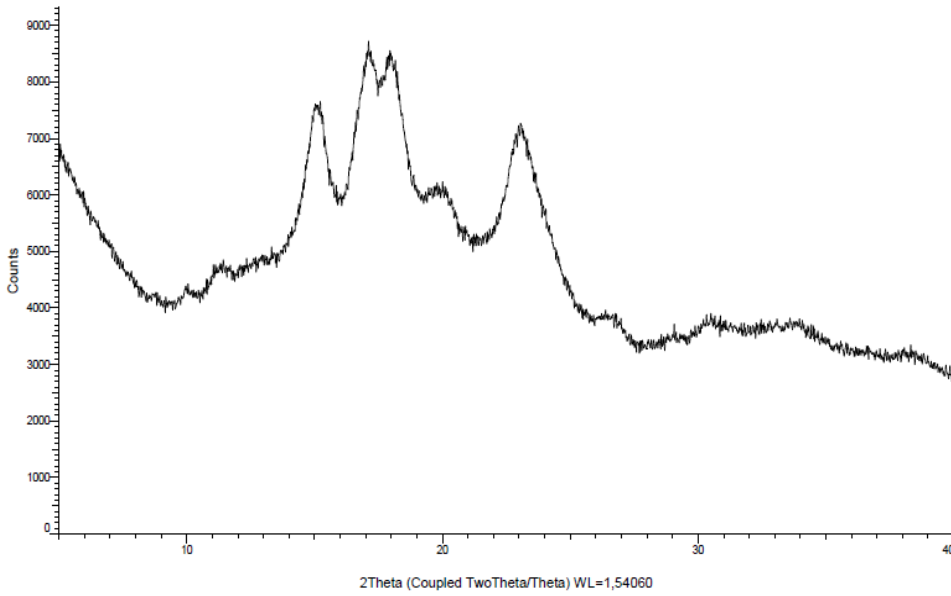
Şekil 4.2. B3 ve B4 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri

B5

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

**B6**

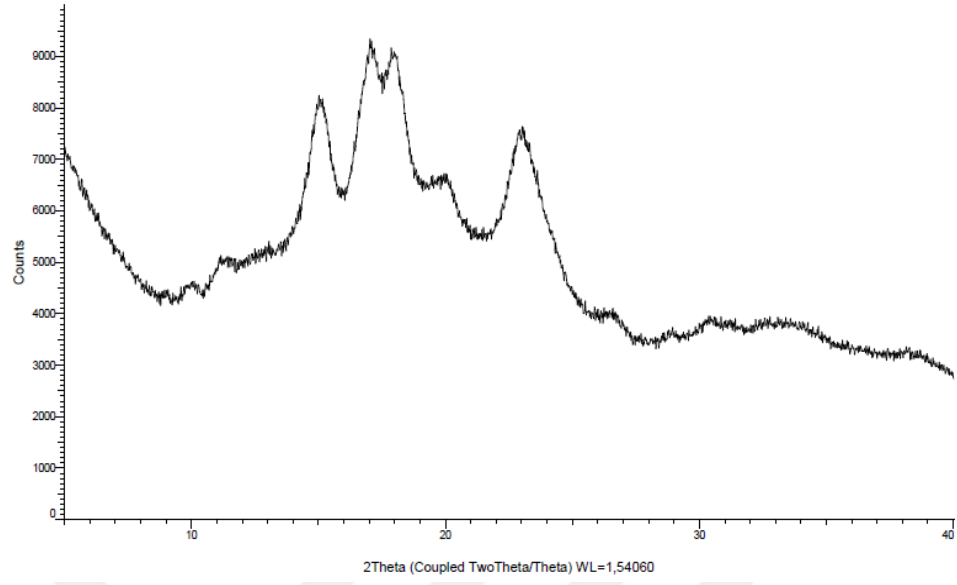
Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



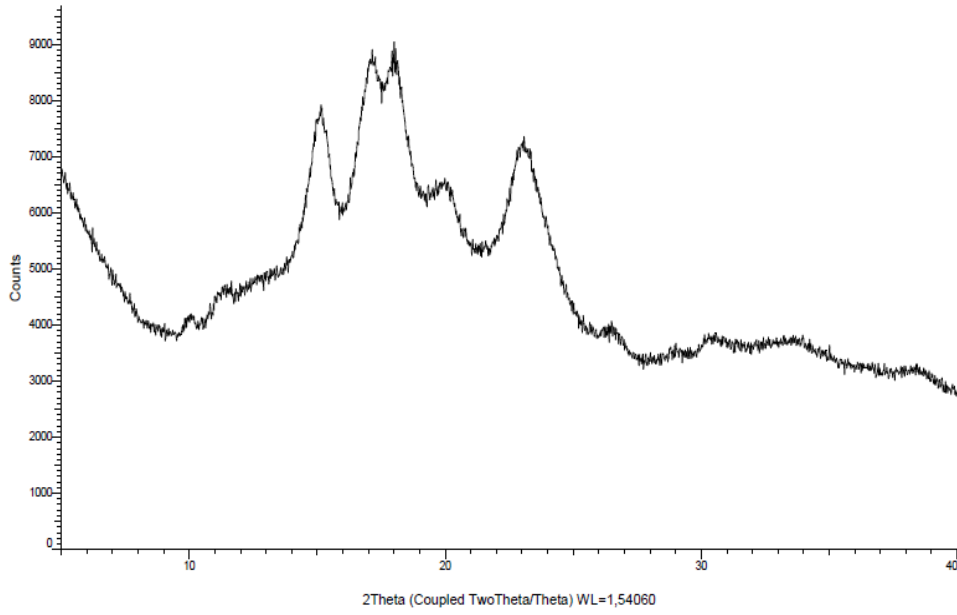
Şekil 4.3. B5 ve B6 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri

B7

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

**B8**

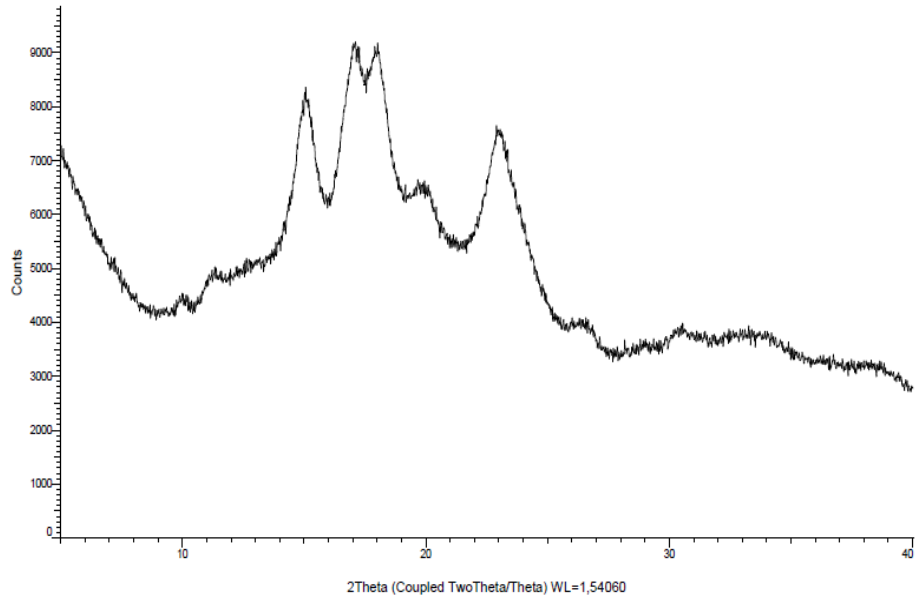
Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



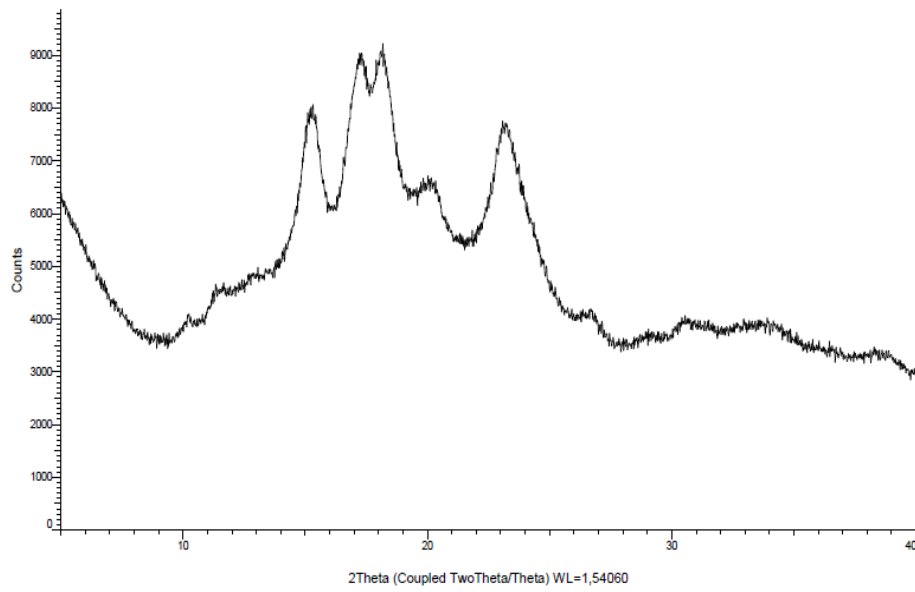
Şekil 4.4. B7 ve B8 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri

B9

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

**B10**

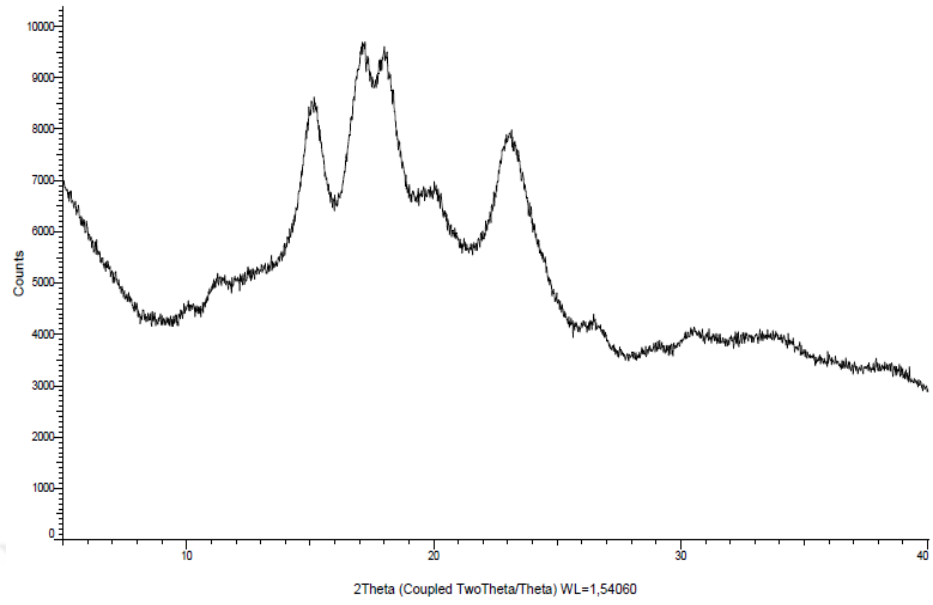
Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



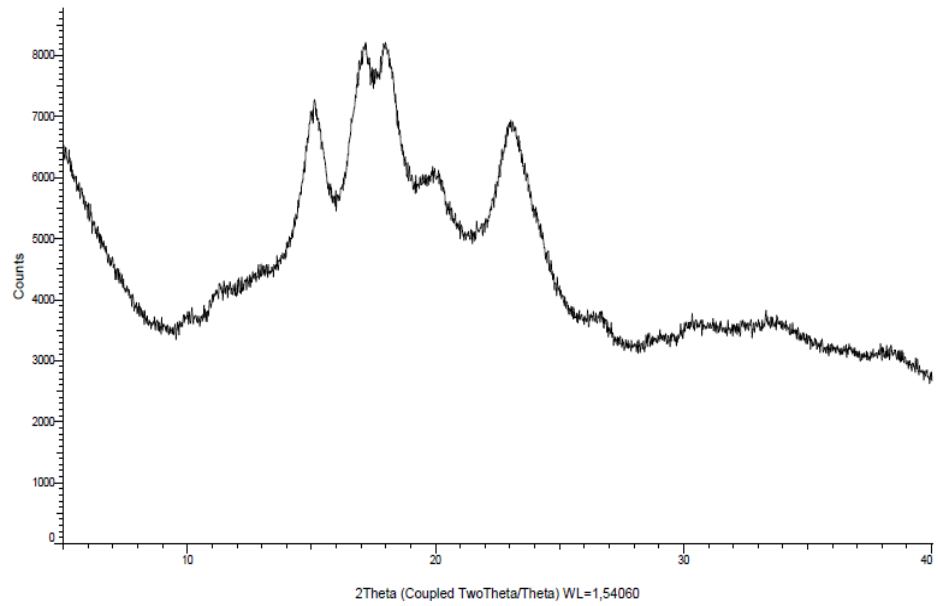
Şekil 4.5. B9 ve B10 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri

B11

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

**B12**

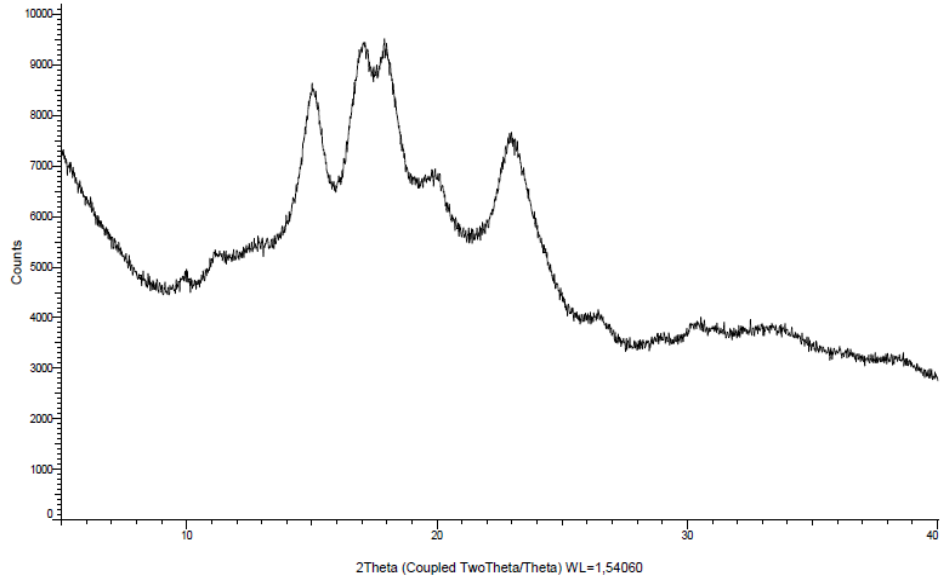
Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



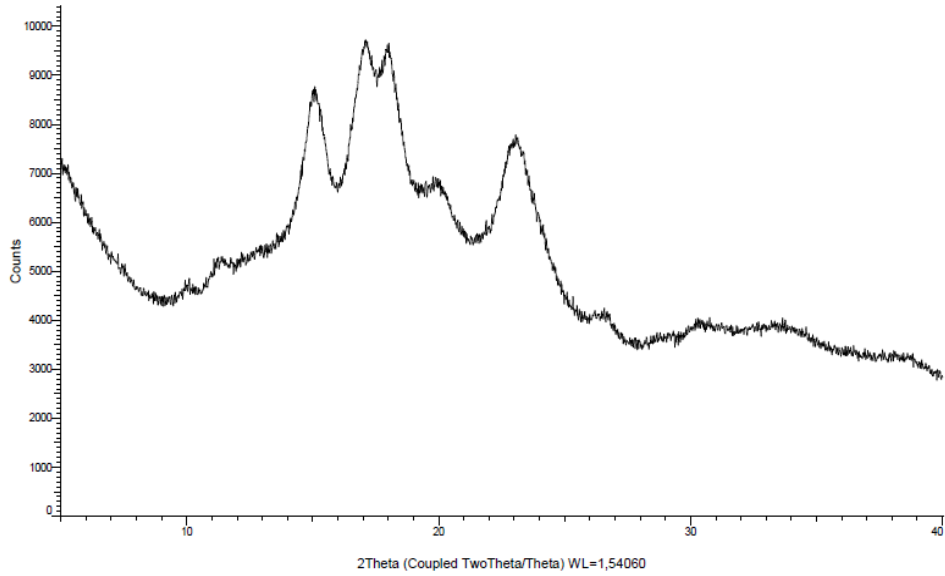
Şekil 4.6. B11 ve B12 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri

B13

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

**B14**

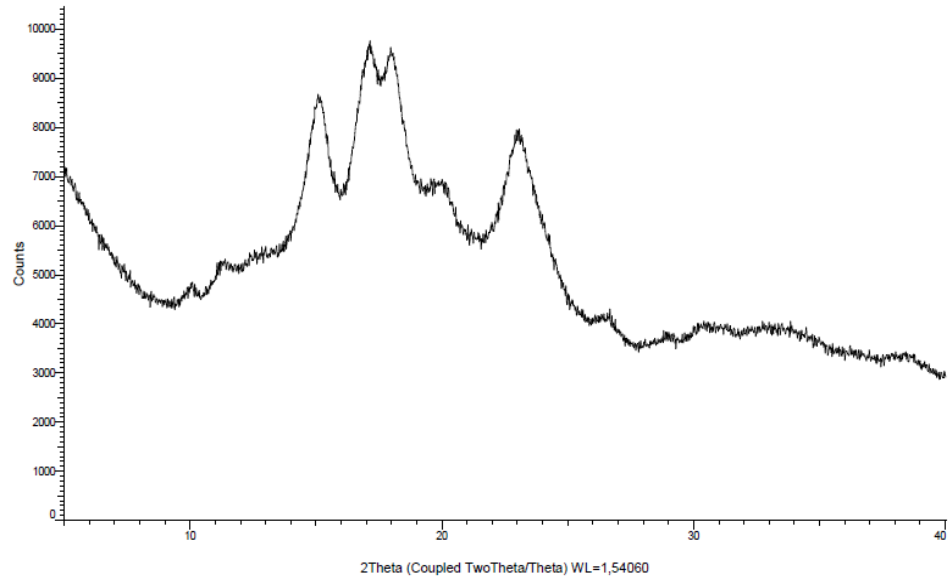
Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



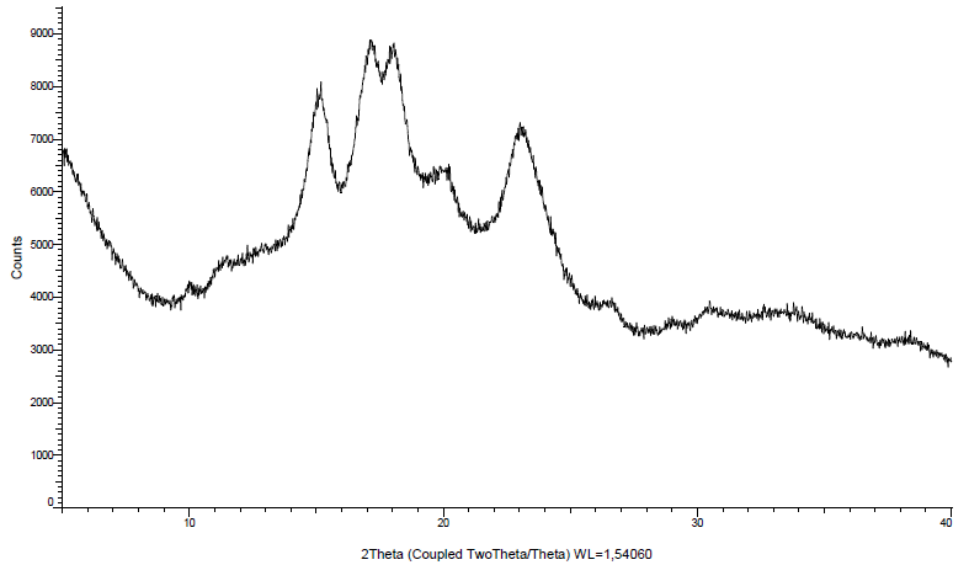
Şekil 4.7. B13 ve B14 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri

B15

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

**B16**

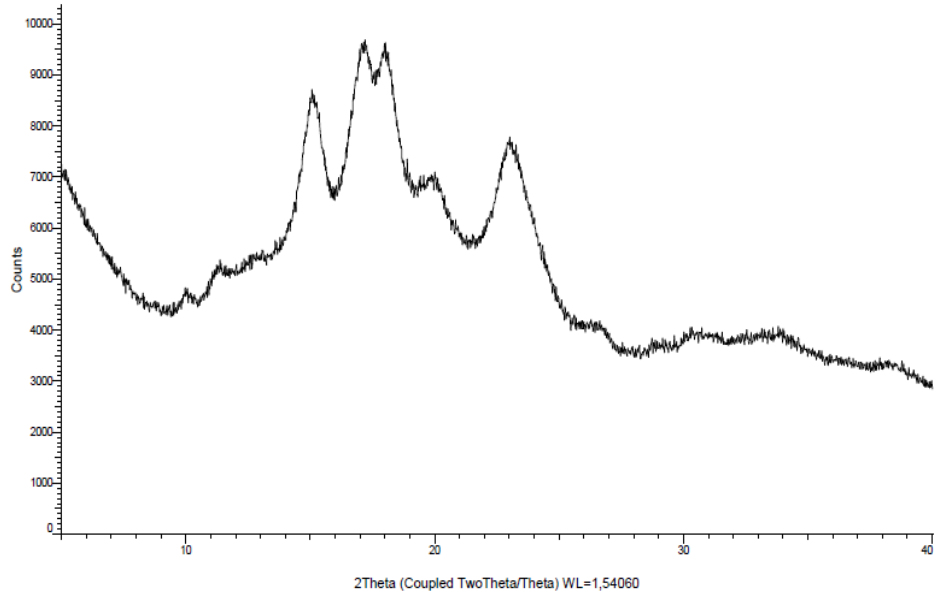
Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



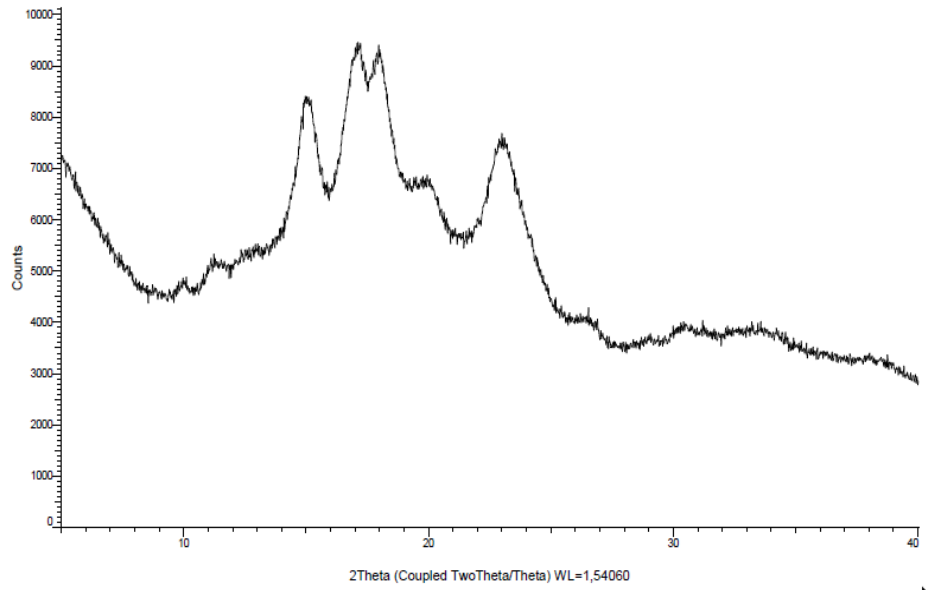
Şekil 4.8. B15 ve B16 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri

B17

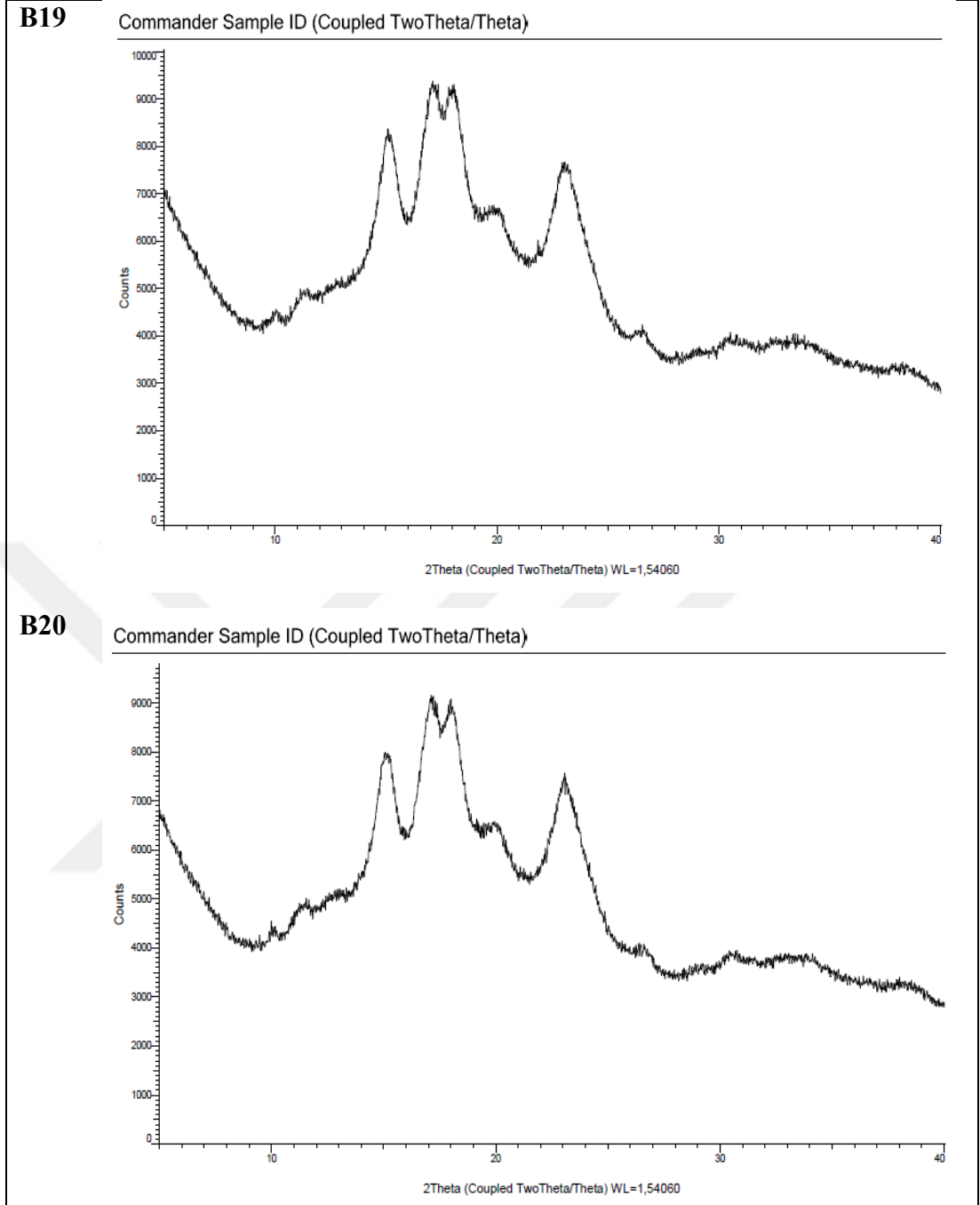
Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

**B18**

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Şekil 4.9. B17 ve B18 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri



Şekil 4.10. B19 ve B20 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin X-ışını kırınım desenleri

4.5. Morfolojik Özellikler

Sentetik buğdaylardan elde edilen nişasta örneklerinin morfolojik karakterizasyonunu belirlemek amacıyla Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizi gerçekleştirilmiştir. Nişasta örneklerine ait 500x (a) ve 2000x (b) büyütmeli SEM görüntüleri Şekil 4.11 ve 4.15 arasında verilmiştir.

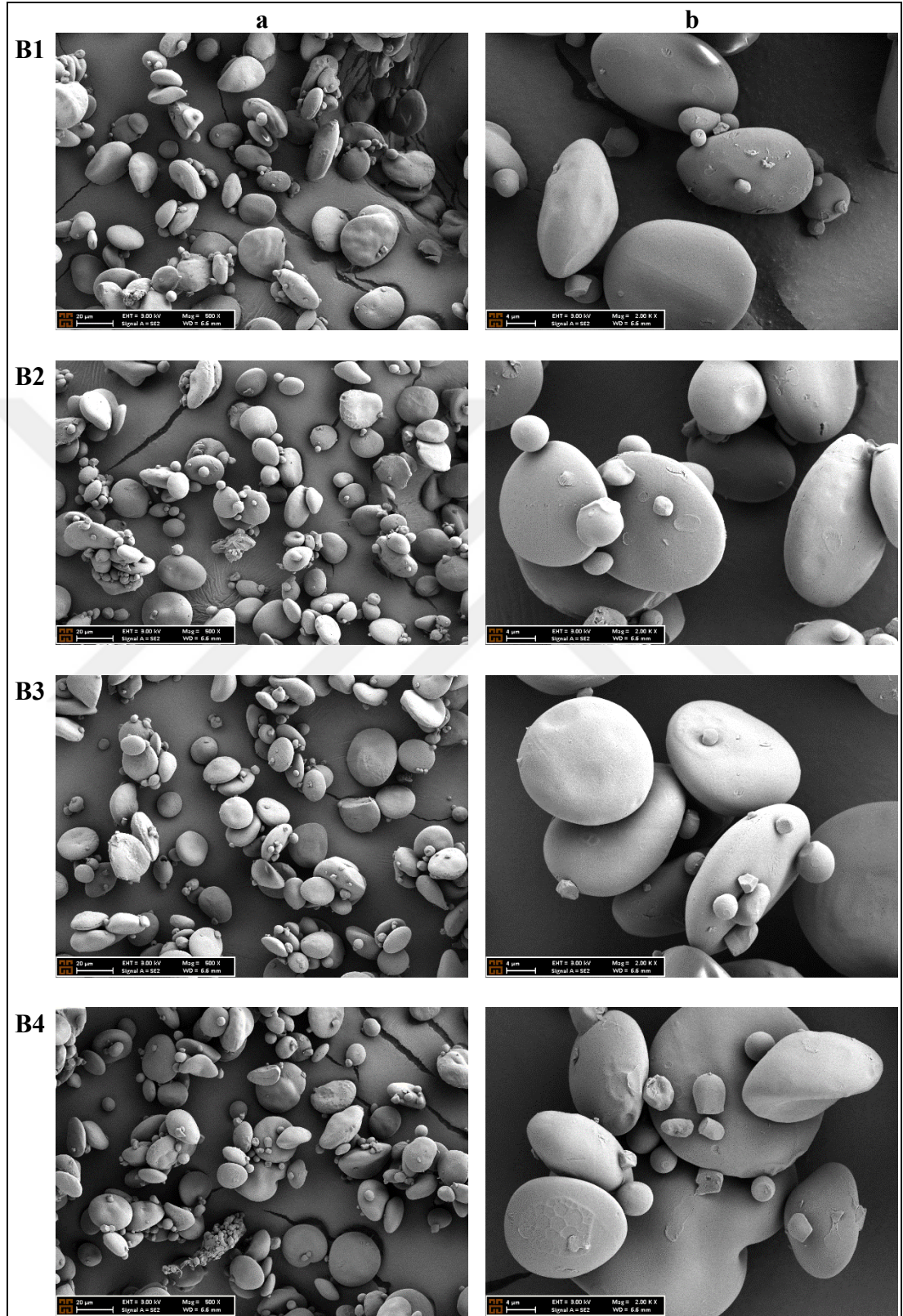
SEM analizleri sonucunda elde edilen görüntülerde, sentetik buğday nişastasının farklı boyut ve şekillerde granüller içerdiği gözlemlenmiştir. Granüller genel olarak oval, küresel ve yassı formlarda olup, büyük çoğunluğu düzgün ve pürüzsüz yüzey özellikleri sergilemektedir. Bazı granüllerin yüzeyinde küçük partiküllerin yapıştığı, kabarcık benzeri oluşumların yer aldığı ve yer yer çöküntülerin bulunduğu görülmüştür. Görüntülerde küçük ve büyük granüllerin birlikte bulunması, bimodal bir dağılım yapısına işaret etmektedir. Yapılan gözlemlere göre granül çaplarının yaklaşık olarak 5–30 µm arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu yapı, doğal buğday nişastasının morfolojik karakteristikleriyle uyum göstermektedir. Yüzeyde gözlenen deformasyonlar ve yapısal bozulmaların, nişasta saflaştırma esnasında uygulanan çevresel etmenlere bağlı olarak gelişmiş olabileceği düşünülmektedir. Genel olarak, elde edilen SEM görüntüleri sentetik buğday nişastası granüllerinin belirgin morfolojik bütünlüğe sahip olduğunu ve doğal kaynaklı nişasta yapılarıyla benzerlik gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Buğday nişastası ile yapılan bir çalışmada (Barrera ve ark., 2013), SEM analizi sonucunda nişasta granüllerinin büyük oranda düzgün, oval ve yassı yapıda olduğu; yüzeylerinde ise belirgin düzleşmeler, çizgisel çatlaklar ve yer yer girinti-çıkıntıların bulunduğu gözlemlenmiştir. Bu morfolojik yapı, genel hatlarıyla sentetik buğday nişastası granülleriyle benzerlik göstermektedir. Özellikle sentetik buğday nişastası örneklerinde de sıkça karşılaşılan düzgün, oval formulu granüller ve bazı örneklerde rastlanan yüzey düzensizlikleri bu benzerliği desteklemektedir.

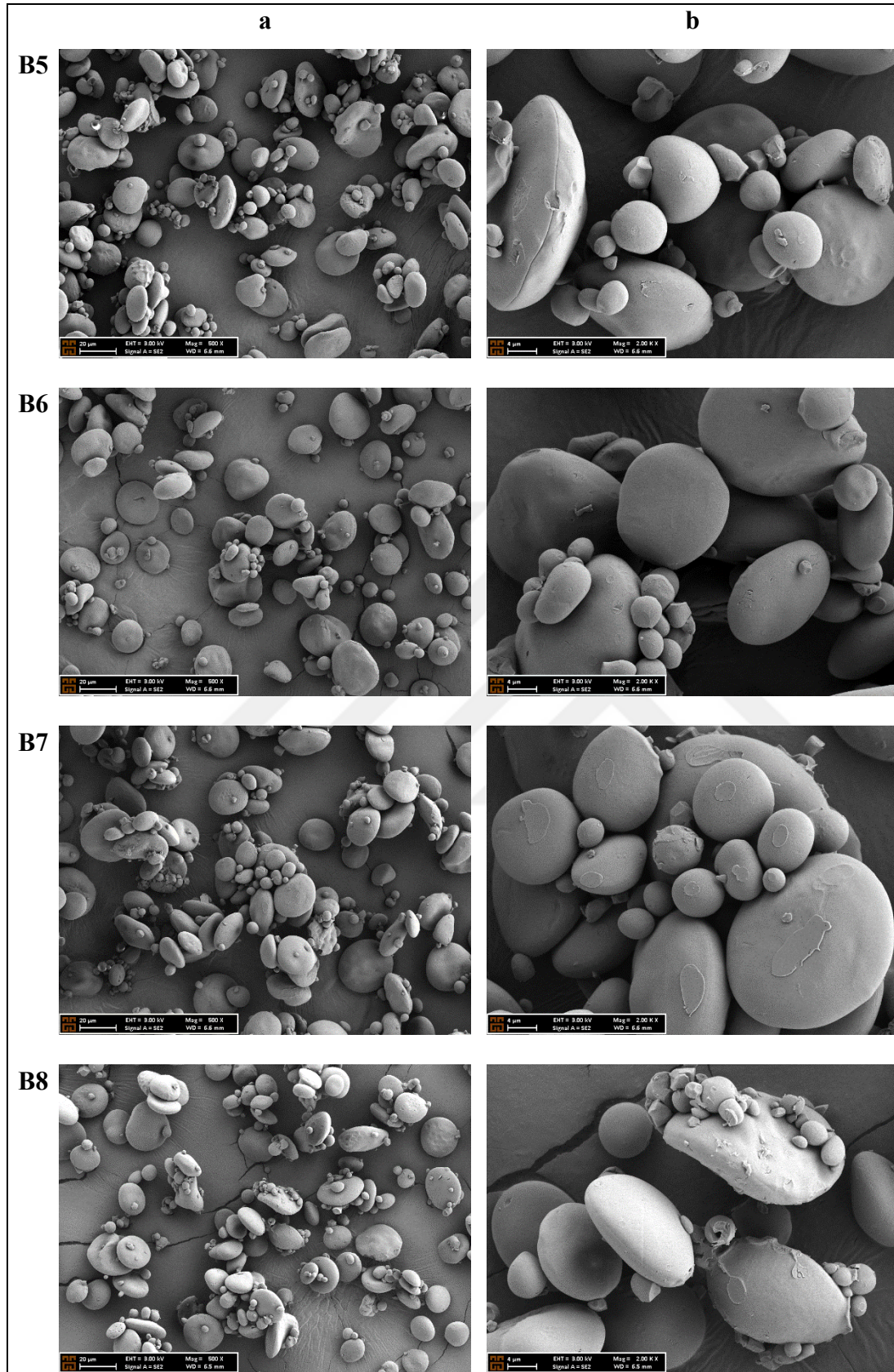
Bir diğer çalışmada (Hu ve ark., 2023) buğday nişastasının SEM görüntüsünde granüllerin genel olarak küresel ve yassı formda olduğu, küçük granüllerin büyük granüllerin yüzeyine yapıştığı ve aglomerasyon eğiliminin belirgin olduğu belirlenmiştir. Bu morfolojik yapı, sentetik buğday nişastası örnekleriyle büyük oranda benzerlik göstermektedir. Özellikle 5–30 µm aralığındaki çap dağılımı ve bimodal granül yapısı açısından paralellik göstermektedir. Her iki örnek grubunda da granül yüzeylerinin büyük ölçüde düzgün ve homojen olduğu gözlemlenmiştir.

Başka bir çalışmada (Korkut ve Kahraman, 2019), buğday nişastasındaki granüllerin çoğunlukla küresel ve oval formlarda olduğu, çaplarının ise yaklaşık 5–25 µm aralığında değiştiği belirlenmiştir. Yüzeyler genel olarak düzgün olmakla birlikte bazı granüllerde kıvrımlı yapılar ve hafif deformasyonlar görülmüştür. Bu morfolojik özellikler, sentetik buğday nişastası örnekleriyle oldukça benzerlik göstermektedir.

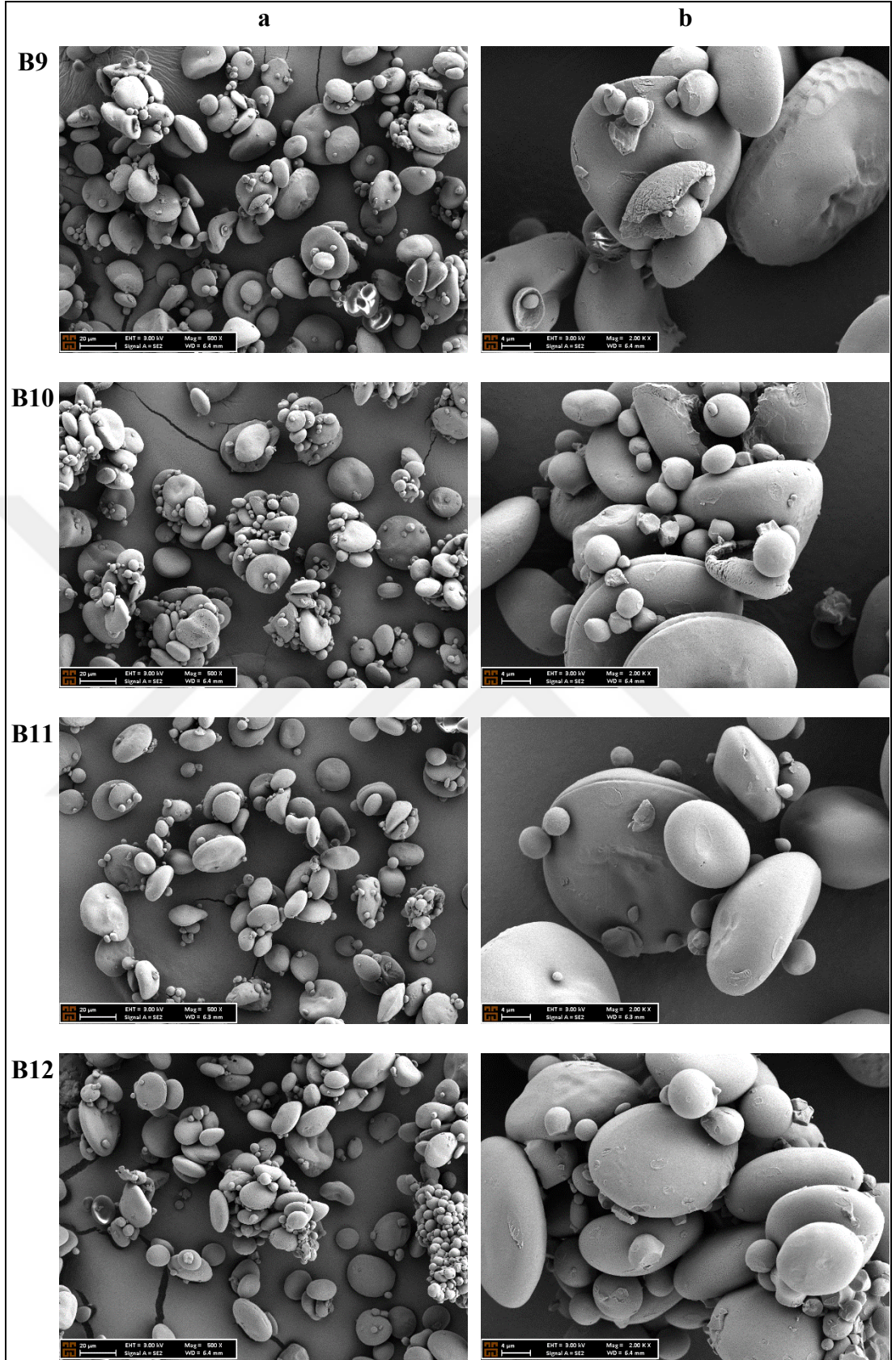
Her iki örnek grubunda da granül şekli, boyut dağılımı ve aglomerasyon eğilimi bakımından yapısal örtüşme söz konusudur.



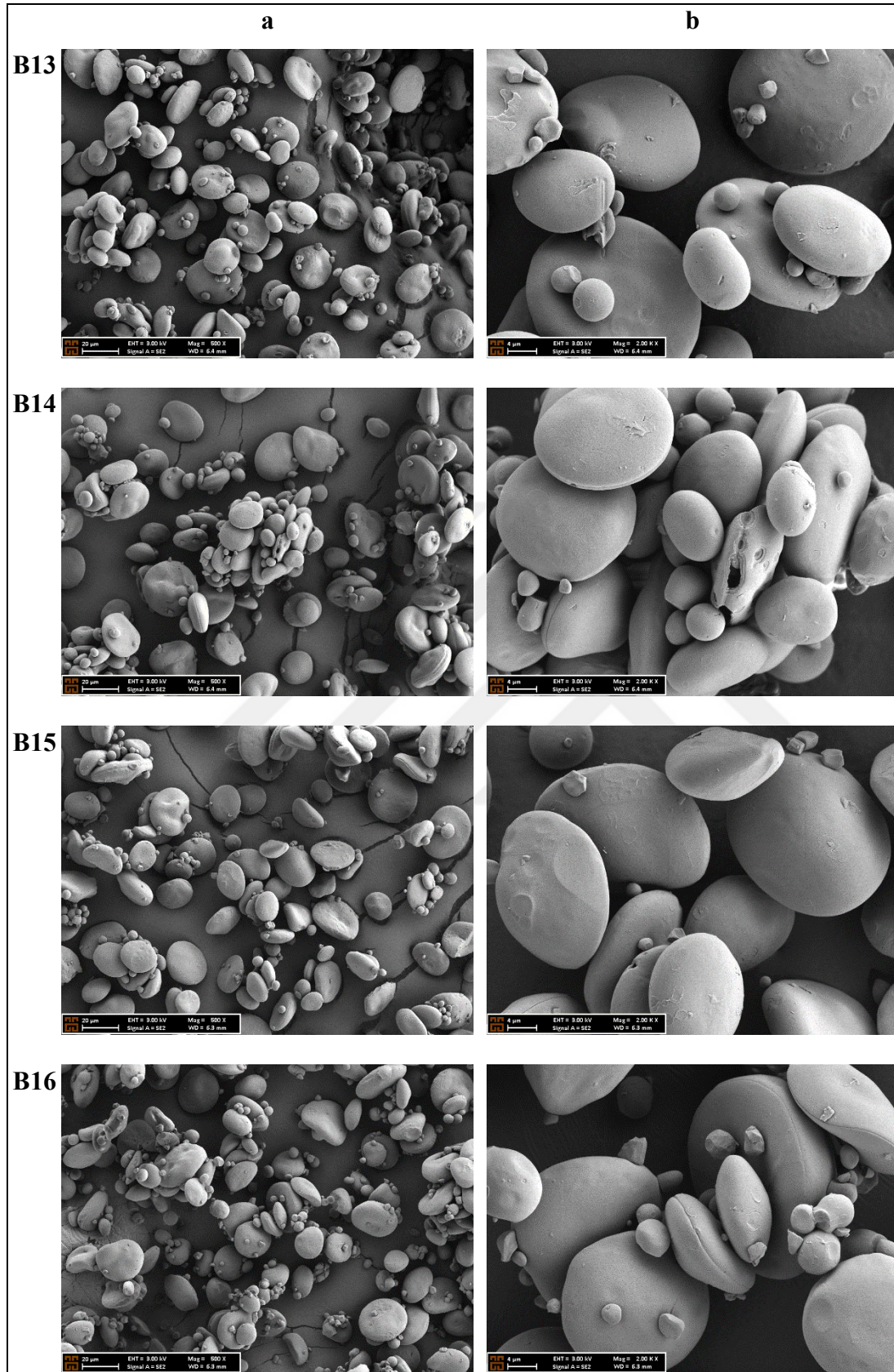
Şekil 4.11. B1-B4 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin SEM görüntüleri (a: 500x, b: 2000x)



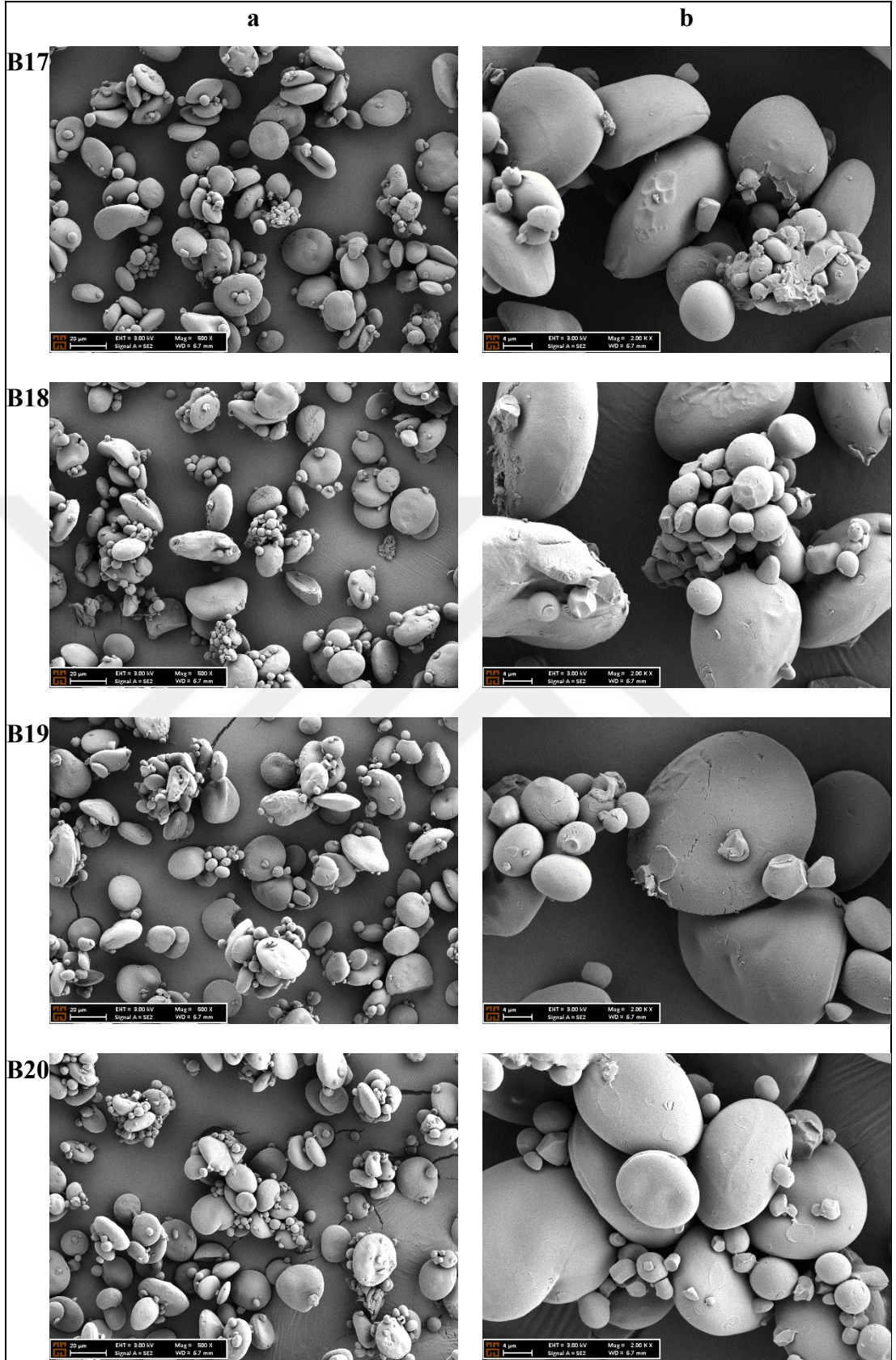
Şekil 4.12. B5-B8 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin SEM görüntüleri (a: 500x, b: 2000x)



Şekil 4.13. B9-B12 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin SEM görüntüleri
(a: 500x, b: 2000x)



Şekil 4.14. B13-B16 numaralı sentetik buğday nişastası örneklerinin SEM görüntüleri (a: 500x, b: 2000x)



Şekil 4.15. B17-B20 numaralı sentetik buğday nişastasası örneklerinin SEM görüntüleri
(a: 500x, b: 2000x)

4.6. Çözünürlük ve Su Bağlama Kapasitesi

Sentetik buğdaylardan elde edilen nişasta örneklerinin çözünürlük ve su bağlama kapasitesi değerleri Tablo 4.3'te verilmiştir. Sentetik buğday nişastalarının çözünürlük değerleri %0,18–1,78 arasında değişmektedir. En yüksek çözünürlük B20 numaralı örnekte (Ukr-Od. 1530,94/ *Ae. squarrosa* (1027)) elde edilmiştir. En düşük çözünürlük ise B6 numaralı örnekte (Ukr-Od. 1530,94/ *Ae. squarrosa* (392)) saptanmıştır. Çözünürlük bakımından örnekler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli ($p<0,05$) bulunmuştur.

Buğday nişastalarının çözünürlüğü ile ilgili olarak literatürde farklı sonuçlara rastlanmıştır. Bir çalışmada (Ji ve ark., 2024) buğday nişastasının çözünürlüğü %3,97 olarak bulunmuştur. Bu değer sentetik buğday nişastasının çözünürlük değerlerinden yüksektir. Bunun sebebi sentetik buğday nişastalarının daha yüksek kristallik derecesine sahip olması ve granül yüzeyinde daha az gözeneklilik bulunmasından dolayı olabilir. Başka bir çalışmada (Kaur ve ark., 2007) doğal buğday nişastasının çözünürlük oranı (%7–10) benzer şekilde sentetik buğday nişastası örneklerinin çözünürlük değerlerine kıyasla belirgin şekilde yüksek bulunmuştur. Bu durum, sentetik buğday nişastalarının daha düşük çözünürlük göstererek suya karşı daha stabil ve çözünmeye dirençli bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır.

Sentetik buğday nişastalarının su bağlama kapasiteleri %102,5-125,5 değerleri arasında değişmektedir. En yüksek su bağlama değeri B18 numaralı örnekte (Aisberg/ *Ae. squarrosa* (511)) elde edilmiştir. En düşük su bağlama ise B6 numaralı örnekte (Ukr-Od. 1530,94/ *Ae. squarrosa* (392)) saptanmıştır. Örneklerin su bağlama değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli ($p<0,05$) bulunmuştur.

Bir çalışmada (Lawal, 2005) buğday nişastasının su bağlama değerleri %120-160 arasında ölçülmüştür. Bu değer aralığı bazı sentetik buğday nişastalarının değerleriyle aynı olsa da birçok sentetik buğday nişastası örneği bu değerlerin altında kalmıştır. Başka bir çalışmada (Wang ve ark., 2021) doğal buğday nişastasının su bağlama kapasitesi %116 olarak bulunmuştur. Sentetik buğday nişastasının su bağlama kapasitesinin nispeten düşük olması; yüksek kristalinite oranı, düzgün ve gözeneksiz granül yüzeyi ile sınırlı amorf yapıdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca amiloz oranının yüksek olması da su tutma kapasitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Tablo 4.3. Sentetik buğdaylardan elde edilen nişasta örneklerinin çözünürlük, su bağlama kapasitesi ve şişme kuvveti değerleri

Örnek No	Çözünürlük (%)	Su Bağlama Kapasitesi (%)	Şişme Kuvveti (g/g)
B1	0,58±0,04 d	109,9±2,15 d	9,65±0,16 d
B2	1,19±0,03 b	104,8±2,20 e	9,65±0,19 d
B3	0,60±0,06 cd	114,8±1,50 c	10,16±0,14 c
B4	0,60±0,02 cd	103,5±2,24 e	10,45±0,20 c
B5	0,35±0,01 de	104,3±1,10 e	9,64±0,15 d
B6	0,18±0,03 e	102,5±1,89 e	10,38±0,10 c
B7	0,20±0,06 e	104,6±1,99 e	10,79±0,28 b
B8	0,40±0,01 d	119,2±1,97 b	10,42±0,23 c
B9	0,33±0,02 de	114,7±1,87 c	9,68±0,10 d
B10	1,61±0,06 ab	108,3±1,35 d	11,65±0,36 a
B11	1,42±0,07 b	112,6±1,67 c	11,05±0,21 a
B12	0,33±0,01 de	111,6±2,05 cd	10,66±0,20 b
B13	1,71±0,04 a	118,2±1,60 b	10,17±0,10 c
B14	0,55±0,03 d	114,7±2,06 c	8,90±0,22 e
B15	0,32±0,03 de	112,3±1,86 c	9,43±0,22 de
B16	0,78±0,01 c	103,6±2,40 e	9,40±0,25 de
B17	0,65±0,05 cd	115,4±1,28 c	9,87±0,25 d
B18	0,24±0,02 e	125,5±2,11 a	10,58±0,18 b
B19	0,95±0,05 c	117,5±2,14	10,30±0,16 c
B20	1,78±0,02 a	116,4±1,19 b	10,88±0,21 b

* Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenmiş ortalamalar arasında istatistiksel olarak önemli fark vardır (p<0,05). Değerler ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir.

4.7. Şişme Kuvveti

Sentetik buğdaylardan elde edilen nişasta örneklerinin şişme kuvveti (g/g) değerleri Tablo 4.3'te verilmiştir. Nişasta örneklerinin şişme kuvveti 8,90-11,65 (g/g) arasında değişmektedir. En yüksek değer B10 numaralı örnekte (Pandur/ *Ae. squarrosa* (223)), en düşük değer ise B14 numaralı örnekte (Ukr-Od. 952.92/ *Ae. squarrosa* (1031)) belirlenmiştir. Şişme kuvveti değerleri bakımından örnekler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli (p<0,05) bulunmuştur.

Normal buğday nişastası için literatürde bildirilen (Sasaki ve Matsuki, 1998) şişme kuvveti değerleri (18,3–26,9 g/g), bu çalışmada bulunan değerlerin üzerindedir. Bu farklılık, kullanılan nişasta yapısının, amiloz/amilopektin oranının veya işlem koşullarının değişkenlik göstermesinden kaynaklanabilmektedir. Çalışmada belirtildiği üzere, daha uzun amilopektin zincirleri ($DP \geq 35$) şişme kuvvetini artıran temel etmenlerden biridir (Sasaki ve Matsuki, 1998).

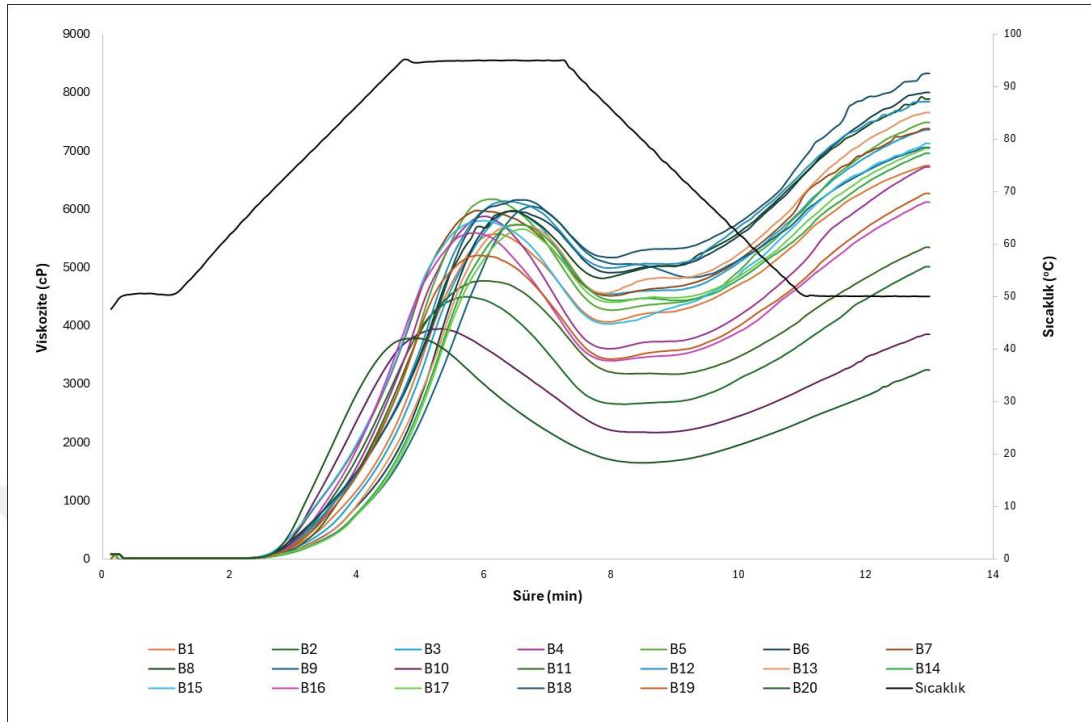
Başka bir çalışmada (Choi ve Kerr, 2004), doğal buğday nişastası için sıcaklığa bağlı olarak 4–6 g/g (60°C) ve 15–20 g/g (90°C) aralığında şişme değerleri gözlemlenmiştir. Bu tez kapsamında, sentetik buğday nişastasının şişme gücü 85°C’de belirlenmiştir. Buna göre, 90°C’deki sonuçlarla karşılaştırıldığında yine benzer şekilde sentetik buğday nişastası örneklerinin doğal buğday nişastasına göre düşük şişme kapasitesi sergilediği görülmektedir. İncelenen sentetik buğday nişastası örnekleri, muhtemelen daha kısa amilopektin zincirlerine veya amiloz içeriği bakımından literatürdeki buğday nişastalarına göre farklı bir kompozisyona sahiptir. Literatürde de belirtildiği üzere, amiloz içeriğinin yüksek olması şişme kuvvetini düşüren temel faktörlerden biridir (Tester ve Morrison, 1990).

4.8. Viskozite Özellikleri

Sentetik buğdaylardan elde edilen nişasta örneklerinin RVA grafikleri Şekil 4.16’da, grafiklerden elde edilen RVA değerleri ise Tablo 4.4’te verilmiştir. Nişasta örneklerinin *maksimum (pik) viskozite*, *incelme sonrası viskozite* ve *son viskozite* değerleri sırasıyla 37856–204 cP, 1723–5100 cP ve 3258–8307 cP arasında değişmektedir. En yüksek pik viskozitesi B12 numaralı nişastada, en düşük değer ise B20’de belirlenmiştir. İncelme sonrası viskozite ve son viskozite değerleri ise en yüksek B18, en düşük B20 numaralı örneklerde ölçülmüştür.

Pik viskozitesi ile incelme sonrası viskozite arasındaki fark *karıştırma ile viskozite düşüşü* olarak değerlendirilmektedir. Bu değer en yüksek (2292 cP) B4 nişastasında iken en düşük (986 cP) B18 numaralı örnekte ölçülmüştür. İncelme sonrası viskozite ile son viskozite değerleri arasındaki fark *katılaşma* olarak adlandırılmaktadır. Örneklerin katılaşma değerlerinin 1536 cP (B20) – 3528 cP (B4) arasında değiştiği belirlenmiştir. Nişasta örneklerinin *çirilenme başlangıç sıcaklık* değerleri 68,2°C

(B20) – 72,7°C (B17) arasında ve *pik süresi* 4,87 dk (B20) – 6,77 dk (B9) arasında bulunmuştur.



Şekil 4.16. Sentetik buğday nişastalarına ait RVA grafikleri

Bir çalışmada (Hu ve ark., 2023) buğday nişastasının RVA özellikleri incelendiğinde pik viskozitesi, incelme sonrası viskozite, viskozite düşüşü, son viskozite ve katılaşma değerleri sırasıyla 1039 cP, 672 cP, 367 cP, 1245 cP ve 533 cP olarak belirlenmiştir. Başka bir çalışmada (Yun ve Quail, 1999) 5 farklı Avustralya buğdayı nişastasının RVA özellikleri incelenmiştir. Pik viskozitesi 372 – 1440 cP, son viskozitesi 564 – 2088 cP ve katılaşma değerinin 300 – 1128 cP arasında değiştiği, pik süresinin 3,88 – 5,75 dk arasında olduğu tespit edilmiştir. Bu verilerle karşılaştırıldığında, sentetik buğday nişastalarının tüm viskozite değerlerinin belirgin şekilde yüksek olduğu görülmektedir. Bu da sentetik buğday nişastalarının daha güçlü kıvam ve jel yapısı oluşturma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Kumar ve Khatkar (2017) tarafından yapılan bir çalışmada ise buğday nişastasında pik viskozitesi 3611 cP, incelme sonrası viskozite 2883 cP, son viskozite 4328 cP ve katılaşma 1445 cP olarak belirlenmiştir. İncelme sonrası viskozite ve son viskozite değerleri, bu çalışmadaki bazı sentetik buğday nişastalarının değerleri ile benzerlik göstermektedir. Diğer viskozite değerlerinin ise sentetik buğday nişastasında daha

yüksek olduğu görülmektedir. Çirilenme sıcaklığı çalışmada 75°C olarak tespit edilmiştir, bu değer sentetik buğday nişastasının değerlerinin üzerindedir.

Tablo 4.4. Sentetik buğdaylardan elde edilen nişasta örneklerinin RVA çirilenme özellikleri

Örnek No	PV (cP)	İV (cP)	KVA (cP)	SV (cP)	K (cP)	PS (dk)	ÇS (°C)
B1	5637	4134	1503	6763	2628	6,24	70,6
B2	4453	2580	1872	4992	2411	5,70	69,0
B3	6035	4568	1468	7378	2811	6,47	71,0
B4	5823	3532	2292	7060	3528	6,03	70,7
B5	6111	4198	1914	7468	3270	6,10	70,3
B6	5912	4839	1073	7982	3143	6,44	71,4
B7	6025	4578	1447	7398	2819	6,00	68,6
B8	5909	4734	1175	7871	3137	6,50	68,9
B9	6130	4879	1251	7074	2195	6,77	72,2
B10	3934	2115	1818	3838	1723	5,27	69,1
B11	4718	3102	1617	5325	2223	6,00	69,8
B12	6204	5058	1145	7862	2803	6,33	69,4
B13	5801	4629	1172	7673	3044	6,62	72,3
B14	5664	4362	1303	6939	2577	6,53	72,2
B15	5749	3658	1791	7107	3149	5,97	67,4
B16	5640	3469	2172	6137	2668	5,84	69,8
B17	5734	4470	1264	7056	2585	6,64	72,7
B18	6086	5100	986	8307	3206	6,50	69,8
B19	5156	3356	1800	6250	2894	5,90	69,8
B20	3785	1723	2062	3258	1536	4,87	68,2

PV: Pik viskozitesi, İSV: İncelme sonrası viskozite, KVA: Karıştırma ile viskozite azalması, SV: Son viskozite, K: Katılma, PS: Pik süresi, ÇS: Çirilenme sıcaklığı

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 20 farklı sentetik hekzaploid buğdaydan nişasta izolasyonu yapılmış ve elde edilen nişastaların fizikokimyasal ve fonksiyonel özellikleri analiz edilerek karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler normal ekmeklik buğday nişastasına ait literatür çalışmaları ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan analizlerde; sentetik buğdaylardan elde edilen un verimlerinin %69–78 arasında, bu unlardan elde edilen nişasta verimlerinin ise %16,7–32,1 arasında değiştiği saptanmıştır. Nişastaların nem içerikleri %7,2-10,5 arasında olup depolama stabilitesi açısından uygundur. Amiloz içerikleri %28,7–33,4 arasında değişen sentetik buğday nişastalarının çoğu, literatürde bildirilen %25–30 amiloz içeriğinin üzerinde değerlere sahiptir. Bu durum, yabani genom katkısının amiloz biyosentezinde etkili olabileceğini düşündürmektedir. XRD analizlerinde tüm örneklerde A-tipi kırınım deseni görülmüş olup, %63,7–70,6 aralığında kristalinite oranları belirlenmiştir. Bu oranlar, doğal buğday nişastasına kıyasla oldukça yüksektir ve bu durum sentetik buğday nişastaların daha düzenli iç yapıya sahip olabileceğine göstermektedir. Morfolojik incelemelerde granüllerin çoğunlukla oval, küresel ve yassı formlarda olduğu saptanmış, bu yapıların doğal buğday nişastası ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Fonksiyonel özellikler açısından değerlendirildiğinde; çözünürlük (%0,18-1,78), su bağlama kapasitesi (%102,5-125,5) ve şişme kuvveti (8,90-11,65 g/g) değerlerinin doğal buğday nişastasına kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ancak buna karşılık RVA analizlerinde, sentetik buğday nişastalarının normal buğday nişastası için literatürde bildirilen değerlere kıyasla daha yüksek viskozite değerlerine (3782-6171 cP pik viskozitesi, 3240-8000 cP son viskozite, 1593-3230 cP katılaşma) değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu durum kıvam verme ve jel oluşturma kapasitelerinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Bu veriler ışığında, sentetik buğday nişastalarının özellikle yüksek amiloz içeriği ve viskozite oluşturma kapasitesiyle jel oluşturuucu, film yapıcı veya su tutucu özelliklerin ön planda olduğu bazı gıda uygulamalarında katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Ayrıca yüksek kristalinite oranları, bu nişastaların endüstride daha stabil yapılarla kullanılabileceğini göstermektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda:

- Bu nişastaların retrogradasyon eğilimleri, sindirilebilirlik profilleri ve reolojik davranışları detaylı olarak incelenmeli,
- Geniş ölçekli gıda sistemlerinde (örneğin sütlü tatlılar, soslar, kaplamalar) uygulamalı testler yapılmalı,
- Farklı sentetik buğday hatlarının genetik arka planları ile nişasta özellikleri arasındaki ilişkiler genomik düzeyde araştırılmalıdır.

Sentetik buğdaylar hem tarımsal üretimde hem de fonksiyonel gıda bileşeni geliştirme sürecinde yeni bir alternatif olarak değerlendirilebilecek potansiyele sahiptir.

KAYNAKLAR

- AACC (2010). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, 11th edition. AACC Inc, St. Paul, USA.
- Akın, A. (2022). *Tescil Ettirilmiş Ekmeklik Buğday Çeşitlerinin Beslenme ve Teknolojik Kalite Bakımından Değerlendirilmesi* [Doktora Tezi] Ankara Üniversitesi.
- Aktaş, H., Karaman, M., Erdemci, İ., Kendal, E., Tekdal, S., Kılıç, H., & Oral, E. (2017). Sentetik ve modern ekmeklik buğday genotiplerinin (*Triticum aestivum* L.) verim ve kalite özelliklerinin karşılaştırılması. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 3(1), 25-32.
- Albayrak, Ö., Kızılgöçü, F., Yıldırım, M., & Akıncı, C. (2020). Farklı çevrelerde yetiştirilen yazlık ekmeklik buğday genotiplerinin tane verimi ve kalite özellikleri yönünden incelenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 35(2), 167-174.
- Anonim (2024). <https://bizimbitkiler.org.tr/v2/hiyerarsi.php?c=Aegilops>, Erişim tarihi: 25.04.2024.
- Arık Kibar, E. A., Gönenç, I., & Us, F. (2010). Gelatinization of waxy, normal and high amylose corn starches. *GIDA*, 35(4), 237-244.
- Atak, M (2017). Buğday ve Türkiye Buğday Köy Çeşitleri, MKÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 22(2):71-88.
- Azhaguvel P, Rudd J. C., Ma, Y., Luo, M. C., & Weng, Y. (2012). Fine genetic mapping of greenbug aphid-resistance gene Gb3 in *Aegilops tauschii*. *Theoretical and Applied Genetics*, 124(3), 555–564.
- Baloch, F. S., Alsaleh, A., Shadid, M. Q., Çiftçi, V., Miera, L. E. S., Aasim, M., Nadeem, M. A., Aktaş, H., Özkan, H., & Hatipoğlu, R. (2017). A whole genome DArT seq and SNP analysis for genetic diversity assessment in durum wheat from Central Fertile Crescent. *Plos One*, 12(1), 1-18.
- Barrera, G. N., Calderón-Domínguez, G., Chanona-Pérez, J., Gutiérrez-López, G. F., León, A. E., & Ribotta, P. D. (2013). Evaluation of the mechanical damage on wheat starch granules by SEM, ESEM, AFM and texture image analysis. *Carbohydrate Polymers*, 98(2), 1449-1457.
- Belderok, B., Mesdag, J., & Donner, D. A. (2000). *Bread-making quality of wheat: a century of breeding in Europe*. Springer Science & Business Media.
- BeMiller, J., & Whistler, R. (2009). *Starch: Chemistry and Technology* (3rd ed.), Academic Press, New York, USA.
- Cabi, E., Doğan, M., Çingay, B., & Aydınkal, R. M. (2014). Türkiye'deki *Aegilops uniaristata* Vis. (Poaceae): Tekkılçık türü üzerine bazı notlar. *Bağbahçe Bilim Dergisi*, 1(1): 27-34.

- Calderini, D. F., & Ortiz-Monasterio, I. (2003). Grain position affects grain macronutrient and micronutrient concentrations in wheat. *Crop Science*, 43(1), 141–151.
- Casey, L. W., Lavrencic, P., Bentham, A. R., Cesari, S., Ericsson, D. J., Croll, T., Turk, D., Anderson, P. A., Mark, A. E., Dodds, P. N., Mobli, M., Kope, B., & Williams, S. J. (2016). The CC domain structure from the wheat stem rust resistance protein Sr33 challenges paradigms for dimerization in plant NLR proteins. *Biological Sciences*, 113(45), 12856–12861.
- Choi, S. G., & Kerr, W. L. (2004). Swelling characteristics of native and chemically modified wheat starches as a function of heating temperature and time. *Starch-Stärke*, 56(5), 181-189.
- CIMMYT-Uluslararası Buğday ve Mısır Geliştirme Merkezi (2017). <http://www.cimmyt.org/global-wheat-research/> Erişim tarihi: 25.04.2024.
- Çay, F. (2020). *Sentetik Hekzaploid Buğday Hatları ve Ekmeklik Buğday Genotiplerinin Morfolojik ve Moleküler Karakterizasyonu* [Doktora Tezi] Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi.
- Das, M. K., Bai, G. H., Mujeeb-Kazi, A., & Rajaram, S. (2016). Genetic diversity among synthetic hexaploid wheat accessions (*Triticum aestivum*) with resistance to several fungal diseases. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 63(8), 1285–1296.
- Del Blanco, I. A., Rajaram, S., & Kronstad, W. E. (2001). Agronomic potential of synthetic hexaploid wheat-derived populations. *Crop Science*, 41(3), 670–676.
- Delcour, J. A., & Hoseney, R. C. (2010). *Principles of Cereal Science and Technology* (3rd ed.), AACC Press Inc., USA.
- Dreccer, A. F., Borgognone, A. G., Ogbonnaya, F. C., Trethowan, R. M., & Winter, B. (2007). CIMMYT-selected derived synthetic bread wheats for rainfed environments: yield evaluation in Mexico and Australia. *Field Crops Research*, 100(2–3), 218–228.
- Du, Y., Zang, Y. H., & Du, J. (2011). Effects of starch on latex migration and on paper coating properties. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(16), 9781-9786.
- Eliasson, A. C., & Gudmundsson, M. (2017). Starch: Physiochemical and Functional Aspects. In A. C. Eliasson (Ed.), *Carbohydrates in Food* (3rd ed., pp. 479-578), CRC Press, USA.
- Englyst, H. N., & Hudson, G. J. (1996). The classification and measurement of dietary carbohydrates. *Food Chemistry*, 57(1), 15–21.
- Faris, J. D. (2014). Wheat Domestication: Key to Agricultural Revolutions Past and Future. In R. Tuberosa, A. Graner, E. Frison (Eds.), *Genomics of Plant Genetic Resources. Volume I. Managing, sequencing and mining genetic resources* (pp.439-464), Springer.
- Fribe, B., & Gill, B. S. (1996). Chromosome banding and genomes analysis in diploid and cultivated polyploidy wheats. In P. P. Jauhar (Ed.), *Methods of genome analysis in plants* (pp. 39-60), CRC Press, USA.

- Gatford, K. T., Ogonnaya, P. F., Eastwood, R. F., & Halloran, G. M. (2002). Novel resistance to pre-harvest sprouting in Australian wheat from the wild relative *Triticum tauschii*. *Euphytica*, 126(1), 67-76.
- Guzman, C., Medina-Larque, A. S., Velu, G., Gonzalez-Santoyo, H., Singh, R. P., Huerta-Espino, J., Ortiz-Monasterio, I., & Pena, R. J. (2014). Use of wheat genetic resources to develop biofortified wheat with enhanced grain zinc and iron concentrations and desirable processing quality. *Journal of Cereal Science*, 60(3), 617-622.
- Hajjar, R., & Hodgkin, T. (2007). The use of wild relatives in crop improvement: A survey of developments over the last 20 years. *Euphytica*, 156, 1-13.
- Htoon, A., Shrestha, A. K., Flanagan, B. M., Lopez-Rubio, A., Bird, A. R., Gilbert, E. P., & Gidley, M. J. (2009). Effects of processing high amylose maize starches under controlled conditions on structural organisation and amylase digestibility. *Carbohydrate Polymers*, 75(2), 236-245.
- Hu, H., Qiu, M., Qiu, Z., Li, S., Lan, L., & Liu, X. (2023). Variation in wheat quality and starch structure under granary conditions during long-term storage. *Foods*, 12(9), 1886.
- Imtiaz, M., Ogonnaya, F. C., Oman, J., & van Ginkel, M. (2008). Characterization of quantitative trait loci controlling genetic variation for preharvest sprouting in synthetic backcross-derived wheat lines. *Genetics*, 178(3), 1725-1736.
- İlgün, S. Y. (2019). *Orta Anadolu Bölgesi için geliştirilmiş makarnalık buğday ve ekmeklik buğday çeşit adaylarının verim ve kalite performans tespiti* [Yüksek Lisans Tezi] Selçuk Üniversitesi.
- James, M. G., Denyer, K., & Myers, A. M. (2003). Starch synthesis in the cereal endosperm. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(3), 215-222.
- Ji, H., Li, D., Zhang, L., Li, M., & Ma, H. (2024). Effect of atmospheric pressure plasma jet on the structure and physicochemical properties of wheat starch. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1386778.
- Jia, R., Cui, C., Gao, L., Qin, Y., Ji, N., Dai, L., Wang, Y., Xiong, L., Shi, R., & Sun, Q. (2023). A review of starch swelling behavior: Its mechanism, determination methods, influencing factors, and influence on food quality. *Carbohydrate Polymers*, 321, 121260.
- Jiang, H., Campbell, M., Blanco, M., & Jane, J. (2010). Characterization of maize amylose-extender (ae) mutant starches. Part II: Structures and properties of starch residues remaining after enzymatic hydrolysis at boiling-water temperature. *Carbohydrate Polymers*, 80(1), 1-12.
- Jiang J., Friebe, B., & Gill, B. S. (1994). Recent advances in alien gene transfer in wheat. *Euphytica*, 73, 199-212.
- Jighly, A., Alagu, M., Makdis, F., Singh, M., Singh, S., Emebiri, L. C., Singh, S., Emebiri, L. C., & Ogonnaya, F. C. (2016). Genomic regions conferring resistance to multiple fungal pathogens in synthetic hexaploid wheat. *Molecular Breeding*, 36(9), 127.
- Kahraman, K., & Öztürk Muti, S. (2021). Nişasta: yapısı ve özellikleri. Köksel, H. (Ed.) *Hububat Bilimi ve Teknolojisi* (ss. 93-115) içinde, Sidas Medya, İzmir.

- Kaya, Y. (2018). Buğdayın Kültüre Alınması. Bilgi Notu 1 (19 Sayfa). Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt.
- Kaur, L., Singh, J., & McCarthy, O. J. (2007). Effect of cross-linking on some properties of potato, tapioca, and wheat starches. *Starch/Stärke*, 59(9), 409–424.
- Kazi, A. G., Rasheed, A., Mahmood, T., & Mujeeb-Kazi, A. (2012). Molecular and morphological diversity with biotic stress resistances of high 1000-grain weight synthetic hexaploid wheats. *Pakistan Journal of Botany*, 44(3), 1021–1028.
- Kim, K. H., & Kim, J. Y. (2021). Understanding wheat starch metabolism in properties, environmental stress condition, and molecular approaches for value-added utilization. *Plants*, 10(11), 2282.
- Koçak, N., Seçin, R., & Atlı, A. (1993). Ekmeklik buğday paçalı araştırmaları I. Paçal uygulama ile un verimi ve kül miktarının düzeltilmesi. *Gıda*, 18(1), 13–19.
- Korkut, A., & Kahraman, K. (2019). Nişasta Nanokristali Üretimi ve Karakterizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 17, 471–476.
- Köksel, H. (2005). Karbonhidratlar. I. Saldamlı (Ed.), *Gıda Kimyası* (ss. 49-132) içinde, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara.
- Kumar, R., & Khatkar, B. S. (2017). Thermal, pasting and morphological properties of starch granules of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 2403-2410.
- Lage, J., Skovmand, B., Pena, R. J., & Andersen, S. B. (2006). Grain quality of emmer wheat derived synthetic hexaploid wheats. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53, 955–962.
- Lawal, O. S. (2005). Studies on the hydrothermal modifications of new cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 37(5), 268-277.
- Li, A., Liu, D., Yang, W., Kishii, M., & Mao, L. (2018). Synthetic Hexaploid Wheat: Yesterday, Today, and Tomorrow. *Engineering*, 4, 552–558.
- Lindeboom, N., Chang, P. R., & Tyler, R. T. (2004). Comparative properties of potato, cassava, and wheat starches. *Carbohydrate Polymers*, 55(4), 459–470.
- Liu, K. (2011). Grain structure and composition. In K. Liu, K.A. Rosentrater (Ed.), *Distillers Grains: Production, Properties, and Utilization* (pp. 45-71), CRC Press, USA.
- Liu, Q. (2005). Understanding starches and their roles in foods. In S. Cui (Ed.), *Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Properties, and Applications* (pp. 309-356), CRC Press, USA.
- Liu, G., Hong, Y., Gu, Z., Li, Z., & Cheng, L. (2015). Pullulanase hydrolysis behaviors and hydrogel properties of debranched starches from different sources. *Food Hydrocolloids*, 45, 351-360.
- Liu, X. M., Gill, B. S., & Chen, M. S. (2005). Hessian fly resistance gene H13 is mapped to a distal cluster of resistance genes in chromosome 6DS of wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 111(2), 243–249.

- Liu, X., Cai, R., Li, Y., Zhang, M., Yang, M., & Zhang, Y. (2018). Starch component characteristics and physicochemical properties in wheat grains with different amylose contents in relation to low light after anthesis. *Starch-Stärke*, 70(1-2), 1700050.
- Luo J, Hao M, Zhang L, Chen J, Zhang L, Yuan Z, Yan, Z., Zheng, Y., Zhang, H., Yen, Y., & Liu, D. (2012). Microsatellite mutation rate during allohexaploidization of newly resynthesized wheat. *International Journal of Molecular Science*, 13(10), 12533–12543.
- Ma, H., Singh, R. P., & Mujeeb-Kazi, A. (1995). Suppression expression of resistance to stripe rust in synthetic hexaploid wheat (*Triticum turgidum* x *T. tauschii*). *Euphytica*, 83(2), 87–93.
- Masood, R., Ali, N., Jamil, M., Bibi, K., Rudd, J. C., & Mujeeb-Kazi, A. (2016). Novel genetic diversity of the alien D-genome synthetic hexaploid wheat (2n=6x=42, AABBDD) germplasm for various phenology traits. *Pakistan Journal of Botany*, 48(5), 2017–2024.
- Massaux, C., Sindic, M., Lenartz, J., Sinnaeve, G., Bodson, B., Falisse, A., Dardenne, P., & Deroanne, C. (2008). Variations in physicochemical and functional properties of starches extracted from European soft wheat (*Triticum aestivum* L.): The importance to preserve the varietal identity. *Carbohydrate Polymers*, 71, 32–41.
- Matsuoka, Y. (2011). Evaluation of polyploid *Triticum* wheats under cultivation: The role of domestication, natural hybridization and allopolyploid specification in their diversification. *Plant and Cell Physiology*, 52(5), 750-764.
- Meshram, M. W., Patil, V. V., Mhaske, S. T., & Thorat, B. N. (2009). Graft copolymers of starch and its application in textiles. *Carbohydrate Polymers*, 75(1), 71-78.
- Morell, M. K., & Myers, A. M. (2005). Towards the rational design of cereal starches. *Current Opinion in Plant Biology*, 8, 204-210.
- Mujeeb-Kazi, A., Gul, A., Farooq, M., Rizwan, S., & Ahmad, I. (2008). Rebirth of synthetic hexaploids with global implications for wheat improvement. *Australian Journal of Agricultural Research*, 59(5), 391–398.
- Munns, R., Schachtman, D. P., & Condon, A. G. (1995). The significance of a 2-phase growth response to salinity in wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology*, 22(4), 561–569.
- Mutlu, S., Kahraman, K., Severcan, S., & Öztürk, S. (2018). Modelling the effects of debranching and microwave irradiation treatments on the properties of high amylose corn starch by using response surface methodology. *Food Biophysics*, 13, 263–273.
- Myers, A. M., Morell, M. K., James, M. G., & Ball, S. G. (2000). Recent progress toward understanding biosynthesis of the amylopectin crystal. *Plant Physiology*, 122(4), 989-998.
- Najafi, S. (2012). *Türkiye ve İran Kökenli Bazı Aegilops Türlerinin Karyotip Karakterizasyonu* [Doktora Tezi] Ankara Üniversitesi.

- Ni, D., Yang, F., Lin, L., Sun, C., Ye, X., Wang, L., & Kong, X. (2022). Interrelating grain hardness index of wheat with physicochemical and structural properties of starch extracted therefrom. *Foods*, 11(8), 1087.
- Nkongolo, K. K., Quick, J. S., Limin, A. E., & Fowler, D.B. (1991). Sources and inheritance of resistance to Russian wheat aphid in *Triticum* species, amphiploids and *Triticum tauschii*. *Canadian Journal of Plant Science*, 71(3), 703–708.
- Okamoto, Y., Nguyen, A.T., Yoshioka, M., Iehisa, J. C. M., & Takumi, S. (2013). Identification of quantitative trait loci controlling grain size and shape in the D genome of synthetic hexaploid wheat lines. *Breeding Science*, 63(4), 423–429.
- Pena, R.J., Cervantes- Espinosa, M.I., Posads, G., Ortizmonasterio, J.I., & Dubat, A. (2017). Gluten composition, gluten quality, and drought properties (National – Mixograph; Chopin – Mixolab) of high yielding wheats derived from crosses between common (*T. aestivum*) and synthetic (*Triticum dicoccum* x *Aegilops tauschii*) wheats. *Journal of Cereal Science*, 78, 243–249.
- Peng, J. H., Sun, D., & Nevo, E. (2011a). Wild emmer wheat, *Triticum dicoccoides*, occupies a pivotal position in wheat domestication process. *Australian Journal of Crop Science*, 5(9), 1127–1143.
- Peng, J. H., Sun, D., & Nevo, E. (2011b). Domestication, evaluation, genetics and genomics in wheat. *Molecular Breeding*, 28, 281–301.
- Periyannan, S., Bansal, U., Bariana, H., Deal, K., Luo, M. C., Dvorak, J., & Lagudah, E. (2014). Identification of a robust molecular marker for the detection of the stem rust resistance gene *Sr45* in common wheat. *Theoretical Applied Genetics*, 127(4) 947–955.
- Pritchard, D. J., Hollington, P. A., Davies, W. P., Gorham, J. L., Diaz de Leon, F., & Mujeeb-Kazi, A. (2002). K^+/Na^+ discrimination in synthetic hexaploid wheat lines: Transfer of the trait for K^+/Na^+ discrimination from *Aegilops tauschii* into a *Triticum turgidum* background. *Cereal Research Community*, 30, 261–267.
- Rathey, A., Shorter, R., Chapman, S., Dreccer, F., & van Herwaarden, A. (2009). Variation for and relationships among biomass and grain yield component traits conferring improved yield and grain weight in an elite wheat population grown in variable yield environments. *Crop and Pasture Science*, 60(8), 717–729.
- Robyt, J. F. (1998). *Essentials of Carbohydrate Chemistry*. Springer-Verlag, New York.
- Romero, M. D., Montes, M. J., Sin, E., Andres, M. F., & Delibes, A. (1998). A cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) resistance gene transferred from *Ae. triuncialis* to hexaploid wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 96, 1135–1140.
- Rosyara, U., Kishii, M., Payne, T., Sansaloni, C. P., Singh, R. P., Braun, H-J., & Dreisigacker, S. (2019). Genetic Contribution of Synthetic Hexaploid Wheat to CIMMYT's Spring Bread Wheat Breeding Germplasm. *Scientific Reports*, 9, 12355.

- Sasaki, T., & Matsuki, J. (1998). Effect of wheat starch structure on swelling power. *Cereal Chemistry*, 75(4), 525-529.
- Shamanin, V. P., Tekin-Cakmak, Z. H., Karasu, S., Pototskaya, I. V., Shepelev, S. S., Chursin, A. S., Morgounov, A. I., Sagdic, O., & Koxsel, H. (2023). Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Synthetic Hexaploid Wheats. *Plants*, 12, 2301.
- Shearman, V. J., Sylvester-Bradley, R., Scott, R. K., & Foulkes, M. J. (2005). Physiological processes associated with wheat yield progress in the UK. *Crop Science*, 45(1), 175–185.
- Shevkani, K., Singh, N., Bajaj, R., & Kaur, A. (2017). Wheat starch production, structure, functionality and applications—a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 52(1), 38-58.
- Shewry, P. R. (2009). Wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60(6), 1537–1553.
- Shewry, P. R., & Hey, S. J. (2015). The contribution of wheat to human diet and health. *Food and Energy Security*, 4(3), 178–202.
- Silva Clerici, M. T. P., & Schmieie, M. (2018). *Starches for Food Application: Chemical, Technological and Health Properties*. Academic Press, London, UK.
- Smith, A. M. (2001). The Biosynthesis of Starch Granules. *Biomacromolecules*, 2(2), 335- 341.
- Tadesse, W., Schmolke, M., Hsam, S. L. K., Mohler, V., Wenzel, G., & Zeller, F. J. (2007). Molecular mapping of resistance genes to tan spot [*Pyrenophora tritici-repentis* race 1] in synthetic wheat lines. *Theoretical and Applied Genetics*, 114(5), 855–862.
- Tester, R. F., & Morrison, W. R. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chemistry*, 67(6), 551-557.
- Trethowan, R. M., & Mujeeb-Kazi, A. (2008). Novel germplasm resources for improving environmental stress tolerance of hexaploid wheat. *Crop Science*, 48(4), 1255–1265.
- van Ginkel, M., & Ogbonnaya, F. (2007). Novel genetic diversity from synthetic wheats in breeding cultivars for changing production conditions. *Field Crops Research*, 104(1–3), 86–94.
- van Slageren, M. (1994). *Wild wheats: a monograph of Aegilops L. and Amblyopyrum (Jaub. & Spach) Eig (Poaceae)*. Wageningen Agricultural University Papers.
- Wang, H., Xu, J., & Wei, C. (2021). High-amylose wheat starch: Structural basis for water absorption. *Carbohydrate Polymers*, 252, 117270.
- Wang, J., Huang, J., Liang, Q., & Gao, Q. (2024). Effects of heat–moisture treatment on structural characteristics and in vitro digestibility of A-and B-type wheat starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 256, 128012.
- Williams, M. D. H. M., Pena, R. J., & Mujeeb-Kaazi, A. (1993). Seed protein and isozyme variations in *Triticum tauschii* (*Ae. squarrosa*). *Theoretical and Applied Genetics*, 87, 257-263.

- Yun, S-H., & Quail, K. (1999). RVA Pasting properties of Australian wheat starches *Starch/Stärke*, 51(8-9), 274–280.
- Zaharieva, M., E. Gaulin, M. Havaux, E. Acevedo, & Monneveux, P. (2001). Drought and heat responses in the wild wheat relative *Ae. geniculata*: potential interest for wheat improvement. *Crop Science*, 41, 1321-1329.
- Zeibig, F., Kilian, B., & Frei, M. (2022). The grain quality of wheat wild relatives in the evolutionary context. *Theoretical Applied Genetics*, 135, 4029–4048.
- Zhang, B., Li, X., Liu, J., Xie, F., & Chen, L. (2013). Supramolecular structure of A- and B-type granules of wheat starch. *Food Hydrocolloids*, 31(1), 68-73.
- Zhang, L. Q, Liu, D. C., Zheng, Y. L., Yan, Z. H., Dai, S. F., Li, Y. F., Jiang, Q., Ye, Y-Q., & Yen, Y. (2010). Frequent occurrence of unreduced gametes in *Triticum turgidum*–*Aegilops tauschii* hybrids. *Euphytica*, 172(2), 285–294.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ahmet ŞENOL

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans** : 2015, Balıkesir Üniversitesi, Mimarlık-Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü
- Yüksek Lisans** : 2021, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR:

Şenol, A., Kahraman, K., Koksel, H. & Muti Öztürk, S. (2025). Isolation and characterization of starch from synthetic hexaploid wheat samples. (Under review).