

**T.C.  
HASAN KALYONCU ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
BESLENME VE DİYETETİK ANABİLİM DALI**



**KAVUZSUZ ARPADAN MİKRODALGA DESTEKLİ BETA  
GLUKAN EKSTRAKSİYONU**

**Saadet ÖZEN**

**DOKTORA TEZİ**

**GAZİANTEP - 2024**



## LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ DOKTORA TEZ KABUL VE ONAY FORMU

Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalı Doktora Programı öğrencisi **Saadet ÖZEN** tarafından hazırlanan “**Kavuzsuz Arpadan Mikrodalga Destekli Beta Glukan Ekstraksiyonu**” başlıklı tez, **18/04/2024** tarihinde yapılan savunma sınavı sonucu **başarılı** bulunarak jürimiz tarafından **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

| <u>Görevi</u>        | <u>Unvanı, Adı ve Soyadı</u> | <u>Kurumu/Üniversitesi</u>                      | <u>İmzası:</u> |
|----------------------|------------------------------|---|----------------|
| <b>Tez Danışmanı</b> | Dr. Öğretim Üyesi Ayşe ÜNLÜ  | Hasan Kalyoncu Üniversitesi                     |                |
| <b>Jüri Başkanı</b>  | Prof. Dr. Yasemin BEYHAN     | Hasan Kalyoncu Üniversitesi                     |                |
| <b>Jüri Üyesi</b>    | Prof. Dr. Mine YURTTAGÜL     | Hasan Kalyoncu Üniversitesi                     |                |
| <b>Jüri Üyesi</b>    | Prof. Dr. Fahrettin GÖĞÜŞ    | Gaziantep Üniversitesi                          |                |
| <b>Jüri Üyesi</b>    | Doç. Dr. Elif Esra ÖZTÜRK    | Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi |                |

**Bu tez Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu kararı ile onaylanmıştır.**

Doç. Dr. Ufuk AKBAŞ  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Saadet ÖZEN

Tarih: 18.04.2024

**HASAN KALYONCU ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**BESLENME VE DİYETETİK ANABİLİM DALI**

**KAVUZSUZ ARPADAN MİKRODALGA DESTEKLİ BETA GLUKAN**  
**EKSTRAKSİYONU**

**Saadet ÖZEN**

**DOKTORA TEZİ**

**Danışman**  
**Dr. Öğretim Üyesi Ayşe ÜNLÜ**

**ÖZET**

Bu araştırma ülkemizde en çok yetiştirilen tahıllardan olan arpadan yüksek verim ve saflıkta beta glukan ekstrete etmek amacıyla yapılmıştır. Ekstraksiyon için beta glukan içeriği daha yüksek olan kavuzsuz arpa seçilmiştir. Ekstraksiyon yöntemi olarak mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O kullanılmıştır. Bu yöntem bu konuda dünyada ilk kez denenmiştir. Ekstraksiyonda optimum koşullar sıcaklık olarak 47,74 °C, zaman olarak 19,92 dakika ve su: arpa unu oranı olarak 10,10:1 olarak belirlenmiştir. Bu koşullar altında beta glukan verimi %62,43±1,39 ve beta glukan saflığı ise %67,17±0,57 olarak belirlenmiştir. Ayrıca klasik sulu ekstraksiyona göre daha yüksek verim ve saflıkta beta glukan ekstraktı elde edilmiştir (p<0,05). Geliştirilen yöntem, daha kısa sürede (180 dakika; 19,92 dakika) daha az çözücü (15:1; 10,10:1) kullanılarak avantaj sağlamıştır. Total kolesterolü ve düşük dansiteli lipoprotein (LDL) kolesterolü azaltması, postprandiyal glikoz artışını inhibe etmesi, kronik gastritte mukozal hasarı azaltması, bağışıklık sistemini geliştirmesi, immünomodülatör gibi birçok sağlık yararına sahip beta glukanı molekül yapısına zarar vermeden ekstrete etmek önemlidir. Bu sebeple literatürde en çok kullanılan klasik sulu ekstraksiyon ile kıyaslanmıştır. Her iki yöntemle elde edilen beta glukan ekstraktlarının karakterizasyonu tanımlanmıştır. Ekstraktların bileşim analizlerine bakıldığında geliştirilen yöntem ile daha fazla miktarda beta glukan, protein, nişasta, kül, arabinoksilan, lignin ve diğer maddeler ekstrete edilmiştir (p<0,05). Molekül ağırlıkları incelendiğinde, yüksek molekül ağırlıklı ekstraksiyon sağlanmıştır. Ağırlık ortalamalı molekül ağırlığı (M<sub>w</sub>) istatistiksel olarak anlamlı değilken, sayı ortalamalı moleküler ağırlık (M<sub>n</sub>), tepe noktası molekül ağırlığı (M<sub>p</sub>) ve polidispersite indeksi açısından (PDI) istatistiksel olarak geliştirilen yöntem daha avantajlı bulunmuştur (p<0,05). Mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yöntemiyle elde edilen ekstraktların molekül ağırlığı daha yüksek olduğu için suda çözünürlükleri daha düşük (%69,4±2,25) ve su tutma kapasitesi (%8,05±0,18) daha yüksektir (p<0,05). Ekstraktların Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) özellikleri benzerdir. Ekstraktların ısıya dayanıklı olduğu ve su tutma kapasiteleri nedeniyle pişirmeye ve kıvam verici olarak endüstriyel kullanıma uygun olduğu saptanmıştır. Ekstraktların rengi kıyaslandığında geliştirilen yöntem klasik yöntemle göre istatistiksel olarak daha parlak ve sarılığı daha azdır. Ayrıca her iki ekstrakt benzer morfolojik görüntülere sahiptir. Elde edilen beta glukan ekstraktı, sağlık yararlarından dolayı besin desteği veya gıda katkı maddesi olarak kullanılma potansiyeline sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** Kavuzsuz arpa, beta glukan ekstraksiyonu, optimizasyon, beta glukan karakterizasyonu

**MICROWAVE ASSISTED BETA GLUCAN EXTRACTION FROM  
HULLESS BARLEY**

**Saadet ÖZEN**

**PHD THESIS**

**Advisor**  
**Asst. Prof. Dr. Ayşe ÜNLÜ**

**ABSTRACT**

This thesis was carried out with the aim of extracting beta glucan in high yield and purity from barley, which is one of the most grown grains in our country. Hulless barley, which has a higher beta glucan content, was chosen for extraction. Microwave assisted high pressure CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O was used as the extraction method. This method has been tried for the first time in the world. The optimum conditions for extraction were determined as temperature 47.74 °C, time 19.92 minutes and water: barley flour ratio 10.10:1. Under these conditions, beta glucan yield was determined as 62.43±1.39% and beta glucan purity was determined as 67.17±0.57%. In addition, beta glucan extract was obtained in higher yield and purity compared to classical aqueous extraction (p<0.05). The developed method has the advantage of using less solvent (15:1; 10.10:1) in a shorter time (180 minutes; 19.92 minutes). It is important to extract beta glucan, which has many health benefits such as reducing total cholesterol and low-density lipoprotein (LDL) cholesterol, inhibiting postprandial glucose increase, reducing mucosal damage in chronic gastritis, improving the immune system, and being an immunomodulator, without damaging its molecular structure. For this reason, it has been compared with the classical aqueous extraction, which is the most used in the literature. Characterization of beta glucan extracts obtained by both methods has been described. Composition analysis of the extracts, more beta glucan, protein, starch, ash, arabinoxylan, lignin and other substances were extracted with the developed method (p <0.05). In terms of molecular weights, high molecular weight extraction was achieved. Weight average molecular weight (M<sub>w</sub>) was not statistically significant, but the statistically developed method was found to be more advantageous in terms of number average molecular weight (M<sub>n</sub>), peak molecular weight (M<sub>p</sub>) and polydispersity index (PDI) (p<0.05). The extracts obtained by microwave-assisted high pressure CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O extraction method have a higher molecular weight, therefore their water solubility is lower (69.4±2.25%) and their water holding capacity (8.05±0.18%) is higher (p<0.05). Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Differential Scanning Calorimetry (DSC) properties of the extracts are similar. It has been determined that the extracts are heat resistant and suitable for cooking and industrial use as a thickener due to their water retention capacity. When the color of the extracts is compared, the developed method is statistically brighter and less yellow than the classical method. Additionally, both extracts have similar morphological images. The resulting beta glucan extract has the potential to be used as a nutritional supplement or food additive due to its health benefits.

**Keywords:** Hulless barley, beta glucan extraction, optimization, beta glucan characterization

## ÖNSÖZ

Değerli meslek büyüğüm, akademik hayatımda ilk yol göstericim, birlikte çok zor ve çok güzel tecrübeler edindiğim, karakteri ve duruşundan çok etkilendiğim, azmi, iş saygısı ve disiplini ile örnek aldığım, diyetisyenliğe ve akademisyenliğine yaklaşımı hep özveri olan ve son olarak tez danışmanlığımı üstenen, uçarı hayallerimi bile destekleyen, yüreklendiren değerli tez danışanım Dr. Öğr. Üyesi Sayın Ayşe ÜNLÜ'ye,

Akademisyenliği, yüce gönüllüğü, örnek hocalığı ile tanıdığım, en zor anımda elimden tutan, zor kararlarımda fikrine en çok ihtiyaç duyduğum, akademik kariyerine ve vizyonuna hayranlık duyduğum ve bu araştırmada laboratuvarının kapılarını açan, her türlü bilgi ve deneyimi ile yol gösteren Prof. Dr. Sayın Fahrettin GÖĞÜŞ'e,

Üniversite yıllarımdan beri akademisyenliği, mesleğine olan aşkı, özverisi ve çalışkanlığı ile beni etkileyen, tez izleme komitesinde bu araştırmaya çokça emek veren Prof. Dr. Sayın Gülden PEKCAN'a,

Çalışma sürecime zaman ayırmamda destek olan bölüm başkanım Doç Dr. Zehra GÖKÇE'ye ve yöneticilerime,

Diyetisyenlik mesleğinin duayeni, hepimize ilham olan kaybettiğimiz değerli hocamız Prof. Dr. Sayın Ayşe BAYSAL'a, lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimimde bana yol yordam gösteren, çalıştığım kurumlarda bana ilham olan tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma,

Tez sürecimi belki benim kadar benimseyen ve önemseyen, geç tanıdığım için çok üzüldüğüm, dostluğu benim için çok özel olan, akademisyenliğine, güçlü duruşuna anneliğine hayran olduğum, çalışmalarına eşlik eden, her daim bana destek olan ve yol gösteren değerli arkadaşım Sayın Doç. Dr. Hatice Neval ÖZBEK'e,

Kavuzsuz arpa temini için Türkiye Cumhuriyeti Tarım Orman Bakanlığı Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsüne ve heyecanımı paylaşarak projeyi ilgi ile takip eden, kavuzsuz arpanın insan beslenmesinde daha çok kullanılma umudunu benimle paylaşan Ziraat Yüksek Mühendisi Dr. Namuk ERGÜN'e

Kavuzsuz arpanın öğütülmesi sürecinde desteklerini esirgemeyen, besin olarak kullanılması yönünde hayallerimi paylaşan Yeni Güler Gıda/Cem Un firmasından Ali İhsan AYDINGÜLER'e

Kavuzsuz arpanın öğütölmesinde desteklerini esirgemeyen, tam tahıl öğütölmesinde geliştirdikleri yenilikçi ürünlerle bize çözüm sunan Erdal Özkan Makinadan Yasin ÖZKAN'a,

Kavuzsuz arpanın temin sürecinde, hayatımda birçok kritik sorunumda var olan, dostluğuna çok değer verdiğim sevgili dostum Merve ACIRLI'ya ve Erdem ES'e

Tez sürecine denk gelen asrın felaketi 6 Şubat 2023 depreminde geçirdiğimiz zor günlerde de lisans eğitimimde karşılaştığımız ilk günden beri de, hem dostluğu hem de kardeşliği ile ailemden bir olan sevgili dostum Neslihan ÜLGER ÖZTÜRK'e ve değerli eşi İbrahim ÖZTÜRK'e,

Tez sürecinde karşılaştığım birçok sorunda ilgisi ve sabrıyla bana destek olan, lojistik problemlerimin çözümünde çok emeği olan, dertlerimle vaktinden çok aldığım, desteği ile bugüne varmam da emeği çok olan değerli Selim MERCİMEK'e,

Bu araştırma sürecinde onlara daha az vakit ayırabildiğim çok sevgili arkadaşlarıma ve derdimle dertlenen, sevincimle gülen, yüreği benimle sıkılıp benimle genişleyen, tesellileri ve dualarıyla her daim benimle olan çok sevgili aileme,

Dünyaya geldiğinden beri, en eski arkadaşım, yoldaşım olan, varlığına binlerce şükrettiğim, seçme şansım olsa bile ondan başkasını asla seçmeyeceğim canım kardeşim Ercivan ÖZEN'e,

En çok hüznlenerek andığım ise, bu çalışmanın başında beraber hayal kurduğumuz, sürecimi ilgi ile takip eden, -bana hayal kurmayı, hayallerime cesaretle sahip çıkmayı, azimle vazgeçmemeyi öğreten, gözlerime hep şefkatle bakan- ama ne yazık ki araştırmanın sonuçlarını ve sevincimi paylaşmadan kaybettiğim, ardından dolmayacak bir boşluk bırakan, çok sevdiğim ve çok özlediğim sevgili dedeciğime çok teşekkür ederim.

Saadet ÖZEN

Gaziantep – 2024

## İÇİNDEKİLER

|  |          |
|--|----------|
| ÖZET .....   | iv       |
| ABSTRACT .....   | v        |
| ÖNSÖZ .....  | vi       |
| İÇİNDEKİLER.....   | viii     |
| ÇİZELGE DİZİNİ.....  | xi       |
| ŞEKİL DİZİNİ.....  | xii      |
| SİMGELER.....  | xiii     |
| KISALTMALAR.....   | xiv      |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>   | <b>1</b> |
| 1.1. Araştırmanın Önemi .....                                | 2        |
| 1.2. Çalışmanın Amacı .....                                  | 3        |
| 1.3. Özgün Değer ve Katkı.....                               | 3        |
| <b>2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE .....</b>                            | <b>5</b> |
| 2.1. Arpa .....  | 5        |
| 2.1.1. Arpanın tarihsel süreci.....                          | 5        |
| 2.1.2. Dünya’da ve Türkiye’de arpa üretimi ve tüketimi ..... | 6        |
| 2.1.3. Arpanın tane yapısı.....                              | 7        |
| 2.1.4. Arpanın tane bileşimi .....                           | 8        |
| 2.1.5. Kavuzsuz arpa.....                                    | 10       |
| 2.2. Diyet Lifleri ve Sağlık Yararları.....                  | 11       |
| 2.2.1. Diyet lifi tanımı .....                               | 11       |
| 2.2.2. Diyet lifi sınıflandırması.....                       | 12       |
| 2.2.3. Diyet lifi gereksinimi.....                           | 13       |
| 2.2.4. Diyet lifi karşılanma durumu.....                     | 14       |
| 2.2.5. Diyet liflerinin sağlık yararları .....               | 15       |
| 2.3. Beta Glukan .....                                       | 16       |
| 2.3.1. Beta glukanın kimyasal yapısı .....                   | 17       |
| 2.3.2. Beta glukanın kaynakları .....                        | 18       |
| 2.3.3. Beta glukanın sağlık yararları.....                   | 19       |
| 2.4. Beta Glukan Ekstraksiyonu .....                         | 22       |
| 2.4.1. Kuru ayırma teknikleri.....                           | 22       |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.4.2. Islak ayırma teknikleri .....   | 23        |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>   | <b>25</b> |
| 3.1. Materyal.....   | 25        |
| 3.2. Yöntem .....  | 26        |
| 3.2.1. Arpanın öğütülmesi .....  | 26        |
| 3.2.2. Arpa unu analizleri .....   | 27        |
| 3.2.2.1. Protein analizi .....   | 27        |
| 3.2.2.2. Nişasta analizi .....   | 28        |
| 3.2.2.3. Nem analizi .....   | 28        |
| 3.2.2.4. Kül analizi .....   | 29        |
| 3.2.2.5. Yağ analizi .....   | 29        |
| 3.2.2.6. Beta glukan analizi .....   | 30        |
| 3.2.2.6.1. Kimyasallar .....   | 30        |
| 3.2.2.6.2. Hazırlanan tamponlar ve çözeltiler .....  | 31        |
| 3.2.2.6.2.1. Sodyum fosfat tamponu (20 mM, pH 6,5) .....   | 31        |
| 3.2.2.6.2.2. Sodyum asetat tamponu (50 mM, pH 4,0) .....   | 31        |
| 3.2.2.6.2.3. Sodyum asetat tamponu (200 mM, pH 4,0) .....  | 32        |
| 3.2.2.6.2.4. %50 etanol çözeltisi .....  | 32        |
| 3.2.2.6.2.5. Likenaz çözeltisi .....   | 32        |
| 3.2.2.6.2.6. Beta glukosidaz çözeltisi .....   | 32        |
| 3.2.2.6.2.7. GOPOD (Glikoz oksidaz/peroksidaz) tampon çözelti .....  | 32        |
| 3.2.2.6.3. Deneyin yapılışı .....  | 32        |
| 3.2.3. Beta glukan ekstraksiyonu ve saflaştırılması .....  | 33        |
| 3.2.3.1. Klasik sulu ekstraksiyon .....  | 33        |
| 3.2.3.2. Mikrodalga destekli yüksek basınç CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O ekstraksiyonu .....   | 34        |
| 3.2.4. Ekstraksiyon koşullarının deneysel tasarımı ve optimizasyonu .....  | 35        |
| 3.2.5. Beta glukan ekstraktlarının karakterizasyonu .....  | 37        |
| 3.2.5.1. Protein analizi .....   | 37        |
| 3.2.5.2. Nişasta analizi .....   | 37        |
| 3.2.5.3. Nem analizi .....   | 37        |
| 3.2.5.4. Kül analizi .....   | 37        |
| 3.2.5.5. Beta glukan analizi .....   | 38        |
| 3.2.5.6. Arabinoksilan ve lignin analizi .....   | 38        |
| 3.2.5.7. Moleküler ağırlık analizi .....   | 39        |
| 3.2.5.8. Suda çözünürlük indeksinin belirlenmesi .....   | 39        |
| 3.2.5.9. Su tutma kapasitesi .....   | 39        |
| 3.2.5.10. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizi .....  | 40        |
| 3.2.5.11. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi analizi .....   | 40        |
| 3.2.5.12. Renk Analizi .....   | 40        |
| 3.2.5.13. Taramalı elektron mikroskopu .....   | 40        |
| <b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....</b>  | <b>42</b> |
| 4.1. Arpa Unu Analizleri .....   | 42        |
| 4.2. Beta Glukanın Mikrodalga Destekli Yüksek Basınç CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O Ekstraksiyonu .....                                       | 43        |
| 4.2.1. Modelleme .....   | 43        |
| 4.2.2. Mikrodalga destekli yüksek basınç CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O ekstraksiyon parametrelerinin beta glukan verimi üzerine etkisi ..... | 45        |
| 4.2.3. Optimizasyon ve modelin doğrulanması .....  | 48        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.3. Klasik Sulu Ekstraksiyon ve Mikrodalga Destekli Yüksek Basınç CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O Ekstraksiyonu Yöntemlerinin Karşılaştırması..... | 49        |
| 4.4. Beta Glukan Ekstraktlarının Bileşim Analizleri.....  | 50        |
| 4.5. Molekül Ağırlık Analizi .....  | 53        |
| 4.6. Suda Çözünürlük İndeksinin Belirlenmesi.....   | 55        |
| 4.7. Su Tutma Kapasitesi.....   | 57        |
| 4.8. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri Analizi.....   | 58        |
| 4.9. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi Analizi.....   | 60        |
| 4.10. Renk Analizi.....   | 62        |
| 4.11. Taramalı Elektron Mikroskobu .....  | 64        |
| <b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>   | <b>66</b> |
| 5.1 Sonuçlar.....   | 66        |
| 5.2 Öneriler.....   | 70        |
| <b>KAYNAKÇA.....</b>  | <b>72</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>  | <b>81</b> |

## ÇİZELGE DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Çizelge 2.1. Arpanın Bileşimi (MacGregor, 2003) .....   | 9  |
| Çizelge 3.1. Arpadan beta glukanın mikrodalga destekli yüksek basınç CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O sistemiyle ekstraksiyonu için oluşturulan Box-Behnken deney tasarımı .....   | 36 |
| Çizelge 4.1. Arpa unu bileşim analizleri .....  | 42 |
| Çizelge 4.2. Mikrodalga destekli yüksek basınç CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O ekstraksiyonu için oluşturulan Box-Behnken deneme deseni ile deneysel ve tahminlenen değerler..... | 44 |
| Çizelge 4.3. Beta glukun verimi için ANOVA ve yüzey tepki kuadratik model eşitliği .....  | 45 |
| Çizelge 4.4. Ekstraksiyon yöntemlerinin karşılaştırması .....   | 49 |
| Çizelge 4.5. Beta glukun ekstraktlarının bileşimin karşılaştırması .....  | 51 |
| Çizelge 4.6. Ekstraktların molekül ağırlığı karşılaştırması .....   | 54 |
| Çizelge 4.7. Ekstraktların suda çözünürlük indeksi karşılaştırması .....  | 56 |
| Çizelge 4.8. Ekstraktların su tutma kapasitesinin karşılaştırması .....   | 57 |
| Çizelge 4.9. Ekstraktların renk analizi karşılaştırması .....   | 63 |

## ŞEKİL DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 2.1. Arpa çekirdeğinin boyuna kesiti (MacGregor, 1993) .....  | 7  |
| Şekil 2.2. Diyet liflerinin fizyolojik özelliklerine göre sınıflandırması .....   | 13 |
| Şekil 2.3. TÜBER 2022'ye göre diyet lifinin yeterli alımın altında ve üstünde tüketilme durumu % (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022).....                 | 14 |
| Şekil 2.4. Yıllara göre beta glukan çalışmaları.....  | 17 |
| Şekil 2.5. Sulu çözeltide olası polisakarit zincir yapılarının şeması (Wang vd., 2017) .....  | 17 |
| Şekil 2.6. Bakteriler, mantarlar, maya ve tahıllardan elde edilen beta glukanların örnekleri ve konfigürasyonları (de Graaff vd., 2018).....        | 18 |
| Şekil 2.7. Beta glukan kaynakları .....   | 19 |
| Şekil 3.1. Kavuzsuz arpa .....  | 25 |
| Şekil 3.2. Tam tahıl öğütme makinası .....  | 27 |
| Şekil 3.3. Protein Analizi.....   | 28 |
| Şekil 3.4. Kül Analizi .....  | 29 |
| Şekil 3.5. Beta glukan analizi prensibi .....   | 30 |
| Şekil 3.6. Beta glukan analizi kiti.....  | 31 |
| Şekil 3.7. Klasik sulu ekstraksiyon.....  | 34 |
| Şekil 3.8. Mikrodalga destekli yüksek basınç CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O ekstraksiyonu .....  | 35 |
| Şekil 3.9. Optimizasyon için beta glukan ekstrakt denemeleri.....   | 37 |
| Şekil 4.1. Mikrodalga destekli yüksek basınç CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O ekstraksiyon parametrelerinin beta glukan verimi üzerine etkisi..... | 47 |
| Şekil 4.2. Ekstraktların DSC grafiği.....   | 59 |
| Şekil 4.3. Ekstraktların FTIR analizi .....   | 61 |
| Şekil 4.4. Ekstraktların TEM analizi (x4.000).....  | 64 |
| Şekil 4.5. Ekstraktların TEM analizi (x10.000).....   | 65 |

## SİMGELER

|   |   |
|---|---|
| %   | : Yüzde                                       |
| °C  | : Santigrat derece                            |
| bar   | : 100.000 Pa olarak tanımlanmış basınç birimi |
| CO <sub>2</sub>                                     | : Karbondioksit                               |
| Da  | : Dalton                                      |
| dk  | : Dakika                                      |
| Kda   | : Kilodalton                                  |
| H <sub>2</sub> O                                    | : Su  |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                      | : Sülfürik asit                               |
| HCl   | : Hidroklorik asit                            |
| g   | : Gram  |
| L   | : Litre                                       |
| µ   | : Mikrometre, mikron                          |
| kkal  | : Kilokalori                                  |
| mg  | : Miligram                                    |
| mL  | : Mililitre                                   |
| Mn  | : Sayı ortalamalı moleküler ağırlık           |
| mM  | : Milimolar                                   |
| mm  | : milimetre                                   |
| Mp  | : Tepe noktası molekül ağırlığı               |
| Mw  | : Ağırlık ortalamalı molekül ağırlığı         |
| N   | : Çözünen maddenin mol sayısı (mol)           |
| nm  | : Nanometre                                   |
| NaOH  | : Sodyum hidroksit                            |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                     | : Sodyum karbonat                             |
| NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O | : Sodyum dihidrojen fosfat dihidrat           |
| pH  | : Potansiyel hidrojen                         |
| rpm   | : Devir/dakika                                |
| W   | : Watt  |

## KISALTMALAR

|       |  |
|-------|--|
| ANOVA | : Tek yönlü varyans analizi                                |
| AOAC  | : Uluslararası Amerikan Resmi Analitik Kimyacıları Birliği |
| BBD   | : Box-Behnken tasarımı                                     |
| DSC   | : Diferansiyel Taramalı Kalorimetre                        |
| EFSA  | : Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi                          |
| FDA   | : Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi         |
| FTIR  | : Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi              |
| GOPOD | : Glikoz oksidaz/peroksidaz                                |
| GPC   | : Jel geçirgenlik kromatografisi                           |
| NREL  | : Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı                 |
| SEM   | : Taramalı elektron mikroskobu                             |
| TÜİK  | : Türkiye İstatistik Kurumu                                |
| TYM   | : Tepki yüzey metodolojisi                                 |
| PDI   | : Polidispersite indeksi                                   |
| USDA  | : Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi         |

## 1. GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)'ün 2019 yılı verilerine göre, bulaşıcı olmayan hastalıklardan meydana gelen ölümlerin başlıca nedenleri arasında, iskemik kalp hastalığı ve diyabet yer almaktadır (World Health Organization, 2019). Ülkemizde de 2019 yılında yayınlanan Türkiye Sağlık Araştırması raporunda obezite, diyabet ve yüksek kan lipidlerin önemli sağlık sorunları arasında görüldüğü belirtilmektedir (TÜİK, 2019). Metabolik sendromun da bileşenleri arasında yer alan bu sağlık sorunlarının tedavisi ve önlenmesi toplumsal sağlığı artırmak ve tedavi maliyetlerini düşürmek için oldukça önemlidir. Bu sağlık sorunlarının tedavisi ve önlenmesinde beslenme şekli ve sağlıklı yaşam tarzı etkili bir yaklaşımdır. Beslenme tarzı ve bazı besinlerin içeriğinde bulunan biyoaktif bileşenler bu konuda önemli bir katkı sağlayabilir. Yapılan bir derleme çalışmasında diyet lifinin bu hastalıkların önlenmesinde önemli olduğu ortaya konulmuştur (Şatır, 2018). Diyet lifleri içerisinde bulunan beta glukan ise bu konuda özel bir öneme sahiptir.

Beta glukan, tahılların endosperm ve aleuron hücrelerinin (iri ve dikdörtgen prizma şekilli, tanenin çimlenmesinde enzimatik rolü bulunan hücre) hücre duvarlarında bulunan nişasta olmayan bir polisakkarittir. Beta glukan, 8 ila 200 kilodalton (kDa) arasında değişen yüksek moleküler ağırlıklı polimerlere yol açan beta-(1,3) bağlantılarıyla birbirine bağlanan kısa beta-(1,4) -D- glikanlardan (selotriosil ve selotetraosil birimleri) oluşur. Bu spesifik kimyasal yapı, beta glukanın sağlık yararları sağlayan yüksek çözünürlük ve viskozite gibi fiziksel özelliklerini kazandırır. Yulaf ve arpa beta glukan açısından zengindir ve çalışmaların çoğu yulaf veya arpadan elde edilen beta glukan kullanılarak yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda, vücut ağırlığı ve bel çevresinde azalma, açlık glikozu, toplam kolesterol ve HDL-kolesterol de dahil olmak üzere bir dizi metabolik belirteçte iyileşme (Bordoni vd., 2019) sistolik ve diyastolik kan basıncında azalma (Evans vd., 2015), anti kanser ve lökositleri/makrofajları aktive ederek ve immünoglobulin seviyelerini ve doğal öldürücü (NK) ve öldürücü T hücre sayılarını artırarak immün fonksiyonu destekleyici (Kim vd., 2021) özellikleri çalışmalarla ortaya konulmuştur. Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesinin (FDA) onay verdiği sağlık iddialarından birinde “Koroner kalp hastalığı riskini azaltmak için gerekli olan çözünür lif kaynağının günlük diyet alımını ve ürünün bir porsiyonunun belirtilen günlük diyet alım seviyesine yaptığı katkıyı belirtir” iddiası yer almaktadır. Bu iddiadaki şart ise “Tam yulaf veya arpadan veya bütün yulaf ve arpa kombinasyonundan günde 3 g veya

daha fazla beta glukan çözümlü lif.” şeklinde yer almaktadır (FDA, 2021). Bu sağlık faydalarından ülkemiz koşullarında yararlanma potansiyeli incelenmiştir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)’in 2021 yılı Bitkisel Üretim 2.Tahmini raporu incelendiğinde, 2020 yılında ülkemizde üretilen bitkisel ürünlerin %52’sinin tahıl olduğu, tahıl üretiminde ise %28,8 ile buğdayın birinci sırada yer aldığı, ikinci sırada ise %11,6 ile arpanın bulunduğu görülmektedir. Ülkemizde 2020 yılında 8.300.000 ton arpa üretilmiştir (TÜİK, 2023b). Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsünün 2021 yılında yayımladığı Arpa Ürün Raporuna göre dünyada 2021 yılı tahminlerine göre arpa üretiminde Amerika Birleşik Devletleri, Rusya, Çin, Suudi Arabistan’dan sonra 5. sırada ülkemiz yer almaktadır. Üretilen arpanın kullanım amaçlarına bakıldığında dünyada yaklaşık %67’si yem, %21’i endüstriyel, %5’i insan besini olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde ise üretilen arpanın ise %85,3’ü yem, %3’ü endüstriyel, %0,9’u insan besini olarak kullanılmaktadır (Eğilmez, 2021).

### **1.1. Araştırmanın Önemi**

Dünyada arpa üretiminde önemli bir konumda olan ülkemizde, üretilen arpanın toplum sağlığını önemli ölçüde etkileyen bazı sağlık sorunlarına fayda sağlayacak şekilde insan beslenmesinde tüketimini artırmak için bileşimde bulunan beta glukanı ekstrakte etmek gerekmektedir. Literatürde birçok gelişmiş ekstraksiyon yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler ıslak ve kuru teknolojiler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Vasanthan ve Temelli, 2008).

Kuru ekstraksiyon yöntemleri, kabuk soyma, kuru öğütme-eleme ve kuru öğütme-hava elekleridir. Kuru ekstraksiyon yöntemleri uygulanması basit olsa da bu şekilde üretilen beta-glukanla zenginleştirilmiş lif konsantreleri genellikle düşük beta-glukan içeriğine (<%30) sahiptir. Bu sebeple amacımıza uygun değildir. Islak ekstraksiyon yöntemleri ise, sulu veya sulu-alkali ekstraksiyon, sulu-alkol bazlı enzimatik proses, sulu enzimatik proses ve sulu termo-mekanik prosestir (Vasanthan ve Temelli, 2008). Muhtemelen beta glukan konsantrasyonunun daha yüksek olması nedeni ile literatürde daha çok ıslak ekstraksiyon yöntemleri kullanılmıştır (Irakli vd., 2004; Maheshwari vd., 2017). Bu yöntemleri geliştirerek, ultrasonik ekstraksiyon, sıcak su ekstraksiyonu, mikrodalga ekstraksiyonu ve mikrodalga destekli ultrasonik ekstraksiyon gibi yöntemlerle ekstraksiyon süresi azaltılarak, beta glukan verimi artırılmaya çalışılmaktadır (H. Liu vd., 2021).

Araştırmanın en önemli yanlarında biri de bilindiği kadarıyla ülkemizde en çok üretilen ikinci tahıl olan arpadan beta gluklan ekstraksiyonu yapılmamaktadır. Beta gluklan ekstraksiyonuna yeni bir yöntem üretmenin yanı sıra, beta gluklanın ekstrakte edilebilirliği göstermek, ekstraktların besin desteği olarak kullanılma potansiyeli ortaya koymak ve besin desteği ve gıda katkı maddesi olarak kullanılabilir potansiyelde bir ekstrakt elde edebilmek ve çeşitli besinlere ekleyebilecek bir ekstrakt ile lif olarak besin zenginleştirmede kullanılabilir potansiyel bir ekstrakt oluşturmaktır.

## **1.2. Çalışmanın Amacı**

Bu projenin amacı, ülkemizde en çok yetiştirilen tahıllardan olan arpanın içeriğinde bulunan beta gluklanın mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu sistemi ile optimum ekstraksiyon koşullarını belirlemektir.

Ülkemizden en çok yetiştirilen tahıllardan biri olan arpanın insan beslenmesinde kullanılma potansiyelini artırmak üzere içeriğindeki beta gluklanı yüksek verimde ekstrakte etmek ve elde edilen beta gluklanın karakterizasyonunu tanımlamaktır.

Ayrıca arpadan beta gluklan ekstraksiyonunda kullanılan yöntemlerden biri olan mikrodalga destekli ekstraksiyonu kapalı sistemde gerçekleştirerek, bu sistemdeki optimum koşulları belirlemek suretiyle literatüre katkı sağlamaktır.

Beta gluklanın ticari olarak üretilmesinde maliyet ve verim açısından uygun bir yöntem olup olmadığı belirlemek ve bu konudaki potansiyelini değerlendirmek de hedeflerimizden biridir.

Elde edilen beta gluklanın karakterizasyonu belirlemek ve sağlık yararlanımına uygun viskozite, molekül ağırlığı, çözünürlük gibi özelliklerini değerlendirmek de başka bir hedefidir.

Karakterizasyonu belirlenen sağlık standartlarına uygun olarak üretilen beta gluklan ekstraktlarından, sağlık yararlarına uygun olarak besin desteği olarak yararlanılabilir. Diyet lif miktarını artırmada kullanılabilir. Gıda katkı maddesi olarak kullanılabilir.

## **1.3. Özgün Değer ve Katkı**

Bu çalışmanın önemi ve özgün değeri, ülkemizde en çok yetişen arpanın beta gluklan ile ilgili sağlık faydalarından yararlanabilmek için ekstraksiyon verimini artırmak için kapalı sistem mikrodalga destekli ekstraksiyon tekniğinin kullanılmasıdır.

Literatürde yer alan mikrodalga destekli ekstraksiyon sistemleri açık sistemlerdir. Bu projede kapalı mikrodalga ekstraksiyonu yapılarak, güç, zaman, katı/sıvı miktarı parametrelerini deneyerek beta glukan veriminin en yüksek olduğu optimum koşulları belirlemektir.

Bu projeye kapalı mikrodalga sistemi kullanılarak kavuzsuz arpadan beta glukan ekstraksiyonu sağlanmıştır. Maksimum verimlilikte olması için her bir işleme ait parametrelerin verim üzerine etkileri incelenmiştir. Bunun yanı sıra, elde edilen beta glukanın sağlık yararlarına uygun olarak kullanılma potansiyeli belirlenmiştir. Proje sonucunda literatüre kazandırılacak olan bu bilgilerin uluslararası indeksli dergilerde yayınlanma şansı yüksektir.

Ülkemizde daha çok hayvan yemi olarak kullanılan arpanın, insan sağlığına faydalı bir besin desteğine dönüşebilmesi için daha önce kullanılmamış bir ekstraksiyon yöntemi belirlenmiştir. Ekstraksiyon zamanını ve çözücü kullanımı azaltarak, daha çevreci ve daha kısa sürece, sağlık yararlarına uygun bir ekstraksiyon yöntemi belirlenmiştir.

Bu araştırmada kullanılan gelişmiş bir ekstraksiyon yöntemi olan mikrodalga destekli yüksek basınç  $CO_2/H_2O$  ekstraksiyonu, daha önce literatürde arpadan beta glukan ekstraksiyonu çalışmalarında kullanılmamış ve dünyada ilk kez denenmiştir. Beta glukanın molekül ağırlığına zarar vermeden, yüksek verim ve saflıkta ekstrakte etme amacı ile yapılan bu araştırmada beta glukan ekstrakte edebilmek, literatürde en çok kullanılan yöntemle kıyaslamak ve elde edilen beta glukanın karakterizasyonunu tanımlamak da hedefler arasındadır.

Bu araştırmanın hipotezleri, mikrodalga destekli yüksek basınç  $CO_2/H_2O$  ekstraksiyonu yöntemiyle beta glukan ekstraksiyonunu yüksek verimle ve saflıkla yapabilmek, ekstraksiyon süresini kısaltmak ve elde edilen ekstraktın klasik yöntemle elde edilen ekstrakta göre bazı fiziksel ve kiyasal özelliklerini kıyaslayarak daha iyi bir yöntem olabileceği konusunda literatüre katkı sağlamaktır. Araştırma sonucunda hipotezlere ulaşılmıştır.

## 2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu araştırmanın amacı olan ülkemizde yetişen arpa türlerinden yüksek verimlilikte beta glukan elde etmek ile ilgili literatürde yer alan bilgilere tezin bu bölümünde yer verilmiştir.

### 2.1. Arpa

#### 2.1.1. Arpanın tarihsel süreci

Tahıl taneleri, tarih boyunca insanlığın hayatta kalmasına yaptığı temel katkılardan dolayı uzun süredir dikkat çekmektedir. Özellikle arpa bilinen en önemli antik tahıllardan biridir. Eski uygarlıkların temel beslenme kaynağı olduğu bilinmektedir ve on dokuzuncu yüzyılın sonuna kadar Avrupa'daki işçi sınıfının önemli bir beslenme bileşeni olmaya devam etmiştir. Arkeolojik kanıtlara dayanarak, arpa yiyecek ve içeceklerinin evriminin insan ırkının erken gelişimine paralel olduğu tahmin edilebilir (Newman ve Newman, 2008).

Göbeklitepe'de son yıllarda yapılan arkeolojik kazılarda arpanın tarihine ilişkin de ilginç bulgulara rastlanmıştır. Yapılar arasında bulunan EA 30 binası, hücrelere bölünmüş yuvarlak bir yarı yeraltı yapısıdır. Bu hücreler ortalamasının üzerinde konsantrasyonda tahıl içermektedir. Bu sebeple bu binanın bir silo olabileceği düşünülmüştür. Bu yapıda bulunan tahıllardan çoğu arpadır (Dietrich vd., 2019).

Arpanın kökeninin Bereketli Hilal olduğu düşünülmektedir. İber Yarımadası, Kuzey Afrika, güneybatı Asya ve doğu ve güney Asya'da yetiştirildiğine dair kanıtlar var. Tarihsel ve arkeolojik raporlarda arpanın, sporcular ve ağır el işleriyle uğraşan kişiler için sağlık, güç ve dayanıklılık kaynağı olarak anıldığı belirtiliyor. Arpanın sağlığa faydaları ve tıbbi yönleri eski Arap, Çin, Mısır, Etiyopya ve Yunan literatüründe vurgulanmaktadır (Newman ve Newman, 2008).

Antik Yunan Uygarlığında sporcular ve halk arpa veya buğday gibi yiyeceklerle beslenmişlerdir. Tıp biliminin babası kabul edilen Hipokrat arpanın vücuda faydalı olduğunu düşünüyordu. Hipokrat'ın "Aslında arpa tüm hastalıkları tedavi eden, sağlığı koruyan, sporcuların müsabaka başarısını ve her erkeğin özel arzularının gerçekleştirilmesini sağlayan büyük bir güce sahiptir" diye bir sözü vardır. Ayrıca arpaya dair arındırıcı ve enerji verici özellikleriyle iyi bir karbonhidrat kaynağı olduğunu ve aynı zamanda ağrı kesici özelliğinin var olduğu ileri sürmüştür (Akıncı ve Türkay, 2020). Mükemmel dövüş makineleri gladyatörlerin beslenme tarzları düşünüldüğünde yüksek proteinli bir beslenmeye sahip olmasını beklenir. Oysa kemiklerinin analizi,

gladyatörlerin vejetaryen sporcular olduğu hipotezini ortaya koymuştur. Antik tarihçi Plinius ise gladyatörlerden "hordearii" (arpa yiyenler) olarak söz etmiştir (Longo vd., 2008).

Arpanın aynı faydalı özellikleri, Asya'dan Avrupa'ya uzanan daha yeni uygarlıklar tarafından da övülmüştür. Geçmiş çağlar boyunca hemen hemen her kültürde arpa yemeklerinin neredeyse mistik özelliklere sahip olduğu anlatılmıştır. Arpa ekimi, ilerleyen medeniyetlerle birlikte Avrupa'ya ve Yeni Dünya'ya doğru ilerledi. Çoğu durumda arpa, diğer mahsuller için uygun olmayan bölgelerde ve koşullar altında yetiştirildi ve nüfusun daha az şanslı olan kesimine besin kaynağı sağladı. Arpa, öncelikle çiftçi sınıflarının koşullarının iyileşmesi ve buğday endüstrisinin büyümesi ve gelişmesi nedeniyle besin olarak itibarını kaybetti. Buğday ekmeği ve buğday bazlı kahvaltılık gevrek ürünleri, dokusu, tadı, görünümü ve artan bulunabilirliği nedeniyle çavdar, yulaf ve arpanın yerini aldı (Newman ve Newman, 2008).

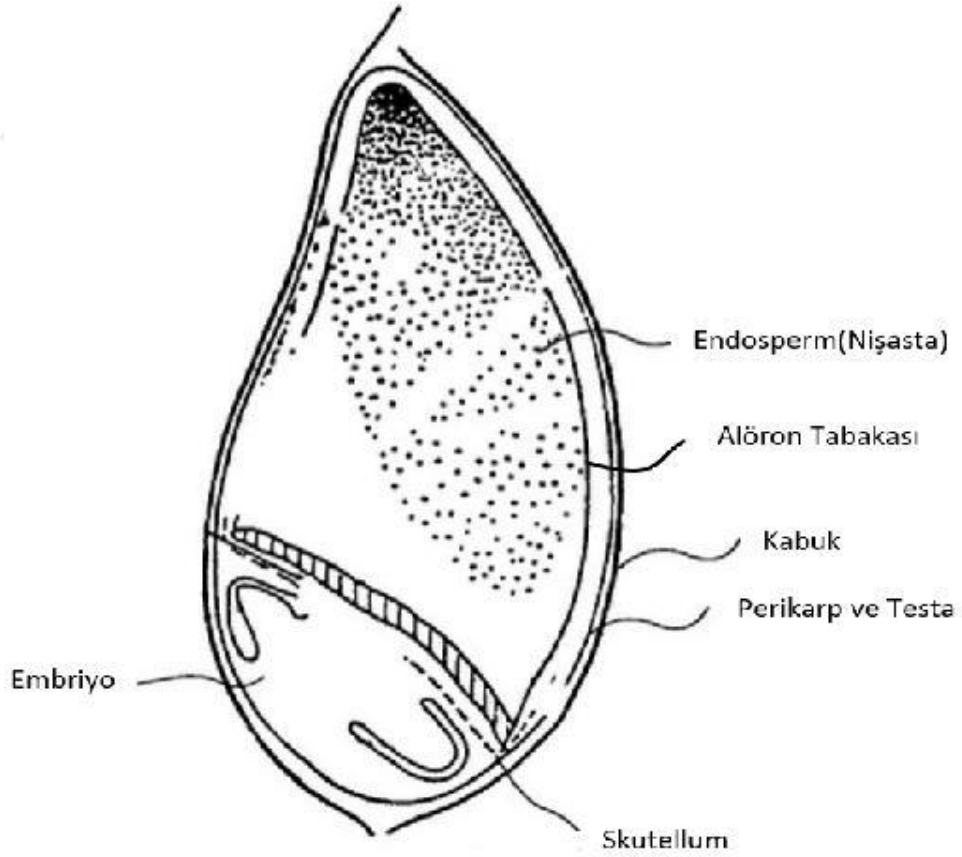
### **2.1.2. Dünya’da ve Türkiye’de arpa üretimi ve tüketimi**

İnsan beslenmesinde popülaritesini buğday ve pirinç karşısında yitiren arpanın kullanımı yem, malt ve bira hammaddesi olarak yaygınlaşmıştır. Dünya’da ve Türkiye’de hala önemli miktarlarda üretim ve tüketimi vardır. Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığının (USDA) verilerine göre Dünyada 2023 yılında 142 milyon ton civarında arpa üretildiği ön görölmektedir. Türkiye ve Kanada 8 milyon ton arpa üretimi ile Avrupa Birliği, Rusya ve Avustralya’dan sonra 4. önemli üreticiliği paylaşmaktadır (USDA, 2023).

Bitkisel Üretim 2.Tahmini, 2023 yılı raporuna göre, ülkemizde tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerde 75,9 milyon ton üretim yapıldığı, bir önceki yıla göre buğday üretiminin %10,4 oranında artarak 21,8 milyon ton, arpa üretiminin %5,9 oranında artarak 9 milyon ton olacağı öngörüsündedir (TÜİK, 2023b). Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsünün 2021 yılında yayımladığı Arpa Ürün Raporuna göre dünyada üretilen arpanın kullanım amaçlarına bakıldığında dünyada yaklaşık %67’si yem, %21’i endüstriyel, %5’i insan besini olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde ise üretilen arpanın %85,3’ü yem, %3’ü endüstriyel, %0,9’u insan besini olarak kullanılmaktadır (Eğilmez, 2021).

### 2.1.3. Arpanın tane yapısı

Arpa çekirdeği lemma, palea ve karyopsisten oluşur. Lemma ve palea, bitki olgunlaştıkça arpa tanesinin kabukları haline gelir. Selüloz, lignin ve silika, lemma ve palea hücrelerinin ana bileşenleridir. Kabuklar karyopsise yapışıktır, dolayısıyla kabuklu genotiplerin yüzeyine yapışırlar ancak kabuksuz tiplerde bağlanmazlar. Lemma ve paleanın kalınlığı ve karyopsise yapışma yoğunluğu, kabuklu genotiplerde bile farklılık gösterir. Karyopsis perikarp, testa (tohum kabuğu), epidermis çekirdeği, endosperm ve embriyodan oluşur. Perikarp, kabuklar gibi odunlaşmamış olmasına rağmen, dış koruyucu doku tabakasını içeren yumurtalık duvarından gelişir. Kabuklu genotiplerde gelişme sırasında ezilir, kabuksuz genotiplerde ise sıkışma olmaz. Testa, perikarpın altında yer alır ve çekirdeği neredeyse tamamen kaplayarak, tahılın dış kısmını iç kısmından diğer tahıllardan daha keskin bir şekilde ayırır. Bu, iki katman arasında yer alan selülozdan oluşan sert bir zardır. Dış tabakası iç tabakadan daha kalındır. Testanın kalınlığı değişiklik gösterir; kenarlarında ve çekirdeğin tepesinde daha kalın olur. Yanlarda ve embriyonun üzerinde daha incedir (Newman ve Newman, 2008).



Şekil 2.1. Arpa çekirdeğinin boyuna kesiti (MacGregor, 1993)

Endosperm, alöron, subalöron ve nişastalı endosperminden oluşan çekirdeğin en büyük kısmıdır. Alöron tabakası dış kabuklardan daha karmaşık bir yapıdır. Alöron dokusu, çekirdek ve testanın hemen altında bulunan, protein açısından zengin bir hücre tabakasıdır. Hücreler kalın hücre duvarlarıyla ayrılır ve belirgin çekirdekler, organeller, endoplazmik retikulum, mitokondri, mikro gövdeler, proplastidler, lipid içeren sferozomlar ve karmaşık küresel aleuron taneleri içeren yoğun sitoplazma ile doldurulur. Alöron taneleri protein, fitik asit ve hidrolitik enzimler içeren depo granülleridir. İki büyük moleküler ağırlıklı polisakkarit, arabinoksilan ve beta glukan, alöronun kalın hücre duvarlarının yapısal bileşenleridir (Newman ve Newman, 2008).

Alöronun hemen bitişiğindeki, subalöron olarak adlandırılan hücresel yapı, nişastalı endosperm hücrelerinden daha küçüktür ve daha fazla protein ve daha az nişasta içerir; bu, özellikle yüksek proteinli arpalarda fark edilir. Çekirdeğin en büyük bölümünü oluşturan nişastalı endosperm, bir protein matrisine gömülü nişasta taneleriyle dolu hücreleri içerir. Protein ayrıca nişastalı endosperm protein gövdelerinde de depolanır. Nişastalı endosperm hücre duvarları, aleuron dokusunun hücre duvarlarında bulunan aynı iki polisakkariti içerir, ancak arabinoksilanla karşılaştırıldığında daha fazla miktarda beta glukan vardır. Embriyo, yeni bir bitkinin büyümesini başlatmak için gerekli materyali içerir. Embriyonun alt hücre bileşenleri arasında mitokondri, protein cisimcikleri, lipid içeren sferozomlar, Golgi cisimcikleri ve kaba endoplazmik retikulum, büyük çekirdekler ve plazmodezmata tarafından çaprazlanan ince hücre duvarları bulunur (Şekil 2.1.) (Newman ve Newman, 2008).

#### **2.1.4. Arpanın tane bileşimi**

Arpa tanelerinin ana bileşeni, endospermde ayrı granüller halinde bulunan nişastadır ve ortalama olarak çekirdeğin ağırlığının %60-64'üdür. Nişasta, amiloz ve amilopektin olmak üzere iki yüksek molekül ağırlıklı glikoz polimerinden oluşur. Amiloz, alfa 1,4 bağlarıyla bağlanan uzun glikoz zincirlerinden ve ana zincirlere alfa 1,6 bağları aracılığıyla bağlanan birkaç yan zincirden oluşur. Amilopektin, alfa 1,6 bağları yoluyla birbirine bağlanan alfa 1,4 bağları ile bağlı glikoz zincirlerinden oluşan çok daha kısa birim zincirler içerir. Başka bir deyişle amiloz az dallıdır, amilopektin ise çok dallıdır. Genel olarak arpa nişastası yaklaşık %75 amilopektin ve %25 amiloz içerir. Bu nişastalar farklı fonksiyonel özelliklere sahiptir ancak besin endüstrisinde henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır (MacGregor, 2003).

Endosperm hücre duvarlarının ana bileşeni, oldukça viskoz, sulu çözeltiler oluşturan polisakkarit 1,3 ve 1,4 beta D glukandır (MacGregor, 2003). Ksiloz ve arabinozun polimerleri olan arabinoksilanlar, esas olarak endosperm ve aleuron dokularının hücre duvarlarında hem çözünür hem de çözünmez formlarda bulunur. Kendi ağırlıklarının birçok katı suyu emerler ve ayrıca suda viskoz çözeltiler oluştururlar. Arpa tanelerinin dış dokularında az miktarda selüloz bulunur (MacGregor, 2003) (Çizelge 2.1.).

**Çizelge 2.1.** Arpanın Bileşimi (MacGregor, 2003)

| Bileşenler  | İçerik (% , kuru ağırlık) |
|---|---------------------------|
| Nişasta   | 60–64                     |
| Arabinoksilanlar  | 4,4–7,8                   |
| Beta glukanlar  | 3.6–6.1                   |
| Selüloz   | 1.4–5.0                   |
| Basit karbonhidratlar (glukoz, fruktoz, sükroz, maltoz) | 0,41–2,9                  |
| Oligosakkaritler (rafinoz, fruktozanlar)                | 0,16–1,8                  |
| Proteinler  | 8-15                      |
| Lipidler  | 2–3                       |
| Mineraller  | 2–3                       |

Çekirdekte yalnızca küçük miktarlarda basit şekerler, glukoz ve fruktoz bulunur. Başlıca şekerler, esas olarak embriyoda bulunan sakaroz ve rafinozdur. Olgun çekirdekte, sakkarozun fruktozil polimerleri olan fruktozanlar da değişen miktarlarda mevcuttur (MacGregor, 2003).

Arpa, çözünürlük esasına göre dört ana gruba ayrılabilen çok sayıda protein içerir. Albüminler ve globulinler (arpa proteininin %15-30'u) sırasıyla su ve tuz çözeltilerinde çözünür; arpadaki ana depolama proteinleri olan hordeinler (arpa proteininin %35-50'si) sulu alkol çözeltilerinde çözünür; Depolama ve yapısal proteinlerin bir karışımı olan glutelinler (%15-20 arpa proteini) alkalide çözünür. Alöron hücreleri başta globulinler olmak üzere protein açısından zengin olmasına rağmen arpa proteininin çoğu endospermde, özellikle de subalöron bölgesinde bulunur (MacGregor, 2003).

Arpa lipidinin yaklaşık %70'i endospermde, %20'si embriyoda ve geri kalanı da çekirdeğin dış katmanlarında bulunur. Magnezyum, kükürt, sodyum, potasyum, çinko ve

kalsiyum gibi mineraller çekirdeğin dış katmanlarında yoğunlaşmıştır. Fosfor esas olarak alöronda fitik asit olarak bulunur. Arpa ayrıca tiamin (B1), riboflavin (B2), nikotinik asit, piridoksin (B6) ve pantotenik asit, biyotin, folik asit ve E vitamini dahil olmak üzere az miktarda B kompleksi vitaminleri içerir (MacGregor, 2003).

### **2.1.5. Kavuzsuz arpa**

Arpa taneleri, tanelerinin yapısal özelliklerine göre kavuzlu ve kavuzsuz olmak üzere iki türe ayrılır. Kavuzlu arpa olarak nitelendirilen türde, arpa tanesine tohum kabuğu veya kavuz yapışık olarak bulunur. Arpa tanesi olgunlaştıkça bu yapışıklık artar ve hasat sonrasında, harmanlama işleminde kavuz ayrılmaz (Özer, 2019).

Kavuzsuz arpada ise farklı olarak harmanlama işlemi sırasında kavuz taneden kolaylıkla ayrılır. Arpanın kavuzlu olup olmamasını kontrol eden arpada 7H kromozomunun uzun kolu üzerinde bulunan resesif ‘nud’ genidir (Özer, 2019). Arpa genel olarak, hayvan yemi, malt ve ürünleri olarak kullanılan önemli miktarlarda üretilen ve tüketilen tahıllardan biridir. İnsan beslenmesinde kullanımı oldukça azdır.

İçeriğinde bulunan arabinoksilanlar ve beta glukun açısından zengin bir besin olması nedeniyle insan beslenmesi için sağlık yararlarıyla öne çıkan bir tahıldır (MacGregor, 2003). Kavuzsuz arpanın potansiyel yeni uygulamaları arasında maltın hazırlanması, etanol üretimi, beta glukunun ekstraksiyonu ve zenginleştirilmesi, doğal ve modifiye nişastaların hazırlanması, kepek ve un hazırlanması yer almaktadır. Kavuzsuz arpa, insan beslenmesinde kullanılmak üzere öğütülebilir, buharda pişirilebilir, kaynatılabilir, fırınlanabilir, ekstrüzyona tabi tutulabilir, kavrulabilir, pul haline getirilebilir veya iri taneler halinde kesilebilir nitelikte bir arpa genotipidir (Bhatty, 1999).

Öğütme zorluğu, zayıf pişme kalitesi, tat ve görünüşü nedeniyle çok tercih edilmemektedir (Köten vd., 2013). Kavuzsuz arpa, kabuk ayırma gerektirmediğinden ve besin olarak kullanımında bazı avantajlar sunduğundan insan beslenmesinde kullanım potansiyeline sahiptir (Yalçın vd., 2007).

Değerli bileşenleri ve insan beslenmesinde potansiyel sağlık yararları açısından ülkemizde besin denemeleri yapılan birçok araştırma yapılmıştır. Yapılan ekmek denemelerinde buğday ununa %30’a kadar (Hatami Golzari, 2015), spagetti yapımına maksimum %20 oranında (Ermişer, 2019), eklenebileceği, bisküvi yapımında %25-50’e kadar (Özer, 2019) ilave edilince kabul edilebilir sonuçlar alınmıştır. Ayrıca yapılan başka bir çalışmada da buğday ununa %10 oranına kadar kavuzsuz tam arpa unu ilave edildiğinde kalite ve duyusal özellikleri etkilemediği görülmüştür (Yılmaz, 2022).

Yapılan bu araştırmalardan da görülebileceği üzere, kavuzsuz arpanın tek başına kullanılması besinin kalite ve duyuasal özelliklerini olumsuz etkilemekte, buğday ununa ilave edilerek kullanılması ile kabul edilebilir sonuçlar vermektedir. Ama ilave edilen kavuzsuz arpa unu oranı düşük yüzdelerde olduğu için sağlık yararları için yetersiz kalabilmektedir.

## **2.2. Diyet Lifleri ve Sağlık Yararları**

### **2.2.1. Diyet lifi tanımı**

Diyet lifi uzun bir geçmişe sahiptir, bu terim ilk kez 1953'te Hipsley tarafından uygulanmıştır. Konuyu ele alan ilk çalışmalardan biri olarak kabul edilen bu araştırmada, bitki hücre duvarının bileşenleri olan lignin, selüloz ve hemiselüloz anlamına gelen "lif" terimini tanımlamış ve tüketimini hamile kadınların sağlığıyla ilişkilendirmiştir (Hipsley, 1953). Yaklaşık 2500 yıl önce hastalıkların bağırsakta başladığını iddia eden Hipokrat, M.. 430'da, tam buğdayın mşhil etkilerini rafine buğdayla karşılaştırarak tanımlamıştır. J. H. Kellogg ise 1920'lerde, kepeğin özellikleri hakkında kapsamlı bir yayın yaparak dışkı ağırlığını arttırdığını, gevmeyi teşvik ettiğini ve hastalıkları önlediğini iddia etmiştir. Diyet lifi 1930'lar boyunca araştırılmıştır ve 1970'lere kadar unutulmuştur. İrlandalı bir doktor ve cerrah olan Denis Burkitt, diyet lifinin diyabet, kardiyovasküler hastalık, kolon kanseri ve obezite dahil olmak üzere batı hastalıklarının gelişimine karşı koruduğu fikrini yeniden popüler hale getirmiştir. O zamandan beri lifin tanımlanması, lifin ölçülmesi ve lif tüketiminin sağlık açısından faydalarının belirlenmesi üzerine araştırmalar devam etmektedir (Hijov vd., 2019).

Diyet lifleri tanımı uzun yıllardır farklı uzmanlar ve otoriteler tarafından farklı farklı tanımlanmıştır ve halen bu konu tartışılmaktadır. Çünkü diyet lifleri, farklı karakter ve özelliklere sahip karmaşık moleküllerdir. Bu sebeple, tanımlar farklılaşmaktadır.

Diyet lifi, besinlere yönelik uluslararası standartları oluşturmak amacıyla oluşturulan Codex Alimentarius'a göre, insanların ince bağırsağında endojen enzimler tarafından hidrolize edilmeyen on veya daha fazla monomer üniteye sahip olan, tüketilen besinlerde doğal olarak oluşan yenilebilir olan, besinlerin hammaddelerinden fiziksel, enzimatik veya kimyasal yollarla elde edilen ve sağlığa yararlı fizyolojik etkisi olduğu yetkili otoritelerce genel kabul görmüş bilimsel delillerle kanıtlanmış olan ve yetkili otoritelerce genel kabul görmüş bilimsel kanıtlarla sağlığa faydalı fizyolojik bir etkiye sahip olduğu gösterilen sentetik karbonhidrat polimerleri olarak tanımlanmıştır (Codex Alimentarius International Food Standarts, 2021).

Avrupa Parlamentosu ve Konsey Yönetmeliğinin hala yürürlükte olan versiyonuna göre ise diyet lifi, insan bağırsağında ne sindirilen ne de emilen, üç veya daha fazla monomerik üniteye sahip, tüketilen besinlerde doğal olarak oluşan, besin ham maddesinden fiziksel, enzimatik veya kimyasal yollarla elde edilen ve genel kabul görmüş bilimsel kanıtlarla kanıtlanmış faydalı fizyolojik etkiye sahip veya genel kabul görmüş bilimsel kanıtlarla kanıtlanmış faydalı fizyolojik etkiye sahip sentetik, yenilebilir karbonhidrat polimerleri olarak tanımlanmaktadır (European Union, 2018).

Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), Diyetetik Ürünler, Beslenme ve Alerji Panelinde Karbonhidratlar ve Diyet Lifi için Diyet Referans Değerlerine İlişkin Bilimsel Görüş açıklamasında, nişasta olmayan polisakkaritler -selüloz, hemiselülozlar, pektinler, hidrokolloidler (yani zamklar, müsilajlar, beta glukanlar)-, dirençli oligosakaritler - frukto-oligosakaritler (FOS), galakto-oligosakaritler (GOS), diğer dirençli oligosakaritler-, dirençli nişasta -fiziksel olarak kapalı nişasta, bazı türdeki ham nişasta granülleri, retrograde amiloz, kimyasal ve/veya fiziksel olarak değiştirilmiş nişastalar-, karbonhidrat olmayan ligninin diyet lifi türleri olduğu konusunda görüş birliğine varmıştır (EFSA, 2010).

Amerika Tıp Enstitüsü (IOM) ise diyet lifi ile ilgili toplam lif, diyet lifi ve fonksiyonel lif olmak üzere üç tanımdan söz etmiştir. Diyet lifi, bitkilerde doğal olarak bulunan yenilebilir, sindirilmeyen karbonhidrat ve lignin bileşenlerini, Fonksiyonel lif ise, sağlık açısından faydaları kanıtlanmış izole edilmiş, ekstrakte edilmiş veya sentetik lifleri, toplam lif ise diyet lifi ve fonksiyonel lifin bileşimi olarak tanımlanmaktadır (Otten vd., 2006).

Türkiye Beslenme Rehberi ise diyet lifleri bitkilerin veya karbonhidratların sindirime ve emilime dirençli olan yenilebilir kısımları olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca diyet lifleri karbonhidrat sınıfına dahil olmasına rağmen, vücutta enerjiye dönüşmezler, sindirim sisteminden ciddi bir değişiklik olmadan geçerek vücuttan atılırlar (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022).

### **2.2.2. Diyet lifi sınıflandırması**

Diyet lifleri kimyasal yapılarına göre alt gruplarına göre ya da monomer ünitelerine göre sınıflandırılabilir. Monomer üniteleri 3-9 arasında olanlar, ya da 10'dan büyük olanlar farklı gruplandırılabilir veya alt gruplarına göre, dirençli oligosakaritler, nişasta olmayan polisakkaritler, dirençli nişastalar veya karbonhidrat olmayanlar olarak gruplandırılabilir. Fakat diyet lifleri genellikle vücuttaki işlev farklılıklarına göre yani fizyolojik etkilerine göre gruplandırılır. En yaygın sınıflandırma Türkiye Beslenme

Rehberinde de benimsenen suda çözünme özelliklerine göre iki gruba ayrılmaktadır. Vücuda alınan besinlerde çözünür ve çözünmez lifler olarak her iki grupta yer alan liflerde bulunur (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022). Besinlerde her iki lif türü de bulunur (Samur ve Mercanlıgil, 2008). Diyet liflerinin suda çözünürlüklerinin yanı sıra viskozite ve fermente edilebilirliği de sağlık yararları ve fizyolojik etkileri açısından çok önemlidir (Gropper vd., 2022). Çözünebilir/çözünmez, fermente edilebilir/fermente edilemez ve viskoz/viskoz olmayan terimleri, lifin fizyolojik faydalarının temelini oluşturur ancak yine de bu 3 parametrenin tümünü dikkate alan daha geniş bir sınıflandırmaya ihtiyaç vardır (C. Li ve Uppal, 2010). Bazı diyet liflerinin fizyolojik özelliklerine göre sınıflandırması Şekil 2.2.'de yer almaktadır.

| Diyet lifleri            | Suda Çözünme | Fermente edilme    | Viskozite ve jel oluşturma |
|--------------------------|--------------|--------------------|----------------------------|
| Lignin                   | Hayır        | Hayır              | Hayır                      |
| Selüloz                  | Hayır        | Hayır              | Hayır                      |
| Hemiselüloz              | Bazıları     | Bazıları           | Bazıları                   |
| Dirençli Nişasta         | Bazıları     | Bazıları (RS3,RS4) | Bazıları                   |
| Pektin                   | Bazıları     | Evet               | Evet                       |
| Fruktanlar               | Evet         | Evet               | Hayır                      |
| Beta glukan              | Evet         | Evet               | Evet                       |
| Gumlar (Zamklar)         | Evet         | Evet               | Evet                       |
| Psilyum (Karniyarik otu) | Evet         | Hayır              | Evet                       |

**Şekil 2.2.** Diyet liflerinin fizyolojik özelliklerine göre sınıflandırması

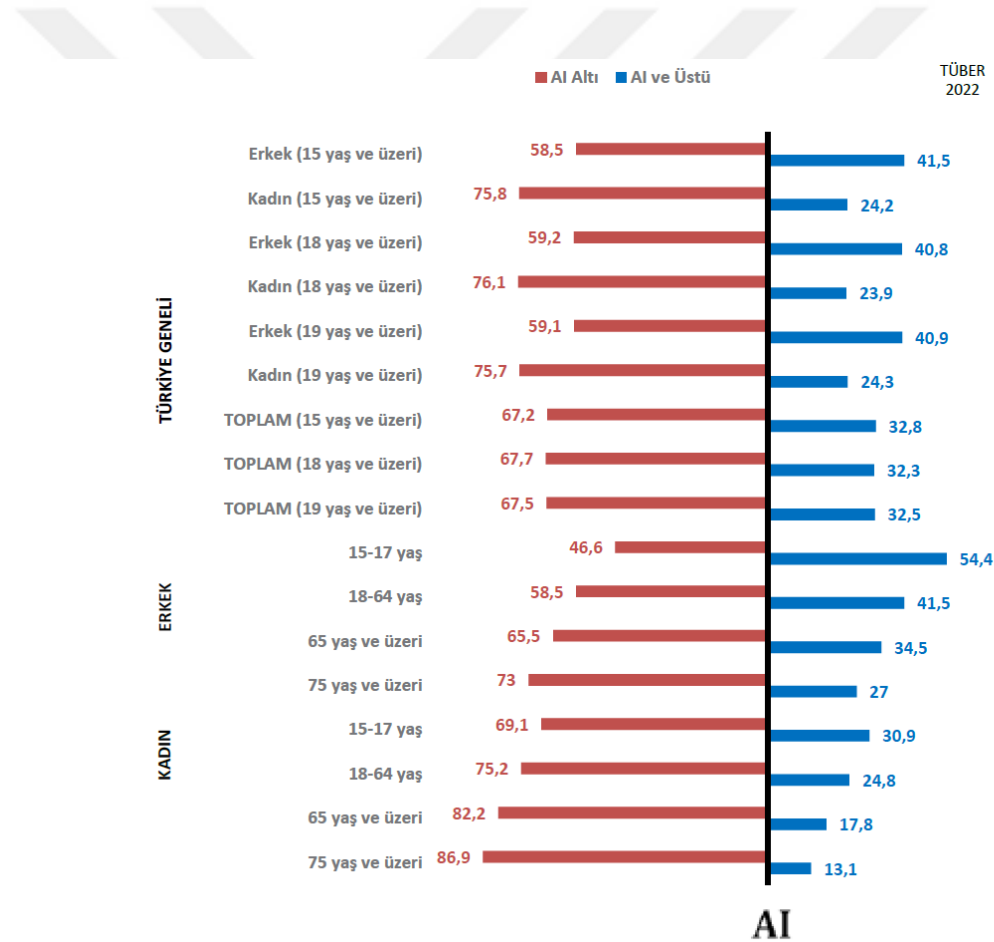
### 2.2.3. Diyet lifi gereksinimi

Türkiye Beslenme Rehberinde yetişkinler için günlük alınması gereken diyet lifi miktarı 25 gram olarak önerilmektedir (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022). Amerika'daki Tıp Enstitüsü diyet referans indeksi diyet lifi önerileri, koruyucu özelliklerinden ötürü diyet lifi miktarını yeterli alıma göre (14 g/1000 kcal) hesaplamıştır. Önerilen diyet lifi alımları kaloriye göre ayarlanmıştır; yetişkin erkek tavsiyeleri 38 g/gün ve yetişkin kadın tavsiyeleri 25 g/gündür. Amerika Bileşik Devletleri yeni Besin Değerleri paneli, 2000 kalorilik diyete dayalı olarak günlük diyet lifi gereksinimini 28 g/gün olarak beyan edecektir. Diyet lifleri için günlük alım 25 g olarak kabul edilmektedir, dolayısıyla şu

anda iyi diyet lifi kaynağı olduğu iddia edilen ürünlerin, lif içeriğini artırması gerekecektir (Korczak ve Slavin, 2020).

#### 2.2.4. Diyet lifi karşılama durumu

Yetişkinler için günlük alınması gereken diyet lifi miktarı 25 gram olarak önerilmektedir. Türkiye Beslenme ve Sağlık Araştırması 2017 sonuçlarına göre ise 18 yaş ve üzeri tüm yetişkinlerde yetersiz lif alım oranı %67,7 olarak saptanmıştır. Toplumda erkeklerde ve kadınlarda ileri yaşlarda diyet lifi tüketimi daha da azalmaktadır. Toplumun kadınlarda 75 yaş ve üzerinde sadece %13,1'i, erkeklerde ise aynı yaş grubunda %27'si lifi önerilen miktarda tüketmektedir (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022). Şekil 2.3.'de Türkiye'de diyet lifi tüketiminde toplum verileri verilmiştir.



Şekil 2.3. TÜBER 2022'ye göre diyet lifinin yeterli alımın altında ve üstünde tüketilme durumu % (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022).

### 2.2.5. Diyet liflerinin sağlık yararları

Diyet liflerinin sağlık yararları vücuttaki fizyolojik etkilerine göre sınıflandırılır, sağlık yararları da fizyolojik özelliklerine göre etki gösterir. İlk olarak sınıflandırmada en yaygın kullanılan çözümlü diyet lifleri ve çözümlü diyet lifleridir. Çözümlü lifler, kan kolesterol düzeylerini ve trigliserit düzeylerini düşürür, karbonhidratların sindiriminin yavaşlatır bu sayede kan glukozunun hızlı yükselmesini önler, mide boşalmasını geciktirir. Çözümlü lifler ise, suyu yapısında tutabilir, dışkıya hacim ve yumuşaklık vererek, konstipasyonu önler, bağırsakların düzenli bir şekilde çalışmasını sağlar. Vücutta sindirilmeyen maddelerin bağırsak içerisinde hareketini artırır ve geçiş süresini kısaltır. Bu sayede bağırsak çeperini korur (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022). Ancak tüm çözümlü liflerin besin emilimini değiştirmediği ve çözümlü olmayan liflerin dışkı ağırlığı üzerinde farklı etkileri olduğu bilinmektedir. Bu bakımdan, çözümlü/çözümlü olmayan bazı sınıflandırmalar son yıllarda viskozite ve jel oluşumuna doğru kaymıştır (Gropper vd., 2022).

Diyet lifi sınıflandırmasında kullanılan viskozite ve jel oluşumu sağlık yararları açısından oldukça önemlidir. Viskozite, lifin hem suyu bağlama hem de tutma yeteneği ile ilgilidir. Viskoz jel oluşturuvcu lifler esas olarak beta glukozlar, müsilağlar (örneğin psilyum) ve gümmlar (özellikle işlenmemiş guar gümml)'dir. Bu lifler, bazı durumlarda ağırlıklarının birkaç katı kadar suda emildiğinde, sindirim sistemi içinde viskoz, jelatinimsi bir kütle oluşturur. Bu liflerin tüketimi serum lipitlerini (toplam ve LDL kolesterol) azaltabilir. Viskoz jel oluşturuvcu çözümlü liflerin tüketimi aynı zamanda glisemik kontrolü de iyileştirir. Aynı zamanda lifin sindirim sistemi içeriğinin (örneğin kimus) viskozitesini artırır. Mide boşalmasını geciktirebilir, bağırsak geçiş süresini uzatabilir ve sindirim süreci yavaşlayabilir. Dolayısıyla tokluk hissi artabilir (Gropper vd., 2022; T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022).

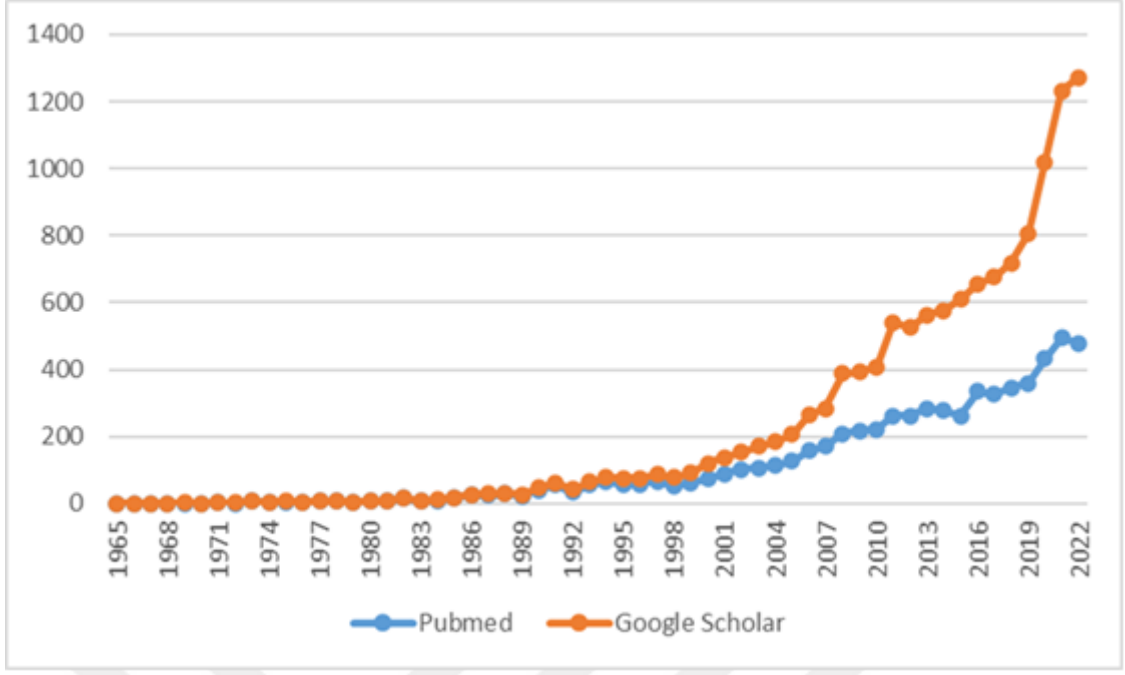
Sağlık yararlarıyla en çok ilişkilendirilen başka bir özellik de fermente edilebilirliktir. Diyet lifleri sindirim enzimleri tarafından sindirilmeden kolona ulaşır. Daha sonra kolonik bakteriler bu sindirilmemiş kütlede değişen oranlarda fermente eder. Liflerin fermentasyonu esas olarak proksimal (üst) kolonda meydana gelir ve sindirilmemiş kütle kolonun enine ve inen bölümleri boyunca hareket ettikçe azalır. Fermente olabilen lifler kalın bağırsaktan geçerken bozulmadan kalmazlar. Ayrıca, lifler başlangıçta proksimal gastrointestinal sistemde jel oluşturma özelliğine sahip olsa da, kalın bağırsakta fermente edildikleri için su tutma kapasitelerini ve jel kıvamını kaybedebilirler. Fermente olabilen lifler dışkı hacmine önemli ölçüde katkıda bulunmaz

ancak dışkı bakteri kütlesini arttırır. Fermente edilebilir lifler arasında pektinler, inülin, bazı dirençli nişastalar ve guar gumları bulunur. Fermente edilebilir viskoz, jel oluşturucu lifler arasında beta glukanlar ve kısmen hidrolize guar gumı bulunur. Yavaş fermente olabilen, çözünmeyen lifler arasında bir miktar lignin ve bir miktar hemiselüloz bulunur. Dirençli bir nişasta olan buğday dekstrini ve polidekstroz da fermente edilebilir. Liflerin kolonik bakteriler tarafından fermantasyonu, mikrobiyal büyüme için enerjinin, insan metabolizması tarafından kullanılabilir kısa zincirli yağ asitleri gibi ürünler de sağlar. Lif fermantasyonundan elde edilen enerji miktarı çoğunlukla tüketilen lifin miktarına, türüne ve üretilen kısa zincirli yağ asitlerine bağlıdır, genellikle yaklaşık 1,5-2,5 kcal/g olduğu tahmin edilmektedir. Prebiyotikler, konakçı mikroorganizmalar tarafından seçici olarak kullanılan ve sağlık açısından fayda sağlayan substratlar için kullanılan terimdir. Fermente edilebilir lifler prebiyotik etki gösterirler. (Gropper vd., 2022). Bağırsak için yararlı bakteriler olan probiyotikler için gerekli besin maddesi prebiyotiklerdir. Fermente edilebilir diyet lifleri prebiyotikleri içerdikleri için bağırsak florasının sağlığı için oldukça önemlidir. Kolon kanseri riskini azaltıcı etki gösterebilirler (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022).

Bu olumlu etkilerin yanı sıra çok yüksek lifli beslenmenin enerji alımını azaltırken demir, kalsiyum ve magnezyum gibi önemli minerallerin emilimini azaltabilmektedir (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022).

### **2.3. Beta Glukan**

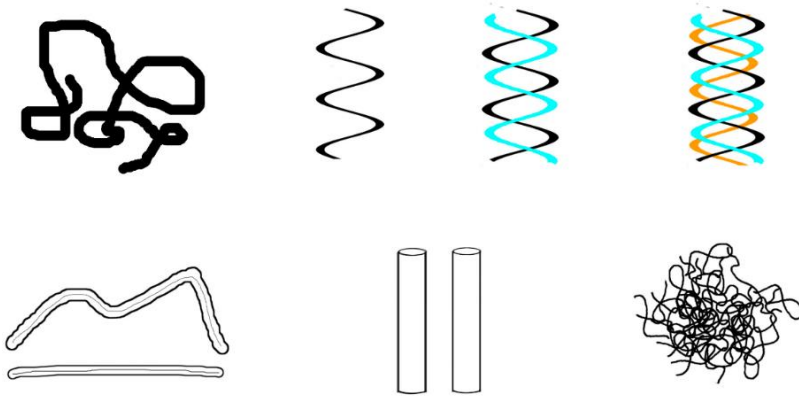
Diyet lifleri sağlık için oldukça önemlidir. Birçok özelliği ile diyet lifleri arasında da beta glukan dikkat çekmektedir. Sağlık beyanları ve yararları ile öne çıkan biyoaktif bir bileşik olan beta glukan araştırmacıların son yıllarda oldukça ilgisini çekmiştir. Pubmed ve Google Scholar veri tabanlarında 1965-2022 yılları arasında yayınlanan makale sayıları incelendiğinde bu artış görölmektedir (şekil 2.4).



Şekil 2.4. Yıllara göre beta gluklan çalışmaları

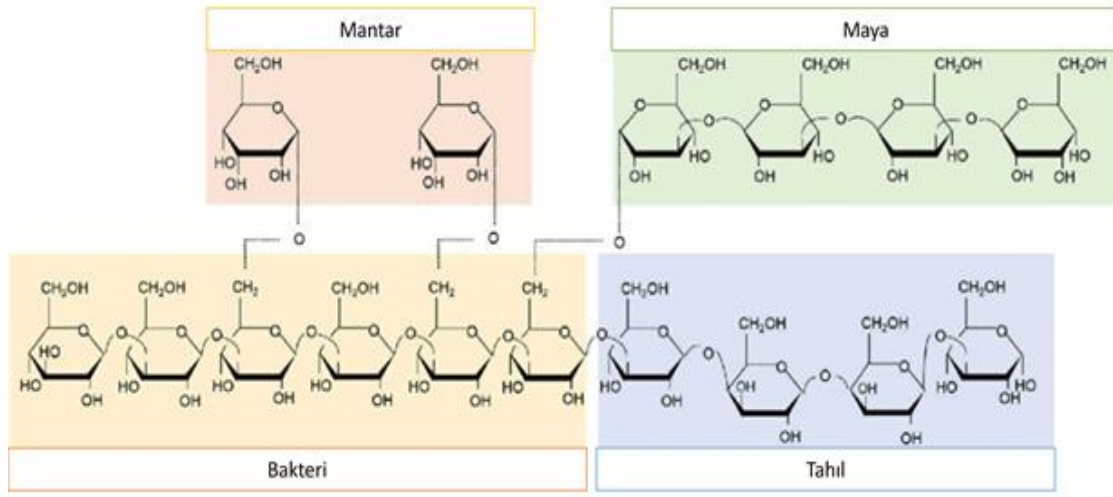
### 2.3.1. Beta gluklanın kimyasal yapısı

Beta gluklanın kimyasal yapısına bakıldığında bir polisakkarit olduğunu ve gluklan ailesinden olduğu görülür. Glukanlar, 25.000'den fazla D-glukoz ünitesinin birbirlerine dallı veya dalsız formda glikozidik bağlarla bağlanarak oluşan polisakkarit yapıdır. Glikoz birimlerinin anomerik yapılarına göre, lineer veya dallı, alfa ya da beta glikozit bağ pozisyonları bağlanmış olabilirler ve buna göre adlandırılır (Synytsya ve Novak, 2014). Yapıları rastgele sarmal, tek sarmal, çift sarmal, üçlü sarmal, solucan benzeri şekil, çubuk benzeri şekil ve kümelenme şeklinde olabilir (Wang vd., 2017) (Şekil 2.5.).



Şekil 2.5. Sulu çözeltide olası polisakkarit zincir yapılarının şeması (Wang vd., 2017).

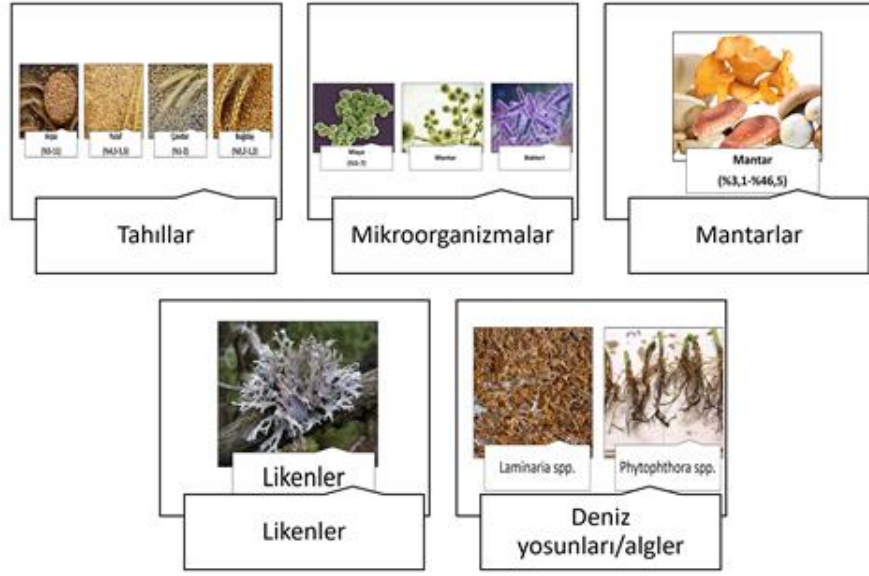
Örneğin doğada yaygın olarak lineer ve dallı bulunan alfa glukanlar, amiloz, amilopektin, glikojendir. Doğada yaygın olarak bulunan beta glukanlara ise, selüloz, tahıl beta glukanları, mantar beta glukanları örnek olarak verilebilir. Bazı mantar beta glukanları mantar kökenlerine göre grifolan, lentinan, şizofilan, skleroglukan gibi isimler de alabilir. Ayrıca beta glukanların kaynaklarına ve bağ yapılarına göre 1,3; 1,4;1,6 gibi farklı türleri de vardır (Synytsya ve Novak, 2014) (Şekil 2.6).



**Şekil 2.6.** Bakteriler, mantarlar, maya ve tahıllardan elde edilen beta glukanların örnekleri ve konfigürasyonları (de Graaff vd., 2018)

### 2.3.2. Beta glukanın kaynakları

Arpa, yulaf ve buğday gibi tahıllar en çok ve en uzun süredir bilinen beta-glukan kaynaklarıdır. Son zamanlarda araştırmacıların beta glukana olan ilgisiyle birlikte, mikroorganizmaların (maya, mantar, bakteri), mantarların, likenlerin ve deniz yosunları/alglerin beta glukan kaynağı olduğu saptandı (Bobade vd., 2021). Beta-glukan içeriği, çeşitli kaynaklar arasında büyük farklılıklar gösterir. Tahıllar arasında arpada daha fazla beta-glukan bulunurken bunu yulaf takip ederken en az miktar buğday ve pirinçte bulunur (Mejía vd., 2020) (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Beta glukan kaynakları

### 2.3.3. Beta glukanın sağlık yararları

Literatürde yer alan birçok çalışma beta glukanın, kan serumunda total kolesterolü ve LDL kolesterolü azaltması (Yu vd., 2022), postprandiyal glikoz artışını inhibe etmesi (Aoe vd., 2021), kronik gastritte mukozal hasarı azaltması (Gudej vd., 2021), çeşitli duygusal ve fiziksel duygu durumları üzerinde yararlı etki sağlaması (Wolever vd., 2021), prebiyotik etkileri ile bağışıklık sistemini geliştirebilmesi (Mio vd., 2021), immünomodülatör, antiinflamatuvar, antitümör ve anti metastatik etkileri olması, grip ve besin alerjilerini hafifletmesi, stresi azaltması, bağırsak mukozasını koruması, yağ emilimini azaltması, kemik sağlığını ve mide ülserlerini iyileştirmesi (Suzuki vd., 2021) yönündeki sağlık yararlarını ortaya koymaktadır.

Kardiyovasküler hastalıklar, ülkemizde ve dünyada en önde gelen ölüm nedenidir. Dünya Sağlık Örgütünün verilerine göre her yıl tahminen 17,9 milyon cana mal olmaktadır. (WHO, 2024, Mayıs 01-a). Türkiye İstatistik Kurumunun (TÜİK), Ölüm ve ölüm nedeni istatistikleri verilerine göre ise 2022 yılında ölüm nedenlerinde %35,4 ile dolaşım sistemi hastalıkları ilk sırada yer aldı. Dolaşım sistemi hastalıklarından kaynaklan ölümün alt nedenleri incelendiğinde, ölümlerin %42,3'ü iskemik kalp hastalıklarından, %23,5'i diğer kalp hastalıklarından, %19,2'si serebro-vasküler hastalıklardan, %9,9'u da hipertansif hastalıklardan kaynaklandığı saptanmıştır (TÜİK, 2023a). Dünyada ve ülkemizde ölümlere en çok neden olan kardiyovasküler

hastalıklardan korunmak ve mevcut hastalıkların tedavisinde beta glukanlar önem kazanmıştır. Çünkü beta glukanların kolesterol düşürücü ve antihipertansif etkileri bulunmaktadır. Kolesterol düşürücü etkileri litertürde çeşitli mekanizmalar ile açıklanmaktadır. Beta glukanlar çözünür ve viskoz diyet lifleridir. Bağırsakların yüzeyinde mukozal bir jel yapı oluşturmaktadır. Bu jel yapı, safra tuzlarının emilimini engelleyerek karaciğerin yeniden safra tuzu sentezlemesini sağlamaktadır. Miktarı artan safra asitleri ise dolaşımda bulunan kolesterolün kullanılmasını teşvik ederek kanda bulunan kolesterol seviyelerinin azalmasını sağlar. Ayrıca bu jel yapı ve beta glukanın viskoziteyi artırması sayesinde kolesterolün bağısaktan emilimi azalır (Ege ve Köseoğlu Aydenk, 2021; Joyce vd., 2019; Sima vd., 2018).

Diyabet, dünya genelinde yaklaşık olarak 422 milyon insanı etkilemektedir. Diyabet vakalarının çoğunluğu düşük ve orta gelirli ülkelerdedir. Her yıl 1,5 milyon insanın ölüm nedeni doğrudan diyabete bağlanmaktadır. Diyabet prevalansı giderek artmaktadır. Diyabet hastaları yaşam boyunca kalp, damarlar, gözler, böbrekler ve sinirlerde ciddi hasara yol açma riski ile de karşı karşıyadır (WHO, 2024, Mayıs 01-b). Türkiye’de ise 2022 yılında 15 yaş üstü bireylerin son 12 ay içinde yaşadığı başlıca hastalık/sağlık sorunlarında diyabet oranı, erkeklerde %8,9, kadınlarda %13,8, toplamda ise %11,4 olarak saptanmıştır (TÜİK, 2022). Beta glukanın diyabet üzerinde de iyileştirici etkileri olduğu son yıllarda ortaya konmuştur. Beta glukanın insülin ve kan glukozunu azaltma mekanizmaları incelendiğinde, viskozite özelliği ön plana çıkmaktadır. Beta glukanın tüketimi ile sindirim sisteminde viskozite artmaktadır. Bu sayede sindirim sisteminin boşalması yavaşlamaktadır. Sindirim ve emilim yavaşlamakta, enzim difüzyonu azalmakta ve enterositlere glukoz geçişi azalmaktadır (El Khoury vd., 2012). Başka bir mekanizma ise, beta glukanın fermente olabilme özelliği ile açıklanmaktadır. Bağırsakta fermente olan beta glukandan kısa zincirli yağ asitleri oluşur. Bu yağ asitleri reseptörleri uyararak kasların insülin duyarlılığının artmasını sağlamaktadır (Canfora vd., 2015; El Khoury vd., 2012). Beta glukanın viskozitesinin artması molekül ağırlığı ile ilişkilidir (Mäkelä vd., 2020). Örneğin beta glukanın serum lipoproteinleri ve yemek sonrası glukoz ve insülin konsantrasyonlarını üzerine etkisi araştıran bir çalışmada, denekler 5 gruba ayrılmıştır. Kontrol grubu, 5 gramlık ve 10 gramlık molekül ağırlığı 70000 Dalton (Da) olan yulaf beta glukani verilen ve 5 gramlık ve 10 gramlık molekül ağırlığı 40000 Da olan arpa beta glukani verilen gruplara içecekler verilmiştir. En iyi etki, 5 gramlık yüksek molekül ağırlıklı beta glukani verilen grupta görülürken, diğer gruplarda anlamlı etki saptanmamıştır (Börklund vd., 2005). Çözünen, fermente edilebilir, yüksek

molekül ağırlıklı ve viskozitesi yüksek beta glukanlar, Hb1Ac, tokluk kan şekeri, insülin düzeylerinde azalma sağlamakta, kardiyovasküler hastalık riskini azaltmakta, doyumluk hissini artırarak vücut ağırlığı kontrolünde yarar sağlamıştır. Diyabet yönetiminde önemli bir potansiyeli vardır. Yeterli miktarda diyet lifi tüketiminin yanı sıra, FDA'nın da önerdiği gibi 3 gram beta glukan tüketimi sağlanmalıdır (Karaçil ve Akbulut, 2013).

Beta glukanın immun module edici etkileri hakkında literatürde bir çok araştırma vardır. Bağışıklık sistemi üzerindeki etki mekanizmaları incelendiğinde, fagositoz, interlokin (IL)-2 üretimi, antikor üretimi, superoksit üretimi, interferon gama (IFN-gama) üretimi görülmektedir. Yakın dönemde pandemiye neden olan COVID-19 için bile çok kritik etkileri olabileceği belirtilmiş olup, makrofajları aktive eden etkileri, doğal öldürücü – Natural Killer (NK) ve baskılayıcı T hucre yanıtını uyardığı bildirilmiştir (Şirinyıldız ve Mavi Bulut, 2022). COVID-19 sendromu, bağışıklık hücrelerinin aşırı tepkisine neden olan sitokin fırtınasına yol açabilir. Dolayısıyla COVID-19 ile mücadelede sitokin fırtınasını baskılayabilmek önemli bir potansiyel tedavi seçeneğidir. Beta glukan alımı sitokin fırtınasını baskılayabilmek için önemli bir potansiyel çözüm sunabilir (Lionetti vd., 2021).

Yüksek oranda yağ açısından zengin ve lif açısından düşük, yüksek oranda işlenmiş besinler ile karakterize “Batılı” tarzı beslenme modeli, nöroinflamasyon ve bilişsel bozukluk da dahil olmak üzere bir çok metabolik işlev bozukluğuyla ilişkilidir. Beta glukan, alt gastrointestinal sistemde fermente edilerek, potansiyel olarak mikrobiyal ekosistemi etkiler ve dolayısıyla bağırsak-beyin eksenini yoluyla biliş ve beyin fonksiyonlarını iyileştirebilir. Yüksek yağ ve yetersiz lif ile beslenen obez fareler ile yapılan bir çalışmada, 15 hafta boyunca uzun süreli takviyenin ardından beta glukan takviyesi, nesne konumu, yeni nesne tanıma ve yuva oluşturma testleri ile davranışsal olarak değerlendirilen batılı beslenme tarzının neden olduğu bilişsel bozukluğu önlediği görülmüştür (Shi vd., 2020). Ayrıca başka bir çalışma kötü uyku kalitesi olan otizm spektrum bozukluğu, sorun düşük melatonin düzeylerine bağlanmaktadır. Beta glukan müdahalesinde bulunan 13 çocuk üzerinde yapılan çalışmada melatonin düzeylerinin artarak, uyku düzeni ve kalitesinde iyileşme görülmüştür (Raghavan vd., 2022).

Sağlıklı yetişkinler üzerinde yapılan başka bir çalışmada ise günde 3 kez 1 gram beta glukan verilen bireylerde, plasebo grubuna kıyasla, 2. haftada baş ağrısı şiddetinde azalma, anksiyete ve üşüme hissinde azalma, eklem/uzuv ağrısında azalma, konsantrasyon gücünde azalma, 4. Haftada yorgunluk ve sıcak basması hissinde azalma saptandı. Bu veriler, beta glukanın sağlıklı yetişkinlerde çeşitli gastrointestinal

sistem dışı semptomları azaltabileceğine dair ön, hipotez oluşturan kanıtlar sağlar (Wolever vd., 2021).

Ayrıca FDA onay verdiği sağlık iddialarından birinde “Koroner kalp hastalığı riskini azaltmak için gerekli olan çözümlü lif kaynağının günlük diyet alımını ve ürünün bir porsiyonunun belirtilen günlük diyet alım seviyesine yaptığı katkıyı belirtir.” iddiası yer almaktadır. Bu iddiadaki şart ise “Tam yulaf veya arpadan veya bütün yulaf ve arpa kombinasyonundan günde 3 g veya daha fazla beta glukan çözümlü lif.” şeklinde yer almaktadır (FDA, 2021).

Önemli bir husus da yapılan çalışmalarda toksisiteye rastlanmamasıdır. Beta glukanın güvenliği üzerine yapılan birçok araştırma, beta glukan tüketmenin güvenli olduğunu ve herhangi bir olumsuz sağlık etkisi saptanmadığını ortaya koymuştur. Hayvan deneylerinde oldukça yüksek doz denemelerde bile toksisite görülmemiştir (Bobade vd., 2021). Yapılan bir hayvan çalışmasında vücut ağırlığı kilogramı başına 2000 mg gibi oldukça yüksek bir konsantrasyonda yapılan denemede bile toksisite gözlemlenmemiştir (Delaney vd., 2004).

## **2.4. Beta Glukan Ekstraksiyonu**

Beta-glukanın ekstraksiyonu için birçok kaynak ve birçok proses vardır. Beta-glukanı tahıllardan ayırmanın kuru ve ıslak ekstraksiyon yöntemleri olarak adlandırılan iki ana teknik vardır. Kuru ayırma teknikleri daha basit yöntemlerdir ama genellikle düşük bir beta-glukan içeriğine (<%30) sahiptir (Vasanthan ve Temelli, 2008). Islak ayırma tekniklerinde ise beta-glukan konsantrasyonu %50-%70 arasına ulaşılabilir (Bobade vd., 2021).

### **2.4.1. Kuru ayırma teknikleri**

Kuru ayırma teknikleri, kabuk soyma, kuru öğütme ve eleme ve kuru öğütme ve hava elekleridir. Kabuk soyma işleminde tahıl kırılmadan dış yüzeyi aşındırılarak soyulur. Böylelikle beta glukan konsantrasyonu %25 artırılır. Kuru öğütme ve eleme işleminde ise tahıl tanesinin önce öğütülür daha sonra ise elenir. Öğütülen tahıl büyüklüklerine göre ayrılır. Bu sayede beta glukan konsantrasyonu %9 artırılır. Ama bu işlem yağ oranı yüksek olan yulaf gibi tahıllara uygun değildir (Vasanthan ve Temelli, 2008).

Kuru öğütme ve hava elekleri işleminde de tahılların öğütülmesinden sonra, öğütülmüş tahıl hava elekleri ile yoğunluğa göre gruplandırılır. Bu işlemde beslenme,

hava akış ve sınıflandırıcı dönme hızları parametrelerinin optimizasyonu ile beta glukan konsantrasyonu %30 artırılabilir. Ama bu yöntem de yağ içeriği yüksek olan tahıllara uygun değildir (Vasanthan ve Temelli, 2008). Bu yöntemlerin avantajı daha basit olmasıdır ama en önemli dezavantajı düşük konsantrasyondur.

#### **2.4.2. Islak ayırma teknikleri**

Islak ayırma teknikleri, kuru ayırma tekniklerine göre dezavantajı daha karmaşık olması ve yüksek maliyetli olmasıdır. Temel avantajı ise konsantrasyonu daha yüksektir. Islak ayırma tekniklerinde beta glukanın ekstrakte edilebilirliği; sıcaklık, pH, ekstraksiyon süresi, partikül boyutu, karıştırma hızı ve solvent: un oranı gibi parametrelerden etkilenir (Benito-Román vd., 2011; Bobade vd., 2021). Beta glukanın ekstrakte edilebilmesi için hammaddede bulunan nişastanın jelatinleşme sıcaklığının altında olması önemlidir. Bu sebeple ekstraksiyon sıcaklığının maksimum 55 °C de olması önerilir (Benito-Román vd., 2011).

Parçacık boyutunun küçülmesi de ekstraksiyon süresini kısaltır (Benito-Román vd., 2011). Hammaddede bulunan beta glukanaz enzimlerini inhibe etmek beta glukanın molekül ağırlığını yüksek olarak elde edebilmek için önemlidir. Bunun için ekstraksiyon öncesinde ek bir basamak kullanarak etanol (%80, v/v) ile 2 saat süreyle geri akış altında kaynatmak önerilir (Benito-Román, Alonso ve Cocero, 2013b). Bu yöntem aynı zamanda hammaddenin lipid içeriğinin uzaklaştırılmasında da uygun bir adımdır. Çünkü bir araştırmada hammaddenin lipid içeriğinin uzaklaştırılmasının da beta glukan ekstraksiyonunu geliştirebileceği ortaya konulmuştur (Sibakov vd., 2011).

Islak ayırma teknikleri dört ana başlıkta toparlanabilir. Su ekstraksiyonu, alkali ekstraksiyon, asidik ekstraksiyon ve enzimatik ekstraksiyon olarak sıralanabilir (Maheshwari vd., 2017). Literatürde en çok yararlanılan yöntem su ekstraksiyonudur. Bu yöntemde numuneler öğütülür ve elenir. Uygun boyutta numuneler sıcaklık ayarlanarak belirli sürelerde karıştırılır. Maliyetli ve zaman alıcı bir yöntemdir. Sulu ekstraksiyon verimini arttırmak için geliştirilmiş ekstraksiyon tekniklerinden de yararlanır. Bunlardan bazıları, ultrason destekli ekstraksiyon (Benito-Román, Alonso ve Cocero, 2013b), yüksek basınçlı su ekstraksiyonu (Benito-Román, Alonso ve Cocero, 2013a), sabit yataklı basınçlı su ekstraksiyonu (Benito-Román vd., 2013), mikrodalga ekstraksiyonu ve ultrason destekli mikrodalga ekstraksiyonudur (H. Liu vd., 2021). Gelişmiş ekstraksiyon yöntemleri ve toksik olmayan özelliği nedeniyle suyun “yeşil bir çözücü” olarak kullanılması hem zamandan tasarruf sağlaması hemde beta glukanın

karakterizasyonuna zarar vermemesi oldukça önemli bir avantajdır ama yüksek maliyetler ve endüstriyel üretime şu an için uygun olmaması bir dezavantaj oluşturmaktadır (Benito-Román, Alonso ve Cocero, 2013b; H. Liu vd., 2021).

Alkali ekstraksiyonda sulu ekstraksiyona fark olarak aynı işlemin alkali koşullarda yapılmasıdır. Genellikle NaOH ve Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> çözeltileri kullanılarak hazırlanır. Asidik ekstraksiyon adından da anlaşılacağı üzere asidik koşullar altında yapılan bir ekstraksiyon işlemidir. Perklorik asit ve sitrik asit kullanılarak yapılan araştırmalar vardır. Avantaj olarak etanolde bekletme ön işlemine gerek kalmadan ekstraksiyon yapılabilmesidir. Ama diğer yöntemler içerisinde en düşük verimin bu ekstraksiyon tekniğinde olması önemli bir dezavantajdır. Enzimatik ekstraksiyon tekniğinde ise numunelere uygulanan etanol ön işleminden sonra kurutulmuş alfa amilaz işleminden geçer ve daha sonra proteaz ön işleminden geçer. Bu teknikte daha yüksek saflıkta ve yüksek molekül ağırlığında ürün elde etmek mümkün iken ayırma güçlüğü ve katı reaktif koşullar gerektirir. Ancak uzun ekstraksiyon süresi ve yüksek maliyetler söz konusudur (Maheshwari vd., 2017).

Farklı ekstraksiyon teknikleri ve farklı ekstraksiyon koşulları üretilen beta glukanın sadece verimi ve saflığı değil aynı zamanda karakterizasyonunu da değiştirmektedir (Maheshwari vd., 2017). Son araştırmalar, ekstraksiyon sırasında beta glukanın yapısında mümkün olduğu kadar az değişiklik meydana gelmesinin en iyi yöntem olduğunu ortaya koymaktadır (Bobade vd., 2021). Çünkü beta glukanın sağlık yararları sağlayan fizyolojik aktivitelerinin çoğu, beta glukanın moleküler ağırlığı, yüksek viskozitesi ve çözünürlüğü ile yakından ilgilidir (Mejía vd., 2020; Tosh vd., 2010). Bu nedenle beta glukanın elde ederken minimum değişiklikler meydana gelmesi için agresif olmayan ekstraksiyon ve saflaştırma yöntemine öncelik vermek gerekmektedir (Bobade vd., 2021). Gelişmiş ekstraksiyon teknikleri diğer konvansiyonel yöntemlere kıyasla daha umut vericidir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, yüksek verimlilikte beta glukan ekstraksiyonu yapabilmek için seçilen yöntemler ve yapılan analizler aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

#### 3.1. Materyal

Ülkemize yetişen kavuzsuz arpalar incelendiğinde, Türkiye Cumhuriyeti Tarım Orman Bakanlığına bağlı Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsünün ürün portföyünde yer alan iki tür kavuzsuz arpa bulunduğu tespit edilmiştir. Bunlar Yalın ve Özen türleridir (TAGEM, 2022). Arpa türlerinin beta glukan miktarlarının da tespit edilerek yapılan bir araştırmada en çok beta glukan içeren türün 2014 yılında tescillenen Yalın türü olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.1.). Bu sebeple bu çalışmada Yalın türü arpa tercih edilmiştir (Erbaş Köse vd., 2021).



Şekil 3.1. Kavuzsuz arpa

Arpa türünün seçiminin ardından, Türkiye Cumhuriyeti Tarım Orman Bakanlığına bağlı Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü ile iletişime geçilmiş ve Yalın türü kavuzsuz arpa 13.01.2022 tarihinde satın alınmıştır. 2021 yılında hasat edilmiş olan arpa, bu araştırmanın tüm basamaklarında Gaziantep Üniversitesi Gıda Mühendisliği Soğuk Hava deposunda 4 °C de muhafaza edilmiştir. Deneylerde kullanılan asetik asit, etanol, sodyum dihidrojen fosfat dihidrat ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), sodyum hidroksit, potasyum sülfat, bakır sülfat ve sülfirik asit analitik saflıkta olup Sigma-Aldrich (ABD)'ten temin edilmiştir. Beta glukan analiz kiti ve toplam nişasta analiz kiti Megazyme (ABD) firmasından satın alınmıştır.

### **3.2. Yöntem**

Temin edilen Yalın türü kavuzsuz arpa öğütülerek analizler ve ekstraksiyon için uygun hale getirilmiştir. Elde edilen arpa ununun protein içeriği, nem miktarı, kül miktarı ve beta glukan içeriği analiz edilmiştir. Daha sonra beta glukan ekstraksiyonu mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu ile ön denemeler yapılarak ekstraksiyon koşulları belirlenmiştir. En uygun koşulları belirlemek için optimizasyon yapılmıştır. Optimize edilmiş koşullarda mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu ile üretilen beta glukan numuneleri ve klasik sulu ekstraksiyon yöntemi ile üretilen beta glukan numuneleri karşılaştırılarak elde edilen beta glukanın karakterizasyonu belirlenmiştir.

#### **3.2.1. Arpanın öğütülmesi**

Arpa sert taneli bir tahıldır. Kavuzsuz olmasına rağmen homojen olarak öğütülmesinde denenen birçok ev tipi ve laboratuvar tipi öğütücü ile başarılı sonuçlar alınamamıştır. Tam tahıl öğütme makinası arayışlarımız sonucu Erdal Özkan Makine A.Ş. tarafından geliştirilen CRABCUT marka CR0 model 2021 yılında üretilmiş bir yeni nesil tam tahıl öğütme makinası kullanılmıştır (Şekil 3.2.). Bu sayede kepek ayrılmadan homojen, unun sıcaklığı artmadan 500 mikron boyutunda öğütme sağlanmıştır.



**Şekil 3.2.** Tam tahıl öğütme makinası

### **3.2.2. Arpa unu analizleri**

Ekstraksiyon öncesinde arpa ununun bazı bileşim analizleri yapılmıştır. Bunlar, protein, nişasta, nem, kül, yağ ve beta glukan analizleridir.

#### **3.2.2.1. Protein analizi**

Örneklerin toplam protein miktarları Uluslararası Amerikan Resmi Analitik Kimyacıları Birliği (AOAC) 920.87 kodlu Kjeldahl metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir [AOAC International, (Uluslararası Amerikan Resmi Analitik Kimyacıları Birliği), 2002]. Yaklaşık 1 g tartılan örnek yakma balonuna alınmış, üzerine 7 g potasyum sülfat, 0.01 g bakır sülfat ve 12,5 ml derişik  $H_2SO_4$  eklenmiştir. Yakma işlemi  $400^\circ C$ 'de 40 dakikada gerçekleştirilmiş ve daha sonra örnekler oda sıcaklığına getirilmiştir. Distilasyon işlemi (FOSS-Tecator-2200, İsviçre) cihazında gerçekleştirilmiş ve elde edilen distilat 0,1 N HCl asit ile titre edilerek toplam azot miktarı hesaplanmıştır

(Şekil 3.3.). Toplam protein miktarı bulunan azot miktarının 5,83 ile çarpılması sonucu elde edilmiştir. Analizler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Toplam protein miktarı bulunan azot miktarının 5,83 ile çarpılması sonucu elde edilmiştir. Analizler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. Protein Analizi

#### 3.2.2.2. Nişasta analizi

Nişasta analizi, toplam nişasta enzim kiti kullanılarak (Megazym, USA) yapılmıştır. Nişasta miktarı, tartılan örneğin  $\alpha$ -amilaz enzimi ile muamelesinden sonra amiloglukosidaz enzimi ile D-glukoz birimlerine indirgenmesi ve bu miktarın da UV-Vis spektrofotometre ile (Optima SP 3000 Nano, Tokyo, Japonya) belirlenerek nişasta miktarının hesaplanması ile yapılmıştır (McCleary ve Monaghan, 2002).

#### 3.2.2.3. Nem analizi

Nem tayini AOAC Metodu 925.10 kullanılarak gerçekleştirilmiştir (AOAC International, 2002). Petri kapları önce etüve konularak 3-4 saat kadar tüm neminin

alınması için  $105\pm 5$  °C sıcaklıkta bekletilmiştir. Desikatörde oda sıcaklığına getirilen petrilere yaklaşık 1-2 gram örnek konularak,  $105\pm 5$  °C’de sabit tartıma gelene kadar bekletilmiş ve nem miktarı tespit edilmiştir. Analizler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.

#### **3.2.2.4. Kül analizi**

Örneklerdeki toplam kül miktarı AOAC metodu 923.03 kullanılarak gerçekleştirilmiştir (AOAC International, 2002). Krozeler  $550$  °C de kül fırınında 2 saat bekletilmiştir. Desikatörde oda sıcaklığına getirilen krozelere yaklaşık 0,5 g ağırlığında örnek tartılıp tamamen kül oluncaya kadar  $550$  °C sıcaklıktaki kül fırınında bekletilmiş ve kül miktarı tespit edilmiştir (Şekil 3.4.). Deneyler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.



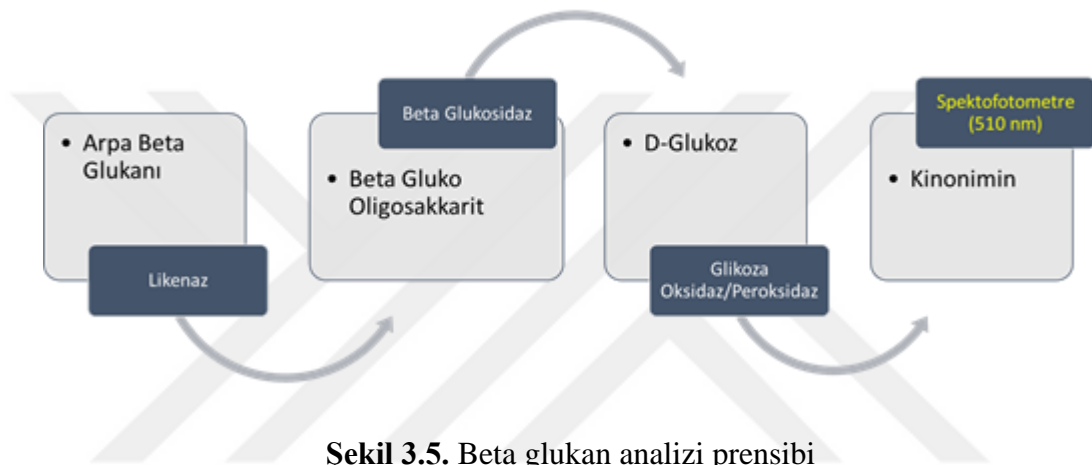
**Şekil 3.4.** Kül Analizi

#### **3.2.2.5. Yağ analizi**

Nem miktarı %10 un altında olan numune (10 g), Soxhlet aparatı kullanılarak sıcak plaka üzerinde 8 saat boyunca 220 mL heksan ile ekstre edildi. Ekstraksiyon sonunda solvent, döner buharlaştırıcı (Heidolph Instrument GmnH & Co. KG, Schwabach, Almanya) kullanılarak  $40$ °C’de buharlaştırıldı.

### 3.2.2.6. Beta glukan analizi

Beta glukan analizi literatürde McCleary metodu olarak anılan enzimatik bir analiz yöntemidir. AOAC metodu 923.03 kullanılarak gerçekleştirilmiştir (AOAC International, 2002). Beta glukanların sodyum fosfat ile çöktürülüp, örneklerin likenaz ve beta glukosidaz enzimi ile parçalanması ve elde edilen glikoz birimlerinin glikoz oksidaz ve glikoz peroksidaz ile parçalanması prensibine dayanır. Sonuçta oluşan “quinoneimine” boya maddesinin 510 nm dalga boyundaki absorbansı spektrofotometrede okunması prensibine dayanmaktadır (Şekil 3.5.)



Şekil 3.5. Beta glukan analizi prensibi

#### 3.2.2.6.1. Kimyasallar

Deneylerde kullanılan asetik asit, etanol, sodyum dihidrojen fosfat dihidrat ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ve sodyum hidroksit analitik saflıkta olup Sigma-Aldrich (ABD)’ten temin edilmiştir. Beta glukan analiz kiti Megazyme (ABD) firmasından satın alınmıştır (Şekil 3.6.)



Şekil 3.6. Beta glukan analizi kiti

#### 3.2.2.6.2. Hazırlanan tamponlar ve çözeltiler

Analiz için bazı tamponlar ve çözeltiler gerekmektedir. Bu çözeltiler ve hazırlanışı aşağıda verilmiştir.

##### 3.2.2.6.2.1. Sodyum fosfat tamponu (20 mM, pH 6,5)

3,12 g sodyum dihidrojen ortofosfat dihidratı ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 900 mL saf suda çözülür ve 100 mM sodyum hidroksit (4 g/L) (yaklaşık 50 mL gerekli) eklenerek pH'ı 6,5'e ayarlanır. Hacmi 1 L'ye tamamlanır ve 0,2 g sodyum azit eklenir. 4°C'de 2 ay stabildir.

##### 3.2.2.6.2.2. Sodyum asetat tamponu (50 mM, pH 4,0)

900 mL distile suya 2,9 mL glasiyel asetik asit eklenir. 1 M sodyum hidroksit solüsyonu ile çözeltilinin pH'ı 4,0'a ayarlanır ve hacmi 1 L'ye tamamlanır. 4°C'de 2 ay stabildir.

#### **3.2.2.6.2.3. Sodyum asetat tamponu (200 mM, pH 4,0)**

900 mL distile suya 11,6 mL glasiyel asetik asit eklenir. Çözeltinin pH'ı 1 M sodyum hidroksit solüsyonu eklenerek 4,0'a ayarlanır ve hacmi 1 L'ye tamamlanır. 4°C'de 2 ay stabildir.

#### **3.2.2.6.2.4. %50 etanol çözeltisi**

52 ml % 96 etanol 100 ml'ye saf su ile tamamlanır.

#### **3.2.2.6.2.5. Likenaz çözeltisi**

Likenaz süspansiyonu, Sodyum Fosfat Tampon (20mM pH:6.5) çözeltisi ile 20 ml'ye tamamlanır.

#### **3.2.2.6.2.6. Beta glukosidaz çözeltisi**

Beta Glukosidaz süspansiyonu, Sodyum Asetat Tampon çözeltisi (50mM pH 4.0) ile 20ml'ye tamamlanır.

#### **3.2.2.6.2.7. GOPOD (Glikoz oksidaz/peroksidaz) tampon çözeltisi**

GOPOD Reaktif Enzimi bir şişede steril saf su ile 1000 ml' ye seyreltildi ve şişe alüminyum folyo ile kaplandı.

#### **3.2.2.6.3. Deneyin yapılışı**

100 mg örnek 2 adet 16 x 100 mm cam test tüpüne konulur. Tüplere vurarak numune iyice dibe alınır ve ağırlıkları kaydedilir. Örnekler 0,2 mL etanol:su (%50 v/v) ile ıslatılır, vortekste karıştırılır. Tüplere 4,0 mL 20 mM sodyum fosfat tamponu (pH 6,5) eklenir, vortekste kuvvetlice karıştırılır. Tüplerin kapakları kapatılır, kaynar su banyosuna koyulur ve 60 saniye inkübe edilir. Süre sonunda vorteks karıştırıcıda karıştırılır ve tekrar kaynayan su banyosunda 2 dakika daha inkübe edilir. Kaynar su banyosundan tüpler çıkarılır ve vortekste kuvvetlice karıştırılır. Tüpler 50°C'deki su banyosuna alınır ve 5 dakika boyunca sıcaklığın dengelenmesine izin verilir. Her tüpe 0,2 mL likenaz enzimi eklenir ve vorteks karıştırıcıda karıştırılır. Tüm beta glukanın likenaz tarafından hidroliz edilmesi ve çözünmesi sağlamak için tüpler 50°C'de 1 saat inkübe edilir. Süre boyunca tüpler 5 dakikada bir çıkarılıp vortekste iyice karıştırılır. Süre sonunda test tüplerinin kapakları açılır ve 5 mL 200 mM sodyum asetat tamponu (pH 4) eklenir. Vorteks karıştırıcıda karıştırılır ve yaklaşık 5 dakika oda sıcaklığında bekletilir. 3000 rpm'de 10

dakika santrifüj edilir. Her bir tüpteki filtrattan 0,1 ml alınıp, üç adet cam tüplere konur. Reaksiyon tüplerine 0,1 ml beta glukozidaz enzimi ilave edilir. Blank tüpüne 0,1 mL 50 mM sodyum asetat tamponu (pH 4) eklenir, vorteks karıştırıcıda iyice karıştırılır. Tüm tüpler 50°C'de 10 dakika inkübe edilir. Bekleme süresinde glikoz standartları hazırlanır. 6 tüpe 0,1 mL 50 mM sodyum asetat tamponu (pH 4) eklenir. Ardından reaktif blank tüplerine 0,1 mL distile su eklenir (2 tüp). Glikoz standart tüplerine (4 tüp) 0,1 mL D-glikoz standart solüsyonu (1 mg/mL) eklenir. 10 dakikalık inkübasyon süresinden sonra tüpler su banyosundan çıkarılır. Tüm tüplere (reaksiyon tüpleri, blank tüpleri, reaktif blank tüpleri ve glikoz standart tüpleri dahil) 3,0 mL GOPOD reaktifi eklenir. 50°C'de 20 dakika inkübe edilir. Süre sonunda tüm solüsyonların absorbansı 510 nm'de spektrofotometre (Optima SP 3000 Nano, Tokyo, Japonya) ile ölçülür.

### **3.2.3. Beta glukozidaz ekstraksiyonu ve saflaştırılması**

Beta glukozidaz ekstraksiyonu iki farklı yöntem ile yapılmıştır. Literatürde en çok kullanılan yöntem olan klasik sulu ekstraksiyon ve mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu kullanılmıştır.

#### **3.2.3.1. Klasik sulu ekstraksiyon**

Kavuzsuz arpa unu 1:15 katı/sıvı oranıyla saf su ile iyice karıştırılır. Daha sonra karışım inkübatörde (New Brunswick Scientific, Nova 40, Edison, NJ, USA) 55 °C de 150 rpm hızında karıştırılarak 3 saat süre ile inkübe edilir. İnkübasyon süresi sonunda karışım Hettich-EBA 20 (Andreas Hettich GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Germany) santrifüj cihazıyla 6000 rpm'de santrifüj edilerek süpernatant ve katı kısım ayrılır. Elde edilen süpernatant 1:1 (h:h) oranında etil alkol ile karıştırılır ve 4 °C'de 24 saat bekletilerek beta glukozidaz çökeltilir (Şekil 3.7.). Çöken beta glukozidaz filtre edilerek sıvı kısımdan ayrılır ve -70 °C'de saklanarak dondurularak kurutma yöntemine hazırlanır. Dondurulan örnekler Christ, alpha 1-4 LD plus (Osterode am Harz, Almanya) marka laboratuvar tipi dondurularak kurutucuda 72 saat süre ile kurutulur.



**Şekil 3.7.** Klasik sulu ekstraksiyon

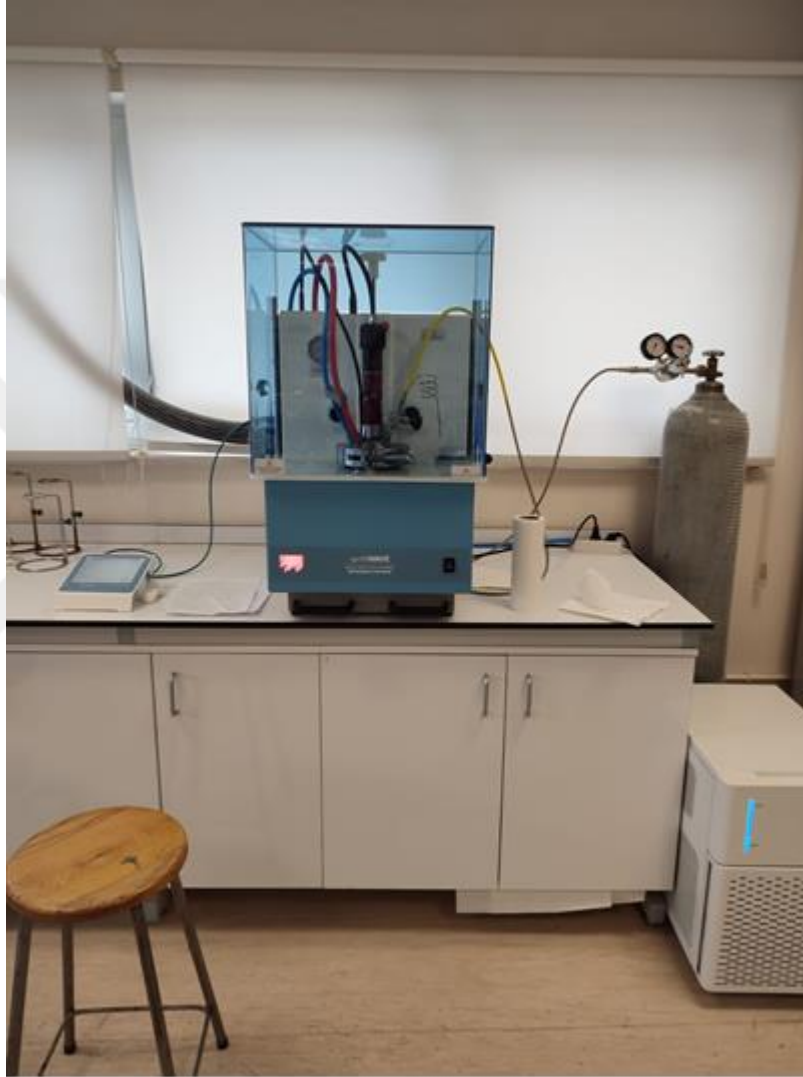
### **3.2.3.2. Mikrodalga destekli yüksek basınç $CO_2/H_2O$ ekstraksiyonu**

Arpa örneklerinden beta glukanın mikrodalga destekli yüksek basınç  $CO_2/H_2O$  ekstraksiyonu gaz giriş sistemi ve soğutucusu olan kapalı mikrodalga sisteminde (Milestone SynthWave, Sorisole, İtalya) gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.8.). Arpa örneği 1 L'lik politetrafloroetilenen yapılmış reaksiyon kabında saf su ile karıştırılmış ve kap mikrodalga sistemine yerleştirilmiştir. Ekstraksiyonun gerçekleştirileceği bölüm kapatıldıktan sonra sisteme 30 bar basınca kadar  $CO_2$  gazı beslenmiştir. Tüm deneysel çalışmalarda  $CO_2$ 'in başlangıç basıncı 30 barda sabit tutulmuştur.

İşlem sırasında malzemeleri karıştırmak üzere sistemde manyetik bir karıştırıcı bulunmaktadır. Mikrodalga cihazının gücü 750 W olarak ayarlandı ve ekstraksiyon sırasında sıcaklığı istenilen değerde tutmak için işlem boyunca güç 0 ile 750 W arasında aralıklı olarak uygulandı. Bu nedenle, mikrodalga gücü kullanmak yerine optimizasyon koşullarından biri olarak sıcaklık seçilmiştir. Tüm deneylerde kullanılan malzemelerin (arpa ve suyun toplamı) miktarı 120 g'da sabit tutulmuştur.

Ekstraksiyon işlemleri belirlenen koşullar altında gerçekleştirilmiş ve ekstraksiyon sonunda elde edilen karışım Hettich-EBA 20 (Andreas Hettich GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Germany) santrifüj cihazıyla 6000 rpm'de santrifüj edilerek süpernatant ve katı kısım ayrılmıştır. Elde edilen süpernatant 1:1 (h:h) oranında etil alkol

ile karıştırılmış ve 4 °C’de 24 saat bekletilerek beta glukan çöktürülmüştür. Çöken beta glukan filtre edilerek sıvı kısımdan ayrılmış ve -70 °C’de saklanarak dondurularak kurutma yöntemine hazırlanmıştır. Dondurulan örnekler Christ, alpha 1–4 LD plus (Osterode am Harz, Almanya) marka laboratuvar tipi dondurarak kurutucuda 72 saat süre ile kurutulmuştur.



**Şekil 3.8. Mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu**

#### **3.2.4. Ekstraksiyon koşullarının deneysel tasarımı ve optimizasyonu**

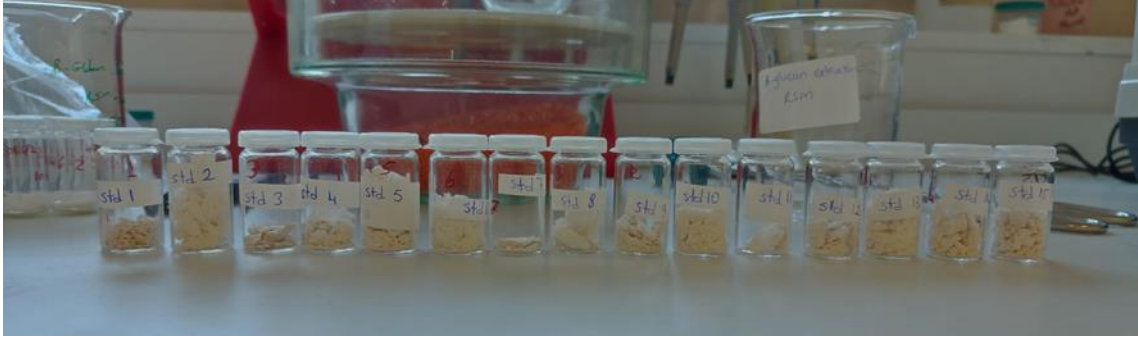
Beta glukanın mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonunu etkileyen parametreler üç faktörlü, üç seviyeli Box-Behnken tasarımı (BBD) ile tepki yüzey metodolojisi (TYM) kullanılarak değerlendirildi. Ekstraksiyonu etkileyen bağımsız değişkenler sıcaklık (40–60 °C), zaman (5-20 dk), ve sıvı (su)/katı (arpa) oranı (10–20 g/g) olarak seçilmiştir. Bağımsız değişkenlerin seviyeleri ön denemeler yapılarak

belirlenmiştir. Tasarıma göre merkez noktada beş tekrarlı olmak üzere 17 deney yapılmıştır (Çizelge 3.1., Şekil 3.9).

**Çizelge 3.1.** Arpadan beta glukanın mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O sistemiyle ekstraksiyonu için oluşturulan Box-Behnken deney tasarımı

| Deneme No | Sıcaklık (°C) | Zaman (dakika) | Su: Arpa unu oranı (g/g) |
|-----------|---------------|----------------|--------------------------|
| 1         | 40            | 5              | 15:1                     |
| 2         | 60            | 5              | 15:1                     |
| 3         | 40            | 20             | 15:1                     |
| 4         | 60            | 20             | 15:1                     |
| 5         | 40            | 12,5           | 10:1                     |
| 6         | 60            | 12,5           | 10:1                     |
| 7         | 40            | 12,5           | 20:1                     |
| 8         | 60            | 12,5           | 20:1                     |
| 9         | 50            | 5              | 10:1                     |
| 10        | 50            | 20             | 10:1                     |
| 11        | 50            | 5              | 20:1                     |
| 12        | 50            | 20             | 20:1                     |
| 13        | 50            | 12,5           | 15:1                     |
| 14        | 50            | 12,5           | 15:1                     |
| 15        | 50            | 12,5           | 15:1                     |
| 16        | 50            | 12,5           | 15:1                     |
| 17        | 50            | 12,5           | 15:1                     |

Bağımlı değişken olarak ise beta glukan verimi (%) seçilmiş ve ekstraksiyon sonrası maksimum beta glukan verimi (%) elde etmek üzere ekstraksiyon koşulları optimize edilmiştir. Ekstraksiyon koşullarının optimizasyonu, regresyon ve grafiksel analizler için Design Expert v. 7.0 (Stat-Ease, Inc., Minneapolis, MN, ABD) programı kullanılarak tepki yüzeyi metodolojisi (TYM) uygulanmıştır. Tüm analizler için anlamlılık düzeyi %95 olarak belirlenmiştir. Bağımsız değişkenlerin ve etkileşimlerinin anlamlılığını, geliştirilen modelin yeterliliğini ve regresyon katsayılarının istatistiksel anlamlılığını belirlemek için varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır.



**Şekil 3.9.** Optimizasyon için beta glukan ekstrakt denemeleri

### **3.2.5. Beta glukan ekstraktlarının karakterizasyonu**

Optimum koşullarda elde edilen beta glukanca zengin ekstraktlar öğütülüp 350 µm'lik elekten elenerek uygun boyuta getirilmiştir. Daha sonra örneklerin nem, kül, protein, nişasta, beta glukan, arabinoksilan ve lignin içerikleri analiz edilmiştir. Ayrıca elde edilen beta glukan ekstraktlarında bazı fiziksel ve kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir.

#### **3.2.5.1. Protein analizi**

Elde edilen beta glukan ekstraktlarının beta glukan içerikleri bölüm 3.2.2.1'de verildiği şekilde analiz edilmiştir.

#### **3.2.5.2. Nişasta analizi**

Elde edilen beta glukan ekstraktlarının beta glukan içerikleri bölüm 3.2.2.2'de verildiği şekilde analiz edilmiştir.

#### **3.2.5.3. Nem analizi**

Elde edilen beta glukan ekstraktlarının beta glukan içerikleri bölüm 3.2.2.2'de verildiği şekilde analiz edilmiştir.

#### **3.2.5.4. Kül analizi**

Elde edilen beta glukan ekstraktlarının beta glukan içerikleri bölüm 3.2.2.4'de verildiği şekilde analiz edilmiştir.

### 3.2.5.5. Beta glukon analizi

Elde edilen beta glukon ekstraktlarının beta glukon içerikleri b6l6m 3.2.2.6’de verildiği Şekilde analiz edilmiştir.

### 3.2.5.6. Arabinoksilan ve lignin analizi

6rneklerin asitte 6z6nen ve 6z6nmeyen lignin miktarları [Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı, National Renewable Energy Laboratory (NREL)] Laboratuvar Prosed6r6 NREL/TP-510-42618’e (Sluiter vd., 2008) g6re belirlenmiştir. Bu y6nteme g6re beta-glukon ekstraktlarından 0,3 g kadar test t6plerine tartılmıŐ ve 6zerlerine 3 mL %72’lik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> eklenerek 30°C’deki çalkalamalı ink6bat6r içinde 1 saat bekletilmiştir. Daha sonra asit içeriği 84 mL deiyonize su eklenerek %4’e seyreltilmiŐ ve karışım 121°C’de 1 saat otoklavlanmıŐtir. S6re sonunda kalan karışım soğutulurak ve sinter cam filtreli krozeden s6z6lm6Őtir. Katı kısım sabit tartıma gelinceye kadar 105°C’de bekletilmiş ve sonra 575°C’lik fırında 4 saat yakılmıŐtir. Yakma işlemi sonrası ve 6ncesi k6tlede meydana gelen değişim asitte 6z6nmeyen lignin miktarı olarak hesaplanmıŐtir.

Asitte 6z6nen lignin miktarının hesaplanması için ise otoklavlanıp s6z6len filtrat absorbansını 0,7-0,1 aralığında olacak Şekilde saf su ile seyreltilerek absorbansını spektrofotometrede (Perkin Elmer UV/Vis spectrometer, Lambda 25) 6l6lm6Őtir. Asitte 6z6nen lignin miktarı aşağıdaki eŐitlik kullanılarak hesaplanmıŐtir.

*Asitte 6z6nen lignin (%) = (UV<sub>abs</sub> × V<sub>filtrat</sub> × Seyreltme fakt6r6) / (ε × 6rneğin ağırlığı × Pathlength) × 100*

Denklemdede UV<sub>abs</sub>, V<sub>filtrat</sub>, ε, ve pathlength değerleri sırasıyla uygun dalga boyunda 6rneğin UV-Vis absorbansını, filtratın hacmini (mL), belirli dalga boyunda biyok6tle absorbtivitesini (L/g.cm) ve UV-Vis h6crenin yol uzunluğunu (cm) ifade etmektedir.

6rneklerde bulunan ksiloz ve arabinoz lignin analizinde iki aŐamalı hidrolizasyon işlemi sonucu elde edilen hidrolizatta NREL Laboratuvar Prosed6r6 NREL/TP-510-42618’e g6re Shimadzu SCL-10A HPLC sistemi kullanılarak analiz edilmiştir (Sluiter vd., 2008). Dedekt6r olarak refraktif indeks dedekt6r (Shimadzu, RID-10A) ve kolon olarak Aminex HPX-87H (Biorad) kullanılmıŐtir. Hareketli faz olarak ise 5 mM H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılmış ve 65°C’de ve 0,6 mL/dk akış hızı ile kolondan el6t edilmiştir. Ksiloz ve arabinoz standartları kullanarak kalibrasyon grafikleri oluŐturulmuŐ ve bu grafiklerden beta glukon hidrolizatının içerdiği ksiloz ve arabinoz miktarları g/L olarak hesaplanmıŐtir. Beta-glukon ekstraktlarının ksilan ve arabinan miktarı içerdiği monomerik Őekerlerin miktarlarının bulunmasından sonra aşağıda verilen eŐitlikler kullanılarak belirlenmiştir (Browning, 1967).

$$Ksilan (\%) = F \times \frac{100}{1005} \times \frac{132}{150} \times \frac{Xyl \times W_{\text{çöz}}}{S}$$

$$Arabinan (\%) = F \times \frac{100}{1005} \times \frac{132}{150} \times \frac{Ara \times W_{\text{çöz}}}{S}$$

Kullanılan eşitliklerde F, düzeltme faktörü;  $W_{\text{çöz}}$ , çözeltinin kütlesi; S, kuru örneğin kütlesi; Xyl ve Ara ise sırasıyla hidrolizatta bulunan ksiloz ve arabinoz derişimlerini (g/L) ifade etmektedir.

### 3.2.5.7. Moleküler ağırlık analizi

Jel geçirgenlik kromatografisi (GPC) yok analizi ile sulu fazda yapılmıştır. Numuneler fosfat tamponlu salin (PBS) içeren ultra saf su içinde çözdürölüp daha sonra çözeltinin 0,45 mikrometre gözenek çaplı hidrofilik filtreden geçirilmesi ile hazırlanmıştır. Ağırlık ortalamalı moleküler ağırlık (Mw), sayı ortalamalı moleküler ağırlık (Mn), polidispersite indeksi (Mw/Mn: PDI) ve en yüksek tepe noktasının moleküler ağırlığı (Mp) refraktif index detektörü ve GPC sistemi (Agilent 1260 serisi) ile belirlendi. Mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu ve klasik sulu ekstraksiyonu ekstraktları analiz edildi. Akış hızı 1,0 mL/dk, 30 °C'de analiz gerçekleştirildi.

### 3.2.5.8. Suda çözünürlük indeksinin belirlenmesi

Çözünürlük, numunenin homojen bir çözelti oluşturmak için suda çözülebilen maksimum miktarı demektir. Bir gram beta gluklan ekstraktı, 100 mL distile su ile karıştırıldı ve elde edilen karışım 55°C'de 2 saat karıştırıldı. Süre sonunda karışım Hettich-EBA 20 (Andreas Hettich GmbH & Co. KG, Tuttlingen, Germany) santrifüj cihazında 6000 rpm'de 20 dakika santrifüj edildi. Üst faz ayrıldı ve 105°C'de 3 saat kurutuldu. Kurutulmuş fazın ağırlığı belirlendi. Çözünürlük ise şu şekilde hesaplandı:

Çözünürlük (%) = Kurutulmuş üst fazın ağırlığı / Kullanılan beta gluklanın ağırlığı \* %100

### 3.2.5.9. Su tutma kapasitesi

Santrifüj tüpleri boş olarak tartıldı ve ağırlıkları kaydedildi. 0,1 g kuru beta gluklan numunesi 50 mL distile su ile santrifüj tüpünde çözüldü ve vorteks ile karıştırıldı. %2,5'luk w/w dispersiyon hazırlandı. Numuneler 4 °C'de 24 saat dinlendirildi ve

ardından 30 dakika 3000 rpm/dk'da santrifüjlendi. Süpernatant döküldü ve ıslak kısım tartıldı. Su tutma kapasitesi aşağıdaki şekilde hesaplandı:

$$\text{Su tutma kapasitesi (g/g)} = (\text{Islak ağırlık} - \text{Kuru ağırlık}) / \text{Kuru ağırlık}$$

#### **3.2.5.10. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) analizi**

Ekstrakte edilmiş beta glukanın termal özelliklerini belirlemek için diferansiyel taramalı kalorimetri (Perkin Elmer DSC-4000, USA) kullanıldı. Alüminyum numune kabına 4 mg örnek tartıldı. Daha sonra kap hava geçirmez şekilde kapatıldı. Numuneler dinamik olarak 50 ila 170 °C arasında 10 °C/dk ısıtma hızı ile ısıtıldı. Referans, boş alüminyum numune kabıydı.

#### **3.2.5.11. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi analizi**

Öğütülmüş beta glukanın numunelerinin parmak izi 4 cm<sup>-1</sup> çözünürlükte, 4000–600 cm<sup>-1</sup> frekans aralığında, 32 tarama ile Perkin Elmer Spectrum 100 Infrared Spectrometer (Perkin Elmer Ltd., İngiltere) cihazında analiz edildi.

#### **3.2.5.12. Renk Analizi**

Beta glukanın numunelerinin renk değerleri renk ölçer cihazı (HunterLab, model A-60-1010-615, Amerika) kullanılarak belirlenmiştir. L\*, a\* ve b\* renk skala değerleri okunarak ekstraksiyon yöntemlerinin renk değişimi üzerine etkileri incelenmiştir. Kullanılan parametrelerden; L\* değeri parlaklığı; a\* değeri kırmızı-yeşil renk tonunu; b\* değeri ise sarı-mavi renk tonunu ifade etmektedir.

#### **3.2.5.13. Taramalı elektron mikroskobu**

Farklı ekstraksiyon yöntemleriyle elde edilmiş beta glukanın ekstraktlarının TEM ile görüntüleri alınarak yapısal ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. Örnekler iletkenliği arttırmak için, püskürtmeli bir kaplayıcı (SC7620) Emitech, Kent, İngiltere) içerisinde altın/palladyum kullanılarak kaplanmıştır. Örneklerin görüntüleri Zeiss GeminiSem 300 (Carl Zeiss Ltd. Co., Almanya) marka taramalı elektron mikroskobu ile çekilmiştir. TEM görüntüleri yüksek vakum şartları altında ve 4000 ve 10000 kat büyütülerek elde edilmiştir.

### **3.2.6. İstatistiksel analiz**

Tüm deneysel uygulamalar 3 tekrarlı yapılmıştır ve sonuçlar, ortalama  $\pm$  standart sapma olarak verilmiştir. Tüm veri hesaplamalarında SPSS 22 (SPSS Inc. Chicago, IL, USA) istatistiksel paket programı kullanılmış ve deneylerde bulunan sonuçlar tek yönlü varyans (one way ANOVA) analizi ile değerlendirilmiştir.



## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, yüksek verimlilikte beta glukan ekstraksiyonu yapabilmek için seçilen yöntemlerin ve yapılan analizlerin sonuçları detaylı olarak verilmiştir ve literatürde yer alan bulgularla tartışılıp, yorumlanmıştır. Bu araştırma beta glukan ekstraksiyonunda kullanılan yöntem bakımından dünyada ilk ve özeldir. Yüksek basınç, kapalı mikrodalga sistemi, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu birlikte kullanılmıştır.

### 4.1. Arpa Unu Analizleri

Bu çalışmada kullanılan kavuzsuz arpa 2022 yılında Türkiye Cumhuriyeti Tarım Orman Bakanlığına bağlı Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsünden Yalın Türü olarak temin edilmiştir. Yapılan analizler Çizelge 4.1’de verilmiştir. Temel bileşim analizlerine bakıldığında yapılan analizler sonucu %17,26±0,38 protein, %58,58±0,18 nişasta, %8,97±0,22 nem, %1,87±0,04 kül, %5,65±0,21 beta glukan, %2,13±0,24 yağ tespit edilmiştir.

**Çizelge 4.1. Arpa unu bileşim analizleri**

| Bileşenler             | Miktar (%)±SD |
|------------------------|---------------|
| Protein (kuru baz)     | 17,26±0,38    |
| Nişasta (kuru baz)     | 58,58±0,18    |
| Nem (yaş baz)          | 8,97±0,22     |
| Kül (kuru baz)         | 1,87±0,04     |
| Beta glukan (kuru baz) | 5,65±0,21     |
| Yağ (kuru baz)         | 2,13±0,24     |

Kavuzsuz arpa genotiplerinin araştırıldığı bir çalışmada birçok kavuzsuz arpanın bazı temel bileşenleri incelenmiştir. 25 farklı genotipin incelendiği çalışmada protein miktarı %13,95-%18,09 aralığında, nişasta miktarı %56,36-62,74 aralığında, yağ miktarı %1,94-%2,62 aralığında, beta glukan miktarı ise %3,70-%5,43 aralığında analiz edilmiştir (Erbaş Köse vd., 2021). Yapılan başka bir çalışmada ise yalın türü kavuzsuz arpanın beta glukan miktarı %5,11 olarak analiz edilmiştir (Özer, 2019). Kavuzsuz arpa örneklerinin incelendiği diğer bir çalışmada protein içeriği %12,3-14,5 arasında, nişasta içeriği ise %62,1-63,6 arasında ve kül içeriği de %1,65-1,83 arasında değişim

göstermiştir. Beta glukan içeriği ise %4,45-5,01 arasında analiz edilmiştir (Acar, 2020). Yalın türü kavuzsuz arpada yapılan bir araştırmada ise nem %11,05, kül %2,35, beta glukan %4,18, nişasta %48,97, protein %11,55 ve yağ %2,16 olarak saptanmıştır (Aslan, 2022). Çizelge 4.1.'de verilen bileşim analizleri literatür ile uyumludur.

Sağlık yararları ve koroner kalp hastalığı riskini azaltmak için FDA'nın da onay verdiği gibi günde 3 g veya daha fazla beta glukan alınması gerekmektedir (EFSA, 2011; FDA, 2021; Karaçil ve Akbulut, 2013). Bu tüketime ulaşabilmek için günde 53,1 g kavuzsuz arpa unu tüketmek gereklidir. Bu tüketimin ekmek formunda tüketileceği varsayılırsa en fazla %30 oranında arpa unu kullanılarak tüketime uygun ekmek formülasyonları geliştirilmiştir. Daha fazla oranda arpa unu eklendiğinde ekmeğin kalitesi olumsuz etkilenmiştir (Hatami Golzari, 2015). Bu durumda 123,9 gramda ekmeklik buğday unu ile karıştırılması gerekmektedir. 177 gramlık kavuzsuz arpa unu ve buğday unu ile yapılacak ekmek tahmini olarak 300-350 gram ağırlığında olacaktır. Kalori kısıtlanmalı diyetlerde tüketimi hedefin üzerinde olduğu için ihtiyacı karşılaması mümkün olmayabilir.

## **4.2. Beta Glukanın Mikrodalga Destekli Yüksek Basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O Ekstraksiyonu**

### **4.2.1. Modelleme**

Arpadan beta glukanın mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonunu etkileyen bağımsız değişkenlerin (sıcaklık, zaman ve su: arpa unu oranı) beta glukan verimi üzerindeki etkileri, Box-Behnken dizaynı ve yüzey tepki metodu (RSM) kullanılarak analiz edilmiştir. Oluşturulan deneme deseninin öngördüğü ve beşi merkez noktada olmak üzere, toplamda 17 noktada mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon denemeleri yapılmış ve her bir bağımsız değişken için elde edilen deneysel ve tahmini değerler Çizelge 4.2.'de gösterilmiştir. Tahminsel değerler Design Expert 7.0 kullanılarak modelleme tekniği ile elde edilmiştir ve deneysel değerlerle eşleşmektedir.

**Çizelge 4.2. Mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu için oluşturulan Box-Behnken deneme deseni ile deneysel ve tahminlenen değerler**

| Deney no | Sıcaklık (°C) | Zaman (dakika) | Su: Arpa unu oranı (g/g) | Beta glukan verimi (%) |             |
|----------|---------------|----------------|--------------------------|------------------------|-------------|
|          |               |                |                          | Deneysel               | Tahminlenen |
| 1        | 40            | 5              | 15:1                     | 53,81±1,86             | 54,17       |
| 2        | 60            | 5              | 15:1                     | 57,36±0,93             | 56,65       |
| 3        | 40            | 20             | 15:1                     | 49,80±1,64             | 49,74       |
| 4        | 60            | 20             | 15:1                     | 51,79±1,14             | 52,21       |
| 5        | 40            | 12,5           | 10:1                     | 50,45±2,16             | 49,52       |
| 6        | 60            | 12,5           | 10:1                     | 46,81±1,53             | 46,18       |
| 7        | 40            | 12,5           | 20:1                     | 35,65±0,83             | 36,28       |
| 8        | 60            | 12,5           | 20:1                     | 43,64±1,36             | 44,57       |
| 9        | 50            | 5              | 10:1                     | 49,56±2,53             | 50,52       |
| 10       | 50            | 20             | 10:1                     | 63,09±2,87             | 63,70       |
| 11       | 50            | 5              | 20:1                     | 61,32±2,11             | 60,71       |
| 12       | 50            | 20             | 20:1                     | 39,62±1,36             | 38,66       |
| 13       | 50            | 12,5           | 15:1                     | 48,01±1,89             | 49,53       |
| 14       | 50            | 12,5           | 15:1                     | 50,08±2,32             | 49,53       |
| 15       | 50            | 12,5           | 15:1                     | 50,30±1,85             | 49,53       |
| 16       | 50            | 12,5           | 15:1                     | 49,05±2,48             | 49,53       |
| 17       | 50            | 12,5           | 15:1                     | 50,19±1,79             | 49,53       |

Beta glukan verimi (%) için mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonunun istatistiksel modellemesi, çoklu regresyon yöntemiyle RSM kullanılarak yapılmıştır. Beta glukan verimi için önemli olmayan uyum eksikliği (lack of fit) değerine sahip en uygun model kuadratik model olarak seçilmiştir. Model uygunluğunun belirlenmesinde hem önemli olmayan uyum eksikliği (lack of fit) değeri hem de R<sup>2</sup> değerleri değerlendirilmiştir. Modelden önemsiz faktörler ile interaksyonları geri eleme (backward elimination) yöntemi kullanılarak çıkarılmıştır. Beta glukan verimi için bağımsız değişkenler ile oluşturulan model denklemleri aşağıda verilmiş olup burada; A: sıcaklık, B: zaman ve C: su: arpa unu oranı olarak ifade edilmiştir.

*Beta glukan verimi (%)*

$$= +49,53 + 1,24 \times A - 2,22 \times B - 3,71 \times C + 2,91 \times A \times C \\ - 8,81 \times B \times C - 2,80 \times A^2 + 6,46 \times B^2 - 2,59 \times C^2$$

Çizelge 4.3. Beta glukan verimi için regrasyon katsayılarını ve bağımsız değişkenlerin çizgisel, kuadratik ve ilişkili etkilerinin  $p$  değerlerini göstermektedir. Elde edilen ANOVA sonuçlarına göre oluşturulan modelin  $p < 0,05$  olduğu ve  $R^2$  değerinin beta glukan verimi için 0,9868 olduğu görülmektedir. Ayrıca uyum eksiliği değeri de 0,3447 olarak bulunmuş olup, 0,05'den yüksektir. Bu değerler de tepkiler için oluşturulan kuadratik modellerin deneysel veriye yeterince uyum sağladığını göstermektedir.

**Çizelge 4.3. Beta glukan verimi için ANOVA ve yüzey tepki kuadratik model eşitliği**

| Kaynak              | Kareler toplamı | Serbestlik derecesi | Kareler ortalaması | F değeri | $p$ - değeri | Katsayı |
|---------------------|-----------------|---------------------|--------------------|----------|--------------|---------|
| Model               | 731,28          | 8                   | 91,41              | 74,59    | < 0,0001     |         |
| A- sıcaklık         | 12,23           | 1                   | 12,23              | 9,98     | 0,0134       | 1,24    |
| B-zaman             | 39,38           | 1                   | 39,38              | 32,14    | 0,0005       | -2,22   |
| C-su:arpa unu oranı | 110,11          | 1                   | 110,11             | 89,85    | < 0,0001     | -3,71   |
| AC                  | 33,81           | 1                   | 33,81              | 27,59    | 0,0008       | 2,91    |
| BC                  | 310,29          | 1                   | 310,29             | 253,19   | < 0,0001     | -8,81   |
| A <sup>2</sup>      | 32,96           | 1                   | 32,96              | 26,90    | 0,0008       | -2,80   |
| B <sup>2</sup>      | 175,82          | 1                   | 175,82             | 143,47   | < 0,0001     | 6,46    |
| C <sup>2</sup>      | 28,26           | 1                   | 28,26              | 23,06    | 0,0014       | -2,59   |
| Lack of fit         | 5,93            | 4                   | 1,48               | 1,53     | 0,3447       |         |

$R^2=0,9868$ , Düzeltilmiş  $R^2= 0,9735$ , Tahmini  $R^2=0,8771$

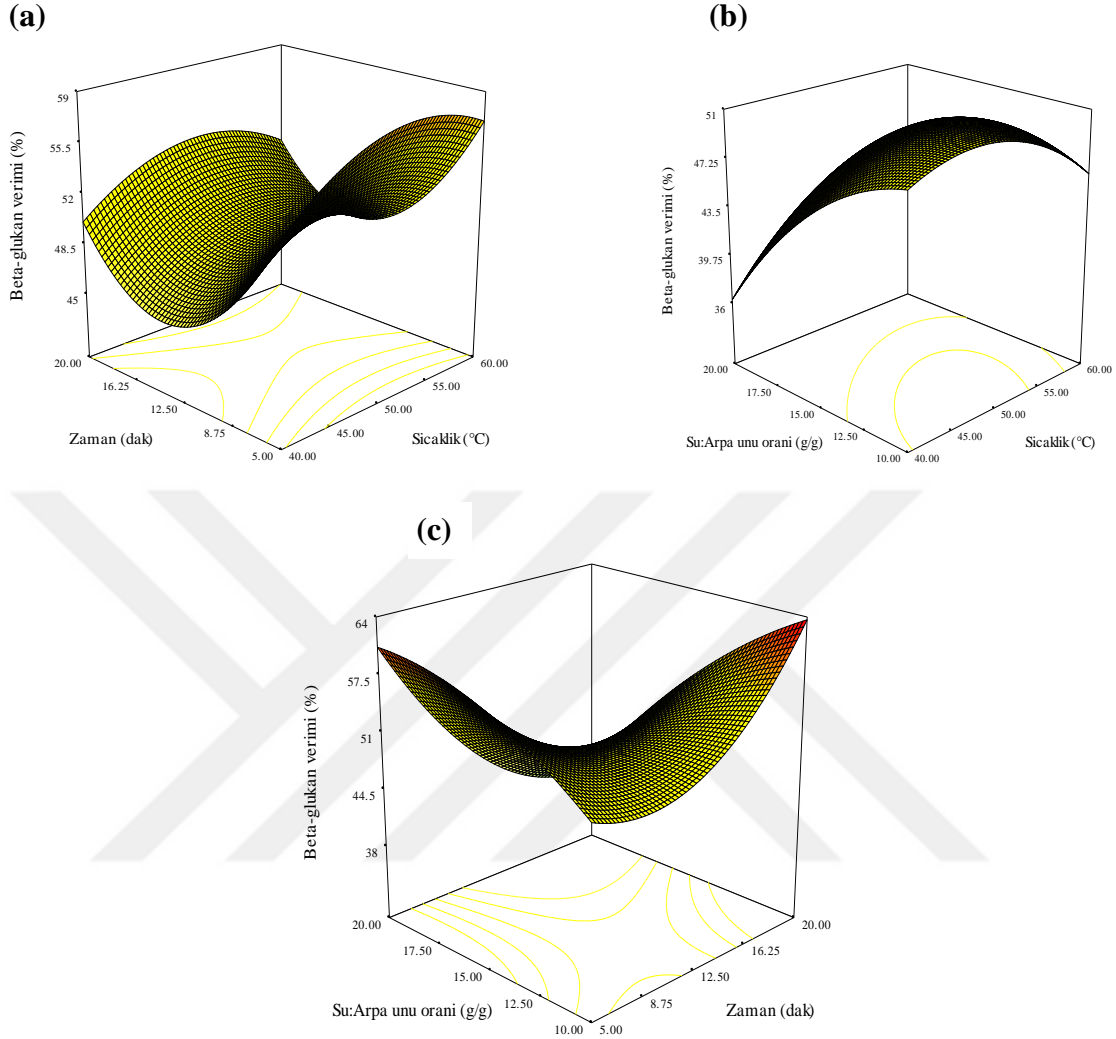
#### 4.2.2. Mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon parametrelerinin beta glukan verimi üzerine etkisi

Her bağımsız değişkenin (sıcaklık, zaman ve su: arpa unu oranı) beta glukan verimi üzerindeki etkisine ait ANOVA sonuçları Çizelge 4.3.'de verilmiştir. Beta glukan verimi için her üç değişken de istatistiksel olarak etkili ( $p < 0,05$ ) bulunmuştur. Bağımsız

değişkenlerin interaksiyonlarının beta glukan verimi üzerindeki etkileri incelendiğinde ise sıcaklık\* su: arpa unu oranı (AC) ve zaman\* su: arpa unu oranı (BC) etkileşimlerinin beta glukan verimi üzerinde etkili ( $p<0,05$ ) olduğu görülmüştür. Çizelge 4.3.'de bağımsız değişkenlerin kuadratik etkilerinin tepki üzerindeki etkisi de verilmektedir. Beta glukan verimi için her değişkenin kuadratik etkisi ( $A^2$ ,  $B^2$ ,  $C^2$ ) önemli olarak ( $p<0,05$ ) bulunmuştur.

Arpadan mikrodalga destekli yüksek basınç  $CO_2/H_2O$  ekstraksiyonu ile elde edilen beta glukan verimi  $\%35,65\pm0,83$  ile  $\%63,09\pm2,87$  arasında değişmektedir (Çizelge 4.2.). En yüksek beta glukan verimi, sıcaklık, zaman ve su: arpa unu oranının sırasıyla  $50\text{ }^\circ\text{C}$ , 20 dakika ve 10:1 (g/g) olduğu deney no:10'da elde edilmiştir. Şekil 4.1'de bağımsız değişkenlerin fonksiyonu olarak beta glukan veriminde meydana gelen değişimi ifade eden üç boyutlu yanıt yüzey grafikleri gösterilmektedir. Beta glukan verimi artan sıcaklıkla artmıştır. Ancak sıcaklık yaklaşık  $55\text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerine çıkarıldığında verimin düşmesine sebep olmuştur (Şekil 4.1.a ve b). Bu durum, artan sıcaklıkla birlikte ekstrakttaki nişasta miktarının artması, bu nişastanın jelatinize olarak ekstraksiyon sıvısını kıvamlı hale getirmesi ve kütle transferini yavaşlatarak ekstraksiyonu güçleştirilmesi ile açıklanabilir. Arpadan beta glukan ekstraksiyonu gerçekleştiren diğer araştırmacılar da benzer sonuçlar bildirmiştir (Benito-Román vd., 2011; Gangopadhyay vd., 2015). Su: arpa unu oranı arttıkça, düşük sıcaklıklarda beta glukan verimi düşmüştür. Yüksek sıcaklık değerlerinde ise su: arpa unu oranının 10:1 (g/g) 'den yaklaşık 13:1 (g/g) 'e kadar artması verimi artırırken bu değer üzerinde su: arpa unu oranlarında verim düşmektedir. (Şekil 4.1.b). Bu sonuç, düşük su: arpa unu oranlarında çalışmanın mümkün olduğunu göstermektedir. Bu önemli bir sonuçtur, çünkü beta glukanın ıslak ekstraksiyonu, daha sonraki saflaştırma adımlarında çıkarılması gereken büyük miktarlarda su tüketir. Düşük su: arpa unu oranlarında çalışmak sonraki saflaştırma sürecini basitleştirecektir. Benzer sonuçlar farklı arpa çeşitlerinden beta glukan ekstraksiyonu gerçekleştiren Benito-Román ve arkadaşları tarafından da rapor edilmiştir (Benito-Román vd., 2011). Ekstraksiyon süresi beta glukan verimi üzerinde önemli etkiye sahip olan diğer faktördür. Su: arpa unu oranının düşük olduğu noktalarda ekstraksiyon süresinin artması verimi artırırken, su: arpa unu oranının yüksek olduğu noktalarda zamanın artması verimi düşürmüştür (Şekil 4.1.c). Bu sonuç doğrultusunda, su: arpa unu oranının yüksek olduğu koşullarda beta glukanın kısa sürede ekstrakte edilebildiği, artan ekstraksiyon süresiyle ise beta glukanın hem mikrodalğanın ısı olmayan etkisi hem de

karbondioksitin suda çözünmesiyle oluşan karbonik asidin oluşturduğu asidik koşullar nedeniyle parçalanarak beta gluklan veriminin düştüğü söylenebilir.



**Şekil 4.1. Mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon parametrelerinin beta gluklan verimi üzerine etkisi**

(a) Zaman-Sıcaklık (b) Su: arpa unu oranı-Sıcaklık (c) Su: arpa unu oranı-Zaman

Gangopadhyay ve arkadaşları İrlanda'da yetiştirilen arpadan sulu ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen beta gluklanın verimini ve moleküler ağırlığını maksimuma çıkarmak üzere ekstraksiyon koşullarını yanıt yüzey metodolojisi kullanarak optimize etmişlerdir. Ön denemeler ile en iyi katı/sıvı oranı ve ekstraksiyon süresi sırasıyla 1:5 g/mL ve 4 saat olarak belirlenmiştir. Daha sonra, katı/sıvı oranı ve ekstraksiyon süresi belirlenen bu değerlerde sabit tutularak bağımsız değişkenler sıcaklık (30-90 °C), pH (4-12) ve bunların etkileşiminin beta gluklan ekstraksiyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Elde edilen istatistiksel sonuçlar hem sıcaklık hem de pH'ın beta glukan verimi ve moleküler ağırlığı üzerinde istatistiksel öneme sahip değişken olduğunu göstermiştir. Sıcaklığın 55,7 °C ve pH'nın 6,6 olduğu koşullar en uygun ekstraksiyon şartları olarak bildirilmiştir. Bu koşullarda ekstraksiyon verimi %81,47 ve elde edilen beta glukanın moleküler ağırlığı 351,65 kDa olarak rapor edilmiştir (Gangopadhyay vd., 2015).

Du ve arkadaşları ise kavuzsuz arpa kepeğinden beta glukan ekstraksiyonunu, hızlandırılmış çözen ekstraksiyonu (HÇE) tekniği ile gerçekleştirmiş ve bu yöntemi ultrason destekli ekstraksiyon (UDE), mikrodalga destekli ekstraksiyon (MDE) ve reflüks ekstraksiyonuyla (RE) karşılaştırmışlardır. HÇE koşulları üç değişkenli üç seviyeli Box-Behnken deney tasarımına (BBD) sahip yanıt yüzeyi metodolojisi (RSM) kullanılarak optimize edilmiştir. Optimum ekstraksiyon koşulları 9 dakika ekstraksiyon süresi, 70°C sıcaklık, 4 döngü sayısı ve 10 MPa basınç olarak belirlenmiştir. Bu koşullar altında, beta glukan verimi %16,39 olarak rapor edilmiştir. Ayrıca diğer ekstraksiyon yöntemleriyle karşılaştırıldığında HÇE tekniğiyle daha yüksek beta glukan verimi elde edildiği bildirilmiştir (Du vd., 2014)

#### **4.2.3. Optimizasyon ve modelin doğrulanması**

Doğru modelin belirlenmesinden sonra mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon koşulları Design Expert 7.0 programı kullanılarak maksimum beta glukan verimi (%) elde etmek üzere optimize edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, sıcaklık olarak 47,74 °C, zaman olarak 19,92 dakika ve su: arpa unu oranı olarak 10,10:1 (g/g) seçildiğinde istenebilirlik değerinin 1 olduğu ve en yüksek beta glukan veriminin elde edildiği belirlenmiştir. Bu koşullarda program tarafından tahmin edilen beta glukan verimi % 63,57'dur. Model tarafından tahmin edilen sonuçları doğrulamak amacıyla önerilen koşullarda 3 paralel deney yapılmıştır. Bu deneylerin ortalamasında beta glukan verimi %62,43±1,39 olarak bulunmuştur. Elde edilen deneysel veriler One-Sample *t*-Test ile analiz edilmiş ve beta glukan verimi için *p*-değeri 0,291 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar program tarafından önerilen değer ile deneysel olarak elde edilen değerler arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığını göstermiştir (*p*>0,05). Bu da modellemenin doğruluğunun ispatlandığı anlamını taşımaktadır.

### 4.3. Klasik Sulu Ekstraksiyon ve Mikrodalga Destekli Yüksek Basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O Ekstraksiyonu Yöntemlerinin Karşılaştırması

Klasik sulu ekstraksiyon ve mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yöntemleri kıyaslandığında her iki ekstraksiyon yönteminde de sıcaklıkların nispeten yakın olduğu görülmekle beraber mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonunda daha düşüktür. Ekstraksiyon süresi klasik sulu ekstraksiyonuna (180 dakika) göre mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonunda oldukça kısadır (19,92 dakika). Mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonunda (10,10 g) daha az çözücü yani distile su kullanılmıştır. Beta glukan verimi ve beta glukan saflığı mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonunda klasik sulu ekstraksiyon yöntemine göre istatistiksel olarak anlamlı ve daha fazladır.

**Çizelge 4.4. Ekstraksiyon yöntemlerinin karşılaştırması**

|                          | Klasik sulu ekstraksiyon | Mikrodalga destekli yüksek basınç CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O ekstraksiyonu |
|--------------------------|--------------------------|---|
| Sıcaklık (°C)            | 55                       | 47,74   |
| Zaman (dakika)           | 180                      | 19,92   |
| Su: arpa unu oranı (g/g) | 15:1                     | 10,10:1   |
| Beta glukan verimi       | 53,14±1,00 <sup>a</sup>  | 62,43±1,39 <sup>b</sup>   |
| Beta glukan saflığı %    | 63,08±1,10 <sup>a</sup>  | 67,17±0,57 <sup>b</sup>   |

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Aynı satırdaki farklı üstel harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemlidir One Way ANOVA (p < 0,05).

Belirgin süre azlığı, daha düşük sıcaklık, daha düşük çözücü miktarına rağmen, daha yüksek verim ve saflık, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonunun daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Bu farklar, mikrodalga ve geleneksel ısıtma yöntemleri arasındaki farklarla açıklanabilir. Geleneksel ısıtmada, ısı enerjisi malzemenin dış yüzeyinden iletim ve taşınım yoluyla aktarılmasına rağmen, mikrodalga ısıtmada ısıtılan malzeme ile elektromanyetik alan arasındaki doğrudan etkileşimle ısı, hacimsel ve hızlı olarak sağlanır (Özbek vd., 2021). Ayrıca uygulanan basınç da beta glukan ekstraksiyonuna katkı sağlamaktadır (Benito-Román vd., 2013).

#### 4.4. Beta Glukan Ekstraktlarının Bileşim Analizleri

Klasik sulu ekstraksiyon yöntemi ve mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yöntemi ile elde edilen beta glukan ekstraktlarının bileşim analizleri Çizelge 4.5'te incelendiğinde, ekstraktların beta glukan içeriği, klasik sulu ekstraksiyon yönteminde %63,08±1,10, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yönteminde %67,17±0,57'dir. Ekstraktların protein içeriği, klasik sulu ekstraksiyon yönteminde %10,40±0,20, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yönteminde %11,65±0,28'tir. Ekstraktların nişasta içeriği klasik sulu ekstraksiyon yönteminde tespit edilemeyecek kadar azdır, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yönteminde ise %2,03±0,01'tür.

Klasik sulu ekstraksiyon ve mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yöntemleriyle elde edilen ekstraktların nem içeriği ise sırasıyla 2,72±0,11 ve 2,90±0,14'dir. Ekstraktların kül miktarları analiz edildiğinde ise klasik sulu ekstraksiyon yönteminde %0,95±0,03, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yönteminde %1,12±0,07'dir.

Ekstraktların arabinoksilan miktarı klasik sulu ekstraksiyon ve mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yöntemleriyle elde edilişlerine göre sırasıyla, %1,05±0,03 ve %4,19±0,11'dur. Ekstraktların lignin içerikleri ise klasik sulu ekstraksiyon yönteminde %0,65±0,02, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yönteminde %2,83±0,14'tür. Ekstraksiyon yöntemleriyle ekstraktların içinde bulunun diğer ögeler ise sırasıyla klasik sulu ekstraksiyon ve mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yöntemleriyle elde edilişlerine göre, %21,02±0,83 ve %8,11±0,35'dir.

Besin ögelerinden beta glukan, protein, nişasta, kül, arabinoksilan, lignin ve diğer ögeler her iki ekstraksiyon yönteminde istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir. Nem miktarı ise istatistiksel olarak farklılık göstermemektedir. Aynı kurutma yöntemi kullanılarak kurutulan her iki numunenin farklılık göstermemesi beklenen bir durum iken, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yöntemi ile elde edilen ekstrakt, daha fazla beta glukan, protein, nişasta, kül, arabinoksilan, lignin içermektedir.

**Çizelge 4.5. Beta glukun ekstraktlarının bileşimin karşılaştırması**

|                          | Klasik sulu ekstraksiyon | Mikrodalga destekli yüksek basınç CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O ekstraksiyonu |
|--------------------------|--------------------------|---|
| Beta glukun (kuru baz)   | 63,08±1,10 <sup>a</sup>  | 67,17±0,57 <sup>b</sup>   |
| Protein (kuru baz)       | 10,40±0,20 <sup>a</sup>  | 11,65±0,28 <sup>b</sup>   |
| Niştasta (kuru baz)      | 1,54±0,01 <sup>a</sup>   | 2,03±0,01 <sup>b</sup>  |
| Nem (yaş baz)            | 2,72±0,11 <sup>a</sup>   | 2,90±0,14 <sup>a</sup>  |
| Kül (kuru baz)           | 0,95±0,03 <sup>a</sup>   | 1,12±0,07 <sup>b</sup>  |
| Arabinoksilan (kuru baz) | 1,05±0,03 <sup>a</sup>   | 4,19±0,11 <sup>b</sup>  |
| Lignin (kuru baz)        | 0,65±0,02 <sup>a</sup>   | 2,83±0,14 <sup>b</sup>  |
| Diğer (kuru baz)         | 19,61±0,81 <sup>a</sup>  | 8,11±0,35 <sup>b</sup>  |

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Aynı satırdaki farklı üstel harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemlidir One Way ANOVA (p < 0,05).

Ultrason destekli ekstraksiyon metoduyla arpadan beta glukun ekstrakte etme amacıyla yapılan bir araştırmada klasik sulu ekstraksiyonla elde edilen beta glukun ekstraktı %48,83, ultrason destekli ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen beta glukun ekstraktı %53,55 beta glukun içermektedir. Mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yöntemiyle daha yüksek saflıkta ekstrakt elde edilmiştir. Ayrıca ekstraktların niştasta içeriği klasik sulu ekstraksiyon metodunda %15,79, ultrason destekli ekstraksiyon metodunda %22,02'dir (Aslan, 2022). Arpadan farklı ve gelişmiş ekstraksiyon teknikleri ile beta glukun ekstraksiyonu yapan başka bir araştırmada niştasta ve proteini enzim kullanarak saflaştırmışlardır ve böylece %84,91 ile %88,17 beta glukun miktarına ulaşabilmiştir (H. Liu vd., 2021). Farklı ekstraksiyon teknikleri ile arpadan beta glukun ekstraksiyonu yapılan bir araştırmada da bir dizi saflaştırma yapılmasına rağmen niştasta içeriği %3,19-3,25 aralığında, protein içeriği %6,86-7,72 aralığında, kül miktarı ise %1,15-1,42 aralığında analiz edilmiştir (Ahmad vd., 2009).

Yapılan bu araştırmada arpa unu 6nce %80 w/w etil alkol ile 2 saat karıştırılmış, ardından 50 6C'de 12 saat kurutulmuştur. Bu işlem basamağının amacı beta glukana z enzimini inhibe etmektir. 6ünk6 bu enzim beta glukana par6alamakta ve verimi d6ř6rmektedir (Ahmad vd., 2009). Mikrodalga destekli y6ksek basınca CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu ile bu basamağın atlanmasına ve mikrodalga uygulamasının enzim inhibisyonu etkisinden 6t6r6 y6ksek verimde ekstraksiyona olanak tanımıştır (Arjmandi vd., 2017; Meriles vd., 2022; Munir vd., 2019).

Bu araştırmada safsızlık olarak g6r6len nişastanın daha az ekstrakte edilmesinin nedeni, kullanılan teknikte daha d6ř6k sıcaklık ve y6ksek basınca tan yararlanılmasıdır. Bu sayede nişasta jelleşme sıcaklığına ulaşmada, daha kısa s6rede ve y6ksek basınca beta glukana ekstraksiyonu daha y6ksek saflıkta yapılabilmiştir. Yulaf ve arpa fraksiyonlarından yapılan beta glukana ekstraksiyonu araştırmasında ise arpadan elde edilen beta glukana oranları %22-63 arasında, arabinoksilan oranı ise %4,9-13,6 oranında değişmektedir. (Aktas-Akyildiz vd., 2018). Asit ekstraksiyonu yapılan başka bir araştırmada ise iki farklı t6r arpanın beta glukana i6eriği %76,0±1,7 ve %49,8±1,7, arabinoksilan i6eriği ise %10,7±0,3 ve %12,64±0,1 olarak saptanmıştır (Bhatty, 1995). Arabinoksilan oranının bu iki araştırmada daha fazla olmasının nedeni araştırmada uygulanan enzim hidrolizi ve asit ekstraksiyonu olabilir.

İnsan sağlığı 6zerindeki olumlu etkileri ve koroner kalp hastalığı ve diyabet riskini azaltmak i6in g6nde 3 g veya daha fazla beta glukana 6nerilmektedir (EFSA, 2011; FDA, 2021; Kara6il ve Akbulut, 2013). Besinlerinde yapısında doğal olarak az bulunduğu i6in ekstraksiyon işlemi ile oluşturulan beta glukana ekstraktları beslenmeye eklenerek sağlığa katkı sağlamaktadır. Klasik sulu ekstraksiyon y6ntemi ile elde edilen ekstraktan 4,76 gram t6ketilerek, mikrodalga destekli y6ksek basınca CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu y6ntemi ile elde edilen ekstraktan ise 4,46 gram t6ketilerek 3 gram beta glukana t6ketimi sağlanmış olur. Ayrıca mikrodalga destekli y6ksek basınca CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu y6ntemi ile elde edilen beta glukana ekstraktı arabinoksilan ve ligninde de istatistiksel olarak anlamlı Şekilde y6ksektir (6izelge 4.5). Bu sebeple her iki ekstraksiyon y6ntemiyle elde edilen ekstraktları lifleri olarak ekstakte edilen beta glukana, lignin ve arabinoksilanın toplamı değerlendirildiğinde, klasik sulu ekstraksiyon y6ntemi ile elde edilen ekstraktın lif i6eriği %64,78, mikrodalga destekli y6ksek basınca CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu y6ntemi ile elde edilen ekstraktın lif i6eriği ise, %74,19'dur. T6rkiye Beslenme Rehberi 2022'de

yetişkinler için günlük alınması gereken diyet lifi miktarı 25 gram olarak önerilmektedir Türkiye Beslenme ve Sağlık Araştırması 2017 sonuçlarına göre ise 18 yaş ve üzeri tüm yetişkinlerde yetersiz lif alım oranı %67,7 olarak saptanmıştır. (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2022). Yetersiz lif tüketiminin diyetle karşılanamadığı durumlar için mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yöntemi ile üretilen beta glukan ekstratı bir çözüm olarak değerlendirilebilir.

#### **4.5. Molekül Ağırlık Analizi**

Klasik sulu ekstraksiyon ve mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonundan elde edilen ekstraktların jel geçirgenlik kromatografisi analiz sonuçları Çizelge 4.6.'da gösterilmiştir. Sonuçlar, her iki yöntemle elde edilen ekstraktların molekül ağırlıklarının birbirine yakın olduğunu göstermiştir. İstatistiksel olarak Mw arasında anlamlı bir fark olmamasına rağmen, Mn, Mp ve PDI arasında anlamlı fark vardır. Bununla birlikte, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu ile elde edilen ekstraktların polidispersite indeksi (Mw/Mn), klasik sulu ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen ekstraktlarından biraz daha küçüktür. Bu, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu ile elde edilen ekstraktların zincir uzunluklarının daha homojen olduğu anlamına gelmektedir.

Arpa beta glukanlarının molekül ağırlığı 50 ile 2000 kDa arasında oldukça değişkendir. Çevresel faktörler, beta glukanın bitki dokusundaki fiziksel durumu, beta glukanaz aktivitesi, proses parametreleri (ekstraksiyon, saflaştırma, depolimerizasyon adımları), saklama koşulları ve moleküler ağırlığı hesaplama yöntemleri bu değişkenliğin ana nedenleridir (EFSA, 2011).

**Çizelge 4.6. Ekstraktların molekül ağırlığı karşılaştırması**

|  | Klasik sulu ekstraksiyon | Mikroalga destekli yüksek basınç CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O ekstraksiyonu |
|--|--------------------------|--|
| Ağırlık ortalamalı molekül ağırlığı (Mw) (Da) x10 <sup>6</sup> | 3,107±0,031 <sup>a</sup> | 3,146±0,018 <sup>a</sup>   |
| Sayı ortalamalı molekül ağırlığı (Mn) (Da) x10 <sup>5</sup>    | 6,847±0,023 <sup>a</sup> | 7,712±0,010 <sup>b</sup>   |
| Tepe noktası molekül ağırlığı (Mp) (Da) x10 <sup>6</sup>       | 2,790±0,014 <sup>a</sup> | 2,976±0,010 <sup>b</sup>   |
| Polidispersite indeksi (PDI)                                   | 4,539±0,011 <sup>a</sup> | 4,080±0,010 <sup>b</sup>   |

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Aynı satırdaki farklı üstel harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemlidir One Way ANOVA (p < 0,05).

Yapılan benzer bir çalışmada gelişmiş ekstraksiyon yöntemlerinden ultrason destekli ekstraksiyon yöntemi kullanılmış ve klasik sulu ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen beta glukan ekstraktlarının molekül ağırlıkları karşılaştırılmıştır. Ultrason destekli ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen ekstraktların molekül ağırlığı (268173 Da), klasik sulu ekstraksiyondan elde edilen ekstraktlardan (498894 Da) oldukça düşük bulunmuştur. Ultrason destekli ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen ekstraktların polimerler zincir uzunluklarının ise klasik sulu ekstraksiyon yöntemine kıyasla daha homojen olduğu rapor edilmiştir (Klasik sulu ekstraksiyon PDI: 7.341; Ultrason destekli ekstraksiyon PDI:2.846) (Aslan, 2022).

Farklı ekstraksiyon teknikleri ile yapılan bir araştırma ise beta glukan numunelerinin molekül ağırlığına bakıldığında ise mikroalga ekstraksiyonu yöntemiyle elde edilen numunenin molekül ağırlığı 51990 Da, ultrason destekli mikroalga yöntemiyle elde edilen numunenin molekül ağırlığı 50820 Da, klasik sulu ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen numunenin molekül ağırlığı 46930 Da, ultrason destekli ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen numunenin molekül ağırlığı ise 42690 Da olarak saptanmıştır (H. Liu vd., 2021). Literatürde verilen bu sonuçlarla kıyaslandığında mikroalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonunun arpada bulunan beta glukanın molekül ağırlığını oldukça iyi koruduğu söylenebilir.

Sağlık yararları açısından beta glukanların molekül ağırlığı oldukça önemli bir parametredir. Literatürde beta glukanın kolesterolü düşürmede etkili olduğu bilinmesine rağmen, bazı klinik araştırmalar bu bulguyu desteklememektedir. Bunun nedenini inceleyen bir araştırmada, çalışmayı tamamlayan 345 kişiye kontrol grubu hariç beta glukan tüketme müdahalesinde bulunulmuştur. Deneklere (kontrol grubu hariç) 4 hafta boyunca 3 g yüksek molekül ağırlıklı (2.210.000 g/mol), 4 g orta molekül ağırlıklı (850.000 g/mol), 3 g orta molekül ağırlıklı (530.000 g/mol) ve 4 g düşük molekül ağırlıklı (210.000 g/mol,) beta glukan verilmiştir. Yüksek molekül ağırlıklı (2.210.000) ve orta molekül ağırlıklı (530.000) ile günde 3 g beta glukanın LDL kolesterolü düşürmekte etkin olduğu görülürken düşük molekül ağırlıklı beta glukanın (210.000) etkisinin %50 oranında az olduğu belirlendi (Wolever vd., 2010). Başka bir araştırmada ise test grubuna günde 3 g yüksek molekül ağırlıklı (-2.000.000 g/mol) beta glukan verilmiş ve plasebo grubu ile kıyaslanmıştır. Test grubunda yer alan yüksek LDL seviyelerindeki sağlıklı yetişkinlerde LDL kolesterol yaklaşık %6 oranında ve Framingham kardiyovasküler hastalık riski ise yaklaşık %8 oranında, önemli ölçüde azalttığı sonucuna varılmıştır (Wolever vd., 2021). Bu araştırmalar beta glukanın serum kolesterolünü düşürme yeteneğini değerlendirirken fizikokimyasal özelliklerinin de dikkate alınması gerektiği sonucunu göstermiştir.

#### **4.6. Suda Çözünürlük İndeksinin Belirlenmesi**

Klasik sulu ekstraksiyon yöntemi ve mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yöntemi ile elde edilen beta glukan numunelerinin suda çözünürlük indeksi Çizelge 4.7'de verilmiştir. Klasik sulu ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen beta glukan ekstraktının suda çözünürlük indeksi %77,00±3,71; mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yöntemi ile elde edilen beta glukan ekstraktının suda çözünürlük indeksi %69,4±2,25 olarak analiz edilmiştir. Molekül ağırlığı arttıkça, suda çözünürlük indeksi azalmaktadır. Aradaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

**Çizelge 4.7. Ekstraktların suda çözünürlük indeksi karşılaştırması**

|                             | Klasik sulu ekstraksiyon | Mikrodalga destekli yüksek basınç CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O ekstraksiyonu |
|-----------------------------|--------------------------|---|
| Suda çözünürlük indeksi (%) | 77,33±3,71 <sup>a</sup>  | 69,4±2,25 <sup>b</sup>  |

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Aynı satırdaki farklı üstel harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemlidir One Way ANOVA (p < 0,05).

Arpadan beta glukan ekstraksiyonu yapılan bir araştırmada 3 farklı tür arpadan aynı yöntemle elde edilen ekstraktların suda çözünürlük indeksi %50, %51,04 ve %55,90 olarak analiz edilmiştir (Lee vd., 2015). Kavuzsuz arpadan farklı ekstraksiyon yöntemleri ile ekstraksiyon yapılan bir araştırmada farklı sıcaklıklarda suda çözünürlük indeksi analizi yapılmıştır. Bu araştırmaya yakın olan 60 °C de yapılan analizde, küçükten büyüğe doğru sırasıyla ultrason destekli mikrodalga ekstraksiyonu yöntemiyle elde edilen ekstraktta %69,01±0,98, klasik sulu ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen ekstraktta %75,62±0,57, mikrodalga ekstraksiyonu yöntemiyle elde edilen ekstraktta %77,63± 0,27, ultrason ekstraksiyonu yöntemiyle elde edilen ekstraktta %78,08 ± 0,63 olarak analiz edilmiştir. Bu araştırmada da molekül ağırlığı arttıkça suda çözünürlük indeksi azalmaktadır (H. Liu vd., 2021). Arpa tanesinin dıştan içe doğru beş farklı kısmıyla yapılan bir araştırmada ise yine 60 °C de yapılan suda çözünürlük indeksi analizinde bulunan sonuçlar %69,15 ile %77.58 arasında değişmektedir (Li vd., 2021). Bu araştırmada elde edilen sonuçlar literatür ile uyumludur. Mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yöntemi ile elde edilen ekstraktların molekül ağırlığı biraz daha yüksek olduğu için suda çözünürlük indeksi de daha düşük bulunmuştur.

#### 4.7. Su Tutma Kapasitesi

Klasik sulu ekstraksiyon ve mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilen beta glukan ekstraktlarının su tutma kapasitesi Çizelge 4.8.'de sunulmuştur. Su tutma kapasitesi açısından örnekler arasında istatistiksel fark olduğu belirlenmiştir. Klasik sulu ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen beta glukan numunesinin su tutma kapasitesi 5,59±0,23 g/g, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen beta glukan numunesinin su tutma kapasitesi ise 8,05±0,18 g/g olarak saptanmıştır. Bu örnekte su tutma kapasitesinin yüksek olması çözünürlüğünün düşük olması ile açıklanabilir. Bu sonuçlara göre ekstraktların su tutma kapasitesi oldukça yüksektir ve kıvam verici olarak endüstriyel kullanımı da mümkündür.

**Çizelge 4.8. Ekstraktların su tutma kapasitesinin karşılaştırması**

|                           | Klasik sulu ekstraksiyon | Mikrodalga destekli yüksek basınç CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O ekstraksiyonu |
|---------------------------|--------------------------|---|
| Su tutma kapasitesi (g/g) | 5,59±0,23 <sup>a</sup>   | 8,05±0,18 <sup>b</sup>  |

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

Aynı satırdaki farklı üstel harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemlidir One Way ANOVA (p < 0,05).

Yapılan başka bir araştırmada enzimatik yöntemle arpa ve yulaftan ekstraktlar elde edilmiş ve örneklerin su tutma kapasiteleri analiz edilmiştir. Sonuçlar örneklerin su tutma kapasitelerinin 4,56 ile 7,42 g/g arasında değiştiğini göstermiştir (Kurek vd., 2018). Yulaftan elde edilen beta glukan ekstraktlarının incelendiği başka bir araştırmada örneklerin su tutma kapasiteleri 3,14 g/g ile 4,52 g/g arasında bulunmuştur (Ahmad vd., 2010). Başka bir araştırmada ise yine yulaftan elde edilen beta glukan ekstraktlarının su tutma kapasitesi 2,46 g/g ile 13,94 g/g arasında bulunmuştur (R. Liu vd., 2015). Arpa kullanılarak farklı ekstraksiyon yöntemlerinin denendiği başka bir araştırma da ise, sonuçlar 2,91g/g- 3,79g/g arasında bulunmuştur (Ahmad vd., 2009). Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar literatür ile uyumludur.

Diyet liflerinin su tutma oranının fazla olması, dışkının daha yumuşak olmasını sağlamaktadır (Kasap vd., 1978). Ayrıca diyet liflerinin su tutma kapasitesi sayesinde konstipasyon sorununun önüne geçmektedir. Dışkı hacmini artırması sayesinde, dışkının bağırsaktan geçiş süreci kısalmaktadır. Bu sayede bağırsakta toksinlerin birikmesi

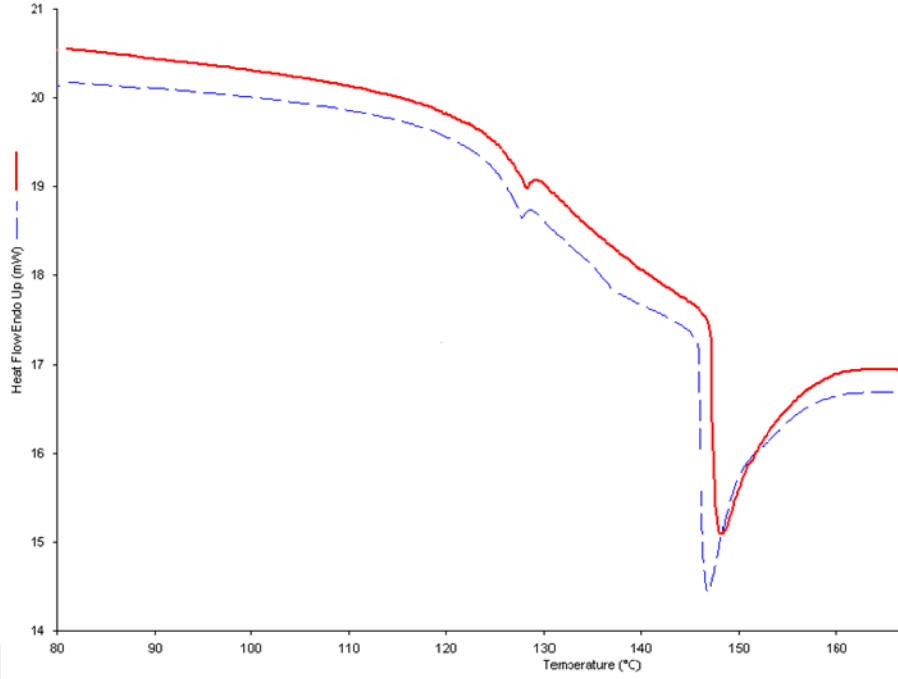
engellenerek kolon kanseri ve rektum kanseri riski azalmaktadır. Başka bir yararlı özelliği ise dışkıının geçiş süreci kısalttığı için bağırsağın çeperinde meydana gelme ihtimali olan deformasyonu önleyerek sızıntılı bağırsak sendromunun da önüne geçmektedir (Salçın ve Ercoşkun, 2021).

#### 4.8. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri Analizi

Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (Differential Scanning Calorimetry, DSC), hareketsiz bir atmosferde ısıtma sırasında polimerlerde meydana gelen geçişleri incelemek için kullanılan önemli bir araçtır. Şekil 4.2.'de gösterilen termal taramalar, klasik sulu ekstraksiyon ve mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilen beta gluklan ekstraktlarının ısıya karşı farklılaşmalarını göstermektedir. Şekilde görüldüğü üzere her iki beta gluklan ekstraktı da benzer değişimler göstermektedir.

Her iki beta gluklan ekstraktında da 50°C-170°C aralığında iki pik göstermiştir. İlk pik, camsı geçiş pikidir. Camsı geçiş moleküler hareketliliğin minimum düzeye indiği ve viskozitenin çok yüksek olduğu sıcaklıktır. Bu sıcaklıktan sonra polimer ısıtılırsa viskoz özelliklerini kaybeder, cam gibi kırılğan ve sert bir hal alır (Karaoğlu vd., 2009). Bu pik klasik sulu ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen beta gluklan ekstraktında, 127,41°C, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen beta gluklan ekstraktında 127,37°C'dir. Erime pikleri olarak verilen 2. pik ise klasik sulu ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen beta gluklan ekstraktında, 148,05 °C, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen beta gluklan ekstraktında ise, 146,83 °C, olarak analiz edilmiştir. Bu pikler, ağırlık kaybına bağlı olarak polimerin erimesini ve suyun dehidrasyonunu gösterir.

DSC analizinden çıkan sonuçlara bakıldığında araştırmada elde edilen beta gluklan ekstraktlarının, termal işlemlere uygun olduğu, ısı uygulanacak besinlere eklenmesinde bir sakınca olmadığı, pişirme ve sterilizasyon gibi işlemlerde uygulanabilecek yüksek sıcaklıklara dayanabileceği görülmektedir.



**Şekil 4.2. Ekstraktların DSC grafiği**

Kırmızı= Klasik sulu ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen ekstrakt, Mavi=Mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen ekstrakt

Arpadan beta glukan ekstraksiyonu ile ilgili yapılan bir çalışmada DSC analizi sonuçları, camsı geçiş sıcaklıklarının standart beta glukan örneğinde 123,11°C, ticari beta glukan örneğinde 129,52°C ve projede üretilen beta glukan örneğinde 122,34°C bulunmuştur. Erime noktalarına bakıldığında ise; standart beta glukan örneğinde 144,23 °C, ticari beta glukan örneğinde 153,08 °C ve projede üretilen beta glukan örneğinde 145,28 °C'dir (Hasbay, 2018). Bu sonuçlar bu araştırma ile oldukça uyumludur. Doğal arpa glukani ve hidrolizatları üzerinde yapılan başka bir çalışmada, DSC analizlerinde bakıldığında, doğal arpa beta glukani ve hidroliz süresi daha kısa olan hidrolizatında tek endotermik pikler gözlenirken, hidroliz süresi daha fazla olan hidrolizatında iki endotermik pik elde edilmiştir. Doğal arpa beta glukani ve hidroliz süresi az olan hidrolizatında için 82°C civarındaki pik, daha uzun süre hidrolize olan beta glukan ekstraktında ise 150°C civarındaki pik, ağırlık kaybına bağlı olarak polimerin erimesini ve suyun dehidrasyonunu gösterdi. Ayrıca hidroliz süresi daha fazla olan beta glukan ekstraktında 183°C civarındaki ikinci zirve, polimer omurgasının glikosidik bağlarının daha az termal stabilite gösteren bölünmesine bağlı olabilir şeklinde yorumlanmıştır (Dangi ve Yadav, 2021). Mayalardan elde edilmiş beta glukan ekstraktında yapılan bir çalışmada ise DSC

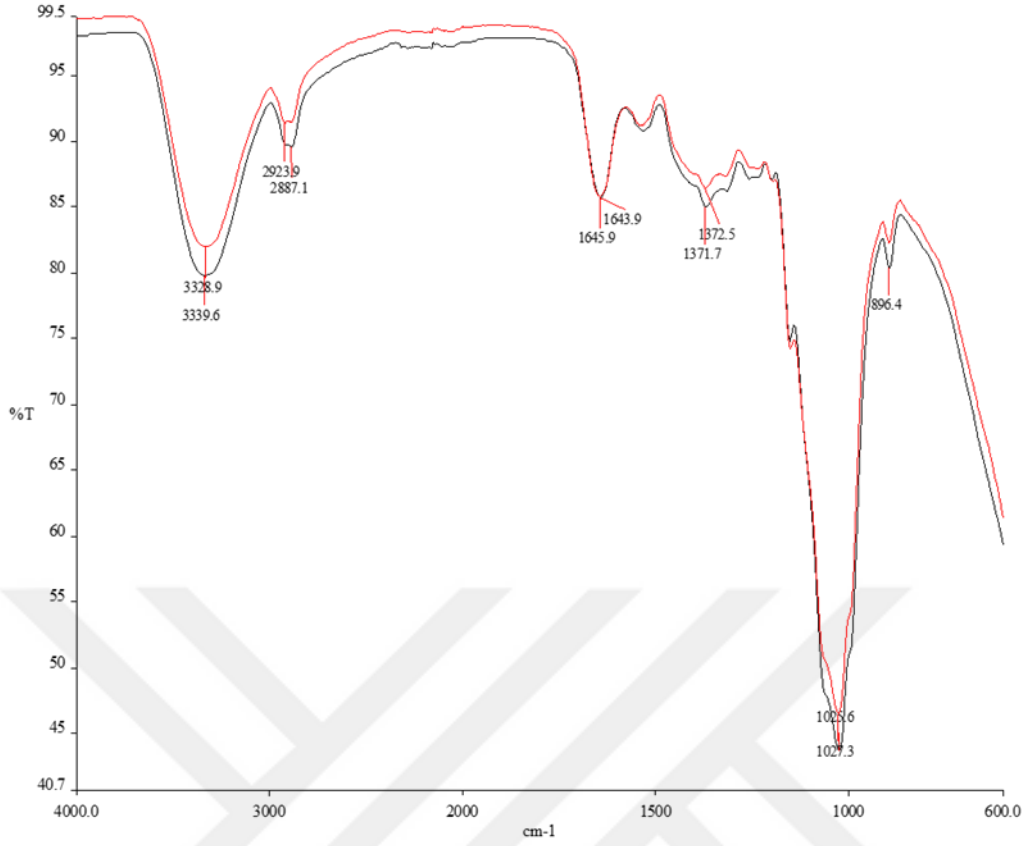
grafine bakılınca, 29 ve 36 °C'de iki camsı geçiş piki, 84 °C'de merkezlenen geniş bir endotermik pik, suyun buharlaşmasına atfedilir (Nováka vd., 2012). Mayalardan elde edilen beta glukanın sıcaklığı verdiği reaksiyon arpa beta glukandan farklı olabilir.

#### 4.9. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi Analizi

Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi Analizi (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR), bir polimerin moleküler yapısı hakkında bilgi edinmek için kullanılan bir tekniktir. Bu analizde, bir polimere kızılötesi ışınları gönderilir ve bu ışınların polimer tarafından nasıl emildiği ölçülür. Polimer tarafından emilen kızılötesi ışınlarının dalga boyu, maddenin kimyasal yapısı hakkında bilgi verir. Beta-glukan, bir polisakkarittir. Bu polisakkarit, beta 1,4-glikosidik bağlarla birbirine bağlanmış D-glukoz moleküllerinden oluşur. Beta glukanın FTIR analizi sonuçları, bu moleküler yapı hakkında bilgi verir.

Klasik sulu ekstraksiyon yöntemi ve mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon yöntemi ile ekstrakte edilen beta glukana yönelik FTIR spektrumları Şekil 4.3.'te sunulmaktadır. FTIR spektroskopisi, polimerlerin yapısal analizi ve polisakkaritler arasındaki yapısal farklılıkların ayırt edilmesi için yararlı bir araçtır. Şekil 4.3.'ten görülebileceği gibi, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu ve klasik sulu ekstraksiyon işlemlerinin FTIR spektrumları benzerdir, bu da yeni uyguladığımız mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon yönteminin polimerin kimyasal yapısını etkilemediğini göstermektedir.

Bu çalışmada sırasıyla mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu ve klasik sulu ekstraksiyon yöntemleri ile elde edilen beta glukana ekstraktlarının pikleri Şekil 4.3.'te gösterildiği gibi; 3339,6 cm<sup>-1</sup> ve 3328,9 (–OH bağı), 2923,9 ve 2887,1cm<sup>-1</sup> (C–H bağı), 1643,9 ve 1645,9 cm<sup>-1</sup> bağılı suyu, 1372,5 ve 1371,7 cm<sup>-1</sup>(C=H bağı), 1025,6 ve 1027,3 cm<sup>-1</sup> (alkol grubundan C–O bağı) ve 896,4 cm<sup>-1</sup> beta 1-4 glikosidik bağları ifade etmektedir (Fusté vd., 2019; Nie vd., 2021; Zhang vd., 2018).



**Şekil 4.3. Ekstraktların FTIR analizi**

Siyah= Klasik sulu ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen ekstrakt, Kırmızı=Mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen ekstrakt

Kavuzsuz arpadan liyofilize beta glukan ekstraksiyonu ve karakterizasyonu yapılan başka bir araştırmanın FTIR analizine bakıldığında 3402 cm<sup>-1</sup>'deki pik, moleküller arası ve molekül içi O=H bağı pikini, 2893 cm<sup>-1</sup>'deki bant metilenin karşıt gerilme titreşimi, 1371 cm<sup>-1</sup>'deki bant, C=H bağının titreşimini, 1154 cm<sup>-1</sup>'deki zirveler (C=OH) yan grupların titreşimleri ile örtüşen beta-D-glikopiranoz halka titreşimlerini ve 1070 cm<sup>-1</sup>'deki keskin zirveler, beta 1-4 ve beta 1-3 glikosidik bağlarının (C-O-C) glikosidik bağ titreşimi ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca 896 cm<sup>-1</sup>'deki karakteristik absorpsiyon, glukanın beta konfigürasyonunu ifade eder (Zhang vd., 2018). Bu çalışmadaki FTIR sonuçları ile bu çalışmadaki sonuçlar uyumludur.

Fuste ve arkadaşlarının arpa beta glukanının FTIR analizini yaptıkları bir çalışmada ise üç geniş emilim bandı gösterilmiştir; 3338 cm<sup>-1</sup> bölgesinde polisakkaritin hidroksil (OH) titreşimini ifade eden pik, 1,318–1,420 cm<sup>-1</sup> arasındaki bölgede ikinci bir OH piki ve 1200–800 cm<sup>-1</sup>'de polisakkaritler için üçüncü bir geniş pik bulunmaktadır.

2820 ile 3000  $\text{cm}^{-1}$  arasındaki pik, bir C-H bağıını ifade eder ve CH gruplarına atanır. 1035  $\text{cm}^{-1}$ 'deki ana pik, C-O bağlarını ifade edebilir. 1070  $\text{cm}^{-1}$ 'deki tepe piki ve 1154  $\text{cm}^{-1}$ 'deki tepe piki, beta 1-3 bağları ile bağlanan beta glukanın doğrusal yapısına uygun olduğu ve ayrıca 894  $\text{cm}^{-1}$ 'deki pik ise beta 1-4 bağları ile ilgili olduğu ifade edilmiştir (Fusté vd., 2019). Bu araştırmanın sonuçları da bu çalışma ile uyumludur.

Kavuzsuz arpadan ultrason destekli ekstraksiyon ve klasik sulu ekstraksiyonun kıyaslandığı başka bir çalışmada FTIR analizinde sırayla 1024 ve 1025  $\text{cm}^{-1}$  (alkol grubundan C-O bağı), 2906 ve 2904  $\text{cm}^{-1}$  (C-H bağı) ve 3333 ve 3336  $\text{cm}^{-1}$  piki (-OH bağı) bulunmuştur. Ayrıca 1000-1200  $\text{cm}^{-1}$  bölgesindeki pikler polisakkaritlerin varlığını, (CC) (CO) gruplarının gerilmesinden kaynaklanan 1024 ve 1025  $\text{cm}^{-1}$ 'teki pikler glikopiranozun varlığını, 800-950  $\text{cm}^{-1}$  aralığındaki pikler ise, beta glukun için özel olan ve beta glikozidik bağların göstergesi olduğu bulunmuştur (Aslan, 2022). Yapılan araştırma literatür ile benzerlik göstermektedir.

#### 4.10. Renk Analizi

Klasik sulu ekstraksiyon ve mikrodalga destekli yüksek basınç  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  ekstraksiyonu yöntemleri ile elde edilen beta glukun ekstraktlarının renk analizleri Çizelge 4.9.'da sunulmuştur. Klasik sulu ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen beta glukun numunesinin L değeri  $93,25 \pm 0,11$ , mikrodalga destekli yüksek basınç  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  ekstraksiyonu yöntemi ile elde edilen beta glukun numunesinin L değeri ise  $94,04 \pm 0,10$  olarak ölçülmüştür. L parlaklık değeri açısından örnekler arasında istatistiksel fark olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga destekli yüksek basınç  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen beta glukun numunesinin klasik sulu ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen örneğe göre daha açık renkte olduğu saptanmıştır.

Örneklerin a değerleri arasında istatistiksel bir fark oluşmazken, klasik sulu ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen beta glukun numunesinin a değeri  $0,80 \pm 0,03$ , mikrodalga destekli yüksek basınç  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen beta glukun numunesinin a değeri ise  $0,76 \pm 0,03$  olarak saptanmıştır. Örneklerin b değerleri ise istatistiksel olarak farklı olup, klasik sulu ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen beta glukun numunesinin b değeri  $5,35 \pm 0,02$ , mikrodalga destekli yüksek basınç  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen beta glukun numunesinin b değeri ise  $4,33 \pm 0,10$  olarak saptanmıştır. Klasik sulu ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen beta glukun

numunesinin b değerinin artması örneğin filtre edilme sürecinin uzun olması ve bu süreçte oksijen ile temasından kaynaklanmış olabilir.

**Çizelge 4.9. Ekstraktların renk analizi karşılaştırması**

| Renk değerleri        | Klasik sulu ekstraksiyon | Mikrodalga destekli yüksek basınç CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O ekstraksiyonu |
|-----------------------|--------------------------|---|
| L-Parlaklık           | 93,25±0,11 <sup>a</sup>  | 94,04±0,10 <sup>b</sup>   |
| a-Kırmızılık-Yeşillik | 0,80±0,03 <sup>a</sup>   | 0,76±0,03 <sup>a</sup>  |
| b-Sarılık-Mavilik     | 5,35±0,02 <sup>a</sup>   | 4,33±0,10 <sup>b</sup>  |

Sonuçlar ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

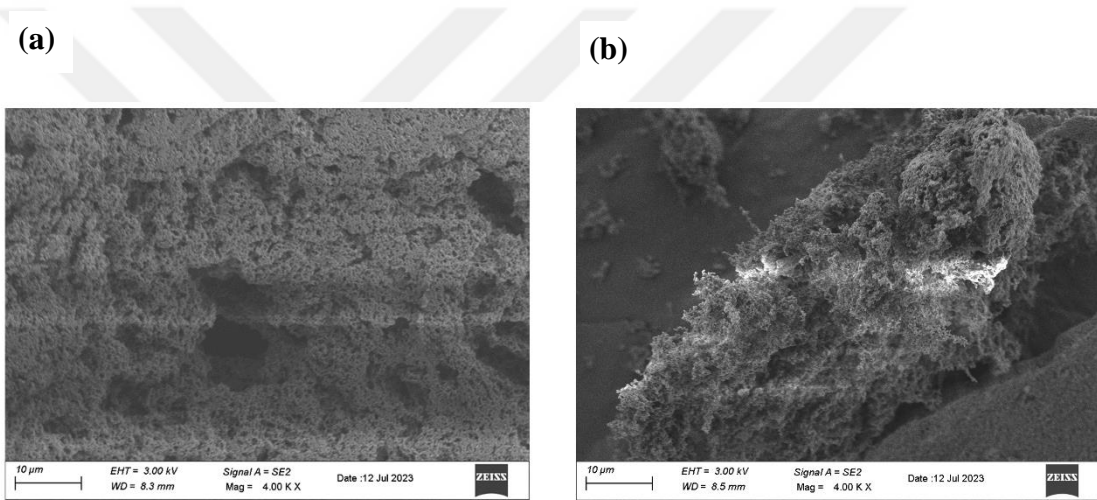
Aynı satırdaki farklı üstel harflerle gösterilen değerler arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemlidir One Way ANOVA (p < 0,05).

Farklı ekstraksiyon yöntemlerinin kıyaslandığı bir araştırmada elde edilen beta glukozid ekstraktlarının renk analizleri yapılmıştır. Alkali ekstraksiyon yönteminden elde edilen ekstraktların renk değerleri L=67,55, a=7,70, b=21,50, asit ekstraksiyon yönteminden elde edilen ekstraktların renk değerleri L=69,86, a=8,39, b=18,08, klasik sulu ekstraksiyon yönteminden elde edilen ekstraktların renk değerleri L=77,34, a=7,45, b=16,22, enzimatik ekstraksiyon yönteminden elde edilen ekstraktların renk değerleri L=71,48, a=6,75, b=19,32 olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada da en yüksek beyazlık klasik sulu ekstraksiyonda görülmüştür. Yazarlar bu durumu açık renkli besinlere eklenebilme kolaylığı olarak yorumlamışlardır (Ahmad vd., 2009).

Başka bir araştırmada ise farklı klasik sulu ekstraksiyon koşullarında üretilen ve farklı kurutma yöntemleri ile kurutulan beta glukozid ekstraktlarının renkleri analiz edilmiştir. Sonuçlar, püskürtmeli kurutucuyla elde edilen örneklerin en düşük L değerine (81,46±0,08) sahip olduğunu, en yüksek L değerinin (91,86±0,09) ise dondurarak kurutma sonucu elde edildiğini göstermiştir. Kırmızılık- yeşillik gösteren a değeri ise en düşük -0,37±0,04, en yüksek ise 4,76±0,01 olarak saptanmıştır. Sarılık ve maviliği ifade eden b değeri ise en düşük 3,58±0,09, en yüksek ise 13,85±0,01 olarak bulunmuştur. Bu farklılıkların kurutma yöntemlerindeki farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Hasbay, 2018).

#### 4.11. Taramalı Elektron Mikroskobu

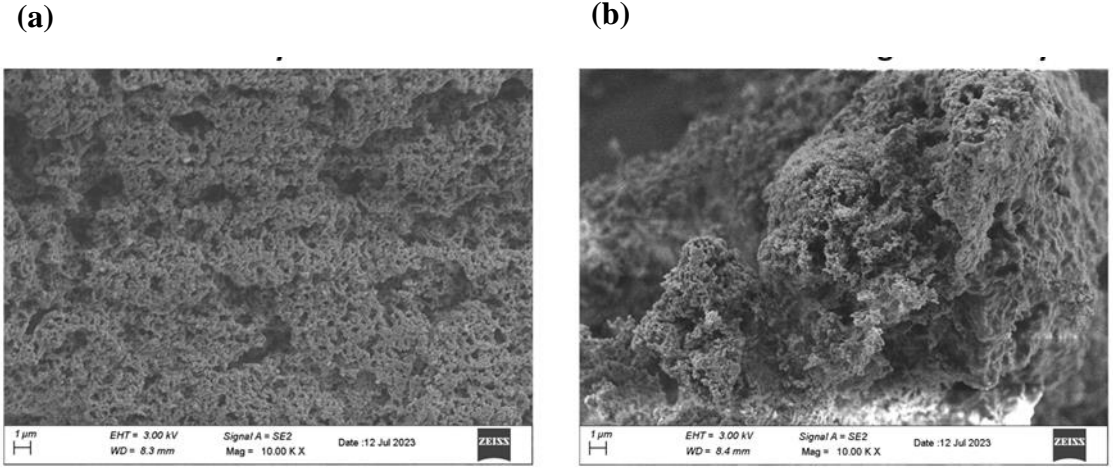
Taramalı elektron mikroskobu (SEM; Scanning Electron Microscope), odaklanmış bir elektron demeti kullanarak numunenin yüzey yapılarını mikro ve nano boyutta görüntüleyebilen bir elektron mikroskobu türüdür. Sıvı olan malzemeler ölçüm için uygun değildir. Katı olan malzemeler iletken ise ölçülebilir, iletken değil ise iletken bir malzeme ile kaplanarak ölçülebilir (Kapakin Terim, 2006). Beta glukan ekstraktı numuneleri de iletken olmadığı için, altın ile kaplanarak ölçülmüştür. Yüzey yapıları incelendiğinde klasik sulu ekstraksiyon ve mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yöntemleri elde edilen numunelerin yüzey görüntüleri benzerlik göstermiştir. Şekil 4.3.'de numunelerin 3.00 kV bir hızlanma voltajında 4.000 kez büyütülmüş yüzey görünümüdür.



**Şekil 4.4. Ekstraktların TEM analizi (x4.000)**

a, Klasik sulu ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen ekstrakt; b, Mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen ekstrakt

Şekil 4.4.'de ise 3.00 kV bir hızlanma voltajında 10.000 kez büyütülmüş yüzey görünümüdür. Her iki görselde yapı olarak birbirine benzemektedir. Bir polimer yapısı gibi görünen gözenekli süngerimsi bir görünüme sahiptir.



**Şekil 4.5. Ekstraktların TEM analizi (x10.000)**

a, Klasik sulu ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen ekstrakt; b, Mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen ekstrakt

Literatürde bakıldığında kurutma şekillerine göre değişiklik gösterebilen beta glukanların görselleri genellikle benzerdir. Bir araştırma da düz, gözenekli bir yüzey oluşturduğundan söz edilmiştir (Bikmurzin vd., 2022). Yapılan başka bir çalışmada ise dört farklı mikroorganizma kaynağından ekstrakte ettikleri beta glukan numunelerinin, farklı parçacık boyutlarına ve şekillerine sahip olmalarına rağmen sünger gibi ortak bir görünüme, yani gözenekli ve pürüzlü bir dokuya ve görünmeyen bir hücre duvarı yapısına sahip olduğunu analiz etmişlerdir (Utama vd., 2021).

Arpa beta glukanı ve ticari olarak kullanılan beta glukanın yapısını analiz eden başka bir çalışmada da morfolojik özellikleri benzerdir, gözenekli ve süngerimsi bir görünüme sahiptir ve hücre duvarı yapısına dair gözle görülür hiçbir ize rastlanmamıştır (Limberger-Bayer vd., 2014). Yulaf beta glukanı ile yapılan başka bir çalışmada da aynı gözenekli süngerimsi görünümünden söz edilmektedir (Singh vd., 2018). Yapılan başka bir çalışmaya göre ise beta glukanın gözenekli süngerimsi yapı sayesinde nano ilaç çökeltileri veya nanokristaller gibi ilaçlarla arttırılması veya zenginleştirilmesi konusunda bir avantaj sağlanmaktadır (Upadhyay vd., 2017).

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde kavuzsuz arpadan mikrodalga destekli beta glukan ekstraksiyonu araştırmasının mevcut sonuçları ve öneriler verilmiştir.

### 5.1 Sonuçlar

1. Türkiye Cumhuriyeti Tarım Orman Bakanlığına bağlı Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsünden 2022 yılında alınan Yalın Türü kavuzsuz arpanın temel bileşim analizleri, %17,26±0,38 protein, %65,58±0,18 nişasta, %8,97±0,22 nem, %1,87±0,04 kül, %5,65±0,21 beta glukan, %2,13±0,24 yağ tespit edilmiştir.
2. Sağlık yararları ve koroner kalp hastalığı riskini azaltmak için günde 3 g veya daha fazla beta glukan alınması önerisine ulaşabilmek için günde 53,1 g kavuzsuz arpa unu tüketmek gereklidir. Literatürde yer alan bilgilere kavuzsuz arpa unu ve buğday unu ile yapılacak ekme tahmini olarak 300-350 gram ağırlığında olacaktır. Kalori kısıtlamalı diyetlerde tüketimi hedefin üzerinde olduğu için ihtiyacı karşılaması mümkün olmayabilir.
3. Arpadan mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu optimizasyonunda deneylerde elde edilen beta glukan verimi %35,65±0,83 ile %63,09±2,87 arasında değişmektedir.
4. En yüksek beta glukan verimi, sıcaklık, zaman ve su: arpa unu oranının sırasıyla 50 °C, 20 dakika ve 10:1 (g/g)'de elde edilmiştir.
5. Beta glukan verimi artan sıcaklıkla artmıştır. Ancak sıcaklık yaklaşık 55 °C'nin üzerine çıkarıldığında verimin düşmesine sebep olmuştur. Bu durum, artan sıcaklıkla birlikte ekstrakttaki nişasta miktarının artması, bu nişastanın jelatinize olarak ekstraksiyon sıvısını kıvamlı hale getirmesi ve kütle transferini yavaşlatarak ekstraksiyonu güçleştirmesi ile açıklanabilir.
6. Su: arpa unu oranı arttıkça, düşük sıcaklıklarda beta glukan verimi düşmüştür. Yüksek sıcaklık değerlerinde ise su: arpa unu oranının 10:1 (g/g) 'den yaklaşık 13:1 (g/g) 'e kadar artması verimi artırırken bu değer üzerindeki su:arpa unu oranlarında verim düşmektedir. Bu sonuç, düşük su: arpa unu oranlarında çalışmanın mümkün olduğunu göstermektedir. Bu önemli bir sonuçtur, çünkü beta glukanın ıslak ekstraksiyonu, daha sonraki saflaştırma adımlarında çıkarılması gereken büyük miktarlarda su tüketir. Düşük su: arpa unu oranlarında çalışmak sonraki saflaştırma sürecini basitleştirecektir.
7. Ekstraksiyon süresi beta glukan verimi üzerinde önemli etkiye sahip olan diğer faktördür. Su: arpa unu oranının düşük olduğu noktalarda ekstraksiyon süresinin

artması verimi arttırırken, su:arpa unu oranının yüksek olduğu noktalarda zamanın artması verimi düşürmüştür. Bu sonuç doğrultusunda, su: arpa unu oranının yüksek olduğu koşullarda beta glukanın kısa sürede ekstrakte edilebildiği, artan ekstraksiyon süresiyle ise beta glukanın hem mikrodalga'nın ısı olmayan etkisi hem de karbondioksitin suda çözünmesiyle oluşan karbonik asidin oluşturduğu asidik koşullar nedeniyle parçalanarak beta glukan veriminin düştüğü söylenebilir.

8. Sıcaklık olarak 47,74 °C, zaman olarak 19,92 dakika ve su: arpa unu oranı olarak 10,10:1 (g/g) seçildiğinde istenebilirlik değerinin 1 olduğu ve en yüksek beta glukan veriminin elde edildiği belirlenmiştir. Bu koşullarda program tarafından tahmin edilen beta glukan verimi % 63,57'dur. Model tarafından tahmin edilen sonuçları doğrulamak amacıyla önerilen koşullarda 3 paralel deney yapılmıştır. Bu deneylerin ortalamasında beta glukan verimi %62,43±1,39 olarak bulunmuştur.
9. Klasik sulu ekstraksiyon ve mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yöntemleri kıyaslandığında her iki ekstraksiyon yönteminde de sıcaklıkların nispeten yakın olduğu görülmekle beraber mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonunda daha düşüktür.
10. Ekstraksiyon süresi klasik sulu ekstraksiyonuna (180 dakika) göre mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonunda oldukça kısadır (19,92 dakika).
11. Mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonunda (10,10 g) daha az çözücü yani distile su kullanılmıştır.
12. Beta glukan verimi (53,14±1,00; 62,43±1,39) ve beta glukan saflığı (63,08±1,10 ;67,17±0,57) mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonunda klasik sulu ekstraksiyon yöntemine göre istatistiksel olarak anlamlı ve daha fazladır.
13. Ekstraktların beta glukan içeriği, klasik sulu ekstraksiyon yönteminde %63,08±1,10, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yönteminde %67,17±0,57'dir.
14. Ekstraktların protein içeriği, klasik sulu ekstraksiyon yönteminde %10,40±0,20, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yönteminde %11,65±0,28'tir.

15. Ekstraktların nişasta içeriği klasik sulu ekstraksiyon yönteminde  $1,54 \pm 0,01$ , mikrodalga destekli yüksek basınç  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  ekstraksiyonu yönteminde ise  $\%2,03 \pm 0,01$ 'tür.
16. Ekstraktların nem içeriği ise sırasıyla klasik sulu ekstraksiyon yönteminde  $2,72 \pm 0,11$  ve mikrodalga destekli yüksek basınç  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  ekstraksiyonu yönteminde ise  $2,90 \pm 0,14$ 'dir.
17. Ekstraktların kül miktarları analiz edildiğinde ise klasik sulu ekstraksiyon yönteminde  $\%0,95 \pm 0,03$ , mikrodalga destekli yüksek basınç  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  ekstraksiyonu yönteminde  $\%1,12 \pm 0,07$ 'dir.
18. Ekstraktların arabinoksilan miktarı klasik sulu ekstraksiyon ve mikrodalga destekli yüksek basınç  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  ekstraksiyonu yöntemleriyle elde edilişlerine göre sırasıyla,  $\%1,05 \pm 0,03$  ve  $\%4,19 \pm 0,11$ 'dur.
19. Ekstraktların lignin içerikleri ise klasik sulu ekstraksiyon yönteminde  $\%0,65 \pm 0,02$ , mikrodalga destekli yüksek basınç  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  ekstraksiyonu yönteminde  $\%2,83 \pm 0,14$ 'tür.
20. Ekstraksiyon yöntemleriyle ekstraktların içerisinde bulunun diğer ögeler ise sırasıyla klasik sulu ekstraksiyon ve mikrodalga destekli yüksek basınç  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  ekstraksiyonu yöntemleriyle elde edilişlerine göre,  $\%19,61 \pm 0,81$  ve  $\%8,11 \pm 0,35$ 'dir.
21. Besin ögelerinden beta glukan, protein, nişasta, kül, arabinoksilan, lignin ve diğer ögeler her iki ekstraksiyon yönteminde istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermektedir.
22. Nem miktarı ise istatistiksel olarak farklılık göstermemektedir. Aynı kurutma yöntemi kullanılarak kurutulan her iki numunenin farklılık göstermemektedir.
23. Mikrodalga destekli yüksek basınç  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  ekstraksiyonu yöntemi ile elde edilen ekstrakt, daha fazla beta glukan, protein, nişasta, kül, arabinoksilan, lignin içermektedir.
24. İnsan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri ve koroner kalp hastalığı ve diyabet riskini azaltmak için günde 3 g veya daha fazla beta glukan önerisi için klasik sulu ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen ekstraktan  $4,76$  gram tüketilerek, mikrodalga destekli yüksek basınç  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  ekstraksiyonu yöntemi ile elde edilen ekstraktan ise  $4,46$  gram tüketilmesi gerekmektedir.
25. Ekstraktların diyet lifleri (beta glukan, lignin ve arabinoksilanın toplamı) değerlendirildiğinde, klasik sulu ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen ekstraktan

lif içeriği %64,78, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yöntemi ile elde edilen ekstraktın lif içeriği ise, %74,19'dur. Yetersiz lif tüketimi için besinlere eklenerek veya besin desteği olarak kullanılarak alternatif bir çözüm sunabilir.

26. Her iki yöntemle elde edilen ekstraktların molekül ağırlıklarının birbirine yakın olduğunu göstermiştir. İstatistiksel olarak Mw arasında anlamlı bir fark olmamasına rağmen, Mn, Mp ve PDI arasında anlamlı fark vardır.
27. Mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu ile elde edilen ekstraktların polidispersite indeksi (Mw/Mn), klasik sulu ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen ekstraktlarınkinden biraz daha küçüktür. Bu, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu ile elde edilen ekstraktların zincir uzunluklarının daha homojen olduğu anlamına gelmektedir.
28. Klasik sulu ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen beta glukan ekstraktının suda çözünürlük indeksi %77,00±3,71; mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu yöntemi ile elde edilen beta glukan ekstraktının suda çözünürlük indeksi %69,4±2,25 olarak analiz edilmiştir. Molekül ağırlığı arttıkça, suda çözünürlük indeksi azalmaktadır. Aradaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.
29. Klasik sulu ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen beta glukan numunesinin su tutma kapasitesi 5,59±0,23 g/g, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen beta glukan numunesinin su tutma kapasitesi ise 8,05±0,18 g/g olarak saptanmıştır. Bu örnekte su tutma kapasitesinin yüksek olması çözünürlüğünün düşük olması ile açıklanabilir. Bu sonuçlara göre ekstraktların su tutma kapasitesi oldukça yüksektir ve kıvam verici olarak endüstriyel kullanımı da mümkündür.
30. Her iki beta glukan ekstraktında da 50°C-170°C aralığında iki pik göstermiştir.
31. İlk pik, camsı geçiş pikidir. Camsı geçiş moleküler hareketliliğin minimum düzeye indiği ve viskozitenin çok yüksek olduğu sıcaklıktır. Bu pik klasik sulu ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen beta glukan ekstraktında, 127,41°C, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen beta glukan ekstraktında 127,37°C'dir.
32. Erime pikleri olarak verilen 2. pik ise klasik sulu ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen beta glukan ekstraktında, 148,05 °C, mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen beta glukan ekstraktında ise,

146,83 °C, olarak analiz edilmiştir. Bu pikler, ağırlık kaybına bağlı olarak polimerin erimesini ve suyun dehidrasyonunu gösterir.

33. DSC analizinden çıkan sonuçlara bakıldığında araştırmada elde edilen beta glukan ekstraktlarının, termal işlemlere uygun olduğu, ısı uygulanacak besinlere eklenmesinde bir sakınca olmadığı, pişirme ve sterilizasyon gibi işlemlerde uygulanabilecek yüksek sıcaklıklara dayanabileceği görülmektedir.
34. Mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyonu ve klasik sulu ekstraksiyon işlemlerinin FTIR spektrumları benzerdir, bu da yeni uyguladığımız mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon yönteminin polimerin kimyasal yapısını etkilemediğini göstermektedir.
35. Mikrodalga destekli yüksek basınç CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen beta glukan numunesinin klasik sulu ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen örneğe göre daha açık renkte olduğu saptanmıştır. L parlaklık değeri açısından örnekler arasında istatistiksel fark olduğu belirlenmiştir.
36. Örneklerin a değerleri arasında istatistiksel bir fark oluşmazken, b değerleri ise istatistiksel olarak farklıdır. Klasik sulu ekstraksiyon yöntemi ile elde edilen beta glukan numunesinin b değerinin artması örneğin filtre edilme sürecinin uzun olması ve bu süreçte oksijen ile temasından kaynaklanmış olabilir.
37. Her iki beta glukan ekstraktının morfolojik özellikleri benzerdir, gözenekli ve süngerimsi bir görünüme sahiptir ve hücre duvarı yapısına dair gözle görülür hiçbir ize rastlanmamıştır.

## 5.2 Öneriler

- Bu araştırmada elde edilen ekstrakt %74,19 diyet lifi içeriği ile hem besin desteği olarak kullanılabilme hem de gıda katkı maddesi olarak kullanılabilme potansiyeli taşımaktadır.
- Ülkemizde üretimi yapılan önemli tahıllardan biri olan arpanın, sağlık yararları açısından insan beslenmesinde kullanılma potansiyeli vardır.
- Kavuzsuz arpanın insan beslenmesinde kullanılma potansiyeli ile ilgili daha çok çalışma yapılmalıdır.
- Arpanın önemli bir bileşeni olan beta glukan ekstraksiyonu ile ilgili yapılan araştırma sayısı artırılmadır.

- Beta glukan ekstraktlarının kaynakları ve karakterizasyonu sağlık yararları açısından belirleyicidir. Daha fazla bu alanda araştırmaya ihtiyaç vardır.
- Beta glukan ekstraksiyonunda ticari üretimde uygun ve büyük ölçekli denemeler de yapılmalıdır.
- Geliştirilen yöntem ile elde edilen beta glukan ekstraktı, besinlere eklenerek fonksiyonel bir besin üretimine katkı sunabilme potansiyeli taşımaktadır. Sağlık yararlarından ötürü beta glukan katkılı ürünler geliştirilmediir.
- Sağlık profesyonelleri beta glukan katkılı ürünler ve beta glukan ekstraktlarını klinik araştırmalarda değerlendirmeli ve hastalıklarda kullanımına yer verilmelidir.



## KAYNAKÇA

- Acar, O. (2020). *Biyofortikasyonun Arpa, Yulaf ve Öğütme Fraksiyonlarında Bazı Mineraller ve Fonksiyonel Bileşenler Üzerine Etkisinin Araştırılması*. (Tez No. 639883) [Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi],
- Ahmad, A., Anjum, F. M., Zahoor, T., Nawaz, H., & Ahmed, Z. (2010). Extraction and characterization of  $\beta$ -d-glucan from oat for industrial utilization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 46(3), 304–309. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2010.01.002>
- Ahmad, A., Anjum, F. M., Zahoor, T., Nawaz, H., & Din, A. (2009). Physicochemical and functional properties of barley  $\beta$ -glucan as affected by different extraction procedures. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(1), 181–187. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01721.x>
- Akıncı, A. Y., & Türkay, İ. K. (2020). Filozof Doktorlardan Moderniteye Sporcu Beslenmesi. *Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 14(2), 246–255.
- Aktas-Akyıldız, E., Sibakov, J., Nappa, M., Hytönen, E., Koksel, H., & Poutanen, K. (2018). Extraction of soluble  $\beta$ -glucan from oat and barley fractions: Process efficiency and dispersion stability. *Journal of Cereal Science*, 81, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.03.007>
- Aoe, S., Mio, K., Yamanaka, C., & Kuge, T. (2021). Low molecular weight barley  $\beta$ -glucan affects glucose and lipid metabolism by prebiotic effects. *Nutrients*, 13(1), 1–13. <https://doi.org/10.3390/nu13010130>
- Arjmandi, M., Otón, M., Artés, F., Artés-Hernández, F., Gómez, P. A., & Aguayo, E. (2017). Microwave flow and conventional heating effects on the physicochemical properties, bioactive compounds and enzymatic activity of tomato puree. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(3), 984–990. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7824>
- Aslan, Ö. (2022). *Optimization of Ultrasound Assisted Beta-Glucan Extraction From Barley and Its Application in a Model Food*. (Tez No. 730507) [Doktora tezi, Yeditepe Üniversitesi]
- Benito-Román, Ó., Alonso, E., & Cocero, M. J. (2013a). Pressurized hot water extraction of  $\beta$ -glucans from waxy barley. *Journal of Supercritical Fluids*, 73, 120–125. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2012.09.014>
- Benito-Román, Ó., Alonso, E., & Cocero, M. J. (2013b). Ultrasound-assisted extraction of  $\beta$ -glucans from barley. *LWT-Food Science and Technology*, 50(1), 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.006>
- Benito-Román, Ó., Alonso, E., Gairola, K., & Cocero, M. J. (2013). Fixed-bed extraction of  $\beta$ -glucan from cereals by means of pressurized hot water. *Journal of Supercritical Fluids*, 82, 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2013.07.003>
- Benito-Román, Ó., Alonso, E., & Lucas, S. (2011). Optimization of the  $\beta$ -glucan extraction conditions from different waxy barley cultivars. *Journal of Cereal Science*, 53(3), 271–276. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.01.003>
- Bhatty, R. S. (1995). Laboratory and pilot plant extraction and purification of  $\beta$ -glucans from hull-less barley and oat brans. *Journal of Cereal Science*, 22(2), 163–170. [https://doi.org/10.1016/0733-5210\(95\)90046-2](https://doi.org/10.1016/0733-5210(95)90046-2)

- Bhatty, R. S. (1999). The Potential of Hull-less Barley. *Cereal Chemistry*, 76(5), 589–599.
- Bikmurzin, R., Bandzevičiūtė, R., Maršalka, A., Maneikis, A., & Kalėdienė, L. (2022). FT-IR Method Limitations for  $\beta$ -Glucan Analysis. *Molecules*, 27(14). <https://doi.org/10.3390/molecules27144616>
- Biörklund, M., van Rees, A., Mensink, R. P., & Önning, G. (2005). Changes in serum lipids and postprandial glucose and insulin concentrations after consumption of beverages with  $\beta$ -glucans from oats or barley: A randomised dose-controlled trial. *European Journal of Clinical Nutrition*, 59(11), 1272–1281. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602240>
- Bobade, H., Gupta, A., & Sharma, S. (2021). Beta-glucan. In J. Kour & G. A. Nayik (Eds.), *Nutraceuticals and Health Care* (1., pp. 343–358). Academic Press, Elsevier.
- Bordoni, A., Boesch, C., Malpuech-Brugère, C., Orfila, C., & Tomás-Cobos, L. (2019). The role of bioactives in energy metabolism and metabolic syndrome. *Proceedings of the Nutrition Society*, 78(3), 340–350. <https://doi.org/10.1017/S0029665119000545>
- Browning, B. L. (1967). Chemistry of wood. In K. V. Sarkanen & C. H. Ludwig (Eds.), *Methods in wood chemistry*. (Vol. 6, Issue 11, pp. 1943–1944). John, Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/pol.1968.160061112>
- Canfora, E. E., Jocken, J. W., & Blaak, E. E. (2015). Short-chain fatty acids in control of body. *Nature Publishing Group*, 11(October). <https://doi.org/10.1038/nrendo.2015.128>
- Codex Alimentarius International Food Standards. (2021). *Guidelines on Nutrition Labelling*.
- Dangi, N., & Yadav, B. S. (2021). Characterization of acid hydrolysates from barley  $\beta$ -glucan concentrate for their physico-chemical and rheological properties. *Journal of Food Science and Technology*, 58(9), 3280–3292. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04873-w>
- de Graaff, P., Govers, C., Wichers, H. J., & Debets, R. (2018). Consumption of  $\beta$ -glucans to spice up T cell treatment of tumors: a review. *Expert Opinion on Biological Therapy*, 18(10), 1023–1040. <https://doi.org/10.1080/14712598.2018.1523392>
- Delaney, B., De Vogel, N., & Krul, C. A. M. (2004). Evaluation of the in vivo genetic toxicity of concentrated barley  $\beta$ -glucan [Letter to the Editor]. *Food and Chemical Toxicology*, 42(1), 155–156. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(03\)00219-9](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(03)00219-9)
- Dietrich, L., Meister, J., Dietrich, O., Notroff, J., Kiep, J., Heeb, J., Beuger, A., & Schütt, B. (2019). Cereal processing at early neolithic göbekli tepe, southeastern Turkey. In *PLoS ONE* (Vol. 14, Issue 5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215214>
- Du, B., Zhu, F., & Xu, B. (2014).  $\beta$ -Glucan extraction from bran of hull-less barley by accelerated solvent extraction combined with response surface methodology. *Journal of Cereal Science*, 59(1), 95–100. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.11.004>
- EFSA. (2010). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for carbohydrates and dietary fibre. *EFSA Journal*, 8(3), 1–77. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1462>

- EFSA. (2011). Scientific Opinion on the substantiation of a health claim related to barley beta-glucans and lowering of blood cholesterol and reduced risk of (coronary) heart disease pursuant to Article 14 of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal*, 9(12), 2470. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2470>
- Ege, R., & Köseoğlu Aydenk, S. Z. (2021). Beta glukanın kardiyovasküler sağlık üzerine etkisi. *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 159–164. <https://doi.org/10.47769/izufbed.915997>
- Eğilmez, S. (2021). *T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü Müdürlüğü Ürün Raporu Arpa*. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/Yayın Arşivi/2017-2022 Yayın Arşivi/Yayınno339.pdf>
- El Khoury, D., Cuda, C., Luhovyy, B. L., & Anderson, G. H. (2012). Beta glucan: Health benefits in obesity and metabolic syndrome. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 1–28. <https://doi.org/10.1155/2012/851362>
- Erbaş Köse, Ö. D., Mut, Z., & Kardeş, Y. M. (2021). Bilecik Koşullarında Kabuksuz Arpa Genotiplerinin Tane Verimi ve Bazı Kalite Özelliklerinin Belirlenmesine Bakış. *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi*, 5(3), 608–615. <http://ispecjournal.com/index.php/ispecjas/article/view/213/241>
- Ermişer, D. (2019). *Yerli Kavuzsuz Arpanın (Özen CV.) Spagetti Makarna Üretiminde Kullanımı ve Bazı Kalite Özelliklerinin İncelenmesi*. Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi.
- European Union. (2018). Regulation (EU) of the European Parliament and of the Council No 1169/2011 on the provision of food information to consumers, amending Regulations (EC) No 1924/2006 and (EC) No 1925/2006 of the European Parliament and of the Council, and repealing Commiss. *Official Journal of the European Union*, 17, 1–60. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02011R1169-20180101>
- Evans, C. E. L., Greenwood, D. C., Threapleton, D. E., Cleghorn, C. L., Nykjaer, C., Woodhead, C. E., Gale, C. P., & Burley, V. J. (2015). Effects of dietary fibre type on blood pressure: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials of healthy individuals. *Journal of Hypertension*, 33, 897–911. <https://doi.org/10.1097/HJH.0000000000000515>
- Food and Drug Administration. (2021). 21 CFR § 101.81 - Health claims: Soluble fiber from certain foods and risk of coronary heart disease (CHD).. [Government]. Office of the Federal Register, National Archives and Records Administration. In *Office of the Federal Register, National Archives and Records Administration*. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2021-title21-vol2/pdf/CFR-2021-title21-vol2-sec101-81.pdf>
- Fusté, N. P., Guasch, M., Guillen, P., Anerillas, C., Cemeli, T., Pedraza, N., Ferrezuelo, F., Encinas, M., Moralejo, M., & Garí, E. (2019). Barley  $\beta$ -glucan accelerates wound healing by favoring migration versus proliferation of human dermal fibroblasts. *Carbohydrate Polymers*, 210(January), 389–398. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.01.090>

- Gangopadhyay, N., Hossain, M. B., Rai, D. K., & Brunton, N. P. (2015). Optimisation of yield and molecular weight of  $\beta$ -glucan from barley flour using response surface methodology. *Journal of Cereal Science*, 62, 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.10.007>
- Gropper, S. S., Smith, J. L., & Carr, T. P. (2022). Fiber. In S. S. Gropper, J. L. Smith, & T. P. Carr (Eds.), *Advanced Nutrition and Human Metabolism* (8., pp. 113–130). Cengage Learning. [https://doi.org/10.5005/jp/books/18033\\_9](https://doi.org/10.5005/jp/books/18033_9)
- Gudej, S., Filip, R., Harasym, J., Wilczak, J., Dziendzikowska, K., Juszcak, M., Lange, E., Oczkowski, M., Jałosi, M., & Gromadzka-ostrowska, J. (2021). Clinical Outcomes after Oat Beta-Glucans Dietary Treatment in Gastritis Patients. *Nutrients*, 13(8)(2791). <https://doi.org/10.3390/nu13082791>
- Hasbay, İ. (2018). *Arpadan  $\beta$ -Glukan Elde Edilmesi , Fonksiyonel Gıda Bileşeni ve Doğal Kivam Arttırıcı Gıda Katkı Maddesi Olarak Kullanılması Program Kodu : 1003 Proje No : 1150046 Proje Yürütücüsü : Dr . İncinur HASBAY Doç . Dr . Sibel YAĞCI Özlem ASLAN Halil KOÇER Bursiye.* <https://search.trdizin.gov.tr/tr/yayin/detay/618983/arpadan-b-glukan-elde-edilmesi-fonksiyonel-gida-bileseni-ve-dogal-kivam-arttirici-gida-katki-maddesi-olarak-kullanilmasi>
- Hatami Golzari, E. (2015). *Arpa Unu ve Çavdar Unu İlavesinin Buğday Unlarının Bazı Fiziksel, Kimyasal, Reolojik ve Ekmek Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi.* (Tez No. 413568) [Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi],
- Hijová, E., Bertková, I., & Štofilov, J. (2019). Dietary fibre as prebiotics in nutrition. *Central European Journal of Public Health*, 27(3), 251–255. <https://doi.org/10.21101/cejph.a5313>
- Hipsley, E. H. (1953). Dietary “fibre” and pregnancy toxæmia. *British Medical Journal*, 2(4833), 420–422. <https://doi.org/10.1136/bmj.2.4833.420>
- Irakli, M., Biliaderis, C. G., Izydorczyk, M. S., & Papadoyannis, I. N. (2004). Isolation, structural features and rheological properties of water-extractable  $\beta$ -glucans from different Greek barley cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture J Sci Food Agric*, 84, 1170–1178. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1787>
- Joyce, S. A., Kamil, A., Fleige, L., & Gahan, C. G. M. (2019). The cholesterol-lowering effect of oats and oat beta glucan: Modes of action and potential role of bile acids and the microbiome. *Frontiers in Nutrition*, 6(November), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00171>
- Kapakin Terim, A. K. (2006). Scanning-Elektron Mikroskobu Atatürk Üniversitesi Veteriner Fakültesi Patoloji Anabilim Dalı-ERZURUM. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 17(2), 55–58.
- Karaçil, M. Ş., & Akbulut, G. (2013). Tip 2 diabetes mellitus ve beta glukan. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 41(3), 242–246. [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr)
- Karaoğlu, M., Boz, H., Kotancılar, G. H., & Gerçekaslan, E. K. (2009). Tahıl Ürünlerinde Camsı Yapıya Geçiş Sıcaklığı ve Önemi. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg*, 40(2), 93–99.
- Kasap, G., Attila, S., & Köksal, O. (1978). Posa (fiber), beslenmedeki yeri ve hastalıklarla ilişkisi. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 7(1), 61–71.

- Kim, I.-S., Hwang, C.-W., Yang, W.-S., Kim, C.-H., Yang, W.-S. ; Kim, C.-H. M., Antioxidative, B., Costa, G., & Turrini, F. (2021). Multiple Antioxidative and Bioactive Molecules of Oats (*Avena sativa* L.) in Human Health. *Antioxidants*, *10*(9), 1454–1474. <https://doi.org/10.3390/antiox10091454>
- Korczak, R., & Slavin, J. L. (2020). Definitions, regulations, and new frontiers for dietary fiber and whole grains. *Nutrition Reviews*, *78*, 6–12. <https://doi.org/10.1093/NUTRIT/NUZ061>
- Köten, M., Ünsal, A. S., & Atlı, A. (2013). Arpanın İnsan Gıdası Olarak Değerlendirilmesi. *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, *1*(2), 51–55.
- Kurek, M. A., Karp, S., Stelmasiak, A., Pieczykolan, E., Juszczak, K., & Rieder, A. (2018). Effect of natural flocculants on purity and properties of  $\beta$ -glucan extracted from barley and oat. *Carbohydrate Polymers*, *188*(January), 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.090>
- Lee, S. H., Jang, G. Y., Hwang, I. G., Kim, H. Y., Woo, K. S., Kim, K. J., Lee, M. J., Kim, T. J., Lee, J., & Jeong, H. S. (2015). Physicochemical properties of  $\beta$ -glucan from acid hydrolyzed barley. *Preventive Nutrition and Food Science*, *20*(2), 110–118. <https://doi.org/10.3746/pnf.2015.20.2.110>
- Li, C., & Uppal, M. (2010). Canadian diabetes association national nutrition committee clinical update on dietary fibre in diabetes: Food sources to physiological effects. *Canadian Journal of Diabetes*, *34*(4), 355–361. [https://doi.org/10.1016/S1499-2671\(10\)44010-1](https://doi.org/10.1016/S1499-2671(10)44010-1)
- Li, Y., You, M., Liu, H., & Liu, X. (2021). Comparison of distribution and physicochemical properties of  $\beta$ -glucan extracted from different fractions of highland barley grains. *International Journal of Biological Macromolecules*, *189*(2), 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.094>
- Limberger-Bayer, V. M., De Francisco, A., Chan, A., Oro, T., Ogliari, P. J., & Barreto, P. L. M. (2014). Barley  $\beta$ -glucans extraction and partial characterization. *Food Chemistry*, *154*, 84–89. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.104>
- Lionetti, V., Bollini, S., Coppini, R., Gerbino, A., Ghigo, A., Iaccarino, G., Madonna, R., Mangiacapra, F., Miragoli, M., Moccia, F., Munaron, L., Pagliaro, P., Parenti, A., Pasqua, T., Penna, C., Quaini, F., Rocca, C., Samaja, M., Sartiani, L., ... Angelone, T. (2021). Understanding the heart-brain axis response in COVID-19 patients: A suggestive perspective for therapeutic development. *Pharmacological Research*, *168*(January), 105581. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2021.105581>
- Liu, H., Li, Y., You, M., & Liu, X. (2021). Comparison of physicochemical properties of  $\beta$ -glucans extracted from hull-less barley bran by different methods. *International Journal of Biological Macromolecules*, *182*, 1192–1199. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.043>
- Liu, R., Li, J., Wu, T., Li, Q., Meng, Y., & Zhang, M. (2015). Effects of ultrafine grinding and cellulase hydrolysis treatment on physicochemical and rheological properties of oat (*Avena nuda* L.)  $\beta$ -glucans. *Journal of Cereal Science*, *65*, 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.07.002>
- Longo, U. G., Spiezia, F., Maffulli, N., & Denaro, V. (2008). The best athletes in ancient Rome were vegetarian! *Journal of Sports Science and Medicine*, *7*, 565.

- MacGregor, A. W. (2003). Barley. In B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (pp. 379–382). <https://doi.org/10.1016/b0-12-227055-x/00644-1>
- Maheshwari, G., Sowrirajan, S., & Joseph, B. (2017). Extraction and isolation of  $\beta$ -glucan from grain sources—A review. *Journal of Food Science*, 82(7), 1535–1545. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13765>
- Mäkelä, N., Brinck, O., & Sontag-Strohm, T. (2020). Viscosity of  $\beta$ -glucan from oat products at the intestinal phase of the gastrointestinal model. *Food Hydrocolloids*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105422>
- Mejía, S. M. V., de Francisco, A., & Bohrer, B. M. (2020). A comprehensive review on cereal  $\beta$ -glucan: extraction, characterization, causes of degradation, and food application. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(21), 3693–3704. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1706444>
- Meriles, S. P., Penci, M. C., Curet, S., Boillereaux, L., & Ribotta, P. D. (2022). Effect of microwave and hot air treatment on enzyme activity, oil fraction quality and antioxidant activity of wheat germ. *Food Chemistry*, 386(March), 132760. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132760>
- Mio, K., Otake, N., Nakashima, S., Matsuoka, T., & Aoe, S. (2021). Ingestion of high  $\beta$ -glucan barley flour enhances the intestinal immune system of diet-induced obese mice by prebiotic effects. *Nutrients*, 13(3), 1–12. <https://doi.org/10.3390/nu13030907>
- Munir, M., Nadeem, M., Qureshi, T. M., Leong, T. S. H., Gamlath, C. J., Martin, G. J. O., & Ashokkumar, M. (2019). Effects of high pressure, microwave and ultrasound processing on proteins and enzyme activity in dairy systems — A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 57(February), 102192. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102192>
- Newman, R. K., & Newman, C. W. (2008). Barley for Food and Health: Science, Technology, and Products. In *Barley for Food and Health: Science, Technology, and Products*. <https://doi.org/10.1002/9780470369333>
- Nie, C., Yan, X., Xie, X., Zhang, Z., Zhu, J., Wang, Y., Wang, X., Xu, N., Luo, Y., Sa, Z., Li, X., Liu, H., Tian, B., Ma, Q., Zhang, M., Chen, Z., & Li, J. (2021). Structure of  $\beta$ -glucan from Tibetan hull-less barley and its in vitro fermentation by human gut microbiota. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00212-z>
- Nováka, M., Synytsyaa, A., Gedeonb, O., Slepíčkac, P., Procházkab, V., Synytsyad, A., Blahovece, J., Hejlováe, A., & Čopíkováa, J. (2012). Yeast  $\beta(1-3),(1-6)$ -d-glucan films: Preparation and characterization of some structural and physical properties. *Carbohydrate Polymers*, 87(4), 2496–2504. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.11.031>
- Otten, J. J., Hellwig, J. P., & Linda, D. M. (2006). *Dietary DRI Reference Intakes*. <https://doi.org/10.17226/11537>
- Özbek, H. N., Koçak Yanık, D., Fadiloğlu, S., & Fahrettin, G. (2021). Effect of microwave-assisted alkali pre-treatment on fractionation of pistachio shell and enzymatic hydrolysis of cellulose-rich residues. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 96(2), 521–531. <https://doi.org/10.1002/jctb.6569>

- Özer, A. (2019). *Kavuzsuz Arpanın Fonksiyonel Özelliklerinin İyileştirilmesi ve Bisküvide Kullanılabilme Olanaklarının Araştırılması*. (Tez No. 593665) [Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi]
- Raghavan, K., Dedeepiya, V. D., Kandaswamy, R. S., Balamurugan, M., Ikewaki, N., Sonoda, T., Kurosawa, G., Iwasaki, M., Preethy, S., & Abraham, S. J. K. (2022). Improvement of sleep and melatonin in children with autism spectrum disorder after  $\beta$ -1,3/1,6-glucan consumption: An open-label prospective pilot clinical study. *Brain and Behavior*, 12(9), 1–7. <https://doi.org/10.1002/brb3.2750>
- Salçın, N., & Ercoşkun, H. (2021). Diyet lifi ve sağlık açısından önemi. *Akademik Gıda*, 19(2), 234–243. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.977432>
- Samur, G., & Mercanlğıl, S. M. (2008). Diyet Posası ve Beslenme. *T.C. Sağlık Bakanlığı Yayınları*, 7–16.
- Şatır, G. (2018). Metabolik Sendromla Mücadelede Biyoaktif Gıda Bileşenlerinin Etkileri. *Akademik Gıda*, 16(2), 224–230. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.449624>
- Shi, H., Yu, Y., Lin, D., Zheng, P., Zhang, P., Hu, M., Wang, Q., Pan, W., Yang, X., Hu, T., Li, Q., Tang, R., Zhou, F., Zheng, K., & Huang, X. F. (2020). B-glucan attenuates cognitive impairment via the gut-brain axis in diet-induced obese mice. *Microbiome*, 8(1), 1–21. <https://doi.org/10.1186/s40168-020-00920-y>
- Sibakov, J., Myllymäki, O., Holopainen, U., Kaukovirta-Norja, A., Hietaniemi, V., Pihlava, J. M., Poutanen, K., & Lehtinen, P. (2011). Lipid removal enhances separation of oat grain cell wall material from starch and protein. *Journal of Cereal Science*, 54(1), 104–109. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.04.003>
- Sima, P., Vannucci, L., & Vetvicka, V. (2018).  $\beta$ -glucans and cholesterol (Review). *International Journal of Molecular Medicine*, 41(4), 1799–1808. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2018.3411>
- Singh, S., Kaur, M., & Sogi, D. S. (2018).  $\beta$ -glucan from different Indian oat (*Avena sativa*) cultivars: Chemical, functional, structural, and rheological properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(11), 1–10. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13788>
- Şirinyıldız, F., & Mavi Bulut, A. (2022). Beta glukanların bağışıklık üzerine etkileri: Güncel yaklaşımlar. *İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 7(1), 173–178.
- Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., & Templeton, D. (2008). *Determination of Sugars, Byproducts, and Degradation Products in Liquid Fraction Process Samples Laboratory Analytical Procedure (LAP) Issue Date: 12 / 08 / 2006 Determination of Sugars, Byproducts, and Degradation Products in Liquid Fraction Proce (Issue January)*.
- Suzuki, T., Kusano, K., Kondo, N., Nishikawa, K., Kuge, T., & Ohno, N. (2021). Biological activity of high-purity  $\beta$ -1,3-1,6-glucan derived from the black yeast *aureobasidium pullulans*: A literature review. *Nutrients*, 13(242), 1–24.
- Synytysya, A., & Novak, M. (2014). Structural analysis of glucans. *Annals of Translational Medicine*, 2(2). <https://doi.org/10.3978/j.issn.2305-5839.2014.02.07>
- T.C. Sağlık Bakanlığı. (2022). *TÜBER (Türkiye Beslenme Rehberi) 2022* (G. A. Pekcan, N. Şanlıer, M. Baş, N. Acar Tek, & H. Gökmen Özel (eds.)).

- TAGEM. (2022). *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Çeşit Kataloğu 2022*. TAGEM.  
[https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tarlabitkileri/Belgeler/Güncel Çeşit Kataloğu.pdf](https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tarlabitkileri/Belgeler/Güncel%20Çeşit%20Kataloğu.pdf)
- Tosh, S. M., Brummer, Y., Miller, S. S., Regand, A., Defelice, C., Duss, R., Wolever, T. M. S., & Wood, P. J. (2010). Processing affects the physicochemical properties of  $\beta$ -glucan in oat bran cereal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(13), 7723–7730. <https://doi.org/10.1021/jf904553u>
- TÜİK. (2019). *Türkiye Sağlık Araştırması Raporu*.  
<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/DownloadFile?p=J5bbm3vLXI22deWqGTQfJeI661xkBL8x0EZ8bxQUDEqggTp9BMzf0SH7wBheCONZ1OymIfG5LecFb9IUTOONcWqhXWERrZYddVr9PdaEL8o=>
- TÜİK. (2022). *Türkiye Sağlık Araştırması, 2022*. [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr)
- TÜİK. (2023a). *Ölüm ve Ölüm Nedeni İstatistikleri*.  
<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Olum-ve-Olum-Nedeni-Istatistikleri-2022-49679>
- TÜİK. (2023b). Bitkisel Üretim 2.Tahmini, 2023. In *Haber Bülteni*.  
<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-2.Tahmini-2021-37248>
- Upadhyay, T. K., Fatima, N., Sharma, D., Saravanakumar, V., & Sharma, R. (2017). Preparation and characterization of beta-glucan particles containing a payload of nanoembedded rifabutin for enhanced targeted delivery to macrophages. *EXCLI Journal*, 16, 210–228. <https://doi.org/10.17179/excli2016-804>
- USDA. (2023). *United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service*. USDA. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>
- Utama, G. L., Dio, C., Sulistiyo, J., Yee Chye, F., Lembong, E., Cahyana, Y., Kumar Verma, D., Thakur, M., Patel, A. R., & Singh, S. (2021). Evaluating comparative  $\beta$ -glucan production aptitude of *Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus oryzae*, *Xanthomonas campestris*, and *Bacillus natto*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(12), 6765–6773. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.07.051>
- Vasanthan, T., & Temelli, F. (2008). Grain fractionation technologies for cereal beta-glucan concentration. *Food Research International*, 41(9), 876–881.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.07.022>
- Wang, Q., Sheng, X., Shi, A., Hu, H., Yang, Y., Liu, L., Fei, L., & Liu, H. (2017).  $\beta$ -glucans: Relationships between modification, conformation and functional activities. *Molecules*, 22(2), 1–13. <https://doi.org/10.3390/molecules22020257>
- WHO. (2024, Mayıs 01-a). *Cardiovascular diseases*. [https://www.who.int/health-topics/cardiovascular-diseases#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/cardiovascular-diseases#tab=tab_1)
- WHO. (2024, Mayıs 01-b). *Diabet*. [https://www.who.int/health-topics/diabetes#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/diabetes#tab=tab_1)
- Wolever, T. M. S., Rahn, M., Dioum, E. H., Jenkins, A. L., Ezatagha, A., Campbell, J. E., & Chu, Y. (2021). Effect of oat  $\beta$ -glucan on affective and physical feeling states in healthy adults: Evidence for reduced headache, fatigue, anxiety and limb/joint pains. *Nutrients*, 13(1534). <https://doi.org/10.3390/nu13051534>

- Wolever, T. M. S., Rahn, M., Dioum, E., Spruill, S. E., Ezatagha, A., Campbell, J. E., Jenkins, A. L., & Chu, Y. (2021). An oat  $\beta$ -glucan beverage reduces LDL cholesterol and cardiovascular disease risk in men and women with borderline high cholesterol: A double-blind, randomized, controlled clinical trial. *Journal of Nutrition*, *151*(9), 2655–2666. <https://doi.org/10.1093/jn/nxab154>
- Wolever, T. M. S., Tosh, S. M., Gibbs, A. L., Brand-Miller, J., Duncan, A. M., Hart, V., Lamarche, B., Thomson, B. A., Duss, R., & Wood, P. J. (2010). Physicochemical properties of oat  $\beta$ -glucan influence its ability to reduce serum LDL cholesterol in humans: A randomized clinical trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, *92*(4), 723–732. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2010.29174>
- World Health Organization. (2019). *Mortality and global health estimates*. <https://www.who.int/data/gho/data/themes/mortality-and-global-health-estimates>
- Yalçın, E., Çelik, S., Akar, T., Sayim, I., & Köksel, H. (2007). Effects of genotype and environment on  $\beta$ -glucan and dietary fiber contents of hull-less barleys grown in Turkey. *Food Chemistry*, *101*(1), 171–176. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.010>
- Yılmaz, E. (2022). *Tam Tane Kavuzsu Arpa Unununun Ekmek ve Bisküvi Yapımında Kullanımı* (Tez No. 722110) [Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi]
- Yu, J., Xia, J., Yang, C., Pan, D., Xu, D., Sun, G., & Xia, H. (2022). Effects of Oat Beta-Glucan Intake on Lipid Profiles in Hypercholesterolemic Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrients*, *14*(10). <https://doi.org/10.3390/nu14102043>
- Zhang, H., Zhang, N., Xiong, Z., Wang, G., Xia, Y., Lai, P., & Ai, L. (2018). Structural characterization and rheological properties of  $\beta$ -D-glucan from hull-less barley (*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. f.). *Phytochemistry*, *155*(August), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2018.08.004>

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Saadet ÖZEN  
**Uyruğu** : Türkiye Cumhuriyeti

### EĞİTİM

| Derece        | Adı  | Bitirme Yılı |
|---------------|--|--------------|
| Üniversite    | Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi<br>Beslenme ve Diyetetik Bölümü              | 2012         |
| Yüksek Lisans | Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü<br>Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalı            | 2019         |
| Doktora       | Hasan Kalyoncu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim<br>Enstitüsü Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalı | 2024         |

### İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl        | Kurum                       | Görevi              |
|------------|-----------------------------|---------------------|
| 2012-2014  | Çeşitli özel kurumlar       | Diyetisyen          |
| 2014-2021  | SANKO Üniversitesi          | Araştırma Görevlisi |
| 2021-Halen | Kilis 7 Aralık Üniversitesi | Öğretim Görevlisi   |

### UZMANLIK ALANI

Klinik Erişkin Beslenmesi, Beslenme Durumunun Saptanması, Beslenme Antropometrisi

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### YAYINLAR

- Özen Saadet, Ünlü Ayşe, Özbek Hatice Neval, Göğüş Fahrettin (2023). Beta Glucan, Extraction Techniques And Features. 4. Baskent International Conference On Multidisciplinary Studies, 1120-1126. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- Özen Saadet, Özbek Hatice Neval, Göğüş Fahrettin (2023). Beta Glucan Extraction And Analysis From Different Barley Varieties. 4. Baskent International Conference On Multidisciplinary Studies, 1127-1133. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
- Bakırcı İrem, Küçükönder Hatice Kübra, Çelik Fatma, Bağcı Ayşe, Göncüoğlu Ceren, İbrahimoğlu Serap, Özen Saadet, Aktaş Selman, Mıhçıoğlu Deniz (2022). Yetişkinlerde Kronotipe Göre Fiziksel Aktivite Ve Yeme Bozukluklarının Değerlendirilmesi. 1. Uluslararası Tıp Ve Sağlık Bilimlerinde Yenilikçi Yaklaşımlar Kongresi, 1(1), 609 (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
- Demirci Meltem, Özen Saadet, Aktaş Selman (2021). Gaziantep İlinde Bir Alışveriş Merkezine Gelen Yetişkin Bireylerin Boy Ve Ağırlıklarının Taranması. Uluslararası Gazi Sağlık Bilimleri Kongresi, 504-505. (Özet Bildiri/Poster)
- Özen Saadet, Mıhçıoğlu Deniz, Geleri Ruken, Yiğitkuş Burcu, Çevik Fatoş, Güzel Berfin (2021). Determination Of Sleep Quality And Hedonic Hunger Status Of University Students With And Without Nutrition Education. Tbs International

- Biochemistry Congress 2021 - 32nd National Biochemistry Congress, 46 (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
6. Mıhçıoğlu Deniz, Özen Saadet, Yılgin Nur Belgin, Taşkesen Furkan, Aktaş Umut Berkin, İmrak Şeyma, Biliktu Ebra Nur, Nohutlu Daye Nur (2021). The Determination Of Effect Of Nutrition Education On Eating Behavior Disorders And Body Mass Index. Tbs International Biochemistry Congress 2021 - 32nd National Biochemistry Congress, 46 (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
  7. Aktaş Şule, Güneş Fatma Esra, Kamarlı Altun Hülya, Seremet Kürklü Nilgün, Aksoy Canyonu Burcu, Özen Saadet, Sabuncular Güleren, Suna Gülen, Mutuş Begüm, Besler Halit Tanju (2019). Balanced Nutrition Education Programme Food Consumption Survey–Iı Results. 13th European Nutrition Conference (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
  8. Besler Halit Tanju, Güneş Fatma Esra, Aktaş Şule, Kamarlı Altun Hülya, Seremet Kürklü Nilgün, Aksoy Canyonu Burcu, Üliç Çıtar Özlem, Mutuş Begüm, Özen Saadet, Sabuncular Güleren, Suna Gülen (2019). Balanced Nutrition Programme: A School-Based Education İnitiativ From Turkey. 13th European Nutrition Conference (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
  9. Kamarlı Altun Hülya, Güneş Fatma Esra, Aktaş Şule, Seremet Kürklü Nilgün, Özen Saadet, Sabuncular Güleren, Suna Gülen, Arca Deniz Miray, Şen Nilüfer, Erdin Sinem (2019). Sabri Ülker Vakfı - Yemekte Denge Besin Tüketim Sıklığı Ve Miktarı Araştırması - Iı Sonuçları. 2. Uluslararası Sağlıklı Beslenme Kongresi (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
  10. Özen Saadet, Otay Lüle Nezihe, Demirci Meltem, Tonçer Mevlide (2019). Gaziantep İlinde Çocuk Şenliğine Katılan 10-18 Yaş Arası Adölesan Dönemi Çocukların Boy Ve Ağırlıklarının Değerlendirilmesi. 2. Uluslararası Sağlıklı Beslenme Kongresi, 355-356. (Tam Metin Bildiri/Poster)
  11. Özen Saadet, Tonçer Mevlide (2019). Gaziantep İlinde Çocuk Şenliğine Katılan 2-5 Yaş Arası Okul Öncesi Dönemi Çocukların Boy Uzunluğu Ve Vücut Ağırlıklarının Değerlendirilmesi. 2. Uluslararası Sağlıklı Beslenme Kongresi, 355-356. (Tam Metin Bildiri/Poster)
  12. Özen Saadet, Demirci Meltem (2019). Gaziantep İlinde Çocuk Şenliğine Katılan 5-9 Yaş Arası Okul Dönemi Çocukların Boy Ve Ağırlıklarının Değerlendirilmesi. 2. Uluslararası Sağlıklı Beslenme Kongresi, 252-253. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
  13. Özen Saadet, Yıldırım Hilal (2018). Üniversite Öğrencilerinde Fiziksel Aktivite Düzeyleri. 3. Uluslararası Sağlık Bilimleri Kongresi, 1431-1436. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
  14. Adıgüzel Hatice, Otay Lüle Nezihe, Katırcı Kırmacı Zekiye İpek, Fakılı Funda Esin, Uzun Meltem, Özen Saadet, Ergen Halil İbrahim, Özdemir Meryem, Yıldızlı Mustafa, Kurtgil Seren, Uzunaslan Türkan, Ergun Nevin (2018). Futbolcuların Alt Ekstremitte Kas ve Yağ Oranları, Vücut Kitle İndeksleri İle Aerobik Kapasite, Çeviklik Ve Patlayıcı Kuvvet Arasındaki İlişki. 3. Uluslararası Sağlık Bilimleri Kongresi, 985-994. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
  15. Özen Saadet, Yıldırım Hilal (2018). Üniversite Öğrencilerinin İçecek Tercihleri. 3. Uluslararası Sağlık Bilimleri Kongresi, 1156-1163. (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum)
  16. Özen Saadet (2017). Are The Foods Used For The Weakening Reliable?. İnnovation İn Medicine Summit-3, 115 (Özet Bildiri/Poster)
  17. Özen Saadet, Çört Dönmez Ayşegül (2016). The Association Between Lipid Parameters And Waist Circumference İn Female University Students İn Turkey. Federation of European Biochemistry Society (Febs), 283, 127-427., Doi: 10.1111/Febs.13808 (Özet Bildiri/Poster)

18. Özen Saadet, Yıldırım Hilal (2016). The Importance Of Health Beverage Consumption And Diet Quality Among University Students. İnnovation İn Medicine Summit-2, 78 (Özet Bildiri/Poster)
19. Büyüktuncer Demirel Zehra, Ayaz Aylin, Yılmaz Damla, Patat Betül, Yaman Şeyma, Özen Saadet, Aydın Merve, Solmaz Fatma, Bayraktar Burcu, Özen Emel, Besler Halit Tanju (2012). Üniversite Öğrencilerinin Besin Etiketinde Yer Alan Enerji ve Besin Ögesi Tablosuna İlişkin Genel Yaklaşımları. Vııı. Uluslararası Beslenme Ve Diyetetik Kongresi, 260-261. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)
20. Büyüktuncer Demirel Zehra, Ayaz Aylin, Yılmaz Damla, Patat Betül, Yaman Şeyma, Özen Saadet, Aydın Merve, Solmaz Fatma, Bayraktar Burcu, Özen Emel, Besler Halit Tanju 22. 3 (2012). Beslenme Eğitimi Üniversite Öğrencilerinin Besin Etiketini Okuma Alışkanlıklarını Nasıl Etkiler?. Vııı. Uluslararası Beslenme Ve Diyetetik Kongresi, 259-260. (Özet Bildiri/Sözlü Sunum)

