

Derleme Makale/Review Paper

Beta gluklan: Kaynaklarına göre sağlık faydaları ve besinlerdeki kullanımı

Beta glucan: Health benefits according to sources and use in foods

Saadet Özen^{1*}, Hatice Neval Özbek², Fahrettin Göğüş²

¹Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, KİLİS, TÜRKİYE

²Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, GAZİANTEP, TÜRKİYE

(Yazar sıralamasına göre)

ORCID ID: 0000-0003-4555-2127 Doktor Öğretim Üyesi

ORCID ID: 0000-0001-6543-4086 Araştırma Görevlisi Doçent Doktor

ORCID ID: 0000-0002-8610-5297 Profesör Doktor

*Sorumlu yazar/Corresponding author: saadetozen06@gmail.com

Geliş Tarihi : 13.12.2024

Kabul Tarihi : 07.04.2025

Öz

Amaç: Beta gluklan, yararlı sağlık etkileri olan tahıllar, maya, mantar ve alglerden elde edilebilen çok yönlü bir nişasta olmayan polisakkarittir. Çeşitli glikozidik bağlarla birbirine bağlanmış doğrusal β -D-glikoz zincirlerinden oluşan yapısı beta gluklanın işlevselliğinde önemli bir rol oynar. Beta gluklanların çözünürlük, viskozite ve fermente edilebilirlik gibi benzersiz özellikleri, yapısal çeşitliliklerinden kaynaklanır. Beta gluklan kaynakları ise, tahıllarda; arpa, yulaf, çavdar, buğday ve pirinçte, mayalarda; *Saccharomyces cerevisiae* ve *Candida Utilis*'te, mantarlarda; *shiitake*, *maitake*, *reishi*, *istiridye*, *chaga*, alglerde ise; *Euglena gracilis* ve *E. pisciformis* gibi suşlarda bulunur. Beta gluklanların biyoyararlanımı ve sağlık etkileri, kaynağa ve yapısal bileşime bağlı olarak değişmekte olup, gıda, ilaç ve kozmetikte geniş uygulamalara yol açmaktadır. Birçok araştırmada, kardiyovasküler sağlık, diyabet yönetimi, bağışıklık modülasyonu, ağırlık kontrolü başta olmak üzere sağlık üzerinde daha birçok olumlu etkileri vurgulamıştır. Tahıl beta gluklanları, kolesterol ve kan şekeri seviyelerini düzenlemede özellikle etkilidir; maya ve mantar beta gluklanları ise etkileyici immünomodülatör ve kanser karşıtı özellikler göstermektedir. Ayrıca, beta gluklanların gıda endüstrisinde kullanımı, bazı yeni uygulama alanları ve fonksiyonel ürün geliştirme açısından önemli bir potansiyeli vardır. Düşük kalorili, yüksek lifli ürünlerin geliştirilmesinde işlevsel bir bileşen olarak rolleri, tüketici sağlık bilinci arttıkça ivme kazanmaktadır.

Sonuç: Bu derleme çalışmasında, beta gluklanların geniş yelpazedeki faydalı etkileri nedeniyle insan sağlığını iyileştirme potansiyeli değerlendirilmiş, gıdalarda kullanılabileceği alanlar irdelenmiştir. Beta gluklanların sağlık yararlarını destekleyen önemli kanıtlara rağmen, çalışmalardaki tutarsızlıklar, genellikle kaynak ve moleküler ağırlık gibi gözden kaçan değişkenlerden kaynaklanır. Bu sorunları ele almak ve gelecekteki araştırmalara katkıda bulunmak için, ekstrakte edilen beta gluklan yapılarının karakterizasyonuna öncelik verilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Beta gluklan, beta gluklanların sağlık yararları, gıda katkı maddesi, besin zenginleştirmesi, fonksiyonel besinler

Abstract

Objective: Beta-glucan is a versatile non-starch polysaccharide derived from cereals, yeast, fungi, and algae, with beneficial health effects. Its structure, consisting of linear β -D-glucose chains linked together by various glycosidic bonds, plays an important role in the functionality of beta glucan. The unique properties of beta-glucans, such as solubility, viscosity, and fermentability, are due to their structural diversity. Sources of beta glucan are found in grains such as barley, oats, rye, wheat and rice, in yeasts such as *Saccharomyces cerevisiae* and *Candida Utilis*, in mushrooms such as *shiitake*, *maitake*, *reishi*, *oysters*, *chaga*, and in algae such as

Euglena gracilis and *E. pisciformis*. The bioavailability and health effects of beta-glucans vary depending on the source and structural-composition, leading to wide applications in food, pharmaceuticals, cosmetics. Many studies have highlighted its positive effects on health, including cardiovascular health, diabetes management, immune modulation, weight control, and more. Cereal-beta-glucans are particularly effective in regulating cholesterol and blood sugar levels; yeast and fungal-beta-glucans show impressive immunomodulatory and anti-cancer properties. In addition, the use of beta glucans in the food industry has significant potential in terms of some new application areas and functional product development. Their role as functional ingredient in the development of low-calorie, high-fiber products is gaining momentum as consumer health awareness increases.

Conclusion: In this review, the potential of beta glucans to improve human health due to their wide range of beneficial effects was evaluated and the areas where they can be used in foods were examined. Despite significant evidence supporting the health benefits of beta glucans, inconsistencies across studies are often due to overlooked variables such as source and molecular weight. To address these issues, future research should prioritize characterization of beta-glucan structures and extraction methods.

Keywords: Beta glucan, health benefits of beta glucans, food additive, food fortification, functional foods.

1. Giriş

Beta glukan, β -D-glukozun doğrusal zincirlerinden oluşan yapısal bileşimiyle ayırt edilen önemli bir nişasta olmayan polisakkarittir. Bu zincirler, özellikle β -(1→3), (1→4) ve/veya (1→6) olmak üzere çeşitli tipte glikozidik bağlarla birbirine bağlıdır ve hem dallanmış hem de dallanmamış formda bulunabilirler. Beta glukan doğada birçok kaynaktan, arpa ve yulaf gibi tahıllar, bazı bakteriler, bazı mantarlar, likenler ve alglerde bulunabilir. Çözünabilir beta glukanların biyoyararlanımı %0,5 ile %4,9 arasında değişiklik gösterir (Bobade vd., 2021). Öğütme, çimlendirme, pişirme, fırınlama, ekstrüzyon, kavurma ve dondurma gibi çok sayıda gıda işleme tekniği, beta glukan içeriği, çözünürlük ve viskozite, moleküler ağırlık dahil olmak üzere birçok özelliğini önemli ölçüde etkileyebilir. Genel olarak, bu yöntemler çözünür beta glukanların ekstraksiyon verimini veya saflığını artırmak içindir ama moleküler ağırlık dağılımlarını azaltabilir ve bu da fizyolojik etkilerini etkileyebilir (Bobade vd., 2021; Tosh vd., 2010).

Beta glukanın sağlık üzerindeki yararlı etkileri incelendiğinde; kan serumunda total kolesterolü ve LDL kolesterolü azaltması (Yu vd., 2022), postprandiyal kan glukozu yükselmesini inhibe etmesi (Aoe vd., 2021), kronik gastritte mukozal hasarı hafifletmesi (Gudej vd., 2021), çeşitli duyuşsal ve fiziksel duyuş durumları üzerindeki pozitif etkileri (Wolever vd., 2021), prebiyotik etkileri nedeniyle bağışıklık fonksiyonunu artırması (Mio vd., 2021), immünomodülatör, anti-enflamatuvar, anti-tümör ve anti-metastatik etkileri olması, grip ve besin alerjilerini semptomlarını hafifletmesi, stresi azaltması, bağırsak mukozasını koruması, yağ emilimini azaltması, kemik sağlığını ve mide ülserlerini iyileştirmesi (Suzuki vd., 2021) gibi birçok sağlık yararından söz edilebilir. Ayrıca ABD Sağlık Bakanlığına bağlı Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tarafından onaylanan sağlık iddiaları arasında “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.” ifadesi yer almaktadır. Bu iddiada beta glukana ilişkin olarak, “Tam yulaf veya arpadan veya bütün yulaf ve arpa kombinasyonundan günde 3 g veya daha fazla beta glukan çözünür lif.” ifadesi beta glukan kaynağını vurgulamaktadır. (Food and Drug Administration [FDA], 2021).

Beta glukanın insan ve hayvan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerine bakıldığında ise, bugüne kadar yapılan çalışmalarda beta glukan tüketimiyle ilişkili herhangi bir toksisite bildirilmemiştir. Beta glukanın güvenliğini ele alan çeşitli araştırmalar, tüketiminin güvenli olduğunu ve olumsuz sağlık etkilerinden uzak olduğunu tutarlı bir şekilde göstermiştir. Özellikle, hayvan çalışmalarında, yüksek dozlarda bile hiçbir toksisite sonucu gözlemlenmemiştir (Bobade vd., 2021). Örneğin yapılan bir hayvan çalışmada, vücut ağırlığı kilogramı başına 2000 mg gibi oldukça yüksek bir konsantrasyonda bile yapılan denemede hiçbir denekte toksisite gözlemlenmemiştir (Delaney vd., 2004).

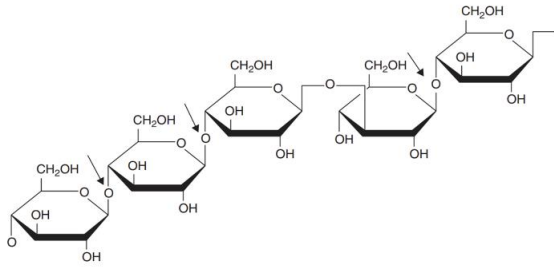
Beta glukan hakkında Profesör Somsak Varakamin “Tıbbi bir krizde, sağlığını ve bağışıklığını korumak için hastalıklarla mücadele eden sadece tek bir maddeyle sınırlı olsaydınız, istisnasız, seçmeniz gereken madde “beta glukan” olmalıdır.” demiştir. Sağlık alanında potansiyel terapötik etkileri nedeniyle beta glukan, bir çok araştırmacının ilgisini son yıllarda daha çok çekmektedir (Muthuramalingam vd., 2022).

2. Beta Glukan Kaynakları

Arpa, yulaf ve buğday gibi tahıllar beta glukanın en uzun süredir bilinen 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). Farklı kaynaklardan elde edilen beta glukanların her biri farklı kimyasal yapılara ve sağlık yararlarına sahiptir:

2.1. Tahıl Beta Glukanları

Tahıl beta glukanları, esas olarak (1→3), (1→4) β D glukandan oluşur (Şekil 1). Tahıl beta glukan kaynakları arpa, yulaf, çavdar, buğday ve pirinçtir (Du et al., 2019; Maheshwari et al., 2017; Murphy et al., 2020). Beta glukan içeriği arpada %2,5-%11,3, yulafta %2,2-7,8, çavdarda %1,2-2,0 ve buğdayda %0,4-1,4 arasında değişmektedir. Arpada, beta glukanlar nişastalı endospermin her yerinde bulunurken, buğdayda en yüksek konsantrasyonda subaleurone tabakasında bulunur ve buğday endosperminin geri kalanında çok az miktarda bulunur (Khaleghdoust vd., 2023).



Şekil 1. Tahıl beta glukanları (β (1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4) β D glukanlar) (Abuajah, 2017)

Tahıl beta glukanlarının kalp sağlığı üzerinde oldukça yararlı etkileri bulunmaktadır. LDL kolesterolü düşürme ve HDL seviyelerini destekleme özelliklerinden dolayı, arter duvarlarında plak oluşumunu engelleyici özellik gösterir. Böylece ateroskleroz oluşumunu engelleyebilir. Ayrıca kan basıncını düzenleyerek hipertansiyon riskini azaltır (Ege ve Köseoğlu Aydenk, 2021; Joyce vd., 2019; Sima vd., 2018).

Bu etkiler literatürde 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 bağırsaktan emilimi azalır (Ege ve Köseoğlu Aydenk, 2021; Joyce vd., 2019; Sima vd., 2018).

Tahıl beta glukanlarının sağlık üzerindeki en önemli etkilerinden biri de diyabet üzerindeki pozitif etkileridir. Kan glukozu regülasyonu ve tokluk hissi oluşturma etkileri, glukoz emilimini yavaşlatma etkileri, özellikle tip 2 diyabetli bireylerde insülin duyarlılığını artırıcı etkileri vardır (Biörklund vd., 2005; Canfora vd., 2015; El Khoury vd., 2012; Mäkelä vd., 2020).

Beta glukanın insülin duyarlılığını artırma ve kan glukozunu azaltma mekanizmaları incelendiğinde, viskozite özelliği ön plana çıkmaktadır. Beta glukanın tüketilmesi ile, sindirim sisteminde bulunan maddeler daha viskoz bir hal almaktadır, bu sayede, sindirim sistemi daha yavaş boşalmaktadır. Sindirim ve emilim yavaşlamakta, enzim difüzyonu azalmakta ve enterositlere glukoz geçişi azalmaktadır (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 g ve 10 g molekül ağırlığı 70000 Da olan yulaf beta glukanı verilen ve 5 g ve 10 g molekül ağırlığı 40000 Da olan arpa beta glukanı verilen gruplara içecekler verilmiştir. En iyi etki, 5 g yüksek molekül ağırlıklı beta glukan verilen grupta görülürken, diğer gruplarda anlamlı etki saptanmamıştır (Biörklund vd., 2005).

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 uyarak kasların insülin duyarlılığının artmasını sağlamaktadır (Canfora vd., 2015; El Khoury vd., 2012). Çözünen, fermente edilebilir, yüksek molekül ağırlıklı ve viskozitesi yüksek beta glukanlar, HbA1c, tokluk kan şekeri, insülin düzeylerinde azalma sağlamakta, kardiyovasküler hastalık riskini azaltmakta, doyumluk hissinin artırarak vücut ağırlığı kontrolünde yarar sağlamaktadır. Diyabet yönetiminde de önemli bir potansiyeli vardır. Yeterli miktarda diyet lifi tüketiminin yanı sıra, FDA'nın da önerdiği gibi günlük 3 g beta glukan tüketimi sağlık için yarar sağlamaktadır (Karaçil & Akbulut, 2013).

Tahıl beta glukanlarının sindirim sistemi üzerinde de oldukça yararlı etkileri bulunmaktadır. Bağırsak sağlığı, günümüzde gıda alanındaki en çok odaklanılan araştırma alanlarından biridir. Yapılan klinik araştırmalarda, tahıl beta glukanlarının bağırsak mikrobiyotası üzerinde olumlu bir etki sağladığı, bağırsak geçirgenliğini azalttığı, bağırsak bağışıklık sistemini aktive edici özellikler gösterdiği, kısa zincirli yağ asitleri üretimini artırdığı ve inflamatuvar yanıtı azaltıcı etkiler gösterdiği saptanmıştır (Shoukat ve Sorrentino, 2021). Arpanın yüksek moleküler ağırlıklı beta glukan içeriği prebiyotik görevi görür, mikrobiyom modülasyonu ve kısa zincirli yağ asidi üretimi yoluyla bağırsak sağlığını destekler, potansiyel olarak kolon kanserini önler ve bağışıklığı artırır (Ali vd., 2024).

Gastrointestinal sistemdeki kommensal bakteriler, doku oluşumundan sindirilemeyen karbonhidratların parçalanmasına, bağışıklık sistemi gelişimine, vitamin sentezine, patojenlerin kolonizasyonunu engellemeye ve bağırsağın bariyer fonksiyonuna kadar çok sayıda işlevi yerine

getirir. Bağırsak mikrobiyotasının bileşiminde ve çeşitliliğinde herhangi bir değişiklik, çeşitli metabolik bozukluklara yol açan disbiyozu neden olabilir. Bununla birlikte, özellikle tahıl beta glukanolari disbiyozu geciktirmeye yardımcı olabilecek hem *Lactobacilli* hem de *Bifidobacteria spp.*'nin büyümesini desteklemektedir. Böylelikle bağırsak mikrobiyotası modülasyonu sağlamaktadır (Shoukat ve Sorrentino, 2021).

Hayvanlarda yapılan bir inceleme çalışmasında, kısa zincirli yağ asitlerinin, bağırsak pH'nın ve lümenal oksijen seviyelerinin azaltılmasında rol oynadığı, su ve iyon emilimini iyileştirdiği, sıkı bağlantı proteinlerini ve villüs yüksekliğini güçlendirdiği, mukoza hücrelerine enerji sağlandığı, mukus kalınlaşmasını sağladığı, doğuştan ve adaptif bağışıklığı artırdığı ifade edilmiştir (Adebowale vd., 2019). Başka bir hayvanlar üzerinde yapılan araştırmada tahıl beta glukanolarının spesifik kimyasal yapıları nedeniyle, diğer diyet liflerinden daha hızlı fermente edilebildiği görülmüştür. Fermentasyon sonucunda ana ürünler asetat, propiyonat ve bütirat (Drzikova vd., 2005). İnsanlarda yapılan diyet arpa beta glukanolari eklenen bir araştırmada ise dışkı örneklerinde kısa zincirli yağ asitlerinde artış görülmüştür (Thandapilly vd., 2018).

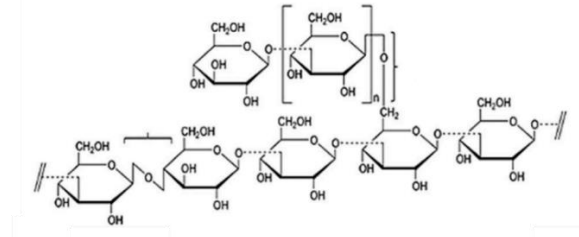
Yüksek oranda yağ açısından zengin ve lif açısından düşük, yüksek oranda işlenmiş besinler ile karakterize “Batılı” tarzı beslenme modeli, nöroinflamasyon ve bilişsel bozukluk da dahil olmak üzere birçok metabolik işlev bozukluğuyla ilişkilidir. Beta glukanolari, alt gastrointestinal sistemde fermente 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 araştırmada, 15 hafta boyunca uzun süreli takviyenin ardından beta glukanolari 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; Zhang vd., 2019).

Sağlıklı yetişkinler üzerinde yapılan başka bir araştırmada ise günde 3 kez 1 g beta glukanolari verilen bireylerde, plasebo grubuna kıyasla, 2. haftada baş ağrısı şiddetinde azalma, anksiyete ve üşüme hissinde azalma, eklem/uzuv ağrısında azalma, konsantrasyon güçlüğünde azalma, 4. haftada yorgunluk ve sıcak basması hissinde azalma

saptanmıştır. Bu veriler, beta glukanolari sağlıklı yetişkinlerde çeşitli gastrointestinal sistem dışı semptomları azaltılabileceğine dair ön hipotez oluşturan kanıtlar sağlar (Wolever vd., 2021).

2.2. Maya Beta Glukanolari

Maya beta glukanolari (1→3), (1→6) β D glukanolari oluşur (Şekil 2). Maya beta glukanolari bira mayası veya fırıncı mayası olarak bilinen, ekmek, şarap ve bira yapımında çoğunlukla kullanılan *Saccharomyces cerevisiae* hücre duvarlarında bulunur. *S. cerevisiae*, hücrenin iç bölmelerini koruyan polisakkaritler ve proteinlerden oluşan kalın bir hücre duvarına sahiptir (Thomas vd., 2022). *S. cerevisiae*'nin hücre duvarı, hücre kuru kütlelerinin %20-30'una kadarını oluşturabilir (Kim ve Yun, 2006). Beta glukanolari (1→3), beta glukanolari (1→6) sırasıyla toplam hücre duvarı polisakkaritinin yaklaşık %50-55'ini ve %10-15'ini oluşturur (Zhou vd., 2019). *Candida Utilis*'ten elde edilen beta glukanolari da yeni bir maya beta glukanolari kaynağı olarak tanıtılmıştır (Suzuki vd., 2021).



Şekil 2. Maya beta glukanolari (β (1→3), (1→6) β D glukanolari) (Ansari ve Darvishi, 2024)

Maya beta glukanolarının, hem doğuştan hem de kazanılmış bağışıklık sistemleri üzerindeki düzenleyici etkileri, anti-enflamasyon, anti-tümör ve immün modülatör etkileridir. Beta glukanolari, fagositozun düzenlenmesi, sitokin üretimi ve salgılanması, antikor oluşumu ve hücre içi sinyalleme dahil olmak üzere çeşitli biyolojik aktivitelerin köklü aktivatörleri ve modülatörleridir. Dektin-1, tip 3 kompleman reseptörlerinin (CR3) ve toll benzeri reseptörler (TLR'ler) gibi reseptörlerle etkileşim yoluyla, beta glukanolari doğrudan makrofajları, nötrofilleri ve doğal öldürücü hücreleri (NK) aktive edebilir ve ayrıca T hücrelerini ve B hücrelerini aktive ederek TNF-α, interleukinler (IL'ler) ve antikorların üretimini ve salgılanmasını artırabilir (Zhong vd., 2021).

Maya beta glukanoları kış aylarında sıklıkla rastlanan üst solunum hastalıklarında etkilidir. Yapılan bir araştırmada günlük 900 mg maya glukani verilen sağlıklı bireylerde üst solunum yolu enfeksiyonun şiddetinde pozitif etkiler görülmüştür. Ayrıca kan basıncı ve ruh hali üzerinde pozitif etkiler tespit edilmiştir. (Dharsono vd., 2019).

Li ve diğerlerinin (2024) yaptığı bir araştırmada, *S. cerevisiae*'den elde edilen suda çözünen sülfatlanmış beta glukani türevi (SCGS), belirgin anti-tümör ve anti-metastatik etkiler göstermiştir. SCGS, B16F10 melanom hücrelerinin in vitro canlılığını önemli ölçüde engellemiş ve RAW264.7 bağışıklık hücrelerine karşı düşük sitotoksikite sergilemiştir. Buna ek olarak, B16F10 hücrelerinin in vitro göçünü baskılayarak anti-metastatik özellik göstermiştir. SCGS tedavisi, IFN- α , TNF- α ve IL-1 β düzeylerinde artış sağlayarak immünomodülatör etkiler ortaya koymaktadır. Ayrıca SCGS, parçalayıcı enzimleri düzenleyerek ekstraselüler matriksi korumaktadır. Özellikle, tümör invazyonu ve metastazında kritik rol oynayan matriks metalloproteinazlardan MMP-2 ve MMP-9'u inhibe etmekte ve ekstraselüler matriks öğelerinden heparan sülfat proteoglikani korumaktadır. Tümör hücrelerinin göçünün bloke edilmesi ve immünomodülatör etkiler, tümör karşıtı aktivitenin artmasına katkı sağlamaktadır. SCGS, yeni bir tümör karşıtı ve metastaz önleyici ilaç olarak umut vadetmektedir (Li vd., 2024). Mayadan elde edilen beta glukani'nin kanser tedavisindeki bazı yeni yaklaşımları ise; tümör mikroçevresi modülasyonu, eğitilmiş bağışıklık, ilaç dağıtımı ve kombinasyon tedavileridir. Tümör mikroçevresi modülasyonunu, bağışıklık hücresi fenotiplerini değiştirerek, örneğin, M2 makrofajlarını M1'e dönüştürerek, tümör mikra çevresinin immünoşüpresiften immünoştimülatöre dönüştürebilmesidir. Eğitilmiş bağışıklık ise, doğuştan gelen bağışıklık hücrelerinde "eğitilmiş bağışıklık" tepkisini tetikleyerek, sonraki zorluklara karşı gelişmiş tepkileri sağlamasıdır. İlaç dağıtımı, partikül beta glukani'nin içi boş yapısının, diğer kanser tedavileri için bir dağıtım aracı olarak siRNA gibi kullanılabilme potansiyeli sayesinde oluşmaktadır. Kombinasyon tedavisi ise beta glukani'nin, immünoterapi, kemoterapi gibi diğer kanser tedavileriyle birlikte kullanılmasıdır. Beta glukani preparatlarının standardize edilmesi ve kanser önleme ve tedavisindeki potansiyelinin

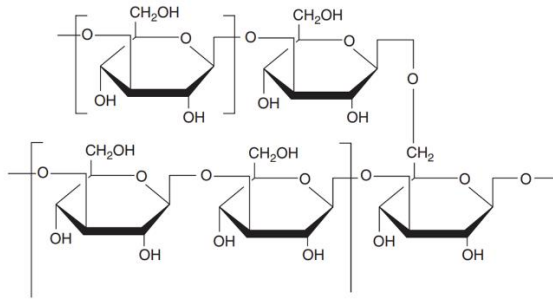
daha fazla araştırılması gerekmektedir (Geller vd., 2019).

Maya beta glukanoları ayrıca bağırsak mikrobiyotasını düzenlemede, gıda alerjisini azaltmada, yara iyileşmesinde, kan glikozunu, trigliseridi ve kolesterolü düşürmede önemli roller oynar. (Zhong vd., 2021). Maya beta glukani'nin alımının ardından sağlıklı bireylerde artan tükürük IgA, obez bireylerde artan IL-10 düzeyleri, alerjik hastalarda immünolojik parametrelerde faydalı değişiklikler ve kanser hastalarında aktive olmuş monositler bildirilmiştir. Hayvan modellerinde, bakteriyel enfeksiyonların sıklığını ve stres kaynaklı sitokin düzeylerini azaltmış ve sitotoksik ajanların anti-neoplastik etkilerini artırmıştır. İlaç zehirlenmesi ve iskemi/reperfüzyon hasarına karşı koruyucu etkiler de bildirilmiştir (Samuelsen vd., 2014).

Ayrıca başka bir çalışma düşük melatonin düzeyine bağlı olarak gelişen kötü uyku kalitesi olan otizm spektrum bozukluğunda, beta glukani müdahalesinde bulunan 13 çocuk üzerinde yapılan araştırmada melatonin düzeylerinin arttığı, uyku düzeni ve kalitesinde iyileşme görüldüğü bildirilmiştir (Raghavan vd., 2022).

2.3. Mantar Beta Glukanoları

Mantar beta glukanoları mantarların hücre duvarlarında bulunan uzun veya kısa zincirli glikoz polimerleridir. Glukani, mantarlarda su (%90), proteinler ve aminoasitler (%10-40), yağlar (%2-8), vitaminler, antioksidanlar, tuzlar ve metallerin yanı sıra bulunan başlıca polisakkaritlerdir. Polisakkaritler dahil toplam karbonhidratlar mantarların kuru maddesinin yaklaşık %50'sini oluşturur. Beta glukani'nin β (1 $\rightarrow$ 3) ve β (1 $\rightarrow$ 6) bağları vardır ve doğrusal ve dallanmış yapılar oluştururlar (Şekil 3). Bu yapı, yalnızca β (1 $\rightarrow$ 3) ve β (1 $\rightarrow$ 4) bağları olan ve dallanma olmayan tahıllardaki beta glukani'lerle tezat oluşturur. Birçok mantar türünde beta glukani bulunur, özellikle *Lentinan* olarak bilinen *Shiitake* (*Lentinula Edodes*), *Maitake* (*Grifola Frondosa*), *Reishi* (*Ganoderma Lucidum*), *İstiridy* (*Pleurotus türleri*, *Pleurotus Ostreatus*), *Trametes Versicolor*), *Chaga* (*Inonotus Obliquus*) mantar türleri örnek olarak verilebilir. Kuru ağırlıklarında, beta glukani içeriği % 20-58 arasında analiz edilmiştir (Cerletti vd., 2021).



Şekil 3. Mantar beta glukanları (β (1→3), (1→6) β D glukanlar) (Abuajah, 2017)

Fungal beta glukanların nörodejeneratif hastalıkları önlemedeki rolü, bağırsak-beyin eksenindeki etkileri anti-inflamatuar ve antioksidan özellikleriyle bağlantılıdır. Bağırsak-beyin eksenini, bağırsak mikrobiyomu ile beyin arasındaki çift yönlü iletişimi tanımlar. Mantar beta glukanının nörodejeneratif hastalıkları önleme etkileri, bağırsak mikrobiyotası modülasyonu, anti-inflamatuar ve antioksidan etkiler, nöroprotektif etkiler olarak gruplandırılabilir (Barcan vd., 2024). Prebiyotik olan mantar beta glukanları, bağırsak mikrobiyotası modülasyonu sağlayarak, bağırsak mikrobiyotasının bileşimini ve işlevini değiştirebilir ve potansiyel olarak bağırsak iltihabını ve oksidatif stresi azaltabilir. Bu pozitif bağırsak ortamı daha sonra bağırsak-beyin eksenini aracılığıyla beyin üzerinde pozitif etkiler sağlayabilir. Çalışmalar, faydalı bakteri türlerini artırarak ve zararlı bakteri türlerini azaltarak etki gösterdiğini ortaya koymuştur (Zhao vd., 2023). Anti-inflamatuar ve antioksidan etkiler ise, beta glukanların, beyne ulaştıklarında nörodejeneratif hastalıklarla bağlantılı nöroinflamasyonu ve oksidatif stresi azaltabilmesidir (Chen vd., 2024). Bazı klinik öncesi hayvan çalışmalarında, fungal beta glukanların beyin hücrelerini hasardan koruyabileceği ve hatta nörodejenerasyonlu hayvan modellerinde bilişsel işlevi iyileştirebileceği bu sayede nöroprotektif etkiler gösterebileceği ortaya konulmuştur. Mekanizmalar tam olarak belirlenememiştir (Dimopoulou vd., 2022).

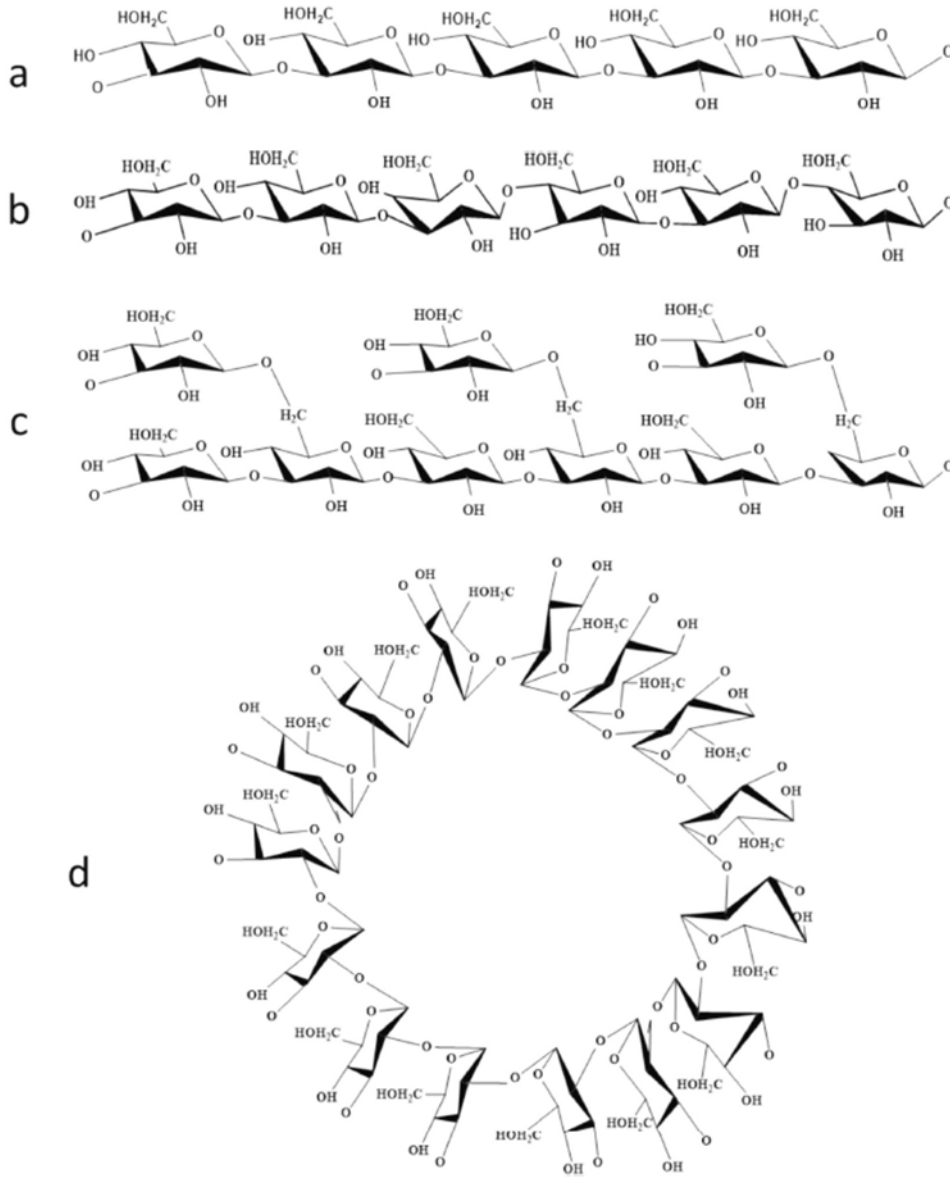
Kanser tedavisinde adjuvan tedavi olarak kullanılan fungal beta glukanların incelendiği bir araştırmada, beta glukanların, kemoterapi veya radyoterapinin neden olduğu bağışıklık baskılanmasını azalttığı, beyaz kan hücresi iyileşmesini hızlandırdığı, bulantı semptomlarında ise belirgin bir fark görülmediği tespit edilmiştir.

Bu alanda daha detaylı araştırmalara ihtiyaç vardır (Steimbach vd., 2021).

Son araştırmalar, beta glukanların COVID-19'un önlenmesinde ve tedavisinde potansiyeli olduğunu öne sürmektedir. Diğer kaynaklardan elde edilen beta glukanların aksine, mantarlardan elde edilen beta glukanlar kısa β (1→6) yan zincirlerine sahip β (1→3) glukanlardır. Bu yapı, bağışıklık hücrelerinin yüzeyinde bulunan reseptörler tarafından tanınır; bu nedenle, mantar beta glukanları spesifik immünomodülatör özelliklere sahiptir ve biyolojik yanıt değiştirici olarak kabul edilir. Dahası, mantar beta glukanları da özelliklerini, mantar beta glukanlarının biyoaktivitesini etkileyen temel faktörlerden biri olan üçlü sarmal konformasyonuna borçludur (Mironczuk-Chodakowska vd., 2021). Bağışıklık sistemi üzerindeki etkilerinden bazıları, fagositoz, interlokin (IL)-2 üretimi, antikör üretimi, süperoksit üretimi, interferon gama (IFN-gama) üretimidir. COVID-19 için makrofajları aktive eden etkileri, doğal öldürücü - Natural Killer (NK) hücreleri ve baskılayıcı T hücre yanıtını uyardığı bildirilmiştir (Şirinyıldız ve Mavi Bulut, 2022). COVID-19 sendromu, akut olarak gelişen, 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 sunulabilir (Lionetti vd., 2021).

2.4. Alg Beta Glukanları

Beta glukan kaynakları içerisinde algler de önemi bir yer tutar. Kuru hücre ağırlığının %80'i kadar beta glukan içeren alg türleri vardır. Ayrıca alglerden elde edilen beta glukanın kimyasal yapısı tekdüze değildir; alg türüne bağlı olarak değişir. Doğrusal β (1-3)-glukan, doğrusal β (1→3, 1→4)-glukan, yan zincir dallı β (1→3, 1→6)-glukan, siklik β (1→2)-glukan yapılarında görülebilir (Şekil 4). *Euglena gracilis* ve *E. pisciformis* suşları kuru maddede %70-80 beta glukan içeriğine sahip alg suşlarıdır. Beta glukan kaynağı olarak algler, spesifik kimyasal yapılarının yanı sıra, daha yüksek verim, daha basit ekstraksiyon ve sürdürülebilirlik (daha az arazi ve kaynak) nedeniyle tercih edilebilmektedir (Kumar vd., 2025).



Şekil 4. Alg beta glukanları (a) Doğrusal β -(1 $\rightarrow$ 3)-glukanın yapısı (b) Doğrusal β -(1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 4)-glukan (c) Yan zincir dalı β -(1 $\rightarrow$ 3, 1 $\rightarrow$ 6)-glukan (d) Siklik β -(1 $\rightarrow$ 2)-glukan (Kumar vd., 2025).

Beta glukan, yara iyileşmesindeki çok yönlü aktiviteleri nedeniyle çeşitli cilt rahatsızlıklarını tedavi etmek için iyi bir tamamlayıcı tedavi seçeneği potansiyelidir. Laminarin (alglerden elde edilen bir beta glukan) anti-bakteriyel özellikleri ve stabilitesi sayesinde hem doğrudan hem de dolaylı sinyal yollarıyla, immünositleri ve deri hücrelerini etkileyen etkili bir yara iyileştirme ajanıdır. Beta glukan, granülasyon dokusundaki makrofajları uyarak, hücre çoğalmasını, anjiyogenezi artıran Dektin-1 reseptörü aracılığıyla büyüme faktörlerinin ve inflamatuvar sitokinlerin salınımını teşvik ederek yara iyileşmesini destekler (Younis vd., 2022).

Kozmetik sektöründe de alg beta glukanları oldukça önemlidir. Ciltten kolaylıkla emilmektedir. Cildin nemlendirilmesine ve gençleşmesine yardımcı olduğu, hassas ciltlerde su tutma kapasitesini artırdığı, eritem olmaksızın su kaybını azalttığı ve erken cilt yaşlanması sorununu hafiflettiği gösterilmiştir. Beta glukanların kırıksıklık karşıtı etki gösterdiği, yüzdeki çizgileri ve cilt pürüzlülüğünü azalttığı ortaya konulmuştur. Oksidatif strese karşı koruyucu etki göstermiştir ve UV ışınlarının neden olduğu hasarı azaltmıştır (S. Ahmad vd., 2024).

Kaynaklarına göre beta glukanların bazı yapısal özellikleri ve sağlık yararları potansiyellerinin özeti Çizelge 1’de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Kaynaklarına göre beta glukanoların bazı özellikleri ve sağlık yararları

Grup	Kaynak	Yapı	Potansiyel Sağlık yararları
Tahıl Beta Glukanoları	Arpa, yulaf, çavdar, buğday ve pirinç	(1→3), (1→4) β D glukanol	LDL Kolesterolü düşürme, HDL kolesterol seviyelerini destekleme, damarlarda plak oluşumunu engelleme, kan basıncını düzenleme, kan glukozu regülasyonu, tokluk hissi oluşturma, insülin duyarlılığını artırma, bağırsak geçirgenliğini azaltma, prebiyotik olma, bağırsak sağlığını destekleme, kolon kanserini önleme, bağırsak sağlığını destekleme, bağırsak mikrobiyotası modülasyonu, bilişsel bozukluğu önleme, baş ağrısı şiddetinde azalma, anksiyete ve üşüme hissinde azalma, eklem/uzuv ağrısında azalma, konsantrasyon güçlüğünde azalma, yorgunluk hissinde azalma, sıcak basması hissinde azalma
Maya Beta Glukanoları	Ekmekek, şarap ve bira yapımında çoğunlukla kullanılan <i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Candida Utilis</i>	(1→3), (1→6) β D glukanol	İmmünomodülatör, anti-enfeksiyon, anti-enflamasyon, anti-tümör, anti-metastatik, üst solunum yolu enfeksiyonunun şiddetinde azalma, kan basıncını düzenleme, olumlu ruh hali, anti-kanser, gıda alerjisini azaltma, yara iyileşmesi, kan glikozunu düzenleme, trigliseriti düşürme, kolesterolü düşürme, ilaç zehirlenmesine karşı koruyucu etkileri, iskemi/reperfüzyon hasarına karşı koruyucu etkileri, uyku düzeni ve kalitesinde iyileşme
Mantar Beta Glukanoları	<i>Shiitake (Lentinula Edodes)</i> , <i>Maitake (Grifola Frondosa)</i> , <i>Reishi (Ganoderma Lucidum)</i> , <i>İstiridye (Pleurotus türleri)</i> , <i>Pleurotus Ostreatus</i> , <i>Trametes Versicolor</i> , <i>Chaga (Inonotus bliquus)</i>	β (1→3) ve β (1→6) doğrusal ve dallanmış yapılar	Anti-inflamatuar, antioksidan, nörodejeneratif hastalıkları önleme etkileri, bağırsak mikrobiyotası modülasyonu, nöroprotektif etkiler, kanser tedavisinde adjuvan tedavi, COVID-19'un önlenmesinde ve tedavisinde alternatif potansiyeli
Alg Beta Glukanoları	<i>Euglena gracilis</i> , <i>E. pisciformis</i>	Doğrusal β (1-3)-glukanol, doğrusal β (1→3, 1→4)-glukanol, yan zincir dallı β (1→3, 1→6)-glukanol, siklik β (1→2)-glukanol yapılarında	Yara iyileşmesi, anti-bakteriyel, cilt nemlendirme ve yüz çizgilerinde azaltıcı etkileri, kırışıklık karşıtı etki, cilt pürüzlülüğünü azaltma, UV ışınlarının neden olduğu hasarı azaltma

3. Beta Glukanoların Gıdalarda Kullanımı

Beta glukanolar, et ürünleri, süt ürünleri, içecek, fırın ürünleri, makarna ürünleri, hayvan yemleri ve

ilaç sektöründe yerini almaktadır. Gıda katkı maddeleri olarak, enkapsülasyon yoluyla ilaç ve ilaç salınımı sağlayarak ve farklı gıda matrislerine

dahil edilerek nutrasötik ve fonksiyonel gıdaların geliştirilmesinde kullanılmaktadır (S. Ahmad vd., 2024). Diyet lifinin de değerli bir bileşeni olan beta glukun, immüno modülasyon, anti-tümör, anti-obezojenik, anti-diyabetik, anti-kolesterol, anti-kanser, anti-viral, anti-inflamatuvar, anti-metastatik, antioksidan aktiviteler dahil olmak üzere çok sayıda sağlık yararına sahiptir.

Yaşam tarzı hastalıkları olarak kabul edilen obezite, diyabet ve kalp hastalıkları gibi birçok hastalığın tedavisini yönetmek için, beta glukun kullanılarak üretilen fonksiyonel besinler önemli alternatiflerdir. Kolesterol düşürücü etkileri FDA tarafından da onaylanan beta glukunun, günlük 3 g miktarında besinlere eklenmesi kalp sağlığını korumak için önerilir (FDA, 2021). Ayrıca tip 2 diyabetli erkek hastalarda aynı dozla kahvaltılık gıda (3 g beta glukun içeren tam tahıllı ekmek ve müsli) tüketimi ile daha iyi glisemik kontrol sağlamıştır ve daha düşük plazma kolesterol seviyelerine ulaşılmıştır (Kabir vd., 2002). Son yıllarda obezite ile mücadele kapsamında, tüketiciler tarafından da yoğun ilgi gören düşük kalorili ve yüksek lifli besinlerin üretiminde de beta glukundan yararlanılır. Bir diyet lifi olan beta glukun, aynı zamanda iyi bir yağ ikamesidir. Örneğin et ürünlerinde son yıllarda daha düşük enerji, yağ, kolesterol ve sodyum içeriğinde ürün elde etmek için, et ürünlerine et dışı bileşenlerin eklenebileceği ve aynı zamanda bu bileşenlerin ek fonksiyonel faydalarından yararlanılabileceği görüşü doğrultusunda, tahıl beta glukunı eklenerek, daha düşük yağlı et emülsiyonları oluşturulmuştur. Emülsiyonlarda yüksek miktarda beta glukun kullanımı analiz edilmiştir. Nişasta miktarı düşük olan beta glukunun, sertlik hariç, pişirme kaybını, ürünün rengini ve fonksiyonel özelliklerini iyileştirdiği, protein matriksine yeterli düzeyde dahil olduğu görülmüştür (Vasquez Mejia vd., 2018). Benzer bir çalışmada, yine farklı oranlarda tahıl beta glukunları eklenerek düşük yağlı dana burgerleri geliştirilmiştir. Kontrol örneğine göre daha düşük kolesterol içeriğine ve benzer müşteri çekiciliğine sahip daha sağlıklı düşük yağlı bir et ürünü oluşturmuştur. (Szipicer vd., 2020).

Bir araştırmada Hindistan'da yoğurt olarak tüketilen "dahi", yağsız manda sütünden üretilmiştir ve farklı oranlarda (%0,25, 0,50, 0,75 ve 1,0) beta glukun eklenmiştir. Miktar olarak %0,5 beta glukun eklenen örneklerde, diğer örneklere göre daha üstün kalite, daha az peynir altı suyu ve daha iyi dokusal özellikler görülmüştür. Viskozite

olumlu yönde etkilenmiştir. Beta glukun ile zenginleştirilmiş dahi, kontrol örneğine göre daha fazla sertlik ve tutarlılık göstermiştir. %0,5 seviyesinde beta glukun ilavesiyle hazırlanan dahi, kontrol örnekleri ve farklı beta glukun seviyeleriyle hazırlanan diğer dahi örnekleriyle karşılaştırıldığında, çekici veya doğal rengiyle, önemli ölçüde daha iyi renk değerleri ve duysal puanlar elde etmiştir. Bu sayede düşük yağlı dâhinin olumsuz duysal özellikleri giderilmiştir ve daha fonksiyonel bir ürün elde edilmiştir (Bhaskar vd., 2017).

Düşük yağlı ve enerjisi azaltılmış dondurma üretiminde de beta glukunun pozitif etkileri görülmüştür. Farklı beta glukun yapılarının β (1→3, 1→4) ve β (1→3), değişen oranlarda (%0,5 ve %1) eklenerek denendiği az yağlı ve az kalorili dondurma örnekleri oluşturulmuştur. Bu örnekler tam yağlı ve dengeleyici maddelerle desteklenmiş kontrol dondurasıyla işlevsel özellikleri ve duysal nitelikleri bakımından kıyaslanmıştır. Yulaftan izole edilen β (1→3, 1→4) yapısındaki beta glukun eklenmesi, kontrol dondurasına en çok benzeyen düşük kalorili dondurma üretimini desteklemiştir (Aljewicz vd., 2020). Beta glukunların yüksek viskozitesi, su tutma kapasitesi, emülsifiye yeteneği ve stabilize edici özelliği nedeniyle beta glukun, et ve süt ürünlerinde yağ ikamesi olarak kullanılma potansiyeline sahiptir. Düşük kalorili ve kolesterolü azaltılmış, duysal ve dokusal özellikleri geliştirilmiş düşük yağlı ürünler, kahvaltılık sosislere, sosisli sandviçlere ve mayonezlere beta glukun eklenerek geliştirilmiştir (Mishra, 2020).

Beta glukun birçok sağlık faydasının yanı sıra gıda endüstrisi için de değerli bir gıda katkı maddesidir. Koyulaştırma, stabilize etme, emülsifikasyon ve jelleştirme gibi birçok işlevsel özelliklere de sahiptir. Bu özellikler, beta glukunun çorbalara, soslara, içeceklere ve diğer gıda ürünlerine eklenmesini sağlar. Arpa beta glukunlarının ağızda yumuşak bir his bıraktığı için içeceklerde kullanılma potansiyeli vardır. Aljinatlar, pektin, ksantan zımkı ve karboksimetil selüloz yerine kullanılabilir. Ekmek ve fırıncılık endüstrisinde de viskoziteyi artırmak için koyulaştırıcı madde, yağ ikamesi, diyet lifi kaynağı ve reolojik özelliklerin iyileştirilmesi gibi çeşitli uygulamaları vardır. Arabinoksilan ve beta glukun ile zenginleştirilmiş unla yapılan ekmeklerde, hacmin iyileştiği ve çözünür lif içeriğinin arttığı görülmüştür. Tahıl beta glukunlarının, kek hamurunda da reolojik ve

fiziksel özellikleri geliştirdiği görülmüştür (A. Ahmad vd., 2012).

Sağlık beyanlarında belirtilen beta glukan eklenmesinin olumlu etkileri üzerine gıda endüstrisinde besin zenginleştirme uygulamaları da vardır. Tüketicilerin son yıllarda bilinçli beslenme konusunda farkındalığının da artmasının etkisiyle beta glukanla zenginleştirilmiş ürünlerin sayısı ve çeşitliliği de artmaktadır. Beta glukanla zenginleştirilmiş kahvaltılık gevrek, ekmek, kek gibi fırın mamulleri ve süt ürünleri gibi fonksiyonel besinler artmaktadır. Özellikle tahıllar geniş bir nüfus tarafından yaygın olarak tüketildiği için hem arzu edilen miktarı sağlama hem de birden fazla öğünde tüketilebilme kolaylığı sayesinde kalp sağlığını korumak için uygun bir seçenektir. Fırıncılık endüstrisinde buğday unu çözünür bir lif olan beta glukan ile zenginleştirerek başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Geliştirilen ürünlerde, organoleptik özelliklerin, fiziko-kimyasal ve reolojik özelliklerin iyileştirildiği araştırmalar bulunmaktadır. Bazı araştırmalar beta glukan katkılı hamurun muhtemelen daha iyi gaz tuttuğu için reolojik ve viskoelastik özelliklerini geliştirdiğini göstermiştir (Mishra, 2020). Ekmeğe beta glukan eklenmesi, indirgeyici şekerlerin salınımını yavaşlatma (in vitro) ve sonuç olarak sindirim için nişasta bulunabilirliğini artırma kapasitesine sahiptir bu sayede hiperglisemi ve hiperinsülinemide iyileşme sağlamaktadır (A. Ahmad vd., 2012).

Süt endüstrisinde beta glukan kullanımı konusunda artan bir ilgi vardır. Süt ve süt ürünlerinde tahıl beta glukanları, doku oluşumu, süt yağının tadını taklit etme, içeceklerin viskozitesini artırma, reolojik özellikleri iyileştirme gibi etkiler sağlarken, aynı zamanda plazma kolesterol düzeylerinde düşüş, bağırsak üzerinde olumlu etkiler gibi sağlık yararları da gözlemlenmiştir. Maya ve yenilebilir mantarlardan elde edilen beta glukanlar ise bağışık sisteminde olumlu etki göstermektedir. Geliştirilen fonksiyonel besinlerde kullanılabilir beta glukan oranı ise, sütli içecekler için %1,9-3,0; fermente süt ürünleri için %0,1-0,5; peynirler ve peynir benzeri ürünler için %0,2-1,4; dondurma ve dondurulmuş tatlılar için: %0,5-2,0 aralığındadır (Mykhalevych vd., 2022). Mikroorganizmalar ve beta glukanın simbiyotik ilişkisi, süt proteinlerinin ve polisakkaritlerin faz ayrılmasını kontrol ederek süt ürünlerinin dokusal özelliklerini değiştiren çeşitli biyoaktif bileşiklerin salınmasına neden olur. Simbiyotik (probiyotik+prebiyotik) gıda

ürünlerine yönelik farkındalık tüketicilerde ve dolayısıyla gıda endüstrilerinde artmaktadır (Mishra, 2020). Bir araştırmada, laktik asit bakterileri tarafından tam yulaf taneleri fermente edilerek beta glukanla zenginleştirilmiş bir içecek oluşturulmuştur (Angelov vd., 2006). Başka bir araştırmada ise, portakal aroması ve peynir altı suyu proteini izolatu kullanarak, %0,5 beta glukan içeren zenginleştirilmiş içecek formüle edilmiştir (Temelli vd., 2004). Porsiyon başına en az 0,75 g yulaf beta glukanı içeren raf ömrü uzun yüksek proteinli süt geliştirilen bir araştırmada ise, içeceklerinin fonksiyonel özellikleri ve duysal kabul edilebilirliği üzerine yulaf unu ve süt proteininin etkisi değerlendirilmiştir. Farklı oranlarda yulaf unu ve süt proteini izolatu kullanılan bu araştırmada, içeceklerin kabul edilebilirliğini etkileyen ana özelliklerin ağız hissi (kalınlık), tatlılık ve ağızda kalan tat olduğu sonucuna varılmıştır. Yulaf unu ve süt proteini izolatu içeriğindeki azalmanın genel duysal kabul edilebilirliği artırdığı bulunmuştur. Bu nedenle, bu iyileşmenin algılanan kalınlıktaki azalmadan kaynaklandığı düşünülmüştür. Bu sayede, kardiyovasküler hastalık riskini azaltma ve yüksek protein içeriği iddialarını karşılayan kabul edilebilir bir fonksiyonel süt içeceği formüle etmenin mümkün olduğu gösterilmiştir (Vasquez-Orejarena vd., 2018).

Makarna ürünlerine beta glukan eklenmesi daha düşük glisemik yanıtı ortaya koymuştur (A. Ahmad et al., 2012). Benzer şekilde, beta glukanla zenginleştirilmiş kahvaltılık barlarda ve beta glukan içeren ekmeklerde glisemik indeksi azaldığı bildirilmiştir. Durum buğdayı irmiğinin %0, %4, %8, %12 ve %16 oranlarında yulaf beta glukan lifi ile zenginleştirilmesiyle üretilen taze makarna örnekleri, 150 tüketici ve 10 panelistten oluşan bir grup tarafından değerlendirilmiş ve %16 yulaf beta glukanı içeren örnek en çok beğenilen ürün olmuştur (Jaworska vd., 2020).

Beta glukanın gıda ve ilaç endüstrisinde henüz yeni sayılan başka bir kullanım alanı da enkapsülasyondur. Günümüzde araştırmacılar, ilaç veya değerli gıda bileşenlerini olumsuz koşullar altında stabilize etmenin yollarını araştırmaktadır ve bunlar arasında kapsülleme tekniği, neme, ısıya, ışığa veya oksidasyona duyarlı aktif bileşikler için umut verici bir koruyucu yöntem olarak kabul edilmektedir. Kapsülleme, daha küçük boyutlu çekirdek malzemenin duvar matrisinin içi boş yapıları içine paketlenmesini içerir. Maltodekstrin,

sodyum aljinat, pektin, beta siklodekstrin ve diğerleri gibi çeşitli duvar malzemeleri kullanılmaktadır. Tahıllarda (1 → 4) ve (1 → 3) β glikozidik bağlar ve mantarlarda (1 → 6) β glikozidik bağlar aracılığıyla bağlanan β-D-glukopiranoz ünitelerinden oluşan dallanmamış bir beta gluklan yapısı, benzersiz bal peteği yapısına sahiptir. Ayrıca serum kolesterol seviyesini düşürme, glisemik yanıtı azaltma, bağışıklık sistemini geliştirme ve bağırsakta yararlı mikrofloranın büyümesi gibi ek sağlık yararları, duvar malzemesi olarak kullanımı için beta gluklanı daha avantajlı kılar. Safran antosiyaninlerinin stabilizasyonunu sağlamak ve beta gluklan içinde kapsüllenerek bağırsaktaki biyoyararlanımlarını artırmayı amaç edinen bir araştırmada, beta gluklanın safran biyoaktiflerini kapsülleme potansiyeline sahip olduğunu ve simüle edilmiş gastrointestinal yoldan geçerken stabilitesini iyileştirdiğini göstermiştir. Kapsülleme, bağırsak bölümünde antosiyaninlerin bulunabilirliğini artırarak oral sindirim sırasında maksimum emilim sağlayabileceği, farklı gıda sistemlerinde bu biyoaktiflerin güçlendirilmesi için çok etkili bir yol olabileceği ve beta gluklanın biyoaktiflerin kapsüllemesi için bir duvar malzemesi olarak kullanabileceğini gösterir. Ayrıca beta gluklanın sağlık destekleyici özelliklerinden dolayı daha fazla yarar sağlayabileceği de ortaya konulmuştur (M. Ahmad vd., 2018).

4. Mevcut Sorunların Analizi ve Gelecek Çözümleri

Beta gluklan ile ilgili yapılan araştırmalar incelendiğinde özellikle klinik araştırmalarda bazı tutarsızlıklar gözlenebilir. Klinik bir araştırmada elde edilen sonuçlar tüm beta gluklanlar adına genellenebilmektedir. Aslında beta gluklanlar ile yapılan her bir çalışmada beta gluklanın kaynağı, yapısı, ekstraksiyon tekniği, viskozitesi, molekül ağırlığı detayları oldukça önemlidir. Araştırmalardaki tutarsız sonuçlar bu detaylardaki farklılıklardan kaynaklanabilir. Örneğin, beta gluklanların immünolojik aktiviteleriyle ilgili 10.000 yayının %20'sinden azı, makale metninin başlığında veya özet bölümünde kullanılan beta gluklanın yapısına yer vermektedir (Murphy vd., 2020).

Beta gluklanın sağlık faydalarından söz ederken araştırmalarda, beta gluklanın kaynağına, kimyasal yapısına, hazırlama yöntemine detayları ile yer vermek gerekli ve önemlidir. Kullanılan ekstraktın,

suda çözünürlüğü, viskozitesi, molekül ağırlığı, fermente edilebilirliği sağlık yararları için oldukça önemlidir ve tanımlamak gereklidir. Bu amaçla potansiyel olarak kullanılabilecek yöntemler arasında yapısal analiz için; nükleer manyetik rezonans (NMR), kemolitik yöntemler (metilasyon analizi), titreşimsel spektroskopik yöntemler (Fourier dönüştürülmüş kızılötesi spektroskopisi FTIR, Raman) ve moleküler ağırlık tayini için jel geçirgenlik kromatografisi yöntemleri (GPC) kullanılabilir. Bu sayede beta gluklanların temel kaynağı, yapısı, fonksiyon ilişkileri daha sağlıklı ve doğru şekilde kurulabilir (Murphy vd., 2020).

5. Sonuç

Son yıllarda oldukça dikkat çeken bir polisakkarit olan beta gluklan, birçok sağlık yararları ve çok yönlü uygulamaları nedeniyle ilgi görmektedir. Tahıllarda, mayalarda, mantarlarda ve alglerde bulunan beta gluklanların, işlevselliklerine katkıda bulunan belirgin yapısal özellikleri vardır. Beta gluklanların sağlık yararları yaygın olarak bilinmektedir. Kardiyovasküler ve metabolik sağlık, bağışıklık güçlendirme başta olmak üzere birçok alanda faydası bulunmaktadır. Tahıl beta gluklanları LDL kolesterolü etkili bir şekilde düşürür ve kan şekeri seviyelerini yönetir, ateroskleroza önlemede ve diyabeti yönetmede önemli destek sağlar. Benzer şekilde, maya ve mantar beta gluklanları, (1→3) ve (1→6) bağlantılarıyla, bağışıklık sistemini uyarmada önemli bir rol oynar, anti-inflamatuar, anti-tümör ve anti-viral özellikler gösterir. Alg beta gluklanları yara iyileştirme, oksidatif stresle mücadele ve kozmetik sektöründe öne çıkmaktadır. Beta gluklanlarla zenginleştirilmiş fonksiyonel gıdalar, obezite, diyabet ve kardiyovasküler rahatsızlıklar gibi yaşam tarzı hastalıklarını hafifletmek için umut verici bir strateji olarak ortaya çıkmıştır. Üreticiler, beta gluklanları çeşitli gıda ürünlerine dahil ederek, besin profilini iyileştirebilir ve fonksiyonel faydaları ile sağlıklı gıdalara yönelik tüketici talebini karşılayabilirler.

Çıkar çatışması: Yazarlar, bu yazı için gerçek, potansiyel veya algılanan çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

Etik izin: Araştırma niteliği bakımından etik izne tabii değildir.

Finansal destek: Bu çalışma herhangi bir fon tarafından desteklenmemiştir.

6. Kaynaklar

- Abuajah, C.I. (2017). Functional Components and Medicinal Properties of Food. In: Mérillon, JM., Ramawat, K. (eds) *Bioactive Molecules in Food. Reference Series in Phytochemistry*. Springer, Cham. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-319-54528-8_39-1
- Adebawale, T. O., Yao, K., & Oso, A. O. (2019). Major cereal carbohydrates in relation to intestinal health of monogastric animals: A review. *Animal Nutrition*, 5(4), 331–339. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2019.09.001>
- Ahmad, A., Anjum, F. M., Zahoor, T., Nawaz, H., & Dilshad, S. M. R. (2012). Beta glucan: A valuable functional ingredient in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(3), 201–212. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.499806>
- Ahmad, M., Ashraf, B., Gani, A., & Gani, A. (2018). Microencapsulation of saffron anthocyanins using β glucan and β cyclodextrin: Microcapsule characterization, release behaviour & antioxidant potential during in-vitro digestion. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 435–442. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.122>
- Ahmad, S., Jan, K., Sahu, J. K., Habib, M., Jan, S., & Bashir, K. (2024). A Comprehensive Review on Recent Trends and Utilization of Algal β -Glucan for the Development of Nutraceuticals and Functional Foods. *Food Reviews International*, 52(03), 201–212. <https://doi.org/10.1080/87559129.2024.2404222>
- Ali, A., Ullah, Z., Ullah, R., & Kazi, M. (2024). Barley a nutritional powerhouse for gut health and chronic disease defense. *Heliyon*, 10(20), e38669. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38669>
- Aljewicz, M., Florczuk, A., & Dabrowska, A. (2020). Influence of β -glucan structures and contents on the functional properties of low-fat ice cream during storage. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 70(3), 233–240. <https://doi.org/10.31883/pjfn/120915>
- Angelov, A., Gotcheva, V., Kuncheva, R., & Hristozova, T. (2006). Development of a new oat-based probiotic drink. *International Journal of Food Microbiology*, 112(1), 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.05.015>
- Aoe, S., Mio, K., Yamanaka, C., & Kuge, T. (2021). Low molecular weight barley β -glucan affects glucose and lipid metabolism by prebiotic effects. *Nutrients*, 13(1), 1–13. <https://doi.org/10.3390/nu13010130>
- Barcan, A. S., Barcan, R. A., & Vamanu, E. (2024). Therapeutic Potential of Fungal Polysaccharides in Gut Microbiota Regulation: Implications for Diabetes, Neurodegeneration, and Oncology. *Journal of Fungi*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/jof10060394>
- Bhaskar, D., Khatkar, S. K., Chawla, R., Panwar, H., & Kapoor, S. (2017). Effect of β -glucan fortification on physico-chemical, rheological, textural, colour and organoleptic characteristics of low fat dahi. *Journal of Food Science and Technology*, 54(9), 2684–2693. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2705-6>
- Biörklund, M., van Rees, A., Mensink, R. P., & Önnings, G. (2005). Changes in serum lipids and postprandial glucose and insulin concentrations after consumption of beverages with β -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. www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323897792000132
- 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>
- Cerletti, C., Esposito, S., & Iacoviello, L. (2021). Edible mushrooms and beta-glucans: Impact on human health. *Nutrients*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/nu13072195>
- Chen, X. J., Deng, Z., Zhang, L. Le, Pan, Y., Fu, J., Zou, L., Bai, Z., Xiao, X., & Sheng, F. (2024). Therapeutic potential of the medicinal mushroom *Ganoderma lucidum* against Alzheimer's disease. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 172 (February), 116222. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2024.116222>

- Delaney, B., De Vogel, N., & Krul, C. A. M. (2004). Evaluation of the in vivo genetic toxicity of concentrated barley β -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)
- Dharsono, T., Rudnicka, K., Wilhelm, M., & Schoen, C. (2019). Effects of Yeast (1,3)-(1,6)-Beta-Glucan on Severity of Upper Respiratory Tract Infections: A Double-Blind, Randomized, Placebo-Controlled Study in Healthy Subjects. *Journal of the American College of Nutrition*, 38(1), 40–50. <https://doi.org/10.1080/07315724.2018.1478339>
- Dimopoulou, M., Kolonas, A., Mourtakos, S., Androutsos, O., & Gortzi, O. (2022). Nutritional Composition and Biological Properties of Sixteen Edible Mushroom Species. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/app12168074>
- Drzikova, B., Dongowski, G., & Gebhardt, E. (2005). Dietary fibre-rich oat-based products affect serum lipids, microbiota, formation of short-chain fatty acids and steroids in rats. *British Journal of Nutrition*, 94(6), 1012–1025. <https://doi.org/10.1079/bjn20051577>
- Du, B., Meenu, M., Liu, H., & Xu, B. (2019). A concise review on the molecular structure and function relationship of β -glucan. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(16). <https://doi.org/10.3390/ijms20164032>
- 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>
- 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>
- 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*. www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2021-title21-vol2/pdf/CFR-2021-title21-vol2-sec101-81.pdf
- Geller, A., Shrestha, R., & Yan, J. (2019). Yeast-derived β -glucan in cancer: Novel uses of a traditional therapeutic. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(15), 1–20. <https://doi.org/10.3390/ijms20153618>
- Gudej, S., Filip, R., Harasym, J., Wilczak, J., Dziendzikowska, K., Juszczak, 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>
- Jaworska, D., Królak, M., Przybylski, W., & Jezewska-Zychowicz, M. (2020). Acceptance of Fresh Pasta with β -Glucan Addition: Expected Versus Perceived Liking. *Foods*, 9(7), 1–17. <https://doi.org/10.3390/foods9070869>
- 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>
- Kabir, M., Oppert, J. M., Vidal, H., Bruzzo, F., Fiquet, C., Wursch, P., Slama, G., & Rizkalla, S. W. (2002). Four-week low-glycemic index breakfast with a modest amount of soluble fibers in type 2 diabetic men. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 51(7), 819–826. <https://doi.org/10.1053/meta.2002.33345>
- Karaçıl, M. Ş., & Akbulut, G. (2013). Tip 2 diabetes mellitus ve beta glukun. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 41(3), 242–246. www.tuik.gov.tr
- Khaleghdoust, B., Esmailzadeh-Salestani, K., Korge, M., Alaru, M., Möll, K., Värnik, R., Koppel, R., Tamm, Ü., Kurg, M., Altosaar, I., & Loit, E. (2023). Barley and wheat beta-glucan content influenced by weather, fertilization, and genotype. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1326716>
- Kim, K. S., & Yun, H. S. (2006). Production of soluble β -glucan from the cell wall of *Saccharomyces cerevisiae*. *Enzyme and Microbial Technology*, 39(3), 496–500. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2005.12.020>
- Kumar, V., Bhoyar, M. S., Mohanty, C. S., Chauhan, P. S., Toppo, K., & Ratha, S. K. (2025). Untapping the potential of algae for β -glucan production: A review of biological properties,

strategies for enhanced production and future perspectives. *Carbohydrate Polymers*, 348(PB), 122895. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122895>

Li, J., Zheng, M., Wang, Z., Liu, Y., Niu, Q., Zhou, H., Wang, D., Song, J., Bi, H., Guo, B., Yu, G., & Cai, C. (2024). Anti-tumor and anti-metastasis of water-soluble sulfated β -glucan derivatives from *Saccharomyces cerevisiae*. *Carbohydrate Polymers*, 344 (February). <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122466>

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>

Maheshwari, G., Sowrirajan, S., & Joseph, B. (2017). Extraction and isolation of β -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 β -glucan from oat products at the intestinal phase of the gastrointestinal model. *Food Hydrocolloids*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105422>

Mio, K., Otake, N., Nakashima, S., Matsuoka, T., & Aoe, S. (2021). Ingestion of high β -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>

Mironczuk-Chodakowska, I., Kujawowicz, K., & Witkowska, A. M. (2021). Beta-glucans from fungi: Biological and health-promoting potential in the covid-19 pandemic era. *Nutrients*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/nu13113960>

Mishra, N. (2020). Cereal β Glucan as a Functional Ingredient. *Innovations in Food Technology: Current Perspectives and Future Goals*, 109–122. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6121-4_8

Murphy, E. J., Rezoagli, E., Major, I., Rowan, N. J., & Laffey, J. G. (2020). B-Glucan Metabolic and

Immunomodulatory Properties and Potential for Clinical Application. *Journal of Fungi*, 6(4), 1–33. <https://doi.org/10.3390/jof6040356>

Muthuramalingam, K., Kim, Y., & Cho, M. (2022). B-Glucan, “the Knight of Health Sector”: Critical Insights on Physiochemical Heterogeneities, Action Mechanisms and Health Implications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(25), 6908–6931. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1908221>

Mykhalevych, A., Polishchuk, G., Nassar, K., Osmak, T., & Buniowska-Olejnik, M. (2022). β -Glucan as a Techno-Functional Ingredient in Dairy and Milk-Based Products — A Review. *Molecules*, 27(6313), 1–24. <https://doi.org/10.3390/molecules27196313>

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 β -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>

Samuelsen, A. B. C., Schrezenmeir, J., & Knutsen, S. H. (2014). Effects of orally administered yeast-derived beta-glucans: A review. *Molecular Nutrition and Food Research*, 58(1), 183–193. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201300338>

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>

Shoukat, M., & Sorrentino, A. (2021). Cereal β -glucan: a promising prebiotic polysaccharide and its impact on the gut health. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(5), 2088–2097. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14971>

Sima, P., Vannucci, L., & Vetvicka, V. (2018). β -glucans and cholesterol (Review). *International Journal of Molecular Medicine*, 41(4), 1799–1808. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2018.3411>

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.

Steimbach, L., Borgmann, A. V., Gomar, G. G., Hoffmann, L. V., Rutkevski, R., de Andrade, D. P., & Smiderle, F. R. (2021). Fungal beta-glucans as adjuvants for treating cancer patients – A systematic review of clinical trials. *Clinical Nutrition*, 40 (5), 3104–3113. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.11.029>

Suzuki, T., Kusano, K., Kondo, N., Nishikawa, K., Kuge, T., & Ohno, N. (2021). Biological activity of high-purity β -1,3-1,6-glucan derived from the black yeast *aureobasidium pullulans*: A literature review. *Nutrients*, 13 (242), 1–24. <https://www.mdpi.com/2072-6643/13/1/242>

Szpicer, A., Onopiuk, A., Pótorak, A., & Wierzbicka, A. (2020). The influence of oat β -glucan content on the physicochemical and sensory properties of low-fat beef burgers. *CYTA - Journal of Food*, 18 (1), 315–327. <https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1750095>

Temelli, F., Bansema, C., & Stobbe, K. (2004). Development of an Orange-flavored Barley β -Glucan Beverage with. *Journal of Food Science*, 69(7), 237–241. <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2621.2004.tb13622.x>

Thandapilly, S. J., Ndou, S. P., Wang, Y., Nyachoti, C. M., & Ames, N. P. (2018). Barley β -glucan increases fecal bile acid excretion and short chain fatty acid levels in mildly hypercholesterolemic individuals. *Food and Function*, 9(6), 3092–3096. <https://doi.org/10.1039/c8fo00157j>

Thomas, S., Rezoagli, E., Abidin, I. Z., Major, I., Murray, P., & Murphy, E. J. (2022). β -Glucans from Yeast—Immunomodulators from Novel Waste Resources. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/app12105208>

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 β -glucan in oat bran cereal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58 (13), 7723–7730. <https://doi.org/10.1021/jf904553u>

Vasquez-Orejarena, E., Simons, C. T., Litchfield, J. H., & Alvarez, V. B. (2018). Functional Properties of a High Protein Beverage Stabilized with Oat- β -Glucan. *Journal of Food Science*,

83(5), 1360–1365. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14119>

Vasquez Mejia, S. M., de Francisco, A., Manique Barreto, P. L., Damian, C., Zibetti, A. W., Mahecha, H. S., & Bohrer, B. M. (2018). Incorporation of β -glucans in meat emulsions through an optimal mixture modeling systems. *Meat Science*, 143(January), 210–218. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.05.007>

Wolever, T. M. S., Rahn, M., Dioum, E. H., Jenkins, A. L., Ezatagha, A., Campbell, J. E., & Chu, Y. (2021). Effect of oat β -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>

Younis, N. S., Mohamed, M. E., & El Semary, N. A. (2022). Green Synthesis of Silver Nanoparticles by the Cyanobacteria *Synechocystis* sp.: Characterization, Antimicrobial and Diabetic Wound-Healing Actions. *Marine Drugs*, 20(1). <https://doi.org/10.3390/md20010056>

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>

Zhao, J., Hu, Y., Qian, C., Hussain, M., Liu, S., Zhang, A., He, R., & Sun, P. (2023). The Interaction between Mushroom Polysaccharides and Gut Microbiota and Their Effect on Human Health: A Review. *Biology*, 12(1), 1–29. <https://doi.org/10.3390/biology12010122>

Zhong, K., Liu, Z., Lu, Y., & Xu, X. (2021). Effects of yeast β -glucans for the prevention and treatment of upper respiratory tract infection in healthy subjects: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Nutrition*, 60(8), 4175–4187. <https://doi.org/10.1007/s00394-021-02566-4>

Zhou, X., He, J., Wang, L., Wang, Y., Du, G., & Kang, Z. (2019). Metabolic engineering of *saccharomyces cerevisiae* to improve glucan biosynthesis. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 29 (5), 758–764. <https://doi.org/10.4014/jmb.1812.12049>