

Review Article / Derleme Makale

# Dirençli nişastanın glisemik indeks ve glisemik kontrol üzerindeki etkisi

## *Effect of resistant starch on glycemic index and glycemic control*

Esila Bayar  <sup>1\*</sup>

Suphiye Mine Yurttagül  <sup>2</sup>

1 İstanbul Aydın Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, İstanbul, Türkiye.

2 Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Gaziantep, Türkiye.

### Article info

#### Keywords:

Resistant starch, glycemic index, glycemic control, prebiotic

#### Anahtar Kelimeler:

Dirençli nişasta, glisemik indeks, glisemik kontrol, prebiyotik

Received: 25.09.2023

Accepted: 20.11.2023

E-ISSN: 2979-9511

DOI: 10.58625/jfng-2298

Bayar & Yurttagül; Dirençli nişastanın glisemik indeks ve glisemik kontrol üzerindeki etkisi

Available online at <https://jfng.toros.edu.tr>

#### Corresponding Author(s):

\* Esila Bayar, [esilabayar@gmail.com](mailto:esilabayar@gmail.com)

### Özet

İnsan sağlığını geliştirici olarak çeşitli besin bileşenlerinin kullanılması ve besinlerin fonksiyonel hale getirilmesi üzerine çeşitli araştırmalar yapılmakta ve ürünler geliştirilmektedir. Sağlık bilincine sahip tüketicilerin de bu ürünleri talep ettiği bilinmektedir. Bu bağlamda ilgi gören dirençli nişasta ise diyet posası türlerinden olup diyetle ilişkili bulaşıcı olmayan hastalıkların riskini potansiyel olarak azalttığı ve glisemik olmadığı düşünülmektedir. Beş tür dirençli nişasta bulunmakla birlikte dirençli nişasta türlerinin bazıları besinlerde doğal olarak bulunurken bazıları da besinlere eklenebilmektedir. Dirençli nişasta tüketiminin glisemik kontrol üzerinde yararlı etkilerinin olduğuna dair güçlü kanıtlar bulunmaktadır. Dirençli nişastanın glisemik indeks, glisemik yanıt ve glisemik kontrol üzerindeki etkilerine yönelik ulusal ve uluslararası literatürde yer alan ve büyük çoğunluğu son yedi yıl kapsamında olmakla birlikte güncelliğini koruyan çalışmalar incelendiğinde; dirençli nişastanın glisemik ve insülinemik yanıtı azaltıcı etkiye sahip olduğu, glisemik kontrolü iyileştirmede ılımlı bir etkisinin olduğu, eklendiği besinlerin düşük glisemik indeksli hale gelmesinde ve posa miktarının artmasında rol aldığı, insülin direncini azaltmada etkili olduğuna yönelik çok çeşitli sonuçlar olduğu gibi, herhangi bir etkinin gözlenmediğine yönelik sonuçların da olduğu görülmektedir. Bu derleme yazıda, dirençli nişastanın



glisemik indeks ve glisemik kontrol üzerindeki etkilerine dair görüş ve bilgilere yer vermek, sağlıklı iyileştirici ve geliştirici bir unsur olarak dirençli nişastanın rolünü değerlendirmek amaçlanmaktadır.

### Extended Abstract

The contemporary pursuit of health-conscious dietary choices has spurred a growing demand for functional foods enriched with nutritional and health-promoting attributes. The food industry, in response, is increasingly dedicated to the development of innovative products aligned with health objectives (1). Resistant starch (RS), an emerging ingredient, has garnered substantial attention due to its potential in the production of health-oriented commercial foods (2). Over the years, the market has witnessed the introduction of commercial foods fortified with type 2 and type 3 resistant starch, followed by the emergence of cost-effective type 4 resistant starch ingredients for dietary fiber supplementation (3). No suggestions have been made for daily intake of resistant starch or for the resistant starch content of products on the food industry. The variation of resistant starch throughout cooking, cooling and ripening conditions is known as one of the reasons for this situation. In developing countries, resistant starch intake is known to vary between 30-40 grams per day, but it also depends on other factors of the daily pattern of nutrition, such as the food groups of choice (4). The evolving concept of prebiotics, substances selectively beneficial to host microorganisms conferring health advantages, has propelled the spotlight onto resistant starch. With its recognition, RS has emerged as a non-glycemic source of dietary fiber that could potentially mitigate diet-related non-communicable diseases, including obesity, diabetes, cardiovascular disease, metabolic syndrome, and colon cancer (5). The realm of beneficial applications for enzyme-resistant starch extends beyond its nutritional value, encompassing domains like diabetes, obesity, colon cancer, immune system disorders, diverse cancer types, and cardiovascular ailments. In 2011, the European Food Safety Authority (EFSA) validated health claims for RS, endorsing specific proportions of enzyme-resistant starch in carbohydrate-rich bakery products for the regulation of postprandial blood glucose and insulin levels (6). Functional foods, proposed as adjunctive aids for enhancing glycemic control in type 2 diabetes, hold potential to alleviate the significant economic burden associated with this disease, which has been estimated as 825 billion \$ in related health services as of 2014 (7). The EFSA's assertion that substituting digestible starch with resistant starch can attenuate postprandial blood glucose fluctuations and the U.S. Food and

Drug Administration's (FDA) assertion of reduced type 2 diabetes risk with high amylose, corn-derived RS further underscore the promising prospects of RS consumption (8). Strong corroboration exists between RS consumption and favorable outcomes on gut health, inflammatory markers, insulin response, and lipid metabolism (9). The taxonomy of RS comprises distinct categories each characterized by unique physicochemical attributes. Type 1 RS, physically shielded from digestion by binding to fibrous cell walls or residing within protein matrices and thick cell walls, is commonly found in partially or fully milled rice, cereals, and legumes (5,10,11). Type 2 RS, organized in a tightly packed radial configuration within raw starch granules, evades gelatinization and digestion due to its inaccessible granular structure. In the natural crystal forms B and C, this variant exhibits a relatively dehydrated compact crystal structure and is prevalent in high-amylose cereals, raw potatoes, green bananas, and select legumes (5,8,10,11). Type 3 RS emerges through the cooking and subsequent cooling of starch-rich foods, leading to gelatinization. Culinary examples rich in type 3 resistant starch encompass cooked and cooled potatoes, rice, pasta, bread, and specific maize varieties (12). Additionally, triticale, rye, buckwheat, chickpeas, kidney beans, peas, broad beans, and lentils constitute natural sources of type 3 RS (13). Type 4 RS entails modified molecular structures, augmenting its resistance to amylase. This variant undergoes chemical or enzymatic modifications, often incorporating external additives like lipids, sugar alcohols, and sugars, resulting in cross-links and novel chemical bonds through processes like substitution, esterification, or cross-linking. Type 5 RS represents an emerging category forming amylose and lipid complexes, along with thermostable starch-lipid complexes during gelatinization. Typically derived from high-amylose starch cereals, type 5 RS holds considerable potential (5,10,11). The physiological impact of RS's digestion rate is well-established, particularly due to its role in reducing postprandial glycemic responses in diverse populations; including healthy, overweight or obese adults, as well as those at risk for type 2 diabetes. Consequently, the substitution of digestible starch with RS yields beneficial glycemic effects among both healthy individuals and those with prediabetes (14). Glycemic variability entails acute glycemic fluctuations linked to oxidative stress-induced cellular damage. The crucial role of dietary carbohydrate quality in stabilizing glucose absorption and modulating postprandial glycemic responses is recognized (15). Research suggests that substituting dietary carbohydrates with specific fiber types like RS in food formulations reduces postprandial blood glucose levels. This effect is notable when RS replaces refined wheat flour in product compositions,

indicating potential for lowering blood glucose levels (16). Similarly, the moderated digestion and absorption resulting from consumption of RS-rich rice-based foods are proposed to regulate type 2 diabetes by attenuating postprandial glucose and insulin responses (17). High-amylose corn-derived type 2 RS has shown efficacy in reducing glycemic response, including postprandial glucose and insulin levels (8). Empirical investigations have yielded diverse outcomes pertaining to the impact of RS. Investigations have generally focused on glycemic control and glycemic variability, glycemic and insulinemic response, glycemic index and glycemic load, but they have also focused on factors such as insulin resistance, serum lipoproteins, HbA1c and inflammatory markers. Evidentiary support suggests that RS contributes to the reduction of postprandial blood glucose and insulin responses, fostering enhanced glycemic control, while also facilitating the transformation of foods into low glycemic index products. Moreover, it stimulates fermentation processes, exerts appetite-suppressing effects, and engenders diminished desires to consume; resulting in reduction in inflammatory markers. However, it is pertinent to acknowledge studies wherein no discernible effects were observed. RS's potential as a functional element for disease prevention, treatment, and enhancing well-being in healthy individuals is notable. This review article is devoted to accentuating the impact of RS on glycemic index and glycemic control, meticulously scrutinizing relevant national and international literature, mainly spanning the preceding seven years. This review article is also devoted to evaluating the role of resistant starch as a health-promoting and health-enhancing factor in the context of glycemic index and glycemic control.

## GİRİŞ

Sağlıklı bir yaşam tarzı için kazanılması gereken koruyucu davranışların başında doğru beslenme gelir. Günümüzde sağlık bilincine sahip tüketiciler, beslenmeleri için besleyici ve sağlığı geliştirici özelliklere sahip fonksiyonel besinler talep etmektedir. Besin endüstrisi de sağlığa faydalı, yenilikçi ürünler geliştirmek ile ilgilenmektedir (1). Bu bağlamda, dirençli nişastadan zengin kaynaklar, son zamanlarda ticari besinlerin üretiminde ilgi görmüştür (2)

ve yıllar içinde tip 2 ve tip 3 dirençli nişasta ile formüle edilmiş ticari besinler pazarlanmıştır. Daha yakın zamanlarda, diyet posası takviyesi için uygun maliyetli çözümler sunan tip 4 dirençli nişasta bileşenleri geliştirilmiştir (3). Besin ürünlerine posa eklemek için tip 4 dirençli nişasta kullanılabilir (18). Nişasta, bazı teknik yöntemlerle sindirim enzimlerine dirençli bir biçime dönüştürülebilmekte ve böylece fiziksel olarak ve besleyicilik olarak diyet posası gibi davranması sağlanabilmektedir (1). Diyet posası, Kodeks Alimentarius'a göre "insanların ince bağırsaklarındaki endojen enzimler tarafından hidrolize edilemeyip belirli kategorilere ait olan on veya daha çok monomerik üniteye sahip karbonhidrat polimerleri" olarak ifade edilmektedir (19). Yüksek diyet posası tüketimi, kardiyovasküler hastalıklara ve diyabete ek olarak, bulaşıcı olmayan kronik hastalıkların meydana gelme riskinde azalma ile de ilişkilendirilmiştir (20,21). Diyet posası; meyveler, sebzeler, kepekli tahıllar, baklagiller ve kuruyemişler gibi besinlerde doğal olarak bulunan mükemmel bir prebiyotik olarak kabul edilmektedir. Yüksek posalı bir diyetin faydalı bakterilerin zenginleştirilmesi ile de pozitif ilişkili olduğu gösterilmiştir (22). Prebiyotik madde, yakın zamanda "sağlık yararı sağlayan konak mikroorganizmalar tarafından seçici olarak kullanılan madde" olarak tanımlanmıştır. Belirli bağırsak mikrobiyota ekosistemleri ile obezite ve tip 2 diyabet (T2D) arasındaki bağlantı nedeniyle probiyotikler ve prebiyotikler son yıllarda büyük ilgi görmüştür (23). Dirençli nişasta da obezite, diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, metabolik sendrom ve kolon kanseri gibi diyetle ilişkili bulaşıcı olmayan hastalıkların riskini potansiyel olarak azaltabilen, glisemik olmayan, nişasta bazlı bir diyet posası olarak düşünülmektedir (5).

Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), 2011 yılında dirençli nişasta için sağlık beyanlarını onaylamış ve karbonhidrat yönünden zengin fırıncılık ürünlerinde belli oranlarda enzime dirençli nişasta kullanımının tokluk kan şekeri ve insülin düzenlenmesine yardımcı olabileceğine ilişkin olumlu görüş bildirmiştir (6). Tip 2 diyabetin tedavi maliyetinin 2014 yılı itibarıyla, tahmini 825 milyar dolar olduğu ve glisemik

kontrolü iyileştirmek için fonksiyonel besinlerin alınmasının faydalı olabileceği düşünülmektedir (7). Diyabet morbiditesi epidemi seviyesine ulaşmıştır ve 2019 itibarıyla, dünya çapında 20 ila 79 yaş aralığında 463 milyon yetişkinde diyabet varlığı bildirilmiştir. Diyabeti olan hastalarda kardiyovasküler hastalıkların gelişme riski de daha fazladır. Kardiyovasküler hastalıkların ise dünya genelinde birinci ölüm sebebi olduğu bilinmektedir (24). Diyabet ayrıca böbrek komplikasyonları, sinir hasarı, göz komplikasyonları dahil birçok komplikasyona sebep olmaktadır (25).

Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) tarafından “sindirilebilir nişastanın dirençli nişasta ile değiştirilmesinin, yemekten sonra daha düşük bir kan şekeri artışına neden olduğu” ve Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) tarafından “yüksek amilozlu, mısır kaynaklı dirençli nişastanın tip 2 diyabet riskini azaltabileceği” bildirilmiştir (8). Amerika’da tip 2 ve tip 4 dirençli nişasta, glisemik sağlık üzerindeki fizyolojik yararlarına göre diyet posası olarak onaylanmıştır (14). Dirençli nişasta, mide boşalmasının yavaşlaması, postprandiyal glikoz konsantrasyonlarının düşürülmesi, tokluğun artırılması ve inkretin sekresyonunun iyileştirilmesi dahil olmak üzere diyet posasının fizyolojik etkilerinin çoğuna sahiptir (26). Dirençli nişasta tüketimi ile bağırsak sağlığı, inflamatuvar belirteçler, insülin yanıtı ve lipid metabolizması arasındaki ilişki de iyi belgelenmiştir (9). Aynı zamanda, nişastanın farklı tiplerinin ve dirençli nişastanın, bakteriyel türlerin büyüme yeteneğini etkilediği ve dirençli nişastanın bazı türlerinin bakteriyel kompozisyonu farklılaştırdığı bilinmektedir (27).

### Dirençli Nişasta ve Özellikleri

Nişasta, bitkilerde karbonhidratların başlıca depo formudur ve besinsel özelliği, ince bağırsakta sindirim ve emilim oranı ile ilgilidir. Besinsel özelliklerine göre nişasta “hızlı sindirilebilir nişasta”, “yavaş sindirilebilir nişasta” ve “dirençli nişasta” olarak sınıflandırılmaktadır. Hızlı sindirilebilir nişasta; enzimatik sindirim yoluyla glikoz moleküllerine hızlı bir şekilde dönüştürülen nişasta tipi olarak

tanımlanır. Yavaş sindirilebilir nişasta; enzimatik sindirimden sonra glikoza dönüştürülen bir nişasta tipi olarak tanımlanmaktadır. Dirençli nişasta ise, sağlıklı bireylerin ince bağırsağında hidrolize edilemeyen ancak kolonda fermente edilen nişastadır (28). Hızlı sindirilebilir nişasta, belirli karbonhidratlı yiyeceklerin tüketilmesinin ardından kan şekeri düzeyinde hızlı artış sağlar. Öte yandan, yavaş sindirilebilir nişasta, hızlı sindirilebilir nişastaya kıyasla, yavaş bir glikoz salınımına ve sindirimin ardından kan şekeri düzeyinde kademeli bir artışa neden olur. Son olarak, dirençli nişasta, ince bağırsaktaki enzimatik sindirimden kaçmaktadır ve daha önce de belirtildiği üzere fermentasyon için kolona geçmektedir (29). Hızlı sindirilebilir nişastanın çoğu 20 dakikada sindirilir ve yüksek kalorili olarak kabul edilir; yavaş sindirilebilir nişastanın sindirimi 120 dakika içinde tamamlanır ve kısmen kalorili olarak kabul edilir; sindirilemeyen dirençli nişasta 120 dakikanın ötesinde sindirime dirençlidir ve kalorisiz olarak kabul edilir (5).

Dirençli nişasta, pek çok çalışmada “insan sindirim enzimleri tarafından hidrolize dirençli bir diyet posası türü” olarak tanımlanmıştır. Sindirilemez olduğu için dirençli nişasta kolona ulaşır ve kısa zincirli yağ asitleri üretmek için bağırsak mikrobiyotası tarafından fermente edilir. Başka bir deyişle, dirençli nişasta bir tür prebiyotiktir (9) ve mide ve ince bağırsakta sindirime direnebilen, kolona büyük ölçüde sindirilmemiş olarak ulaşan, bağırsak mikrobiyotası tarafından fermente edilen bir posa türü olarak düşünülmektedir (15). Aynı zamanda, dirençli nişastanın fermentasyonu ile diyet posasına kıyasen daha fazla bütiratın üretildiği bilinmektedir (9). Dirençli nişastanın yapısı daha çok  $\alpha$ -(1-4) D glukoz ünitelerinin doğrusal parçalarından oluşur (19) ve diğer diyet posa türlerine kıyasla kolonda daha yüksek fermente edilebilirliğe sahiptir. Dirençli nişastanın kimyasal bileşimi nişasta ile aynı olup, amiloz ve amilopektinden oluşmaktadır. Ancak dirençli nişastada amilozun konfigürasyonu değişmektedir (28). Nişastanın amiloz-amilopektin oranı ve lipitler ve ikincil metabolitler gibi diğer fitokimyasallarla etkileşimi, dirençli nişastayı etkilemektedir. Bununla birlikte,

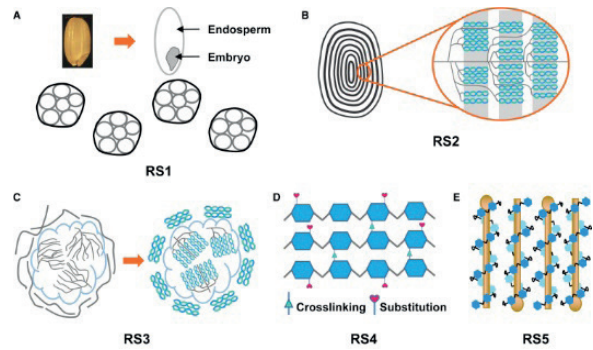
pişirme ve soğutma dahil olmak üzere işleme süreci de dirençli nişastayı etkiler (5). Dirençli nişasta en fazla (%32-36) fasulye türlerinde, en az (%0.1-3.2) ise buğday, pirinç, mısır ve arpa gibi tahıl ürünlerinde bulunur (28). Aynı zamanda yeşil muz gibi olgunlaşmamış meyvelerde de dirençli nişasta bulunmaktadır (19).

Beş tür dirençli nişasta vardır. Tip 1 dirençli nişasta, lifli hücre duvarlarına bağlandığı için sindirime fiziksel olarak erişilemeyen bir dirençli nişasta türü olup protein matrisine veya kalın hücre duvarına fiziksel olarak gömülmüştür ve kısmen veya tamamen öğütülmüş pirinç, tahıllar ve baklagillerde bulunur (5,10,11). Tip 2 dirençli nişasta, ham nişasta granüllerinde radyal bir desende sıkıca paketlenmiş olup jelatinleşmemiş yapıdadır ve granüler yapısının erişilemez oluşu nedeniyle sindirilemez. B ve C doğal kristal yapıları formunda olan tip 2 dirençli nişastanın kristal yapısı nispeten susuz kalmış kompakt bir yapıdadır ve yüksek amilozlu tahıllarda, çığ patates, yeşil muz ve bazı baklagillerde bulunur (5,8,10,11). Tip 3 dirençli nişasta, buharlı nemli ısı ile pişirilen ve ardından jelatinize olan nişastanın soğutulması ile oluşmaktadır. Tip 3 dirençli nişastadan zengin besinler arasında pişmiş ve soğutulmuş patates, pirinç, makarna, ekmek ve bazı mısır türleri yer almaktadır (12). Aynı zamanda tritikale, çavdar, karabuğday, nohut, barbunya, bezelye, bakla ve mercimek gibi besinler de tip 3 dirençli nişastanın doğal kaynakları arasında yer alır (13). Tip 4 dirençli nişastada ise, nişastanın moleküler yapısı değiştirilir, böylece amilaza karşı direnci artar.

Kimyasal veya enzimatik olarak modifiye edilmiştir. Lipitler, şeker alkolü, şekerler gibi dış katkı maddelerinin işlenmiş ürünlerde bulunan çapraz bağları oluşturduğu ve yerine koyma, esterleştirme veya çapraz bağlama yoluyla, yeni kimyasal bağların oluşturulduğu nişastadır. Son olarak tip 5 dirençli nişasta, bir amiloz ve lipit kompleksi oluşturan yeni bir dirençli nişasta türüdür ve jelatinleşme sırasında lipitlerle oluşan termostabil nişasta kompleksleri halindedir. Tip 5 dirençli nişasta genellikle yüksek amilozlu nişasta içeren tahıllardan üretilir (5,10,11).

Dirençli nişastanın fermentasyonundan üretilen bütiratın, kolon hücrelerine enerji sağlama, disbiyozu önleme ve inflamasyonu bastırma gibi etkileri vardır (9). Tablo 1'de dirençli nişastanın çözünürlük, viskozite ve fermente olabilmeye yetenekleri yer almaktadır. Benzer şekilde, Şekil 1'de dirençli nişasta türleri, Tablo 2'de ise dirençli nişasta türlerinin tanımı ve besin örnekleri yer almaktadır.

Şekil 1. Dirençli Nişasta Türleri (11).



Tablo 1. Dirençli Nişastanın Çözünürlük, Viskozite ve Fermentasyon Yeteneği (19).

Grup	Sınıf	Ç*	V*	F*
Dirençli nişasta Monomerik birim ≥10	Tip 1 fiziksel olarak erişilemeyen nişasta	-	-	++
	Tip 2 taneli nişasta	-	-	++
	Tip 3 pişirilip soğutulunca retrograde olan nişasta	-	-	++
	Tip 4 kimyasal olarak değiştirilmiş nişasta	-	-	+

\*Ç: Suda Çözünürlük, V: Viskozite, F: Fermentasyon Yeteneği

Diyet posası olarak, dirençli nişasta türlerinden, tip 1, 2, 3 ve 5 besinlerde doğal olarak bulunurken, tip 2, 3 ve 4 besinlere fonksiyonel bir bileşen olarak eklenebilir. Genel ifade ile ekmekler, kahvaltılık gevrekler, atıştırmalık yiyecekler, muzlar, tahıllar, makarna, pirinç, baklagiller ve patatesler dirençli nişasta içerir. Pişirilen ve ardından soğutulan yiyecekler, pişmiş yiyeceklerden daha yüksek miktarda dirençli nişastaya sahiptir. Amiloz konsantrasyonu daha yüksek olan besinler, diğer besinlere kıyasen daha yüksek miktarda dirençli nişasta içerir (30). Dirençli nişasta üzerine yapılan klinik çalışmaların çoğu tip 2 ve tip 3 ile yapılmışken daha az miktarda çalışma da tip 4 dirençli nişasta ile yapılmıştır (16).

“Sindirilebilir nişastanın dirençli nişasta ile değiştirilmesi, yemekten sonra daha düşük kan şekeri artışına neden olur”, “Toplam nişasta içeriğinin en az %14’ü dirençli nişasta olmalıdır” şeklindeki sağlık iddiaları, Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi tarafından onaylanmıştır. Bu iddialar, tüm kaynaklardan gelen dirençli nişastalar için geçerlidir. Ticari besinlere dirençli nişasta eklenmesi; besinsel faydalar (örn. posa takviyesi, enerji değerini azaltma), fonksiyonel özellikler (örn. dokuyu iyileştirme) ve organoleptik özellikler (örn. gevreklik) sunar. Bu nedenle dirençli nişastalar soluk renk, yumuşak tat, ince parçacık boyutu, yüksek jelatinleşme sıcaklığı, düşük su bağlama ve ekstrüzyon kapasitesi gibi spesifik özelliklerin varlığı nedeniyle işlevsel bileşenlerdir. Bu özellikler, dirençli nişastaların

süt ürünleri, fırıncılık ürünleri ve makarna gibi çeşitli yiyeceklere katılma nedenleridir. Bununla birlikte, dirençli nişastaların türleri ve kaynakları, bitmiş ürünler üzerinde farklı etkilere sahip olduğundan, dirençli nişastalarla ürün geliştirirken dikkatli olunmalıdır. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), “değiştirilmiş tip 4 dirençli nişastanın, fırınlanmış ürünler, makarnalar, tahıllar ve atıştırmalıklar gibi düşük nemli besinlere maksimum %15 seviyesinde eklendiğinde güvenli olacağını” belirtmiştir (14).

Dirençli nişastanın günlük alım önerilerine veya besin piyasasındaki ürünlerin dirençli nişasta içeriğine yönelik herhangi bir öneri yapılmamıştır. Dirençli nişastanın pişirme, soğutulma, olgunlaşma aşamalarında değişkenlik göstermesi, bu durumun sebepleri arasındadır. Örneğin, olgun muz 1,23 g/100 g dirençli nişasta içerirken, yeşil muz 8,5 g/100 g dirençli nişasta içermektedir. Bir başka örnek ise kuru bakliyatların dirençli nişasta miktarının 3,4 g/100 g iken pişirilmesinin ardından 9,1 g/100 g halinde artış göstermesi olarak verilebilir. Gelişmekte olan ülkelerde dirençli nişasta alımının günde 30-40 gram arasında değiştiği bilinmekle beraber, bu durum seçilen besin grupları gibi günlük beslenmenin diğer unsurlarına da bağlıdır (4).

## Dirençli Nişasta ve Etkileri

Dirençli nişastanın sindirim oranının sağlıklı, fazla kilolu veya obez yetişkinlerde ve tip 2 diyabet için risk altındaki popülasyonlarda

**Tablo 2.** Dirençli Nişasta Türlerinin Tanımı ve Besin Örnekleri (28).

Dirençli nişasta türü	Tanımı	Besin örneği
Tip 1 dirençli nişasta	Fiziksel olarak erişilemeyen nişasta	Kaba öğütülmüş tahıl veya tohumlar, baklagiller
Tip 2 dirençli nişasta	B veya C polimorf içeren granüler nişasta	Yüksek amilozlu mısır nişastası, çiğ patates, çiğ muz nişastası
Tip 3 dirençli nişasta	Retrograde nişasta	Pişmiş soğutulmuş gıdalar (patates, makarna, pirinç), mısır gevreği
Tip 4 dirençli nişasta	Kimyasal olarak değiştirilmiş nişasta	Çapraz bağlı nişasta ve oktenil süksinat nişasta
Tip 5 dirençli nişasta	Amiloz-lipid kompleksi	Stearik asit kompleksli yüksek amilozlu nişasta

postprandiyal glisemik yanıtın azaltılması gibi fizyolojik etkilerinin olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, sindirilebilir nişastanın dirençli nişasta ile değiştirilmesi, sağlıklı ve diyabet öncesi hastalarda faydalı glisemik etkilere sahiptir (14). Sindirilemeyen karbonhidratın az tüketimi ise, insülin duyarlılığının azalması ve tip 2 diyabet riskinin artmasıyla ilişkilidir (20). Yulaf beta glukani gibi çözünebilir posa, postprandiyal kan şekerinin yönetiminde etkilidir ve dirençli nişasta ve benzeri posa kaynaklarının da besin formülasyonlarında karbonhidratların yerini alması, azalmış postprandiyal kan şekeri düzeyi ile sonuçlanmıştır. Postprandiyal kan şekeri düzeyinin kontrolü, diyabet gelişiminde belirleyici olarak kabul edilmektedir (16).

Eşsiz fonksiyonel özelliklere sahip olan dirençli nişasta, kolondaki fermente potansiyelinin ve bakteri aktivitelerinin iyileştirilmesi, kolon kanseri riskinin azaltılması, safra taşı oluşumunun önlenmesi, mineral emiliminin teşvik edilmesi, bağırsak sağlığının iyileştirilmesi gibi pek çok önemli biyolojik etkiye sahiptir. Bu nedenle dirençli nişasta, inflamatuvar bağırsak hastalığı, insülin direnci, tip 2 diyabet, enerji ve ağırlık yönetimi, koroner kalp hastalığı gibi çeşitli durumlar için faydalı, fonksiyonel bir besin olarak tanınmaktadır (11). Dirençli nişastanın mineral teşviki üzerindeki etkisi ise, kolonda dirençli nişastanın fermantasyonu neticesinde oluşan bütirat, propiyonat gibi organik asitlerin lümenin pH'sını düşürmesi, dolayısıyla çözünürlüğün ve kolonda mineral emiliminin artması şeklinde açıklanmaktadır (31). Dirençli nişastanın hem sağlıklı hem de sağlıklı kişilerde yağ asidi metabolizması, iltihap azalması ve glisemik kontrol üzerinde faydalı etkileri gözlenmiştir. Dirençli nişastanın kolonda fermantasyonu sonucunda üretilen kısa zincirli yağ asitlerinin glikoz homeostazını düzenleyebildiği, tokluk seviyelerini yükseltebildiği ve postprandiyal lipit oksidasyonunu artırabildiği bilinmektedir (32). Dirençli nişastanın yavaş sindirilmesi kan glukoz seviyesinin daha iyi kontrol edilmesini sağlar ve depo yağların kullanılmasını artırır. Ayrıca kan şekeri üzerine kontrollü etki göstermesi, açlık hissini baskıladığı için toplam enerji alımının azalmasını sağlar ve ağırlık kontrolüne destek olur. Dirençli nişastanın aynı zamanda pankreas

işlev bozukluğunun iyileştirilmesinde ve LDL-kolesterol konsantrasyonunun düşürülmesinde de rolü vardır (33).

Dirençli nişastanın fermantasyon ürünlerinin çoğu asetat, propiyonat ve bütirat gibi kısa zincirli yağ asitleridir. Bu kısa zincirli yağ asitleri, insülinle ilişkili iki hormonun, glukagon benzeri peptid-1 ve insülin sekresyonunu desteklediği gösterilen peptid YY'nin üretimini uyarabilir. Ek olarak dirençli nişasta tüketiminin, kısa zincirli yağ asitlerinin etkisiyle ektopik vücut yağını azaltarak ve adipogenezi düzenleyerek insülin duyarlılığını artırdığı öne sürülmüştür (7). Dirençli nişastanın gastrointestinal sağlığın korunmasına da önemli katkıda bulunduğu bilinmektedir ve günlük diyet posası alımını artırmak için temel besinlere dirençli nişastanın eklenmesi makul görülmektedir (2).

İngiliz Beslenme Vakfı, "dirençli nişasta tüketiminden sonra iyileştirilmiş glisemik kontrolün, tüm potansiyel sağlık yararları içinde en güçlü bilimsel kanıtlara sahip olduğunu" belirtmiştir. Dirençli nişasta ile ilgili ortaya çıkan araştırma alanları arasında kronik böbrek hastalığı ve nörolojik durum da yer almaktadır. Dirençli nişastanın, diyet posası alımını artırmak ve enerjiyi azaltmak için işlenmiş besinlere eklenebileceği belirtilmiştir. Dirençli nişasta tatsızdır ve rafine buğday ununa benzer bir doku kazandırır, dolayısıyla işlenmiş besinlere eklenmesi duyuşsal nitelikleri ve tüketici kabulünü eksiltmez (34).

### **Dirençli Nişastanın Kan Glikozu Üzerine Etkisi**

Ürün formülasyonlarında rafine buğday ununun yerine dirençli nişasta koyulduğunda postprandiyal kan glikozunun azaltılabileceği düşünülmektedir (16). Benzer şekilde, dirençli nişasta içeriği yüksek olan pirinç bazlı besinlerin tüketiminin ardından, ince bağırsaktaki yavaş sindirim ve emilimin, postprandiyal glikoz ve insülin tepkilerini azaltması gibi sebepler dolayısıyla tip 2 diyabet kontrolünde yardımcı olabileceği düşünülmektedir (17).

Dirençli nişastanın etkisi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar genellikle glisemik kontrol ve glisemik değişkenlik, glisemik ve

insülinemik yanıt, glisemik indeks ve glisemik yük başlıklarına odaklanmakta olup insülin direnci, inflamatuvar belirteçler gibi unsurları değerlendiren çalışmalar da mevcuttur.

Glisemik kontrol ve glisemik değişkenlik üzerine yapılan çalışmalardan birinde; yerli muz nişastasının, sindirilebilir mısır nişastasının ve yüksek amilozlu mısır nişastasının tip 2 diyabetli hastalarda glisemik kontrol ve glisemik değişkenlik üzerindeki etkisini değerlendirmek amaçlanmıştır ve iyileştirici herhangi bir etki bulunamamıştır (15). 19 randomize kontrollü çalışma üzerinden yapılmış bir sistematik derleme ve meta-analizde ise, dirençli nişastanın glisemik kontrol üzerindeki etkisi çalışılmış ve glisemik kontrolü iyileştirmede dirençli nişastanın ılımlı bir etkisinin olduğu belirtilmiştir (7). Bu noktada ek çalışmalara ihtiyaç olduğunu söylemek mümkündür.

Glisemik ve insülinemik yanıt üzerine yapılan çalışmalar çoğunluktadır. Mah ve arkadaşları tarafından yapılan, sağlıklı yetişkinlerde standart nişasta yerine tip 4 dirençli nişasta içeren kahvaltılık barların tüketiminin glisemik ve insülinemik yanıtı azaltacağı hipotezini test etmeyi amaçlayan bir çalışmada, postprandiyal kan glikozu kontrolüne ulaşmada tip 4 dirençli nişastanın pratik bir yaklaşım olarak önerilebileceği belirtilmiştir (35). Hughes ve arkadaşları tarafından yapılan, buğdaydan gelen tip 2 dirençli nişastanın glisemik yanıt ve bağırsak mikrobiyotası üzerindeki etkisini araştıran bir çalışmada, tip 2 dirençli nişasta ile zenginleştirilmiş buğday tüketiminin postprandiyal glisemide azalmaya, mikrobiyal bileşimde değişime, doğal halde olan buğdaya kıyasla fermantasyon aktivitesinde artışa yol açtığı sonucuna ulaşılmıştır (8). Stewart ve arkadaşları, tip 4 dirençli nişasta içeren yüksek posa içerikli bir tüketim ile dirençli nişasta içermeyen, düşük posa içerikli bir tüketimin postprandiyal glikoz ve postprandiyal insülin yanıtına, doyumluğa ve gastrointestinal toleransa etkisini araştırmış ve saflaştırılmış buğday unu yerine tip 4 dirençli nişasta ile formüle edilmiş ürünlerin kan glikozunda ve insülin düzeyindeki dalgalanmalarda istatistiksel olarak anlamlı azalmalar sağlayabileceği

sonucuna varmıştır (16). Stewart ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, toplam diyet posası 11,6 g olan dirençli nişasta içeriğinin sağlıklı yetişkinlerde postprandiyal glikozu ve insülin yanıtını belirgin şekilde azalttığı bulunmuştur (34). Steele ve arkadaşları tarafından yapılan, farklı miktarlarda tip 4 dirençli nişasta ve sindirilebilir karbonhidrat içeren barların, glisemik ve insülinemik yanıt üzerindeki etkilerini kıyaslayan bir çalışmada, miktardan bağımsız olarak tip 4 dirençli nişasta içeren barların tüketimini takiben belirgin şekilde daha düşük glisemik ve insülinemik yanıt elde edilmiştir (18). Gourineni ve arkadaşları tarafından da patates kaynaklı tip 4 dirençli nişasta tüketiminin sağlıklı yetişkinlerde glisemik ve insülinemik yanıtta azalmaya yol açtığı bulunmuştur (14). Benzer sonuçlar Steele ve arkadaşları (36) ve Stewart ve arkadaşları tarafından da (16) elde edilmiştir. García-Vázquez ve arkadaşları tarafından dirençli nişastanın glisemik yanıt üzerindeki etkisini inceleyen ve 17 tip 2 diyabetli hasta üzerinden yürütülen bir çalışmada, bireyler 4 gün boyunca yerli muz nişastası, yüksek amilozlu mısır nişastası ve sindirilebilir mısır nişastası tüketmiştir. Yerli muz nişastası; açlık glisemisi, gliseminin pik noktası ve insülinemik yanıtta azalmaya neden olmuştur (37). Wolever ve arkadaşları tarafından yürütülen, tip 4 dirençli buğday nişastası içeren kurabiye ile kontrol kurabiyesini kıyas eden bir çalışmada, eklenen tip 4 dirençli buğday nişastasının postprandiyal glisemik ve insülinemik yanıtı azalttığı sonucuna ulaşılmıştır (38). Steele ve arkadaşları tarafından yürütülen, yerli buğday nişastası ile tip 4 dirençli nişastanın postprandiyal metabolik yanıtını kıyas etmeyi amaçlayan bir çalışmada, yerli buğday nişastasına kıyasen tip 4 dirençli nişasta içeren besinlerin postprandiyal insülin yanıtını azalttığı sonucuna ulaşılmıştır (36). Bu noktada glisemik ve insülinemik yanıt üzerinde dirençli nişastanın etkilerini değerlendiren araştırmaların, farklı araştırma tasarımlarına sahip olmakla birlikte benzer bir sonuca vardığı, dirençli nişastanın glisemik ve insülinemik yanıtı azaltıcı etkiye sahip olduğu söylenebilmektedir.

Dirençli nişasta eklenmesi ile glisemik indeksin azaldığına dair çalışmalar da mevcuttur. Li ve



arkadaşları tarafından, dirençli nişasta içeren farklı un formülasyonları kullanılarak yapılan tuzlu eriştelere gastrointestinal sistem sağlığına katkıda bulunabilecek, düşük glisemik indeksli eriştelere olduğu sonucuna ulaşılmıştır (2). Candal ve arkadaşları, enzime dirençli nişasta ile zenginleştirilmiş unun, orta veya düşük glisemik indeksli yiyeceklerin üretiminde kullanılabileceği sonucuna varmışlardır (1). Tongyu ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, sedanter ve abdominal obezitesi olan 8 bireyin yüksek dozda dirençli nişasta içeren çörek tüketmesinin, glisemik yanıt üzerindeki etkisi araştırılmış ve 30 g dirençli nişasta desteğinin çöreklerdeki glisemik indeksini azalttığı belirtilmiştir (39). Garipoğlu, standart galeta ile dirençli nişasta eklenerek yapılmış galetayı kıyaslamış ve standart galetanın posa miktarının 4,7 gramdan dirençli nişasta eklenerek 17,27 grama çıktığı ve glisemik indeks değerinin 85'ten 60'a düştüğü saptanmıştır (6). Arıbaş da yapmış olduğu çalışmada ekmek ve makarnaya tip 4 dirençli nişasta eklenmesinin, posa içeriğini arttırdığı ve glisemik indeks değerlerini azalttığı sonucuna ulaşmıştır (40). Mohebbi ve arkadaşları tarafından yürütülen, beyaz ekmekte  $\beta$ -glukan ve dirençli nişastanın birleşiminin glisemik indeks ve glisemik yük üzerindeki etkisini değerlendirmeyi amaçlayan bir çalışmada,  $\beta$ -glukan ve dirençli nişasta gibi prebiyotik etkileri olan malzemelerin glisemik indeksi ve glisemik yükü düşürebileceği sonucuna ulaşılmıştır (41). Bu çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, ürünlere dirençli nişasta eklenmesi durumunda posa miktarının arttığı ve glisemik indeks değerinin azaldığı sonucuna ulaşmak mümkündür.

İnsülin direnci, inflamatuvar belirteçler vb. unsurlar üzerinde dirençli nişastanın etkisini değerlendiren çalışmalara bakıldığında ise, yapılan bir çalışmada dirençli nişasta tüketiminin insülin direncini azaltmada etkili olabileceğinin öne sürüldüğü görülmektedir (23). Peterson ve arkadaşları tarafından, prediyabet tanılı yetişkinlerde tip 2 dirençli nişastanın kardiyometabolik sağlığa etkisi araştırılmış ve 12 haftalık dirençli nişasta desteğinin TNF- $\alpha$  inflamatuvar belirtecinde azalma sağladığı ancak glisemik kontrol ve

diğer kardiyovasküler risk faktörleri üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir (26). Halajzadeh ve arkadaşları tarafından, metabolik sendrom ve ilişkili hastalıkları olan hastalarda glisemik durum, serum lipoproteinleri, inflamatuvar belirteçler üzerinde dirençli nişastanın etkisini değerlendirmeyi amaçlayan bir sistematik derleme ve meta analizde; açlık plazma glukozu, insülin düzeyi, HbA1c, total kolesterol, LDL kolesterol, TNF- $\alpha$  düzeylerinde dirençli nişastanın yararlı etkilerinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır (42). Pugh ve arkadaşları tarafından, tip 1 dirençli nişasta ile tip 2'den tip 5'e kadar olan dirençli nişasta türlerinin tip 2 diyabetli ve prediyabet bireylerde açlık ve postprandiyal glisemi üzerindeki etkisini kıyaslamayı amaçlayan bir sistematik derleme ve meta analizde, tip 1 ve tip 2 dirençli nişastanın glisemiye farklı biçimlerde etkilediği için farklı mekanizmalarla glukoz homeostazını etkileyebileceği, tip 3, 4 ve 5 için daha ileri çalışmalara ihtiyaç olduğu, diyet müdahalesi olarak dirençli nişastanın dahil edilmesinin tip 2 diyabet veya prediyabet olanlarda glisemik kontrolün kötüye gitmesini önleyebileceği düşünülmektedir (43). Böylelikle dirençli nişastanın glisemik indeks ve glisemik kontrol bağlamındaki rolü üzerine çok çeşitli çalışmalar yapıldığı görülmektedir.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Diyetle ilişkili bulaşıcı olmayan pek çok kronik hastalık ile ilişkili olan ve toplum sağlığını geliştirici bir unsur olma potansiyeli taşıyan bir besin bileşeni olarak dirençli nişastanın glisemik indeks ve glisemik kontrol üzerindeki etkisine yönelik çalışmalar, ilgili görüş ve bilgiler göz önünde bulundurulduğunda, son zamanlarda fonksiyonel besinlere ve bu bağlamda dirençli nişastaya yönelik olan ilginin ve talebin de artmasıyla birlikte önem taşımaktadır. Bir diyet posası ve prebiyotik olarak kabul edilen dirençli nişastanın besinleri zenginleştirmek ve fonksiyonel hale getirmek için kullanılabileceği öne sürülmektedir. Dirençli nişastanın glisemik indeks ve glisemik kontrol bağlamındaki rolünü araştırmak üzere yapılan çalışmaların incelenmesi sonucunda ise dirençli nişastanın glisemik ve insülinemik yanıtın

azaltılması, glisemik kontrolün iyileştirilmesi, besinlerin posa ile zenginleştirilmesi ve düşük glisemik indeksli hale getirilmesi, insülin direncinin azaltılması bağlamında etkin olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir. Herhangi bir etkinin gözlenmediğini belirten çalışmaların da mevcut olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Dirençli nişastanın fonksiyonel bir bileşen olarak kullanımının ve doğal olarak dirençli nişasta içeren besinlerin yeterli ve dengeli beslenme kapsamına uygun olarak önerilmesinin kronik hastalıkların önlenmesinde ve tedavisinde etkili olacağı, sağlığı iyileştirici ve geliştirici etkiler yaratacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda çalışmaların yapılması, daha fazla bilgiye ulaşılması ve literatüre katkı sağlanması önem taşımaktadır.

## KAYNAKLAR

1. Candal, C., & Erbas, M. (2019). The effects of different processes on enzyme resistant starch content and glycemic index value of wheat flour and using this flour in biscuit production. *Journal of Food Science and Technology*, 56(9), 4110–4120. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03880-w>.
2. Li, P. H., Wang, C. W., Lu, W. C., Chan, Y. J., & Wang, C. C. R. (2022). Effect of Resistant Starch Sources on the Physical Properties of Dough and on the Eating Quality and Glycemic Index of Salted Noodles. *Foods*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/foods11060814>.
3. Roman, L., & Martinez, M. M. (2019). Structural Basis of Resistant Starch (RS) in Bread: Natural and Commercial Alternatives. *Foods*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/foods8070267>.
4. Lejk, A., Myśliwiec, M., & Myśliwiec, A. (2019). Effect of eating resistant starch on the development of overweight, obesity, and disorders of carbohydrate metabolism in children. *Pediatric Endocrinology, Diabetes and Metabolism*, 25(2), 81–84. <https://doi.org/10.5114/pedm.2019.85818>.
5. Parween, S., Anonuevo, J. J., Butardo, V. M., Misra, G., Anacleto, R., Llorente, C., Kosik O., Romero M.V., Bandonil, E.H., Mendioro, M.S., Lovegrove, A., Fernie, A.R., Brotman, Y., Sreenivasulu, N. (2020). Balancing the double-edged sword effect of increased resistant starch content and its impact on rice texture: its genetics and molecular physiological mechanisms. *Plant Biotechnology Journal*, 18(8), 1763–1777. <https://doi.org/10.1111/pbi.13339>.
6. Garipoğlu, G. (2019). Enzime Dirençli Nişasta Kullanarak Fonksiyonel Galeta Geliştirilmesi. *European Journal of Science and Technology*, 375–380. <https://doi.org/10.31590/ejosat.514165>.
7. Xiong, K., Wang, J., Kang, T., Xu, F., & Ma, A. (2021, June 14). Effects of resistant starch on glycaemic control: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Nutrition*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S0007114520003700>.
8. Hughes, R. L., Horn, W. H., Finnegan, P., Newman, J. W., Marco, M. L., Keim, N. L., & Kable, M. E. (2021). Resistant starch type 2 from wheat reduces postprandial glycemic response with concurrent alterations in gut microbiota composition. *Nutrients*, 13(2), 1–20. <https://doi.org/10.3390/nu13020645>.
9. Warman, D. J., Jia, H., & Kato, H. (2022). The Potential Roles of Probiotics, Resistant Starch, and Resistant Proteins in Ameliorating Inflammation during Aging (Inflammaging). *Nutrients*. MDPI. <https://doi.org/10.3390/nu14040747>.
10. Chen, M. H., Bett-Garber, K., Lea, J., McClung, A., & Bergman, C. (2022). High Resistant Starch Rice: Variation in Starch Related SNPs, and Functional, and Sensory Properties. *Foods*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/foods11010094>.
11. Shen, L., Li, J., & Li, Y. (2022). Resistant starch formation in rice: Genetic regulation and beyond. *Plant Communications*. Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100329>.

12. Gropper, S. S., Smith, J. L., & Carr, T. P. (2020). *Advanced Nutrition and Human Metabolism Eight Edition*.
13. Mikulíková, D., & Kraic, J. (2006). Natural sources of health-promoting starch. *Journal of Food and Nutrition Research*, 45(2), 69–76.
14. Gourineni, V., Stewart, M. L., Wilcox, M. L., & Maki, K. C. (2020). Nutritional Bar with Potato-Based Resistant Starch Attenuated Post-Prandial Glucose and Insulin Response in Healthy Adults. *Foods*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/foods9111679>.
15. Arias-Córdova, Y., Ble-Castillo, J. L., García-Vázquez, C., Olvera-Hernández, V., Ramos-García, M., Navarrete-Cortes, A., Jiménez-Domínguez, G., Juárez-Rojop, I.E., Tovilla-Zarate, C.A, Martinez-Lopez, M.C., & Méndez, J. D. (2021). Resistant starch consumption effects on glycemic control and glycemic variability in patients with type 2 diabetes: A randomized crossover study. *Nutrients*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/nu13114052>.
16. Stewart, M. L., Wilcox, M. L., Bell, M., Buggia, M. A., & Maki, K. C. (2018). Type-4 resistant starch in substitution for available carbohydrate reduces postprandial glycemic response and hunger in acute, randomized, double-blind, controlled study. *Nutrients*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/nu10020129>.
17. Kumar, A., Sahoo, U., Baisakha, B., Okpani, O. A., Ngangkham, U., Parameswaran, C. Basak, N., Kumar, G., & Sharma, S. G. (2018). Resistant starch could be decisive in determining the glycemic index of rice cultivars. *Journal of Cereal Science*, 79, 348–353. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.11.013>.
18. Steele, T. J., Steele, C. C., Maningat, C. C., Seib, P. A., Haub, M. D., & Rosenkranz, S. K. (2022). Glycemic and Insulinemic Responses of Healthy Humans to a Nutrition Bar with or without Added Fibersym® RW, a Cross-Linked Phosphorylated RS4-Type Resistant Wheat Starch. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21). <https://doi.org/10.3390/ijerph192113804>.
19. Karabıyıklı, Ş., & Donat, İ. (2019). Prebiyotik Diyet Liflerinin Kolon Mikrobiyotası ve Sağlık Üzerine Etkileri. *Journal of New Results in Engineering and Natural Sciences*, (10), 1–15. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jrens/issue/51458/652490>.
20. Weickert, M. O., & Pfeiffer, A. F. H. (2018). Impact of dietary fiber consumption on insulin resistance and the prevention of type 2 diabetes. *Journal of Nutrition*, 148(1), 7–12. <https://doi.org/10.1093/jn/nxx008>.
21. Merenkova, S. P., Zinina, O. V., Stuart, M., Okuskhanova, E. K., & Androsova, N. V. (2020). Effects of dietary fiber on human health: A review. *Human Sport Medicine*, 20(3), 106–113. <https://doi.org/10.14529/HSM200113>.
22. Makki, K., Deehan, E. C., Walter, J., & Bäckhed, F. (2018). The Impact of Dietary Fiber on Gut Microbiota in Host Health and Disease. *Cell Host and Microbe*. Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2018.05.012>.
23. Alfa, M. J., Strang, D., Tappia, P. S., Olson, N., DeGagne, P., Bray, D., Murray B., & Hiebert, B. (2017). A randomized placebo controlled clinical trial to determine the impact of digestion resistant starch MSPrebiotic® on glucose, insulin, and insulin resistance in elderly and mid-age adults. *Frontiers in Medicine*, 4(JAN). <https://doi.org/10.3389/fmed.2017.00260>.
24. International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas. Brussels: International Diabetes Federation. 2019.
25. Avogaro, A., & Fadini, G. P. (2019, September 15). Microvascular complications in diabetes: A growing concern for cardiologists. *International Journal of Cardiology*. Elsevier Ireland Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2019.02.030>.
26. Peterson, C. M., Beyl, R. A., Marlatt, K. L., Martin, C. K., Aryana, K. J., Marco, M. L., Roy, M., Michael J, K., & Ravussin, E.

- (2018). Effect of 12 wk of resistant starch supplementation on cardiometabolic risk factors in adults with prediabetes: A randomized controlled trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, 108(3), 492–501. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqy121>.
27. Karabudak, E., & Demirel, M. D. (2019). Diyetin Mikrobiyotaya Etkisi ve Obeziteye Yansımaları. *Acibadem Universitesi Saglik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 1–7. <https://doi.org/10.31067/0.2019.101>.
28. Tekin, T., & Fisunoğlu, M. (2020). Effect of Resistant Starch on Inflammatory Bowel Diseases and Microbiota. *Journal of Traditional Medical Complementary Therapies*, 3(1), 99–106. <https://doi.org/10.5336/jtracom.2019-72218>.
29. Túaño, A. P. P., Barcellano, E. C. G., & Rodriguez, M. S. (2021). Resistant starch levels and in vitro starch digestibility of selected cooked Philippine brown and milled rices varying in apparent amylose content and glycemic index. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2021.100010>.
30. Patterson, M. A., Maiya, M., & Stewart, M. L. (2020). Resistant Starch Content in Foods Commonly Consumed in the United States: A Narrative Review. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 120(2), 230–244. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2019.10.019>.
31. Zafar, T. A., Martin, B., & Weaver, C. M. (2010). Resistant Starches (RS2 and RS3) have Variable Effects on Bone Mineral Status in Rats. *The Open Nutrition Journal*, 3(1), 17–22. <https://doi.org/10.2174/187428820090301001Z>.
32. Noor, N., Gani, A., Jhan, F., Jenno, J. L. H., & Arif Dar, M. (2021). Resistant starch type 2 from lotus stem: Ultrasonic effect on physical and nutraceutical properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 76. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105655>.
33. Wang, Y., Chen, J., Song, Y. H., Zhao, R., Xia, L., Chen, Y., Cui, Y., Rao, Z., Zhou, Y., Zhuang W., & Wu, X. T. (2019). Effects of the resistant starch on glucose, insulin, insulin resistance, and lipid parameters in overweight or obese adults: a systematic review and meta-analysis. *Nutrition and Diabetes*. Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/s41387-019-0086-9>.
34. Stewart, M. L., & Zimmer, J. P. (2018). Postprandial glucose and insulin response to a high-fiber muffin top containing resistant starch type 4 in healthy adults: a double-blind, randomized, controlled trial. *Nutrition*, 53, 59–63. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2018.01.002>.
35. Mah, E., Garcia-Campayo, V., & Liska, D. A. (2018). Substitution of corn starch with resistant starch type 4 in a breakfast bar decreases postprandial glucose and insulin responses: A randomized, controlled, crossover study. *Current Developments in Nutrition*, 2(10), 1–6. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzy066>.
36. Steele, T. J., Maningat, C. C., Seib, P. A., Haub, M. D., & Rosenkranz, S. K. (2021). Metabolic Responses to Native Wheat Starch (MidsolTM50) versus Resistant Wheat Starch Type 4 (Fibersym®RW): Standard versus Marketplace Testing Protocols. *Current Developments in Nutrition*, 5(3). <https://doi.org/10.1093/cdn/nzab011>.
37. García-Vázquez, C., Ble-Castillo, J. L., Arias-Córdova, Y., Ramos-García, M., Olvera-Hernández, V., Guzmán-Priego, C. G., Martínez-López, MC., Jiménez-Domínguez, G., & Hernández-Becerra, J. A. (2023). Effects of resistant starch on glycemic response, postprandial lipemia and appetite in subjects with type 2 diabetes. *European Journal of Nutrition*, 62(5), 2269–2278. <https://doi.org/10.1007/s00394-023-03154-4>.
38. Wolever, T. M. S., Maningat, C. C., Seib, P. A., Campbell, J. E., & Jenkins, A. L. (2023). Cross-linked phosphorylated RS4 wheat starch reduces glucose and insulin responses after 3 days of pre-feeding in healthy adults: an acute, double-blind, randomized controlled clinical trial. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 74(5), 621–629.

<https://doi.org/10.1080/09637486.2023.2236809>.

39. Tongyu, M., & Chong-Do, L. (2021). Effect of High Dose Resistant Starch on Human Glycemic Response. *Journal of Nutritional Medicine and Diet Care*, 7(1). <https://doi.org/10.23937/2572-3278/1510048>.
40. Arıbaş, Merve (2020). Tip 4 Enzime Dirençli Nişasta İlavesiyle Üretilen Ekmek ve Makarna Örneklerinde Tahmini Glisemik İndeks Değerlerinin ve Bazı Fonksiyonel Özelliklerinin İncelenmesi. (Tez No. 640147) [Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi] YÖK Tez Merkezi.
41. Mohebbi, Z., Azizi-Lalabadi, M., Hosseini, S. J., Abdi Nowrouzani, S., Alizadeh, M., & Homayouni, A. (2019). The effects of prebiotic bread containing oat  $\beta$ -glucan and resistant starch on the glycemic index and glycemic load in healthy individuals. *Nutrition and Food Science*, 49(6), 1029–1038. <https://doi.org/10.1108/NFS-10-2018-0292>.
42. Halajzadeh, J., Milajerdi, A., Reiner, Ž., Amirani, E., Kolahdooz, F., Barekat, M., Mirzaei, H., Mirhashemi S.M., & Asemi, Z. (2020). Effects of resistant starch on glycemic control, serum lipoproteins and systemic inflammation in patients with metabolic syndrome and related disorders: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled clinical trials. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Bellwether Publishing, Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1680950>.
43. Pugh, J. E., Cai, M., Altieri, N., & Frost, G. (2023). A comparison of the effects of resistant starch types on glycemic response in individuals with type 2 diabetes or prediabetes: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Nutrition*. Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1118229>.