



## TİP 5 DİRENÇLİ NIŞASTA: NIŞASTA KATILIM KOMPLEKSLERİ

**Fatma Nur Akgül, Sultan Arslan Tontul\***

Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Geliş /Received: 07.02.2023; Kabul /Accepted: 09.08.2023; Online baskı /Published online: 28.08.2023

Akgül, F. N., Arslan Tontul, S. (2023). Tip 5 dirençli nişasta: Nişasta katılım kompleksleri. GIDA (2023) 48 (5) 924-933 doi: 10.15237/gida.GD23023

Akgül, F. N., Arslan Tontul, S. (2023). Type 5 resistant starch: Starch inclusion complexes. GIDA (2023) 48 (5) 924-933 doi: 10.15237/gida.GD23023

### ÖZ

Son zamanlarda sağlık ve gıda bilincinin artması ile doğru orantılı olarak fonksiyonel gıdalara olan talep de artmıştır. Fonksiyonel gıda üretiminde tahıllar; obezite, diyabet ve kolon kanseri gibi kronik rahatsızlıkları önlemek amacıyla diyet lif açısından iyi bir alternatif olabilmektedir. Fakat tahıl kepeği gibi diyet lif içeriği yüksek olan bileşenlerden üretilen gıdaların, duyu kalitesinin genellikle düşük olması bu tür gıdaların talep edilebilirliğini azaltmaktadır. Gıdalarda renk, koku, tat gibi duyu özellikleri etkilemeyen dirençli nişasta (DN) ise diyet lif özelliğiyle fonksiyonel ürünlerde kullanılabilir. Günümüzde beş farklı dirençli nişasta formu bulunmaktadır. Gıda endüstrisinde dirençli nişasta çeşitlerinden en fazla DN3 ve DN4 kullanılmaktadır. DN5 formu ise son yıllarda araştırılmaktadır. DN5 üretiminin kısa sürmesi, kimyasal ajan gerektirmeden doğal yöntemlerle üretilmesi, ısı stabilizasyonunun yüksek olması ve proses sırasında uygulanan yüksek ısı-basınç etkilerinden kompleks yapısının korunması gibi üstün teknolojik özellikleri bulunmaktadır. Bu derleme makale çalışmasında DN5 üretim yöntemleri ve DN'nin sağlık üzerindeki etkileri incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Nişasta, diyet lif, amiloz katılım kompleksi, glikemik indeks

## TYPE 5 RESISTANT STARCH: STARCH INCLUSION COMPLEXES

### ABSTRACT

Recently, the demand for functional foods has increased due to growing health and food awareness. In food production, grains serve as good alternatives in terms of dietary fiber, aiding in the prevention of chronic diseases such as obesity, diabetes, and colon cancer. However, the low sensory quality of foods produced from components with high dietary fiber content, such as cereal bran, diminishes the desirability of such foods. Resistant starch (RS), on the other hand, can be utilized in functional products due to its dietary fiber properties without adversely affecting sensory properties such as colour, odour, and taste. Presently, there are five different forms of resistant starch. Among them, RS3 and RS4 are the most commonly used varieties in the food industry. However, the RS5 form has gained attention in recent years. RS5 exhibits superior technological features, including shorter production times, employment of natural methods without the need for chemical agents, high thermal stabilization, and preservation of its complex structure from the high heat-pressure effects applied during the process. This review focuses on discussing RS5 production methods and their health-promoting effects were discussed.

**Keywords:** Starch, dietary fiber, amylose inclusion complex, glycemic index

\*Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author

✉: sultan.arslan@selcuk.edu.tr

☎: (+90) 332 223 2937

☎: (+90) 332 241 0108.

Sultan Arslan Tontul; ORCID no: 0000-0003-1557-7948

Fatma Nur Akgül; ORCID no: 0000-0001-5547-0593

## GİRİŞ

Nişasta, günlük enerji sağlayan tahıl gibi temel gıdaların önemli bir bileşenidir. Nişasta;  $\alpha$ -1,4 bağlarından oluşan düz zincirli amiloz ve  $\alpha$ -1,4 glikozidik zincirlerine ek olarak  $\alpha$ -1,6 bağlarına sahip dallanmış yapıdaki amilopektin fraksiyonundan oluşmaktadır. Nişasta; çeşitli işlenmiş gıdalarda, ilaç, kozmetik, kâğıt ve tekstil gibi endüstriyel ürünlerde jelleştirici, koyulaştırıcı, dengeleyici ve stabilizatör madde gibi çeşitli işlevleri sayesinde sıkça tercih edilen bir polimerdir (Di Marco vd. 2022; Sinhmar vd. 2023).

Nişasta, sindirim sürecine göre hızlı sindirilebilir nişasta (HSN); yavaş sindirilebilir nişasta (YSN) ve dirençli nişasta (DN) olmak üzere üç fraksiyona ayrılmaktadır (Garcia-Hernandez vd. 2023) (Şekil 1). HSN, amilaz aktivitesi sonucunda nişasta sindiriminin ilk 20 dakikalık periyodunda glikoza dönüştürülen kısmını ifade etmektedir. İnce bağırsakta sindirime uğrayan HSN, kanda yüksek glisemik tepki oluşmasının temel nedenlerindedir. YSN, nişasta sindiriminin 20-120 dakikalık periyodunda glikoza çevrilen nişasta oranını ifade etmektedir. YSN, yavaş sindirilmekte ve HSN'ye göre kanda nispeten düşük bir glisemik tepki oluşturmaktadır. DN ise nişasta sindiriminin 120 dakikalık periyodunun sonunda sindirilmeden kalan nişasta fraksiyonunu ifade etmektedir. DN, ince bağırsakta sindirime uğramadığından mikroorganizmalar tarafından kalın bağırsakta fermente edilmekte ve böylelikle diyet lif etkisi göstermektedir. DN; tahıllar, sebzeler, baklagiller, tohumlar, olgunlaşmamış muz ve bazı kabuklu yemişler gibi gıdalarda yaygın olarak bulunabilmektedir (Pivetta vd., 2019; Kaimal vd., 2021).

DN ile ilgili yapılan çalışmalar sonucunda 5 farklı tipte DN olduğu ortaya konulmuştur. Bunlardan DN5 olarak sınıflandırılan nişasta katılım kompleksleri diğer DN türlerine göre nispeten yeni bir araştırma alanı olmakla birlikte son zamanlarda üzerinde yoğun araştırmaların yapıldığı bir konu haline gelmiştir. Diğer DN tiplerinin sağlığa faydalı etkileri temel olarak diyet lif özelliği göstermelerinden kaynaklanmaktadır. Bunun yanında DN5 ise kompleks yapısında çoklu doymamış yağ asitleri veya antioksidan

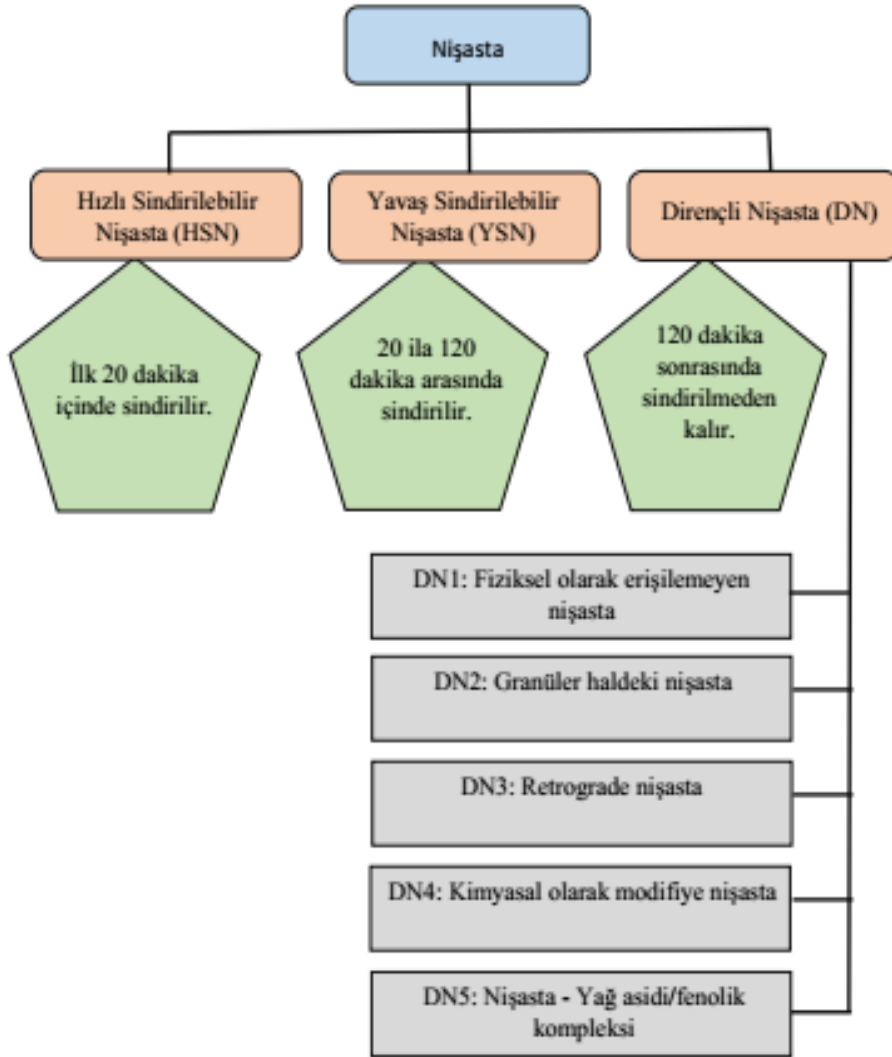
fenolik bileşikler gibi diğer sağlığa faydalı biyoaktif bileşikleri de içerebilmektedir. Bu husus DN5'i diğer DN türleri ile kıyaslandığında fonksiyonel anlamda daha üstün kılmaktadır. Bu derleme çalışmanın amacı DN5 olarak sınıflandırılan nişasta-lipit ve nişasta-fenolik katılım kompleksleri ile yürütülen yenilikçi çalışmaları ve DN5'in sağlığa faydalı etkilerini ortaya koymaktır.

## DİRENÇLİ NİŞASTA ÇEŞİTLERİ

DN; ekmek, kraker, kek ve diğer unlu mamullerin yanı sıra ekstrüde ürünler, hazır karışımlar, içecekler ve az yağlı atıştırmalıklar dahil olmak üzere çok çeşitli ürünlere giderek daha fazla dahil edilmektedir. DN, koyulaştırıcı, su tutma kapasitesi arttırıcı, un ikame edici, gevreklik/çıtırılık sağlayıcı özellikleri ile çok farklı gıda ürünlerine ilave edilebilmektedir. Tüm bunlara ilaveten DN'nin opak görünümde ve kokusuz olması ilave edildiği gıdaların organoleptik özelliklerinde değişime neden olmaması gibi kullanım avantajları sağlamaktadır. Bu yönü ile DN, ilave edildiği gıdanın kalitesini ve besleyici yönünü arttırarak ürünün fonksiyonel hale gelmesini sağlamaktadır (Jiang vd., 2020). DN, düşük kalorili ve yüksek diyet lifi içeriğine sahip fonksiyonel bir gıda olarak gıda işlemede yaygın olarak tercih edilebilmektedir.

Günümüzde doğal olarak gıdalarda bulunan ve çeşitli işlemlerle üretilen 5 farklı DN tipi bulunmaktadır (Ai vd., 2013). DN1, fiziksel olarak erişilemeyen nişastadır. Nişastanın amilolize erişilebilirliğini azaltan protein matrisi, hücre duvarı materyalleri ve diğer fiziksel bariyerler içinde tutuklu bulunan nişastayı ifade etmekte olup genellikle öğütülmemiş veya kısmen öğütülmüş tahıl ve baklagil tohumlarında bulunmaktadır (Bede ve Zaixiang 2021; Bojarczuk vd. 2022;).

DN2, jelatinize olmamış ve yapısal olarak amilaz enzimlerinin yavaş hidrolize ettiği, patates ve olgunlaşmamış muz gibi gıdalarda doğal halde bulunan nişasta olarak tanımlanmaktadır (Bede ve Zaixiang 2021; Bojarczuk vd. 2022). Bu yönü ile yeşil muz biyokütlesi, son birkaç yılda giderek daha fazla kullanılan, DN açısından zengin bir gıda veya bileşen özelliği ortaya koymaktadır (Pivetta vd., 2020).



Şekil 1. Nişastanın sindirilebilirliğine göre sınıflandırılması

Figure 1. Classification of starch based on their digestibility

DN3, nişastanın jelatinizasyonu sonrasında retrograde olması sonucu enzime direnç kazanması hali olup genellikle proses koşullarının etkisi ile oluşmaktadır. Doğrusal amiloz molekülleri, amilopektinden daha hızlı retrograde oldukları ve daha dirençli kristaller oluşturdukları için DN3'ün hazırlanması için daha çok tercih edilmektedir (Bede ve Zaixiang 2021; Bojarczuk vd. 2022).

DN4, kimyasal modifikasyon yöntemleri ile esterleştirilerek veya çapraz bağlanarak enzime direnç kazandırılmış nişasta formudur (Bede ve Zaixiang 2021; Bojarczuk vd. 2022). Bu yöntemle üretimde genellikle fosforil klorit gibi korozif çapraz bağlama ajanları kullanılmaktadır (Dong ve Vasanthan 2020). Bu çapraz bağlama ajanları yıkama sonrası nişastadan tam olarak uzaklaştırılmadığında kalıntı olarak son ürüne geçebilmektedir.

Son olarak DN5 ise, nişasta katılım kompleksleri olarak adlandırılmakta olup kompleks oluşumu, nişastanın enzimatik sindirime karşı direnç kazanmasını sağlamaktadır. Nişasta polimeri iyot, alkol, yağ asitleri ve esterleri, emülgatörler, fenolik bileşikler ve aromatik bileşenler ile katılım kompleksleri oluşturabilmektedir (Putseys vd. 2010; Tan ve Kong 2020; Di Marco vd. 2022). Katılım bileşikleri genellikle amiloz fraksiyonu ile kompleks halinde bulunduğundan DN5 için amiloz-katılım kompleksleri de denilebilmektedir. Son yıllarda nişasta katılım kompleksleri olarak adlandırılan DN5, gıda biliminin önemli araştırma konularından birisi haline gelmiştir.

### TİP 5 DİRENÇLİ NİŞASTA (DN5)

Nişasta fraksiyonlarından amilozun bir özelliği, çeşitli ligandlarla katılım kompleksi oluşturma yeteneğidir. Amiloz zinciri, altı glikoz birimi ile sarmal bir konformasyonda doğal bir bükülme sergilemektedir (Tan ve Kong 2020; Di Marco vd. 2022). Glikozil kalıntılarının hidroksil grupları, sarmalın dış yüzeyinde bulunurken, iç boşluk hidrofobik bir tüp şeklinde bulunur. Bu nedenle, kompleks oluşturuca maddelerin hidrofobik grubu, amiloz sarmalının içinde yer alabilir ve ligandın hidrofilik uçları sarmalın dışındayken, amilozun komşu karbon-hidrojenleri ile van der Waals temasları yoluyla stabilize edilir. Yapılan çalışmalar nişastanın farklı zincir uzunluğunda ki yağ asitleri ve fenolik bileşenler ile katılım kompleksleri yapabildiğini ortaya koymaktadır (Putseys vd. 2010).

Son yıllarda nişasta katılım kompleksi sentezi yolu ile DN üretimine yönelik çok sayıda araştırma yürütülmektedir. DN5 ile ilgili artan bu araştırma talebi, bu polimerin diğer DN tiplerine göre sağladığı üstün teknolojik özelliklerden ileri gelmektedir. DN5, diğer DN çeşitlerine göre daha yüksek ısıl stabiliteye sahip olup bu özelliği DN5'in yüksek sıcaklık uygulanan gıdaların diyet lif açısından zenginleştirilmesi için kullanılmak üzere avantajlı bir konuma getirmektedir. DN5, DN3 ve DN4 ile kıyaslandığında daha az fiziksel ve kimyasal modifikasyon basamağı gerektirmekte olup dolayısı ile daha kolay üretilebilmektedir. Ayrıca DN5'in sahip olduğu konformasyonel yapı sıcaklık uygulaması ortadan kalktıktan sonra

eski haline dönebilmektedir (Hasjim vd. 2013). Tüm bunlara ilaveten diğer DN tipleri yalnızca diyet lif etkisine sahip iken DN5, kompleks yapısında çoklu doymamış yağ asitleri ve antioksidan özellikte ki fenolik bileşikleri de bulundurabildiğinden artırılmış bir fonksiyonel etkiye sahiptir.

Çoğu çalışmada nişastanın yalnızca lipit karakterli bileşikler ile yaptığı katılım kompleksleri DN5 olarak değerlendirilse de son yıllarda fenolik bileşikler ile oluşturulan katılım kompleksleri de bu sınıfta incelenmektedir (Hernandez vd., 2022).

### Nişasta- Lipit Katılım Kompleksleri

Nişasta katılım kompleksleri son yıllardır üzerinde önemle durulan bir konu haline gelmiştir. Nişastanın yapısını oluşturan amiloz fraksiyonu, uygun koşullar altında lipitler ile (ağırlıklı olarak yağ asitleri veya monogliseridler) tek sarmal katılım kompleksleri oluşturmak üzere etkileşime girebilmekte ve bunun sonucunda oluşan yeni nişasta polimeri ise DN5 olarak sınıflandırılmaktadır (Zhang vd., 2012; Wang vd., 2017). Nişasta-lipid kompleksinin DN etkisi, hidrofobik etkileşimler sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu etkileşim sonucunda heliksin iç boşluğu, metilen gruplarının ve glikozidik bağların varlığı nedeniyle güçlü bir şekilde hidrofobikken, dış yüzeyi, glikozil hidroksil gruplarının varlığı nedeniyle güçlü bir şekilde hidrofilik özellik göstermektedir (Hay vd., 2017; Wang vd., 2017; Lu vd., 2019). Kompleks oluşumu sırasında amiloz tarafından tutuklanan lipitin hidrofobik karakteri, nişasta granülünün su absorpsiyon kapasitesini azaltmakta ve böylelikle amilolitik enzim ulaşılabilirliği sınırlandırılmakta ve granül enzime karşı direnç kazanmaktadır (Zhang vd., 2012).

Kompleks oluşumu sırasında amilozun konformasyonel yapısı, hidrofobik katılım moleküllerin varlığında değişikliğe uğramaktadır (Putseys vd., 2010; Hay vd., 2017). Bu tür kompleksler, V tipi X-ışını kırınım modeli sergilemekte ve amorf (Tip I) ve kristalize (Tip II) olmak üzere iki farklı formda sentezlenebilmektedir. Amorf form daha düşük bir sıcaklıkta (~100°C) erirken, kristalize

kompleks formun daha yüksek bir erime sıcaklığına (100–125°C) sahip olduğu rapor edilmiştir (Tufvesson vd., 2003; Zhang vd., 2012). Nişasta-lipit komplekslerinin fizikokimyasal özellikleri doğrudan kompleks üretiminde kullanılan yağ asidinin zincir uzunluğu, lipid yapısı ve nişastanın amiloz/amilopektin oranından etkilenmektedir (Putseys vd., 2010; Lu vd., 2019). Daha uzun hidrokarbon zincirlerine sahip yağ asitlerinin enzimatik olarak daha dirençli amiloz-lipid kompleksleri oluşturduğu bildirilmiştir (Hasjim vd., 2010).

Amiloz-lipit katılım komplekslerinin sentezlenmesi yolu ile DN üretimi daha önce yürütülen çalışmalar ile açıklanmaya çalışılmıştır (Çizelge 1). Faruk vd. (2018), palm yağı ve pişmiş pirinç nişastaları (kahverengi, siyah, mumsu, beyaz pirinç nişastaları) ile kompleks üretimi

gerçekleştirerek bu komplekslerin *in vitro* sindirilebilirliklerini araştırmışlardır. Komplekslerin DN içeriğinin %13.8–23.9 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Sun vd. (2019), farklı oranlarda oleik asit ilavesi ile (%0, 2, 6, 10, 14) iki farklı sıcaklıkta amiloz-oleik asit kompleksi üretimini amaçladıkları çalışmalarında oleik asit artışı ve düşük test sıcaklığı (75°C) kullanımı ile DN seviyesinin artışı arasında doğrusal bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. Tang vd. (2022), nilüfer çekirdeği nişastası-miristik asit komplekslerinin DN içeriğini ise %67.03 olarak belirlemişlerdir. Li vd. (2021), mısır nişastası ve miristik asit komplekslerinin oluşumunu incelemişler ve mısır nişastası-miristik asit komplekslerinin DN içeriğini %59.92 olarak rapor etmişlerdir.

Çizelge 1. Nişasta katılım kompleksi yolu ile DN5 üretimine yönelik çalışmalar

Table 1. DN5 production studies via starch inclusion complexes

Nişasta <i>Starch</i>	Katılım bileşiği <i>Inclusion compound</i>	DN içeriği (%) <i>RS content (%)</i>	Kaynak <i>Reference</i>
Pirinç nişastası	Bütirik asit	80	Chumsri vd. (2022)
Yüksek amiloz nişastası	Palmitik asit	11-57	Guo ve Kong (2021)
Tatlı patates nişastası	Palmitik asit	60-71	Li vd. (2019)
Mısır nişastası	C6-C18 yağ asitleri	33-47	Lu vd. (2019)
Pirinç nişastası	C12-C18 yağ asitleri	4-32	Cui vd. (2021)
Buğday nişastası	Laurik asit	25-30	Kang vd. (2021)
Yüksek amilozlu mısır nişastası	Salisilik asit	25	Guo vd. (2023)
Patates nişastası	Kafeik asit	40	Li vd. (2020)
Yüksek amilozlu, vaksi, normal mısır nişastası	Kafeik asit	69-88	Han vd. (2020)
Nilüfer nişastası	Klorojenik asit	26-63	Wang vd. (2021)
Pirinç nişastası	Gallik asit	7	Sudlapa ve Suwannaporn, (2023).
Yüksek amilozlu mısır nişastası	Alkilresorsinol	40	Fan vd. (2022)

### Nişasta- Fenolik Katılım Kompleksleri

Nişasta sindirimini azaltmanın temel stratejilerinden birisi, sindirim sisteminde nişasta parçalanmasını katalize eden sindirim enzimleri olan amilaz ve glukozidazı inhibe etmektir (Sun ve Miao, 2020; Deng vd. 2021). Son yıllarda, farklı bitki kaynaklarından elde edilen ekstraktlar, nişasta sindirim enzimlere karşı inhibe edici kapasiteleri açısından araştırılmıştır (Papoutsis vd., 2021). Bu inhibe edici aktivite, bitki bazlı gıdalarda bulunan ve insan diyetinin önemli bir parçası olan bir grup fitokimyasal olan fenolik bileşiklere atfedilmiştir (Deng vd. 2021). Fenolik

bileşikler, sindirim enzimlerinin aktif bölgesi ile etkileşime girerek inhibisyona neden olmakta ve böylelikle nişasta sindirim oranını sınırlandırmaktadır (Aleixandre vd., 2021). Fenolik bileşikler, bu etki mekanizması ve nişasta katılım kompleksi oluşturma kapasitesi sayesinde DN5 üretiminde etkin bir rol oynamaktadır.

Nişasta ve fenolikler arasındaki kompleksleşme, nişasta ve fenolik asitlerin hem fizikokimyasal özelliklerinden hem de yapısından büyük ölçüde etkilenmektedir. Spesifik yüzey alanı, amiloz içeriği, granül boyutu ve çift sarmal yarıçapı gibi

nişastanın karakteristik özellikleri fenolik asitlerin nişasta ile kompleksleşme indeksini belirleyebilmektedir. Ayrıca, nişasta-fenolik asit kompleksinin oluşumunda fenolik asitlerin yapısında bulunan hidroksil grubu miktarı, metilasyon derecesi ve yapıdaki karbon zinciri uzunluğu, kompleksin etkileşim kuvvetini etkileyebilmektedir. Tüm bunlara ilaveten nişastaya uygulanan ön işlemler (ultrasonikasyon, yüksek basınç uygulaması, vb.) amiloz ve amilopektin fraksiyonlarının yeniden organize olmasına neden olduğundan nişasta ile fenolikler arasındaki etkileşimi artırabilmektedir (Guo vd., 2019; Deng vd. 2021).

Nişasta-fenolik katılım komplekslerinin üretimi ile ilgili son yıllarda önemli çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmalardan birisinde Gutierrez vd. (2020), amilozlu bir çözeltiye alkil gallatlar eklendiğinde nişasta sindiriminin geciktirildiğini belirlemişlerdir. Daha kısa zincirli alkil gallatların nişastanın sindirim enzimi olan amilaz aktivitesini inhibe ettiği, daha uzun zincirli olanların nişasta ile inklüzyon kompleksleri oluşturma olasılığının daha yüksek olduğu ve dolayısı ile YSN veya DN içeriğinde bir artışa yol açtığı kanısına varılmıştır. Zheng vd. (2021), ekstrüzyon işlemi sırasında pirinç unu ve klorojenik asitin kompleks oluşturma kapasitesini araştırmışlar ve klorojenik asit yüklü ekstrüde malzemeler için klorojenik asit içermeyen kontrol numunelerine kıyasla DN değerlerinde %10.28 ile %31.16 arasında değişen önemli bir artış tespit etmişlerdir. Han vd. (2020), kafeik asit ve yüksek amilozlu mısır nişastası ile DN5 üretimi gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar %69.58–88.94 aralığında değişen DN içeriği elde etmişlerdir. Nişasta-kafeik asit kompleksi  $\alpha$ -glukozidaz ve  $\alpha$ -amilazın enzimatik etkisini inhibe ederek nişasta sindirimini azaltmıştır. Kan vd. (2022), jelatinize ve jelatinize olmayan buğday nişastası ve tannik asit kullanarak DN5 tipi kompleks üretimini amaçlamışlardır. Araştırmada jelatinize buğday nişastası-tannik asit kompleksi ve karışımlarında %40-60 oranlarında DN içeriği elde edilmiştir. Chi vd. (2018), dodesil gallat-pirinç nişastası ile DN5 tipi komplekslerin üretimi için dodesil gallat polifenolünün konsantrasyonları %1, 5 ve 9 olacak şekilde ilave edilmesiyle DN

içeriğini %8.69–14.17 olarak rapor etmişlerdir. Wang vd. (2020), soya izoflavonu-mısır nişastası komplekslerinde soya izoflavonu sayesinde dirençli nişasta içeriğini %10.53'ten %21.78'e çıkarmışlardır. Chi vd. (2017), mısır nişastası-gallik asit komplekslerinin üretiminde nişasta ağırlığının %20 ve 40 oranında gallik asit ilavesinin nişasta sindirilebilirliğine etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar DN içeriğini %17.70–50.02 aralığında bulmuş ve nişasta sindirilebilirliğinin azaldığını tespit etmişlerdir.

## TIP 5 DİRENÇLİ NİŞASTANIN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Lipit ve fenolikler ile oluşturulan katılım kompleksleri DN5 sınıfına dahil edildiğinden diğer DN çeşitlerine atfedilen postprandiyal glisemik yanıtlarını, tip 2 diyabet, obezite, hipertansiyon ve kalp hastalığı oluşum riskini azaltıcı potansiyeline sahip olduğu bildirilmiştir (Hasjim vd., 2010). Ayrıca DN5 diğer çeşitler ile kıyaslandığında yapısında çoklu doymamış yağ asitleri ve fenolikler gibi biyoaktif bileşenleri de içerdiğinden daha yüksek fonksiyonel özelliğe sahiptir. Bu nedenle diyabet, obezite ve kanser gibi kronik rahatsızlıkların engellenmesinde daha yüksek etkiye sahip olduğu düşünülmektedir.

DN5'in en önemli sağlığa faydalı etkisi nişasta sindiriminin azaltılarak serum glikoz seviyesinin dengelenmesi yolu ile tip 2 diyabet oluşum riskinin azaltılmasıdır. Diyabet, vücutta insülin hormonunun yeterince sentezlenememesi veya ilgili reseptörlerin çalışmaması sonucunda kan şekerinde meydana gelen hızlı artış veya azalışlar ile kendini gösteren bir metabolizma rahatsızlığıdır. Postprandiyal glikoz ve insülin tepkileri, tüm vücut insülin duyarlılığı üzerinde önemli etkiler sundukları için geniş çapta incelenmiştir. Bozulmuş insülin duyarlılığı, çeşitli kronik hastalıklarla ilişkili olan insülin direncine yol açabilmektedir. DN alımından sonra postprandiyal glisemik ve insülinemik yanıtları araştırmaya yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır. Birçok grup DN alımını takiben postprandiyal kan glikoz düzeylerinde olumlu değişiklikler bildirmiştir (Guo vd., 2019).

Yürütülen bir klinik araştırmaya göre palmitik asit-amiloz kompleksi DN5 içeren ekme diyeti uygulanan bireylerin kan-serum testlerinin, DN5 içermeyen ekme ile beslenen kontrol grubuna göre önemli ölçüde daha az postprandiyal plazma-glikoz ve insülin tepkileri ile sonuçlandığını ortaya çıkarmıştır (Hasjim vd., 2010). Tang vd., (2022) nilüfer kökü nişastası ve miristik asit ile elde ettikleri kompleksleri diyabetik farelerin diyetinde kullanmışlardır. DN5'in diyabetik fareler üzerindeki düzenleyici etkisini *in vivo* olarak incelemek için fareler diyetlerinde sırasıyla 4 hafta boyunca %5 oranında DN5 ile beslenmiştir. Deney sırasında hızlı kan şekeri seviyesindeki artış izlenerek kaydedilmiştir. 4 haftalık süreç sonunda kontrol grubundaki farelerin kan şekeri seviyesi deney sırasında kademeli olarak artarken DN5 grubundaki farelerde ise %50.21 oranında daha az tespit edilmiştir. Araştırmacılar DN5'in hiperglisemiye etkili bir şekilde azaltabileceğini, diyabetik farelerde kilo kaybını önleyebileceğini ve glikoz homeostazını iyileştirebileceğini öngörmüştür.

DN5'e atfedilen bir başka sağlığa yararlı etki ise kolon mikroflorasının gelişimini desteklemesi ve gösterdiği prebiyotik etkiler ile kolon sağlığını ve hareketlerini düzenlemesidir. Prebiyotikler, düşük polimerizasyon derecesine sahip sindirilemeyen gıda bileşeni olarak kabul edilmekte ve kolonda bulunan bakteri türlerinin büyümesini ve/veya aktivitesini uyararak konakçıya faydalı etkiler göstermektedir. Araştırmalar, kalın bağırsağa ulaşan DN'nin, asetik asit, propiyonik asit ve bütirik asit dahil olmak üzere kısa zincirli yağ asitleri oluşturmak için bağırsak mikroflorası tarafından fermente edilebileceğine dair kanıtlar sağlamıştır (Zhao ve ark., 2011; Xu vd. 2020; Do vd. 2021; Bojarczuk vd. 2022). DN5 diğer DN çeşitleri ile kıyaslandığında oldukça yeni bir konu olmasından dolayı DN5'in kolon mikroflorası üzerindeki prebiyotik etkilerinin araştırıldığı oldukça sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan birisinde Qin vd. (2021) DN5'in kolon mikrobiyotası üzerindeki fermentatif kapasitesini *in vitro* yöntemlerle araştırmış ve DN2 ve DN3 ile karşılaştırmalı olarak ortaya koymayı amaçlamıştır. Çalışmada tüm DN tiplerinin insan kolon mikrobiyota bakterileri tarafından fermente edilebildiği ancak DN5 varlığında bütirojenik

aktivitenin önemli oranda arttığı bildirilmiştir. Ayrıca DN5'in diğer DN tipleri ile karşılaştırıldığında *Bifidobacterium*, *Dialister*, *Collinsella*, *Romboutsia* ve *Megamobas* gelişimini seçici olarak daha çok teşvik ettiği rapor edilmiştir.

Araştırmalar, DN tüketiminin *in vivo* olarak toplam serum trigliserit ve kolesterol düzeylerini düşürdüğünü göstermiş olup bu etkisi ile kilo alımının kontrol edilmesi ile obezite riskinin azaltılabileceği belirtilmiştir (De Martino ve Cockburn, 2020). Obezite üzerine DN5'in etkisinin incelendiği çalışmalar konunun yeni olması nedeniyle oldukça sınırlı sayıda kalmıştır. Bu çalışmalardan birisinde Zheng vd., (2021) yüksek yağlı diyetle beslenen farelerde pirinç nişastası-oleik asit kompleksinin biyolojik ve fizyolojik etkilerini incelemişlerdir. Deneklere yüksek yağlı diyet, jelatinize pirinç nişastası ve pirinç nişastası-oleik asit kompleksi olmak üzere üç farklı diyet sekiz hafta süre ile uygulanmış ve diyet müdahalesinden sonra farelerin vücut ağırlığındaki değişiklikler incelenmiştir. Özellikle yüksek yağlı diyet uygulanan grupta, vücut ağırlığının artması yönünde bariz bir eğilim gözlenmiş olup bu grup deneklerde böbrek üstü yağ ve karaciğer ağırlığı, diğer iki grubunkinden önemli ölçüde daha yüksek çıkmıştır. Jelatinize pirinç nişastası diyeti uygulanan grup ile karşılaştırıldığında, pirinç nişastası-oleik asit kompleksi takviyesi, farelerin karaciğer ağırlığını önemli ölçüde azaltmıştır. Bu sonuçlar, nişasta-yag asidi kompleksinin karaciğerde yağ birikimini kontrol etmede iyi performans sergilediğini ve böylelikle obezitenin kontrolünde etkili olabileceğini göstermiştir.

## SONUÇ

Yeni tip DN çeşidi olan ve nişastanın lipitlerle veya fenolik bileşiklerle katılım kompleksi oluşturması yolu ile üretilen DN5 önemli bir modifiye nişasta ürünüdür. DN5, amiloz-lipit kompleksi ve amiloz-fenolik asit kompleksi olarak elde edilebilmektedir. Lipitler ve fenolik asitler nişasta sindirimini katalizleyen amilaz gr bu enzimleri inhibe ederek veya bu enzimlerin nişasta ile etkileşimlerini azaltarak nişasta sindirimini yavaşlatabilmektedirler. Böylelikle nişastanın serbest glikoza dönüşümü sınırlanmakta ve fizyolojik olarak olumlu etkiler görülmektedir.

DN5 yüksek düzeyde diyet lifi içermesinin yanında çoklu doymamış yağ asitleri veya antioksidan bileşikler de içerdiğinden önemli bir fonksiyonel nişasta kaynağıdır.

Sınırlı sayıda yapılan çalışmalarda DN5'in diğer DN tiplerine göre üstün teknolojik ve fizyolojik özellikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ancak bu çalışmaların çoğunluğu komplekslerin üretim sonrasında herhangi bir gıda prosesine uygulanmadan önceki halleri ile ilgili bilgiler sunmaktadır. Halbuki sınıflandırma fark etmeksizin DN, ilave edildiği ürünün sağlığa faydalı etkilerini iyileştirirken diğer bir taraftan ise tekstürel ve duyuşsal özelliklerinde önemli değişimlere neden olabilmektedir. Tüm bunlara ilaveten farklı biyoaktif bileşenler ile üretilen DN5'in farklı gıda üretim proseslerinde uğradığı değişimler ve fizyolojik özelliklerinin üretim sonrasında korunup korunmadığına ilişkin bilgiler de henüz literatürde mevcut değildir. Bu gibi sebeplerle DN5'in gıda uygulamaları ile ilgili araştırma kapsamının artırılmasının öncelikli olduğu değerlendirilmiştir.

#### YAZAR KATKILARI

Tüm yazarlar makale literatürlerinin taranmasında, derlenmesinde ve makale yazımında ve yayınlanmasında eşit oranda katkı sağlamışlardır.

#### ÇIKAR İLİŞKİSİ

Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

#### KAYNAKLAR

Ai, Y., Zhao, Y., Nelson, B., Birt, D. F., Wang, T. and Jane, J. L. (2013). Characterization and In Vivo Hydrolysis of Amylose-Stearic Acid Complex. *Cereal Chem*, 91(5): 466-472.

Aleixandre, A., Benavent-Gil, Y., Moreira, R. and Rosell, C. M. (2021) In vitro digestibility of gels from different starches: Relationship between kinetic parameters and microstructure, *Food Hydrocolloid*, 120: 106909.

Bede, D., Zaixiang, L. (2021). Recent developments in resistant starch as a functional food. *Starch*, 73(3-4), 2000139.

Bojarczuk, A., Skapska, S., Khaneghah, A. M., Marszałek, K. (2022). Health benefits of resistant

starch: A review of the literature. *J Funct Foods*, 93: 105094.

Chi, C., Li X., Zhang Y., Chen L., Li L., Wang Z. (2017). Digestibility and supramolecular structural changes of maize starch by non-covalent interactions with gallic acid. *Food Func*, 8: 720-730.

Chi, C., Li, X., Feng, T., Zeng, X., Chen, L., Li, L. (2018). Improvement in nutritional attributes of rice starch with dodecyl gallate complexation: A molecular dynamic simulation and in vitro study. *J Agr Food Chem*, 66: 9282-9290.

Chumsri, P., Panpipat, W., Cheong, L. Z., Chaijan, M. (2022). Formation of intermediate amylose rice starch-lipid complex assisted by ultrasonication. *Food*, 11: 2430.

Cui, J., Zheng, B., Liu, Y., Chen, L., Li, B., Li, L. (2021). Insights into the effect of structural alternations on the digestibility of rice starch-fatty acid complexes prepared by high-pressure homogenization. *Food Sci Technol*, 136: 110294.

De Martino P., Cockburn D.W. (2020). Resistant starch: impact on the gut microbiome and health. *Curr Opin Biotechnol*, 61:66-71.

Deng, N., Deng, Z., Tang, C., Liu, C., Luo, S., Chen, T., Hu, X. (2021). Formation, structure and properties of the starch-polyphenol inclusion complex: A review. *Trend Food Sci Tech*, 112: 667-675.

Di Marco, A. E., Ixtaina, V. Y., Tomás, M. C. (2022). Analytical and technological aspects of amylose inclusion complexes for potential applications in functional foods. *Food Biosci*, 47: 101625.

Do, M.H., Seo, Y.S., Park, H.Y. (2021). Polysaccharides: bowel health and gut microbiota. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 61: 1-13.

Dong, H., Vasanthan, T. (2020). Amylase resistance of corn, faba bean, and field pea starches as influenced by three different phosphorylation (cross-linking) techniques. *Food Hydrocolloid*, 101: 105506.

Fan, H., Chen, Z., Xu, L., Wen, Y., Li, H., Wang, J., Sun, B. (2022). Both alkyl chain length and V-amylose structure affect the structural and digestive stability of amylose-alkylresorcinols



- inclusion complexes. *Carbohydr Polym*, 292: 119567.
- Faruk A. M., Dhital S., Li C., Zhang B., Huang Q. (2018). Effects of palm oil on structural and in vitro digestion properties of cooked rice starches. *Int J Biol Macr*, 07: 1080-1085.
- Garcia- Hernandez, A., Roldan- Cruz, C., Vernon- Carter, E. J., Alvarez- Ramirez, J. (2023). Stale bread waste recycling as ingredient for fresh oven- baked white bread: Effects on dough viscoelasticity, bread molecular organization, texture and starch digestibility. *J Sci Food Agr*, <https://doi.org/10.1002/jsfa.12442>
- Gutierrez A.S.A., Guo J., Feng J., Tan L., Kong L. (2020). Inhibition of starch digestion by gallic acid and alkyl gallates. *Food Hydrocolloid*, 102:105603.
- Guo, Z., Zhao, B., Chen, J., Chen, L. and Zheng, B. (2019). Insight into the characterization and digestion of lotus seed starch-tea polyphenol complexes prepared under high hydrostatic pressure. *Food Chem*, 297: 124992.
- Guo, J., Kong, L. (2021). Inhibition of in vitro starch digestion by ascorbyl palmitate and its inclusion complex with starch. *Food Hydrocolloid*, 121: 107032.
- Guo, J., Shi, L., Kong, L. (2023). Structure-digestibility relationship of starch inclusion complex with salicylic acid. *Carbohydr Polym*, 299: 120147.
- Hasjim, J., Lee, S. O., Hendrich, S., Setiawan, S., Ai, Y. F., Jane, J. L. (2010). Characterization of a novel resistant-starch and its effects on postprandial plasma glucose and insulin responses. *Cereal Chem*, 87: 257-262.
- Hasjim, J., Ai, Y., Jane, J.L. (2013). Novel Applications of Amylose-Lipid Complex as Resistant Starch Type 5. *Resistant Starch: Sources, Applications and Health Benefits*. Eds: Shi, Y.C, Maningat, C.C. John Wiley and Sons, Ltd., West Sussex, UK.
- Han M., Bao W., Wu Y., Ouyang J. (2020), Insights into the effects of caffeic acid and amylose on in vitro digestibility of maize starch-caffeic acid complex. *Int J Biol Macr*, 162: 922-930.
- Hay, W. T., Behle, R. W., Fanta, G. F., Felker, F. C., Peterson, S. C., Selling, G. W. (2017). Effect of spray drying on the properties of amylose-hexadecylammonium chloride inclusion complexes. *Carbohydr Polym*, 157: 1050-1056.
- Hernandez, H. A. R., Gutiérrez, T. J., Bello-Pérez, L. A. (2022). Can starch-polyphenol V-type complexes be considered as resistant starch?. *Food Hydrocolloid*, 124: 107226.
- Jiang, F., Du, C., Jiang, W., Wang, L., Du, S. K. (2020). The preparation, formation, fermentability, and applications of resistant starch. *Int J Bio Macr*, 150: 1155-1161.
- Kaimal, A. M., Mujumdar, A. S., Thorat, B. N. (2021). Resistant starch from millets: Recent developments and applications in food industries. *Trend Food Sci Tech*, 111: 563-580.
- Kan L., Capuano E., Oliviero T., Renzetti S. (2022). Wheat starch-tannic acid complexes modulate physicochemical and rheological properties of wheat starch and its digestibility. *Food Hydrocolloid*, 126: 107459.
- Kang, X., Gao, W., Wang, B., Yu, B., Guo, L., Cui, B., Abd El-Aty, A. M. (2021). Effect of moist and dry-heat treatment processes on the structure, physicochemical properties, and in vitro digestibility of wheat starch-lauric acid complexes. *Food Chem*, 351: 129303.
- Li, X., Gao, X., Lu, J., Mao, X., Wang, Y., Feng, D., Gao, W. (2019). Complex formation, physicochemical properties of different concentration of palmitic acid yam (*Dioscorea pposita* Thunb.) starch preparation mixtures. *Food Sci Technol*, 101: 130-137.
- Li, M., Ndiaye, C., Corbin, S., Foegeding, E. A., Ferruzzi, M. G. (2020). Starch-phenolic complexes are built on physical CH- $\pi$  interactions and can persist after hydrothermal treatments altering hydrodynamic radius and digestibility of model starch-based foods. *Food Chem*, 308: 125577.
- Li, Q., Dong, Y., Gao, Y., Du, S. K., Li, W., Yu, X. (2021). Functional properties and structural characteristics of starch-fatty acid complexes prepared at high temperature. *J Agr Food Chem*, 69: 9076-9085.

- Lu, X., Shi, C., Zhu, J., Li, Y. and Huang, Q. (2019). Structure of starch-fatty acid complexes produced via hydrothermal treatment. *Food Hydrocolloid*, 88: 58-67.
- Papoutsis, K., Zhang, J., Bowyer, M. C., Brunton, N., Gibney, E. R. and Lyng, J. (2021). Fruit, vegetables, and mushrooms for the preparation of extracts with  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase inhibition properties: A review. *Food Chem*, 338: 128119.
- Pivetta, F. P., Silva, M. N. D., Tagliapietra, B. L., Richards, N. S. D. S. (2019). Addition of green banana biomass as partial substitute for fat and encapsulated *Lactobacillus acidophilus* in queijo cremoso processed cheese. *Food Sci Technol*, 40: 451-457.
- Putseys, J. A., Lamberts, L. and Delcour, A. J. (2010). Amylose-inclusion complexes: Formation, identity and physico-chemical properties. *J Cereal Sci*, 51: 238-247.
- Qin, R., Wang, J., Chao, C., Yu, J., Copeland, L., Wang, S., Wang, S. (2021). RS5 produced more butyric acid through regulating the microbial community of human gut microbiota. *J Agr Food Chem*, 69: 3209-3218.
- Sinhmar, A., Pathera, A. K., Sharma, S., Nehra, M., Thory, R., Nain, V. (2023). Impact of Various Modification Methods on Physicochemical and Functional Properties of Starch: A Review. *Starch*, 75: 2200117.
- Sudlapa, P., Suwannaporn, P. (2023). Dual complexation using heat moisture treatment and pre-gelatinization to enhance Starch-Phenolic complex and control digestibility. *Food Hydrocolloid*, 136: 108280.
- Sun S., Hong Y., Gu Z., Cheng L., Li Z., Li C. (2019). An investigation into the structure and digestibility of starch-oleic acid complexes prepared under various complexing temperatures. *Int J Biol Macr*, 138: 966-974.
- Sun, L., Miao, M. (2020). Dietary polyphenols modulate starch digestion and glycaemic level: A review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 60:541-555.
- Tan, L., Kong, L. (2020). Starch-guest inclusion complexes: Formation, structure, and enzymatic digestion. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 60: 780-790.
- Tang J., Liang Q., Ren X., Raza H., Ma H. (2022). Insights into ultrasound-induced starch-lipid complexes to understand physicochemical and nutritional interventions. *Int J Biol Macr*, 222: 950-960.
- Tufvesson F., Wahlgren M., Eliasson A.C. (2003). Formation of amylose-lipid complexes and effects of temperature treatment. *Starch*, 55: 61-71.
- Wang, S., Zheng, M., Yu, J., Wang, S., Copeland, L. (2017). Insights into the formation and structures of starch-protein-lipid complexes. *J Agr Food Chem*, 65(9): 1960-1966.
- Wang S., Wu T., Cui W., Liu M., Wu Y., Zhao C. (2020). Structure and in vitro digestibility on complex of corn starch with soy isoflavone. *Food Sci Nutr*, 8: 6061-6068.
- Xu J., Ma Z., Li, X. Liu L., Hu X. (2020). A more pronounced effect of type III resistant starch vs. type II resistant starch on ameliorating hyperlipidemia in high fat diet-fed mice is associated with its supramolecular structural characteristics. *Food Funct*, 11: 1982-1995.
- Zhang B., Huang Q., Luo F.x., Fu X. (2012). Structural characterizations and digestibility of debranched high-amylose maize starch complexed with lauric acid. *Food Hydrocolloid*, 28: 174-181.
- Zhao, Y. S., Hasjim, J., Li, L., Jane, J. L., Hendrich, S., Birt, D. F. (2011). Inhibition of Azoxymethane-Induced Preneoplastic Lesions in the Rat Colon by a Cooked Stearic Acid Complexed High-Amylose Cornstarch. *J Agr Food Chem*, 59: 9700-9708.
- Zheng Y., Yin X., Kong X., Chen S., Xu E., Liu D. (2021). Introduction of chlorogenic acid during extrusion affects the physicochemical properties and enzymatic hydrolysis of rice flour. *Food Hydrocolloid*, 116: 106652.