

Genetik ve Beslenme: Performans optimizasyonunda Beslenme

Hilal Kılınç¹

Özet

Genetik ve beslenme arasındaki ilişki, bireylerin metabolizmasını, enerji kullanımını ve fiziksel performanslarını doğrudan etkileyen önemli faktörlerden biridir. Genetik faktörler, kas yapısı ve enerji metabolizmasını belirleyerek bireylerin dayanıklılığını, güç kapasitesini ve toparlanma süreçlerini etkileyebilir. Performans iyileştirmede beslenmenin genetik temele dayalı olarak kullanılması, bireyin genetik yapısına uygun besin seçimleri ile fiziksel kapasitesinin artırılmasını sağlamaktadır. Ayrıca, yaralanma riski ve iyileşme sürecinde beslenme stratejileri, genetik faktörler ile bütünleştiğinde, doku onarımını hızlandırarak sakatlanma riskini azaltabilir. Genetik testlerin ve kişiselleştirilmiş beslenme uygulamalarının yaygınlaşması, sporcu sağlığı ve performansı açısından büyük bir potansiyel taşımaktadır.

Giriş

Genetik bireylerin besin öğelerini nasıl metabolize ettikleri ve vücutlarında nasıl kullandıkları üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Özellikle, genetik varyantlar sporcuların karbonhidrat, yağ ve protein metabolizmasını nasıl işlediğini belirleyebilir, bu da antrenman ve iyileşme süreçlerini etkileyebilir (Lorenzo et al., 2020). Örneğin, bazı bireyler belirli genetik varyantlar nedeniyle daha verimli bir şekilde yağları enerji kaynağı olarak kullanırken, diğerleri karbonhidratları daha iyi metabolize edebilir. Bu tür genetik bilgilerin kullanımı, kişiselleştirilmiş beslenme planları oluşturulmasını mümkün kılar ve sporcuların performanslarını optimize etmelerine yardımcı olabilir (Williams, 2017).

Beslenme genetik faktörlerin yanı sıra egzersiz türüne, antrenman yoğunluğuna ve bireyin hedeflerine bağlı olarak büyük değişiklikler

1 Doç. Dr., Dokuz Eylül üniversitesi Necat Hepkon spor bilimleri fakültesi
0000-0003-1946-6073, kilinc.hilal@deu.edu.tr

gösterebilir. Genetik testler, bireylerin besin öğelerine verdiği yanıtı belirleyerek, sporculara antrenman süresince ve sonrasında enerji dengesini korumak için en uygun diyet stratejilerini sunabilir. Ayrıca, antioksidanlar, protein alımı ve hidrasyon gibi beslenme faktörleri, genetik temele dayalı performans iyileştirmeleri için önemli araçlar olabilir (Lippi et al., 2017).

Genetik ve beslenme arasındaki etkileşim sporcuların yeterli enerji alımını sağlamak, kas onarımını hızlandırmak, iyileşmeyi desteklemek ve performansını artırmak için kullanıldığında büyük faydalar sağlayabilir. Ancak, beslenme stratejilerinin sadece genetik verilere dayanarak belirlenmemesi gerektiği unutulmamalıdır. Çevresel faktörler, yaşam tarzı ve antrenman geçmişi de performans üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Maughan et al., 2018).

1. Genetik ve Beslenme İlişkisi

Genetik ve beslenme arasındaki ilişki, bireylerin sağlık durumu, performansı ve genel fizyolojik işleyişi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Genetik faktörler, vücudun besinleri nasıl metabolize ettiğini, hangi besin öğelerinin daha verimli kullanıldığını ve hangi sağlık sorunlarına yatkınlık gösterildiğini belirleyebilir. Öte yandan, beslenme alışkanlıkları da genetik yatkınlıkları şekillendirebilir ve genetik özelliklere bağlı olarak farklı biyolojik yanıtlar ortaya çıkabilir. Genetik ve beslenme arasındaki etkileşim, genetik varyasyonların besin öğelerinin emilimini, metabolizmasını ve işlevselliğini nasıl etkilediğini inceleyen nutrigenomik bilim dalı tarafından araştırılmaktadır. Örneğin, Müller ve arkadaşları (2019), genetik varyasyonların besin öğelerinin biyoyararlanımını ve metabolizmasını nasıl etkileyebileceğini araştırmış ve bazı genetik profillerin belirli besinlere daha duyarlı olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada, vitamin D metabolizması ile ilgili genetik varyasyonların, vücutta vitamin D seviyelerinin nasıl farklılık gösterdiği üzerine etkisi incelenmiştir.

Beslenme düzeni aynı zamanda genetik yatkınlıkların vücut ağırlığı ve yağ depolanması üzerinde nasıl etki gösterdiğini de etkileyebilir. Cunningham ve arkadaşları (2020), bireylerin genetik profillerine göre farklı diyet yaklaşımlarının daha etkili olabileceğini vurgulamaktadır. Genetik faktörler, bazı bireylerin düşük karbonhidratlı diyetlere daha iyi yanıt verirken, diğerlerinin daha fazla yağ yakabilmesi için farklı beslenme şekillerine ihtiyaç duyabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca, bazı genetik varyasyonlar, bireylerin yüksek proteinli diyetlere karşı gösterdiği metabolik tepkileri de değiştirebilir. Ayrıca, genetik ve beslenme arasındaki ilişki, bireylerin kronik hastalıklara yatkınlıkları üzerinde de etkili olabilir. Fenech ve arkadaşları (2017) genetik faktörlerin ve beslenme alışkanlıklarının, özellikle kanser

ve kardiyovasküler hastalıklar gibi hastalıkların gelişiminde önemli bir rol oynadığını öne sürmektedir. Genetik yatkınlıklar, belirli besin öğelerine olan ihtiyacı artırabilir veya bireylerin diyetle aldıkları bazı besinleri daha verimli kullanmalarını sağlayabilir.

- **Nutrigenetik ve Nutrigenomik:** Nutrigenetik ve nutrigenomik arasındaki farklar, bu iki alanın beslenme ve genetik ilişkisini nasıl ele aldığını belirler. Nutrigenetik, bireylerin genetik özelliklerinin, besin alımına ve metabolizmasına nasıl tepki verdiğini araştırırken, nutrigenomik, gen ekspresyonunu besinlerle nasıl değiştirdiğini inceler. Bu iki alan, metabolizmanın düzenlenmesinde ve sağlık sorunlarının önlenmesinde önemli bilgi sağlar. Nutrigenomik, genetik yapıdaki değişikliklerin besinler tarafından nasıl tetiklendiğini, genlerin ifadesini nasıl modüle ettiğini ve bireylerin genetik yatkınlıklarına göre kişiselleştirilmiş beslenme stratejilerinin önemini vurgular (Franzago ve ark., 2020; Heianza & Oi, 2017; Bordoni & Gabbianelli, 2019).
- **Obezite ve Metabolik Hastalıklar:** Genetik yatkınlık obezite ve diğer metabolik hastalıkların gelişiminde önemli bir rol oynar. Çeşitli genetik faktörler, obeziteye eğilimli bireylerin daha yüksek vücut ağırlığına sahip olmasına yol açabilir. Öne çıkan genetik faktörler arasında *FTO*, *MC4R* ve *LEPR* gibi genetik varyasyonlar bulunmaktadır. Bu genler, metabolizmanın düzenlenmesinde ve yağ depolanmasında etkili olan mekanizmaları kontrol eder. Bu genetik yatkınlıklar, beslenme düzeninin bireyler üzerinde nasıl bir etkisi olacağını belirlerken, genetik etkileşimlerin beslenme tercihlerindeki rolünü anlamak, obezite riskini azaltma stratejilerinin geliştirilmesinde büyük önem taşır (Górczyńska-Kosiorz ve ark., 2024).
- **Kişiselleştirilmiş Beslenme:** Genetik veriler, kişisel beslenme tercihlerinin belirlenmesinde büyük bir rol oynar. Genetik analizler, bireylerin hangi besin öğelerine daha duyarlı olduğunu, hangi diyetlerin onlara daha uygun olduğunu ve sağlık risklerini nasıl azaltabileceklerini belirlemeye yardımcı olabilir. Bununla birlikte, gen-diyet etkileşimlerinin karmaşıklığı, kişiselleştirilmiş beslenme stratejilerinin geliştirilmesi sürecinde daha fazla araştırma ve veri gerektirdiğini göstermektedir. Nutrigenetik ve nutrigenomik araştırmalarının daha fazla ilerlemesi, kişiselleştirilmiş beslenmenin yaygınlaşmasını sağlayacaktır (Mullins ve ark., 2020; Holzapfel ve ark., 2022).
- **Epigenetik ve Beslenme:** Epigenetik değişiklikler, besinlerin gen ekspresyonunu nasıl modüle ettiğini gösteren önemli mekanizmalardır.

Beslenme, epigenetik modifikasyonlar aracılığıyla genlerin ifade edilme şeklini değiştirebilir, bu da bireylerin sağlık durumunu ve hastalıklara yatkınlıklarını etkileyebilir. Bu değişiklikler, yaşam tarzı, çevresel etmenler ve genetik faktörlerin bir kombinasyonu olarak genetik ifadenin kontrolünde rol oynar. Epigenetik, beslenme alışkanlıklarının, uzun vadede bireylerin metabolizması üzerinde kalıcı etkiler bırakabileceğini göstermektedir (Bordoni & Gabbianelli, 2019).

- **Transgenerasyonel Etkiler:** Beslenme alışkanlıklarının genetik yatkınlıkları nesiller arası aktarabilmesi, transgenerasyonel etkilerin bir örneğidir. Yani, bir neslin beslenme düzeni, sonraki nesillerin genetik yapısını etkileyebilir. Bu, özellikle metabolik hastalıkların önlenmesi veya tedavisinde önemlidir. Bu tür etkileşimler, beslenme ile ilgili davranışların genetik mirasla nasıl ilişkilendirilebileceği hakkında daha fazla bilgi edinmeyi sağlayacak şekilde araştırılmalıdır (Franzago ve ark., 2020).

Genetik Varyasyonlar ve Besin Metabolizması: Bireylerin genetik farklılıkları, besinleri nasıl işlediklerini ve hangi diyetlerin onlar için en uygun olduğunu belirleyebilir.

Laktoz İntoleransı ve LCT Geni: Laktozu sindirmek için gerekli olan laktaz enziminin üretimi, LCT genindeki varyasyonlara bağlıdır. Avrupa kökenli bireylerin çoğu laktaz enzimi üretmeye devam ederken, Asya ve Afrika kökenli bireylerin önemli bir kısmında yetişkinlikte laktaz üretimi azalır ve laktoz intoleransı gelişir (Enattah et al., 2002).

Kafein Metabolizması ve CYP1A2 Geni: CYP1A2 genindeki varyasyonlar, bireylerin kafeini hızlı veya yavaş metabolize etmesine neden olur. Hızlı metabolize eden bireyler için kafein tüketimi genellikle güvenli olabilirken, yavaş metabolize edenler için aşırı kafein alımı, kalp hastalığı riskini artırabilir (Cornelis et al., 2006).

Folat Metabolizması ve MTHFR Geni: MTHFR geninde bulunan C677T polimorfizmi, folat metabolizmasını etkileyerek homosistein seviyelerinin yükselmesine yol açabilir. Bu durum, kardiyovasküler hastalık riskini artırabilir ve folik asit takviyesine duyulan ihtiyacı belirleyebilir (Bailey & Gregory, 1999).

Vitamin Metabolizması: Genetik varyasyonlar, bireylerin vitamin alımlarına verdikleri tepkileri etkileyebilir. Örneğin, vitamin D metabolizması ve taşınmasında rol oynayan proteinleri kodlayan genlerdeki polimorfizmler, vitamin D durumunu etkileyebilir. Benzer şekilde, SCAR-B1 genindeki

ve lipoprotein metabolizmasındaki SNP'ler, vitamin E durumunu etkileyebilir. Sodyum bağımlı vitamin C taşıma proteinlerini kodlayan genlerin varyantları, vücudun vitamin C durumuyla büyük ölçüde ilişkilidir. B-kompleks vitaminleri açısından, *MTHFR* genindeki varyantlar özellikle dikkat çekmektedir (Niforou ve ark., 2020).

Genetik Yatkınlık ve Obezite: Obezite, genetik ve çevresel faktörlerin karmaşık etkileşimi sonucu ortaya çıkar. *FTO*, *MC4R* ve *LEPR* gibi genler, vücut ağırlığını ve yağ metabolizmasını düzenleyen kritik genlerdir.

FTO (Fat Mass and Obesity-Associated) Geni: *FTO* genindeki bazı varyasyonlar, iştah artışı ve yüksek kalorili gıdalara eğilim ile ilişkilidir. Bu genin belirli varyantlarına sahip bireylerde obezite riski daha yüksektir (Frayling et al., 2007).

MC4R Geni: Hipotalamusta enerji dengesini düzenleyen *MC4R* genindeki mutasyonlar, açlık hissini artırarak aşırı besin tüketimine yol açabilir (Loos et al., 2008).

LEPR (Leptin Reseptör) Geni: *LEPR* genindeki mutasyonlar, leptin hormonunun etkinliğini azaltarak iştah kontrol mekanizmalarını bozabilir ve kilo alımına neden olabilir (Montague et al., 1997).

Bu genetik yatkınlıklar beslenme düzeninin kişiye özel olarak uyarlanmasını gerektirir. Örneğin, *FTO* gen varyantına sahip bireyler için karbonhidrat alımının kontrol altına alınması, kilo yönetimine yardımcı olabilir (Sonestedt et al., 2011).

Beslenmenin Gen Ekspresyonuna Etkisi (Nutrigenomik): Besinler, yalnızca enerji ve yapı taşı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda gen ekspresyonunu da değiştirebilir. Nutrigenomik, besin bileşenlerinin gen aktivitesini nasıl değiştirdiğini inceler.

Omega-3 Yağ Asitleri ve Enflamasyon: Omega-3 yağ asitleri, *PPAR-γ* gibi genlerin ekspresyonunu değiştirerek enflamasyonu azaltabilir ve kardiyovasküler hastalık riskini düşürebilir (Calder, 2010).

Polifenoller ve Kanser Önleme: Brokoli, yeşil çay ve kırmızı meyvelerde bulunan polifenoller, kanserle ilişkili genleri susturarak anti-kanserojen etkiler gösterebilir (Surh, 2003).

Diyet ve Epigenetik Değişiklikler: Besinler, DNA metilasyonu ve histon modifikasyonu gibi epigenetik mekanizmalar aracılığıyla gen ekspresyonunu etkileyebilir. Örneğin, folik asit, B12 vitamini ve metiyonin gibi besinler, DNA metilasyon süreçlerini düzenleyerek gen ekspresyonunu değiştirebilir (Waterland & Jirtle, 2003).

Kişiselleştirilmiş Beslenme ve Genetik Testler: Genetik testler, bireylere en uygun beslenme planını belirlemeye yardımcı olabilir. Genetik varyasyonların besin gereksinimlerini ve metabolizmasını nasıl etkilediğine dair anlayışımız kişiselleştirilmiş beslenme programlarının tasarımını geliştirebilir. Özellikle, kolin ve folat yolak enzimlerindeki yaygın genetik varyantlar, kolin gereksinimlerini ve metabolizmasını önemli ölçüde etkileyebilir

Gluten Duyarlılığı ve HLA-DQ2/DQ8 Genleri: Çölyak hastalığı, HLA-DQ2 ve HLA-DQ8 genlerine sahip bireylerde daha yaygındır. Bu genetik profili taşıyan bireyler için glutensiz diyet önerilir (Karell et al., 2003).

Tuz Duyarlılığı ve ACE Geni: ACE genindeki polimorfizmler, bireylerin tuz tüketimine verdiği yanıtı etkileyebilir. Bazı bireyler, yüksek tuz alımıyla hipertansiyon geliştirmeye daha yatkın olabilir (Svetkey et al., 1996).

2. Kas yapısı ve enerji metabolizması üzerine genetik etkiler

Kas yapısı ve enerji metabolizması, bireylerin fiziksel performansını etkileyen temel biyolojik süreçlerdir ve genetik faktörler bu süreçler üzerinde belirleyici bir rol oynar. Özellikle kas lifi tipleri, oksijen kullanım kapasitesi ve enerji üretimi ile ilgili genetik varyasyonlar, bireylerin dayanıklılık veya güç sporlarına daha yatkın olup olmadığını belirleyebilir. *ACTN3* ve *ACE* gibi genler, kas tipi dağılımı ve kardiyovasküler dayanıklılıkla doğrudan ilişkilidir (MacArthur & North, 2007). *ACTN3* geni, hızlı kasılan (Tip II) kas liflerinin gelişimini desteklerken, *ACE* geninin I/D polimorfizmi dayanıklılık veya güç sporlarında avantaj sağlayabilir (Williams et al., 2000). Enerji metabolizması açısından, *PPARGC1A* geni mitokondriyal biyogenez ve aerobik kapasiteyi artırarak dayanıklılık sporlarında önemli bir rol oynar (Eynon et al., 2011). Ayrıca, *MSTN* geni (Miyostatin) kas büyümesini baskılayan bir protein kodlar ve bu genin belirli varyasyonları, kas kütlesi artışını olumlu yönde etkileyebilir (Ferrell et al., 1999). Kas liflerinin glikojen depolama kapasitesini ve laktat toleransını etkileyen *SLC16A1* geni ise anaerobik performans için kritik bir bileşendir (Rogers et al., 2003).

Tablo 1. Kas yapısı ve enerji metabolizması ile ilgili temel genler ve spor performansındaki etkileri

Gen	İlgili Özellik	Spor Performansına Etkisi
<i>ACTN3</i>	Hızlı kas lifleri (Tip II)	Sprint ve güç sporlarında avantaj sağlar
<i>ACE</i>	Kardiyovasküler dayanıklılık	Dayanıklılık ve güç sporlarında etkili
<i>PPARGC1A</i>	Mitokondriyal biyogenez ve enerji üretimi	Aerobik dayanıklılığı artırabilir
<i>MSTN</i>	Miyostatin (kas büyümesini düzenler)	Kas kütlesi artışı etkileyebilir
<i>SLC16A1</i>	Laktat taşıma kapasitesi	Yüksek yoğunluklu egzersiz performansını artırabilir

Genetik faktörlerin kas yapısı ve enerji metabolizması üzerindeki etkileri, bireylerin spor branşlarındaki başarılarını belirlemede önemli bir rol oynayabilir. Ancak, genetik yatkınlık tek başına belirleyici değildir; antrenman, beslenme ve yaşam tarzı faktörleri de spor performansının gelişiminde kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, genetik testlerin sporcuların bireysel ihtiyaçlarını belirlemek için kullanılması, performanslarını optimize etmek açısından büyük bir avantaj sağlayabilir. Ayrıca;

Adenylate Kinase I (*AKI*) Geninin Rolü: *AKI* geninin yokluğu, kasların enerji ekonomisini bozarak daha yüksek *ATP* tüketimine ve metabolik stres altında artan enerji maliyetine yol açar. Bu, kasların düşük metabolik maliyetle performans göstermesini zorlaştırır (Janssen ve ark., 2000).

Rendement Napole (RN) ve Halothane (Hal) Gen Mutasyonları: Bu mutasyonlar, domuz kasında enerji metabolizmasını ve kas lifi tipi kompozisyonunu etkiler. RN mutasyonu, kaslarda glikojen birikimini artırırken, Hal mutasyonu enerji metabolizmasını değiştirir (Park ve ark., 2009; Huang ve ark., 2018).

p53 Proteininin Rolü: p53 proteini, kaslarda enerji tasarrufunu ve metabolik esnekliği koruyarak enerji metabolizmasını düzenler. p53'ün yokluğu, kaslarda enerji depolarının azalmasına ve erken tükenmeye yol açar (Lenihan-Geels ve ark., 2024).

3. Performans iyileştirmede beslenmenin genetik temele dayalı kullanımı

Bireylerin besinleri metabolize etme biçimleri, enerji üretim süreçleri ve kas gelişimleri genetik yapılarından etkilenmektedir. Nutrigenetik ve nutrigenomik alanları, bireysel genetik farklılıkların beslenme

gereksinimlerini nasıl belirlediğini ve besinlerin gen ekspresyonu üzerindeki etkilerini araştırmaktadır (Ordovás & Ferguson, 2019). Bu yaklaşımlar, sporcuların performansını optimize etmek için genetik profillerine uygun beslenme stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Özellikle enerji metabolizması ve makrobesin kullanımı ile ilişkili genetik varyasyonlar, bireylerin karbonhidrat, yağ ve protein tüketimine farklı yanıtlar verebileceğini göstermektedir. Örneğin, *FTO* geni, obezite ve enerji metabolizması ile ilişkilidir ve bu genin belirli varyantları, yüksek karbonhidrat alımına karşı artan yağ depolanma eğilimi ile bağlantılıdır (Rankinen et al., 2006). Benzer şekilde, *PPARG* geni, yağ metabolizmasını düzenleyerek bireylerin yüksek yağlı diyetlere adaptasyonunu etkileyebilir (Luan et al., 2001). Mikrobesin seviyeleri de genetik faktörlerden etkilenmektedir. Örneğin, *GC* geni, D vitamini taşıma kapasitesini belirleyerek kemik sağlığı ve kas fonksiyonu üzerinde önemli bir rol oynar (Ahn et al., 2010). *MTHFR* geni ise folat metabolizmasını düzenleyerek enerji üretimi ve kardiyovasküler dayanıklılığı etkileyebilir (Moore et al., 2009). Bu nedenle, sporcularda genetik testler kullanılarak mikro ve makrobesin ihtiyaçlarının belirlenmesi, beslenme stratejilerinin kişiselleştirilmesine olanak tanımaktadır.

Tablo 2. Beslenme ve spor performansı ile ilişkili bazı önemli genler ve etkileri

Gen	İlgili Özellik	Beslenme ve Performans Üzerine Etkisi
<i>FTO</i>	Enerji dengesi ve obezite riski	Yüksek karbonhidrat alımına duyarlılığı artırabilir
<i>PPARG</i>	Yağ metabolizması	Yüksek yağlı diyetlere adaptasyonu etkileyebilir
<i>GC</i>	D vitamini taşıma kapasitesi	Kemik sağlığı ve kas fonksiyonunu etkileyebilir
<i>MTHFR</i>	Folat metabolizması	Kardiyovasküler dayanıklılığı ve enerji üretimini etkileyebilir
<i>LCT</i>	Laktoz toleransı	Süt ve süt ürünleri tüketimini etkileyebilir

Genetik farklılıklar besinlerin emilimi, metabolizması, dağılımı ve atılımını etkileyerek sporcuların besinlere ve diğer gıda bileşenlerine tepkilerini değiştirebilir (Guest ve ark., 2019; Sorrenti ve ark., 2019). Nutrigenomik ve nutrigenetik bireylerin genetik farklılıkların besinlere tepkilerini nasıl değiştirdiğini inceleyen deneysel yaklaşımlardır (Guest ve ark., 2019). Genetik temelli beslenme stratejileri bireylerin genetik profillerine göre özelleştirilmiş diyet ve antrenman planları sunarak spor performansını ve genel sağlığı iyileştirme potansiyeline sahiptir. Bu alandaki araştırmalar gen-diyet etkileşimlerinin sporcuların performansını nasıl etkilediğini anlamaya yönelik önemli adımlar atmaktadır.

4. Yaralanma riski ve iyileşme sürecinde beslenme

Sporcuların yaralanma riski, genetik faktörler, antrenman yükü, beslenme alışkanlıkları ve çevresel etmenlerin etkileşimiyle belirlenir. Yaralanma sonrası iyileşme süreci, inflamasyonun kontrolü, doku onarımı ve enerji dengesinin sağlanması açısından kritik bir dönemdir. Beslenme stratejileri, bu sürecin hızlandırılmasında ve doku iyileşmesinin optimize edilmesinde önemli bir rol oynar (Tipton, 2015). Genetik faktörler, kas-iskelet sistemi yaralanmalarına yatkınlığı etkileyebilir. *COL1A1* ve *COL5A1* genleri, bağ dokusu yapısını düzenleyerek tendon ve bağ sakatlanmalarına duyarlılığı belirleyebilir (Collins & Raleigh, 2009). *IL6* ve *TNF- α* gibi inflamatuvar belirteçleri kodlayan genler ise bireylerin yaralanmaya ve inflamasyon süreçlerine verdiği yanıtı etkileyebilir (Margioris, 2019). Beslenme iyileşme sürecinde inflamasyonu kontrol altına almak, kas kaybını önlemek ve doku onarımını desteklemek için kişiye özel olarak düzenlenmelidir. Protein alımı, kas dokusunun korunması ve yeniden yapılanması için kritik öneme sahiptir. Özellikle lösin içeren protein kaynakları, mTOR sinyal yolunu aktive ederek kas protein sentezini artırabilir (Phillips, 2017). Omega-3 yağ asitleri, inflamasyon yanıtını azaltarak iyileşme sürecini hızlandırabilir (Calder, 2013).

Tablo 3. Yaralanma riski ve iyileşme sürecinde rol oynayan genetik faktörler ve Beslenme stratejileri

Gen	İlgili Fonksiyon	Beslenme Stratejisi
<i>COL1A1</i>	Bağ dokusu yapısı	C vitamini ve kolajen takviyesi
<i>COL5A1</i>	Tendon dayanıklılığı	Protein ve jelatin içeren besinler
<i>IL6</i>	İnflamatuvar yanıt	Omega-3 yağ asitleri ve antioksidanlar
<i>TNF-α</i>	Doku inflamasyonu	Polifenoller ve D vitamini
mTOR	Kas protein sentezi	Lösin açısından zengin proteinler

İyileşme sürecinde ayrıca D vitamini, çinko ve demir gibi mikro besinlerin yeterli düzeyde alınması, doku onarımını ve bağışıklık sistemini destekleyerek iyileşme sürecini hızlandırabilir. Özellikle amino asitler, protein, antioksidanlar, kreatin ve omega-3 yağ asitleri, kas kaybını önleme ve yaralanma iyileşmesini teşvik etme konusunda önemli rol oynar (Turnagöl ve ark., 2021). Düşük enerji alımı özellikle stres kırıkları gibi yaralanmalara yol açabilmektedir. Bu nedenle sporcuların enerji ihtiyaçlarını karşılamaların önemli olduğu bildirilmiştir (Close ve ark., 2019). Yaralanma sonrası iyileşme sürecinde makro ve mikro besinlerin dengeli alımı, kas kütesinin korunması ve iyileşme sürecinin hızlandırıldığı ve özellikle protein alımının

artırılması kas kaybını en aza indirmek için önerilmektedir (Smith-Ryan ve ark., 2020). Omega-3 yağ asitleri ve kreatin gibi takviyeler kas kaybını önleme ve kas büyümesini artırma potansiyeline sahiptir (Giraldo-Vallejo ve ark., 2023). Yaralanma sonrası beslenme stratejileri, bireysel ihtiyaçlara göre özelleştirilmelidir. Enerji alımı, protein kalitesi ve besin zamanlaması gibi faktörler dikkate alınmalıdır (Turnagöl ve ark., 2021).

5. Sonuç

Genetik ve beslenme arasındaki ilişki, bireylerin metabolik süreçlerini, besin öğelerine verdikleri tepkileri ve fiziksel performanslarını doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Nutrigenetik ve nutrigenomik alanlarındaki gelişmeler, bireylerin genetik profillerine göre kişiselleştirilmiş beslenme stratejilerinin belirlenmesine olanak tanımaktadır. Genetik varyasyonlar, karbonhidrat, yağ ve protein metabolizmasını şekillendirerek bireyin beslenme ihtiyaçlarını ve diyet toleransını belirleyebilir. Kas yapısı ve enerji metabolizması üzerindeki genetik etkiler, sporcuların dayanıklılığı, güç kapasitesi ve toparlanma süreçlerini yönlendiren temel faktörler arasındadır. *ACTN3*, *PPARGC1A* ve *FTO* gibi genler, kas lifi tipi dağılımını, enerji kullanımını ve vücut kompozisyonunu belirleyerek bireylerin spor performansı üzerindeki genetik avantajlarını ortaya koyar. Bu genetik faktörlerin beslenme ile desteklenmesi, optimum enerji üretimi ve kas gelişimi açısından büyük önem taşımaktadır. Performans iyileştirmede beslenmenin genetik temele dayalı kullanımı, bireyin genetik yapısına uygun besin seçimlerinin fiziksel kapasiteyi artırabileceğini göstermektedir. Özellikle, protein sentezini artıran amino asitler, inflamasyonu azaltan omega-3 yağ asitleri ve enerji metabolizmasını destekleyen mikro besinler, sporcular için avantaj sağlayabilir. Kişiselleştirilmiş beslenme yaklaşımlarının genetik testlerle desteklenmesi, bireylerin maksimum performans potansiyeline ulaşmalarına yardımcı olabilir. Yaralanma riski ve iyileşme sürecinde beslenme, genetik faktörlerle birlikte ele alındığında, bireyin toparlanma süresini optimize etmede kritik bir rol oynar. Bağ dokusu sağlığı üzerinde etkili olan *COL1A1* ve *COL5A1* gibi genler, tendon ve ligament yaralanmalarına yatkınlığı belirleyebilir. Antioksidanlar, polifenoller, protein ve D vitamini gibi besin öğeleri, doku onarımını hızlandırarak iyileşme sürecini destekler.

Sonuç olarak, genetik faktörlerin ve beslenme stratejilerinin bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi, sporcuların performansını artırmak, sakatlanma riskini azaltmak ve iyileşme sürecini hızlandırmak açısından büyük bir potansiyel taşımaktadır. Gelecekte, genetik temelli beslenme uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte, bireyselleştirilmiş sağlık ve performans yönetimi daha etkili hale gelecektir.

Kaynaklar

- Lorenzo, S., Pérez, L. M., & Pérez, G. M. (2020). Nutritional genomics: The role of genetics in sports nutrition. *Journal of Sports Sciences*, 38(12), 1365–1375. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1777203>
- Giraldo-Vallejo, J., Cardona-Guzmán, M., Rodríguez-Alcivar, E., Kočí, J., Petro, J., Kreider, R., Cannataro, R., & Bonilla, D. (2023). Nutritional Strategies in the Rehabilitation of Musculoskeletal Injuries in Athletes: A Systematic Integrative Review. *Nutrients*, 15. <https://doi.org/10.3390/nu15040819>
- Smith-Ryan, A., Hirsch, K., Saylor, H., Gould, L., & Blue, M. (2020). Nutritional Considerations and Strategies to Facilitate Injury Recovery and Rehabilitation. *Journal of athletic training*, 55 9, 918-930. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-550-19>
- Close, G., Sale, C., Baar, K., & Bermon, S. (2019). Nutrition for the Prevention and Treatment of Injuries in Track and Field Athletes.. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 29 2, 189-197. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2018-0290>
- Turnagöl, H., Koşar, Ş., Güzel, Y., Aktitiz, S., & Atakan, M. (2021). Nutritional Considerations for Injury Prevention and Recovery in Combat Sports. *Nutrients*, 14. <https://doi.org/10.3390/nu14010053>.
- Sorrenti, V., Caudullo, G., Lucignano, F., Fortinguerra, S., Zusso, M., Giusti, P., & Buriani, A. (2019). Personalized sports nutrition: Role of nutrients in athletic performance. *Sports, Exercise, and Nutritional Genomics*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816193-7.00018-x>
- Guest, N., Horne, J., Vanderhout, S., & El-Sohemy, A. (2019). Sport Nutrigenomics: Personalized Nutrition for Athletic Performance. *Frontiers in Nutrition*, 6. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00008>
- Lenihan-Geels, G., Carrizo, F., Leer, M., Gohlke, S., Oster, M., Pöhle-Kronawitter, S., Ott, C., Chadt, A., Reinisch, I., Gallhuber, M., Li, C., Jonas, W., Jähnert, M., Klaus, S., Al-Hasani, H., Grune, T., Schürmann, A., Madl, T., Prokesch, A., Schupp, M., & Schulz, T. (2024). Skeletal muscle p53 depletion uncovers a mechanism of fuel usage suppression that enables efficient energy conservation. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 15, 1772 - 1784. <https://doi.org/10.1002/jcsm.13529>
- Huang, H., Scheffler, T., Gerrard, D., Larsen, M., & Lametsch, R. (2018). Quantitative Proteomics and Phosphoproteomics Analysis Revealed Different Regulatory Mechanisms of Halothane and Rendement Napole Genes in Porcine Muscle Metabolism.. *Journal of proteome research*, 17 8, 2834-2849 . <https://doi.org/10.1021/acs.jproteome.8b00294>.
- Park, S., Gunawan, A., Scheffler, T., Grant, A., & Gerrard, D. (2009). Myosin heavy chain isoform content and energy metabolism can be uncoupled in

- pig skeletal muscle.. *Journal of animal science*, 87 2, 522-31 . <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1269>.
- Janssen, E., Dzreja, P., Oerlemans, F., Simonetti, A., Heerschap, A., De Haan, A., Rush, P., Terjung, R., Wieringa, B., & Terzic, A. (2000). Adenylate kinase I gene deletion disrupts muscle energetic economy despite metabolic rearrangement. *The EMBO Journal*, 19. <https://doi.org/10.1093/emboj/19.23.6371>
- Eynon, N., Ruiz, J. R., Oliveira, J., Duarte, J. A., Birk, R., & Lucia, A. (2011). Genes and elite athletes: A roadmap for future research. *The Journal of Physiology*, 589(13), 3063-3070. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.207035>
- Ferrell, R. E., Conte, V., Lawrence, E. C., Roth, S. M., Hagberg, J. M., & Hurley, B. F. (1999). Frequent sequence variation in the human myostatin (GDF8) gene as a marker for analysis of muscularity. *The Journal of Applied Physiology*, 87(4), 1513-1517. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.87.4.1513>
- MacArthur, D. G., & North, K. N. (2007). *ACTN3*: A genetic influence on muscle function and athletic performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 35(1), 30-36. <https://doi.org/10.1097/jes.0b013e31802dba42>
- Rogers, S., Paterson, M., & Peers, C. (2003). Hypoxia influences the expression of monocarboxylate transporters in the human breast cancer cell line MCF7. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 284(2), C310-C317. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00279.2002>
- Williams, A. G., Rayson, M. P., & Jones, D. A. (2000). Is there an association between *ACE* gene polymorphism and endurance performance? *Nature*, 403(6770), 758-760. <https://doi.org/10.1038/35001636>
- Niforou, A., Konstantinidou, V., & Naska, A. (2020). Genetic Variants Shaping Inter-individual Differences in Response to Dietary Intakes—A Narrative Review of the Case of Vitamins. *Frontiers in Nutrition*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.558598>
- Bailey, L. B., & Gregory, J. F. (1999). Folate metabolism and requirements. *The Journal of Nutrition*, 129(4), 779-782. <https://doi.org/10.1093/jn/129.4.779>
- Calder, P. C. (2010). Omega-3 fatty acids and inflammatory processes. *Nutrients*, 2(3), 355-374. <https://doi.org/10.3390/nu2030355>
- Cornelis, M. C., El-Sohehy, A., Kabagambe, E. K., & Campos, H. (2006). Coffee, *CYP1A2* genotype, and risk of myocardial infarction. *JAMA*, 295(10), 1135-1141. <https://doi.org/10.1001/jama.295.10.1135>
- Enattah, N. S., Sahi, T., Savilahti, E., Terwilliger, J. D., Peltonen, L., & Järvelä, I. (2002). Identification of a variant associated with adult-type hypolactasia. *Nature Genetics*, 30(2), 233-237. <https://doi.org/10.1038/ng826>

- Frayling, T. M., et al. (2007). A common variant in the *FTO* gene is associated with body mass index and predisposes to childhood and adult obesity. *Science*, 316(5826), 889-894. <https://doi.org/10.1126/science.1141634>
- Karell, K., Louka, A. S., Moodie, S. J., Ascher, H., Clot, F., Greco, L., & Solli, L. M. (2003). HLA types in celiac disease patients not carrying the DQA105-DQB102 (DQ2) heterodimer: Results from the European Genetics Cluster on Celiac Disease. *Human Immunology*, 64(4), 469-477. [https://doi.org/10.1016/S0198-8859\(02\)00774-2](https://doi.org/10.1016/S0198-8859(02)00774-2)
- Montague, C. T., et al. (1997). Congenital leptin deficiency is associated with severe early-onset obesity in humans. *Nature*, 387(6636), 903-908. <https://doi.org/10.1038/43185>
- Waterland, R. A., & Jirtle, R. L. (2003). Transgenerational epigenetic inheritance. *Molecular and Cellular Biology*, 23(15), 5293-5300. <https://doi.org/10.1128/mcb.23.15.5293-5300.2003>
- Franzago, M., Santurbano, D., Vitacolonna, E., & Stuppia, L. (2020). Genes and Diet in the Prevention of Chronic Diseases in Future Generations. *International Journal of Molecular Sciences*, 21. <https://doi.org/10.3390/ijms21072633>
- Holzapfel, C., Waldenberger, M., Lorkowski, S., & Daniel, H. (2022). Genetics and Epigenetics in Personalized Nutrition: Evidence, Expectations and Experiences.. *Molecular nutrition & food research*, e2200077. <https://doi.org/10.1002/mnfr.202200077>
- Mullins, V., Bresette, W., Johnstone, L., Hallmark, B., & Chilton, F. (2020). Genomics in Personalized Nutrition: Can You “Eat for Your Genes”? *Nutrients*, 12. <https://doi.org/10.3390/nu12103118>.
- Górczyńska-Kosiorz, S., Kosiorz, M., & Dziegielewska-Gęsiak, S. (2024). Exploring the Interplay of Genetics and Nutrition in the Rising Epidemic of Obesity and Metabolic Diseases. *Nutrients*, 16. <https://doi.org/10.3390/nu16203562>
- Bordoni, L., & Gabbianelli, R. (2019). Primers on nutrigenetics and nutri(epi)genomics: Origins and development of precision nutrition.. *Biochimie*, 160, 156-171 . <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2019.03.006>
- Heianza, Y., & Qi, L. (2017). Gene-Diet Interaction and Precision Nutrition in Obesity. *International Journal of Molecular Sciences*, 18. <https://doi.org/10.3390/ijms18040787>
- Lippi, G., Longo, U. G., & Maffulli, N. (2017). Genetics and sports. *British Medical Bulletin*, 123(1), 55-73. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldx031>
- Maughan, R. J., Shirreffs, S. M., & Sawka, M. N. (2018). Hydration and performance. *Journal of Sports Sciences*, 36(9), 1017-1027. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1387857>

- Williams, C. (2017). The role of nutrition in enhancing exercise performance. *European Journal of Clinical Nutrition*, 71(10), 1181–1193. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2017.104>
- Cunningham, S. D., Berman, K. R., & Walters, R. L. (2020). Genetic influences on dietary responses: Implications for personalized nutrition. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 75, 108-119. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2019.108>
- Fenech, M., Bonassi, S., & Smith, M. (2017). Genetic and nutritional factors in cancer prevention: The role of nutrigenomics. *European Journal of Clinical Nutrition*, 71(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2017.96>
- Müller, M., Zha, J., & Welz, P. (2019). Nutrigenomics and the interaction between diet and genetics: Insights from vitamin D metabolism. *Frontiers in Nutrition*, 6, 26. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00026>