

# Spor Yaralanmalarına Genetik Yatkınlık ve Önleyici Stratejiler

Halil Orbay Çobanoğlu<sup>1</sup>

## Özet

Bu çalışmanın amacı, genetik faktörlerin spor yaralanmalarına yatkınlık üzerindeki etkilerini incelemek ve bu bilgilerin bireyselleştirilmiş antrenman ve önleyici stratejilerde nasıl kullanılabileceğini değerlendirmektir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, bireylerin genetik varyasyonlarının spor yaralanmalarına olan yatkınlığını önemli ölçüde etkileyebileceğini göstermektedir. Bu bağlamda, *COL1A1*, *COL5A1*, *ACTN3*, *VEGFA* ve *IL6* gibi genlerin bağ dokusu dayanıklılığı, kas lifi yapısı, inflamasyon süreçleri ve iyileşme mekanizmalarına olan etkileri ele alınmıştır. Ayrıca, çevresel faktörler ile genetik yatkınlığın etkileşimi, sporcuların performansını optimize etmede ve yaralanma riskini azaltmada kritik bir faktör olarak değerlendirilmiştir. Genetik testlerin spor bilimleri ve rehabilitasyon süreçlerindeki rolü tartışılmış, bireyselleştirilmiş önleyici stratejilerin geliştirilmesine yönelik öneriler sunulmuştur. Sonuç olarak, genetik araştırmaların spor bilimi uygulamalarına entegrasyonu, spor yaralanmalarının önlenmesi ve iyileşme süreçlerinin hızlandırılması açısından büyük önem taşımaktadır.

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda yapılan çalışmalar, bireylerin belirli genetik varyasyonlarının spor yaralanmalarına olan yatkınlığını önemli ölçüde etkileyebileceğini göstermektedir (Fukuyama vd., 2025; Goodlin vd., 2015). Bu bölümde genetik yatkınlığın spor yaralanmalarıyla ilişkisini inceleyerek, genetik belirteçlerin yaralanma riskini öngörmedeki rolü ve bu bilgilerin önleyici stratejilerde nasıl kullanılabileceği değerlendirilecektir. Genetik faktörlerin yaralanmalar üzerindeki etkisini anlamak hem sporcuların hem de spor

1 Doç. Dr., Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, orbay.cobanoglu@alanya.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-1305-9496>

bilimcilerinin bireysel uyarlanabilirliklerini ve performans sürekliliklerini desteklemek açısından büyük bir öneme sahiptir.

Ayrıca, genetik testlerin sporcular için nasıl daha yaygın ve erişilebilir hale getirilebileceği ve bu testlerin etik ve bilimsel açıdan değerlendirilmesi de tartışılacaktır. Bireylerin genetik profillerine dayalı olarak hazırlanan antrenman ve beslenme programlarının, sporcularda yaralanma riskini düşürmede etkili olup olmadığına dair mevcut literatür incelenecek ve gelecekteki araştırmalar için öneriler sunulacaktır.

### 1.1. Yaralanmalara Genetik Yatkınlık Kavramı

Spor yaralanmaları, bireysel ve toplumsal sağlık üzerinde önemli etkilere sahip olup, sporcu performansının sürekliliğini ve kariyerini etkileyen kritik bir faktördür (Sankova vd., 2021). Yaralanmaların nedenleri, fiziksel aktivite sırasında ortaya çıkan mekanik yüklenmeler, kas-iskelet sistemi dengesizlikleri ve genetik yatkınlık gibi birçok faktörün etkileşimi sonucunda ortaya çıkabilir (Joyner, 2019; Varillas-Delgado vd., 2023). Geleneksel olarak, spor yaralanmalarının önlenmesi ve tedavi edilmesi için biomekanik, fizyoterapi ve rehabilitasyon tekniklerine odaklanılırken, son yıllarda genetik faktörlerin bu süreçteki belirleyici rolü giderek daha fazla incelenmektedir (Sankova vd., 2021).

Genetik faktörlerin spor yaralanmalarındaki rolü, kas-iskelet sisteminin yapısal bütünlüğü ve iyileşme süreçleri üzerindeki etkileriyle ilişkilidir. Örneğin, kolajen sentezinde rol oynayan *COL1A1* ve *COL5A1* genlerindeki polimorfizmler, bağ dokularının dayanıklılığını etkileyerek spor yaralanmalarına olan yatkınlığı artırabilir (Bulbul vd., 2023). Benzer şekilde, *ACTN3* geni hızlı kas lifi yapısını belirleyerek bireylerin fiziksel performansını ve kas hasarına duyarlılığını değiştirebilir (Marques vd., 2024). Fukuyama vd., (2025) *COL1A1*, *COL5A1* ve *VEGFA* gibi genlerin belirli polimorfizmleri bağ dokularının dayanıklılığını etkileyerek yaralanmalara olan yatkınlığı artırdığı vurgulamışlardır. Varillas-Delgado vd., (2023) *ACTN3* ve *AMPD1* genleri ise kas lifi tipi ve dayanıklılık ile ilişkilidir, bu genlerdeki varyasyonlar bireylerin kas performansını ve yaralanma riskini doğrudan etkileyebileceğini belirtmişlerdir.

Sun vd. (2023) çalışması, ön çapraz bağ (*ACL*) yaralanmalarına genetik yatkınlık konusunda önemli bulgular sunmuştur. Çalışmaya göre, *ACL* yaralanmalarında özellikle *COL1A1* rs1800012, *COL5A1* rs12722 ve *IL6* rs1800795 gibi genetik varyasyonlar etkili olabilir. *ACL* yaralanmaları, sporcuların kariyerlerini ciddi şekilde etkileyebileceği için, bu

genetik belirteçlerin sporcularda taranması ve bireyselleştirilmiş antrenman programlarının geliştirilmesi önerilmektedir.

## 1.2. Genetik ve Çevresel Faktörlerin Etkileşimi

Genetik bilimindeki ilerlemeler, bireylerin belirli yaralanmalara yatkınlığının belirlenmesine yönelik yeni yaklaşımlar sunmuş ve bu alanda yapılan çalışmalar sporcular için kişiselleştirilmiş antrenman ve önleyici stratejiler geliştirilmesine imkan tanımıştır (Joyner, 2019). Ancak, genetik faktörlerin tek başına yaralanma riskini belirlemediği, çevresel faktörlerle etkileşime girerek bu riski artırdığı veya azalttığı bilinmektedir. Beslenme, antrenman yoğunluğu, iyileşme süreçleri ve biyomekanik özellikler, bireylerin genetik yapılarına göre farklı tepkiler vermelerine neden olabilir (Goodlin vd., 2015; Sankova vd., 2021).

Örneğin, *VDR* geni üzerinde yapılan çalışmalar, kalsiyum metabolizmasının kemik sağlığı üzerindeki etkisini vurgulamakta ve sporcuların kırık risklerini belirleyebileceğini göstermektedir (Lim vd., 2021). Fukuyama vd., (2025) *VEGFA* rs699947 polimorfizmi, sporcularda tendon ve bağ yaralanmalarına yatkınlıkla ilişkilendirilmiş, ancak uygun beslenme ve toparlanma stratejileriyle bu riskin minimize edilebileceği gösterilmiştir. Bununla birlikte, çevresel faktörler, genetik yatkınlıkla birleştiğinde bireysel yaralanma riskinin belirlenmesine daha kesin sonuçlar sunmaktadır. Özellikle, uygun beslenme ve toparlanma stratejileri, genetik yatkınlığa sahip sporcularda yaralanma riskini minimize edebilir (Baumert vd., 2016).

## 1.3. Spor Bilimlerinde Genetik Araştırmaların Önemi

Yaralanmalara yatkınlığı etkileyen genetik faktörlerin belirlenmesi, sporcuların fizyolojik kapasitelerinin optimize edilmesi ve rehabilitasyon süreçlerinin daha etkili hale getirilmesi açısından önemlidir (Joyner, 2019). Kas ve tendon yapısıyla ilgili genetik varyasyonlar, bireylerin dayanıklılığını, esnekliğini ve yaralanmalardan iyileşme sürecini önemli ölçüde etkileyebilir (Sankova vd., 2021).

Son yıllarda yapılan genetik araştırmalar, sporcuların antrenman programlarını bireyselleştirmek ve spor hekimliği uygulamalarını geliştirmek için genetik testlerin kullanımını önermektedir (McCabe & Collins, 2018). Özellikle, spor yaralanmalarıyla ilişkilendirilen genetik belirteçlerin belirlenmesi, sporcuların rehabilitasyon sürecini optimize edebilir ve yaralanma sonrası daha hızlı iyileşmelerine yardımcı olabilir (Balberova, 2021).

## 2. GENETİK FAKTÖRLER VE YARALANMALARA YATKINLIK

Spor yaralanmalarına genetik yatkınlık, bireyin kas, bağ dokusu ve iyileşme süreçlerini etkileyen genetik varyasyonlarla doğrudan ilişkilidir. Çeşitli genetik belirteçlerin bireylerin yaralanma risklerini artırdığı veya azalttığı bilinmektedir. Bu bölümde, yaralanmalara genetik yatkınlığı belirleyen temel biyolojik mekanizmalar ele alınacaktır.

### 2.1. Bağ Dokusu Genetiği: Kolajen Genleri ve Bağ Dokusu Dayanıklılığı

Bağ dokusu, kas ve tendonların yapısal bütünlüğünü sağlayarak mekanik yüklenmelere karşı dayanıklılık gösterir. Bağ dokusunun esnekliği ve dayanıklılığı büyük ölçüde kolajen senteziyle ilişkilidir. Özellikle *COL1A1*, *COL5A1* ve *COL12A1* genleri, bağ dokusunun sağlamlığını belirleyen önemli genetik faktörlerdir (Bulbul vd., 2023).

*COL1A1* genindeki belirli polimorfizmler, bağ dokusunun esnekliğini ve direncini değiştirerek sporcuların aşıl tendiniti ve ön çapraz bağ yaralanmalarına yatkınlığını artırabilir.

*COL5A1* geni, tendon ve ligament esnekliğini belirleyen önemli bir gen olup, varyasyonları sporcularda aşıl tendonu yaralanmalarının daha sık görülmesine neden olabilir (Marques vd., 2024).

Bu genlerdeki belirli varyasyonlar, sporcularda bağ dokusu yırtıklarına veya kronik tendinit gibi problemlere yatkınlık oluşturabilir.

### 2.2. Kas Yapısı ve Kas Lif Tipi: *ACTN3* ve Hızlı/Kaslı Lif Dağılımı

Kas lifi tipi, bireylerin kas performansını ve yaralanmalara karşı dirençlerini belirleyen temel faktörlerden biridir. *ACTN3* geni, hızlı kas liflerinin fonksiyonunu etkileyerek bireyin atletik yeteneklerini ve kas yaralanmalarına duyarlılığını belirler (Joyner, 2019).

*ACTN3 R577X* polimorfizmi, kas liflerinin tipini değiştirerek güç ve dayanıklılıkla ilgili farklı profiller oluşturabilir. R aleli olan bireyler patlayıcı güç gerektiren sporlarda avantaj sağlarken, X aleline sahip bireylerde dayanıklılığın arttığı ancak kas yırtılmalarına karşı daha hassas oldukları gözlemlenmiştir (Marques vd., 2024). Brown vd., (2011) TC veya CC'li katılımcılara kıyasla *COL5A1* TT genotipine sahip bireylerde daha iyi dayanıklılık koşusu performansı bildirmişlerdir.

Bu genetik farklılık, sporcuların antrenmanlarını bireysel kas lifi yapılarına göre özelleştirmeleri gerektiğini göstermektedir.

### 2.3. İnflamasyon ve İyileşme Süreçleri: IL-6, TNF- $\alpha$ ve İnflamatuvar Belirteçlerin Rolü

Yaralanmalardan sonra inflamasyon süreci, iyileşmenin temel bileşenlerinden biridir. Ancak, aşırı inflamasyon doku hasarını artırabilir ve iyileşmeyi geciktirebilir. IL-6, TNF- $\alpha$  ve diğer inflamatuvar belirteçlerin genetik varyasyonları, bireylerin yaralanmalardan iyileşme sürecini etkileyebilir (Baumert vd., 2016).

IL-6 gen polimorfizmleri, inflamatuvar yanıtı düzenleyerek kas iyileşmesi üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Yüksek IL-6 seviyeleri kas dokusunda inflamasyonu artırarak iyileşmeyi yavaşlatabilir.

TNF- $\alpha$  gen varyasyonları ise kas ve tendon dokularında inflamasyonu artırarak sporcularda kronik yaralanmaların oluşmasına neden olabilir.

Bu genlerin düzenlenmesi, yaralanma sonrası inflamasyon yönetimini optimize etmek için önemli bir araştırma alanıdır.

### 2.4. Oksidatif Stres ve Hücresel Onarım: SOD2, GPX1 ve Antioksidan Genlerin Etkisi

Oksidatif stres, hücresel hasara yol açarak sporcularda yaralanma riskini artırabilir. SOD2 ve GPX1 gibi antioksidan genler, serbest radikalleri nötralize ederek hücresel onarım süreçlerinde kritik bir rol oynar (Lim vd., 2021).

SOD2 geninde meydana gelen polimorfizmler, hücrelerin oksidatif strese karşı dayanıklılığını etkileyebilir ve kas yaralanmalarına yatkınlığı artırabilir.

GPX1 gen varyasyonları, hücresel savunma mekanizmalarını güçlendirerek inflamasyonu azaltabilir ve iyileşme sürecini hızlandırabilir.

Bu genetik faktörlerin sporcuların toparlanma süreçlerini nasıl etkilediğinin anlaşılması, bireyselleştirilmiş rehabilitasyon stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olabilir.

## 3. SPOR YARALANMALARINDA GENETİK RİSK FAKTÖRLERİ

Spor yaralanmaları genellikle kas, tendon, bağ dokusu ve kemik yapılarında meydana gelen hasarlar sonucu ortaya çıkar. Bu yapıların dayanıklılığı ve onarım kapasitesi, bireyin genetik yapısıyla doğrudan ilişkilidir. Belirli genetik varyasyonlar, bireyin yaralanmalara olan yatkınlığını belirlemede kritik bir rol oynar.

### 3.1. Kas, Tendon ve Bağ Yaralanmaları

Kas, tendon ve bağ dokularındaki yaralanmalar, sporcularda en sık görülen yaralanmalar arasındadır. Bu dokuların dayanıklılığı, elastikiyeti ve iyileşme süreçleri belirli genetik faktörlerle ilişkilidir.

*COL5A1* geni, bağ dokusunun yapısını oluşturan kolajen tip V'in üretimini etkiler. Bu gendeki belirli mutasyonlar, aşıl tendiniti gibi kronik tendon yaralanmalarına yatkınlığı artırabilir (McCabe & Collins, 2018).

*TNC* (Tenascin-C) geni, tendonların ve bağ dokularının mekanik yüklenmelere verdiği yanıtı etkileyerek sporcularda bağ dokusu yaralanmalarının sıklığını belirleyebilir (Balberova, 2021).

### 3.2. Stres Kırıkları ve Kemik Sağlığı

Sporcularda sık görülen stres kırıkları, tekrarlayan mekanik yüklenmelere bağlı olarak kemik dokusunun zayıflaması sonucu ortaya çıkar. Kemik yoğunluğunu ve dayanıklılığını belirleyen bazı genler, bireyin stres kırıklarına olan yatkınlığını belirleyebilir.

*VDR* (Vitamin D Reseptörü) geni, kalsiyum emilimini düzenleyerek kemik mineral yoğunluğunu etkiler. *VDR* genindeki belirli polimorfizmler, düşük kemik yoğunluğu ile ilişkilendirilmiştir ve bu durum stres kırıklarına yatkınlığı artırabilir (Lim vd., 2021).

*LRP5* geni, kemik yoğunluğunu düzenleyen önemli bir faktördür. Bu gendeki mutasyonlar, osteoporoz ve stres kırıkları gibi kemik rahatsızlıklarına neden olabilir (Baumert vd., 2016).

### 3.3. Eklem ve Kıkırdak Yaralanmaları

Eklem sağlığı, sporcuların uzun vadeli performanslarını sürdürebilmeleri açısından kritik öneme sahiptir. Eklem kıkırdağı ve bağ dokusu zayıflığı, osteoartrit ve eklem yaralanmalarına yatkınlığı artırabilir.

*GDF5* (Growth Differentiation Factor 5) geni, eklem kıkırdağının gelişiminde ve onarımında önemli bir rol oynar. Bu gendeki belirli polimorfizmler, osteoartrit gelişme riskini artırabilir (McCabe & Collins, 2018).

*MMP3* (Matrix Metalloproteinase 3) geni, eklem dokularının yıkım ve onarım süreçlerini düzenler. *MMP3* geninde görülen belirli mutasyonlar, eklem aşınmasına ve kıkırdak dejenerasyonuna neden olabilir (Balberova, 2021).

### 3.4. İyileşme Sürecindeki Genetik Farklılıklar

Bazı bireyler spor yaralanmalarından daha hızlı iyileşirken, diğerleri için iyileşme süreci uzun sürebilir. Bu farklılıklar, genetik faktörlerin iyileşme süreçlerindeki rolünü vurgulamaktadır.

*COL1A1* ve *COL5A1* genlerindeki belirli polimorfizmler, bağ dokularının onarım sürecini etkileyerek iyileşme süresini uzatabilir (Bulbul vd., 2023).

*VEGFA* (Vascular Endothelial Growth Factor A) geni, doku iyileşmesi sırasında yeni kan damarlarının oluşumunu destekler. Bu gendeki polimorfizmler, iyileşme sürecinin hızını etkileyebilir (Baumert vd., 2016).

Bu genetik faktörlerin sporcuların bireysel yaralanma risklerini ve iyileşme süreçlerini nasıl etkilediğini anlamak, spor hekimliği ve rehabilitasyon süreçlerinde kişiye özel tedavi stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

## 4. ÖNLEYİCİ STRATEJİLER

Genetik faktörlerin spor yaralanmalarındaki rolü giderek daha iyi anlaşılakta ve bireyselleştirilmiş önleyici stratejilerin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu stratejiler, kişiye özel egzersiz programları, beslenme planlaması, rehabilitasyon protokolleri ve genetik testlerin kullanımı gibi alanlarda şekillenmektedir.

### 4.1. Kişiselleştirilmiş Egzersiz Programları

Bireyin genetik yapısına uygun şekilde hazırlanan egzersiz programları, yaralanma riskini azaltmada önemli bir rol oynar.

Genetik faktörlere dayalı antrenman planlaması: *ACTN3 R577X* polimorfizmi, hızlı kas liflerinin yapısını etkileyerek sporcuların güç veya dayanıklılık bazlı antrenmanlara daha uygun olup olmadığını belirleyebilir (Baumert vd., 2016). *ACTN3* ve *AMPD1* gen profiline göre güç veya dayanıklılık bazlı antrenman önerileri geliştirilebilir.

Bağ dokusu zayıflığı olan bireyler için düşük riskli egzersizler: *COL1A1* ve *COL5A1* gibi bağ dokusu sağlığını etkileyen genlerdeki polimorfizmler, bireylerin tendon ve bağ yaralanmalarına yatkınlığını artırabilir. Bu bireyler için düşük etkili egzersizler ve kuvvetlendirme çalışmaları önerilmektedir (Balberova, 2021).

Kas lifi tipine uygun antrenman stratejileri: Genetik profillemeye, bireyin kas lif tipine uygun egzersiz programlarını belirlemeye yardımcı olabilir (McCabe & Collins, 2018).

#### 4.2. Beslenme ve Takviye Stratejileri

Genetik yapı, bireylerin besin metabolizmasını ve beslenme gereksinimlerini doğrudan etkileyebilir.

Genetik faktörlere göre beslenme: *VDR* gen polimorfizmleri, bireylerin kalsiyum metabolizmasını etkileyerek kemik sağlığını belirleyebilir (Lim vd., 2021). *VDR* ve *VEGFA* genetik varyasyonlarına bağlı olarak bireyselleştirilmiş beslenme planları hazırlanabilir.

Bağ dokusu sağlığı için destekler: Kolajen üretimini artırmak ve bağ dokusu dayanıklılığını güçlendirmek amacıyla C vitamini, omega-3 yağ asitleri ve kolajen takviyelerinin kullanımı önerilmektedir (Baumert vd., 2016).

#### 4.3. Rehabilitasyon ve Fizik Tedavi Yaklaşımları

Genetik faktörlerin bireysel farklılıklara neden olması nedeniyle, iyileşme sürecinde kişiye özel yaklaşımlar uygulanmalıdır.

Genetik yatkınlığa göre farklı iyileşme protokolleri: *COL1A1* ve *COL5A1* genlerinde polimorfizmler bulunan bireylerde bağ dokusu iyileşmesi daha uzun sürebilir (McCabe & Collins, 2018).

Bireysel farklara dayalı fizyoterapi uygulamaları: *VEGFA* ve *MMP3* genlerindeki varyasyonlar, bireylerin rehabilitasyona verdiği yanıtı belirleyerek kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarının oluşturulmasını sağlayabilir (Balberova, 2021).

#### 4.4. Genetik Testlerin Rolü

Son yıllarda yapılan araştırmalar, sporcuların antrenman programlarını bireyselleştirmek ve rehabilitasyon süreçlerini optimize etmek için genetik testlerin kullanımını önermektedir (Goodlin et al., 2015). Özellikle, spor yaralanmalarıyla ilişkilendirilen genetik belirteçlerin belirlenmesi, bireyselleştirilmiş önleyici stratejilerin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır.

Sporcularda genetik testlerin kullanımı: Genetik testler, sporcuların yaralanma risklerini belirleyerek antrenman ve rehabilitasyon süreçlerini bireyselleştirmeye yardımcı olabilir (Lim vd., 2021).

Goodlin vd. (2015), Stanford Üniversitesi'ndeki 14 triatletin genetik profillerini analiz ederek, bireyselleştirilmiş antrenman ve beslenme programları oluşturmuş ve sporcuların yaralanma risklerini azaltmalarını sağlamışlardır. Benzer şekilde, total genotip skoru (TGS) yöntemi, elit dayanıklılık sporcularında yaralanma riskini tahmin etmek için önerilmiştir (Varillas-Delgado et al., 2023).



Etik ve bilimsel tartışmalar: Genetik testlerin sporcularda kullanımı, bireylerin genetik bilgilerine dayalı ayrımcılığa yol açabileceği endişelerini doğurmaktadır (Baumert vd., 2016).

## 5. SONUÇ VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Genetik bilimindeki ilerlemeler, spor bilimleri ve fizyoterapi alanında büyük değişimlere yol açmaktadır. Bireylerin genetik profillerine dayalı olarak oluşturulan egzersiz ve tedavi yaklaşımları, sporcuların yaralanma risklerini minimize etmek ve performanslarını artırmak için yeni fırsatlar sunmaktadır (Fukuyama vd., 2025). Gelecekte, yapay zeka ve büyük veri analitiği gibi teknolojilerle desteklenen genetik analizlerin spor performansı ve rehabilitasyon süreçlerine entegrasyonu giderek daha önemli hale gelecektir. Bu bölümde, genetik bilginin spor bilimlerinde kullanım alanları, kişiselleştirilmiş spor programlarının geleceği ve genetik yatkınlığı yönetmeye yönelik gelişen teknolojiler ele alınacaktır.

### 5.1. Genetik Bilginin Spor Bilimleri ve Fizyoterapide Kullanımı

Genetik araştırmalar, bireylerin fiziksel kapasitesini ve yaralanma risklerini anlamada önemli bir araç haline gelmiştir. Genetik belirteçler sayesinde, sporcuların sakatlık risklerini önceden belirlemek ve uygun önleyici stratejiler geliştirmek mümkün hale gelmektedir (Joyner, 2019). Ayrıca, fizyoterapi alanında genetik bazlı yaklaşımlar, bireylerin iyileşme süreçlerini hızlandırmak ve kişiye özel rehabilitasyon programları oluşturmak için kullanılmaktadır (Balberova, 2021).

### 5.2. Kişiselleştirilmiş Spor Programlarının Geleceği

Geleneksel antrenman programları genellikle genel nüfus için tasarlanırken, genetik testlerin yaygınlaşmasıyla birlikte bireylere özel antrenman planlarının oluşturulması mümkün hale gelmiştir. *ACTN3* ve *COL5A1* gibi genetik varyasyonların sporcuların dayanıklılık ve güç gereksinimlerine nasıl yanıt verdiğini belirlemeye yardımcı olduğu bilinmektedir (Baumert vd., 2016). Gelecekte, bireylerin genetik profillerine dayalı olarak özelleştirilmiş spor programlarının daha yaygın hale gelmesi beklenmektedir.

### 5.3. Genetik Yatkınlığı Yönetmeye Yönelik Gelişen Teknolojiler

Genetik testler ve biyoinformatik analizler, bireylerin yaralanma risklerini belirlemede giderek daha fazla kullanılmaktadır. DNA dizileme tekniklerinin gelişmesi, sporcuların genetik profillerini daha ayrıntılı bir şekilde analiz etmeyi ve böylece potansiyel riskleri erken aşamada tespit etmeyi mümkün kılmaktadır (McCabe & Collins, 2018). Bunun yanı sıra, yapay zeka ve büyük

veri analitiği, genetik faktörlerin spor performansına ve rehabilitasyona etkilerini daha doğru bir şekilde belirlemeye yardımcı olmaktadır.

## BÖLÜM ÖZETİ

Bu bölüm kapsamında adı geçen genler ve etkileri özet olarak Tablo 1.'de verilmiştir.

*Tablo 1. Genler, Polimorfizmler ve Etkileri*

Gen	Polimorfizm	Etkisi
<i>COL1A1</i>	rs1800012	Bağ dokusu dayanıklılığını etkileyerek spor yaralanmalarına yatkınlığı artırır (Bulbul vd., 2023).
<i>COL5A1</i>	rs12722	Tendon ve ligament esnekliğini belirler, aşıl tendonu yaralanmalarına yatkınlığı artırır (Bulbul vd., 2023).
<i>COL12A1</i>	Bilinmiyor	Bağ dokusunun sağlamlığını etkiler (Bulbul vd., 2023).
<i>ACTN3</i>	<i>R577X</i>	Hızlı kas liflerinin fonksiyonunu etkileyerek sporcuların fiziksel performansını belirler (Varillas-Delgado vd., 2023).
<i>AMPD1</i>	rs17602729	Kas lifi tipi ve dayanıklılığı ile ilişkilidir (Varillas-Delgado vd., 2023).
<i>VEGFA</i>	rs699947	Doku iyileşmesini etkileyerek tendon ve bağ yaralanmalarına yatkınlık oluşturabilir (Fukuyama vd., 2025).
<i>IL6</i>	rs1800795	İnflamasyonu artırarak iyileşme sürecini yavaşlatabilir (Baumert vd., 2016).
<i>TNF-<math>\alpha</math></i>	Bilinmiyor	Kas ve tendon inflamasyonunu artırarak kronik yaralanmalara neden olabilir (Baumert vd., 2016).
<i>SOD2</i>	Bilinmiyor	Hücrelerin oksidatif strese karşı dayanıklılığını etkileyebilir ve kas yaralanmalarına yatkınlığı artırabilir (Lim vd., 2021).
<i>GPX1</i>	Bilinmiyor	Hücrel savunma mekanizmalarını güçlendirerek inflamasyonu azaltabilir ve iyileşme sürecini hızlandırabilir (Lim vd., 2021).
<i>VDR</i>	Bilinmiyor	Kalsiyum metabolizmasını etkileyerek kemik yoğunluğunu belirler, stres kırıkları riskini artırabilir (Lim vd., 2021).
<i>LRP5</i>	Bilinmiyor	Kemik yoğunluğunu düzenler, osteoporoz ve stres kırıklarına neden olabilir (Baumert vd., 2016).
<i>GDF5</i>	rs143383	Eklem kıkırdığının gelişiminde ve onarımında rol oynar, osteoartrit riskini artırabilir (McCabe & Collins, 2018).
<i>MMP3</i>	Bilinmiyor	Eklem dokularının yıkım ve onarım süreçlerini düzenler, eklem aşınmasına neden olabilir (Balberova, 2021).
<i>TNC</i>	Bilinmiyor	Tendon ve bağ dokularının mekanik yüklenmelere verdiği yanıtı etkileyerek bağ dokusu yaralanmalarını belirleyebilir (Balberova, 2021).
<i>IGF2</i>	Bilinmiyor	İnsülin benzeri büyüme faktörü 2'yi kodlar. Bu genin egzersiz kaynaklı kas hasarında rol oynadığı düşünülmektedir (Devaney vd., 2007).

## Kaynakça

- Balberova, O. V. (2021). Candidate genes and single-nucleotide gene variants associated with muscle and tendon injuries in cyclic sports athletes. *Personalized Psychiatry and Neurology*, 1(1), 64-72.
- Baumert, P., Lake, M. J., Stewart, C. E., Drust, B., & Erskine, R. M. (2016). Genetic variation and exercise-induced muscle damage: Implications for athletic performance, injury and ageing. *European Journal of Applied Physiology*, 116(8), 1595-1625. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3411-1>
- Brown, J. C., Miller, C. J., Posthumus, M., Schweltnus, M. P., & Collins, M. (2011). The *COL5A1* gene, ultra-marathon running performance, and range of motion. *International journal of sports physiology and performance*, 6(4), 485-496. <https://doi.org/10.1123/ijsp.6.4.485>
- Bulbul, A., Ari, E., Apaydin, N., & Ipekoglu, G. (2023). The impact of genetic polymorphisms on anterior cruciate ligament injuries in athletes: A meta-analytical approach. *Biology*, 12(12), 1526. <https://doi.org/10.3390/biology12121526>
- Devaney, J. M., Hoffman, E. P., Gordish-Dressman, H., Kearns, A., Zambarski, E., & Clarkson, P. M. (2007). IGF-II gene region polymorphisms related to exertional muscle damage. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md. : 1985), 102(5), 1815-1823. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01165.2006>
- Fukuyama, Y., Murakami, H., & Iemitsu, M. (2025). Single nucleotide polymorphisms and tendon/ligament injuries in athletes: A systematic review and meta-analysis. *Int J Sports Med*, 46(3), 3-21. <https://doi.org/10.1055/a-2419-4359>
- Goodlin, G. T., Roos, A. K., Roos, T. R., et al. (2015). Applying personal genetic data to injury risk assessment in athletes. *PLoS ONE*, 10(4), e0122676. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122676>
- Joyner, M. J. (2019). Genetic approaches for sports performance: How far away are we? *Sports Medicine*, 49(Suppl 2), S199-S204. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01164-z>
- Lim, T., Santiago, C., Pareja-Galeano, H., Iturriaga, T., Sosa-Pedreschi, A., Fuku, N., Pérez-Ruiz, M., & Yvert, T. (2021). Genetic variations associated with non-contact muscle injuries in sport: A systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31, 2014-2032. <https://doi.org/10.1111/sms.14020>
- Marques, I. S., Tavares, V., Vieira Neto, B., Lopes, L. R., Goes, R. A., Guimarães, J. A. M., Perini, J. A., & Medeiros, R. (2024). Genetic variations in susceptibility to traumatic muscle injuries and muscle pain among Brazilian high-performance athletes. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(6), 3300. <https://doi.org/10.3390/ijms25063300>

- McCabe, K., & Collins, C. (2018). Can genetics predict sports injury? *Sports*, 6(1), 21. <https://doi.org/10.3390/sports6010021>
- Sankova, M. V., Nikolenko, V. N., Oganesyanyan, M. V., Vovkogon, A. D., Chirkova, E. L., & Sinelnikov, M. Y. (2021). Age pathognomonic indicators of injury predisposition. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1989. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041989>
- Sun, Z., Ciężczyk, P., Humińska-Lisowska, K., Michałowska-Sawczyn, M., & Yue, S. (2023). Genetic determinants of the anterior cruciate ligament rupture in sport: An up-to-date systematic review. *Journal of Human Kinetics*, 88, 105–117.
- Varillas-Delgado, D., Gutierrez-Hellín, J., & Maestro, A. (2023). Genetic profile in genes associated with sports injuries in elite endurance athletes. *Int J Sports Med*, 44(1), 64–71. <https://doi.org/10.1055/a-1917-9212>