

## Sporda Biyoteknoloji ve Niceliksel Araştırmalar: İnsan Performansının Geleceği

Salih Çabuk<sup>1</sup>

Cebrail Gençoğlu<sup>2</sup>

### Özet

Biyoteknoloji, spor bilimlerinde performans takibi ve geliştirilmesi açısından büyük yenilikler sunarken, sporcu sağlığı ve etik açısından önemli riskler de barındırmaktadır. Spor teknolojileri ve biyoteknoloji, sportif performans artırma, yaralanmaları önleme ve antrenman süreçlerini optimize etme konusunda önemli ilerlemeler sağlamaktadır. Biyoteknolojik destekli rehabilitasyon yöntemleri, spor yaralanmalarının tedavisinde devrim niteliğindedir ve spor yaralanmalarının tedavisinde kök hücre terapileri ve rejeneratif tıp gibi yenilikçi yaklaşımlar sunmaktadır. Kök hücre terapileri ve rejeneratif tıp gibi yenilikçi yaklaşımlar, sporcuların daha hızlı iyileşmesini ve spora geri dönüş süreçlerinin hızlanmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, genetik mühendisliği, spor performansının iyileştirilmesinde büyük bir potansiyele sahiptir. Gen terapisi ve gen dopingi, sportif performans üzerinde önemli etkiler yaratabilen biyoteknolojik uygulamalar arasında yer almakta, ancak etik tartışmalar ve sağlık riskleri nedeniyle dikkatle ele alınması gerekmektedir. Gelecekte, biyoteknoloji ve genetik mühendislik uygulamaları, sporcuların performanslarını daha bilimsel temellere dayalı olarak geliştirme fırsatları sunarken, bu teknolojilerin etik boyutları da dikkate alınmalıdır. Genetik varyantların bireysel performans üzerindeki etkilerini daha iyi anlamaya yönelik yapılacak çalışmalar, sporcuların genetik profillerine dayalı kişiselleştirilmiş antrenman ve rehabilitasyon programlarının geliştirilmesine olanak tanıyacak ve böylece spor performansının daha bilimsel, verimli ve etik bir zemine oturmasına katkı sağlayacaktır.

- 1 Arş. Gör., Erzurum Teknik Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, salih.cabuk@erzurum.edu.tr , <https://orcid.org/0000-0003-4148-9781>
- 2 Dr. Öğr. Üyesi, Erzurum Teknik Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, cebrail.gencoglu@erzurum.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-0990-9224>

## GİRİŐ

Biyoteknolojinin spor bilimiyle entegrasyonu, sporcu sağlığı ve performansının yönetiminde önemli bir paradigma deđiŐikliđi yaratmaktadır. Bu disiplinler arası etkileŐim, sporcuların sağlık durumlarının daha etkin bir Şekilde izlenmesi ve performanslarının optimize edilmesi için yeni yöntemler sunmaktadır. Özellikle biyoteknolojik yenilikler, sporcu yaralanmalarının önlenmesinde ve rehabilitasyon süreçlerinde önemli fırsatlar sağlamaktadır. Ayrıca, spor bilimi alanındaki biyoteknolojik gelişmeler, performansın artırılmasına yönelik çok boyutlu bir yaklaŐımı beraberinde getirmiŐtir. Biyoteknoloji ve spor bilimlerinin keŐiŐim noktasında, genetik mühendislikten biyomekaniğe, giyilebilir teknolojiye kadar birçok disiplin, sporcu sağlığına yönelik yenilikçi çözümler sunmaktadır. Bu entegrasyon, bireysel sporcu performansının optimize edilmesine yönelik kapsamlı bir bilimsel temel oluŐurmaktadır (Mishra vd., 2024).

Sportif performansın belirleyicileri, spor bilimleri alanında uzun süredir karmaşık ve zorlu bir araştırma konusu olarak öne çıkmaktadır. Spor performansı, çok faktörlü ve dinamik bir yapı sergileyen bir fenomendir ve bu performansı etkileyen faktörler hem içsel (genetik, motor davranıŐlar, fizyolojik ve psikolojik özellikler) hem de dışsal (antrenman, beslenme, gelişim fırsatları, genel sağlık durumu) unsurlardan oluŐmaktadır. Bu faktörler arasındaki etkileŐim, bireylerin sportif başarıya ulaşmasında kritik rol oynamaktadır. Bazı sporcular, doğal olarak yüksek seviyede fiziksel ve biyolojik yeteneklere sahip olabilmektedirler. Bu durum, antrenman programlarına başlamadan önce dahi olağanüstü performans sergilemelerine olanak tanımaktadır. Bunun yanı sıra, bazı sporcular antrenmana diğerlerinden daha iyi yanıt vererek, kariyerleri boyunca sürekli yüksek performans düzeylerini koruyabilmektedirler. Bu farklılıklar, bireyler arasındaki genetik farklılıklara bağlanmaktadır (Guilherme vd., 2014).

Biyoteknolojinin tıptaki uygulamalarının spor performansını artırma amacıyla kullanımı, zamanla sporcu sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratmıŐtır. Özellikle doping yöntemleri (gen dopingi ve geleneksel doping), sporcuların kapasitesinin üzerinde performans sergilemelerine imkân tanırken, ciddi sağlık sorunlarına, hatta kansere yol açabilmektedir (Kahya vd., 2023). Spor performansının genetiği, nispeten yeni bir araştırma alanı olup, mevcut literatür bu alanda henüz gelişim aşamasındadır. Genetik yapının sportif başarı üzerindeki etkilerini anlamak, sporcuların performanslarının optimize edilmesi ve kişiselleştirilmiş antrenman yaklaŐımlarının geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, spor genetiği alanındaki çalışmalar, sportif performansın daha iyi anlaşılmasına yönelik kritik bilgiler sağlamaktadır (Eynon vd., 2011).

Gelişen biyoteknolojiler, önemli faydalar sunma potansiyeline sahiptir. Ancak, bu teknolojilerin sağlıklı bireylerin performansını normalin ötesine taşımak amacıyla kullanılması, yeni ve karmaşık etik sorunları beraberinde getirmektedir. Tıbbın geleneksel amacı, önleyici veya tedavi edici uygulamalar olmuştur; bu nedenle, biyoteknolojilerin performans artırıcı amaçlarla pazarlanması yeni bir durumu temsil etmektedir. Bu konular, performans artırıcı biyoteknolojilerin kabul edilebilirliği konusunda farklı değer yargılarının bulunması nedeniyle etik açıdan tartışmalı bir alan yaratmaktadır (Lea, 2009).

### **Niceliksel Araştırmalarla Spor Teknolojilerinin Etkisi**

Spor teknolojileri, sporcuların performansını artırma, yaralanmaları önleme ve antrenman süreçlerini optimize etme açısından önemli ilerlemeler sağlamıştır. Giyilebilir teknolojiler ve biyomekanik analiz araçları, sporcuların hareketlerini ve fizyolojik tepkilerini gerçek zamanlı olarak izleyerek, veriye dayalı antrenman programlarının geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Biyomekanik bağlamında, hareket yakalama sistemleri, kuvvet plakaları ve 3D analiz gibi teknolojiler paha biçilmez araçlar haline gelmiştir (İnce, 2024b). Bu sistemler, sporcuların hareketlerini hassasiyetle yakalayıp analiz ederek ayrıntılı bir biyomekanik profil sunar. Antrenörler ve spor bilimciler, bu bilgileri teknikleri rafine etmek, formu düzeltmek ve bir sporcunun biyomekanik potansiyelini en üst düzeye çıkarmak için antrenman programlarını uyarlamak amacıyla kullanmaktadır. Bu teknolojilerin sağladığı anlık geri bildirimler, sporcuların ve antrenörlerin karar alma süreçlerini bilimsel temellere dayandırmalarını sağlar, böylece hem kısa vadeli performans artışı hem de uzun vadeli gelişim desteklenir (Mishra vd., 2024). GPS teknolojisi, sporcuların pozisyonlara göre performanslarını ve antrenman yoğunluklarını hassas bir şekilde analiz etme imkanı sunmakta, bu sayede antrenörler performans yönetiminde daha bilinçli kararlar alabilmektedir (Venter vd., 2011). Aynı zamanda, bu teknolojilerin sporcuların fiziksel yüklenme düzeylerini değerlendirme ve yorgunluğu ölçmede etkili bir araç olduğu kanıtlanmıştır. Giyilebilir sensörler ve biyoyumlu malzemeler, sporcuların kas gruplarını, kalp atış hızlarını ve hidrasyon seviyelerini izleyerek kas hasarlarını önlemeye ve antrenman süreçlerini daha verimli bir şekilde planlamaya yardımcı olmaktadır (Kim ve Chiu, 2019; Swan, 2012). Ayrıca, sanal gerçeklik gibi yenilikçi çözümler, sporcuların fiziksel ve zihinsel kapasitelerini güvenli bir ortamda geliştirmeye katkı sağlamaktadır. Sanal gerçeklik uygulamaları, sporcuların zihinsel dayanıklılığını artırmak ve stratejik düşünme becerilerini geliştirmek amacıyla simülasyon temelli eğitimler sunarak, antrenman süreçlerinde

önemli bir rol oynamaktadır. Bu teknolojiler, sporcuların kişiselleştirilmiş performans hedeflerine ulaşmalarına olanak tanırken, yaralanma riskini azaltarak spor yaşamlarını da uzatmaktadır (Luczak vd., 2020; Ahmadi, 2014; Ray, 2019). Özellikle biyomekanik verilerin antrenman sırasında izlenmesi, sporcuların asimetrik hareket kalıplarını tespit etmeye ve daha güvenli, verimli hareket teknikleri geliştirmelerine yardımcı olur. Bu durum, sporcuların dayanıklılığını uzun vadede artırmakta ve tekrarlayan yaralanma riskini azaltmaktadır. Yapay zeka ve makine öğrenimindeki gelişmelerin, bu teknolojilerin öngörü yeteneklerini artırması ve sporcuların biyomekanik ve fizyolojik tepkilerine daha ayrıntılı içgörüler sunması beklenmektedir (Mishra vd., 2024). Niceliksel veriler, performansın çeşitli yönlerini sayısal olarak ölçmeyi ve analiz etmeyi sağlarken, bu veriler ışığında teknolojilerin etkinliği daha objektif bir şekilde değerlendirilebilir. Ayrıca, bu araştırmalar sayesinde elde edilen bulgular, spor bilimcilerine ve antrenörlere, teknolojilerin hangi durumlarda en iyi sonuç verdiği ve sporcu sağlığı üzerindeki uzun vadeli etkileri hakkında derinlemesine bilgi sunmaktadır.

### **Biyoteknolojinin Spor Bilimlerine Etkisi**

Biyoteknoloji, biyolojik teknoloji olarak da adlandırılmaktadır. Özellikle modern yaşam bilimleri temelini dayanarak, diğer temel bilim dallarının bilimsel ilkeleriyle entegre edilen ileri teknolojik yöntemler kullanılarak, organizmalar üzerinde değişiklikler yapılmakta, biyolojik materyallerin işlenmesine yönelik yöntemler önceden tasarlanmakta ve insanlığın belirli hedeflerine ulaşılmaktadır. Yüksek düzeyli yapı teknikleri arasında genetik faktör inşası, hücre yapımı, biyolojik enzim üretimi, teknik yapı ve protein sentezi bulunmaktadır (Silva vd., 2016). Biyoteknoloji, organizmanın çok disiplinli bir alanı olup; sağlık sorunlarının çözümlü, insan ömrünün uzatılması, çevre bilimleri, tarımsal araştırmalar ve yaşamın kolaylaştırılması gibi amaçları gerçekleştirmek üzere teknolojik ve biyolojik imkânların bir araya getirilmesini hedeflemektedir. Bu bağlamda, biyoteknoloji canlı organizmalar üzerinde gerçekleştirilen tüm değişiklikleri kapsayan uygulamaların bütünüdür. Son yıllarda ise, genetik mühendisliği ve gen klonlama gibi biyoteknolojik yöntemler, moleküler biyoloji alanındaki anlayışımızda köklü değişimlere yol açmıştır. Biyoteknolojinin spor alanlarında kullanılmaya başlanması, sportif faaliyetlerde önemli değişimlere yol açmıştır. Günümüzde, bireylerin günlük fiziksel aktivitelerini takip eden sentetik kumaşlar, VAR (Video Yardımcı Hakem) sistemleri, voleybol ve tenis gibi sporlarda topun oyun çizgisine temasını belirleyen analiz cihazları, akıllı saatler ve sporcuların kat ettikleri mesafeyi kaydeden ayakkabılar gibi birçok teknolojik yenilik, sporda performans takibi ve karar verme süreçlerini

destekleyen önemli araçlar haline gelmiştir. Bunun yanı sıra, GPS tabanlı izleme sistemleri, sporcuların antrenman yüklerini analiz eden yazılımlar, kalp atış hızı monitörleri, kas aktivitesini ölçen EMG cihazları, drone teknolojisi ile yapılan antrenman analizleri ve sanal gerçeklik (VR) ile gerçekleştirilen simülasyon antrenmanları gibi gelişmeler de sporcuların performanslarını detaylı bir şekilde analiz edebilmekte ve optimize edebilmektedir (Özbay ve Ulupınar, 2023; Kahya vd., 2023; Ünver ve Kurna, 2020; İnce, 2024a). Ancak, biyoteknolojinin tıp alanındaki uygulamalarının spor performansını artırmaya yönelik kullanımı, zamanla sporcu sağlığı üzerinde bazı olumsuz etkilere neden olmuştur. Özellikle doping uygulamaları (gen dopingi ve geleneksel doping yöntemleri), sporcuların kapasitelerinin ötesinde performans göstermelerine olanak tanırken, aynı zamanda ciddi sağlık sorunlarına da yol açabilmektedir. Hem geleneksel hem de gen dopingi uygulamaları, hücrelerin çalışma mekanizmalarını etkileyerek kanser gibi ağır sağlık problemlerine neden olabilir. Bu durum, sporcu sağlığının korunması ve etik spor anlayışının sürdürülmesi açısından büyük bir tehdit oluşturmaktadır (Kahya vd., 2023). Biyoteknolojinin spor bilimlerine getirdiği yenilikler, sporcuların performanslarını daha bilimsel yöntemlerle ölçmelerine ve geliştirmelerine olanak tanırken, aynı zamanda etik sınırların ihlal edilmesine ve sağlık açısından risklerin artmasına da yol açabilmektedir. Sonuç olarak, biyoteknoloji spor dünyasında büyük bir potansiyele sahip olmakla birlikte, doğru şekilde kullanılması ve kontrol edilmesi, hem sporcu sağlığı hem de sportif etik açısından kritik bir öneme sahiptir.

### **Genetik Mühendislik ve Spor Performansı**

Genetik mühendisliği, sportif performansı etkileyen çeşitli faktörler üzerinde önemli bir etkiye sahip olma potansiyeline sahiptir ve bu bağlamda spor bilimleri ile performans geliştirme çalışmaları açısından önemli bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır. Sportif başarı, antrenman ve diyet programları kadar genetik yapı tarafından da belirlenir. Örneğin, kas gücü, esneklik, maksimum oksijen tüketimi, kanın oksijen taşıma kapasitesi, kalp işlevselliği, güç üretimi ve dayanıklılık gibi fiziksel ve metabolik özellikler bireyin sportif performansı üzerinde büyük bir rol oynar (Tarakçioğlu, 2013). Bu özellikler, tıpkı dış görünüşümüzde olduğu gibi, genetik yapımızdan miras alınır. Genetik faktörler, bireylerin hangi spor dallarında başarılı olma olasılığını da sınırlandırabilir. Örneğin, basketbol, uzun boylu sporcuların avantajlı olduğu bir spor dalı olarak bilinirken, kısa boylu bireylerin bu branşta dezavantaj yaşayabileceği öngörülmektedir. Benzer şekilde, maksimum oksijen tüketimi yüksek olan bireyler dayanıklılık gerektiren spor dallarına yönelme eğilimindedir (Tarakçioğlu, 2013). Bir diğer örnek ise,

esneklik ve eklem hareketliliği yüksek olan bireylerin jimnastik veya artistik patinaj gibi dallarda avantaj sağlarken, bu özelliği sınırlı olan sporcuların bu tür branşlarda başarı şansının daha düşük olabileceğidir.

Genetik mühendisliği, genlerin sportif performans üzerindeki etkilerini anlayarak, bu genler üzerinde yapılacak müdahaleler ile performansın artırılması potansiyeline sahiptir. Bu müdahaleler gen terapisi ve gen dopingi gibi iki temel başlık altında incelenmektedir (Friedmann vd., 2010). Gen terapisi, DNA veya RNA gibi genetik materyallerin hücrelere aktarılması yoluyla hasarlı genlerin onarılmasını amaçlar. Somatik gen terapisi yalnızca tedavi edilen bireyi etkilerken, germ-hattı gen terapisi genetik özelliklerin sonraki nesillere aktarılmasını sağlar (Tamburrini, 2005; Camporesi ve McNamee, 2018). Ancak, germ-hattı gen terapisi, insan gelişimini kontrol etme olasılığı ve etik kaygılar nedeniyle ciddi tartışmalara yol açmaktadır (Camporesi ve McNamee, 2018). Gen dopingi ise genetik mühendisliği kullanılarak sportif performansın artırılmasını hedefleyen bir yöntemdir, fakat bu uygulama Uluslararası Olimpiyat Komitesi (IOC) ve Dünya Anti-Doping Ajansı (WADA) tarafından yasaklanmıştır (Miah, 2004). Gen dopingi üzerindeki denetim eksikliği, sporcular için ciddi sağlık riskleri doğurabilir. Örneğin, aşırı eritropoietin (EPO) üretimi kanın yoğunlaşmasına, bu da kalp krizi ve felç gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir (Schneider ve Friedmann, 2006). Ayrıca, genetik müdahalelerin potansiyel olumsuz sonuçları arasında kanser ve bağışıklık sistemi bozuklukları da bulunmaktadır (Friedmann, 2010; Tarakçioğlu, 2013).

Genetik mühendisliği, spor alanında dört ana uygulama alanına sahiptir: Genom bilimi, somatik hücre modifikasyonu, germ-hattı modifikasyonu ve bireylerin genetik seçimi (Schneider ve Rupert, 2009). Bu uygulamalar, sportif performansın artırılmasında çeşitli fırsatlar sunmakla birlikte, aynı zamanda önemli etik ve sağlık riskleri de barındırmaktadır. Bu nedenle, genetik mühendisliğinin spor alanında uygulanması, dikkatli ve titiz bir şekilde ele alınmalı, potansiyel riskler ve olası sonuçlar göz önünde bulundurulmalıdır (Diamanti-Kandarakis vd., 2005).

### **Biyoteknolojik Destekli Rehabilitasyon Yöntemleri**

Günümüzde spor yaralanmalarında rehabilitasyon eğitimi, genellikle belirli tedavi yöntemlerine (cerrahi müdahale, masaj terapisi, diğer tedavi yöntemleri vb.) dayalı olarak sınıflandırılmakta ve yaralanmaların şiddetiyle niteliğine göre planlanmaktadır. Spor yaralanmalarının önlenmesi için üç ana düzeyde koruyucu sistem bulunmaktadır: yaralanmaların önlenmesi, yaralanma durumunda zamanında ve doğru tedavi uygulanması, ardından ise

rehabilitasyon sürecinin başlatılması (Shearer vd., 2016). Ancak mevcut spor yaralanmalarına yönelik rehabilitasyon yaklaşımları, yeterince uyarlanabilir değildir ve genellikle tıbbi değerlendirmeden önce rehabilitasyon eğitimi gerekmektedir. Bu süreç, yaralanmanın niteliğini daha iyi anlamak ve iyileşme sürecini hızlandırmak amacıyla yapılmaktadır (Song ve Brandt-Pearce, 2013).

Spor yaralanmaları, dünya genelinde sporcular üzerinde önemli fiziksel, duygusal ve ekonomik etkiler oluşturan yaygın bir sorundur (Abdolmaleki, 2020). Biyoteknolojik müdahaleler, sporcu rehabilitasyonu ve yaralanma önleme süreçlerinde yenilikçi araçlar olarak ön plana çıkmaktadır (Mishra vd., 2024). Geleneksel tedavi yöntemleri çoğunlukla semptomların yönetimine odaklanırken, rejeneratif tıp ve doku mühendisliği yaklaşımları, yaralanmış dokuların yenilenmesini hedefleyerek uzun vadeli çözümler sunmaktadır (Abdolmaleki, 2020). Doku mühendisliği, biyolojik yapılar oluşturarak veya mevcut dokuların onarımını sağlayarak vücudun kendini iyileştirme kapasitesini artırmayı amaçlar. Özellikle trombosit açısından zengin plazma (PRP) ve mezenkimal kök hücreler (MSC'ler) gibi biyolojik tedavi yöntemleri, spor yaralanmalarının tedavisinde dikkate değer yenilikçi yaklaşımlar olarak öne çıkmaktadır (Iranpour vd., 2018; Huang vd., 2019). Rejeneratif tıp ise sporla ilişkili yaralanmaların tedavisinde kök hücre terapileri gibi yenilikçi yöntemlerle önemli bir rol oynamaktadır. Bu tedaviler, kök hücrelerin rejeneratif potansiyelinden yararlanarak bağ, tendon veya kıkırdak gibi hasar görmüş dokuların onarılmasını sağlar. Hedefe yönelik ve minimal invaziv prosedürler sayesinde sporcular, daha hızlı iyileşme, iltihaplanmanın azalması ve iyileşme sürecinin güçlenmesi gibi olumlu etkilerden faydalanabilirler. Bu tedaviler, sporcuların uzun süre sahalardan uzak kalmalarını önleyerek daha hızlı bir iyileşme süreci sunmaktadır. Yaralanma durumunda rejeneratif tıp teknikleri, yaralanmanın doğası ve ciddiyetine uygun şekilde uyarlanarak daha hızlı ve etkili bir iyileşme sağlar. Bununla birlikte, biyoteknolojik müdahalelerin sinerjisi yalnızca yaralanmaların fiziksel boyutlarını değil, aynı zamanda rehabilitasyon sürecinin psikolojik ve duygusal yönlerini de ele almaktadır. Biyoteknolojik temelli iyileşme stratejileri, sporcuların zihinsel dayanıklılığına ve özgüvenine katkıda bulunarak başarılı bir rehabilitasyon süreci için önemli unsurlar sunar (Mishra vd., 2024).

Sonuç olarak, biyoteknolojik müdahaleler, sporcuların iyileşme sürecine daha proaktif ve hedefe yönelik bir şekilde katılmalarını sağlayarak, daha sürdürülebilir bir sportif performans kültürünün oluşmasına katkıda bulunmaktadır. Özellikle rejeneratif tıp ve doku mühendisliği gibi yenilikçi tedavi yöntemleri, bireyselleştirilmiş ve hassas tedavi imkanları sunarak, spor hekimliği ve performans optimizasyonu alanlarında yeni standartlar

belirleme potansiyeline sahiptir. Teknolojideki ilerlemeler, sporcular için daha hızlı iyileşme ve daha düşük yaralanma riski sunarken, uzun vadede sportif mükemmeliyetin sürdürülebilirliğini teşvik etmektedir.

### **Biyoteknoloji ve Sportif Performansın Sınırları**

Sportif başarının belirlenmesinde genetik, epigenetik, antrenman, beslenme, motivasyon, ekipman teknolojilerindeki gelişmeler ve diğer çevresel faktörler gibi çok çeşitli unsurlar etkili olmaktadır. Genetik faktörler, sportif performansın güç, dayanıklılık, kas liflerinin boyutu ve yapısı, esneklik, nöromusküler koordinasyon gibi temel bileşenleri üzerinde önemli bir rol oynamaktadır (De Moor ve ark., 2007).

Genetik varyantların performansla güçlü bir şekilde ilişkilendirilmesi, belirli bir denge unsurunu barındırdığına işaret etmektedir. Örneğin, hız performansı için uygun olan ACTN3 R577X genotipine sahip bireyler, dayanıklılık açısından uygun ACTN3 genotipine sahip olmayabilirler ve bu durumun tersi de geçerlidir. Benzer bir durum, ACE I/D polimorfizmi ile güç ve dayanıklılık arasında gözlemlenmektedir. Aynı şekilde, Eero Mäntyranta'nın nadir görülen EPOR varyantı sayesinde elde ettiği performans avantajı, sağlık açısından belirli riskler taşımaktadır. Bu bağlamda, genetik varyantların performans üzerinde sınırlayıcı bir etkisi olabileceği görülmektedir. Ayrıca, herhangi bir durumda mükemmel bir genetik profilin mevcut olmadığını belirtmek önemlidir. En uygun genetik profil, yalnızca değerlendirildiği çevresel koşullarda en iyidir ve bu çevresel koşullar, bireyin yaşamı boyunca değişkenlik göstermektedir. Özellikle zirve dönemlerinde günde birden fazla kez antrenman yapan elit sporcular, emeklilik dönemlerinde bu antrenman yoğunluğunu sürdürmemekte ve genetik değişikliklerin ileri yaşamlarında istenmeyen sağlık sorunlarını hızlandırabileceği olasılığı ortaya çıkmaktadır.

Sonuç olarak, sporcu performansı, hem genetik hem de çevresel sınırlamaların bir bileşimi ile şekillenmektedir. Ancak günümüzde çevresel faktörlerin sadece bir kısmı sporcunun kontrolü altındadır. Sporcular, potansiyellerine ulaşmak için en iyi antrenörler eşliğinde sıkı ve düzenli antrenmanlara devam etmeli ve beslenmelerine özen göstermelidirler. Bunun yanı sıra, genetik araştırmalar, sporcuların maksimum performanslarına ulaşmalarını sağlamak amacıyla nasıl en etkili şekilde eğitilecekleri ve yönlendirileceklerine dair önemli bilgiler sunacaktır. Ancak bu alandaki araştırmalar henüz başlangıç aşamasındadır (Moran ve Wang, 2020).



## Biyoteknolojik Yenilikler ve Fair Play: Etik Tartışmalar

Biyoteknolojik ilerlemelerin sportif performans üzerindeki etkisi, spor etiği ve rekabet avantajı açısından derin tartışmalara yol açmıştır. Bu gelişmelerden biri olan “teknolojik doping” biyoteknolojinin sporcuların fiziksel kapasitelerini iyileştirmek amacıyla kullanılmasını ifade etmektedir. Örneğin, elit yüzücüler için özel olarak tasarlanan bir mayo, sürtünmeyi ve yorgunluğu azaltarak hızın artmasını ve oksijen verimliliğinin iyileşmesini sağlamaktadır. Benzer bir biçimde, Paralimpik sporcu Oscar Pistorius’un kullandığı karbon fiber protezler, spor etiği bağlamında rekabet avantajı konusunu yeniden gündeme taşımıştır. Pistorius’un protezlerinin ona haksız bir avantaj sağladığı yönündeki iddialar, hem bilimsel hem de etik açılardan tartışılmaya devam etmektedir. Brüggemann’ın biyomekanik analizine göre, Pistorius’un diğer sporculara göre daha az enerji harcadığı ve protezlerinin performans artırıcı bir etkisi olduğu öne sürülmüştür. Bununla birlikte, Rice Üniversitesi’nde gerçekleştirilen bir araştırma, bu protezlerin Pistorius’a metabolik ya da mekanik bir avantaj sağlamadığını ortaya koymuş ve Uluslararası Spor Tahkim Mahkemesi (CAS) tarafından, Pistorius’un yarışmalara katılmasına izin verilmiştir (Lea, 2009).

Performans artırıcı teknolojiler, aynı zamanda gen terapisi gibi biyoteknolojilerin daha geniş uygulamaları ile de ilişkilendirilmektedir. Gen terapisi, hastalıkları tedavi etmek amacıyla genetik materyalin hücrelere aktarılmasını içerirken, bu teknolojinin sportif performansı artırma amacıyla kullanılması “gen dopingi” olarak tanımlanmaktadır. Gen dopingi, sporcuların büyüme faktörlerini ve hızlı kas liflerini artırarak doğal yeteneklerinin ötesine geçmelerini mümkün kılmaktadır. Bu bağlamda, genetik mühendisliğin sporun adil rekabet ilkelerini ihlal edebileceği ve spor ruhuna zarar verebileceği endişesi gündeme gelmektedir (Foddy ve Savulescu, 2018). Ayrıca, genetik iyileştirmelerin toplum genelinde yaygınlaşmasının, biyolojik olarak iyileştirilmemiş bireylerin dışlanmasına yol açabileceği tezi de etik bir tartışma konusu olarak öne çıkmaktadır (Lea, 2009).

Bu bağlamda, biyoteknolojik ilerlemelerin yalnızca performans artırma amacıyla mı yoksa dezavantajlı sporculara eşit fırsatlar sunmak amacıyla mı kullanılacağı sorusu önem kazanmaktadır. Bazı etik yaklaşımlar, performans artırıcı teknolojilerin, dezavantajlı sporcuların daha adil bir yarışma ortamında rekabet etmelerine imkân sağlayabileceğini savunurken, diğer görüşler bu teknolojilerin haksız rekabet yaratabileceği endişesini taşımaktadır (Lea, 2009). Bu tartışmalar, biyoteknolojinin spor ve toplum üzerindeki etkilerini yeniden düşünmeyi gerektiren çok boyutlu etik meseleler ortaya çıkarmaktadır.

## **Biyoteknolojinin Sporun Geleceğindeki Rolü**

Son yıllarda biyoteknoloji ve moleküler biyoloji alanlarında kaydedilen ilerlemeler, performansla ilişkili fenotipleri etkileyebilecek yapısal genetik varyasyonların tanımlanmasında önemli bir ivme kazandırmıştır (Ostrander vd., 2009). Bu gelişmeler, genetik ilişkilendirme çalışmaları aracılığıyla egzersizle ilişkili insan gen haritasının oluşturulmasını mümkün kılmıştır (Bray vd., 2009) ve bu haritaya dahil edilen polimorfizm sayısındaki hızlı artış, devam eden g¼ncellemelerle kendini g¼stermektedir (Hagberg vd., 2011; Roth vd., 2012). řu ana kadar, 200'den fazla polimorfizm fiziksel egzersizle ilişkili bazı özelliklerle bağlantılı olarak tanımlanmıştır ve bu sayının önümüzdeki yıllarda artması beklenmektedir (Roth vd., 2012). Ancak, bu >200 genetik varyanttan yalnızca yaklaşık 20'si spesifik olarak sporcular üzerinde gözlemlenmiştir (Eynon vd., 2011). Ayrıca, bu genlerin ve varyantların çoğu, tekrarlamalı çalışmaları sırasında bu ilişkileri doğrulamamış, bu sebeple spor performansı ile tutarlı bir şekilde ilişkilendirilen genetik varyant sayısı 10'un altına inmiştir (Bouchard, 2011; Williams ve Folland, 2008). İnsan genomunun 20.000'den fazla gen içerdieği ve her genin performansla ilişkili fenotipler üzerinde potansiyel etkisi olabilecek çok sayıda varyanta sahip olabileceği göz önüne alındığında, mevcut bilgi birikimimizin spor performansını etkileyen genetik faktörlerin yalnızca küçük bir bölümünü temsil ettiği açıktır. Dolayısıyla, keşfedilmeyi bekleyen çok sayıda yeni genetik varyant bulunmaktadır ve bu genlerin, birbirleriyle ve çevresel faktörlerle nasıl etkileşime girdiğine dair bilgilerimiz hala oldukça sınırlıdır. Gelecekte yapılacak çalışmalar, genetik varyantların bireysel performans üzerindeki etkilerini daha iyi anlamamıza katkı sağlayacak ve aynı zamanda sporcuların genetik profillerine dayalı olarak kişişelleştirilmiş antrenman ve rehabilitasyon programlarının geliştirilmesine olanak tanıyacaktır. Bu durum, spor performansının daha bilimsel temellere dayandırılmasına ve biyoteknoloji kullanımı sayesinde sporun geleceğinde daha adil, verimli ve etik standartların oluşturulmasına zemin hazırlayabilir.

## Kaynaklar

- Abdolmaleki, A., Zahri, S., Asadi, A., & Wassersug, R. (2020). Role of tissue engineering and regenerative medicine in treatment of sport injuries. *Trauma Monthly*, 25(3), 106-112.
- Ahmadi, A., Mitchell, E., Richter, C., Destelle, F., Gowing, M., O'Connor, N. E., & Moran, K. (2014). Toward automatic activity classification and movement assessment during a sports training session. *IEEE Internet of Things Journal*, 2(1), 23-32.
- Bouchard, C. (2011). Overcoming barriers to progress in exercise genomics. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 39(4), 212-217.
- Bray, M. S., Hagberg, J. M., Perusse, L., Rankinen, T., Roth, S. M., Wolfarth, B., & Bouchard, C. (2009). The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2006-2007 update. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(1), 34-72.
- Camporesi, S., & McNamee, M. (2018). *Bioethics, genetics and sport*. Routledge.
- De Moor, M. H., Spector, T. D., Cherkas, L. F., Falchi, M., Hottenga, J. J., Boomsma, D. I., & De Geus, E. J. (2007). Genome-wide linkage scan for athlete status in 700 British female DZ twin pairs. *Twin Research and Human Genetics*, 10(6), 812-820.
- Diamanti-Kandarakis, E., Konstantinopoulos, P. A., Papailiou, J., Kandarakis, S. A., Andreopoulos, A., & Sykiotis, G. P. (2005). Erythropoietin abuse and erythropoietin gene doping: detection strategies in the genomic era. *Sports Medicine*, 35, 831-840.
- 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.
- Foddy, B., & Savulescu, J. (2018). Ethics of performance enhancement in sport. *Ethics in Sport*, 307-320.
- Friedmann, T. (2010). How close are we to gene doping?. *The Hastings Center Report*, 20-22.
- Friedmann, T., Rabin, O., & Frankel, M. S. (2010). Gene doping and sport. *Science*, 327(5966), 647-648.
- Guilherme, J. P. L. F., Tritto, A. C. C., North, K. N., Lancha Junior, A. H., & Artioli, G. G. (2014). Genetics and sport performance: current challenges and directions to the future. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, 28(01), 177-193.
- Hagberg, J. M., Rankinen, T., Loos, R. J., Pérusse, L., Roth, S. M., Wolfarth, B., & Bouchard, C. (2011). Advances in exercise, fitness, and performance genomics in 2010 (medicine and science in sports and exercise). *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(5), 743.

- Huang, R., Zhou, Y., & Xiao, Y. (2019). Interaction between mesenchymal stem cells and immune cells in tissue engineering. *Encyclopedia of Biomedical Engineering (Volume 1)*, 249-256.
- İnce, İ. (2024a). Düşük maliyetle ve el yapımıyla geliştirilen bir kuvvet platformunun güvenilirliği ve geçerliği. *Gazi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 29(3), 124-133.
- İnce, İ. (2024b). Hız temelli antrenmanlarda kullanım amacıyla geliştirilen bir lineer transdüserin güvenilirliği ve geçerliği. *SPORMETRE Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 22(2), 47-58.
- Iranpour, S., Mahdavi-Shahri, N., Miri, R., Hasanzadeh, H., Bidkhorı, H. R., Naderi-Meshkin, H., ... & Matin, M. M. (2018). Supportive properties of basement membrane layer of human amniotic membrane enable development of tissue engineering applications. *Cell and Tissue Banking*, 19, 357-371.
- Kahya, S., Yıldız, Y. A., Kahya, S., & Aylıgan, E. (2023). Antrenörlerin Biyoteknolojiye Yönelik Tutumlarının İncelenmesi: Ankara Örneği. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, 4(1), 1-7.
- Kim, T. and Chiu, W. (2019). Consumer acceptance of sports wearable technology: The role of technology readiness. *International Journal of Sports Marketing and Sponsorship*, 20(1), 109- 126.
- Lea, R. D. (2009). Ethical considerations of biotechnologies used for performance enhancement. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 91(8), 2048-2054.
- Lee, J., Kim, D., Ryoo, H. Y. and Shin, B. S. (2016). Sustainable wearables: Wearable technology for enhancing the quality of human life. *Sustainability*, 8(5), 466.
- Luczak, T., Burch, R., Lewis, E., Chander, H., & Ball, J. (2020). State-of-the-art review of athletic wearable technology: What 113 strength and conditioning coaches and athletic trainers from the USA said about technology in sports. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 15(1), 26-40.
- Miah, A (2004). Genetically modified athletes: biomedical ethics, gene doping and sport.
- Mishra, S., Raju, D., Verma, A., & Kapri, B. C. (2024). Bio-technological intervention for health in sports: An interdisciplinary approach.
- Moran, C. N., & Wang, G. (2020). Genetic limitations to athletic performance. In *The Routledge Handbook on Biochemistry of Exercise* (pp. 217-231). Routledge.
- Ostrander, E. A., Huson, H. J., & Ostrander, G. K. (2009). Genetics of athletic performance. *Annual Review of Genomics and Human Genetics*, 10(1), 407-429.

- Özbay, S., & Ulupınar, S. (2023). Sportif performans analizinde yeni nesil teknolojiler üzerine genel bir bakış. *Dijital Çağda Spor Araştırmaları* 2, 67.
- Da Silva, P. B., de Freitas, E. S., Bernegossi, J., Gonçalves, M. L., Sato, M. R., Leite, C. Q. F., ... & Chorilli, M. (2016). Nanotechnology-based drug delivery systems for treatment of tuberculosis—a review. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 12(2), 241-260.
- Ray, T., Choi, J., Reeder, J., Lee, S. P., Aranyosi, A. J., Ghaffari, R., & Rogers, J. A. (2019). Soft, skin-interfaced wearable systems for sports science and analytics. *Current Opinion in Biomedical Engineering*, 9, 47-56.
- Roth, S. M., Rankinen, T., Hagberg, J. M., Loos, R. J., Pérusse, L., Sarzynski, M. A., ... & Bouchar, C. (2012). Advances in exercise, fitness, and performance genomics in 2011. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(5), 809.
- Schneider, A. J., & Friedmann, T. (2006). The scientific basis for gene therapy: A new concept in medicine. *Advances in Genetics*, 51, 11-25.
- Schneider, A. J., & Rupert, J. L. (2009). Constructing winners: The science and ethics of genetically manipulating athletes. *Journal of the Philosophy of Sport*, 36(2), 182-206.
- Shearer, C. J., Slattery, A. D., Stapleton, A. J., Shapter, J. G., & Gibson, C. T. (2016). Accurate thickness measurement of graphene. *Nanotechnology*, 27(12), 125704.
- Song, H., & Brandt-Pearce, M. (2013). Range of influence and impact of physical impairments in long-haul DWDM systems. *Journal of Lightwave Technology*, 31(6), 846-854.
- Swan, M. (2012). Health 2050: The realization of personalized medicine through crowdsourcing, the quantified self, and the participatory biocitizen. *Journal of Personalized Medicine*, 2(3), 93-118.
- Tamburrini, C., & Tännisjö, T. (Eds.). (2005). *Genetic technology and sport*. London: Routledge.
- Tarakçıoğlu, S. (2013). Genetik mühendisliği ve spor. *Türkiye Klinikleri Journal of Sports Sciences*, 5(1).
- Ünver, S. S., & Kurnaz, I. A. (2020). *Biyoteknoloji çağına hoş geldiniz*. İstanbul: Aba Yayın.
- Venter, R. E., Opperman, E. and Opperman, S. (2011). The use of global positioning system (GPS) tracking devices to assess movement demands and impacts in Under-19 Rugby Union match play: Sports technology. *African Journal for Physical Health Education, Recreation and Dance*, 17(1), 1-8.
- Williams, A. G., & Folland, J. P. (2008). Similarity of polygenic profiles limits the potential for elite human physical performance. *The Journal of Physiology*, 586(1), 113-121.