

Spor ve Genetik İlişkisi: Sistematiik Derleme The Relationship Between Sports and Genetics: A Systematic Review

Yeliz Ay Yıldız¹, *Sedat Kahya²

¹ Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Antrenörlük Eğitimi Bölümü, yeliz.ay@alanya.edu.tr, 0000-0002-2002-0389

² Millî Eğitim Bakanlığı, Eğitim-Öğretim, sedatkayha58@gmail.com, 0000-0002-1169-2642

ÖZET

Sporla performansını etkileyen birçok faktöre rağmen, genetik orijinli faktörler performans üzerinde önemli etkilere sahip olabilir. Sporda performans limitlerinin ötesine geçebilmenin sporcu DNA'sında saklı olması spor ve genetik ilişkisini önemli hâle getirmiştir. Spor ve genetik ilişkisini inceleyen bazı çalışmalar spor becerilerinin genetik olabileceğini göstermiştir. Ancak bu konu ile ilgili halen belirsizlikler bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, spor ve genetik arasındaki ilişkiyi incelemektir. Mevcut çalışma; Pubmed, Pubmed-Central ve Google Akademik internet veri tabanlarına kayıtlı konu ile ilgili çalışmaları içermektedir. İnsan Genom Projesi ve omiks teknolojilerde yaşanan gelişmeler, spor ile genetik ilişkisini farklı bir boyuta getirmiştir. Bu amaçla, sportif performans ve gen ilişkisine yönelik birçok gen polimorfizmi bulunmuştur. Spor ve genetik ilişkisi, genetiğin besin maddeleri ile etkileşiminde nutrigenetik ve nutrigenomik kavramlarını ortaya çıkartmıştır. Günümüzde, besinsel kaynaklı birçok hastalık besin genomiği içerisinde tespit edilmektedir. Sporunun atletik becerisini belirlemeye yönelik yapılan genetik testler gelecek yıllarda geniş bir prevalansa sahip olabilir. Bu sonuç üzerinde, genetik testlerin bir yatırım aracı olması gerçeği etkili olabilir. Sonuç olarak, genetik orijinli uygulamalar spor performansını geliştirebilir. Ancak konunun dikkatle takip edilmesi etik ve sağlık açısından önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: DNA, Genetik, İnsan Genom Projesi, Performans, Spor.

ABSTRACT

Despite the many factors that affect performance in sports, factors of genetic origin can have significant effects on performance. The fact that going beyond the performance limits in sports is hidden in the DNA of the athlete has made the relationship between sports and genetics important. Some studies examining the relationship between sports and genetics have shown that sports skills may be genetic. However, there are still uncertainties regarding this issue. The aim of this study was to examine the relationship between sport and genetics. Current study included studies on the subject registered in Pubmed, Pubmed-Central and Google Scholar internet databases. The Human Genome Project and developments in omics technologies have brought to a different dimension the relationship between sports and genetics. For this purpose, many gene polymorphisms related to the relationship between sports performance and genes were found. The relationship between sports and genetics has revealed the concepts of nutrigenetics and nutrigenomics in the interaction of genetics with nutrients. Many food-borne diseases are detected in food genomics today. Genetic testing to determine an athlete's athletic ability may have a wide prevalence in the next years. The fact that genetic tests are an investment tool may be effective on this result. As a result, practices of genetic origin may improve sports performance. However, it is important to follow the issue carefully in terms of ethics and health.

Keywords: DNA, Genetic, Human Genom Project, Performance, Sport.

Citation: Ay Yıldız, Y., & Kahya, S. (2024). Spor ve Genetik İlişkisi: Sistematiik Derleme, *Herkes için Spor ve Rekreasyon Dergisi*, 6(3), 334-343.

Gönderme Tarihi/Received Date:
15.07.2024

Kabul Tarihi/Accepted Date:
27.08.2024

Yayınlanma Tarihi/Published Online:
30.09.2024

<https://doi.org/10.56639/jsar.1516686>

*Corresponding author:
sedatkayha58@gmail.com

GİRİŞ

Modern çağın savaşçıları sporcular ve onların yarıştıkları arenalar, çağlar ne kadar değişirse değişsin temelinde her zaman aynı amacı barındıracaktır. Bu amaç "rakip/rakilere üstün gelmek ve en güçlüsü olabilmek". Sporun bu amacı gerçekleştirebilmesinde, bazı faktörlerin etki düzeylerinin iyi bilinmesi gerekmektedir (Kaynar vd., 2018) Bu amaçla, sportif performans üzerinde içsel-dışsal birçok faktör çeşitli derece ve şekillerde etki gücüne sahiptir. Yaş, cinsiyet, hormonal durum, genetik, sinir-kas uyumu, nöral süreçler, anatomik yapı, psikoloji, metabolizmal faaliyetler vb. içsel faktörleri oluştururken; beslenme, spor yapılan alan, malzeme, cinsellik, taraftar, iklim, yükselti, ergojenik destekler, sakatlık, ısı, vb. ise dışsal faktörleri oluşturmaktadır. (Bayraktar & Kurtoğlu, 2009). Sporda performansı hatırı sayılır şekilde etkileyebilecek birçok faktöre rağmen, genetik orijinli faktörler, performans üzerinde önemli etkilere sahip olabilir (Dinç & Gökmen, 2019). Bu bağlamda genetik, yaşayan organizmanın kalıtımını ve varyasyonunu biyolojik esaslara göre araştıran bir bilim dalıdır (Karayılan vd., 2013).

İnsanlığın sağlık ve hastalıklarda önemli bir dönüm noktası olarak gördüğü "İnsan Genom Projesi" (İGP) spor ile genetik ilişkisine farklı bir boyut kazandırmıştır. Bu amaçla, proje sonunda, sportif performans ve genetik ilişkisine yönelik birçok gen polimorfizmi tespit edilmiştir. Bu genlerin; kas yapısı, aerobik-anaerobik kapasite, kardiyorespiratuar sistem, maxVO₂, güç/kuvvet, dayanıklılık, sakatlık hassasiyeti vb. ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Atletik performans ve genetik ile ilgili yapılan çalışmalar, spor becerisinin %66 oranında genetik olabileceği sonucunu ortaya koymuştur (Subak vd., 2017). Bu doğrultuda, genetik ve spor birbiriyle ilişkili kavramlar olabilir (Kasap & Tutkun, 2020).

Son yıllarda omiks teknolojilerde yaşanan gelişmeler, sağlık ve atletik performansla ilgili bilim insanlarının yeni tavsiyeler ve metotlar geliştirmesine olanak sağlamıştır (Gineviçienė vd., 2022). Bu amaçla, spor bilimcilerin sportif performansını detaylı bir şekilde araştırmaları ve sporun birey metabolizmasındaki biyolojik etkilerini tanımlamaları elzem hâle gelmiştir.

Egzersizle ilişkili olarak sporcuların; beslenmeleri, toparlanmaları, antrenman yoğunlukları-şiddetleri, motivasyonları gibi durumları benzer olmasına rağmen, "bu bireyleri sportif performans esnasında farklılaştıran nedir?" sorusunun cevaplanmasında sporcuların antrenmanlara olan uyumu, gerekli besinsel destek ile antrenman yüklenmelerini belirli bir sisteme göre yapmaları ve illegal madde kullanımı gibi birçok faktör yeterli dönütleri sağlayamayabilir. Bu nedenlerden dolayı konunun iyi bir şekilde aydınlatılması için daha spesifik alanların araştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

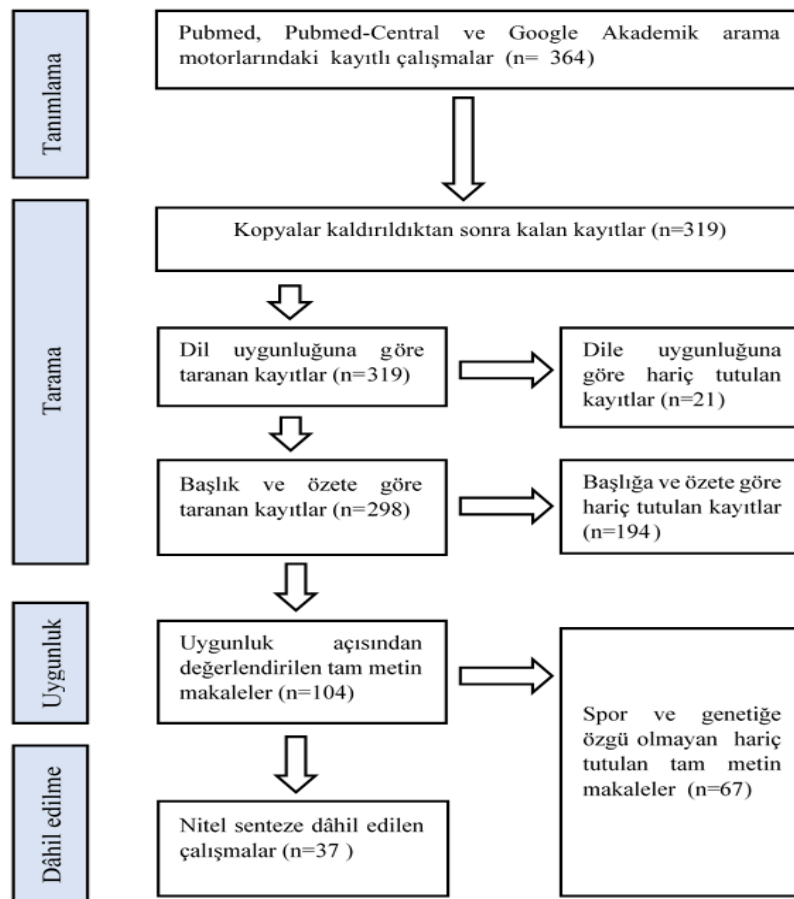
Bu bilgiler doğrultusunda, çalışma spor ile genetik ilişkisini incelemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen verilerin spor bilimlerine değerli katkılar sunabileceği ön görülmektedir.

YÖNTEM

Araştırma Stratejisi: Çalışmaya spor ve gen ilişkisine yönelik, 2011 ile 2024 yılları arası, literatür kapsamında yapılan çalışmalar dahil edilmiştir. Mevcut çalışmada, NCBI (National Center for Biotechnology Information) arama motoruna kayıtlı Pubmed, Pubmed-Central ile Google Akademik internet veri tabanlarında konu ile ilgili yapılmış makaleler kullanıldı. İlgili internet veri tabanlarına; “DNA”, “RNA”, “gen”, “İnsan Genom Projesi”, “DNA dizleme yöntemleri”, “nutrigenetik ve nutrigenomik”, “genetik test ve spor”, “spor ve genetik ilişkisi” anahtar kelimeleri yazıldı ve elde edilen veriler değerlendirildi. Çalışma verileri, iki bağımsız araştırmacı tarafından değerlendirildi. Spor ve gen ilişkisine yönelik çalışmada yer alan her bir makalenin veri çıkartma ve kalite değerlendirme işlemlerinde tüm çalışmalar için şu sıralamalar takip edildi: a- Yazar ismi, b- Yayının tarihi, c- Gen polimorfizmleri-ID d-Katılımcıların nitelikleri, e- Çalışma tasarımı/Etnik durum ve f- Sonuç

Araştırma Seçimi

Çalışmada, spor ve gen ilişkisine uygun yayınlar kapsamlı bir şekilde incelendi ve konuyla ilgili olanlar başlıca göre taranarak çalışmaya dâhil edildi. Çalışma ile ilgili olmayan makaleler, inceleme dışında tutuldu. Tarama sonucu elde edilen verilerin özetleri detaylı bir şekilde gözden geçirildi. Mevcut çalışma için 364 makale iç ve dış kriterlere göre tanımlandı. Mevcut çalışmada; deneysel, sistematik derleme ve meta-analiz türdeki makaleler kullanıldı. Çalışmada kullanılan deneysel çalışmalara ilişkin genlerin, popülasyonlardaki dağılımlarına dikkat edildi. Bu amaçla, HWE (Hardy Weinberg Eşitliği) uygun çalışmalar mevcut çalışmada kullanılmak üzere belirlendi ($p>0,05$). HWE büyük bir popülasyonda mutasyon, doğal seçim, seleksiyon gibi unsurların olmadığını varsayan bir yasadır ve $p+q = 1$ şeklinde formüle edilmektedir (Mayo, 2008). Çalışma, spor ve gen ilişkisine yönelik polimorfizm, alel ve genotip verileri içermektedir. Ayrıca çalışmaya dâhil edilmede, sportif performans ve gen ilişkisi ilgili olarak cinsiyet, etnik köken, dil, vb. herhangi bir kısıtlama bulunmamaktadır. Çalışmada; geleneksel tarzda derleme makaleler, kongreler, editör notları ve orijinal niteliği taşımayan içerikler bulunmamaktadır. Çalışmaya, toplamda 364 makale ile başlandı ve inceleme sonucu 37 makale mevcut çalışma için kullanıldı. Çalışmanın tasarımında, Moher ve ark. (2009) tarafından geliştirilen PRISMA tekniği kullanıldı. (Şekil 1).



Şekil 1: PRISMA Tekniğine Göre Çalışmanın Dizaynı

Araştırmanın Etiği: Anket, mülakat, odak grup çalışması, gözlem, deney, görüşme teknikleri kullanılarak katılımcılardan veri toplanmasını gerektiren nitel ya da nicel yaklaşımlarla yürütülen her türlü araştırmalar, insan ve hayvanların (materyal/veriler dahil)

deneysel ya da diğer bilimsel amaçlarla kullanılması, insanlar üzerinde yapılan klinik araştırmalar, hayvanlar üzerinde yapılan araştırmalar, kişisel verilerin korunması kanunu gereğince retrospektif çalışmalar için Etik Kurul İzni gerekmektedir.

BULGULAR

DNA, RNA ve Gen İlişkisi: DNA, hücre çekirdeğinde yer alan ve yaşamsal kodlarımızın paketlenerek saklandığı uzun zincir polimer yapıda hücrenin en önemli bilgi materyalidir (Takahashi vd., 2021; Altınsoy & Uçar, 2022). Bu materyal; T (timin), A (adenin), G (guanin) ve C (sitozin) nükleotitlerinin karşılıklı eşleşmelerinden meydana gelmektedir. Her bir nükleotitin yapısında; asit formunda 1 fosfat, 5 karbonlu deoksiriboz şeker ve 1 de azotlu baz (pürin-pirimidin) bulunmaktadır. Asit-baz etkileşiminden oluşan bu durum, DNA'yı daha kararlı bir yapı hâline getirmektedir. Bu sayede DNA, çevresel faktörlerden kaynaklanabilecek zararlara karşı daha dayanıklı olmaktadır. Ayrıca DNA, oluşabilecek hasarlara karşı kendini onarabilme mekanizmasına da sahiptir (Demirtaş & Demirtaş, 2023).

RNA, DNA'nın çift zincirli yapısının aksine tek zincirli nükleik asit dizilerinden meydana gelmektedir. DNA'da bulunan bilgi, transkripsiyonla (okuma) ve bir dizi düzenlenme (ekzonlarına kırılma) süreçlerinden geçerek hücre sitoplazmasında, rRNA ve tRNA aracılığıyla metabolizmanın ihtiyaç duyduğu amino asitlere dönüşmektedir. mRNA transkripsiyonunda, DNA'ların protein kodlayan bölümleri ekzonları yani genleri ifade etmektedir (Ateş, 2016).

RNA, DNA'dan farklı olarak nükleotit dizisinde T (timin) yerine U (urasil) nükleotitini bulundurmaktadır. Bu doğrultuda, RNA dizilimi A-U ve G-C şeklinde ifade edilmektedir. RNA'ların hücrelerin ihtiyaç duyduğu elzem protein sağlaması, bu tek zincirli nükleotitlerin insan yaşamında kritik bir öneme sahip olduğunu göstermektedir. Bu amaçla, RNA hücrelerin metabolik fonksiyonlarının gerçekleştirilmesi ve bu süreçlerin kontrol edilmesinde önemli görevlere sahip biyolojik bir yapı konumundadır (Kızmaz vd., 2017).

İnsan Genom Projesi (İGP): Teknolojinin gelişmesiyle birlikte yaşayan organizmaya ait birçok biyolojik özellik keşfedilmeye başlanmıştır. Canlıların nasıl meydana geldiği, organizmanın yaşamını nasıl ikame edebildiği, sağlık gibi birçok soru ve husus insanlık tarihinin devrim noktası niteliğindeki İGP ile yanıtlanmaya çalışılmıştır (Tuğ vd., 2002). 1990 yılında başlayan Amerika öncülüğünde Fransa, Japonya, İngiltere, Almanya ve Çin gibi ülkelerin destekleriyle 13 yıllık süreyi kapsayan hastalıkların tanı ve tedavisini öncelik sırasına alan İGP, 2003 yılında başarılı bir şekilde sonlandırılmıştır. Projede, insana ait yaklaşık 3 milyar baz çift nükleotit dizisi çıkartılarak tüm dünyanın hizmetine sunulmuştur. Proje sonunda, genel olarak insan DNA'sının büyük bir kısmının benzer olduğu (% 99,8) ve DNA üzerinde ise yaklaşık 21.000 genin olduğu anlaşılmıştır.

İGP'nin önemli çıktılarında biri olan SNP (single nucleotid polymorphisms)'lerin keşfi ve popülasyonlardaki sıklığı genetiğe farklı bir boyut kazandırmıştır. Popülasyonun %1'inden fazlasında görülen SNP'ler, hastalıkların tanı ve tedavisinde önemli bir misyona sahiptir (Sönmezoğlu vd., 2010). Ayrıca SNP'ler, günümüzde spor genetiği çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu bağlamda, spor ve genetik ilişkisine yönelik birçok SNP tespit edilmiştir (Varillas-Delgado vd., 2022).

DNA Dizilmesi ve Uygulanan Yöntemler: DNA'yı oluşturan nükleik asit sıralarının tanımlanması ve bu nükleotitlerin içerdiği genlere yönelik bilgileri (ekzon ve intron) belirleme işlemine dizilme denir (Dönmez vd., 2015; Savran & Eren, 2020). İGP'nin tamamlanmasıyla insan DNA'sının yapısına ilişkin bilgiler ortaya çıkarılmıştır. Bu duruma paralel DNA dizilme işlemleri de hızlı bir şekilde gelişmeye başlamıştır. Başlarda DNA sentezinin oluşturulmasında, izotoplarla işaretli primerler kullanılmaktaydı. Ancak bu durum izotopların insan sağlığı üzerinde oluşturduğu birtakım olumsuzluklar sebebiyle günümüzde florasan işaretçiler ve bilgisayar programları kullanılarak yapılmaktadır (Doğan vd., 2019). Zamanla DNA dizilemeye yönelik farklı yöntemler geliştirilmeye başlanmıştır. Genel itibarıyla bu yöntemler aşağıda gösterilmektedir (Fidanoğlu vd., 2014).

I. Nesil RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism)

İlk olarak 1980 yılında kullanılmaya başlandı. DNA'yı belirli nükleotit dizilerinden ayırabilen bakteri orijinli enzimlerin kullanıldığı bir yöntemdir. Bakteriyofajlara karşı bakterilerin geliştirdiği farklı restriksiyon enzimlerinden oluşmaktadır. Günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır. Endonükleaz enzimler yardımıyla DNA 4-6 bp (baz çift) şeklinde tanıma bölgelerine göre kesilir. Elde edilen DNA parçaları jel elektroforez ile görüntülenir. Enzimlerin tanıma alanlarında meydana gelen farklılaşmalar kesim işleminin durması ile sonuçlanır (Boyacıoğlu & Dündar, 2012; Kolören vd., 2017).

II. Nesil VNTR (Variable Number Tandem Repeats)

PCR (polymerase chain reaction) analizinin kullanımının artmasıyla birlikte spesifik nükleotitlerin tamamlayıcı (komplementer) primerler yoluyla artırılması esasına dayanır. RFLP yöntemine göre daha basittir ve bu yöntemde ardışık tekrarlı alanlara "satelit" adı verilir. Satelitler, genomda ifade şekillerine göre 3'e ayrılır. Bunlar; Mikrosatelitler, Makrosatelitler ve Minisatelitler'dir (Sel & Oğuz, 2022).

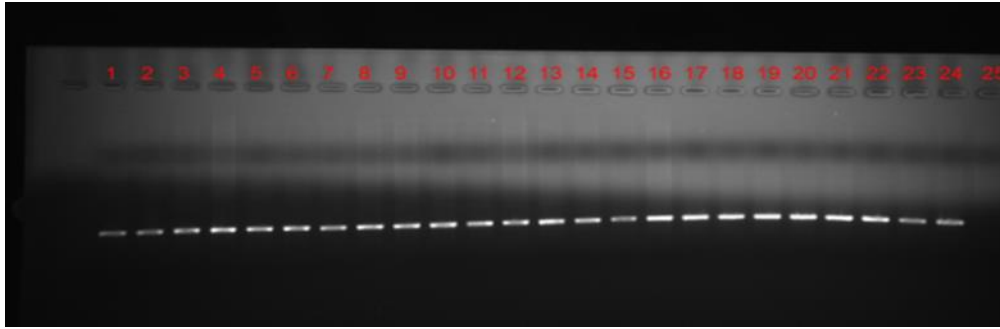
III. Nesil STR (Short Tandem Repeats)

VNTR'lerin alt boyutunu oluşturan ve 1990'larda ortaya çıkmış bir yöntemdir. STR'ler genomda dağılmış belirli dizilime sahip 2-7 bp uzunluğunda art arda 10-50 tekrarlardan oluşan DNA dizileridir (Dönbak, 2002). Az miktardaki sağlıklı dokular ve bütünlüğü bozulmuş doku örneklerinden analiz yapılmasına imkan sağlayan ve adli tıpta sıklıkla kullanılan bir yöntemdir (Subaşıoğlu, 2023).

IV. Nesil SNP (Single Nucleotid Polymorphism)

Polimorfizm, popülasyonun %1'den daha fazlasında gözlenen nükleotit farklılığıdır. SNP'ler ise genomun rastgele bir bölgesinde meydana gelen tek nükleotit farkından kaynaklı dizi değişiklikleridir (Özsensoy & Kurar, 2012). Bu dizi değişiklikleri sebebiyle genin kodladığı proteinin yapısı da değişmektedir (Sönmezoğlu vd., 2010). SNP'ler, 2000'li yıllarda ortaya çıkan PCR temelli çalışmalar, hızlı DNA dizilemesi, mikroarrayler gibi farklı yöntemlerle tespit edilmeye başlanmıştır. SNP'ler, genetik çalışmalarda genetik işaretleyiciler olarak kullanılmakla beraber kompleks hastalıkların teşhisinde de önemli bir araçtır (Türedi & Şeker, 2023). SNP belirleme çalışmaları, son zamanlarda spor genetiği çalışmalarında da sıklıkla kullanılmaktadır.

DNA dizileme yöntemlerindeki gelişmeler sonucu yeni nesil dizileme yöntemleri ortaya çıkmıştır. Bu yöntemler, hem hızlı hem de önceki dizileme yöntemlerine kıyasla daha ekonomiktir. Yeni nesil DNA dizileme teknikleri ortaya çıkıncaya kadar en fazla kullanılan dizileme yöntemi, Sanger ve ark. (1977) tarafından geliştirilen Sanger Dizileme Yöntemi olmuştur. Bu yöntem, DNA'da bulunan 5 karbonlu deoksiriboz şekerin 3' lokasyonunda OH (hidroksil) yerine ddNTP (dideoksiribonükleozittrifosfat)'ın bulunması ve bu ddNTP'lerin substrat olarak kullanılmasından dolayı zincirin sonlanması temeline dayanmaktadır. Sanger dizileme yönteminde dizileme oluşturulacak DNA parçalarının kopyaları, primer dNTP (deoksitnükleotidler); dATP, dGTP, dCTP, dTTP; ddNTP; ddATP, ddGTP, ddCTP, ddTTP ile DNA polimeraz I enzimi karıştırılır ve elde edilen farklı uzunluktaki DNA fragmentleri elektroforez aracılığıyla ayrıştırılır (Üstek vd., 2011; Kızmaz vd., 2017).



Şekil 2: Sanger Dizileme Yöntemine ilişkin *COL5A1* rs12722 polimorfizme ait agaroz jel elektroforezi görüntüsü

Ancak Sanger Dizilemenin uzun zaman alması ve ekonomik açıdan getirdiği yükler yeni nesil dizileme yöntemlerinin gelişimine imkân sağlamıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte yeni nesil dizileme yöntemleri, SNP's belirlemede GWAS'dan destek alarak daha büyük boyutlarda işlem yapmaya olanak sağlamıştır. Bu sayede, spor branşının enerji sistemlerine karşılık gelen genler ve bu genlerin metabolizmadaki verimlilikleri aydınlatılmaya başlanmıştır. Bu doğrultuda sporda güç/kuvvet ve dayanıklılık, becerilerini belirlemeye yönelik *ACE* I/D (rs4646994) ve *ACTN3* R577X (rs1815739) gen polimorfizmleri bu alanda üzerinde çalışılmaya başlanan ilk genler olmuştur (Jeremic vd., 2019).

Spor ve Genetik İlişkisi: Sportif performansı etkileme gücüne sahip fizyolojik ve biyolojik faktörlerin varlığı, sporcuların sahip olduğu genetik özellikleri önemli hâle getirmiştir. İGP'nin tamamlanmasıyla sportif performans üzerinde etkili olabilecek gen yapıları belirlenmeye başlamıştır (Sercan vd., 2016). Bununla birlikte şampiyon olunur mu? yoksa doğulur mu? kırılan rekorlara rağmen daha iyisi mümkün mü? gibi sorular spor bilimlerinde cevaplanması gereken önemli meseleler hâline gelmiştir (Koku, 2015; Ulucan, 2016). Sporda performans limitlerinin ötesine geçebilmenin sporcu DNA'sında saklı olması, bu alana yönelik yapılan çalışmaların sayısında hatırı sayılır artışlara sebep olmuştur. Bu çalışmalar sonucunda, sportif performans ve gen ilişkisine yönelik yaklaşık 251 gen polimorfizmi tespit edilmiştir (Pasqualetti vd., 2022; Semenova vd., 2023). (Tablo 1).

Tablo 1: Spor Performansı ile İlişkili Olduğu Varsayılan Bazı Aday Genler ve Özellikleri

Gen	ID	Konum	Alel	
			Güç/kuvvet	Dayanıklılık
<i>ACE</i>	rs4646994	17q23.3	D	I
<i>ACTN3</i>	rs1815739	11q13.2	R	X
<i>ADRB2</i>	rs1042713	5q31-q32	G	A
<i>AMPD1</i>	rs17602729	1p13	C	C
<i>CDKN1A</i>	rs236448	6p21.2	C	A
<i>CKM</i>	rs8111989	19q13.32	G	A
<i>MCT1</i>	rs1049434	1p13.2	A	T
<i>NOS3</i>	rs2070744	7q36	T	T
<i>PPARA</i>	rs4253778	22q13.31	C	G

ACE: Angiotensin I Converting Enzyme, *ACTN3*: Actinin Alpha 3, *ADRB2*: Adrenoceptor Beta 2, *AMPD1*: Adenozin monofosfat deaminaz 1, *CDKN1A*: Cyclin Dependent Kinase Inhibitor 1A, *CKM*: Kreatin kinaz M-tip, *MCT1*: Monocarboxylate Transporter 1, *NOS3*: Nitric Oxide Synthase 3, *PPARA*: Peroxisome Proliferator Activated Receptor Alpha.

Sportif yeteneğin biyolojik yapısına ilişkin elde edilen veriler spor ve gen ilişkisine farklı bir boyut kazandırmıştır. Bu amaçla, atletik performansı farklı kategoriler altında sınıflandıran, güç, kuvvet, dayanıklılık, esneklik, sakatlık, maxVo2 vb., gen lokusları tanımlanmıştır. Bu genlerin tanımlanmasıyla sportif beceriler erken dönemlerde keşfedilmeye başlanmıştır (İlgün vd., 2020). Spor branşlarını belirlemeye yönelik yapılan yetenek testleriyle ilgili çalışmalar incelendiğinde, spora özgü becerilerinin yaşamın erken dönemlerinde belirlenmesi ve geliştirilmesinin ilgili spor branşında uzmanlaşma için önemli olabileceği sonucu görülmüştür. Bu

amaçla, özellikle 9 yaş ve daha küçük bireylerde; masa tenisi, wushu, yüzme, jimnastik, 10-12 yaş aralığındaki bireylerde; hentbol, voleybol, badminton, eskrim ve 13 yaş ve üzerindeki bireylerde ise halter, kano, kürek, judo, boks ve güreş sporlarında uzmanlaşma başlamalıdır (Sevimli, 2015). Bu durumdan anlaşılacağı üzere sporcuların ilgili spor branşlarında uzmanlaşmaları için fazla zamanları bulunmamaktadır. Bu sebeple, sporda genetik etki her ne kadar da tartışmalı bir konu olsa da bunun sportif başarı süresine sağlayacağı avantajları da dikkate alınmalıdır. Bu avantajların kullanılmasıyla ilgili endişelere rağmen, sportif performans ve gen ilişkisine yönelik yapılan çalışmalar hâlen güncelliğini korumaktadır. Bu bağlamda, Tablo 2’de spor ve gen ilişkisine yönelik yapılan deneysel çalışmalar gösterilmektedir.

Tablo 2: Spor ve Gen İlişkisine Yönelik Yapılan Çalışmalar

Yazar/Yıl	Gen ID/Polimorfizm	Çalışma Grubu	Çalışma Dizaynı/Etnik	Sonuç
El Ouali vd., 2024	<i>CD36</i> rs1761667	19 elit düzey bisikletçi, 24 elit düzey buz hokey oyuncusu ve 28 sağlıklı sedanter birey	Vaka-kontrol/Asya	<i>CD36</i> rs1761667 polimorfizm, bisikletçi ve buz hokeyi oyuncularında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermiştir.
Leońska-Duniec vd., 2024	<i>IL1A</i> rs1800587 ve <i>IL6</i> rs1800795, rs1800796 ve rs1800797	168 sağlıklı kadın birey	Boylamsal/Kafkas	<i>IL1A</i> ve <i>IL6</i> genotipleri, sağlıklı kadınlarda 12 haftalık antrenman sonucu vücut yağ kütlesi, vücut kompozisyonu, glikoz seviyesi ve lipit profili bakımından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılıklar göstermiştir.
Neto vd., 2022	<i>ACTN3</i> R577X, <i>ACE</i> I/D, <i>BDKRB2</i> +9/-9 ve <i>AGT</i> MIT	Elit-subelit 123 yüzücü ve 718 sağlıklı sedanter birey	Vaka-kontrol/Güney Amerika	<i>ACE</i> DD genotipi ile kuvvet parametreleri arasında, <i>ACTN3</i> XX genotipi ile sporculuk durumu arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir.
Yang vd., 2023	<i>ACE</i> I/D ve <i>ACTN3</i> R577X	73 elit, 69 sub-elit düzey kadın futbol oyuncusu ve 107 kontrol grubundan birey	Vaka kontrol/Asya	<i>ACE</i> I/D ve <i>ACTN3</i> R577X polimorfizmleri, elit ve sub-elit sporcular arasında kas gücü bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermemiştir. Ancak <i>ACTN3</i> R577X XX genotipi, elit sporcularda aerobik dayanıklılık ile ilişkilendirilmiştir.
Kim vd., 2024	<i>ADRB2</i> rs1042713	116 kolej sporcusu, 150 elit atlet ve 145 kontrol grubu sedanter birey	Vaka-kontrol/Asya	<i>ADRB2</i> rs1042713 polimorfizm ile elit düzey atletik performans arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklara rastlanmıştır.
Miyamoto-Mikami vd., 2019	<i>COL5A1</i> rs12722	363 sağlıklı genç birey ve 1559 kas yaralanmasına sahip birey	Vaka-kontrol/Asya	<i>COL5A1</i> rs12722 polimorfizm ile sporla ilişkili kas yaralanmaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunamamıştır.
Végh vd., 2022	<i>ACE</i> I/D, <i>ACTN3</i> R577X, <i>HIFA</i> rs11549465 ve <i>PPARA</i> rs4253778	54 sedanter birey, 41 elit düzey futbolcu ve 23 elit düzey dayanıklılık atleti	Vaka-kontrol/Batı Avrupa	<i>ACE</i> I/D, <i>ACTN3</i> R577X, <i>HIFA</i> rs11549465 ve <i>PPARA</i> rs4253778 polimorfizmleri ile süperkompanzasyon arasında, çoklu gen ilişkisi, anlamlı farklılıklar bulunmuştur.
Silva vd., 2022	<i>FAAH</i> rs324420	116 elit seviye buz hokeyi oyuncusu	Kesitsel/Latin	<i>FAAH</i> rs324420 polimorfizmi ile spor yaralanmaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklara rastlanmıştır.
Ramírez vd., 2020	<i>GALNTL6</i> rs558129	85 fiziksel olarak aktif birey ve 542 sporcu birey	Vaka-kontrol/Kafkas ve Rus	<i>GALNTL6</i> rs558129 T aleli, sporda güç ile ilişkili parametrelerde CC genotipine kıyasla istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar göstermiştir.

Sporda Nutrigenetik ve Nutrigenomik : Spor ve genetik ilişkisi, genetiğin yalnız sporcuların motor performans durumları ile ilgili bir durum değil aynı zamanda besin maddelerinin metabolizmadaki verimliliğini de içerisine alan bir kavram olabilir. Bu doğrultuda, genetiğin besin maddeleri ile etkileşimi sonucu besin genomunun iki alanı “nutrigenetik ve nutrigenomik” kavramları ortaya çıkmıştır. Bu iki kavramın ortak gayesi besin maddelerinin insan genomu üzerindeki etkilerini incelemektir (Kahya vd., 2023). Nutrigenomik ve nutrigenetik, her ne kadar da birbiriyle yakın ilişki içerisinde olsa da bu kavramlar arasında birtakım farklılıklar bulunmaktadır (Fenech vd., 2011). Bu farklılık nutrigenetiğin besinlerin gen ekspresyonları üzerinde etkisine karşılık, nutrigenomik besinlerin genom üzerindeki etkisi ile açıklanabilir.

GWAS'ın son yıllarda popülaritesinin artması, genetiğin temellerinin anlaşılmasına olanak sağlamıştır. Bu doğrultuda, GWAS çalışmaları sonucu genlerin sebep olduğu düşünülen besinsel kaynaklı bazı sağlık risklerinin olduğu tespit edilmiştir (Maouche & Schunkert, 2012; Merched & Chan, 2013). (Tablo 3).

Tablo 3. GWAS Çalışmaları ile İlişkili Genler ve Besinsel Kaynaklı Hastalık Riskleri

Gen	Risk faktörü
<i>ABO</i>	Toplam kolestrol ve LDL
<i>ZNF259/APOA5/4/1/APOC3</i>	LDL, HDL, trigliserit ve toplam kolestrol
<i>ANKS1A, TCF21, MIA3 ve BCAP29</i>	Obezite
<i>CELSR2/PSRC1/SORT1, PCSK9 ve LDLR/SMARCA4</i>	LDL

ABO: Alpha 1-3-N-Acetylgalactosaminyltransferase and Alpha 1-3-Galactosyltransferase, ZNF259: Zinc finger protein 259, APOA5/4/1: Apolipoprotein 5/4/1, ANKS1A: Ankyrin Repeat and Sterile Alpha Motif Domain Containing 1 A, TCF21: Transcription Factor 21, MIA3: MIA SH3 Domain ER Export Factor 3, BCAP29: B Cell Receptor Associated Protein 29, CELSR2: Cadherin EGF LAG Seven-Pass G-Type Receptor 2, PSRC1: Proline and Serine Rich Coiled-Coil 1, SORT1: Sortilin 1, PCSK9: Proprotein Convertase Subtilisin/Kexin Type 9, LDLR: Low Density Lipoprotein Receptor, SMARCA4: SWI/SNF Related, Matrix Associated, Actin Dependent Regulator of Chromatin, Subfamily A, Member 4

Besin maddelerinin neden olduğu sağlık sorunları, genetik ve spor ilişkisinde olduğu gibi genetik ve beslenmenin de birbiriyle ilişkili kavramlar olabileceği sonucunu göstermektedir. Bu doğrultuda, son yıllarda nutrigenetik ve nutrigenomik kavramları spor genetiğinde önemli konular hâline gelmiştir (Malsagoğlu vd., 2021).

Genetik Testlerin Sporda Kullanımı: Omiks teknolojilerindeki gelişmeler sonucu insanların verim kapasitelerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Bunlardan biri olan genetik testler, sigorta prim ödemelerinde ve sporcuların transfer oldukları kulüplerle yaptıkları antlaşmalarda etkin bir şekilde faaliyet göstermektedir (Demir, 2013; Doğğün, 2022).

Günümüzde sportif becerilerin kalıtsal mekanizmalarının altında yatan bilgilerin öğrenilmesine yönelik ilgi giderek artmaktadır. Bu amaçla, biyolojik olarak spora yönelik becerilerin tespiti elde edilen bilgilerin yorumlanması ve bunların doğrudan paydaşlara sunulması mümkün hâle gelmiştir. Sporda genetik testler, DNA dizileme yöntemlerinin gelişmesiyle birlikte popülaritesi artmaya başlamıştır. Bu bağlamda, 2008 yılında sporda genetik testler yapılmaya başlanmıştır. İlk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulanan bu testler, belli bir ücret karşılığında doğrudan müşterilere (direct to consumer) sunulmaya başlanmıştır (Collier, 2012). Bu testler, 2015 yılından itibaren kurumsal bir sisteme dönüşerek sporcuların performanslarına dair güç/kuvvet, sürat, dayanıklılık, yaralanma hassasiyeti gibi birçok özelliği üzerinde önemli bir belirleyici olmuştur (Varley vd., 2018).

Genetik testlere artan ilgi sonucu bu alanda hizmet veren şirketlerin sayısı da hızlı bir şekilde artmıştır. Sporcuların performans kapasitelerini belirlemeye çalışan bu testler, şirketler tarafından müşterilerine geniş kapsamlı analiz raporlarıyla birlikte sunulmaktadır. Bu şirketler çoğunlukla; *ACTN3* (88.8%), *ACE* (61.1%), *PPARGC1A* (50%), *ADRB2* (44.4%), *COL5A1* ve *VDR* (38.9%), *COL1A1* ve *VEGF* (33.3%), *AGT*, *AMPD1* ve *NOS3* (27.7%), *MMP3*, *PPARD*, *TRHR* ve *CRP* (22.2%) genlerini analiz etmişlerdir (Naureen vd., 2020).

Spor genetiğinin spora hizmet ettiği bir diğer alan ise sporcuların karşılaşmak istemedikleri olumsuz bir durum olan ve spora özgü meydana gelen sakatlıklardır. Spor sakatlıkları, vücut dokularının tolere edebileceğinden fazla yükü karşılaması esnasında meydana gelen spora özgü bir yaralanma türüdür. Bu yaralanmalar, bazı sporlarda, sporcu açısından, ciddi oranlarda hem maddi hem de manevi kayıplara sebep olabilmektedir. Bu doğrultuda, günümüzde spor genetiğine yönelik yapılan çalışmaların sakatlık hassasiyetini tahmin edebiliyor olması, sporcu sağlığı ve ülke ekonomileri için oldukça önemli bir husus olabilir. İngiltere Premier Lig'de bir sezonda spor yaralanmalarına 74,7 milyon (£) sterlin para harcanması, spor sakatlıklarına ilişkin maliyetin boyutunu gözler önüne sermektedir (Woods vd., 2002).

Sporun yapısına uygun sporcuları belirlemek için yapılan genetik testler, gelecek yıllarda yüksek bir prevalansa sahip uygulamalar olabilir. Bu durum üzerinde genetik testlerin, erken yaşlarda sporcu seçiminde, antrenörler ve ebeveynler için geleceğe yapılan bir yatırım olarak görülmesi etkili olabilir (Webborn vd., 2015). Genetik testler sonucunda;

- Sporcular, uygun spor branşlarına yönlendirilebilir ve bu sayede sporcuların başarı yüzdeleri artırılabilir.
- Besinsel olarak vücudun biyolojik tepkisi belirlenebilir ve buna göre beslenme programı hazırlanabilir.
- Sporcunun zayıf ve güçlü yönleri hem kendisi hem de antrenörü tarafından tanımlanabilir.
- Spora harcanan emek ve zamanın daha verimli kullanılması sağlanabilir.
- Özellikle yaralanma hassasiyeti ve hastalık riski olan sporcuların belirlenmesine önemli katkılar sunabilir (Vlahovich vd., 2017).

Ayrıca genetik testler, sportif performansın gerektirdiği enerji ihtiyacının şiddeti ve türüne göre metabolizmaya uygun adaptasyonlar geliştirebilir. Spor genetiği çalışmalarının spora sağladığı faydaların bir diğer boyutu ise genetik niteliğe göre sporcu belirlenmenin bazı etik problemleri beraberinde getirmesidir. Nitekim, İGP'nin başlardaki hastalıkları teşhis ve tedavi etme gayesi şimdilerde bazı biyoetik problemlere sebep olabilmektedir.

TARTIŞMA ve SONUÇ

Spor ve genetik ilişkisi, literatürdeki çalışma sonuçları ve mevcut çalışmadan elde edilen sonuçlar ile değerlendirildiğinde genetik etmenlerin atletik performans üzerinde dikkat çekici bir etkiye sahip olabileceği sonucunu bizlere düşündürülebilir.

Sportif performans esnasında kaslar, spor branşının gerektirdiği güç/kuvvet ve dayanıklılık gibi spora özgü performans parametrelerinin yerine getirilmesinde kritik öneme sahip yapılardır. Bazı genler, kasların bu görevi yerine getirebilmesinde önemli bir misyona sahip olabilir. Bu doğrultuda, Semenova vd. (2022) yaptıkları çalışmada, *CDKN1A* rs236448 polimorfizminin kası meydana getiren komponentler üzerinde önemli etkilere sahip olabileceğini tespit etmişlerdir. Akazawa vd. (2022) yaptıkları çalışmada ise *ACTN3* R577X R alelinin, tip II kas fibrilleri ile ilişkili olabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Bir diğer çalışmada, Baltazar-Martins vd. (2020) *ACTN3* R577X XX genotipinin, kas hasarına bağlı yaralanmalara karşı hassasiyet geliştirebileceği sonucuna ulaşmışlardır. Bu çalışmalardan elde edilen veriler, mevcut çalışmayı destekler niteliktedir.

Çalışmamızda, besinlerin metabolizma üzerinde oluşturduğu etkiyi inceleyen nutrigenetik ve nutrigenomik kavramlarının hem spor genetiğinde hem de beslenme ile ilgili hastalıklarda kritik öneme sahip olabileceği sonucu görülmüştür. Konu ile ilgili literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, nutrigenetik ve nutrigenomik ile ilgili Gutiérrez-Hellín & Varillas-Delgado (2021)'nin yaptıkları çalışmada, kafein metabolizmasından sorumlu ana enzim üzerinde *CYP1A2* c.-163A<C rs762551 ve *ADORA2A* c.1976T<C rs5751876 polimorfizmlerinin etkili olabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Mevcut çalışmamızda, beslenmenin sporcu performansına sunacağı katkının sportif başarıda önemli bir kriter olabileceği sonucu görülmüştür. Bu doğrultuda, besin maddelerinin tüketimiyle ilgili genler sportif performans esnasında kas aktivitesi üzerinde anahtar rol oynayabilir. 461 Avrupa Amerikalı yetişkinler ile yapılan bir çalışmada, *ACE I/D* rs4340 polimorfizm ile haftada 1 kez yapılan 8 km yürüyüş arasında ilişki bulunmuştur. Bu ilişki sonucunda, yetişkinlerin VKİ (vücut kitle indeksi)'lerinde önemli azalmalar tespit edilmiştir (Naureen vd., 2020). Bu sonuçlar mevcut çalışmadan elde edilen veriler ile paralellik göstermektedir.

Sporcuların spora yatkınlıklarını belirlemede, spor branşlarının gerektirdiği uzmanlaşma süreleri ve sporcuların performans karakteristiklerinin erken tespiti önemlidir. Bu bakımdan, mevcut çalışmadan elde edilen veriler genetik testlerin spor branşlarına istenen nitelikte sporcu seçiminde önemli bir araç olabileceğini göstermektedir. Bu amaçla Varley vd. (2018) yaptıkları çalışmada, sporcuların performans durumlarının tespitinde genetik testlerin anahtar rol oynayabileceğini tespit etmişlerdir. Ancak bu durumun sporcu seçiminde birtakım etik ihlalleri de gündeme getirebileceği sonucu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu ihاللlerden birisi, “yamaç aşağı kaymak” olarak da isimlendirilen, ayrıcalıklı/üstün soylu birey yetiştirmek anlamına gelen “öjeni” kavramıdır. İGP'den elde edilen verilerin spora hizmet ediyor olması hem olumlu hem de dikkatle takip edilmesi gereken önemli bir durumdur. Bu doğrultuda, Vlahovich vd. (2017) yaptıkları çalışmada, genetik testlerin etik endişeleri artırma potansiyeline sahip uygulamalar olabileceğinden bu testlerin dikkatli yürütülmesi gerektiği sonucuna ulaşmışlardır. Bu sonuçlar, mevcut çalışmamızdan elde edilen verileri destekler niteliktedir. İGP kapsamında insan DNA'sının genetik kodunu belirlemeye yönelik yapılan çalışmaların geldiği nokta endişe vericidir. Bu bağlamda, bilim insanlarının üstün birey yaratma çabası içerisinde, sigorta primlerinin gen testi sonucuna göre belirlenmesi, profesyonel sporcularla yapılan antlaşmalar, verim kapasitesi yüksek işçilerin seçimi gibi daha birçok mesele ileride insanlığı bekleyen önemli problemlerden bazılarıdır. Sportif performansın biyolojik yapısına ilişkin elde edilen veriler incelendiğinde, sporcuların üst düzey performans gösterebilmeleri mümkün gözükmemektedir. Ancak bu durum, spor etiği bağlamında bazı legal ve biyolojik olguların ciddi şekilde zarar görmesine de sebep olabilir. Eldeki mevcut kanıtlar, spor performansının gelecekte nasıl bir hâl alacağı şimdiden tahmin edebilmektedir. Ne yazık ki bu tahminlerin yüksek doğruluğa sahip olması, spor adına büyük bir hayal kırıklığı oluşturmaktadır. Günümüz dünyasında sporcu başarısı için kullanılan “genetik” teriminin yediden yetmişe birçok insan tarafından sıklıkla telaffuz ediliyor olması, meselenin boyutunu gözler önüne sermektedir. Genetiği değiştirilmiş gıdalardan sonra genetiği değiştirilmiş sporculardan meydana gelen bir spor müsabakasının nasıl olabileceğine dair fikirler şimdiden merak konusu. Sorunun çözümünde, “zor zamanlar güçlü insanlar yaratır” sözüne güvenerek sporun insanlar için büyük bir yaşamsal ihtiyaç olabileceği düşüncesinin yeniden gündeme getirilmesi büyük bir adım olabilir. Aksi takdirde sporun kaybettiği rotasını bulması pek de mümkün gözükmemektedir.

Kaynaklar

- Akazawa, N., Ohiwa, N., Shimizu, K., Suzuki, N., Kumagai, H., Fuku, N., ... & Suzuki, Y. (2022). The Association of *ACTN3* R577X Polymorphism with Sports Specificity in Japanese Elite Athletes. *Biology of Sport*, 39(4), 905-911. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2022.108704>
- Altınsoy, E. & Uçar, H. H. (2022). Adli Olaylardan Elde Edilen DNA'ların Failin Tespiti Amaçlı Kullanılmasında Yeni Bir Yöntem: DNA Fenotiplendirme. *Uluslararası Beşerî ve Sosyal Bilimler İnceleme Dergisi*, 6(2), 134-144. <https://doi.org/10.55243/ihssr.1004891>
- Ateş, K. (2016). Gen mi RNA mı? *Aziz Sancar Deneyse Tıp Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 6(11), 43-49.
- Baltazar-Martins, G., Gutiérrez-Hellín, J., Aguilar-Navarro, M., Ruiz-Moreno, C., Moreno-Pérez, V., López-Samanes, Á., ... & Coso, J. D. (2020). Effect of *ACTN3* Genotype on Sports Performance, Exercise-Induced Muscle Damage, and Injury Epidemiology. *Sports (Basel)*, 8(7), 2-12. <https://doi.org/10.3390/sports8070099>
- Bayraktar, B. & Kurtoğlu, M. (2009). Sporda Performans, Etkili Faktörler, Değerlendirilmesi ve Artırılması. *Klinik Gelişim*, 22(1), 16-24.
- Boyacıoğlu, S. Ö. & DüNDAR, M. (2012). Gen Haritalama Stratejileri. *Sağlık Bilimleri Dergisi*, 21(1), 50-60.
- Collier, R. (2012). Genetic Tests for Athletic Ability: Science or Snake Oil? *Canadian Medical Association Journal*, 184(1), 43-44. <https://doi.org/10.1503/cmaj.109-4063>
- Demir, A. (2013). Etik Açısından İnsan Genom Projesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimleri Dergisi*, 12(23), 317-327.

- Demirtaş, E. & Demirtaş, H. (2023). Naringenin Nedir? *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 49(2), 18-28. <https://doi.org/10.35238/sufefd.1225990>
- Dinç, N. & Gökmen, M. H. (2019). Atletik Performans ve Spor Genetiği. *Celal Bayar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(2), 127-137. <https://doi.org/10.34087/cbusbed.529159>
- Doğan, M., Eröz, R., Yüce H. ve Özmerdivenli, R. (2019). Yeni Nesil Dizileme (YND) Hakkında Bilinenler (Literatür Taraması). *Düzce Tıp Fakültesi Dergisi*, 19(1), 27-30.
- Doğgün, M. (2022). Spor Branşına Yönlendirmede Genetik Testlerin Stratejik Rolü. *Türk Spor Bilimleri Dergisi*, 5(2), 155-167. <https://doi.org/10.46385/tsbd.1050575>
- Dönbak, L. (2002). Kısa Ardarda Tekrar Eden DNA Dizilerinin Adli Amaçlı DNA Çalışmalarındaki Yeri. *Türkiye Klinikleri Journal of Medical Sciences*, 22(2), 236-238.
- Dönmez, D., Şimşek, Ö. ve Kaçar, Y. A. (2015). Yeni Nesil DNA Dizileme Teknolojileri ve Bitkilerde Kullanımı. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 8(1), 30-37.
- El Ouali, E., Kartibou, J., Coso, J. D., Makhzen, B. E., Bouguenouch, L., Harane, S. E., ... & Knechtle, B. (2024). Genotypic and Allelic Distribution of the CD36 rs1761667 Polymorphism in High-Level Moroccan Athletes: A pilot study. *Genes (Basel)*, 15(4), 2-12. <https://doi.org/10.3390/genes15040419>
- Fenech, M., El-Sohemy, A., Cahill, L., Ferguson, L. R., French, T. A. C., Tai, E. S., ... & Xie, L. (2011). Nutrigenetics and Nutrigenomics: Viewpoints on the Current Status and Applications in Nutrition Research and Practice. *Journal of Nutrigenetics and Nutrigenomics*, 4(2), 69-89. <https://doi.org/10.1159/000327772>
- Fidanoğlu, P., Belder, N., Erdoğan, B., İlk, Ö., Rajabli, F. & Özdağ, H. (2014). Genom projeleri 5N1H: ne, Nerede, Ne Zaman, Nasıl, Neden ve Hangi Popülasyonda? *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 7(1), 45-60. <https://doi.org/10.5505/TurkHijyen.2014.14890>
- Ginevičienė, V., Utkus, A., Pranckevičienė, E., Semenova, E. A., Hall, E. C. & Ahmetov, I. I. (2022). Perspectives in Sports Genomics. *Biomedicines*, 10(2), 2-16. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10020298>
- Gutiérrez-Hellín, J. & Varillas-Delgado, D. (2021). Energy Drinks and Sports Performance, Cardiovascular Risk, and Genetic Associations; Future Prospects. *Nutrients*, 13(3), 2-28. <https://doi.org/10.3390/nu13030715>
- İlgün, F., Günay, V., Yıldırım, S. ve Cerit, M. (2020). Atletik Performans Genleri ve Atletik Yeteneğin Belirlenmesine İlişkin Yaklaşımlar. *TURAN-SAM Uluslararası Bilimsel Hakemli Dergisi*, 12(48), 166-174. <http://dx.doi.org/10.15189/1308-8041>
- Jeremic, D., Macuzic, I. Z., Vulovic, M., Stevanovic, J., Radovanovic, D., Varjadic, V., ... & Djordjevic, D. (2019). ACE/ACTN3 Genetic Polymorphisms and Athletic Performance of Female Soccer Players. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 25(1), 35-39. <https://doi.org/10.1590/1517-869220192501187684>
- Kahya, S., Diker, G. ve Zileli, R. (2023). Sporda Beslenme ile Nutrigenetik ve Nutrigenomik İlişkinin İncelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 12(4), 1987-1996. <https://doi.org/10.37989/gumussagbil.1370295>
- Karayılan, Ş. Ş., Dönmez, G., Babayeva, N., Yargıç, M. P., Korkusuz, F. & Doral, M. N. (2013). Spor Yaralanmaları ve Genetik. *Spor Hekimliği Dergisi*, 48(4), 139-146.
- Kasap, M. & Tutkun, E. (2020). Türkiye'deki Atletik Performans-Genetik Çalışmaları; 2010-2019. *Journal of Physical Education and Sport Sciences*, 22(1), 31-43.
- Kaynar, Ö., Seyhan, S. ve Bilici, M. F. (2018). Güreşçilerde Sportif Başarıyı Olumsuz Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi. *Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 20(1), 54-59.
- Kızmaz, M. Z., Paylan, İ. C. ve Erkan, S. (2017). DNA Dizilemenin Tarihsel Gelişimi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 6(2), 47-53.
- Kim, M. S., Kim, H. J. & Jin, H. J. (2024). Genetic Association between ADRB2 rs1042713 and Elite Athletic Performances in the Korean Population. *Gene*, 896, 148037. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2023.148037>
- Koku, F. E. (2015). Sportif Performansın Genetik ile İlişkisi. *Spor Hekimliği Dergisi*, 50(1), 21-30.
- Kolören, Z., Çil, E., Ayaz, E. & Karaman, Ü. (2017). RFLP Yönteminin Parazitolojide Uygulama Alanları. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 215-225.
- Leońska-Duniec, A., Lepionka, W., Brodkiewicz, A. & Buryta, M. (2024). Association of the IL1A and IL6 Polymorphisms with Posttraining Changes in Body Mass, Composition, and Biochemical Parameters in Caucasian Women. *Biology of Sport*, 41(2), 47-56. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2024.131415>
- Malsagova, K. A., Kopylov, A. T., Sinitsyna, A. A., Stepanov, A. A., Izotov, A. A., Butkova, T. V., ... & Kaysheva, A. L. (2021). Sports nutrition: Diets, Selection Factors, Recommendations. *Nutrients*, 13(11), 2-19. <https://doi.org/10.3390/nu13113771>
- Maouche, S. & Schunkert, H. (2012). Strategies Beyond Genome-Wide Association Studies for Atherosclerosis. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 32(2), 170-181. <https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.111.232652>
- Mayo, O. (2008). A Century of Hardy-Weinberg Equilibrium. *Twin Research and Human Genetics*, 11(3), 249-256. <https://doi.org/10.1375/twin.11.3.249>
- Merched, A. J. & Chan, L. (2013). Nutrigenetics and Nutrigenomics of Atherosclerosis. *Current Atherosclerosis Reports*, 15(6), 2-16. <https://doi.org/10.1007/s11883-013-0328-6>
- Miyamoto-Mikami, E., Miyamoto, N., Kumagai, H., Hirata, K., Kikuchi, N., Zempo, H., ... & Kamiya, N. (2019). COL5A1 rs12722 Polymorphism Is Not Associated with Passive Muscle Stiffness and Sports-Related Muscle Injury in Japanese Athletes. *BMC Medical Genetics*, 20(1), 2-9. <https://doi.org/10.1186/s12881-019-0928-2>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J. & Altman, D. G. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: the PRISMA Statement. *PLOS Medicine*, 6(7), 1-6. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>

- Naureen, Z., Miggiano, G. D., Aquilanti, B., Velluti, V., Matera, G., Gagliardi, L., ... & Romanelli, R. (2020). Genetic Test for The Prescription of Diets in Support of Physical Activity. *Acta Biomedica*, 91(13), 2-19. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i13-S.10584>
- Naureen, Z., Perrone, M., Paolacci, S., Maltese, P. E., Dhuli, K., Kurti, D., ... & Miotto, R. (2020). Genetic Test for The Personalization of Sport Training. *Acta Biomedica*, 91(Suppl13), 1-15. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i13-S.10593>
- Neto, S. L., Herrera, J. J., Rosa, T. S., Almeida, S. S., Silva, G. C., Ferreira, C. E., ... & Melo, G. F. (2022). Interaction between ACTN3 (R577X), ACE (I/D), and BDKRB2 (-9/+9) Polymorphisms and Endurance Phenotypes in Brazilian Long-Distance Swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(6), 1591-1595. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003685>
- Özşensoy, Y. & Kurar, E. (2012). Markör sistemleri ve Genetik Karakterizasyon Çalışmalarında Kullanımları. *Journal of Cell and Molecular Biology*, 10(2), 11-19.
- Pasqualetti, M., Onori, M. E., Canu, G., Moretti, G., Minucci, A., Baroni, S., ... & Galvani, C. (2022). The Relationship between ACE, ACTN3 and MCT1 Genetic Polymorphisms and Athletic Performance in Elite Rugby Union Players: A preliminary Study. *Genes (Basel)*, 13(6), 3-13. <https://doi.org/10.3390/genes13060969>
- Ramírez, J. D., Álvarez-Herms, J., Castañeda-Babarro, A., Larruskain, J., Piscina, X. R., Borisov, O. V., ... & Semenova, E. A. (2020). The GALNTL6 Gene rs558129 Polymorphism Is Associated with Power Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(11), 3031-3036. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003814>
- Sanger, F., Nicklen, S. & Coulson, A. R. (1977). DNA Sequencing with Chain-Terminating Inhibitors. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 74(12), 5463-5467. <https://doi.org/10.1073/pnas.74.12.5463>
- Savran, İ. & Eren, E. (2020). Meta-Genomik Gen Analizi için Filtre Tasarımı. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 11, 471-480. <https://doi.org/10.24012/dumf.496688>
- Sel, F. A. & Oğuz, F. S. (2022). Moleküler Kimerizm Metotları: Geçmiş ve Günümüz. *Akdeniz Tıp Dergisi*, 8(1), 82-90. <https://doi.org/10.53394/akd.1037771>
- Semenova, E. A., Hall, E. C. & Ahmetov, I. I. (2023). Genes and Athletic Performance: The 2023 Update. *Genes (Basel)*, 14(6), 2-32. <https://doi.org/10.3390/genes14061235>
- Semenova, E. A., Zempo, H., Miyamoto-Mikami, E., Kumagai, H., Larin, A. K., Sultanov, R. I., ... & Babalyan, K. A. (2022). Genome-Wide Association Study identifies CDKN1A As a Novel Locus Associated with Muscle Fiber Composition. *Cells*, 11(23), 2-14. <https://doi.org/10.3390/cells11233910>
- Sercan, C., Eken, B. F., Erel, Ş., Ülgüt, D., Kapıcı, S. & Ulucan, K. (2016). Spor Genetiği ve ACE Gen İlişkisi. *İnönü Üniversitesi, Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 3(2), 26-34.
- Sevimli, D. (2015). Sporda Yetenek Gelişiminin Yönetim Süreci. *CBÜ Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 10(1), 1-9.
- Silva, H. H., Tavares, V., Silva, M. R. G., Neto, B. V., Cerqueira, F. & Medeiros, R. (2022). FAAH rs324420 Polymorphism Is Associated with Performance in Elite Rink-Hockey Players. *Biology (Basel)*, 11(7), 2-14. <https://doi.org/10.3390/biology11071076>
- Sönmezoğlu, Ö. A., Yıldırım, A. & Güleç, T. E. (2010). Tek Nükleotid Farklılıkları (SNP) ve Buğdayda Kullanımı. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 3(2), 55-66.
- Subak, G. E., Şahin, Ö. F. N. & Müniroğlu, R. S. (2017). Sporların Başarısında Genetik Faktörlerin Önemi. *Spormetre*, 15(3), 109-118. https://doi.org/10.1501/Sporm_0000000315
- Subaşıoğlu, A. (2023). Afetlerde Kimliklendirme ve Genetik Yaklaşımlar. *İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 8(2), 717-720.
- Takahashi, S., Oshige, M. & Katsura, S. (2021). DNA Manipulation and Single-Molecule Imaging. *Molecules*, 26(4), 2-28. <https://doi.org/10.3390/molecules26041050>
- Tuğ, A., Hancı, İ. H. & Balseven, A. (2002). İnsan Genom Projesi: Umut mu, Kâbus mu? *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi*, 11(2), 56-57.
- Türedi, O. K. & Şeker, E. (2023). Mikrobiyolojide En Yaygın Moleküler Tanı Yöntemi: Polimeraz Zincir Reaksiyonu. *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 12(1), 118-125. <https://doi.org/10.31196/huvfd.1246738>
- Ulucan, K. (2016). Spor Genetiği Açısından Türk Sporcuların ACTN3 R577X Polimorfizm Literatür Özeti. *Clinical and Experimental Health Sciences*, 6(1), 44-47.
- Üstek, D., Abacı, N., Sırma, S. & Aris, Ç. (2011). Yeni Nesil DNA Dizileme. *Deneyisel Tıp Araştırmaları Enstitüsü Dergisi*, 1(1), 11-18.
- Varillas-Delgado, D., Coso, J. D., Gutiérrez-Hellín, J., Aguilar-Navarro, M., Muñoz, A., Maestro, A., & Morencos, E. (2022). Genetics and Sports Performance: The Present and Future in The Identification of Talent for Sports Based on DNA Testing. *European Journal of Applied Physiology*, 122(8), 1812-1830. <https://doi.org/10.1007/s00421-022-04945-z>
- Varley, I., Patel, S., Williams, A. G. & Hennis, P. J. (2018). The Current Use, and Opinions of Elite Athletes and Support Staff in Relation to Genetic Testing in Elite Sport within the UK. *Biology of Sport*, 35(1), 13-19. <https://doi.org/10.5114/biolisport.2018.70747>
- Végh, D., Reichwalderová, K., Slaninová, M. & Vavák, M. (2022). The effect of Selected Polymorphisms of the ACTN3, ACE, HIF1A and PPARA Genes on the Immediate Supercompensation Training Effect of Elite Slovak Endurance Runners and Football Players. *Genes (Basel)*, 13(9), 2-16. <https://doi.org/10.3390/genes13091525>
- Vlahovich, N., Fricker, P. A., Brown, M. A. & Hughes, D. (2017). Ethics of Genetic Testing and Research in Sport: A Position Statement from The Australian Institute of Sport. *British Journal of Sports Medicine*, 51(1), 5-11. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096661>

-
- Webborn, N., Williams, A., McNamee, M., Bouchard, C., Pitsiladis, Y., Ahmetov, I., ... & Camporesi, S. (2015). Direct-to-Consumer Genetic Testing for Predicting Sports Performance and Talent Identification: Consensus Statement. *British Journal of Sports Medicine*, 49(23), 1486-1491. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095343>
- Woods, C., Hawkins, R., Hulse, M. & Hodson, A. (2002). The Football Association Medical Research Programme: An Audit of injuries in Professional Football-Analysis of Preseason Injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 36(6), 436-441. <https://doi.org/10.1136/bjism.36.6.436>
- Yang, S., Lin, W., Jia, M. & Chen, H. (2023). Association between ACE and ACTN3 Genes Polymorphisms and Athletic Performance in Elite and Sub-Elite Chinese Youth Male Football Players. *PeerJ*, 11, 2-21. <https://doi.org/10.7717/peerj.14893>