



SPORMETRE
The Journal of Physical Education and Sport Sciences
Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi

DOI: 10.33689/spormetre.1542027
Derleme Makale



Geliş Tarihi (Received): 02.09.2024

Kabul Tarihi (Accepted): 03.05.2025

Online Yayın Tarihi (Published): 30.06.2025

SPRINT PERFORMANSININ BİYOMEKANİK BELİRLEYİCİLERİ VE YATAY KUVVET-HIZ PROFİLİ BİLEŞENLERİ: GELENEKSEL DERLEME*

Salih Çabuk^{1†}, İzzet İnce²

¹Erzurum Teknik Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Erzurum, TÜRKİYE

²Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Ankara, TÜRKİYE

Öz: Sprint, özellikle sporcuların ivmelenme ve yüksek hızda koşma yetenekleriyle ilişkilidir. Sprint sırasında, sporcular yüksek düzeyde yatay kuvvet (YK) üretmekte ve bu kuvveti etkili bir şekilde zemine uygulamaktadır. Yatay kuvvet-hız (YK-H) profili bileşenleri, bu süreçte kritik bir rol oynamaktadır ve performansın optimize edilmesinde önemli bir bileşen olarak kabul edilmektedir. Son yıllarda, kuvvet-hız (K-H) ilişkisine yönelik artan ilgiyle birlikte, birçok antrenör ve saha profesyoneli, sprint performansını optimize etme bağlamında bu alana dair bilgisini geliştirmektedir. Bu derlemenin amacı, YK-H profilinin bileşenlerini derinlemesine incelemek için kavramsal bir çerçeve sunmak ve sprint performansının nöromusküler ve biyomekanik özelliklerini ayrıntılı olarak gözden geçirmektir. Zemine uygulanan YK yönü ve büyüklüğü, sporcunun ivmelenme hızını ve maksimum hıza ulaşma yeteneğini belirlemektedir. Sprint sırasında sporcunun vücut pozisyonu, kuvvetin etkin bir şekilde uygulanmasını sağlamaktadır. Sprintin ivmelenme aşamasında yere uygulanan kuvvetin doğru yönde yönlendirilmesi, performansın optimize edilmesi açısından kritik bir faktördür. Bu nedenle, antrenmanlar sırasında kuvvetin doğru yönde uygulanmasına odaklanmak, sprint performansını iyileştirmek için önemlidir. F_{0rel} , P_{maxrel} ve YK_{max} gibi bileşenlerin geliştirilmesi, sprintin ilk aşamalarındaki performansı artırabilir ve bu sayede sporcunun genel sprint yeteneklerini önemli ölçüde iyileştirebilir. Ayrıca, bu bileşenler, olası yaralanma risklerini azaltmada ve sprint performansını artırmada kritik rol oynamaktadır. Sonuç olarak, YK-H profili bileşenlerinin bireysel ihtiyaçlara göre optimize edilmesi, sporcunun performansını artırmak ve yaralanma risklerini en aza indirmek için stratejik bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir.

Anahtar Kelimeler: Sprint, sprint ivmelenmesi, zemin tepki kuvveti, yatay kuvvet-hız profili

BIOMECHANICAL DETERMINANTS OF SPRINT PERFORMANCE AND COMPONENTS OF THE HORIZONTAL FORCE-VELOCITY PROFILE: TRADITIONAL REVIEW

Abstract: Sprint is particularly associated with athletes' abilities to accelerate and run at high speeds. During sprint, athletes generate high levels of horizontal force (HF) and apply this force effectively to the ground. The components of the horizontal force-velocity (HF-V) profile play a critical role in this process and are considered an essential factor in optimizing performance. In recent years, with the growing interest in the force-velocity (F-V) relationship, many coaches and field professionals have been enhancing their knowledge in this area in the context of optimizing sprint performance. The purpose of this review is to present a conceptual framework for a comprehensive analysis of the components of the HF-V profile and to conduct an in-depth examination of the neuromuscular and biomechanical characteristics underpinning sprint performance. The direction and magnitude of the HF applied to the ground determine the athlete's rate of acceleration and ability to reach maximum speed. During sprint, the athlete's body position ensures the effective application of force. In the acceleration phase of sprint, correctly directing the force applied to the ground is a critical factor in optimizing performance. Therefore, focusing on the correct application of force direction during training is crucial for improving sprint performance. Enhancing components such as F_{0rel} , P_{maxrel} , and RF_{max} can boost performance in the initial stages of sprint, thereby significantly improving an athlete's overall sprint abilities. Moreover, these components play a critical role in reducing potential injury risks and enhancing sprint performance. Consequently, optimizing the HF-V profile components according to individual needs can be considered a strategic approach to improving athletic performance and minimizing injury risks.

Key Words: Sprint, sprint acceleration, ground reaction force, horizontal force-velocity profile



* Bu çalışma, yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

† Sorumlu Yazar: Salih ÇABUK, Arş. Gör., E-mail: salih.cabuk@erzurum.edu.tr

GİRİŞ

Sprint, nöromüsküler sistemin etkinliğiyle üretilen, mekanik kuvvetlere bağlı olarak gerçekleştirilen döngüsel bir hareket şeklidir ve bir çok spor dalında kritik bir öneme sahiptir. Sprint yeteneği sırasında alt ekstremitelerin, ivmelenmeyi sağlamak ve yüksek koşu hızlarını sürdürebilmek amacıyla yüksek düzeyde kuvvet üretmesi gerekmektedir. Bu süreçte, ivmelenme evresi boyunca, sporcular artan hıza rağmen, yüksek düzeyde yatay zemin tepki kuvveti (ZTK) üretmeye ve bu kuvveti etkili bir biçimde yere uygulamaya çalışmaktadırlar (Bouvier ve ark., 2025; Fornasier-Santos ve ark., 2022; Stavridis ve ark., 2019). Ayrıca, belirli bir zaman diliminde yüksek düzeyde anteroposterior (ön-arka) kuvvet üretme ve uygulama yeteneği ile itme kuvveti (impuls) gibi temel performans göstergeleri de bu süreçte önemli rol oynamaktadır (Hicks ve ark., 2022).

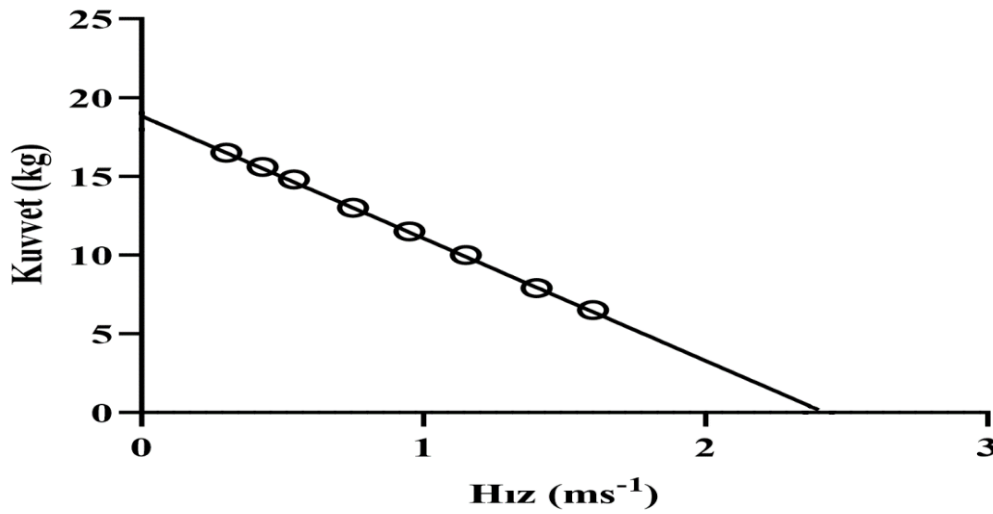
Teknolojideki ilerlemeler, spor bilimcilerin sprint yeteneğinin temel unsurlarını daha derinlemesine incelemelerine olanak sağlamış olup, günümüzde sprint koşusunun fizyolojisi ve mekaniği genellikle makroskopik mekanik değişkenler üzerinden detaylı bir şekilde incelenmektedir (Haugen ve ark., 2019). Sprint performansına katkıda bulunan mekanik belirleyicileri tanımlamak amacıyla, kütle merkezinin ters dinamik yaklaşımına dayanan bir makroskobik metot, sprint koşusu sırasında çeşitli biyomekanik değişkenlerin hesaplanmasına olanak sağlamaktadır (Bettariga ve ark., 2023; Mitrečić ve Vučetić, 2025; Perez ve ark., 2022). Bu makroskobik yöntemin 3 temel değişkenleri; relatif teorik maksimum kuvvet (F_{0rel}), teorik maksimum hız (V_0) ve relatif teorik maksimum güçtür (P_{maxrel}) (Dello Iacono ve ark., 2018; Pantoja ve ark., 2018). Bu üç temel değişkenin yanı sıra, maksimum yatay kuvvet oranı (YK_{max}) ve koşu hızı arttıkça, yatay kuvvet (YK) uygulamasının azalma oranı (A_{YK}) da sprint performansı üzerinde bir etkisi olduğu bilinmektedir (Baena-Raya ve ark., 2022; Morin ve Samozino, 2016). Bu bileşenler arasındaki ilişki, nöromüsküler sistemin tüm kapasitesini kapsamaktadır ve bu durum, bireysel kasların mekanik özelliklerini, morfolojik yapıları, motor birim aktivasyonunu destekleyen sinirsel mekanizmaları ve momentumun yönelimi (yani, kuvvet uygulamasının dikey veya yatay yönü) de içermektedir. Yatay kuvvet-hız (YK-H) profili bileşenleri, sporcunun ürettiği toplam (yani bileşik) kuvveti ileriye doğru yatay bir yönde yönlendirme yeteneğini entegre etmektedir. Bu yetenek, sprint ivmelenme performansı açısından belirleyici bir faktör olarak gösterilmiştir (Baena-Raya ve ark., 2022; Jiménez-Reyes ve ark., 2019).

Son yıllarda, birçok antrenör ve saha profesyoneli, sprint sırasında (K-H) ilişkisinin önemini giderek daha iyi kavramakta ve bu ilişkiye yönelik ilgi artmaktadır. Ancak, bu bilgiyi antrenman programlarına etkili bir şekilde entegre etmede çeşitli zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu makalenin temel amacı, YK-H profili bileşenlerini derinlemesine incelemek için kapsamlı bir kavramsal çerçeve sunmak ve sprint performansının nöromüsküler ve biyomekanik özelliklerini ayrıntılı bir şekilde değerlendirmektir.

Doğrusal Kuvvet-Hız ve Parabolik Güç-Hız İlişkileri

Bir kasın ürettiği kuvvet ile kas liflerinin kasılma hızı arasındaki ilişki, kaslarımızın mekanik işleyişinin temel unsurlarından biridir (Adamson ve Whitney, 1971). Bir iskelet kası ne kadar yavaş kasılırsa, kasılma sırasında üretebileceği kuvvet o kadar büyük olmaktadır. Böyle bir durum, bunun tam tersi durum içinde geçerlidir. Hill'in izole edilmiş kurbağa kasları üzerine yaptığı öncü çalışmalarına (Hill, 1938) dayanan bu K-H arasındaki ilişki, iskelet kaslarının kasılma mekanizmalarına yönelik teorilerin oluşturulmasında ilk kez uygulanan ve iskelet kası fizyolojisinin temel ilkelerinden biri olarak kabul edilen bir prensiptir (Huxley, 1957). K-H arasındaki bu ters doğrusal ilişkiye ilk referans, muhtemelen Hill'in (1922) şu ifadesine

dayanmaktadır: “*Hareket hızı ne kadar az ise uygulanan kuvvet o kadar büyük olurken; hareket hızı ne kadar fazla ise uygulanan kuvvette o kadar küçük olur.*” Hill bu araştırmasında, insan kaslarının mekanik çalışmasını değerlendirmek için yeni bir torkmetre geliştirmiştir. Bu torkmetre, elastik olmayan bir ipe bağlanmış ve bir kolu kullanarak çekilen bir volanın devir hızı üzerinden kinetik enerjiyi ölçmüştür. Bu deneyde, katılımcılar, farklı direnç seviyelerine karşı dirsek fleksiyonu sırasında maksimum kasılma kuvveti uygulamaya çalışmışlardır. Hareket açıklığı (HA) tüm katılımcılar için kontrol edilmiş ve tekrarlar sabit tutulmuştur. Bu çalışmadan rapor edilen mekanik iş gücü ve zaman verilerinden, mekanik iş gücü ve hız arasındaki ilişki elde edilmiş ve çalışmada HA sabit tutulduğundan, K-H arasındaki ilişkide açıklanabilmektedir (Hill, 1922). Bu çalışmadan elde edilen bir veri seti grafiği Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Hill'in (1922) verilerinden elde edilen doğrusal K-H ilişkisi (Alcazar ve ark., 2019a)

Şekil 1'deki grafik, standart bir katılımcının dirsek fleksiyonu sırasındaki K-H ilişkisini temsil etmektedir. Bu veriler, K-H ilişkisinin yüksek açıklayıcılık katsayısına sahip negatif eğimli bir doğrusal olarak hesaplanırken; hız ise HA'nın her tekrarda kayıt edilen zamana bölünmesiyle elde edilmiştir. Bu veriler, K-H ilişkisinin yüksek açıklayıcılık katsayısına sahip negatif eğimli bir doğrusal fonksiyon olarak tanımlandığı göstermektedir ($F = -7.3 \times V + 18.5$; $r^2 = 0.977$). Bu bulgular diğer çalışmalar tarafından da doğrulanmıştır (Hansen ve Lindhard, 1923; Hill ve ark., 1924; Hill, 1922).

Güç üretimi, çoklu eklem hareketleri sırasında hareket hızına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Rivière ve ark., 2020). K-H ilişkisini alternatif bir bakış açısıyla değerlendirmek amacıyla güç-hız (G-H) ilişkisi incelenebilmektedir (Hardyk, 2000). Güç, birim zamanda gerçekleştirilen iş miktarını ifade etmekte ve matematiksel olarak $\text{güç} = \text{iş} / \text{zaman}$ şeklinde tanımlanmaktadır. İş, kuvvet ve mesafenin çarpımı olarak hesaplanmaktadır ($\text{İş} = \text{kuvvet} \times \text{mesafe}$). Bu bağlamda, güç hesaplaması alternatif bir biçimde $\text{kuvvet} \times \frac{\text{mesafe}}{\text{zaman}}$ formülüyle ifade edilebilmektedir. Mesafenin zamana bölünmesiyle hız elde edilmektedir ($\text{hız} = \frac{\text{mesafe}}{\text{zaman}}$). Dolayısıyla, güç; kas kasılması sırasında üretilen kuvvet ile kasın hareket hızı arasındaki çarpım olarak hesaplanabilmektedir.

K-H ilişkisi aracılığıyla belirlendiği gibi, kas kuvveti yavaş hızlarda yüksek değerlere ulaşırken; hız arttıkça kas kuvvetinde bir azalma görülmektedir. Bu nedenle, G-H ilişkisini tanımlayan

eğrinin şekli temel olarak hafif sağa eğilmiş bir parabol gibidir. Tek eklemlili hareketlerde artan güç çıktısı, hızın nispeten simetrik bir parabol fonksiyonudur (Taylor ve ark., 1991). Birçok araştırmacı, eğrinin maksimum güç noktasına ilgi göstermiştir. K-H ilişkisi ergometre çalışmalarında olduğu gibi doğrusal olduğunda, maksimum güç, $0.5 \times \text{maksimum kuvvet}$ ve $0.5 \times \text{maksimum hızın}$ bir ürünü olarak kolayca hesaplanmaktadır. Powers ve Howley (1995), kasın güç çıktısındaki artışın hareket hızının bir fonksiyonu olarak ortaya çıktığını saptanmışlardır. Bu artış, kasın zirve (peak) güç çıktısına ulaşana kadar devam etmekte, ki bu da yaptıkları çalışmada saniyede 200 ila 400 derece/hız olarak belirlenmiştir. Özellikle yavaş kas liflerine sahip kaslar, daha çok hızlı kas liflerine sahip kaslardan önemli ölçüde daha az güç üretmekte ve G-H eğrisi grafiğinde daha fazla sağa eğilme eğiliminde olmaktadır (Powers ve Howley, 1995). Wendt ve Gibbs (1974), yavaş ve hızlı kasılan kas liflerinin izometrik kuvvet üretme kapasitelerinin benzer olduğunu öne sürmüş ve yavaş kasılan kas liflerinin güç üretiminde çok daha etkili olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak, tüm liflerin eşzamanlı olarak kasılması durumunda, %50 oranında hızlı kasılan kas liflerinden oluşan bir kas içerisinde, hızla kasılan kas liflerinin sadece çok düşük hızlarda; yavaş kasılan kas liflerinin ise eşit miktarda güce katkıda bulunduğunu belirlemişlerdir. Orta hızda gerçekleşen kasılmalarda hızlı kasılan kas liflerinin sadece az miktarda güç sağladığını; yüksek hızlarda ise katkılarının bulunmadığını da rapor etmişlerdir (Wendt ve Gibbs, 1974). Bir kasın sarkomerlerinin biyokimyasal özellikleri, hem kuvvet hem de hız potansiyelinden belirleyen temel faktörlerden biridir (Barany, 1967). Maksimum uyarı ve yükleme koşullarında, hızlı kasılan kaslar, uzunluk farkları nedeniyle yavaş kasılan kaslara kıyasla yalnızca yarı hızda kasılmaktadır. Maksimum kasılma sırasında, yavaş kasılan kas lifleri, hızlı kasılan kas liflerinden neredeyse iki kat daha uzun olduğundan, kasılma sürelerinin yaklaşık olarak iki kat daha hızlı olması beklenmektedir. Bu kasılma hızlarındaki farklılık, yavaş kasılan kas liflerinin hızlı kasılan kas liflerine göre iki kat daha fazla maksimum kısalma hızına sahip olmasına yol açmaktadır. Bu durum, %100 yavaş kasılan kasların, %100 hızlı kasılan kaslara kıyasla daha fazla zirve güç üretimine ulaşmasını sağlamaktadır. Bu bulgular, sarkomer liflerinin uzunluğunun kasın optimal G-H seviyesinde önemli bir rol oynadığını göstermektedir (Edgerton, 1986). Bir kasın maksimum G-H seviyesinin, sarkomer sayısına ve dolayısıyla kas liflerinin uzunluğuna orantılı olduğunu destekleyen çok sayıda deneysel bulgu bulunmaktadır (Alcazar ve ark., 2019b; Bodine ve ark., 1982; Spector ve ark., 1980; Widrick ve ark., 1996). Bazı bulgular, aynı kasın distal (uzak) ve proksimal (yakın) uçlarında farklı sarkomer uzunluklarının ve farklı kas lifi tiplerinin bulunabileceğini ileri sürmektedir. Bodine ve ark., (1982), izole edilmiş bir kedi semitendinosus kasını hem proksimal hem de distal uçlarından ayrı ayrı ve eş zamanlı olarak uyararak incelemişlerdir. Distal ve proksimal uçlar ayrı ayrı uyarıldığında, proksimal uç 0 - 4 cm/s hız aralığında en yüksek kuvveti üretirken, daha uzun liflere sahip olan distal uç, aynı kasılma süresi boyunca daha yüksek bir maksimum G-H ilişkisi sergilemiştir (Bodine ve ark., 1982).

Sprint Performansının Biyomekanik Belirleyicileri

Sprint performansı, genellikle ivmelenme yeteneğinin optimize edilmesine odaklanılarak geliştirilmektedir. Sprint sırasında ivmelenme, vücut kütlesiyle ters orantılıdır; dolayısıyla, vücut kütlesine göre yüksek düzeyde kuvvet üretme kapasitesi (örneğin, $a = F/m$) kritik bir öneme sahip olmaktadır. Ancak, hareketin doğası gereği, yatay yönlü relatif kuvvetin ($N \cdot kg^{-1}$) değişen hızlarda ($m \cdot s^{-1}$) ve zaman aralıklarında (temas süresi; ms) üretilmesi gerekmektedir (Hicks ve ark., 2022).

Newton yasaları, ileri yönde sprint ivmelenmesinin, yatay ve dikey bileşenlerden oluşan bileşke ZTK (yani, her adımda dikey, yatay ve bileşik kuvvetlerin toplam büyüklüğü), yatay ve dikey itme kuvveti (impuls) ve kütle merkezinin yer değiştirmesiyle belirlendiğini göstermektedir (Morin ve ark., 2015). Kuvvet ve itme, vektör büyüklükleridir. Bu yön ve büyüklük içerdikleri

anlamına gelmektedir ve sprint yeteneğinin fazıyla birlikte sporcunun vücut pozisyonuna bağlıdır. Bu vektörler, yatay (esas olarak anteroposterior) veya dikey yönde yönlendirilmiştir. Hızın sıfır olduğu durumda, itme kuvveti, daha uzun zemin temasları boyunca uygulanan kuvvetin bir kombinasyonu olmaktadır. Hız arttıkça, kuvvetin uygulanabileceği süre azalmaktadır, bu nedenle zemin temasında kaliteli kuvvet uygulaması önemli hale gelmektedir (Hicks ve ark., 2020). Örneğin, 100 metre sprint koşusunda, başlangıç adımlarında hız nispeten düşük ($5 - 7$ m/s) olduğu için daha uzun yer temas süreleri (100 milisaniyenin üzerinde) gerekmektedir. Buna karşılık, sporcu maksimum hıza yaklaştığında (10 m/s'in üzerinde), daha kısa yer temas süreleri (100 milisaniyenin altında) ve yüksek hızlar belirgin hale gelmektedir. Bu dinamik, sprint performansının farklı aşamalarında kuvvet uygulama stratejilerinin önemini vurgulamaktadır (Mero ve ark., 1992).

Net YK (YK_{net}), ivmelenme hızını belirlerken (Rabita ve ark., 2015; Samozino ve ark., 2016), itme-momentum ilişkisi kuvvetin uygulanma süresini yönetmektedir. Bu faktörün, yavaş veya hızlı ivmelenme hızlarını belirlediği gösterilmektedir; daha kısa temas süreleri, artan kuvvet ifadesi gereksinimini ortaya çıkarmaktadır (Hicks ve ark., 2020). Morin ve ark. (2015), en hızlı sprinterlerin, elit altı seviyedeki sprinterlere kıyasla daha büyük net yatay itme kuvveti üretebildiklerini tespit etmişlerdir. Ayrıca, daha hızlı sprinterlerin hız arttıkça ve yerle temas süresi azaldıkça bu itme kuvvetini sprint ivmelenmesi boyunca korudukları gösterilmiştir (Morin ve ark., 2015). Bu yetenek, performans açısından büyük bir öneme sahiptir.

Bir sporcunun yere uyguladığı kuvvetin yönü, sprint sırasında ne kadar hızlı ivmeleneceğini veya ne kadar yüksek bir hız elde edeceğini belirlemektedir (Bezodis ve ark., 2017). İvmelenme sırasında YK'yı (öne doğru itme) maksimize etmek ve doğru şekilde yönlendirmek çok önemlidir. Çünkü bir sporcunun ulaştığı maksimum hız, başlangıçtaki itici kuvvetin büyüklüğü ve bu kuvvetin uygulandığı süre ile doğrudan ilişkili olmaktadır. Bu, hem başlangıç anında hem de ivmelenme süresince ardışık adımlar sırasında geçerlidir (Hicks ve ark., 2020). Başka bir deyişle, hızlı koşmak için yere güçlü ve doğru yönde kuvvet uygulamak gerekmektedir.

Sporcunun sprint esnasındaki vücut pozisyonu, ivmelenme ve maksimum hız aşamalarında kuvvetin uygulanması ve yönlendirilmesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Kugler ve Janshen, 2010). Vücudun tamamını (gövde ve baş hariç) yere eğik bir pozisyonda konumlandırmak, daha güçlü bir bileşke ZTK elde etmeyi sağlamaktadır (Clark ve Weyand, 2015; Kugler ve Janshen, 2010). Öte yandan, bir sporcu maksimum hızda dik bir pozisyonda sprint uygularken, yerle temas süresini sınırlamak ve yavaşlamayı azaltmak için dikey yönelimli yüksek ZTK elde etmeye odaklanmaktadır (Clark ve Weyand, 2014). Bileşke ZTK'yı daha ileri veya yatay bir yönde yönlendirmek, sprintin ivmelenme aşamasında yere uygulanan kuvvetin toplam büyüklüğünden daha önemlidir. Bu nedenle, bu bileşene antrenman sırasında özel bir önem verilmesi gerekmektedir (Morin ve ark., 2012; Morin ve ark., 2011; Rabita ve ark., 2015). Başka bir deyişle, sporcular antrenman yaparken yere bastıklarında uyguladıkları kuvveti doğru yönde yönlendirmeleri, kuvvetin ne kadar büyük olduğundan daha kritik bir faktör olarak değerlendirilmelidir. İleri veya yatay yönlü kuvvet uygulaması, ivmelenme aşamasında daha hızlı ve etkili bir sprint performansı sağlamaktadır. Bu yüzden, antrenmanlarda bu yönlendirme üzerinde durulması gerekmektedir.

Yatay Kuvvet-Hız Profili ve Bileşenleri

Sprint koşu hızı, sadece en yüksek hıza ulaşmak açısından değil aynı zamanda ve en önemlisi belirli bir mesafeyi en kısa sürede kat etmek için çoğu spor aktivitesinde performansın anahtar bir faktörüdür. Bu yetenek, zemin üzerine yatay vektörde güç çıktısının yüksek bir miktarını uygulama ve üretme kapasitesiyle ilişkili büyük bir ileriye doğru ivmelenmeyi temsil

etmektedir. Sprint sırasında yatay dış kuvvet üretme kapasitesinin genel mekanikleri, parabolik G-H ve ters doğrusal K-H ilişkisi tarafından tanımlanmaktadır (Morin ve ark., 2012; Morin ve ark., 2010; Rabita ve ark., 2015; Samozino ve ark., 2016).

Terminoloji	İsimlendirme	Tanım	Pratik Yorumlama
$F_{0rel} (N/kg)$	Relatif teorik maksimum kuvvet	Hız değeri 0 iken vücut ağırlığı göz önüne alınarak yatay vektörde üretilen teorik maksimum kuvvet çıktısı.	Değer ne kadar yüksekse, vücut ağırlığı göz önüne alınarak sprinte özgü yatay kuvvet üretimi o kadar yüksektir.
$V_0 (m/s)$	Teorik maksimum hız	Kuvvet değeri 0 iken teorik maksimum hız kapasitesi.	Sporcunun, harekete karşı mekanik dirençlerin (yani içsel ve dışsal) sıfır olması durumunda ulaşabileceği teorik maksimum koşu hızını temsil eder. Aynı zamanda çok yüksek koşu hızlarında yatay vektörde üretilen kuvvet yeteneğinin bir ifadesidir.
$P_{maxrel} (W/kg)$	Relatif teorik maksimum güç	Vücut ağırlığı göz önüne alınarak yatay vektörde üretilen maksimum mekanik güç çıkışı.	Sprint hızlanması sırasında sporcunun vücut ağırlığı göz önüne alınarak yatay vektörde maksimum güç üretim yeteneğidir.
$KH_{egimrel} (N.s.m^{-1}.kg^{-1})$	Relatif kuvvet-hız ilişkisinin eğimi	Vücut kütleline göre teorik maksimum kuvvet (F_0) ile teorik maksimum hız (V_0) arasındaki doğrusal ilişkinin eğimi.	Sporcunun kuvvet ve hız üretme kapasitesi arasındaki bireysel dengeyi gösteren bir indekstir. Eğim ne kadar negatif olursa, K-H ilişkisinde kuvvet o kadar baskın olurken; eğim ne kadar pozitif olursa, K-H ilişkisinde hız o kadar baskındır.
$YK_{max} (%)$	Maksimum yatay kuvvet oranı	Yatay kuvvetin maksimum değeri.	Teorik olarak maksimum kuvvet uygulama etkinliği. Sprint başlangıcında, hareketin ileri yönlendirilen toplam kuvvet üretiminin direkt olarak ölçülebilen bir parametresi.
$A_{YK} (%)$	Yatay kuvvet oranındaki azalma	Sprint hızlanması sırasında hız arttıkça yatay kuvvet uygulamasının azalma oranı.	Sporcunun, artan hızla birlikte mekanik etkinliğin kaçınılmaz azalmasını sınırlama yeteneğini ifade eder. Koşu hızı arttıkça yatay kuvvet üretimini sürdürme yeteneğinin bir göstergesidir. Eğri ne kadar negatifse, hızlanma sırasında kuvvet uygulama etkinliğinin o kadar hızlı kaybedildiğini göstermektedir. Bu tam tersi içinde geçerlidir.

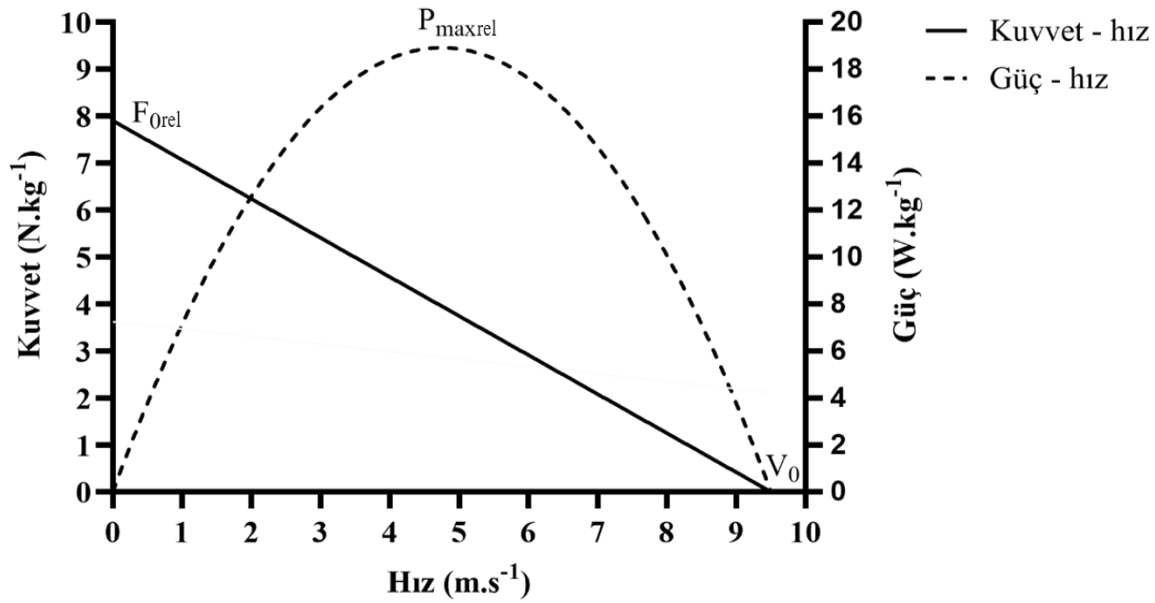
Tablo 1. Yatay kuvvet-hız profili bileşenleri

Tek eklemlili hareketler ya da izole edilmiş kas üzerinde elde edilen K-H ilişkisi hiperbolik bir denklem tarafından tanımlanmasına rağmen (Hill, 1938) sprint, leg press, skuat gibi çok eklemlili alt ekstremitte hareketleri için sürekli olarak doğrusal bir ilişki elde edilmiştir (Morin ve ark., 2010; Rabita ve ark., 2015). Bu ilişkiler, çok eklemlili hareketler sırasında bütün nöromüsküler sistemin dış mekanik sınırlarını tanımlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Baena-Raya ve ark., 2022; Samozino ve ark., 2016). Güncel çalışmalar, sprintin ivmelenme evresi sırasında

K-H ve G-H ilişkisini incelemiştir (Alonso-Callejo ve ark., 2024; Cormier ve ark., 2023; Galantine ve ark., 2025; Morin ve Samozino, 2016; Niederdraeing ve Zentgraf, 2025; Samozino ve ark., 2016). Bu incelemeler aracılığıyla, kütle merkezinin ters dinamik yaklaşımına dayanan yeni bir makroskobik metot, sprint koşusu sırasında çeşitli biyomekanik değişkenlerin hesaplanmasına olanak sağlamıştır (Bettariga ve ark., 2023; Perez ve ark., 2022). Bu makroskobik yöntemin 3 temel değişkenleri; F_{0rel} , V_0 ve P_{maxrel} 'dir (Norgeot ve Fouré, 2024; Pantoja ve ark., 2018). Bu 3 temel değişkenin yanı sıra, YK_{max} ve A_{YK} 'nın da sprint performansı üzerinde bir etkisi olduğu bilinmektedir (Baena-Raya ve ark., 2022; Morin ve Samozino, 2016). Sporcunun F_{0rel} değeri, sıfır hıza ekstrapolasyonla (sıfır hıza kestirimle) elde edilirken; V_0 değeri sıfır kuvvete ekstrapolasyonla (sıfır kuvvete kestirimle) elde edilmektedir. Bu parametreler, kasların mekaniksel uygunluğu ve sinirsel aktivitesi tarafından etkilenmektedir (Alonso-Callejo ve ark., 2024; Pantoja ve ark., 2018). Ayrıca F_{0rel} değeri, sporcunun ivmelenme aşamasının başında zemine karşı yaptığı ilk itişini temsil etmektedir. Bu özellik, sprinterlar ve antrenörler için kritik bir gözlem alanıdır çünkü bu yetenek, sporcunun her bir alt ekstremitedeki genel kuvvetini, yüksek hızlardaki (kuvvet oranındaki azalmayı sınırlama yeteneğinde bir artış beklenmektedir) veya ilk adımlardaki (eğer bu transfer iyi bir şekilde gerçekleşirse, yüksek düzeyde bir maksimum kuvvet hızı beklenmektedir) sprint hareketine etkili bir şekilde transfer etme kapasitesini göstermektedir. V_0 değeri, mekanik dirençlerin harekete karşı sıfır olduğu durumunda sporcunun ulaşabileceği maksimum sprint hızını yansıtır ve bu yetenek, çok yüksek hızda YK üretme kapasitesiyle ilişkilidir. P_{maxrel} değeri, sprint ivmelenmesi sırasında hem F_{0rel} hem de V_0 değerlerinin en üst düzeyde üretilme yeteneğini göstermektedir (Morin ve Samozino, 2016). P_{maxrel} 'i elde edebilmek için hem yüksek kuvvet hem de yüksek hız üretilmelidir. Ancak, kasın kuvvet üretme yeteneği yüksek hızlarda azalmaktadır. Sprint sırasında kuvvet ve hız çıktısının ölçümü, maksimum sprintin başlangıcında sporcunun vücudunu ileri doğru ivmelendirmesi için düşük hızda yüksek miktarda kuvvet ürettiğini, zamanla koşu hızı arttıkça kuvvet çıkışının azaldığını göstermektedir (Morin ve ark., 2011). Bu üç değişken, P_{maxrel} 'in optimal yatay kuvvetin ($0.5 \times F_{0rel}$) ve optimal hızın ($0.5 \times V_0$) belirli bir düzeyinde gerçekleştiği şekilde birbirleriyle ilişkilidir (Simperingham ve ark., 2019). YK , toplam kuvvet üretiminin hangi oranda ileri yönlü olduğunu doğrudan ölçen bir değer ve zemin kuvvet uygulama tekniğinin etkinliğini yansıtan bir gösterge olarak kabul edilmektedir. Ayrıca ZTK, yatay bileşene karşılık gelen bileşke kuvvete oranı olarak tanımlanmaktadır. YK_{max} , sprint başlangıcında hareketin doğrudan ileri yönlü olarak yönlendirilen toplam kuvvet üretiminin ölçümüdür. A_{YK} , sporcunun hızının artmasıyla birlikte, mekanik etkinliğin kaçınılmaz azalmasını sınırlama becerisini ifade etmektedir. Koşu hızı arttıkça, YK üretimini sürdürme yeteneğinin bir göstergesidir. Toplam uygulanan kuvvet miktarından (fiziksel yeteneklerden) bağımsızdır (Baena-Raya ve ark., 2022; Haugen ve ark., 2019; Hicks ve ark., 2022; Morin ve Samozino, 2016; Perez ve ark., 2022; Samozino ve ark., 2016).

Şekil 2'deki grafik doğrusal K-H (düz çizgi) ve buna karşılık gelen parabolik G-H ilişkisinin (kesikli çizgi) görsel temsilini göstermektedir. Grafikte relatif teorik maksimum kuvvet (F_{0rel})= 7.9 N/kg; teorik maksimum hız (V_0)= 9.5 m/s ve relatif teorik maksimum güç (P_{maxrel})= 18.8 W/kg'dır. F_{0rel} ve V_0 , doğrusal regresyonun y ve x eksenlerini kestiği noktaları, P_{maxrel} ise güç ile hız arasındaki polinom uyumunun zirvesi olarak belirlenmektedir (Simperingham ve ark., 2019; Stavridis ve ark., 2019). Bu değişkenlerin sprint görevinin tamamı boyunca modellenmesi, sprint performansının her aşamasına olan katkılarını daha iyi anlamamıza izin vermektedir (Morin ve Samozino, 2016). Kuvvet baskın sporcular, göreceli olarak yüksek kuvvet yeteneklerine sahip olduklarını gösteren daha dik negatif bir eğim belirlerken; hız baskın sporcular, göreceli olarak hız yeteneklerine sahip olduklarını gösteren daha düz negatif bir eğim belirlemektedirler (Simperingham ve ark., 2019). Bu çerçevede, YK - H profili bileşenleri daha

iyi sprint özelliğine ulaşmak amacıyla ilgili antrenman programlarının tasarlanması ve uygulanması için kapsamlı bilgiler sağlayabilir (Baena-Raya ve ark., 2022; Morin ve Samozino, 2016).



Şekil 2. Yatay kuvvet-hız profili

Yatay Kuvvet-Hız Profili ve Bileşenlerinin Hesaplanmasında Kullanılan Doğrudan ve Dolaylı Yöntemler

Sprint ivmelenme performansının mekanik değişkenler açısından incelenmesi, sprint sırasında koşu hızı ve ZTK gibi daha fazla bileşenin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Şüphesiz ki, doğrudan yöntemlerden olan ve sporcunun kütle merkezi hızını ölçen 3-D hareket yakalama sistemleri ve kuvvet platformları, sprintin mekanik özelliklerini değerlendirmek ve analiz etmek için altın standart olarak kabul edilmektedir. Ancak, bu tür sistemlerle bir sprint performansının tam hızlanma fazını (0'dan maksimum hıza ulaşana kadar) analiz etmek, ağır deney protokolleri ve veri işleme prosedürlerini içermektedir. Bu tarz prosedürlerde önemli olan bir diğer sınırlama ise veri setlerinin seri olarak düzenlenmiş kuvvet platformlarının sayısı ile kısıtlanmış olmasıdır. Genellikle toplamda 4 – 8 metre uzunluğunda kuvvet platformları kullanılmakta ve bu sınırlı mesafe, elde edilen verilerin kapsamını daraltmaktadır. Bu çerçevede, tüm bir sprint profilini kuvvet platformları aracılığıyla analiz etmek, hem lojistik hem de finansal açıdan önemli sınırlamalar getirmektedir (Fornasier-Santos ve ark., 2022; Jiménez-Reyes ve ark., 2018; Morin ve ark., 2019; Rabita ve ark., 2015; Samozino ve ark., 2016; Vescovi ve Jovanović, 2021). Bunlara ek olarak, son zamanlarda radar ve lazer teknolojileri, araştırmacılar tarafından saha tabanlı yöntemler daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Simperingham ve ark., 2019; Vescovi ve Jovanović, 2021). Radar ve lazer cihazları genellikle sporcunun doğrudan arkasına yerleştirilmekte ve cihazın odaklandığı sporcunun sırt veya bel bölgesinin hareket hızını ölçerek kütle merkezi hızını hesaplanmaktadır (di Prampero ve ark., 2005; Morin ve ark., 2006). Radar cihazları, katılımcıya çarpıp geri dönen radyo dalgalarının frekans değişimini ölçerken, lazer cihazları katılımcıdan yansıyan darbeli kızılötesi ışığın zaman gecikmesini tespit etmektedirler (Simperingham ve ark., 2019). Örneğin, bir radar cihazı, 46.875 Hz'de hız-zaman verilerini kaydedebilen bir teknoloji olarak, YK-H ilişkisinin hesaplanmasında sıklıkla tercih edilmektedir. Bu cihaz, daha önce rugby (Cross ve ark., 2015; Macadam ve ark., 2017) ve futbol

(Samozino ve ark., 2016) sporcuları üzerinde yapılan araştırmalarda kullanılmıştır (Feser ve ark., 2022). Ayrıca, bu teknolojinin hız ve bölünmüş süreleri ölçme konusundaki gün içi güvenilirliği ve geçerliliği daha önce doğrulanmıştır (Chelly ve Denis, 2001; Samozino ve ark., 2016). Ancak, spor alanında çalışan antrenörler için bu cihazlar kolay erişilebilir veya pratik değildir. Bu nedenlerle, bu teknolojilerin saha uygulamalarında geniş kapsamlı kullanımı sınırlı kalmaktadır. Ayrıca, bu sınırlamalar, ileri teknolojilerin günlük antrenman ve değerlendirme süreçlerine entegrasyonunu zorlaştırmaktadır (Vescovi ve Jovanović, 2021).

Sprint ivmelenme performansını değerlendirmek için spor bilimciler ve antrenörler tarafından yaygın olarak kullanılan dolaylı yöntemlerden birisi zaman kapılarıdır (time gates). Genellikle, bölünmüş süreleri yakalamak için (örneğin 5, 10, 15 ve 20 metre) çeşitli mesafelere birden fazla kapı yerleştirilmektedir (Jovanović ve Vescovi, 2022). Maksimal sprint performansı sırasında bir sporcunun yatay zemin kuvveti üretimini tahmin etmek için uygun olan, Samozino ve ark. (2016) tarafından geliştirilen ters dinamiklere dayalı yeni bir yöntem, yakın zamanda doğrudan laboratuvar ölçümleriyle karşılaştırılarak doğrulanmıştır (Morin ve ark., 2019; Samozino ve ark., 2016). Samozino ve ark. (2016) tarafından YK-H bileşenlerini hesaplamak için önerilen bu yöntem, kuvvet platformlarıyla mükemmel seviyede uyum göstermiştir ($r^2 = 0.953$, $p < 0.05$). Bu makroskobik ters dinamik yöntem, bir sporcunun maksimal çaba ile yaptığı sprint sırasında hızının zamanla değişimini üssel bir fonksiyon kullanarak doğru bir şekilde modelleyebileceği gözleminde yararlanmaktadır (di Prampero ve ark., 2005). Bu nedenle, saha testlerinde uygulanabilirliği ve doğruluğu ile dikkat çekmektedir. Bu yöntemde mesafe/hız-zaman eğrisi, son zamanlarda oldukça popüler olan tek üstel denklem fonksiyonuna (Denklem 1) en küçük kareler regresyon metodu kullanılarak modellenmekte ve YK-H profili bileşenleri hesaplanmadan önce her bir sporcu için en iyi uyum eğrisi elde edilmeye çalışılmaktadır. Denklem 1, zaman (t), anlık yatay hız (v_y) ve 2 model bileşenleri üzerinden hesaplanan bir fonksiyonunu temsil etmektedir (Clark ve ark., 2019; Furusawa ve ark., 1927; Samozino ve ark., 2016).

$$v_y(t) = MSH \times \left(1 - e^{\frac{-t}{TAU}}\right)$$

Denklem 1. Tek üstel denklem aracılığıyla modellenen mesafe/hız-zaman eğrisi

Denklem 1’de bulunan parametreler maksimum sprint hızı (MSH; “ms⁻¹” olarak ifade edilmiştir) ve relatif ivmelenmedir (TAU; “s” olarak ifade edilmiştir). Şekil 3.3’te verilen TAU (τ), MSH’nin %63,2’sine eşit olan bir sprint hızına ulaşmak için gereken zaman olarak yorumlanmaktadır. Denklem 1’in türetilmesinden sonra yatay ivmelenme (Yİ), Denklem 2’deki formül aracılığıyla hesaplanmaktadır.

$$Yİ(t) = \frac{MSH}{TAU} \times e^{\frac{-t}{TAU}}$$

Denklem 2. Yatay ivmelenme hesaplama formülü

Denklem 2’deki formül üzerinden yatay ivmelenme hesaplandıktan sonra zamanın bir fonksiyonu olarak sporcunun kat ettiği mesafe (KEM) hesaplanmaktadır. Bu hesaplama için Denklem 3’te bulunan formül kullanılmaktadır.

$$KEM(t) = MSH \times \left(t + TAU \times e^{\frac{-t}{TAU}}\right) - MSH \times TAU$$

Denklem 3. Zamanın bir fonksiyonu olarak sporcunun kat ettiği mesafenin hesaplama formülü

Denklem 3'teki formül aracılığıyla zamanın bir fonksiyonu olarak sporcunun KEM hesaplandıktan sonra, zaman içerisinde kütle merkezine uygulanan net yatay antero-posterior zemin reaksiyon kuvveti ($YAPZRK$), sporcunun vücut kütlesi (VK), $Y\dot{I}(t)$ ve aerodinamik sürüklenme kuvveti (SK_{aero}) parametrelerini içeren Denklem 4'te bulunan formül aracılığıyla hesaplanmaktadır.

$$YAPZRK(t) = VK \times Y\dot{I}(t) + SK_{aero}(t)$$

Denklem 4. Zaman içerisinde kütle merkezine uygulanan net yatay antero-posterior zemin reaksiyon kuvveti hesaplama formülü

Denklem 4'ün hesaplanması için gerekli olan sprint sırasında rüzgâr hızına bağlı olarak sporcunun karşılaştığı aerodinamik sürüklenme kuvveti (SK_{aero}), sporcunun aerodinamik sürüklenme katsayısı (AS_k), anlık yatay hız (v_y) ve rüzgâr hızı (r_h) parametrelerini içeren Denklem 5'te bulunan formül aracılığıyla hesaplanmaktadır.

$$SK_{aero}(t) = AS_k \times (v_y(t) - r_h)^2$$

Denklem 5. Rüzgâr hızına bağlı olarak sporcunun karşılaştığı aerodinamik sürüklenme kuvveti

Denklem 5'in hesaplanması için gerekli olan sporcunun aerodinamik sürtünme katsayısı (AS_k), hava yoğunluğu (HY), sporcunun frontal alanı (F_a) ve sürüklenme katsayısı ($SK= 0.9$) parametrelerini içeren Denklem 6'da bulunan formül üzerinden hesaplanmaktadır.

$$AS_k = 0.5 \times H_y \times F_a \times SK$$

Denklem 6. Sporcunun aerodinamik sürtünme katsayısı

Denklem 6'nın hesaplanması için gerekli olan hava yoğunluğu (H_y), hava basıncı (H_b) ve hava sıcaklığı (C°) parametrelerini içeren Denklem 7'de bulunan formül üzerinden elde edilmektedir.

$$HY (kg/m^3) = p_0 \times \frac{H_b}{760} \times \frac{273}{273 + C^\circ}$$

Denklem 7. Hava yoğunluğu hesaplama formülü

Denklem 6'nın hesaplanması için gerekli olan sporcunun frontal alanı (F_a), boy uzunluğu (BU) ve sporcunun vücut kütlesi (VK) değerleri üzerinden Denklem 8'de bulunan formül aracılığıyla hesaplanmaktadır.

$$F_a = (0,2025 \times BU^{0,725} \times VK^{0,425}) \times 0,266$$

Denklem 8. Sporcunun frontal alanı hesaplama formülü

Bu noktada mesafe, bir yordayıcı; zaman kapıları aracılığıyla elde edilen süreler ise sonuç değişkenidir. F_{0rel} , K-H ilişkisinin x-kesişim noktasını temsil ederken; V_0 , K-H ilişkisinin y-kesişim noktasını temsil etmektedir. P_{maxrel} , Denklem 9'daki formül kullanılarak türetilirken, $KH_{eğimrel}$ ise Denklem 10'da bulunan formül aracılığıyla hesaplanmaktadır.

$$P_{maxrel} = \frac{F_{0rel} \times V_0}{4}$$

Denklem 9. Teorik maksimum gücü hesaplama formülü

$$KH_{eğimrel} = \frac{F_{0rel}}{V_0}$$

Denklem 10. K-H ilişkisinin eğimini hesaplama formülü

Maksimum yatay kuvvet oranı (YK_{max}) yüzdesi, sprintin başlangıcında gözlemlenen maksimum YK değerine karşılık gelmektedir. YK, yatay yönlü bileşenin toplam zemin tepki kuvvetine ($ZTK_{toplaml}$) oranı olarak Denklem 11'deki formül aracılığıyla hesaplanmaktadır. Denklem 11'deki formülde, K_{YD} , yatay dış kuvveti (N) temsil ederken; K_{DD} , dikey dış kuvveti (N) temsil etmektedir.

$$YK (\%) = \frac{K_{YD}}{ZTK_{toplaml}} = \frac{K_{YD}}{\sqrt{K_{YD}^2 + K_{DD}^2}}$$

Denklem 11. Yatay kuvvet oranını hesaplama formülü

A_{YK} , zaman 0.03 saniyeden büyük olduğunda doğrusal $YK \sim Yİ$ ilişkisinin eğimi olarak hesaplanmaktadır.

Maksimal sprint performansı sırasında bir sporcunun yatay zemin kuvveti üretimini tahmin etmek için kullanılan yöntemleri daha erişilebilir ve uygulanabilir hale getirmek amacıyla, açık kaynaklı bir Excel aracı (spreadsheet) geliştirilmiştir. Bu Excel aracı, sprint mekanik özelliklerini hesaplamak için gerekli olan tüm formülleri ve parametreleri içermekte olup, kullanıcıların temel girdileri (vücut kütlesi, boy, ortamın basıncı, ortamın sıcaklığı ve mesafe/hız-zaman verileri) kolayca girmesini ve anında analizler yapmasını sağlamaktadır. Bu yöntem, spor uygulamaları ve araştırmalarında yaygın olarak kullanılmıştır (Cross ve ark., 2015; Morin ve ark., 2019; Pantoja ve ark., 2016). Son zamanlarda popüler hale gelen dolaylı yöntemlerden bir diğeri ise, 2-D video analiz programları (örneğin, Kinovea) veya MySprint isimli telefon uygulamasıdır. Bu yöntemler, saha koşullarında kolayca uygulanabilmeleri ve erişilebilir olmaları nedeniyle spor bilimlerinde giderek daha fazla tercih edilmektedir (Fernández-Galván ve ark., 2022; Hermosilla-Palma ve ark., 2022; May ve ark., 2023). MySprint uygulaması kullanılarak, sporcuların farklı (5, 10, 15, 20, 25 ve 30 m) zaman noktaları işaretlenip yüksek hızlı bir videodan alınan çoklu ara zamanlarla kolayca analiz yapılabilmekte ve bu uygulama, her ara zamanı ve sprint performansının mekanik çıktılarını otomatik olarak hesaplayabilmektedir (May ve ark., 2023). MySprint uygulaması radar ve zaman kapıları gibi referans sistemlerine kıyasla geçerlilik ve güvenilirlik açısından doğrulanmıştır (Romero-Franco ve ark., 2017). Ancak, bu uygulama kullanılırken sporcuların farklı hedeflenen mesafeleri geçtiği anlarda doğru ara zamanların ölçülebilmesi için “parallax düzeltmesi” gerekmektedir (Samozino ve ark., 2016). Bu gerekliliği kullanarak YK-H profili ve bileşenlerini hesaplayan bazı çalışmalarda parallax düzeltmesinin uygulandığı (Hermosilla-Palma ve ark., 2022; May ve ark., 2023) bazılarında ise uygulanmadığı (de Barros Sousa ve ark., 2024) görülmektedir. Parallax düzeltmesi için basit bir yöntem, Romero-Franco ve ark. (2016) tarafından önerilmiş, detaylandırılmış ve görselleştirilmiştir (Romero-Franco ve ark., 2017).

Sporcuların sprint özelliklerinin altında yatan nöromusküler kapasiteyi değerlendiren antrenörler ve spor bilimcilerinin büyük çoğunluğu zaman kapılarını kullanmaktadır. Ancak, zaman kapıları kullanılırken sprint mekanik faktörlerini tahmin etmede doğal bir sınırlama mevcuttur; bu, kuvvet üretiminin ilk anıyla zaman kapılarının başlangıçta tetiklendiği an (sprint zamanlamasının başlangıcı) arasındaki gecikme süresinden (lag time) kaynaklanmaktadır. Bu gecikme süresi, türetilen bazı metriklerin (örneğin kuvvet ve güç) aşırı tahmin edilmesine yol açmaktadır. Bu sorunun çözümü için çeşitli çalışmalar farklı zaman düzeltmeleri önermiştir. Haugen ve ark. +0.50 saniyelik bir düzeltme önermiştir (Haugen ve ark., 2019, 2020). Buna karşın, Vescovi ve Jovanovic (2021) +0.30 ve +0.25 saniyelik düzeltmeler önerirken (Vescovi ve Jovanović, 2021), Haugen ve ark. (2012) +0.27 saniyelik bir düzeltmeyi uygun bulmuştur (Haugen ve ark., 2012). Bu zaman düzeltme farklılıkları, ayakta başlama veya başlangıç bloğundan başlama gibi farklı başlangıç yöntemlerine ve zaman kapısının başlatılma mesafesindeki değişikliklere bağlı olarak ortaya çıkmıştır. Örneğin, Vescovi ve Jovanovic (2021), 0.05 m'lik (Vescovi ve Jovanović, 2021), Haugen ve ark. (2019, 2020) ise 0.50 m'lik mesafeler için düzeltme önermiştir (Haugen ve ark., 2019, 2020). Genel olarak, başlangıç ve zaman kapısının başlatılma mesafesi azaldıkça, gerekli düzeltme süresinin de azaldığı gözlemlenmiştir (örneğin, 0.5 saniyeye karşı 0.25 saniye) (van den Tillaar ve ark., 2022). Zaman kapıları kullanılırken tahmin edilen kinetik değişkenlerdeki hatalardan kaçınmak için bir zaman düzeltmesi gerekli olsa da, çok büyük bir düzeltmenin uygulanmasında dikkatli olunmalıdır, çünkü bu potansiyel olarak zıt etkiye (örneğin, güç ve kuvvetin düşük tahmin edilmesine) yol açabilmektedir (Morin ve ark., 2019; Samozino ve ark., 2016). Bu bağlamda, bu sorunun çözümü için “shorts” paketi geliştirilmiştir (Jovanović ve Vescovi, 2022). Bu paket, R programında (R Development Core Team, 2020) uygulanan doğrusal olmayan en küçük kareler regresyonunu (“nls” fonksiyonu) kullanmaktadır. Hem R programı hem de “shorts” paketi açık kaynaklı yazılımlardır (Vescovi ve Jovanović, 2021).

Sprint Performansında Yatay Kuvvet-Hız Profili Bileşenleri ve Antrenman Stratejileri

YK-H profili bileşenleri üzerinden elde edilen veriler, sporcuların sprint sırasında nasıl hareket ettiğini dolaylı olarak gösterebilir. Bu veriler, antrenörlere sporcularının yere nasıl kuvvet uyguladığı ve yönlendirdiği hakkında teknik ipuçları verebilmektedir.

Sprint ivmelenmesinin, biyomekanik faktörlerle ilgili olarak, yüksek bir güç seviyesi elde etmek ve mümkün olan en yüksek hıza ulaşmak için kısa sürede yatay yönde büyük kuvvetlerin (F_{0rel}) uygulanmasının bir sonucudur (Hicks ve ark., 2022; Williams ve ark., 2021). F_{0rel} değeri ne kadar yüksekse, sprint için özel olarak üretilen YK de o kadar yüksek olmakta ve bu sporcunun sprintin başlangıcındaki ilk itme hareketine karşılık gelmektedir (Morin ve Samozino, 2016). Araştırmalar, özellikle, 5 (S_{5m}) ve 10 (S_{10m}) metre sprint performansı ile F_{0rel} arasında ($r = -0.95$ ve -0.99) neredeyse mükemmel ilişki bildirilmiştir (Baena-Raya ve ark., 2022). Fizyolojik ve teknik özellikleri nedeniyle düşük hızlarda yeterli YK uygulama yeteneği sınırlı olan sporcular, saha içi rekabetlerde dezavantajlıdır. Sprintin ilk aşamalarında, bu sporcular yeterli YK üretemezler ve bu durum yatay impulsun azalmasına neden olur (Bezodis ve ark., 2017). Sonuç olarak, sporcuların ulaştıkları genel hız düşer, çünkü bu hız, sporcunun ivmelenme kapasitesine doğrudan bağlıdır (Hicks ve ark., 2020). Yatay yönlü egzersizler, sprintin ivmelenme aşamasında olduğu gibi, kuvvetin aynı yönde uygulanmasını desteklemektedir. Spor becerileri, kuvvetin ifade edildiği yöne göre küresel (dünya sabit) koordinat sistemi çerçevesine dayalı olarak sınıflandırılabilir. Yatay yönde yapılan egzersizlerin (örneğin hip trust veya glute bridge) yatay spor becerilerine (örneğin sprint), dikey yönde yapılan egzersizlerin (örneğin skuat) ise dikey spor becerilerine (örneğin dikey sıçrama) daha fazla özgü olduğu bilinmektedir (Abade ve ark., 2021; Fitzpatrick ve ark., 2019).

İvmelenme ve maksimum hız koşusu sırasında ZTK, sporcuyla göreceli olarak benzer bir yönde ifade edilmektedir ve kuvvetin sporcuyla göreceli yönü büyük ölçüde aynıdır (Fitzpatrick ve ark., 2019). Contreras ve ark. (2017), altı haftalık bir müdahale programından sonra sprint performansı üzerindeki ivmelenmeyi artırmak için skuat egzersizine göre yatay yönlendirilmiş hip trust egzersizinin daha fazla gelişim gösterdiğini doğrulamıştır (Contreras ve ark., 2017). Ayrıca, ağır yüklü dirençli kızak antrenmanı (high-weighted resisted sprint training), YK üretim kapasitesine aşırı yükleme sağlayarak yüksek kuvvet-düşük hız koşullarına maruz kalmayı artırmak için spesifik bir yöntem olarak kullanılır. Bu antrenman, F_{0rel} ve P_{maxrel} değerlerini artırdığı, ancak V_0 üzerinde çok az etkisi olduğu açıkça gösterilmiştir (Samozino ve ark., 2022). Bu çerçevede, F_{0rel} bileşenini geliştirmek isteyen antrenörler, uzun vadeli antrenman müdahaleleri kapsamında YK vektörüne dayalı olarak direnç egzersizlerini antrenman programlarına dahil edebilir.

V_0 'ın S_{30m} ($r = -0.92$) ve S_{40m} ($r = -0.97$) ile yüksek derecede ilişkili olduğu bilinmektedir (Baena-Raya ve ark., 2022). Bazı sporcular, düşük hızlarda yüksek seviyelerde kuvvet üretebilirler, ancak hızlanmaları arttıkça bu kuvveti sürdüremezler (Hicks ve ark., 2020). Hız odaklı egzersizler, sporcunun yüksek hızlarda kuvvet uygulama kapasitesini geliştirmeyi ve bu kapasiteyi hız arttıkça korumayı hedefler. Bu, sporcunun yüksek hızlarda alt ekstremite kaslarından daha fazla kuvvet üretmesini sağlamak ve kuvvetin yönünü optimize ederek hız artışına rağmen mekanik etkinliği en üst düzeyde tutmakla başarılabilir. Çok yüksek hızlarda YK üretimine yönelik antrenmanlar, maksimum hızda sprint veya aşırı hız koşulları sırasında gerçekleştirilebilir ve bu antrenman V_0 'ı artırabilir (Samozino ve ark., 2022). Örneğin, sprint sırasında hız artışıyla birlikte yüksek hızlarda koşu bantları veya hız direnciyle yapılan antrenmanlar bu tür egzersizler arasında yer alır. Yeni bir egzersiz olan destekli yatay skuat (assisted horizontal squat) sıçraması da dahil olmak üzere yatay yönelimli egzersizlerin, neredeyse sıfır yer çekimine karşı itme yoluyla ulaşılan aşırı yüksek hızlar sayesinde hareket hızını artırmada faydalı olduğu gösterilmiştir (Jiménez-Reyes, Samozino, Brughelli, ve ark., 2017; Samozino ve ark., 2018). Destekli sprint (assisted sprint), maksimum gönüllü hızların üzerinde nöromusküler sistemi aşırı yüklemeye yönelik benzersiz bir yaklaşım sağlayabilir. Pliometrik aktiviteler (derinlik ve reaktif sıçramalar), gerilme-kısalma döngüsüne (stretching-shortening cycle) dayandığı için yüksek hızda üretilen kuvveti artırmak isteyen sporcular için de önerilmektedir (Djuric ve ark., 2016).

P_{maxrel} ve V_0 hem mesafenin hem de hızın artmasıyla daha belirleyici hale gelmektedir. P_{maxrel} 'in, S_{10m} ve S_{20m} ($r > -0.98$) ile neredeyse mükemmel bir ilişkiye sahip olduğu bilinmektedir (Baena-Raya ve ark., 2022). Son on yılda, YK-H profili bileşenleri yoluyla sprint koşu ivmesinin mekanik belirleyicilerini araştıran birkaç çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların ana bulguları, sprint performansının hızlanma fazı boyunca üretilen ortalama yatay güç ve kuvvete bağlı olduğunu göstermektedir (Morin ve ark., 2012; Morin ve ark., 2011; Rabita ve ark., 2015). Benzer P_{maxrel} seviyesine sahip iki oyuncu, farklı K-H kombinasyonlarından dolayı farklı YK-H profili bileşenleri sergileyebilirler. Belki de bir sporcu antrenmanlarda kuvvet kapasitesi üzerinde daha fazla odaklanmışken; başka bir sporcu antrenmanlarda hız kapasitesi üzerinde daha fazla odaklanmış olabilir (Pantoja ve ark., 2018). Sporcunun ihtiyaçlarına bağlı olarak sprint performansını geliştirmek için hazırlanacak olan antrenman programlarında, maksimum güç üretimi için optimal yükte egzersizler yapmak önemlidir. Araştırmalar, optimal yükte yapılan antrenmanların, diğer yükleme koşullarına kıyasla dinamik atletik performansı daha etkili bir şekilde iyileştirdiğini göstermiştir (Newton ve ark., 1997). Bununla birlikte, güç ve balistik performansı artırmak amacıyla farklı direnç antrenmanı yüklerinin birleştirilmesinin de birçok çalışmada etkili olduğu kanıtlanmıştır (Cormie ve ark., 2007; Harris ve ark., 2008).

Bu bağlamda, $P_{\max\text{rel}}$ için önerilen egzersizler arasında dirençli/destekli sprint, maksimum hızda sprint, akuat (trap bar) ve pliometrik egzersizler (yatay sıçramalar vb.) olabilir.

$KH_{\text{eğimrel}}$, K-H ilişkisindeki dengeyi gösteren bir indeks olduğu belirtilmektedir. Bu indeks, negatif bir eğimle kuvvetin hızdan daha baskın olduğunu ve pozitif bir eğimle hızın kuvvetten daha baskın olduğunu gösterir. Araştırmalar sprint mesafesinin azaltılması durumunda (<15 metre), optimal K-H profilinin kuvvet yeteneklerine odaklanacağını (yani kuvvet odaklı olacağını), ancak sprint mesafesinin artması (>15 metre) durumunda hız yeteneklerinin sprint performansı için daha kritik olacağını ve optimal K-H profilin hız odaklı olacağını belirlemiştir (Samozino ve ark., 2022). $KH_{\text{eğimrel}}$ değeri, sporcuların güç kapasitelerinden ve sprint performanslarından (belirli mesafelerdeki sürelerden) bağımsız olarak karşılaştırılmasını mümkün kılar ve bu sayede bir sporcunun, diğer bir sporcuya kıyasla “kuvvet” veya “hız” baskın bir sprint profiline sahip olup olmadığını belirlemeye olanak sağlamaktadır. Bu önemlidir çünkü sporcunun kuvvet ve hız üretim kapasitesi hususunda bir dengesizliğe sahip olup olmadığı hakkında değerli bilgiler sağlamaktadır. Antrenman içeriğinin bireyselleştirilmesi, şimdiye kadar yalnızca diğer sporcularla veya normatif değerlerle yapılan karşılaştırmalar yoluyla yapılabilmekteydi. Belirli bir sprint mesafesi için $KH_{\text{eğimrel}}$ ’i bireysel olarak ifade etmek, bir sporcunun $P_{\max\text{rel}}$ ’den en iyi şekilde yararlanabilmesi için YK-H profilinin ne ölçüde optimal olmadığını belirlemeye yardımcı olabilir (Samozino ve ark., 2022).

Erken ivmelenme aşamasında, düşük hızda yüksek düzeyde kuvvet uygulama yeteneğiyle ilgili olan $YK_{\max}$ ile V_0 arasındaki ilişki, sprintin ilk adımlarında kuvvetin hangi yönde uygulandığını, yani mekanik etkinliği tanımlar. Bu mekanik etkinlik, sprintin yaklaşık 0.3 – 0.5 saniyesinde elde edilen teknik bir bileşendir. Elit seviyedeki sprinterlar ve Amerikan futbolu oyuncuları, genellikle %46 – %54 aralığında $YK_{\max}$ değerlerine ulaşırken (Morin ve ark., 2012), daha düşük seviyedeki takım sporcuları ve genç atletler %40 – %48 arasında $YK_{\max}$ değerlerine sahiptir (Edwards ve ark., 2021; Jiménez-Reyes ve ark., 2019). Bu fark, sporcuların performans seviyesini ve sprintin teknik özelliklerini nasıl ayırt ettiğini göstermektedir. Koşu hızı arttıkça, her bir metre için YK_{net} üretimindeki doğrusal azalmanın eğimi (A_{YK}), bir sporcunun hız artışı sırasında YK uygulama kapasitesini veya bu kapasitedeki yetersizliği daha ayrıntılı bir şekilde tanımlamaktadır (Morin ve ark., 2015). Mekanik etkinlik, sporcunun A_{YK} ’ı nasıl yaşadığını belirlemede önemlidir ve bu, kuvvet yöneliminin yataydan dikeye nasıl geçtiğini açıklar (Morin ve Samozino, 2016). Morin ve ark., A_{YK} ile 100 metre sprint performansının önemli parametreleri arasında güçlü bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışmada, üst düzey sprinterlar genellikle %26 – %24 arasında “iyi” düzeyde A_{YK} değerlerine sahipken, “zayıf” düzeyde A_{YK} değerleri olan sporcular %27,05 – %11,65 arasında daha düşük değerlere sahip olduğu saptanmıştır. Bu düşük değerler, özellikle takım sporcuları ve genç atletlerde sıkça görüldüğü bildirilmiştir (Edwards ve ark., 2021; Morin ve ark., 2012; Morin ve ark., 2011). Morin ve Samozino (2016), benzer YK-H profili bileşenleri ve aynı sprint sürelerine sahip iki oyuncu örneğini sunarak, doğrusal sprint ve yatay güç üretiminde aynı performansı sergileyen sporcuları incelemişlerdir. Bu çalışmada, $YK_{\max}$ ve A_{YK} antrenörler ve kondisyonerler için kritik öneme sahip iki değişken olarak vurgulanmıştır (Morin ve Samozino, 2016). Bu değişkenler, her bir sporcunun özgül ve bireysel ihtiyaçlarını belirlemede değerli bilgiler sunmaktadır.

Sprint Performansını Optimize Etmede Yatay Kuvvet-Hız Profili Bileşenleri

$F_{0\text{rel}}$, $P_{\max\text{rel}}$ ve $YK_{\max}$, kısa mesafeli sprint ivmelenme performansında kritik öneme sahiptir (Morin ve Samozino, 2016). Sprint performansını geliştirmeyi hedefleyen sporcuların öncelikli odak noktası, sprintin ilk adımlarındaki YK oranını artırmak olmalıdır (Bezodis ve ark., 2021). Farklı atletik gruplar arasında $YK_{\max}$, $S_{10\text{m}}$ ($r = -1.00$) ve $S_{40\text{m}}$ ($r = -0.96$) performanslarıyla

neredeyse mükemmel bir ilişki gösterir ve sprinterlar genellikle %50'nin üzerinde YK_{max} değerlerine sahiptir (Haugen ve ark., 2019; Rabita ve ark., 2015). Newton'un ikinci yasasına göre, anteroposterior yönde kuvvet üretme, yönlendirme ve uygulama kapasitesinin artırılması, sporcunun hızlanma kabiliyetini doğrudan iyileştirir; bu nedenle bu, bir öncelik olmalıdır (Morin ve ark., 2011). Bu özelliklerin geliştirilmesi, hedefe yönelik antrenmanlarla sporcunun mutlak ve relatif kuvvet özelliklerinin artırılması ve kuvvetin ayak aracılığıyla doğru şekilde yönlendirilmesine odaklanarak sağlanabilir. İkincil bir odak noktası olarak, genel sprint performansını iyileştirmek için P_{maxrel} üretme, kuvveti yatay yönde yönlendirme ve iletme yeteneğini geliştirmek ile sprint boyunca mekanik etkinliği sürdürmek amacıyla antrenman müdahaleleri uygulanabilir (Hicks ve ark., 2022). Bu hedefe, orta veya ağır dirençli kızakla yapılan sprint antrenmanları gibi yöntemlerle ulaşılabilir. Bu tür antrenmanlar, sporcunun hızlanma sırasında kuvvet uygulaması için daha uygun bir duruş elde etmesine de katkı sağlar (Cahill ve ark., 2020; Lahti ve ark., 2020). Bir sporcunun P_{maxrel} özelliğini geliştirmeyi hedefleyen antrenörler, bu hedefe ulaşmak için P_{maxrel} 'in temel bileşenleri olan F_{0rel} ve V_0 'ı geliştirmeye odaklanması gerektiğini unutmamalıdır (Pantoja ve ark., 2018). Tüm bunlara ek olarak, bu bileşenler sporcularda olası yaralanma risk faktörlerini belirlemede kullanılabilir. Yatay yönde düşük kuvvet üreten sporcular, takım sporlarında hamstring yaralanmalarıyla bağlantılı oldukları için antrenörler ve uzmanlar için bir uyarı işareti olabilir (Edouard ve ark., 2021). 284 futbolcu üzerinde yapılan bir çalışmada, sezon içi sprint testlerinde özellikle düşük hızlarda (örneğin, sprintin ilk adımlarında) düşük F_{0rel} değerlerine sahip olan sporcularda, yeni hamstring yaralanmalarının daha sık görüldüğü belirlenmiştir ($p < 0.001$). Benzer şekilde, F_{0rel} ile yüksek hızda koşma risk faktörleri arasındaki ilişki, rugby oyuncularıyla yapılan bazı vaka çalışmalarında da gösterilmiştir (Mendiguchia ve ark., 2016). Ayrıca, gerekli olduğunda bu özelliklerin korunması da önemlidir.

Kuvvet-hız profil oluşturma, sporcular için bireyselleştirilmiş antrenman reçeteleri oluşturmada bir araç olarak giderek artan bir ilgi görmüştür (Lindberg ve ark., 2021). Ancak, kuvvet-hız profil oluşturma ile ilgili literatürde bazı tutarsızlıklar ortaya çıkmıştır. Bu tutarsızlıkların merkezinde “dengesizlik” kavramı yer almaktadır. Bu kavram, performans eksikliklerinin yalnızca yetersiz F_{0rel} veya V_0 kapasitelerinden kaynaklanmadığını; bunun yerine, bir sporcunun güç kapasitesinin hız kapasitesiyle orantısız olabileceğini ya da tam tersinin geçerli olabileceğini öne sürmektedir (Ettema, 2023). Araştırmalar, dikey kuvvet-hız profil oluşturmaya dayalı bireyselleştirilmiş antrenman programlarının, geleneksel güç/kuvvet antrenman yöntemlerine kıyasla sıçrama performansını artırmada daha etkili olabileceğini göstermiştir (Jiménez-Reyes, Samozino, Brughelli, ve ark., 2017; Jiménez-Reyes, Samozino, Pareja-Blanco, ve ark., 2017). Buna karşılık, Lindberg ve ark. (2021), dikey kuvvet-hız profil oluşturmaya dayalı bireyselleştirilmiş antrenmanın önemli bir fayda sağlamadığını bildirmiş (Lindberg ve ark., 2021); Rakovic ve ark. (2018) ise, YK-H profil oluşturmaya dayalı bireyselleştirilmiş sprint antrenmanlarının, genel sprint antrenmanlarını aşarak sprint performansını iyileştirmede üstünlük sağlamadığını bulmuştur (Rakovic ve ark., 2018). Bu çelişkili bulgular, bireysel ihtiyaçların doğru tanımlanmasının ve YK-H profili bileşenlerinin antrenman stratejilerine entegrasyonunun kritik önemini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, kuvvet-hız profil oluşturmaya dayalı antrenmanlarda, bireysel ihtiyaçların doğru şekilde tanımlanması büyük bir öneme sahiptir. F_{0rel} 'in sprintin ivmelenme aşamasında düşük hızlarda yüksek yatay kuvvet üretimini, V_0 'ın ise maksimum hız kapasitesini temsil ettiği belirtilmiştir. Ettema (2023), bu bileşenlerin birbirinden fizyolojik olarak bağımsız olduğunu ve bu bileşenlerin her birinin, farklı antrenman hedeflerine göre optimize edilmesi gerektiğini belirtmektedir (Ettema, 2023). Bu, sporcunun kuvvet ve hız kapasitelerinin birbirini tamamlayacak şekilde geliştirilebileceği anlamına gelmektedir. Antrenörler, bu bileşenlerin her birini dikkate alarak daha kişiselleştirilmiş ve etkili antrenman programları oluşturabilirler.

Fakat bu, kuvvet-hız profil oluşturmaya dayalı bireyselleştirilmiş antrenmanların, her zaman genel antrenman yöntemlerinden üstün olacağı anlamına gelmez. Özellikle, sporcunun mevcut kuvvet ve hız kapasiteleri arasında bir dengesizlik varsa, bu profilin oluşturulması ve uygulanması zorluklar çıkarabilir. Bu bağlamda, kuvvet-hız profil oluşturma konusunda yapılacak uygulamaların, sporcunun bireysel ihtiyaçlarına göre doğru bir şekilde şekillendirilmesi, antrenman verimliliğini artırabilir.

SONUÇ

Sprint performansının biyomekanik belirleyicileri ve YK-H profili bileşenlerinin, sprint performansını geliştirme potansiyeli açısından kritik bilgiler sağladığı kanıtlanmıştır. Sprintin farklı aşamalarında, kuvvetin uygulanma şekli ve yönü büyük önem taşımaktadır. Özellikle, zemine uygulanan YK'nın yönü ve büyüklüğü, sporcunun ivmelenme hızını ve maksimum hıza ulaşma yeteneğini belirlemektedir. Başlangıç adımlarında daha uzun yer temas süreleri gerekmektedir, maksimum hıza yaklaşıldığında yer temas süreleri kısalmakta ve daha yüksek hızlar elde edilmektedir. Sprintin ivmelenme aşamasında zemine uygulanan kuvvetin doğru yönde yönlendirilmesi, performansın optimize edilmesi açısından kritik bir faktördür. Bu nedenle, antrenmanlar sırasında kuvvetin doğru yönde uygulanmasına odaklanmak, sprint performansını iyileştirmek için önemlidir.

YK-H profilini elde edildikten sonra, spor bilimciler ve antrenörlerin karşılaştığı temel soru, bu bileşenler aracılığıyla nasıl sprint ivmelenme performansını daha etkili bir şekilde artırabilecekleridir. Bu derleme, sprint sırasında bireysel YK-H profili bileşenlerinin varlığını ve bu bileşenlerin antrenman hedefi olarak nasıl optimize edilebileceğini ortaya koyarak bu soruya yanıtlar sunmaktadır. YK-H profili bileşenlerinin analizi, antrenörlere, sporcuların kısa mesafe ivmelenmelerindeki (F_{0rel} ve YK_{max}) ve uzun mesafe sprintlerindeki (V_0 ve A_{YK}) performansın mekanik belirleyicilerini değerlendirme ve izleme olanağı sağlamaktadır. Mutlak kuvveti ve sprint sürelerini geliştirmeye odaklanan genel antrenman programlarıyla karşılaştırıldığında, sprint profillemesi, sporcunun ivmelenme performansını iyileştirmek için güçlü ve zayıf yönlerini belirlemeye ve hedeflemeye yönelik daha spesifik bir rehber sunmaktadır. F_{0rel} , P_{maxrel} ve YK_{max} gibi bileşenler, sprintin ilk aşamalarındaki performansın belirleyici unsurlarıdır ve bu bileşenlerin geliştirilmesi, sporcunun genel sprint yeteneklerini önemli ölçüde artırabilir. Antrenman süreçlerinde YK üretimini hedefleyen egzersizlerin, sporcunun ivmelenme kapasitesini optimize etmek ve olası yaralanma risklerini minimize etmek adına kritik bir rol oynayabilir. Buna ek olarak, bu bileşenlere dayalı olarak yapılan müdahaleler, sprint performansında mekanik etkinliğin korunmasını ve geliştirilmesini sağlarken, sporcuların optimal performansa ulaşmalarında önemli katkılar sunabilir. Son olarak, antrenman programlarının, sporcunun YK-H profili bileşenlerine göre bireyselleştirilmesi hem performansın artırılmasında hem de yaralanma risklerinin azaltılmasında stratejik bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

Abade, E., Silva, N., Ferreira, R., Baptista, J., Gonçalves, B., Osório, S., & Viana, J. (2021). Effects of adding vertical or horizontal force-vector exercises to in-season general strength training on jumping and sprinting performance of youth football players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(10), 2769-2774.

Adamson, G., & Whitney, R. (1971). Critical appraisal of jumping as a measure of human power. In *Biomechanics II* (Vol. 6, pp. 208-211). Karger Publishers.

Alcazar, J., Csapo, R., Ara, I., & Alegre, L. M. (2019a). On the shape of the force-velocity relationship in skeletal muscles: The linear, the hyperbolic, and the double-hyperbolic. *Frontiers in physiology*, 10, 438208.

- Alonso-Callejo, A., García-Unanue, J., Guitart-Trench, M., Majano, C., Gallardo, L., & Felipe, J. L. (2024). Validity and reliability of the acceleration-speed profile for assessing running kinematics' variables derived from the force-velocity profile in professional soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 38(3), 563-570.
- Baena-Raya, A., García-Mateo, P., García-Ramos, A., Rodríguez-Pérez, M. A., & Soriano-Maldonado, A. (2022). Delineating the potential of the vertical and horizontal force-velocity profile for optimizing sport performance: A systematic review. *Journal of Sports Sciences*, 40(3), 331-344.
- Barany, M. (1967). ATPase activity of myosin correlated with speed of muscle shortening. *The Journal of general physiology*, 50(6), 197-218.
- Bettariga, F., Maestroni, L., Martorelli, L., Turner, A., & Bishop, C. (2023). The effects of a 6-week unilateral strength and ballistic jump training program on the force-velocity profiles of sprinting. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 37(7), 1390-1396.
- Bezodis, N., Colyer, S., Nagahara, R., Bayne, H., Bezodis, I., Morin, J.-B., Murata, M., & Samozino, P. (2021). Ratio of forces during sprint acceleration: A comparison of different calculation methods. *Journal of biomechanics*, 127, 110685.
- Bezodis, N. E., North, J. S., & Razavet, J. L. (2017). Alterations to the orientation of the ground reaction force vector affect sprint acceleration performance in team sports athletes. *Journal of sports sciences*, 35(18), 1817-1824.
- Bodine, S. C., Roy, R., Meadows, D., Zernicke, R., Sacks, R., Fournier, M., & Edgerton, V. (1982). Architectural, histochemical, and contractile characteristics of a unique biarticular muscle: the cat semitendinosus. *journal of Neurophysiology*, 48(1), 192-201.
- Bouvier, J., Igonin, P.-H., Boithias, M., Fouré, A., Belli, A., Boisseau, N., & Martin, C. (2025). The squat jump and sprint force-velocity profiles of elite female football players are not influenced by the menstrual cycle phases and oral contraceptive use. *European Journal of Applied Physiology*, 1-12.
- Cahill, M. J., Oliver, J. L., Cronin, J. B., Clark, K. P., Cross, M. R., & Lloyd, R. S. (2020). Influence of resisted sled-push training on the sprint force-velocity profile of male high school athletes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 30(3), 442-449.
- Chelly, S. M., & Denis, C. (2001). Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(2), 326-333.
- Clark, K., & Weyand, P. (2015). Sprint running research speeds up: A first look at the mechanics of elite acceleration. In (Vol. 25, pp. 581-582): Wiley Online Library.
- Clark, K. P., Rieger, R. H., Bruno, R. F., & Stearne, D. J. (2019). The National Football League combine 40-yd dash: how important is maximum velocity? *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(6), 1542-1550.
- Clark, K. P., & Weyand, P. G. (2014). Are running speeds maximized with simple-spring stance mechanics? *Journal of applied physiology*.
- Contreras, B., Vigotsky, A. D., Schoenfeld, B. J., Beardsley, C., McMaster, D. T., Reyneke, J. H., & Cronin, J. B. (2017). Effects of a six-week hip thrust vs. front squat resistance training program on performance in adolescent males: a randomized controlled trial. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(4), 999-1008.
- Cormie, P., McCaulley, G. O., & McBRIDE, J. M. (2007). Power versus strength-power jump squat training: influence on the load-power relationship. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(6), 996-1003.
- Cormier, P., Tsai, M.-C., Meylan, C., Agar-Newman, D., Epp-Stobbe, A., Kalthoff, Z., & Klimstra, M. (2023). Concurrent validity and reliability of different technologies for sprint-derived horizontal force-velocity-power profiling. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 37(6), 1298-1305.

- Cross, M. R., Brughelli, M., Brown, S. R., Samozino, P., Gill, N. D., Cronin, J. B., & Morin, J.-B. (2015). Mechanical properties of sprinting in elite rugby union and rugby league. *International journal of sports physiology and performance*, 10(6), 695-702.
- de Barros Sousa, F. A., Henrique Marinho, A., da Silva Calvalcante, M. D., de Almeida Rodrigues, N., Silva Lima, T., Gilo da Silva, D., Fonseca, F. d. S., Balikian Junior, P., & Gomes de Araujo, G. (2024). Running sprint force-velocity-power profile obtained with a low-cost and low frame rate acquisition video technique: reliability and concurrent validity. *Sports Biomechanics*, 1-17.
- Dello Iacono, A., Padulo, J., & Seitz, L. D. (2018). Loaded hip thrust-based PAP protocol effects on acceleration and sprint performance of handball players: Original Investigation. *Journal of sports sciences*, 36(11), 1269-1276.
- di Prampero, P. E., Fusi, S., Sepulcri, L., Morin, J.-B., Belli, A., & Antonutto, G. (2005). Sprint running: a new energetic approach. *Journal of experimental Biology*, 208(14), 2809-2816.
- Djuric, S., Cuk, I., Sreckovic, S., Mirkov, D., Nedeljkovic, A., & Jaric, S. (2016). Selective effects of training against weight and inertia on muscle mechanical properties. *International journal of sports physiology and performance*, 11(7), 927-932.
- Edgerton, V. (1986). Morphological basis of skeletal muscle power output. *Human muscle power*, 43-64.
- Edouard, P., Lahti, J., Nagahara, R., Samozino, P., Navarro, L., Guex, K., Rossi, J., Brughelli, M., Mendiguchia, J., & Morin, J.-B. (2021). Low horizontal force production capacity during sprinting as a potential risk factor of hamstring injury in football. *International journal of environmental research and public health*, 18(15), 7827.
- Edwards, T., Weakley, J., Banyard, H. G., Cripps, A., Piggott, B., Haff, G. G., & Joyce, C. (2021). Influence of age and maturation status on sprint acceleration characteristics in junior Australian football. *Journal of Sports Sciences*, 39(14), 1585-1593.
- Ettema, G. (2023). The force–velocity profiling concept for sprint running is a dead end. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 19(1), 88-91.
- Fernández-Galván, L. M., Jiménez-Reyes, P., Cuadrado-Peñafiel, V., & Casado, A. (2022). Sprint performance and mechanical force-velocity profile among different maturational stages in young soccer players. *International journal of environmental research and public health*, 19(3), 1412.
- Feser, E., Lindley, K., Clark, K., Bezodis, N., Korfist, C., & Cronin, J. (2022). Comparison of two measurement devices for obtaining horizontal force-velocity profile variables during sprint running. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 17(6), 1455-1461.
- Fitzpatrick, D. A., Cimadoro, G., & Cleather, D. J. (2019). The magical horizontal force muscle? A preliminary study examining the “force-vector” theory. *Sports*, 7(2), 30.
- Fornasier-Santos, C., Arnould, A., Jusseaume, J., Millot, B., Guilhem, G., Couturier, A., Samozino, P., Slawinski, J., & Morin, J.-B. (2022). Sprint acceleration mechanical outputs derived from position–or velocity–time data: A multi-system comparison study. *Sensors*, 22(22), 8610.
- Furusawa, K., Hill, A. V., & Parkinson, J. (1927). The dynamics of" sprint" running. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 102(713), 29-42.
- Galantine, P., Sudlow, A., Hays, A., Maso, F., Duché, P., & Bertin, D. (2025). Effect of fatigability on sprint time performance and force-velocity profile according to maturity status in young rugby players. *PloS one*, 20(1), e0316947.
- Hansen, T., & Lindhard, J. (1923). On the maximum work of human muscles especially the flexors of the elbow. *The Journal of physiology*, 57(5), 287.
- Hardy, A. T. T. (2000). *Force-and power-velocity relationships in a multi-joint movement*. The Pennsylvania State University.

- Harris, N. K., Cronin, J. B., Hopkins, W. G., & Hansen, K. T. (2008). Squat jump training at maximal power loads vs. heavy loads: effect on sprint ability. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(6), 1742-1749.
- Haugen, T. A., Breitschädel, F., & Seiler, S. (2019). Sprint mechanical variables in elite athletes: Are force-velocity profiles sport specific or individual? *PLoS One*, 14(7), e0215551.
- Haugen, T. A., Breitschädel, F., & Seiler, S. (2020). Sprint mechanical properties in soccer players according to playing standard, position, age and sex. *Journal of Sports Sciences*, 38(9), 1070-1076.
- Haugen, T. A., Tønnessen, E., & Seiler, S. K. (2012). The difference is in the start: impact of timing and start procedure on sprint running performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(2), 473-479.
- Hermosilla-Palma, F., Loro-Ferrer, J. F., Merino-Muñoz, P., Gómez-Álvarez, N., Bustamante-Garrido, A., Cerda-Kohler, H., Portes-Junior, M., & Aedo-Muñoz, E. (2022). Changes in the mechanical properties of the horizontal force-velocity profile during a repeated sprint test in professional soccer players. *International journal of environmental research and public health*, 20(1), 704.
- Hicks, D. S., Drummond, C., Williams, K. J., Pickering, C., & van den Tillaar, R. (2022). Individualization of training based on sprint force-velocity profiles: a conceptual framework for biomechanical and technical training recommendations. *Strength & Conditioning Journal*, 10.1519.
- Hicks, D. S., Schuster, J. G., Samozino, P., & Morin, J.-B. (2020). Improving mechanical effectiveness during sprint acceleration: practical recommendations and guidelines. *Strength & Conditioning Journal*, 42(2), 45-62.
- Hill, A., Long, C., & Lupton, H. (1924). The effect of fatigue on the relation between work and speed, in contraction of human arm muscles. *The Journal of physiology*, 58(4-5), 334.
- Hill, A. V. (1922). The maximum work and mechanical efficiency of human muscles, and their most economical speed. *The Journal of physiology*, 56(1-2), 19.
- Hill, A. V. (1938). The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B-Biological Sciences*, 126(843), 136-195.
- Huxley, A. F. (1957). Muscle structure and theories of contraction. *Progress in biophysics and biophysical chemistry*, 7, 255-318.
- Jiménez-Reyes, P., García-Ramos, A., Cuadrado-Peñañiel, V., Párraga-Montilla, J. A., Morcillo-Losa, J. A., Samozino, P., & Morin, J.-B. (2019). Differences in sprint mechanical force-velocity profile between trained soccer and futsal players. *International journal of sports physiology and performance*, 14(4), 478-485.
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Brughelli, M., & Morin, J.-B. (2017). Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping. *Frontiers in physiology*, 7, 677.
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., García-Ramos, A., Cuadrado-Peñañiel, V., Brughelli, M., & Morin, J.-B. (2018). Relationship between vertical and horizontal force-velocity-power profiles in various sports and levels of practice. *PeerJ*, 6, e5937.
- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., Pareja-Blanco, F., Conceição, F., Cuadrado-Peñañiel, V., González-Badillo, J. J., & Morin, J.-B. (2017). Validity of a simple method for measuring force-velocity-power profile in countermovement jump. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(1), 36-43.
- Jovanović, M., & Vescovi, J. (2022). {shorts}: An R package for modeling short sprints. *International Journal of Strength and Conditioning*, 2(1).
- Kugler, F., & Janshen, L. (2010). Body position determines propulsive forces in accelerated running. *Journal of biomechanics*, 43(2), 343-348.
- Lahti, J., Huuhka, T., Romero, V., Bezodis, I., Morin, J.-B., & Häkkinen, K. (2020). Changes in sprint performance and sagittal plane kinematics after heavy resisted sprint training in professional soccer players. *PeerJ*, 8, e10507.

- Lindberg, K., Solberg, P., Rønnestad, B. R., Frank, M. T., Larsen, T., Abusdal, G., Berntsen, S., Paulsen, G., Sveen, O., & Seynnes, O. (2021). Should we individualize training based on force-velocity profiling to improve physical performance in athletes? *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 31(12), 2198-2210.
- Macadam, P., Simperingham, K. D., & Cronin, J. B. (2017). Acute kinematic and kinetic adaptations to wearable resistance during sprint acceleration. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(5), 1297-1304.
- May, T. S., Ishak, A., & Zolkafi, M. A. A. (2023). Sprint, Jump Performances, and Force-Velocity Profile in A Well-Trained Football Player: A Pilot Study. *Journal of Social Science and Humanities*, 6(6), 17-22.
- Mendiguchia, J., Edouard, P., Samozino, P., Brughelli, M., Cross, M., Ross, A., Gill, N., & Morin, J.-B. (2016). Field monitoring of sprinting power–force–velocity profile before, during and after hamstring injury: two case reports. *Journal of Sports Sciences*, 34(6), 535-541.
- Mero, A., Komi, P., & Gregor, R. (1992). Biomechanics of sprint running: A review. *Sports medicine*, 13, 376-392.
- Mitrečić, K., & Vučetić, V. (2025). Relationship between the horizontal force-velocity profile and performance variables obtained in sprinting, slalom test, and kicking in amateur soccer players. *Montenegrin Journal of Sports Science and Medicine*, 14(1), Ahead of Print.
- Morin, J.-B., Bourdin, M., Edouard, P., Peyrot, N., Samozino, P., & Lacour, J.-R. (2012). Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 3921-3930.
- Morin, J.-B., Edouard, P., & Samozino, P. (2011). Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(9), 1680-1688.
- Morin, J.-B., Jeannin, T., Chevallier, B., & Belli, A. (2006). Spring-mass model characteristics during sprint running: correlation with performance and fatigue-induced changes. *International journal of sports medicine*, 27(02), 158-165.
- Morin, J.-B., & Samozino, P. (2016). Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *International journal of sports physiology and performance*, 11(2), 267-272.
- Morin, J.-B., Samozino, P., Bonnefoy, R., Edouard, P., & Belli, A. (2010). Direct measurement of power during one single sprint on treadmill. *Journal of biomechanics*, 43(10), 1970-1975.
- Morin, J.-B., Samozino, P., Murata, M., Cross, M. R., & Nagahara, R. (2019). A simple method for computing sprint acceleration kinetics from running velocity data: Replication study with improved design. *Journal of biomechanics*, 94, 82-87.
- Morin, J.-B., Slawinski, J., Dorel, S., Couturier, A., Samozino, P., Brughelli, M., & Rabita, G. (2015). Acceleration capability in elite sprinters and ground impulse: push more, brake less? *Journal of biomechanics*, 48(12), 3149-3154.
- Newton, R. U., Murphy, A. J., Humphries, B. J., Wilson, G. J., Kraemer, W. J., & Häkkinen, K. (1997). Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 75, 333-342.
- Niederdräeig, L., & Zentgraf, K. (2025). Force-Velocity Profiling among Different Maturational Stages in Young Soccer Players: A Cross-Sectional Study. *International Journal of Strength and Conditioning*, 5(1).
- Norgeot, F., & Fouré, A. (2024). Effects of vertical and horizontal plyometric training on jump performances and sprint force–velocity profile in young elite soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, 124(9), 2591-2601.
- Pantoja, P. D., Carvalho, A. R., Ribas, L. R., & Peyré-Tartaruga, L. A. (2018). Effect of weighted sled towing on sprinting effectiveness, power and force-velocity relationship. *PLoS One*, 13(10), e0204473.
- Pantoja, P. D., De Villarreal, E. S., Brisswalter, J., Peyre-Tartaruga, L. A., & Morin, J.-B. (2016). Sprint acceleration mechanics in masters athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(12), 2469-2476.

- Perez, J., Guilhem, G., & Brocherie, F. (2022). Reliability of the force-velocity-power variables during ice hockey sprint acceleration. *Sports Biomechanics*, 21(1), 56-70.
- Powers, S. K., & Howley, E. T. (1995). Exercise Physiology: Theory and Application to Fitness and Performances. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27(3), 466.
- Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Sàez-de-Villarreal, E., Couturier, A., Samozino, P., & Morin, J. B. (2015). Sprint mechanics in world-class athletes: a new insight into the limits of human locomotion. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25(5), 583-594.
- Rakovic, E., Paulsen, G., Helland, C., Eriksrud, O., & Haugen, T. (2018). The effect of individualised sprint training in elite female team sport athletes: A pilot study. *Journal of Sports Sciences*, 36(24), 2802-2808.
- Rivière, J. R., Peyrot, N., Cross, M. R., Messonnier, L. A., & Samozino, P. (2020). Strength-endurance: Interaction between force-velocity condition and power output. *Frontiers in physiology*, 11, 576725.
- Romero-Franco, N., Jiménez-Reyes, P., Castaño-Zambudio, A., Capelo-Ramírez, F., Rodríguez-Juan, J. J., González-Hernández, J., Toscano-Bendala, F. J., Cuadrado-Peñafiel, V., & Balsalobre-Fernández, C. (2017). Sprint performance and mechanical outputs computed with an iPhone app: Comparison with existing reference methods. *European journal of sport science*, 17(4), 386-392.
- Samozino, P., Peyrot, N., Edouard, P., Nagahara, R., Jimenez-Reyes, P., Vanwanseele, B., & Morin, J. B. (2022). Optimal mechanical force-velocity profile for sprint acceleration performance. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 32(3), 559-575.
- Samozino, P., Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Peyrot, N., Saez de Villarreal, E., & Morin, J. B. (2016). A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 26(6), 648-658.
- Samozino, P., Rivière, J. R., Rossi, J., Morin, J.-B., & Jimenez-Reyes, P. (2018). How fast is a horizontal squat jump? *International journal of sports physiology and performance*, 13(7), 910-916.
- Simperingham, K. D., Cronin, J. B., Pearson, S. N., & Ross, A. (2019). Reliability of horizontal force–velocity–power profiling during short sprint-running accelerations using radar technology. *Sports Biomechanics*, 18(1), 88-99.
- Spector, S. A., Gardiner, P. F., Zernicke, R. F., Roy, R. R., & Edgerton, V. R. (1980). Muscle architecture and force-velocity characteristics of cat soleus and medial gastrocnemius: implications for motor control. *Journal of Neurophysiology*, 44(5), 951-960.
- Stavridis, I., Smilios, I., Tsopanidou, A., Economou, T., & Paradisis, G. (2019). Differences in the force velocity mechanical profile and the effectiveness of force application during sprint-acceleration between sprinters and hurdlers. *Frontiers in Sports and Active Living*, 1, 26.
- Taylor, N. A., Cotter, J. D., Stanley, S. N., & Marshall, R. N. (1991). Functional torque-velocity and power-velocity characteristics of elite athletes. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 62, 116-121.
- van den Tillaar, R., Haugen, M. E., & Falch, H. N. (2022). A comparison of sprint mechanical parameters measured with timing gates and a laser gun. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4, 877482.
- Vescovi, J. D., & Jovanović, M. (2021). Sprint mechanical characteristics of female soccer players: A retrospective pilot study to examine a novel approach for correction of timing gate starts. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3, 629694.
- Wendt, I., & Gibbs, C. (1974). Energy production of mammalian fast-and slow-twitch muscles during development. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 226(3), 642-647.
- Widrick, J. J., Trappe, S. W., Costill, D. L., & Fitts, R. H. (1996). Force-velocity and force-power properties of single muscle fibers from elite master runners and sedentary men. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 271(2), C676-C683.

Williams, M. J., Gibson, N. V., Sorbie, G. G., Ugbohue, U. C., Brouner, J., & Easton, C. (2021). Activation of the gluteus maximus during performance of the back squat, split squat, and barbell hip thrust and the relationship with maximal sprinting. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(1), 16-24.