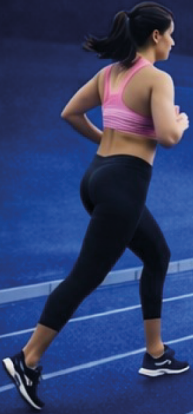


# PERFORMANS İÇİN YÜKSEK ŞİDDETLİ İNTERVAL ANTRENMAN

MODEL SEÇİMİ, ŞİDDET BELİRLEME ve UYGULAMA



Editör:

Prof. Dr. Yıldırım KAYACAN

Yazarlar:

Dr. Öğr. Üyesi Egemen ALP

Dr. Öğr. Üyesi Refik ÇABUK



**Performans İçin Yüksek Şiddetli  
İnterval Antrenman:  
Model Seçimi, Şiddet Belirleme ve  
Uygulama**

**Editör**

**Prof. Dr. Yıldırım KAYACAN**

**Yazarlar**

**Dr. Öğr. Üyesi Egemen ALP**

**Dr. Öğr. Üyesi Refik ÇABUK**



*Performans İçin Yüksek Şiddetli İnterval Antrenman:  
Model Seçimi, Şiddet Belirleme ve Uygulama  
Editör: Prof. Dr. Yıldırım KAYACAN*

**Genel Yayın Yönetmeni:** Berkan Balpetek

**Sayfa ve Kapak Tasarımı:** Duvar Design

**Yayın Tarihi:** Őubat 2026

**Yayıncı Sertifika No:** 49837

**ISBN:** 978-625-8572-65-0

© Duvar Yayınları

853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir

Tel: 0 232 484 88 68

[www.duvar yayinlari.com](http://www.duvar yayinlari.com)

[duvarkitabevi@gmail.com](mailto:duvarkitabevi@gmail.com)



## Editör

### **Prof. Dr. Yıldırım KAYACAN**

Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi  
Antrenörlük Eğitimi Bölümü  
Antrenörlük Eğitimi Anabilim Dalı  
**Orcid: 0000-0003-2784-2980**  
kayacan@gmail.com



## Yazarlar

### **Dr. Öğr. Üyesi Egemen ALP**

Fenerbahçe Üniversitesi/Spor Bilimleri Fakültesi  
Egzersiz Ve Spor Bilimleri Bölümü  
**Orcid: 0000-0002-5915-8625**  
egemen.alp@fbu.edu.tr



### **Dr. Öğr. Üyesi Refik ÇABUK**

Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi  
Antrenörlük Eğitimi Bölümü  
Antrenörlük Eğitimi Anabilim Dalı  
**Orcid: 0000-0002-3682-3135**  
refik.cabuk@omu.edu.tr



## İçindekiler

<b>Giriş</b> .....	3
1. Takım Sporlarında HIIT'in Evrimi .....	4
2. Popüler HIIT Modellerinin Temel Özellikleri .....	5
2.1 Kısa HIIT .....	5
2.2 Uzun HIIT .....	7
2.3 Sprint İnterval Antrenmanı (SIT) .....	8
2.4 Tekrarlı Sprint Antrenmanı (RST) .....	9
2.5 Kümelenmiş Sprint İnterval Antrenman .....	11
3. HIIT'e Akut Fizyolojik Yanıtlar ve Kronik Adaptasyonlar .....	16
4. Egzersize Akut Fizyolojik Yanıtların Moleküler Temelleri .....	16
5. Hedefe Göre Model Seçimi .....	17
5.1 HIIT Tipleri, Hedefleri ve Uygun Uygulama Modelleri .....	18
6. Programlama Prensipleri ve İnterval Antrenman Şiddetini Belirlemede Geleneksel Yaklaşımlar .....	19
6.1 Programlama Prensipleri .....	19
7. Programlama Prensipleri ve HIIT Antrenman Şiddetini Belirlemede Geleneksel Yaklaşımlar .....	21
7.1 Programlama Prensipleri .....	21
7.2 İnterval Antrenman Şiddetini Belirlemede Geleneksel Yaklaşımlar .....	23
7.2.1 İnterval antrenmanlarında şiddetin optimizasyonu için kullanılan yaygın yöntemler .....	25
7.2.1.1 Algılanan Zorluk Derecesi Tabanlı Yüklenme Reçetelendirme Yaklaşımı .....	25
7.2.1.2 Maksimal Aerobik Hız Temelli Yöntem .....	29
7.2.1.3 Güç Ölçer (Power-Meter) Temelli Yöntemler .....	30
7.2.1.4 30-15 Aralıklı Fitness Testi .....	31
7.2.1.5 Anaerobik Hız Rezervi Ölçümleri .....	33
7.2.1.6 Maksimum Eforlu Sprint Antrenmanları (All-out Sprint training) .....	34
7.2.1.7 Atletizm Tabanlı Yaklaşım .....	35
7.2.1.8 Kalp Atım Hızı Takibi .....	37
7.2.1.9 Dar Alan Oyunları Yaklaşımı (Becerilere yönelik kondisyon geliştirme) .....	40



---

7.2.1.10 Yüksek Şiddetli Antrenmanlarda Tekrarlanabilirlik ve Dayanıklılığın Alt Bileşenleri .....	43
8. Saha vs. Laboratuvar Uygulamaları .....	46
9. Sonuç ve Uygulama Önerileri .....	47
KAYNAKÇA .....	49



## GİRİŞ

Dayanıklılık performansının temel belirleyicileri maksimal oksijen tüketimi ( $VO_{2maks}$ ),  $VO_{2maks}$ 'ın sürdürülebilir fraksiyonu ve hareket ekonomisi olarak tanımlanmıştır. Ayrıca anaerobik enerji katkısı da performansa özellikle yüksek hız/yük gerektiren egzersiz fazlarında önemli bir rol oynamaktadır (Bangsbo vd., 2025; Jones ve Kirby, 2025). Bu üçlü yapı, elit sporcularda performansın fizyolojik sınırlarını belirler ve yakın zamanda yayımlanan bir uluslararası bilimsel uzlaşma raporunda da vurgulandığı üzere (Bangsbo vd., 2025), Yüksek şiddetli antrenman (High-Intensity Interval Training, HIIT) bu belirleyicilerin tümünü eş zamanlı uyaran en etkili yöntemlerden biridir. Yüksek şiddetli antrenman (High-Intensity Training, HIT), metabolik dengeli durumun bozulduğu egzersiz şiddetlerinde, çoğunlukla kritik güç/hız eşliğinin üzerinde uygulanan ve kas içi homeostaz üzerinde belirgin bir fizyolojik stres oluşturan, kısa süreli sabit ya da değişken iş yüklerinden oluşan eforları kapsar (Behrens vd., 2023; Çabuk ve Alp, 2025; Jamnick vd., 2020). Bu eforlar genellikle anaerobik glikolitik sistemin baskınlığı ile karakterizedir ve solunumsal eşik, şiddeti belirlemede kritik bir referans noktasıdır (Keir vd., 2022). HIT, aralıksız, sabit veya değişken şiddette yapılan yüklenmeleri tanımlarken, HIIT ise bu yüksek şiddetli yüklenmelerin düşük şiddette aktif toparlanma ya da tam dinlenme periyotlarıyla dönüşümlü uygulandığı interval versiyonunu ifade eder (Çabuk ve Alp, 2025). HIT, aralıksız, sabit veya değişken şiddette yapılan yüklenmeleri tanımlarken, HIIT ise bu yüksek şiddetli yüklenmelerin düşük şiddette aktif toparlanma ya da tam dinlenme periyotlarıyla dönüşümlü uygulandığı interval versiyonunu ifade eder (Çabuk ve Alp, 2025). Dolayısıyla iki kavram sıklıkla karıştırılsa da, farklı fizyolojik yüklenme biçimlerini anlatır. Aslında fizyolojik sınırlamaları daha sürdürülebilir hale getirmek ve toplam çalışma süresini uzatmak amacıyla, HIT'in modifiye edilmiş versiyonu olan HIIT protokolleri geliştirilmiştir (Laursen ve Jenkins, 2002). HIIT, yalnızca egzersiz süresini uzatmakla kalmaz, aynı zamanda hem aerobik hem de anaerobik sistemleri hedef alarak  $VO_{2maks}$ , fraksiyonel kullanım ve hareket ekonomisi gibi performans belirleyicilerinde adaptasyonları destekler (Laursen ve Buchheit, 2019).

Son yüzyılda gelişim gösteren interval antrenman modelleri, Vollmer'in tempo kontrollü koşularından Zátópek'in tekrarlarına, Åstrand'ın fizyolojik çalışmalarından Billat ve Gibala'nın modern protokollerine kadar uzanır (Billat, 2001; Gibala vd., 2006; Laursen ve Buchheit, 2019). Günümüzde HIIT, kısa veya uzun interval modeller, sprint interval antrenman (SIT), tekrarlı sprint antrenmanı (RST) ve oyun temelli uygulamalar gibi farklı biçimlerde yapılandırılmakta, bu çeşitlilik, hem elit sporcuların performansını optimize etmede hem de klinik popülasyonlarda sağlık hedeflerini desteklemede geniş bir uygulama alanı sunmaktadır (Buchheit ve Laursen, 2013a, 2013b).

## 1. Takım Sporlarında HIIT'in Evrimi

Takım sporlarında yüksek performansın ortaya konulabilmesi, çok sayıda belirleyici etmenin eş zamanlı ve bütüncül biçimde geliştirilmesini gerektirir. Takım sporcuları için yalnızca teknik becerilerin kazanılması yeterli olmayıp, oyun zekası, taktik farkındalık, farklı fizyolojik ve psikolojik yükler altında karar verme hızı, koordinasyon ile takım içi senkronizasyon gibi unsurlar da üst düzey performansın sürdürülmesinde kritik rol oynamaktadır (Iaia vd., 2009). Maç içerisinde oyun temposuna ayak uydurabilme, çeviklik, hızlı toparlanma kapasitesi, maksimal kuvvet ve patlayıcı gücü etkili şekilde kullanabilme gibi fiziksel özellikler, takımın genel performansını doğrudan etkiler (Bangsbo vd., 2006).

Ayrıca, dayanıklılık kapasitesi, tekrar eden sprintleri sürdürebilme yetisi, anaerobik hız rezervi ve maç temposuna özgü antrenman yükleri, performansın devamlılığı açısından sürekli olarak desteklenmelidir (Buchheit ve Laursen, 2013a; Iaia vd., 2009). Bu kapsamlı gereksinimlere aynı anda yanıt verebilen ve çok boyutlu fizyolojik adaptasyonlar sağlayabilen en etkili antrenman yöntemlerinden biri, günümüzde takım sporlarında da yaygın biçimde uygulanan HIIT modelleridir (Buchheit ve Laursen, 2013a; Iaia vd., 2009)

Nitekim bu yaklaşıma olan ilginin temelleri, 1970'li yıllardan itibaren atletizm kökenli antrenman metodolojilerinin futbol ve diğer takım sporlarına sistematik biçimde entegre edilmeye başlamasıyla atılmıştır (Buchheit ve Laursen, 2013a; Rampinini vd., 2007). Tom

Reilly'nin öncülük ettiği "futbol bilimi" yaklaşımı ve Enrico Arcelli'nin pist-temelli antrenmanları takım sporlarına uyarlamasıyla birlikte, HIIT modelleri oyun temelli varyantlara dönüşmüş ve bu evrimsel süreç, günümüzde yaygın olarak kullanılan dar alan oyun (small-sided games) modellerinin gelişimine zemin hazırlamıştır. Bu modeller, sadece teknik-taktik becerilerin değil, aynı zamanda fizyolojik sistemlerin hedeflenmesini de mümkün kılmakta; HIIT ilkeleriyle uyumlu olacak biçimde uygulanabilmektedir (Rampinini vd., 2007).

## 2. Popüler HIIT Modellerinin Temel Özellikleri

HIIT antrenman modelleri, yüklenme ve toparlanma süreleri, yüklenme şiddeti, tekrar ve set sayıları ile toparlanma türü gibi çok sayıda programlama değişkeninin etkileşimi yoluyla şekillendirilebilmekte ve bu esneklik, farklı fizyolojik adaptasyonların hedeflenmesine imkân tanımaktadır (Buchheit ve Laursen, 2013a, 2013b). Laursen ve Buchheit'in (2019) sınıflandırmasına göre HIIT protokolleri dört ana modele ayrılabilir: sprint interval antrenmanları, Kısa HIIT, Uzun HIIT ve tekrarlı sprint antrenmanı. Bu modellerin her biri, uygulama biçimi, fizyolojik etkileri ve hedef popülasyonlara göre önemli farklılıklar göstermektedir (Laursen ve Buchheit, 2019).

### 2.1 Kısa HIIT

Kısa HIIT interval modeli, 10 ila 60 saniye süren yüksek şiddetli egzersiz aralıkları ile benzer sürede uygulanan aktif veya pasif dinlenme aralarından oluşur (yüklenme-toparlanma [Y/T] oranı 1:1-2). Egzersiz şiddeti genellikle şiddetli alanın üst sınırına yakın aralıklarda hedeflenir (Buchheit ve Laursen, 2013a; Laursen ve Jenkins, 2002).

Bu tür yüklenmeler, özellikle VO<sub>2</sub> kinetiğini hızlandırılması, egzersizin erken fazlarında aerobik sistem aktivasyonunun artırılması ve kas glikojen kullanımında metabolik verimliliğin geliştirilmesi açısından etkili bir antrenman uyararı sunmaktadır (Macinnis vd., 2016). Kısa süreli fakat tekrarlanan yüksek şiddetli eforlar, merkezi kardiyovasküler yanıtlar tam olarak plato oluşturmadan periferik

metabolik stresin hızla artmasına yol açarak, oksidatif adaptasyonların uyarılmasını kolaylaştırmaktadır (Macinnis vd., 2016) .

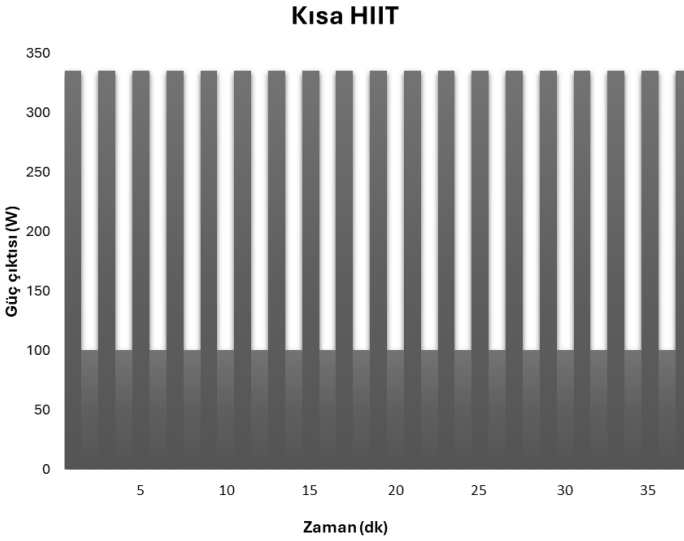
Bununla birlikte, maksimal kalp atım hacminin zamanla gelişen bir yanıt olduğu ve genellikle daha uzun süreli sürekli eforlar sırasında en yüksek değerlere ulaştığı gösterilmiştir (Hoff vd., 2002). Bu bağlamda, kısa interval HIIT modellerinin, özellikle maksimal kardiyak dolun basıncı ve buna bağlı maksimal kalp atım hacim yanıtını sürdürme açısından sınırlı olabileceği ileri sürülmektedir. Nitekim, yüklenme ve toparlanma periyotlarının ardışık olarak uygulanması, venöz kas pompasının etkinliğinde dalgalanmalara yol açarak, interval aralarındaki toparlanma sürecinde atım hacminin yüksek düzeyde korunmasını güçleştirebilir (Hoff vd., 2002).

Bu fizyolojik çerçeveye rağmen, kısa HIIT protokolleri maksimal kalp atım hacmine ulaşmayı hedeflemekten ziyade, yüksek oksijen kinetiklerini tekrar eden biçimde uyarmayı,  $VO_2$  yanıtının daha erken yükselmesini sağlamayı ve yüksek şiddetli egzersize toleransı artırmayı amaçlayan antrenman hedefleri için uygun kabul edilmektedir (Richard vd., 2001).

Örneğin, 30 saniyelik şiddetli egzersiz alanında koşu ile bunu takip eden 30 saniyelik düşük şiddetli toparlanma koşusunun 10 tekrar uygulanması, kısa HIIT'e özgü metabolik ve kardiyorespiratuar talepleri karşılayan tipik bir yapı sunar. Benzer şekilde, bisiklet ergometresinde  $VO_{2maks}$ 'a karşılık gelen yükün %100–105'inde uygulanan 1 dakikalık eforlara, %30 zirve güç çıktısı (ZGÇ) şiddetinde 1 dakikalık toparlanma periyotlarının eşlik ettiği ve toplamda  $\approx 20$  tekrar içeren protokoller, kısa HIIT modellerinin pratik ve etkili örnekleri arasında yer almaktadır (Norouzi vd., 2023). Kısa HIIT protokollerinin uygulanabilirliği ve sürdürülebilirliği bireyler arasında farklılık göstermektedir. Her ne kadar literatürde sıklıkla 16–18 tekrar gibi referans aralıklar önerilse de, bireylerin belirli bir şiddette sürdürebildiği tekrar sayısı fizyolojik kapasitelerine bağlıdır (Şekil 1). Örneğin, bazı bireyler kendi şiddetli alanlarının üst sınırında uygulanan 1 dakikalık yüklenme ve 1 dakikalık toparlanma içeren bir modeli 18 tekrar boyunca sürdürebilirken, diğer bireyler aynı şiddette daha fazla ya da daha az tekrar gerçekleştirebilmektedir (Norouzi vd., 2023). Bu nedenle, kısa HIIT antrenmanlarının bireyselleştirilmesinde şiddetli

egzersiz alanında, örneğin '16 tekrar uygula' yaklaşımı yerine, bireyin o şiddette sürdürebildiği maksimum tekrar sayısının belirlenmesi daha uygun bir strateji olarak görülmektedir (Norouzi vd., 2023). Elde edilen bu tekrar sayısı, bireyin ilgili şiddetteki bireysel kısa HIIT profili olarak kaydedilmeli ve sonraki antrenman süreçlerinde yüklenmenin ilerletilmesi ve manipülasyonu bu bireysel referans üzerinden planlanmalıdır (Norouzi vd., 2023).

**Şekil 1.** Yüklenme Zirve Güç Çıktısının (ZGÇ) %100'ü (335 W) ve toparlanma yükü ZGÇ'nin %30'u (~100 W)



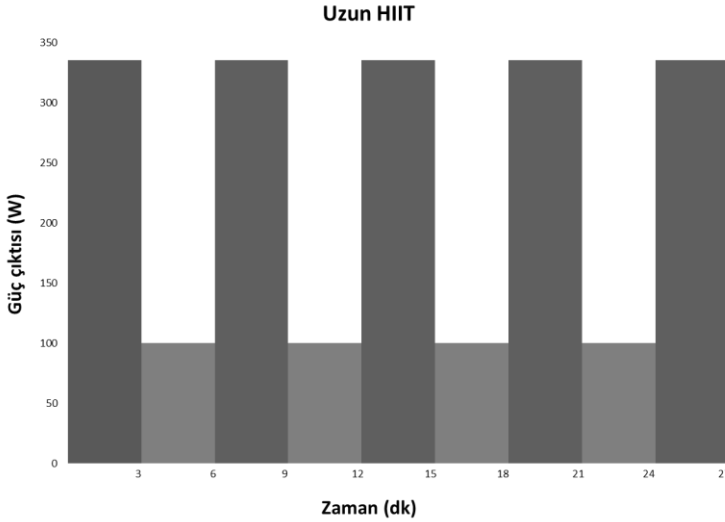
## 2.2 Uzun HIIT

Uzun interval protokolleri, 1 dakikadan daha uzun süreli (pratikte genellikle 2–5 dakika) yüksek şiddetli yüklenme aralıkları ile benzer sürede uygulanan aktif dinlenme aralıklarının dönüşümlü olarak uygulanmasına dayanmaktadır. Bu modellerde egzersiz yoğunluğu genellikle %95–100  $VO_{2maks}$  aralığında hedeflenmektedir (Buchheit ve Laursen, 2013a; Laursen ve Jenkins, 2002). Bu model, özellikle kardiyovasküler kapasitenin artırılması, endotel fonksiyonlarının iyileştirilmesi ve yağ oksidasyonunun geliştirilmesi gibi uzun vadeli fizyolojik adaptasyonları destekler (Helgerud vd., 2007).



Uygulamada yaygın olarak kullanılan modeller arasında, sporcunun  $VO_{2maks}$ 'ına karşılık gelen yük veya hızının yaklaşık %95 ile %100'ünde gerçekleştirilen 3 dakikalık koşu/bisiklet temelli yüklenmenin eşit süreli bir toparlanma periyodu ile takip edilmesi yer almaktadır (Şekil 2). Bu yüklenme toparlanma döngüsü, sporcunun ilgili şiddette sürdürebildiği en yüksek tekrar sayısına ulaşıncaya kadar uygulanır (Norouzi vd., 2023). Sabit bir tekrar sayısı yerine, bireysel tolerans sınırları dikkate alınarak planlama yapılması önerilmektedir (Norouzi vd., 2023).

**Şekil 2.** Zirve Güç Çıktısı (ZGÇ) 335 W ve ZGÇ'nin %30'u ~100 W, yüklenme ve toparlanma süreleri 3 dk



### 2.3 Sprint İnterval Antrenmanı (SIT)

SIT, genellikle  $VO_{2maks}$ 'ın üzerinde, supramaksimal şiddette gerçekleştirilen kısa süreli ve tam eforlu (All-out) yüklenmelere dayanan bir antrenman biçimidir (Gibala ve McGee, 2008; Gibala vd., 2006). Bu antrenmanlarda her sprint maksimal çaba ile gerçekleştiği için önceden bireysel egzersiz şiddetinin belirlenmesine ihtiyaç duyulmadan uygulanabilir (Çabuk vd., 2025). SIT genellikle çok kısa ( $\leq 30$  sn) süren sprintlerden oluşur. Sprintler arasında yüklenme ve

toparlanma oranı 1:2 ile 1-8 aralığında (1-4 dakika) değişen pasif veya aktif toparlanmalar bulunmaktadır (Buchheit ve Laursen, 2013a; Gibala ve McGee, 2008; Gibala vd., 2006). Bu yüklenmelerde glikolitik sistemin devreye girmesiyle birlikte kas içi yorgunluk artarken, yüklenme süreci ilerledikçe aerobik katkının da belirgin şekilde arttığı gösterilmiştir (Macinnis vd., 2016).

Bu fizyolojik geçiş, Buchheit ve arkadaşlarının (2012) antrenmanlı bisikletçilerle gerçekleştirdiği çalışmada net şekilde ortaya konmuştur (Buchheit, Abbiss, vd., 2012). Çalışmada katılımcılar, 6 × 30 saniyelik sprintleri 2 dakikalık pasif toparlanma aralarıyla tamamlamış; her tekrar sonunda güç çıktısı azalsa da kas dokusunda oksijen kullanımını artarak devam ettiği gözlemlenmiştir (Buchheit, Abbiss, vd., 2012). Bu durum, yüklenmeler ilerledikçe aerobik enerji sisteminin giderek daha fazla katkı sağladığını ve bu sayede yorgunluğa karşı dirençli adaptasyonların geliştiğini göstermektedir. SIT, bu yönüyle hem anaerobik hem de aerobik enerji sistemlerini uyaran etkili bir antrenman biçimi olarak öne çıkmaktadır (Burgomaster vd., 2005, 2006). Kısa sürede uygulanabilir olması, yüksek şiddetli egzersize toleransı artırması ve metabolik adaptasyonları uyarması, bu yöntemi hem elit sporcularda hem de sağlık odaklı programlarda değerli kılmaktadır. Ayrıca, zaman verimliliği açısından da, sınırlı süre içinde maksimum performans artışı sağlaması nedeniyle tercih edilmesinde önemli bir faktördür (Gibala vd., 2006).

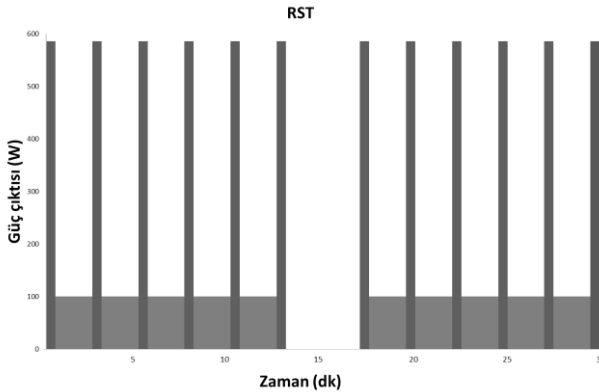
## **2.4 Tekrarlı Sprint Antrenmanı (RST)**

Tekrarlı Sprint Antrenmanı (RST), genellikle  $\leq 10$  saniye süren sprintlerin, kısa toparlanma aralıklarıyla (15-60 saniye) tekrarlandığı bir antrenman modelidir (Laursen ve Buchheit, 2019). Bu model, sprint ve hızlı toparlanmanın belirleyici olduğu takım sporlarında (örneğin futbol, rugby, basketbol vb.) yaygın olarak uygulanmaktadır. Kısa toparlanma sürelerinin fosfokreatin depolarının tam olarak yenilenmesine izin vermemesi, yüklenmeler boyunca kümülatif yorgunluğun ve metabolik stresin artmasına yol açmakta ve bu durum hem aerobik hem de anaerobik adaptasyonların ortaya çıkmasını desteklemektedir (Buchheit vd., 2009). Örneğin, kısa süreli sprintlerin



sınırlı toparlanma aralıklarıyla tekrarlandığı RST yaklaşımlarının, Rugby 7'li maçlarda rapor edilen yüksek şiddetli koşu ve sprint eforlarının süre ve tekrar yapılarıyla yapısal benzerlikler gösterdiği ifade edilmiştir (Couderc vd., 2017, 2023). Literatürde yer alan bir çalışmada, 6 saniyelik sprintlerin 20 saniyelik toparlanma ile uygulanmasının 6 hafta sonunda hem tekrarlı sprint performansını hem de  $VO_{2maks}$ 'ı geliştirdiğini bildirmiştir (Bishop vd., 2011). Toparlanma süresinin uzatılması veya yüksek Y/T oranları, egzersiz sırasında ZGÇ veya maksimal sprint hızını maksimize ederken  $VO_{2maks}$ 'ın yüksek yüzdelere ulaşılmamasına neden olur ve o yüzdelerde geçirilen süre oldukça azalır. Dolayısıyla kronik adaptasyon sağlanmamasına neden olur (Şekil 3) (Norouzi et al., 2023). Buna karşılık, kısa toparlanma süreleri ise aerobik uyarıyı artırırken, ZGÇ'nin korunmasına yardımcı olur (Sloth vd., 2013). Kısa sürenin etkisiyle,  $VO_2$  trendi çok aşağıya düşmeden bir sonraki tekrar başladığı için, oksijen tüketimi sürekli yukarıya meyilli bir seyir izler. Bu yönüyle RST, SIT'in anaerobik ve mitokondriyal adaptasyon odaklı etkilerinden, kısa HIIT'in  $VO_2$  kinetiğini geliştiren ve uzun HIIT'in kardiyovasküler dayanıklılığı artıran etkilerinden farklı olarak, tekrarlı sprint yeteneği, nöromusküler dayanıklılık ve toparlanma kapasitesini geliştirmeyi de hedefler (Bishop vd., 2011; Dupont vd., 2005).

**Şekil 3.** Örnek Tekrarlı Sprint Antrenmanı (RST)



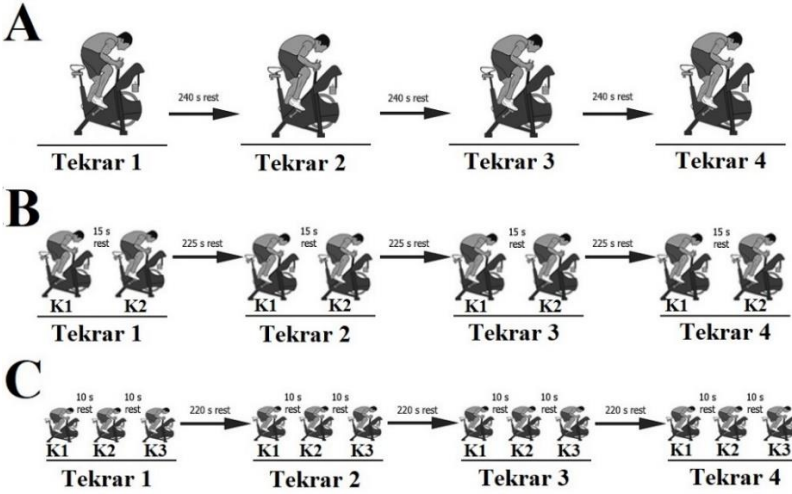
Tekrarlı Sprint Antrenmanı (Repeated sprint training, RST) modeli. Yükleme şiddeti: zirve güç çıktısının (ZGÇ) %175'i (~586 W); toparlanma şiddeti: ZGÇ'nin

%30'u (~100 W). Yükleme süresi: 30 sn; toparlanma süresi: 2 dk (Y/T = 1:4). Her set bir yüklenme bloğundan oluşur; bloklar arasında 4 dk uzun toparlanma

## 2.5 Kümelenmiş Sprint İnterval Antrenman

Kümelenmiş SIT (clustered SIT), geleneksel SIT, RST veya çok setli RST yaklaşımlarından farklı olarak, tek parça hâlinde uygulanan all-out sprintleri daha kısa sprint kümelerine bölerek yapılandırılan bir antrenman modelidir (Çabuk vd., 2025). Bu yaklaşımın ilk uygulamaları, 30 saniyelik all-out sprintlerin 10 veya 15 saniyelik eşit yüklenme kümelerine ayrılması, bu kümeler arasında 1:1 yüklenme/toparlanma oranına karşılık gelen kısa toparlanma aralıklarının verilmesi ve her küme dizisini 4 dakika gibi daha uzun bir toparlanma süresinin takip etmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Şekil 4) (Çabuk vd., 2025).

**Şekil 4.** Geleneksel sprint interval antrenman ve kümelenmiş sprint interval antrenman protokollerinin gösterimi



A) SIE30 protokolü: 4 tekrar × 30 sn all-out yüklenme; her tekrar arasında 240 sn aktif toparlanma; B) SIE15 protokolü: Her tekrarda iki kümeye bölünmüş yapı (K1-K2); 15 sn yüklenme + 15 sn aktif toparlanma; tekrarlar arasında 225 sn aktif toparlanma; C) SIE10 protokolü: Her tekrarda üç kümeye bölünmüş yapı (K1-K2-K3); 10 sn yüklenme ve kümeler arasında 10 sn aktif toparlanma; tekrarlar arasında 220 sn aktif toparlanma. Kısaltmalar: K1 = Küme 1; K2 = Küme 2; K3 = Küme 3.

Bu yapı, sprintin iç organizasyonunu değiştirerek mekanik güç üretiminin korunmasını ve fizyolojik yanıtların daha etkili biçimde düzenlenmesini amaçlayan özgün bir antrenman yaklaşımını temsil etmektedir. Daha detaylı açıklamak gerekirse, adaptasyon sonucu olarak SIT'lerden kazanılacak olan maksimal oksijen tüketimi büyüklüğü yüksek ZGÇ üretimi, yüksek bir  $VO_2$  yanıtı ve  $VO_{2maks}$ 'ın yüksek yüzdelerinde geçirilen zamana bağımlıdır (Çabuk vd., 2025). Mevcut SIT yaklaşımları, bu üç akut yanıtın eş zamanlı olarak bir SIT oturumu esnasında elde edilmesine izin verememektedir (Çabuk vd., 2025). Kümelenmiş SIT yaklaşımı bu üç akut yanıtında eş zamanlı olarak edilmesini optimize ederek kazanılacak olan  $VO_{2maks}$  büyüklüğünü maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Geleneksel SIT protokollerinde 30 saniyelik "all-out" sprintlerin ilk birkaç saniyesinde tepe güç değerlerine ulaşılsa da, sprintin ilerleyen bölümünde PCr tükenmesi, inorganik fosfat birikimi ve kas içi perfüzyonun azalması nedeniyle mekanik güç hızla düşer (Buchheit, Kuitunen, vd., 2012). Bu durum, sonraki tekrarlarda sprintin büyük bir kısmının kadansın ciddi oranda düşmesinden dolayı artık gerçek anlamda maksimal sprint niteliğini kaybetmesine yol açabilir (As ve Ozkaya, 2025). Kümelenmiş SIT ise sprinti metabolik çöküş noktasına ulaşmadan sonlandırarak, kısa toparlanma aralıkları sayesinde PCr'nin kısmi yeniden sentezine ve kas içi dolaşımın yeniden sağlanmasına olanak tanır. Böylece her bir sprint tekrarında daha yüksek ZGÇ ve ortalama güç değerleri korunabilmektedir. Kümelenmiş SIT'in RST modellerinden temel farkı, antrenmanın birincil hedefinde ortaya çıkmaktadır. RST yaklaşımları ağırlıklı olarak takım sporlarında tekrarlanan sprint yeteneğini ve yorgunluk altında sprint performansının korunmasını geliştirmeyi amaçlar. Bu nedenle en az 1 dakika dinlenme aralarıyla 3–10 saniye arasındaki kısa sprintlerin tekrarlanmasını içerir ve kardiyorespiratuar yanıtlar ikincil bir sonuç olarak değerlendirilir. Buna karşın kümelenmiş SIT, yalnızca sprint kapasitesini değil, aynı zamanda  $VO_{2maks}$  'a yakın yüksek  $VO_2$  yanıtını ve  $VO_{2maks}$ 'ın yüksek yüzdelerinde geçirilen süreyi artırmayı hedefler. Kısa toparlanmalar sırasında  $VO_2$ 'nin düşmeden yüksek seviyelerde kalması ve hatta toparlanma sırasında daha yüksek  $VO_2$  elde edilebilmesi kümelenmiş SIT'i klasik RST yaklaşımlarından ayıran

temel fizyolojik özelliktir. Çoklu-set RST modelleri ile karşılaştırıldığında da kümelenmiş SIT'in mantığı belirgin biçimde farklıdır. Çoklu-set RST'de sprintler setler hâlinde organize edilir ve setler arasında uzun toparlanma süreleri verilerek bir sonraki sette sprint kalitesinin yeniden kazanılması amaçlanır. Bu yapı sprint gücünü korumada etkili olsa da kardiyorespiratuar yük her set arasında büyük ölçüde sıfırlanır. Kümelenmiş SIT'te ise toparlanmalar set içinde ve çok kısa tutulur; böylece oksijen tüketimi yanıtı sürekli yüksek düzeyde tutulur ve fizyolojik stres kümülatif olarak birikir. Bu özellik, kümelenmiş SIT'in hem yüksek mekanik güç üretimini hem de güçlü bir aerobik uyarıyı eş zamanlı olarak sağlayabilmesini mümkün kılar. Bu yönüyle kümelenmiş SIT, geleneksel SIT'e kıyasla daha sürdürülebilir güç profilleri sunarken, RST ve çoklu-set RST modellerinden farklı olarak yüksek  $VO_2$  yanıtı ve  $VO_{2maks}$ 'ın yüksek yüzdelere geçirilen sürenin artırılmasına özel olarak hizmet eden bir antrenman stratejisi olarak değerlendirilebilir.

HIIT modelleri, uygulama yapısına bağlı olarak farklı fizyolojik sistemlerde çeşitli yanıtlar ortaya çıkarır. Bu alana ilişkin kavramsal ve uygulamaya dönük temel çerçeve, literatürde geniş kabul gören derleme çalışmalarıyla ortaya konmuştur (Buchheit ve Laursen, 2013a, 2013b). Bu bölümde, HIIT antrenman modellerinin kardiyorespiratuar sistem, iskelet kası metabolizması, nöromüsküler stres ve hormonal yanıtlar üzerindeki etkileri kapsamlı biçimde ele alınmaktadır. Ayrıca, antrenman modellerinde yoğunluk, süre, toparlanma yapısı ve tekrar sayısı gibi değişkenlerin fizyolojik yanıtları anlamlı ölçüde etkileyebildiği vurgulanmaktadır.

Özellikle SIT modellerinin, kas içinde hızlı ve yoğun metabolik stres oluşturarak mitokondriyal biyogenezi uyardığı ve aerobik kapasitede belirgin gelişmelere yol açtığı gösterilmiştir (Burgomaster vd., 2006; Gibala vd., 2006). Ayrıca, bu tür yüklenmeler oksidatif enzim aktivitesinde artış sağlamak ve kas içi oksijen kullanım kapasitesini iyileştirmektedir (Burgomaster vd., 2006; Gibala vd., 2006). Dolayısıyla, SIT uygulamaları yalnızca kardiyovasküler sistem üzerinde değil, aynı zamanda periferik adaptasyonlar üzerinde de güçlü etkilere sahiptir.

Kısa HIIT modelleri, kısa süreli fakat yüksek şiddetli yüklenme periyotlarını içerir ve bu sayede VO<sub>2</sub> kinetiğini geliştirerek daha düşük şiddetli egzersizler sırasında oksijen kullanımını daha verimli hale getirebilir (Daussin vd., 2008). Aynı zamanda, Kardiyak çıktı, kalp atım hacmi ve sol ventrikül işlevleri gibi kardiyak parametrelerde olumlu değişimlere neden olur (Helgerud vd., 2007). Uzun HIIT'ler, egzersiz şiddeti bakımından hâlâ “şiddetli egzersiz alanı” içerisinde yer almakla birlikte, genellikle bu alanın alt sınırına yakın yoğunluklarda ve daha uzun süreli yüklenmelerle karakterizedir. Bu tür antrenman modellerinin, damar endotel fonksiyonu, otonom sinir sistemi dengesi ve genel kardiyovasküler sağlık üzerinde belirgin iyileştirici etkiler sağladığı bildirilmiştir (Weston vd., 2014). Klinik çalışmalarda, bu protokollerin VO<sub>2maks</sub> düzeyini artırdığı, hipertansiyonu düşürdüğü ve insülin direncini azalttığı görülmüştür (Wisløff vd., 2007).

RST, nöromusküler sistem üzerine yüksek talepler oluşturarak, sprint tekrar toleransını ve kas içi iyon dengesini geliştirmeye yardımcı olur (Buchheit vd., 2009; Girard vd., 2011). Fosfokreatin yenilenme oranı, kas aktivasyonu ve sodyum-potasyum pompası etkinliği bu modellerde önemli rol oynar. Bu nedenle, RST hem “*fatigability*” (yoğun eforlar sırasında performansın sürdürülebilirliği) hem de “*repeatability*” (yüksek şiddetli eforların tekrarlanabilirliği ve toparlanma kapasitesi) açısından kritik fizyolojik adaptasyonlar sağlamaktadır (Meixner vd., 2025). Bu kavramlar, dayanıklılık sporlarında bireyin uzun süre boyunca performansını koruma kapasitesini tanımlayan daha geniş bir çerçevenin parçası olarak ele alınmakta; “*durability*” ve “*resilience*” gibi kavramlarla birlikte değerlendirilerek hem performans hem de antrenman programlaması açısından önemli çıkarımlar sunmaktadır (Meixner vd., 2025).

Bununla birlikte, düzenli olarak yapılan kardiyorespiratuar dayanıklılık antrenmanları hem kısa vadeli hem de uzun vadeli çok yönlü fizyolojik adaptasyonlar sağlar. Kısa vadede kalp atım hızı, atım hacmi, solunum frekansı ve terleme artarken; uzun vadede mitokondri yoğunluğu artar, oksijen kullanım kapasitesi gelişir, insülin duyarlılığı artar, vücut yağ oranı azalır ve genel kardiyovasküler sağlık iyileşir (Buchheit ve Laursen, 2013a, 2013b).

Literatürdeki bulgular, HIIT antrenman modellerinin fizyolojik etkilerinin yalnızca şiddet düzeyine değil yüklenme süresi, toparlanma tipi ve toplam antrenman hacmine göre şekillendiğini ortaya koymaktadır (Laursen ve Buchheit, 2019). Bu nedenle, antrenman hedeflerine uygun olarak model seçimi yapılarak, farklı fizyolojik sistemlerde istenen adaptasyonlar sağlanabilir. Buchheit ve Laursen'e göre HIIT modellerin yapılandırılmasında nöromusküler yüklenmenin temel bir unsur olduğu ifade edilmektedir (Buchheit ve Laursen, 2013b).

Yüksek şiddetli veya sprint hızlarında uygulanan interval tekrarlar, yalnızca yoğun bir metabolik stres oluşturmakla kalmayıp, aynı zamanda kas-tendon ünitesi üzerinde belirgin mekanik gerilim yaratarak kas aktivasyonunu en üst düzeye çıkarma potansiyeline sahiptir (Behrens vd., 2023; Enoka ve Duchateau, 2016). Bu tür bir mekanik zorlanma hem motor birimlerin aktivasyonunda hem de sinir-kas etkileşiminde anlamlı adaptasyonları tetiklemektedir (Behrens vd., 2023). Dolayısıyla, HIIT programlamasında fizyolojik hedeflerin yanı sıra nöromusküler taleplerin de göz önünde bulundurulması, antrenmanın etkinliğini artırma potansiyeline sahiptir.

Aynı zamanda, HIIT uygulamalarının farklı spor dallarına entegre edilebilirliği de dikkat çekici bir unsur olarak öne çıkmaktadır (Casado vd., 2022; Iaia vd., 2009). Özellikle takım sporlarında tercih edilen sprint-temelli intervaller, maç sırasında görülen efor dağılımına benzeyen bir enerji sistemi döngüsü ve çoklu kas grubu aktivasyonu sağlayarak özgül bir uyarım oluşturur (Aughey, 2011; Bangsbo vd., 2006; Mendez-Villanueva vd., 2013). Bu nedenle, HIIT protokollerinin yalnızca metabolik ve kardiyorespiratuar yanıtlar açısından değil, aynı zamanda spora özgü nöromusküler yüklenme özelliklerini karşılayacak şekilde bireyselleştirilmesi, performans artışını maksimize etmek açısından kritik öneme sahiptir. (Couderc vd., 2023).

### 3. HIIT'e Akut Fizyolojik Yanıtlar ve Kronik Adaptasyonlar

Aşağıdaki tabloda (Tablo 1) kardiyorespiratuar dayanıklılık egzersizlerine verilen akut ve kronik fizyolojik yanıtlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur:

**Tablo 1.** HIIT Antrenman Modellerine Akut Fizyolojik Yanıtlar ve Kronik Adaptasyonlar

<b>Akut Yanıtlar</b>	<b>Kronik Adaptasyonlar</b>
Kalp atım hızı artar	İstirahat kalp atım hızı azalır
Atım hacmi artar	Atım hacmi kalıcı olarak artar
Solunum sayısı ve ventilasyon artar	Solunum kaslarının dayanıklılığı
Kaslara ve beyne kan akışı artar	Kapiller yoğunluk ve dolaşım etkinliği artar
ATP üretim hızı artar	Mitokondriyal yoğunluk artar
Terleme ve ısı düzenleme hızlanır	Termoregülasyon kapasitesi iyileşir
Hormon salgılamasında ani değişiklikler	Hormon yanıtları daha dengeli hale gelir
Psikolojik uyanıklık ve ruh hali geçici olarak yükselir	Depresyon ve anksiyete riskinde azalma

(Laursen ve Buchheit, 2019)

### 4. Egzersize Akut Fizyolojik Yanıtların Moleküler Temelleri

Yüksek şiddetli egzersiz sırasında iskelet kaslarında fosfokreatin tükenmesi, H<sup>+</sup> iyonu birikimi ve laktat oluşumu gibi metabolik değişiklikler meydana gelir (Bishop vd., 2011; Girard vd., 2011; Robergs, 2021). Bu akut stres, kas içi pH'nın düşmesine ve kas kasılmasında görevli troponin-C proteininin kalsiyum bağlama kapasitesinin azalmasına yol açarak geçici performans düşüşlerine neden olabilir (Robergs, 2021). Buna karşın, tekrarlayan bu stres uyaranları mitokondriyal biyogenez, laktat tamponlama kapasitesi ve anaerobik tolerans gibi kronik adaptasyonları tetikler. Bu fizyolojik temeller, HIIT modellerinin hem aerobik kapasiteyi hem de kas

dayanıklılığını geliştirmedeki etkisini açıklamaktadır (Billat, 2001; Bishop vd., 2011).

## 5. Hedefe Göre Model Seçimi

HIIT programlamasında model seçimi, bireyin performans düzeyi ve hedeflenen fizyolojik ile nöromüsküler adaptasyonlara göre yapılmalıdır (Laursen ve Buchheit, 2019). Örneğin,  $VO_{2maks}$ 'ı artırmayı hedefleyen bir sporcu için uzun HIIT modelleri daha uygundur (Norouzi vd., 2023). Bu modeller, genellikle 1 dakikanın üzerinde olmakla birlikte, çoğunlukla  $\geq 2$  dakika süren ve egzersiz yoğunluğunun şiddetli egzersiz alanı (severe domain) içerisinde, ancak bu alanın alt sınırına yakın düzeylerde sürdürüldüğü yüklenmeleri içerir. Bu özellikleri sayesinde  $VO_{2maks}$  düzeylerinde geçirilen zamanın artmasına ve kardiyovasküler-kardiyorespiratuar adaptasyonların daha etkili biçimde uyarılmasına katkı sağlar (Billat, 2001; Norouzi vd., 2023). Buna karşın, mitokondriyal yoğunluğu ve oksidatif enzim aktivitesini artırmak, yani periferik aerobik kapasiteyi geliştirmek isteyen bireylerde kısa HIIT ya da SIT uygulamaları daha ön plana çıkabilir (Daussin vd., 2008; Gibala vd., 2006). Bu modeller, kas içi metabolik stres ve tekrarlanan yüklenmeler sayesinde hızlı hücrel adaptasyonlara yol açar (Burgomaster vd., 2006; Gibala vd., 2006). Sprint tekrar performansı veya tekrarlı efor kapasitesi gibi özelliklerin geliştirildiği takım sporlarında ise RST protokolleri tercih edilmelidir. Bu modeller, kısa sürede yüksek şiddetli eforlarla nöromüsküler sistemin enerji dönüşüm hızını ve sprint toleransını geliştirir (Bishop vd., 2011).

Klinik popülasyonlar veya düşük kondisyon düzeyine sahip bireylerde ise, yüksek şiddetli aralıklardan ziyade, daha düşük şiddette fakat kontrollü interval protokolleri kullanılmalıdır. Örneğin, yaklaşık %70-75  $VO_{2maks}$  düzeyinde yapılan uzun interval egzersizler, kardiyometabolik hastalıklar açısından güvenli ve etkili sonuçlar vermektedir (Wisløff vd., 2007). Aşağıda, hedefe göre HIIT model seçimine yönelik genel bir öneri matrisi sunulmuştur (Tablo 2).

**Tablo 2.** Antrenman amaçlarına göre daha etkili HIIT modelleri ve fizyolojik etkileri

Hedef	Önerilen Model	Açıklama
VO <sub>2maks</sub> Gelişimi	Uzun HIIT	Kardiyovasküler-kardiyorespiratuar adaptasyonlar ön planda
Mitokondriyal Adaptasyon	SIT / Kısa HIIT	Kısa sürede yüksek metabolik stres
Sprinti Tekrar edilebilirliği	RST	Nöromusküler adaptasyon ve toparlanma
Kardiyometabolik Sağlık	Uzun HIIT (kontrollü şiddette)	Klinik popülasyona uygun, bireye özgü olarak ayarlanabilir şiddet
Zaman Verimliliği	SIT	Kısa sürede yüksek yoğunluk, düşük toplam süre

*VO<sub>2maks</sub> = maksimal oksijen tüketimi; HIIT = yüksek şiddetli interval antrenman (High-Intensity Interval Training); SIT = sprint interval antrenman (Sprint Interval Training); RST = tekrarlı sprint antrenmanı (Repeated Sprint Training).*

Daha spesifik ve fizyolojik açıdan hedef odaklı bir sınıflandırma yapılmak istendiğinde, HIIT uygulamalarını fizyolojik yüklenme bileşenlerine göre ayıran aşağıdaki tablo dikkate alınabilir. Bu yapı, farklı hedeflere yönelik HIIT tiplerini ve her bir tipe uygun uygulama modellerini sistematik olarak ortaya koymaktadır.

## 5.1 HIIT Tipleri, Hedefleri ve Uygun Uygulama Modelleri

HIIT programlamasında "her birey için geçerli tek bir reçete" anlayışı yetersizdir. İnterval antrenmanlar tasarlanırken, bireysel fizyolojik yanıtlar dikkate alınarak model, yoğunluk, süre ve toparlanma parametreleri dikkatli biçimde uyarlanmalıdır (Tablo 3). Bu sayede hem performans hem de sağlık hedeflerine daha etkili ve güvenli şekilde ulaşılabilir.



**Tablo 3.** HIIT Modellerinin Fizyolojik Etki Alanlarına Göre Sınıflandırılması

Tip	Fizyolojik Etki Alanı	Ana Özellikler	Uygun HIIT Modelleri
Tip1	Aerobik metabolik (O <sub>2</sub> sistemi)	Yalnızca metabolik yüklenme, düşük nöromusküler uyarı	Kısa HIIT
Tip2	Aerobik metabolik + nöromusküler	Metabolik (O <sub>2</sub> sistemi) ve nöromusküler stres birlikte	Kısa HIIT, oyun temelli
Tip 3	Aerobik + anaerobik metabolik	O <sub>2</sub> ve anaerobik sistemlerin eş zamanlı hedeflenmesi	Kısa HIIT, Uzun HIIT, oyun temelli
Tip 4	Aerobik + anaerobik metabolik + nöromusküler	Yüksek yoğunlukta metabolik stres ve nöromusküler yüklenme	Kısa HIIT, Uzun HIIT, oyun temelli, RST
Tip 5	Periferik O <sub>2</sub> + anaerobik metabolik + nöromusküler	Çok yüksek şiddetli, maksimal çaba gerektiren yüklenme	SIT, RST
Tip 6	Yalnızca nöromusküler	Metabolik yüklenme olmaksızın nöromusküler gelişim	Metabolik HIIT formatı kullanılmaz

(Laursen ve Buchheit, 2019)

## 6. Programlama Prensipleri ve İnterval Antrenman Şiddetini Belirlemede Geleneksel Yaklaşımlar

### 6.1 Programlama Prensipleri

HIIT'in etkili ve güvenli biçimde uygulanabilmesi, temel programlama prensiplerinin titizlikle gözetilmesini gerektirir. Bu prensipler: sporcunun antrenman geçmişi, mevcut fizyolojik kapasitesi, hedeflenen adaptasyonlar ve toparlanma durumu üzerine inşa edilmelidir. HIIT'in yapı taşları olarak egzersiz yoğunluğu, süre,



toparlanma tipi ve süresi, toplam hacim, uygulama sıklığı ve bireysel yanıtların izlenmesi öne çıkar (Laursen ve Buchheit, 2019). Antrenman şiddeti, modelin metabolik yükünü belirleyen en kritik değişkendir. SIT veya kısa interval modelleri, genellikle supramaksimal ya da  $\geq 90$   $VO_{2maks}$  düzeyinde uygulanır ve bu nedenle tam efor gerektirir (Coates vd., 2023). Bu yüklenmeler kısa süreli tutulur, ancak metabolik ve nöromüsküler talepleri yüksektir. Uzun interval protokolleri ise görece daha düşük şiddetle uygulanabilir, ancak sürenin uzaması toplam antrenman yükünü anlamlı biçimde artırır (Buchheit ve Laursen, 2013a, 2013b).

Toparlanma süresi ve tipi, seansın hedeflerine göre biçimlendirilmelidir. Kısa toparlanmalar yüksek yorgunluk birikimiyle, uzun toparlanmalar ise egzersiz kalitesinde artışla ilişkilidir. Aktif toparlanma laktat klirensini (lactate clearance) hızlandırabilirken, pasif toparlanma kalp atım hızında daha hızlı bir düşüş sağlar (Buchheit vd., 2009; Buchheit ve Laursen, 2013a, 2013b). Toplam antrenman hacmi ve haftalık sıklık, özellikle yüksek yoğunluk söz konusu olduğunda, toparlanma kapasitesiyle dengelenmelidir. Bu noktada, antrenman iç yükünü sayısal olarak ifade eden Antrenman Uyarısı (Training Impulse; TRIMP) kavramı değerli bir araçtır (Banister, 1991; Bourdon vd., 2017). TRIMP, egzersiz süresi (T), bağıl kalp atım hızı artışı ( $\Delta KAH$  oranı) ve egzersiz şiddetini fizyolojik olarak ağırlıklandıran bir katsayının çarpımı olarak tanımlanır:  $TRIMP = T \cdot \Delta KAH \text{ oranı} \cdot y$  (Banister, 1991). Bu formülde  $\Delta KAH$  oranı, egzersiz sırasındaki ortalama kalp atım hızının ( $KAH_{egzersiz}$ ), dinlenik kalp atım hızı ( $KAH_{rest}$ ) ve maksimal kalp atım hızı ( $KAH_{maks}$ ) referans alınarak normalize edilmesiyle hesaplanır:  $\Delta KAH \text{ oranı} = (KAH_{egzersiz} - KAH_{rest}) / (KAH_{maks} - KAH_{rest})$  (Banister, 1991; Nummela vd., 2016). Egzersiz şiddetine verilen fizyolojik ağırlık katsayısı, yüksek şiddetli egzersizlerde kan laktat konsantrasyonunun doğrusal olmayan (üstel) artışını temsil etmek üzere üstel bir fonksiyonla tanımlanmıştır. Erkek sporcular için bu katsayı  $= 0,64 \cdot e^{1,92(\Delta KAH \text{ oranı})}$ , kadın sporcular için ise katsayı  $= 0,86 \cdot e^{1,67(\Delta KAH \text{ oranı})}$  şeklinde ifade edilmektedir; burada e, doğal logaritmanın tabanı olup yaklaşık 2,718'e eşittir (Banister, 1991; Nummela vd., 2016).

HIIT gibi yüksek şiddetli egzersizlerde ortaya çıkan metabolik ve nöromüsküler stresi daha gerçekçi bir şekilde göstermeyi amaçlayan bu matematiksel model, düşük ve orta şiddetli egzersizlerde kalp atım hızı ile fizyolojik stres arasındaki görece doğrusal ilişkiyi korur (Banister, 1991; Nummela vd., 2016). Örneğin,  $KAH_{maks} = 200 \text{ atım} \cdot \text{dk}^{-1}$ ,  $KAH_{rest} = 50 \text{ atım} \cdot \text{dk}^{-1}$  ve  $KAH_{egzersiz} = 185 \text{ atım} \cdot \text{dk}^{-1}$  varsayıldığında,  $\Delta KAH$  oran =  $(185 - 50) / (200 - 50) = 135 / 150 = 0,90$  olarak hesaplanmaktadır. Bu doğrultuda,  $4 \times 4$  dakika maksimal kalp atım hızının %90'ında uygulanan bir HIIT seansında toplam yüklenme süresi 16 dakika,  $\Delta KAH$  oran = 0,90, y katsayısı  $\approx 3,60$  alındığında TRIMP değeri  $\approx 16 \times 0,90 \times 3,60 = 51,84$  puan olarak bulunur. Seiler (2010), bireyselleştirilmiş TRIMP kullanıldığında özellikle farklı spor branşlarında ve HIIT gibi değişken şiddetli protokollerde yük takibinin daha doğru yapılabileceğini vurgulamaktadır (Seiler, 2010). Yüksek yoğunluklu bir HIIT seansı, süresi kısa olsa bile TRIMP değerinde keskin bir artış yaratır, bu da haftada 2-3'ten fazla uygulamanın toparlanma ve adaptasyon dengesini bozabileceğini gösterir (Bourdon vd., 2017). Sonuç olarak, HIIT programlaması yalnızca protokol seçimine değil, yüklenme-toparlanma dengesinin sürekli izlenmesine dayanmalıdır. Bireysel yanıtların takip edilmesi, kalp atım hızı, algılanan efor, toparlanma göstergeleri ve gerektiğinde laktat veya oksijen tüketimi gibi objektif verilerle desteklenmelidir. Böylelikle hem yüksek performans hedefleyen sporcularda hem de sağlık amaçlı egzersiz yapan bireylerde, HIIT güvenli ve sürdürülebilir biçimde uygulanabilir.

## 7. Programlama Prensipleri ve HIIT Antrenman Şiddetini Belirlemede Geleneksel Yaklaşımlar

### 7.1 Programlama Prensipleri

Dayanıklılık antrenmanlarının etkinliği, yalnızca yapılan egzersizlerin türüne ya da şiddetine göre değil, aynı zamanda antrenmanların nasıl planlandığına da bağlıdır (Buchheit ve Laursen, 2013a, 2013b). Antrenman programlamasının temel amacı, sporcunun

fizyolojik uyum sürecini yönlendiren ve uzun vadeli gelişimi mümkün kılan bilimsel çerçeveyi sunmaktır (Calvert vd., 1976).

Bu amaç doğrultusunda öne çıkan ilkeler özgüllük, antrenmanda aşamalı artan yüklenme ilkesi, ilerleme, bireyselleştirme, çeşitlilik, dönemleme, toparlanma ve tersine dönüş olarak sıralanır (American College of Sports Medicine, 2022). Özgüllük, hedeflenen performans çıktısının enerji sistemleri, kas aksiyonu ve hareket hızı açısından yansıtılmasını gerektirir (Billat, 2001). Antrenmanda aşamalı artan yüklenme ilkesi, organizmanın uyum sağlayabilmesi için uyarının hacim, yoğunluk ve sıklık bileşenlerinde planlı ve kademeli biçimde artırılmasını ifade eder (American College of Sports Medicine, 2022). Bireyselleştirme, genetik farklılıklar, antrenman geçmişi ve günlük yaşam koşullarının aynı uyarana verilen yanıtı belirgin biçimde etkilediğini kabul eder (American College of Sports Medicine, 2022). Çeşitleme ve dönemleme, antrenman yükünün haftalar ve aylar boyunca bilinçli dalgalanmalarla düzenlenmesini, toparlanma ise fizyolojik adaptasyonun gerçekleştiği biyolojik pencerenin korunmasını vurgular (American College of Sports Medicine, 2022). Tersine dönüş ilkesi ise yeterli uyarı olmadığında kazanımların zamanla kaybolabileceğini hatırlatır (American College of Sports Medicine, 2022).

Sonuç olarak, etkili bir antrenman planlaması yalnızca tek bir oturumun şiddetine bağlı olarak değil, bu temel prensiplerin sürekli gözetilmesine dayanır (American College of Sports Medicine, 2022). Yüklenme-toparlanma dengesinin düzenli izlenmesi, kalp atım hızı, algılanan zorluk derecesi, toparlanma göstergeleri ve gerektiğinde laktat ya da oksijen tüketimi gibi objektif verilerle desteklenmelidir (Buchheit, Abbiss, vd., 2012). Böylelikle hem yüksek performans hedefleyen sporcular hem de sağlık amacıyla egzersiz yapan bireyler için programlar verimli, güvenli ve sürdürülebilir biçimde yürütülebilir (Buchheit, Abbiss, vd., 2012).

## 7.2 İnterval Antrenman Şiddetini Belirlemede Geleneksel Yaklaşımlar

HIIT antrenman modellerinin tasarımında yaygın olarak kullanılan 12 temel değişken bulunmaktadır (Şekil 5). Bu temel değişkenler, birbirleriyle etkileşim halinde antrenmanın fizyolojik ve performans çıktılarının belirlenmesinde kritik bir rol oynarlar.

Şekil 5. HIIT Antrenman Programlamasını Belirleyen 12 Temel Değişken



Öncelikle egzersiz şiddeti, hangi enerji sisteminin (aerobik ya da anaerobik) ağırlıklı olarak kullanılacağını belirler ve egzersiz süresi, bu şiddetin hangi zaman aralığında sürdürüleceğini tanımlar (Buchheit ve Laursen, 2013a). Kısa süreli sprintler (5–30 saniye) daha çok anaerobik talepleri artırırken, uzun yüklenmeler (2–4 dakika) aerobik güçç

yönelik uyaran oluşturur (Buchheit ve Laursen, 2013b). Bu yüklenmelerin ardından gelen toparlanma süresi ve toparlanma şiddeti, egzersizin sürdürülebilirliğini ve metabolik geri dönüşümü doğrudan etkiler (Seiler ve Hetlelid, 2005). Aktif toparlanma düşük yoğunluklu koşu ya da pedal çevirme gibi yöntemlerle yapılabilirken, pasif toparlanma tam dinlenmeyi ifade eder (Dupont vd., 2003). Yüklenme ile toparlanma arasındaki oran, organizmanın uyum sürecinde kritik bir parametre olarak öne çıkar (Seiler ve Sylta, 2017).

Bir diğer önemli boyut ise set yapısıdır. Bir setin süresi ve kaç kez tekrar edileceği (set sayısı), antrenmanın bütüncül yoğunluğunu belirler (Buchheit ve Laursen, 2013b; Seiler ve Sylta, 2017; Sylta vd., 2016). Setler arasında verilen dinlenme süreleri genellikle daha uzun tutulur ve bu dinlenmelerin pasif ya da aktif (örneğin hafif tempo) olması da toparlanma durumunu değiştirir (Dupont vd., 2003; Seiler ve Hetlelid, 2005). Antrenmanın toplam hacmi, tüm yüklenme periyotlarının süresinin ya da mesafesinin toplamı olarak tanımlanır ve adaptasyonun ana belirleyicilerinden biridir (Seiler, 2010).

Bunun yanı sıra egzersizin türü (koşu, bisiklet, yüzme vb.), uygulandığı zemin (asfalt, çim, kum, kapalı salon zemini, tartan, düzensiz yüzeyler vb.) ve çevresel koşullar da (sıcaklık, nem ve irtifa) fizyolojik yüklenmeyi doğrudan etkiler (Aughey, 2011; Junge vd., 2016). Özellikle çevresel koşullar kardiyovasküler sistemin yanıtlarını ve termoregülasyonu belirgin biçimde değiştirir (Junge vd., 2016). Son olarak beslenme durumu da HIIT performansının şekillenmesinde kritik bir role sahiptir. Karbonhidrat alımı, sıvı dengesi veya yorgunluk düzeyi, egzersizin fizyolojik etkilerini ve sporcu performansını değiştirebilir (Coates vd., 2023; Junge vd., 2016). Bütüncül olarak değerlendirildiğinde, HIIT antrenman modellerinin etkili bir şekilde tasarlanabilmesi için bu değişkenlerin her biri dikkate alınmalı ve sporcunun bireysel özelliklerine, hedeflerine ve mevcut koşullarına göre dengeli bir şekilde programlanmalıdır (Buchheit ve Laursen, 2013a, 2013b).

HIIT programlamasında dikkate alınması gereken temel değişkenler. Egzersiz yoğunluğu ve süresi, toparlanma özellikleri (süre ve yoğunluk), set yapısı, toplam hacim, egzersiz türü ve uygulama zemini, çevresel koşullar ile beslenme durumu, antrenmanın metabolik,

kardiyovasküler ve nöromüsküler yükünü doğrudan etkileyen parametrelerdir. Bu değişkenlerin doğru şekilde yapılandırılması, hedeflenen performans adaptasyonlarının sağlanmasında ve sakatlanma riskinin en aza indirilmesinde kritik öneme sahiptir.

## 7.2.1 İnterval Antrenmanlarında Şiddetin Optimizasyonu İçin Kullanılan Yaygın Yöntemler

Antrenman planlamalarında, yüklenme şiddetinin belirlenmesi ve izlenmesi amacıyla hem dış yük hem de iç yük ölçümleri kullanılmaktadır. Dış yük, sporcunun yaptığı işi nicel olarak ifade eder ve genellikle video takibi, ivmeölçerler, küresel konumlandırma sistemi (GPS) takip sistemleri, kodlayıcılar (hız ve mesafe), güç ölçerler ve ayak sensörleri gibi teknolojiler aracılığıyla değerlendirilir (Aughey, 2011; Jobson vd., 2012). Buna karşılık iç yük, sporcunun antrenmana verdiği fizyolojik ve algısal yanıtları yansıtır (Buchheit vd., 2011). Oksijen tüketimi, kalp atım hızı, kan laktat düzeyi, algılanan zorluk derecesi (AZD), akıllı tekstil ürünleri, vücut sıcaklığı, ter analizi, tükürük içeriği, kas oksijenasyonu, çekirdek vücut ısısı ve ayak temas süresi gibi parametreler iç yükün değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan göstergeler arasındadır (Borg, 1998; Buchheit vd., 2011).

### 7.2.1.1 Algılanan Zorluk Derecesi Tabanlı Yüklenme Reçetelendirme Yaklaşımı

Egzersiz şiddetinin AZD'ye dayalı olarak belirlenmesi, HIIT antrenman modellerinin planlanmasında pratik, erişilebilir ve evrensel bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Borg, 1998; Noakes vd., 2004). Borg'un geliştirdiği 6–20 veya Kategori-Oran 10 Ölçeği (CR10) ölçekleri, hem laboratuvar hem saha ortamlarında geçerliliği ve güvenilirliği kanıtlanmış araçlardır (Céline vd., 2011). Bu yöntemin temel avantajı, KAH, koşu hızı veya güç çıktısı gibi dışsal parametrelerin sürekli izlenmesini gerektirmemesidir (Coutts vd., 2009).

Bu çerçevede, örneğin antrenör “4 × 4 dakika AZD'nin zor düzeyde olduğu bir koşu, ardından 3 dakika düşük şiddette toparlanma”

yönlendirmesiyle antrenmanı başlatabilir. Sporcu ise fizyolojik ve psikolojik iç geri bildirimlerini dikkate alarak şiddeti öz-düzenleme yoluyla ayarlayabilir. Bu yaklaşım, merkezi sinir sistemi tarafından algılanan fizyolojik durumu içsel düzeyde değerlendiren ve “central governor” mekanizması aracılığıyla biyo-geribildirim sağlayarak egzersiz şiddetini düzenleyen bir sistem sunar (Noakes vd., 2004). Sonuç olarak, AZD yöntemi, bireysel farklılıkları dikkate alan, yüksek pratik değer sunan ve geniş sporcu gruplarında uygulanabilirliği olan bir HIIT reçetelendirme aracı olarak öne çıkmaktadır (Tablo 4 ve 5).

Literatürde, egzersiz şiddetinin genellikle “zor” ya da “çok zor” olarak algılandığı, sürdürülebilir en yüksek yoğunluk düzeyine karşılık geldiği ifade edilmektedir. Bu düzey, öznel algı ölçeklerinden CR10 Borg skalasında  $\geq 6$  ve 6–20’lik Borg skalasında  $\geq 15$  puan ile tanımlanmaktadır (Borg, 1998; Céline vd., 2011). Bu şiddet, kişinin egzersiz tecrübesi, seansın amacı ve antrenman dönemi gibi faktörlere bağlı olarak şekillenir (Seiler ve Hetlelid, 2005; Seiler ve Sjursen, 2004). Ayrıca AZD’nin, egzersiz sırasındaki fizyolojik yük, mekanik zorlanma ve psikolojik stresin birleşik etkisine karşılık gelen bilinçli bir efor algısı olduğu öne sürülmektedir (Coutts vd., 2009).

AZD tabanlı HIIT uygulamaları, özellikle saha koşullarında ya da ekipman sınırlaması olan durumlarda avantaj sağlamaktadır (Céline vd., 2011; Coutts vd., 2009). Test verisine veya sporcunun kondisyon seviyesine ihtiyaç duymadan kullanılabilmesi, bu yöntemi antrenörler için evrensel bir araç haline getirmiştir (Borg, 1998; Céline vd., 2011). Nitekim yapılan çalışmalarda, AZD tabanlı programlanan egzersizlerin fizyolojik yanıtlar (kalp atım hızı ve laktat) açısından doğrulukla örtüştüğü ve bu verilerin yüklenme takibinde kullanılabilir düzeyde olduğu gösterilmiştir (Mendez-Villanueva vd., 2013). Ayrıca, genç kadınlar üzerinde yapılan bir çalışmada, AZD yöntemiyle düzenlenen HIIT seanslarının, kalp atım hızına dayalı programlarla benzer fizyolojik adaptasyonlar sağladığı bulunmuştur (Céline vd., 2011). Bu durum, AZD temelli yaklaşımın pratikte uygulanabilir ve evrensel bir egzersiz düzenleyici olarak öne çıktığını göstermektedir (Borg, 1998; Coutts vd., 2009). Ancak bu yöntemin belirli fizyolojik yanıtları hassas biçimde hedefleme noktasında sınırlılıkları da bulunmaktadır (Jamnick vd., 2020).

Bu sınırlılıklara ilişkin önemli bir örnek, Seiler ve Sylta (2017) tarafından yürütülen bir çalışmada, iyi antrenmanlı 63 bisikletçiye yalnızca yüklenme süresi farklı olan üç HIIT modeli ( $4 \times 4$  dk,  $4 \times 8$  dk ve  $4 \times 16$  dk) uygulanmış ve tüm seanslar “maksimum sürdürülebilir efor” yaklaşımına dayalı olarak reçetelendirilmiştir (Seiler ve Sylta, 2017). Bununla birlikte, yüklenme süresi azaldıkça seansın ortalama yoğunluğu artmış (%95, %106, %117 zamana karşı test), buna bağlı olarak kalp atım hızı (%89, %91, %94) ve kan laktat düzeyleri (sırasıyla, 4.7, 9.2 ve 12.7  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) de yükselmiştir. Seansların benzer AZD değerleriyle gerçekleştirilmesine rağmen fizyolojik yanıtların anlamlı düzeyde farklılık göstermesi, yalnızca AZD verisine dayalı programlamanın hedefe yönelik fizyolojik uyarımlar oluşturmak açısından yetersiz kalabileceğini ortaya koymaktadır (Buchheit vd., 2011; Jamnick vd., 2020). Bu nedenle, AZD temelli uygulamaların, hız, güç, kalp atımı ve laktat gibi objektif verilerle desteklenmesi, antrenman programlamasında belirsizliklerin azaltılması açısından önem taşımaktadır (Buchheit vd., 2011; Jamnick vd., 2020).

AZD'nin daha ayrıntılı ve yaş/aktiviteye özgü biçimde değerlendirilmesine olanak tanıyan alternatif ölçekler de geliştirilmiştir (American College of Sports Medicine, 2022; Borg, 1998). OMNI algılanan zorluk derecesi skalası, çeşitli egzersiz türleri için (koşu bandı, sabit bisiklet egzersizleri, direnç antrenmanı ve step aerobik vb.) geliştirilmiş versiyonları ile dikkat çeker (American College of Sports Medicine, 2022). "OMNI" terimi, Latince kökenli "omnibus" (her şeyi kapsayan) kelimesinin çağdaş bir kısaltmasıdır ve algılanan zorluk düzeyini ölçmek için ortak özelliklere sahip ölçekleri tanımlamak için kullanılır. OMNI skalası, 0'dan 10'a kadar sayısal bir yanıt aralığına sahiptir ve hem konuşma hem de egzersiz türlerine özel görsel betimleyiciler içerir (Tablo 4). Bu özellikleri sayesinde, özellikle genç yetişkinler için hem üst hem de alt vücut egzersizlerinde geçerliliği test edilmiş ve uygulanması kolay bir araç olarak literatürde yer edinmiştir (Robertson vd., 2003).

**Tablo 4.** Borg CR10 Skalası | Borg 6–20 AZD Skalası

CR10 Skalası		6–20 Skalası	
0	Hiç zorluk yok	6	Hiç zorluk yok
0,5	Çok çok hafif	7	Çok çok hafif
1	Çok hafif	8	
2	Hafif	9	Çok hafif
3	Biraz zor	10	
4	Zor	11	Hafif
5		12	
6		13	Biraz zor
7	Çok zor	14	
8		15	Zor
9		16	
		17	Çok zor
		18	
10	Maksimal zorluk	19	Aşırı zor
		20	Maksimal zorluk

**Tablo 5.** OMNI Algılanan Zorluk Derecesi Skalası

Puan	Tanım
0	Hiç yok
1	Çok hafif
2	Hafif
3	
4	Orta
5	
6	Biraz şiddetli
7	
8	Şiddetli
9	
10	Çok şiddetli

### 7.2.1.2 Maksimal Aerobik Hız Temelli Yöntem

Maksimal aerobik hız ya da  $VO_{2maks}$  hız temelli antrenman modellemesi, egzersiz şiddetinin bireysel fizyolojik kapasiteye göre hassas biçimde belirlenmesine ve adaptasyon süreçlerinin izlenmesine olanak tanır (Billat, 2001; Midgley vd., 2012). Bu yöntemin temelinde, sporcunun maksimal aerobik kapasitesine ulaştığı hıza (koşuda) veya güç çıktısına (bisiklet) dayalı olarak egzersiz yoğunluğunun yapılandırılması yer alır (Billat, 2001; Jones vd., 2010).  $VO_{2maks}$  hızını belirlemek için tipik olarak kademeli olarak artan bir egzersiz testi (rampa protokolü ya da sabit kademe testi) kullanılır (Billat, 2001).

Bu test sırasında bireyin solunumsal eşikleri belirlenir ve ulaşılan son hız, potansiyel  $VO_{2maks}$  hız aralığını belirlemek için referans olarak alınır (Billat, 2001; Midgley vd., 2012). Örneğin, bir sporcunun  $VO_{2maks}$  hızı 17 km/s olarak saptanmış ise bu veriler bireyselleştirilmiş HIIT protokollerinin oluşturulmasında temel alınabilir. Bu doğrultuda, belirlenen hızda 1:1 oranında (örneğin 1 dakika yüklenme + 1 dakika toparlanma) yapılan interval egzersizleri, bireyselleştirilmiş ve kısa süreli bir yaygın (extensive) HIIT modeli oluşturur. Sporcu tükenene kadar bu modeli sürdürür. Örneğin, 16 tekrar yapabilen bir sporcu, 16 dakika yüklenme ve 15 dakika toparlanma olmak üzere toplamda 31 dakikalık bir antrenman gerçekleştirmiş olur (Norouzi vd., 2023). Bu bireysel modele dayalı yaklaşım, yalnızca  $VO_2$  tepkilerini değil, aynı zamanda kan laktat düzeyi, kalp atım tepkisi ve egzersize verilen subjektif yanıtları da dikkate alarak egzersiz reçetelendirmesini daha hassas hale getirir (Billat, 2001; Buchheit vd., 2011; Norouzi vd., 2023). Bu bakımdan,  $VO_2$  taşıma ve kullanım kapasitesini maksimize etmeye yönelik HIIT stratejilerinde, sporcunun  $VO_{2maks}$  seviyesinde geçirdiği sürenin uzatılması, yüksek kardiyak dolum basıncı ve maksimal atım hacmi koşullarında antrenman yapılması, kas ve/veya beyin oksijenlenmesinde büyük dalgalanmalar yaratılması gibi fizyolojik hedefler ön plandadır. Aynı yaklaşım bisiklet ergometresi üzerinde de uygulanmaktadır (Coates vd., 2023).

Sonuç olarak,  $VO_{2maks}$  hız dayalı bireyselleştirilmiş HIIT modeli, yüklenme süresi, dinlenme oranı, tekrar sayısı ve uygulanan yoğunluk gibi faktörlerin sporcunun fizyolojik tepkilerine göre en iyi şekilde

ayarlanmasını sağlar (Billat, 2001; Buchheit ve Laursen, 2013a). Bu durum, hem dayanıklılık hem de yüksek yoğunluk toleransını geliştirmek adına etkili ve bilimsel temelli bir stratejidir (Coates vd., 2023; Midgley vd., 2012).

### 7.2.1.3 Güç Ölçer (Power-Meter) Temelli Yöntemler

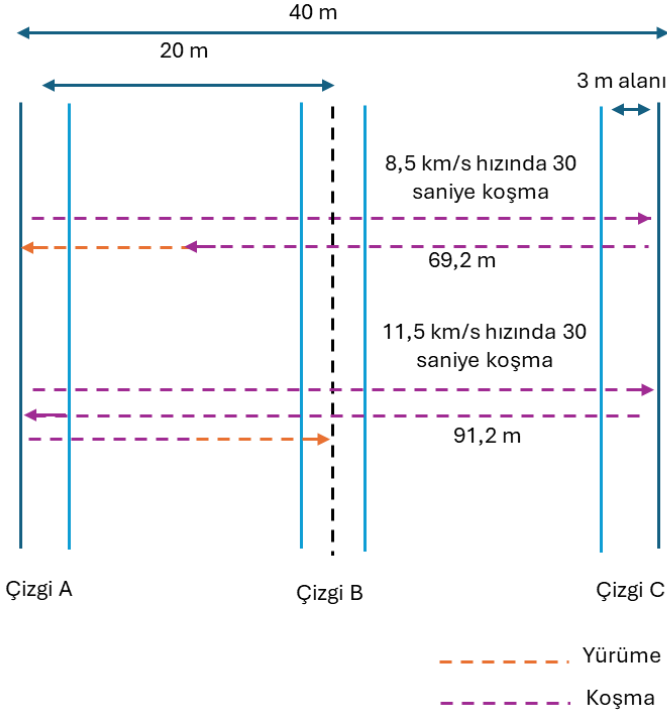
Güç ölçer tabanlı antrenman planlama, özellikle bisiklet gibi direnç kontrollü egzersizlerde dış yükün watt cinsinden doğrudan ölçülmesini sağlayarak yüksek hassasiyet sunar (Jobson vd., 2012; Jones vd., 2010). Laboratuvar ortamında elektromanyetik frenli bisiklet ergometreleri ve gaz analizörleri kullanılarak her antrenman alanına ait yükler belirlenir ve bu veriler farklı amaçlara yönelik antrenman modellerine dönüştürülebilir (Jones vd., 2010; Norouzi vd., 2023). Bu sürecin temel basamağı rampa testidir (Poole vd., 2008). Rampa testi için kullanılan protokoller farklı başlangıç yükleri ve artış hızlarında uygulanabilmekte birlikte, başlangıçta 4 dakikalık düşük şiddette (yaklaşık 20-30 W) pedal çevirme evresiyle başlayan modeller, sporcunun  $VO_2$  kinetiğini en temel seviyeden itibaren gözlemleme avantajı sunar (Norouzi vd., 2023; Ozkaya vd., 2025). Ardından yük, ramp protokolünde olduğu gibi her 2-3 saniyede 1 W artırılarak tükeniş noktasına kadar devam eder. Bu test, solunumsal eşiklerin yani birinci ve ikinci solunumsal eşik ( $SE_1$  ve  $SE_2$ ) ve maksimal aerobik güç belirlenmesinde yüksek geçerliliğe sahiptir (Norouzi vd., 2023; Ozkaya vd., 2025). Elde edilen bu parametreler doğrultusunda, bireye özgü yüklenme şiddetleriyle HIIT antrenman modelleri tasarlanabilir. Bu kapsamda, Norouzi ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, şiddetli egzersiz alanı içinde ve bu alanın üst sınırında uygulanan üç farklı HIIT protokolünün akut fizyolojik etkileri karşılaştırılmıştır (Norouzi vd., 2023). HIIT modelleri: i) 4–6 set  $\times$  3 dk %95  $VO_{2maks}$  şiddetinde, ii) 16–18 set  $\times$  1 dk %105  $VO_{2maks}$  şiddetinde, iii) 4–7 set  $\times$  1–2 dk şiddetli alanın üst sınırına karşılık gelen şiddette gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, en yüksek laktat yanıtı ( $\sim 16$  mmol $\cdot$ L $^{-1}$ ) ve en uzun süreli  $VO_{2maks}$  zamanı, şiddetli alanın üst sınırına karşılık gelen şiddetteki protokolde elde edilmiştir (Norouzi vd., 2023). Bu bulgular, HIIT antrenmanlarında sadece egzersiz

yoğunluğu değil, uygulandığı fizyolojik alanın sınırlarının da performans adaptasyonları açısından kritik olduğunu göstermektedir.

### 7.2.1.4 30-15 Aralıklı Fitness Testi

30-15 Aralıklı Fitness Testi (30-15 AFT), özellikle takım sporcuları için geliştirilmiş, yüksek geçerlilik ve güvenilirliği bilimsel olarak kanıtlanmış, saha koşullarına uyarlanabilirliği son derece güçlü bir testtir (Buchheit, 2008). Test, 30 saniyelik koşu ve 15 saniyelik pasif toparlanma aralıklarından oluşur ve her aşamada hız kademeli olarak artar. Bu özgün yapısı sayesinde test, yalnızca dayanıklılığı değil, aynı zamanda tekrar eden hızlanma-yavaşlama kapasitesini, yön değiştirme becerisini ve toparlanma kinetiklerini de değerlendirir (Şekil 6).

**Şekil 6.** 30-15 Aralıklı Fitness Testi (30-15 AFT) için saha yerleşimi ve farklı hızlarda iki interval koşu örneği.



*Orijinal şekilden uyarlanmıştır: Buchheit, M. (2010). The 30-15 Intermittent Fitness Test: 10 Year Review. Myorobie Journal, 1, 1–19.*

Sporcunun tamamladığı son hız ( $H_{AFT}$ ), yalnızca  $VO_{2maks}$  hızı ile ilişkili değildir, aynı zamanda maksimal sprint hızı (MSS), ASR, yön değiştirme kabiliyeti ve fosfokreatin yenilenme hızı gibi çok boyutlu fizyolojik belirleyicilerin bütünleşik bir göstergesidir (Buchheit, 2010). Dolayısıyla  $H_{AFT}$ , klasik rampa testlerine kıyasla sporcunun gerçek sahadaki performans profilini daha doğru yansıtır.

Araştırmalar,  $H_{AFT}$ 'nin geleneksel  $VO_{2maks}$  hız değerlerinden ortalama %15–25 daha yüksek olduğunu göstermiştir (Buchheit, 2008, 2010; Buchheit vd., 2021). Bu nedenle HIIT seansları genellikle  $H_{AFT}$ 'nin %90–120'si arasında reçetelendirilir. Ancak kısa süreli interval uygulamalarında veya tekrar-sprint protokollerinde bu oran %100'ün üzerine çıkabilmektedir (Buchheit ve Laursen, 2013a). Örneğin,  $H_{AFT}$ 'si 19 km/s olan bir sporcunun %95  $H_{AFT}$  şiddetinde 15 saniyelik bir intervalde kat etmesi gereken mesafe şu şekilde hesaplanır:  $(19 \div 3,6) \times 0,95 \times 15 = 75$  metre. Bu hesaplama yalnızca düz koşulları için geçerlidir. Yön değiştirme içeren mekik koşullarında her dönüş, mekanik yük ve metabolik maliyeti artırdığı için düzeltme katsayısı (COD; correction factor) uygulanması gerekir (Buchheit ve Laursen, 2013b). Literatürde bu düzeltmenin %3 ila %30 arasında değiştiği bildirilmiştir ve bireyin kondisyon düzeyi, teknik becerisi ve antropometrik özellikleri bu oranı etkiler (Buchheit ve Laursen, 2013b; Rampinini vd., 2007). Bu nedenle, yön değiştirme içeren HIIT uygulamalarında, eşdeğer fizyolojik yükü sağlamak için mesafe, süre veya hız parametrelerinde uygun düzeltmeler yapılmalıdır (Dellal vd., 2008; Hill-Haas vd., 2012).

30-15 AFT, yalnızca  $VO_{2maks}$  temelli testlere kıyasla, sporcuların çoklu fizyolojik kapasitelerini (aerobik katkı ~%67, anaerobik a-laktik katkı ~%30, laktik katkı <%5) ve nöromüsküler yüklerini entegre biçimde yansıtır (Buchheit ve Brown, 2020). Bu yönüyle, HIIT programlamasında daha kapsamlı ve bireyselleştirilmiş bir referans değeri sağlar. Özellikle yön değiştirmeli HIIT modellerinde,  $VO_{2maks}$  şiddeti gibi tek boyutlu ölçütlere kıyasla çok daha hassas bir bireyselleştirme imkânı sunar (Buchheit, 2008). Nitekim literatürde,  $H_{AFT}$ 'ye dayalı reçetelendirilmiş HIIT protokollerinin, kalp atım yanıtlarında varyasyon katsayısının %3'ün altında kaldığı ve MAS

temelli reçetelere kıyasla daha homojen bir yüklenme oluşturduğu gösterilmiştir (Buchheit, 2008).

Son yıllarda 30-15 AFT, spor branşlarının yapısal ve saha farklılıklarına göre çeşitli versiyonlara uyarlanarak daha yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Buchheit, 2008, 2010; Buchheit vd., 2021). 40 metrelik orijinal versiyon futbol ve hentbol gibi geniş saha sporlarında tercih edilirken, 28 metrelik kısa versiyon basketbol ve raket sporları gibi daha dar alanlı branşlara uyarlanmıştır (Buchheit, 2010; Buchheit vd., 2021). Atletizm de düz hat koşu versiyonu, buz hokeyinde ise buz zemini versiyonu geliştirilmiştir. Bu çeşitlilik, testin spora özgü özellikleri değerlendirme kapasitesini artırmış ve saha koşullarında yüksek pratik uygulanabilirlik sağlamıştır (<https://30-15ift.com>).

### 7.2.1.5 Anaerobik Hız Rezervi Ölçümleri

Anaerobik sprint rezervi (ASR), bireyin maksimum oksijen tüketimine karşılık gelen hız veya güç ( $VO_{2maks}$  şiddeti) ile maksimal sprint hızı (MSH) ya da 5 saniyelik maksimum ortalama güç çıktısı arasındaki egzersiz kapasitesini tanımlar (Buchheit ve Laursen, 2013a). Maksimum ortalama güç çıktısı, bisiklet ergometresi gibi güç temelli testlerde, sporcunun 5 saniyelik en yüksek ortalama mekanik güç üretimini watt cinsinden ifade eder. Bu parametre, özellikle saha uygulamalarında antrenman şiddetinin bireyselleştirilmesinde genellikle yeterince dikkate alınmamaktadır (Blondel vd., 2001; Buchheit ve Laursen, 2013b; Coates vd., 2023). Oysa koşu antrenörleri bu kavramı uzun süredir dolaylı olarak kullanmakta olup, bilimsel temeli ilk kez Blondel ve arkadaşlarının çalışmalarıyla ortaya konmuştur (Blondel vd., 2001). Bu çalışmada,  $VO_{2maks}$  şiddeti üzerindeki egzersizlerde tükenme süresinin,  $VO_{2maks}$  şiddetinden ziyade ASR ve MSS ile daha güçlü ilişkili olduğu gösterilmiştir. Takip eden çalışmalar (Péronnet ve diğ., 2006; Bundle ve diğ., 2003; Weyand ve diğ., 1999) kullanılan ASR oranının, birkaç saniyeden birkaç dakikaya kadar süren maksimal eforlarda performansını belirleyebileceğini ortaya koymuştur.

Başlangıçta sürekli egzersizlere odaklanılmış olsa da ASR yakın zamanda HIIT koşular (Buchheit ve Laursen, 2013a, 2013b) ve tekrarlı sprint performansı (Bishop vd., 2011; Buchheit, 2010; Girard vd., 2011) ile ilişkilendirilerek incelenmeye başlanmıştır. Uygulamada, benzer  $VO_{2maks}$  hız değerine sahip iki sporcu, oldukça farklı MSS değerlerine sahip olabilir (Buchheit ve Laursen, 2013a). Eğer bu iki sporcuya saha uygulamalarında sıkça olduğu gibi benzer bir yüzde  $VO_{2maks}$  şiddetinde antrenman yaptırılırsa (örneğin: Dupont vd., 2004)), her birinin ASR'nin farklı bir oranı kullanılmış olur, bu da fizyolojik yüklenme ve egzersiz toleransında farklılıklara yol açar (Buchheit ve Laursen, 2013a). Bu nedenle, özellikle supramaksimal HIIT protokollerinde, yalnızca  $VO_{2maks}$  şiddeti değil aynı zamanda MSS ve ASR ölçümleri de antrenman şiddetinin bireyselleştirilmesi açısından dikkate alınmalıdır (Blondel vd., 2001; Buchheit ve Laursen, 2013a).

MSS düzeylerini belirlemek için az sayıda geçerli yöntem bulunmaktadır, ancak bu yöntemlerin yol açtığı değişkenlik,  $VO_{2maks}$  hızı veya kademe testlerinde görülen değişkenlikten daha düşüktür (Buchheit ve Laursen, 2013b). MSH için en yaygın uygulama, “flying 10 m” (Buchheit, 2010) veya “flying 20 m” (Girard vd., 2011) sürelerinin kullanılmasıdır. Ayrıca radar tabanlı anlık hız ölçümleri (Clark vd., 2014) ya da GPS sistemleri (Aughey, 2011) de bu ölçüm için kullanılabilir. Bu yöntemler arası fark genellikle %2'nin altındadır ve bu da  $VO_{2maks}$  hızı gibi testlerdeki %20'ye varan farklılıklara göre oldukça düşüktür (Buchheit ve Laursen, 2013a). Ayrıca, MSS ölçümündeki tipik hata %1 civarındayken, kademe testleriyle ölçülen  $VO_{2maks}$  şiddeti için bu oran %3,5'e çıkabilmektedir (Buchheit ve Laursen, 2013b). Tüm bu veriler, ASR hesaplamalarının MSS'ye göre değil, daha çok  $VO_{2maks}$  şiddeti belirlemedeki değişkenliğe bağlı olarak hataya açık olduğunu göstermektedir.

### **7.2.1.6 Maksimum Eforlu Sprint Antrenmanları (All-out Sprint training)**

Maksimum eforlu sprint antrenmanları, başlangıçtan itibaren mümkün olan en yüksek şiddetin hedeflendiği ve eforun tamamında bu düzeye ulaşmak için çaba gösterildiği sprint eforlarını içeren antrenman

modelleridir (Macinnis vd., 2016). Literatürde “all-out sprint training” olarak tanımlanan bu yöntem, belirli bir mesafe veya süre boyunca mutlak maksimal eforla gerçekleştirilen sprintlerden oluşur (Girard vd., 2011).

Uygulamada bu antrenmanlar genellikle iki alt kategoriye ayrılır: kısa süreli sprintler (3–10 sn) ve uzun süreli sprintler (30–45 sn) olarak tanımlanan SIT protokolleridir (Laursen ve Buchheit, 2019). Tüm eforun maksimum düzeyde harcandığı bu antrenmanlarda, şiddetin ayarlanabilmesi için bireysel koşu hızı veya  $VO_{2maks}$  şiddeti gibi parametrelerin belirlenmesine ihtiyaç duyulmaz.

Bu antrenman tipi, yüksek anaerobik enerji katkısı, belirgin nöromüsküler yüklenme ve kısa süreli fakat yüksek metabolik stres yaratmasıyla öne çıkar (Buchheit, Abbiss, vd., 2012). Bununla birlikte, toparlanma sürecinin uzun olması ve yüksek kas-iskelet sistemi stresi, planlama ve periodizasyon açısından dikkatli yaklaşımı gerektirir (Lorenz vd., 2010). Bu doğrultuda, Buchheit ve arkadaşları (2012), iyi antrenmanlı bisikletçilerle 2 dakikalık pasif toparlanma aralarıyla uygulanan  $6 \times 30$  saniyelik maksimum efor sprintlerden oluşan bir protokol kullanarak, tüm eforla yapılan sprint interval antrenmanlarının kardiyorespiratuar ve kas oksijenasyon yanıtlarını değerlendirmişlerdir. Her sprint tekrarında güç çıktısında yaklaşık %21’lik bir azalma gözlenmesine rağmen, yakın-kızılötesi spektroskopisi (NIRS) ile değerlendirilen kas oksijen ekstraksiyonunun artmaya devam ettiği bulunmuştur. Bu bulgular, seans ilerledikçe aerobik enerji sisteminin katkısının arttığını ve bu durumun yorgunluğa karşı daha dirençli fizyolojik adaptasyonların gelişmesini desteklediğini göstermektedir. Bu bulgular, all-out sprint interval antrenmanlarının yalnızca anaerobik kapasiteyi geliştirmediğini, aynı zamanda dayanıklılıkla ilişkili aerobik enerji sistemini de etkin biçimde uyaran çok yönlü bir antrenman modeli sunduğunu göstermektedir (Buchheit, Abbiss, vd., 2012).

### 7.2.1.7 Atletizm Tabanlı Yaklaşım

Dayanıklılık koşucuları için HIIT planlamasında, geçmişte antrenörler çoğunlukla bireysel 800–5000 m yarış performansına dayalı özel koşu hızlarını referans almıştır. Bu yöntemde ne kalp atım hızı, ne

VO<sub>2maks</sub> şiddeti, ne de laktat eşiği gibi doğrudan fizyolojik göstergeler kullanılmaz (Billat, 2001). Yaklaşımın temel avantajı, sporcunun maksimal sprint ve aerobik kapasitesini dolaylı olarak dikkate alarak her bir koşu temposunu bireysel performans potansiyeline göre belirleyebilmesidir (Midgley vd., 2012).

Bu çerçevede kısa süreli yüklenmeler (10–60 sn), sporcunun kendi en iyi 100–400 m sprint derecelerinin belirli bir yüzdesi üzerinden planlanır, daha uzun intervaller (2–8 dk) için 800–2000 m ortalama yarış hızları temel alınır. Pirie (1996), farklı atlet profilleri için tamamen örnek niteliğinde yüklenme süreleri ve koşu hızları önermiştir. Örneğin, 100 m'yi 11 sn'nin altında koşabilen bir sprinter için antrenman temposu 12–13 sn, 400 m'yi 50 sn'nin altında koşabilen bir atlet için ise yaklaşık 14–15 sn olarak verilmektedir (Pirie, 1996). Benzer şekilde, uzun mesafe koşucularında aynı mesafe için süreler yaklaşık 16–17 sn civarında, 200 m koşuları için de sprinterler 25–26 sn, 400 m koşucuları 28–30 sn, orta mesafe koşucuları yaklaşık 30 sn ve uzun mesafe koşucuları 33–34 sn düzeyinde örneklenmiştir (Pirie, 1996). Bu rakamlar yalnızca fiziksel sınırlar değil, aynı zamanda dönemin antrenman deneyimlerini yansıtan pratik rehberlerdir. Ancak, pratik olması nedeniyle bu yaklaşımın bazı sınırlılıkları göz ardı edilebilmektedir.

HIIT modellerinin akut fizyolojik yükünü hassas biçimde kontrol etmek ve spesifik adaptasyon hedeflerini kesin olarak tutturmak her zaman mümkün olmayabilir (Laursen ve Buchheit, 2019). Ayrıca, yöntemin uygulanabilmesi için hem hedef mesafelerde net zaman bilgisine sahip iyi antrenmanlı sporculara hem de bu verilere dayalı planlama yapabilecek deneyimli antrenörlere ihtiyaç vardır. Diğer spor dallarında veya bu düzeyde deneyime sahip olmayan sporcularda uygulanabilirliği sınırlı olabilir. Örneğin, daha önce 40 saniyeden fazla koşu tecrübesi olmayan 2,10 m boyundaki bir basketbolcu için 800 m hedef süresini tahmin etmek oldukça zordur. Buna karşılık, orta mesafe koşucuları veya triatletlerde geçmiş yarış verileri ve antrenman kayıtları kullanılarak daha isabetli hedefler belirlenebilir (Laursen ve Buchheit, 2019).

### 7.2.1.8 Kalp Atım Hızı Takibi

Günümüzde sporcularda iç yük takibi ve antrenman şiddetinin izlenmesinde en yaygın kullanılan fizyolojik belirteçlerden biri kalp atım hızıdır. Bu yöntem, özellikle orta-şiddetli ve uzun süreli egzersizlerde güvenilir bir izleme aracı olarak öne çıkmaktadır (Buchheit, 2014). KAH temelli egzersiz alanları hem antrenman programlamada hem de yüklenme takibinde yaygın biçimde kullanılmakta olup, genellikle tahmini  $KAH_{maks}$ 'a göre tanımlanır (Buchheit, 2014). Örneğin, %64-76  $KAH_{maks}$  "orta şiddet", %77-95 "şiddetli", %95 ve üzeri ise "maksimale yakın" veya "maksimal" olarak sınıflandırılır. Bu yaklaşım akıllı saatler ve giyilebilir teknolojilerde de yaygın olarak uygulanmakta, yaşa dayalı  $KAH_{maks}$  tahminleri üzerinden otomatik alan dağılımı yapılarak egzersiz sırasında veya sonrasında şiddet analizi sağlanmaktadır. Örneğin, Fox, Tanaka ve Gellish formülleri kullanıldığında 37 yaşındaki bir bireyin  $KAH_{maks}$ 'ı sırasıyla 183, 182,1 ve 182,1 atım olarak tahmin edilir ve bu değerler bireysel egzersiz alan hesaplamalarında referans alınır (Tablo 3). HIIT protokollerinde, kısa süreli modelde KAH'nın çoğu sporcuda 180-194 atım, uzun süreli yüklenmeler içeren modelde ise 190 atım'ın üzerinde seyrettiği bildirilmiştir. Her iki durumda da KAH'nın %90 ve üzeri seviyelere ulaşması, kardiyovasküler yükün oldukça yüksek olduğunu gösterir. Bununla birlikte, KAH tabanlı yöntemler HIIT'lerde sınırlılıklara sahiptir. Kısa (<45 sn) ve orta uzunluktaki (1-2 dk) intervallerde KAH,  $VO_2$  kadar hızlı yükselmez; bu durum KAH gecikmesi olarak adlandırılır (Seiler ve Hetlelid, 2005). Toparlanma evresinde kalp atım hızının geç düşmesi, fizyolojik yükün olduğundan daha yüksek algılanmasına neden olabilir. Bu durum, birey gerçekte beklenen seviyede toparlanmış olsa bile, KAH verilerine dayalı olarak egzersiz şiddetinin gereğinden düşük belirlenmesine ve uygulamada düşük yüklenmeye yol açabilir (Seiler ve Sjursen, 2004). Ayrıca KAH'nin fizyolojik bir üst sınırı vardır ve şiddet artsa bile bu değeri geçemez (Tanaka vd., 2001). Bu nedenle iki farklı yüksek şiddet modelinde KAH aynı seviyeye ulaşabilirken, metabolik yük farklı olabilir (Jamnick vd., 2020). Dayanıklılık düzeyi yüksek sporcular ise  $KAH_{maks}$  seviyelerinde daha uzun süre kalabilirken, bazı bireyler kısa

sürede tüketebilir (Tanaka vd., 2001). Bu kapsamda, %90–95  $KAH_{maks}$  ile planlanan HIIT ile  $H_{AFT}$ 'e göre planlanan HIIT karşılaştırılmış ve  $H_{AFT}$  temelli yaklaşımın yüksek şiddetli koşu performansında daha fazla gelişim sağladığı gösterilmiştir (Rabbani ve Buchheit, 2015). Dolayısıyla KAH, programlama yerine izleme aracı olarak daha uygundur. Dayanıklılık sporlarında örneğin bir antrenman "Alan 5" olarak reçete edilebilir, sporcu temposunu algısal olarak belirlerken KAH yalnızca takip amacıyla kullanılır (Coates vd., 2023). Takım sporlarında da sezon içi bireysel HIIT yüklemelerinde KAH, test verisi yerine takip veya izleme aracı olarak tercih edilmektedir (Buchheit vd., 2011). Sonuç olarak, KAH tabanlı sistemler pratik ve erişilebilir olsa da, şiddetin doğru ve bireysel hedeflenebilmesi için  $H_{AFT}$ , AZD veya laktat gibi ek belirteçlerle desteklenmesi önerilir (Şekil 7 ve Tablo 6).

**Tablo 6.** Yaşa Göre Maksimum Kalp Atım Hızına Dayalı Egzersiz Şiddeti Bölgeleri (37 Yaş Erkek Örneği)

Şiddet Alanı	% $KAH_{maks}$ Aralığı	Alt Sınır (atım/dakika)	Üst Sınır (atım/dakika)	AZD
Maksimale Yakın – Maksimal	≥95%	≥173	—	≥18/20
Şiddetli	77-95%	140,1	172,9	14- 17/20
Orta	64-76%	116,5	138,3	12- 13/20
Düşük	57-63%	103,7	114,7	9-11/20
Çok Düşük	<57%	<103,7	—	≤9/20

***KAH<sub>maks</sub> Hesaplama Formülleri ve Yüzdeler Hesaplamalar***

i)  $KAH_{maks} = 220 - \text{yaş} \rightarrow 220 - 37 = 183 \text{ atım/dakika}$  (Fox ve Naughton, 1972); ii)  $KAH_{maks} = 208 - (0,7 \times \text{yaş}) \rightarrow 208 - 25,9 = 182,1 \text{ atım/dakika}$  (Tanaka vd., 2001); iii)  $KAH_{maks} = 206,9 - (0,67 \times \text{yaş}) \rightarrow 206,9 - 24,79 = 182,1 \text{ atım/dakika}$  (Gellish vd., 2007)

***Egzersiz Alanları hesaplama örnekleri (Maksima nabız 182 atım/dakika üzerinden)***

$$\%95 \times 182 = 173 \text{ atım/dakika}$$

$$\%77 \times 182 = 140,1 \text{ atım/dakika}$$

$$\%64 \times 182 = 116,5 \text{ atım/dakika}$$

$$\%57 \times 182 = 103,7 \text{ atım/dakika}$$



**Şekil 7.** Performans ve Sağlık Amaçlı Aralıklı Antrenman Uygulamalarında Şiddet Alanları ve Sınıflandırmaların Kavramsal Çerçevesi

Performans		Sağlık		
Varsayımsal Bir 6-Alan Antrenman Modeli Örneği		Eşik Tabanlı Yaygın Egzersiz Şiddeti Alanları	Aerobik Fiziksel Aktivite için Yaygın Şiddet Sınıflandırmaları	Kardiyorespiratuar Egzersiz için Şiddet Sınıflandırmalarına Örnek
SIT HIT	Alan 6 – Kısa Sprint AZD 19-20/20	(Aşırı) Şiddetli	Şiddetli	Maksimale Yakın – Maksimal ≥95 HR <sub>maks</sub> ≥950 HRR ≥951 VO <sub>2maks</sub> ≥18/20 AZD
	Alan 5 – Zor / İnterval AZD 17-18/20	KG/KH, LT2, LTP, MLD	6 MET, 7/10 AZD	Şiddetli %77-95 HR <sub>maks</sub> %60-89 HRR %64-90 VO <sub>2maks</sub> 14-17/20 AZD
	Alan 4 – Tempo / Eşik AZD 14-16/20	Ağır	Orta	Orta %64-76 HR <sub>maks</sub> %40-59 HRR %48-63 VO <sub>2maks</sub> 12-13/20 AZD
	Alan 3 – Dengeli AZD 12-13/20	LT1, GET	3 MET, 5/10 AZD	Düşük %57-63 HR <sub>maks</sub> %30-39 HRR %37-45 VO <sub>2maks</sub> 9-11/20 AZD
	Alan 2 – Taban / Dayanıklılık AZD 10-11/20	Orta	Düşük	Çok Düşük <%57 HR <sub>maks</sub> <%30 HRR <%37 VO <sub>2maks</sub> <9/20 AZD
	Alan 1 – Kolay AZD <9/20		1,5 MET	

Bu şekil, interval antrenmanların performans ve sağlık hedeflerine yönelik nasıl yapılandırılabileceğine dair bütüncül bir kavramsal çerçeve sunmaktadır. Performans odaklı bölümde, egzersiz yoğunluğu; kritik eşikler, maksimal oksijen tüketimi, anaerobik hız rezervi ve maksimal sprint hızı gibi fizyolojik belirleyiciler doğrultusunda sınıflandırılmıştır. Bu yapı, özellikle HIIT ve SIT gibi farklı interval modellerinin, hangi fizyolojik bölgelerde uygulandığını anlamaya olanak tanır. Öte yandan, sağlık perspektifiyle bakıldığında; egzersiz şiddeti, kalp atım rezervi, MET, algılanan efor gibi göstergelere göre sınıflandırılmış ve sağlık kuruluşlarının önerdiği fiziksel aktivite düzeyleriyle ilişkilendirilmiştir. Bu yaklaşım, performans testlerinden elde edilen verilerin, saha uygulamalarına aktarılmasını kolaylaştırırken; bireysel kapasitelere göre özelleştirilmiş antrenmanların da temelini oluşturur.

**Kısaltmalar:** *KG/KH* = kritik güç/kritik hız, *GDE* = gaz değişim eşiği, *HIIT* = yüksek yoğunluklu interval antrenman, *KAH<sub>maks</sub>* = maksimum kalp atım hızı, *KAHR* = kalp atım hızı rezervi, *LE1* = birinci laktat eşiği, *LE2* = ikinci laktat eşiği, *MAS* = maksimal aerobik hız, *MET* = metabolik eşdeğer, *MLSD* = maksimal laktat sabit durumu, *MSH* = maksimal sprint hızı, *AZD* = Algılanan

*Zorluk Derecesi (10'lık ya da 20'lik skala), SIT = Sprint interval antrenman, VO<sub>2maks</sub> = maksimal oksijen tüketimi. Kaynak: Coates ve arkadaşlarının (2023) çalışmasından uyarlanmıştır.*

### 7.2.1.9 Dar Alan Oyunları Yaklaşımı (Becerilere yönelik kondisyon geliştirme)

Takım sporlarının teknik ve taktik gereklilikleri doğrultusunda ve antrenmanlarda özgüllük ilkesine uygun olarak, oyun tabanlı kondisyonel yaklaşımlar, özellikle dar alan oyunları (Buchheit vd., 2011; Gabbett, 2006; Owen vd., 2004) veya beceri tabanlı antrenmanlar (Clemente vd., 2021) son yıllarda büyük bir ivme kazanmıştır (Hill-Haas vd., 2012). Bununla birlikte, dar alan oyunları sırasında ortaya çıkan oksijen tüketimi yanıtlarını doğrudan raporlayan çalışmalar sınırlıdır ve mevcut bulgular çoğunlukla belirli spor branşlarıyla sınırlı örneklemelerden elde edilmiştir. Bu kapsamda, elit düzey hentbol oyuncularıyla yapılan bir çalışmada, 8 dakikalık bir dar alan oyunu protokolü sırasında sporcuların VO<sub>2maks</sub> değerlerinin yaklaşık %70'ine ortalama 5 dakika 30 saniye içinde ulaştığı bildirilmiştir (Buchheit vd., 2009). Bu bulgu, dar alan oyunlarının anlamlı bir kardiyorespiratuvar uyarı oluşturabildiğini ve performansla ilişkili fizyolojik bir yüklenme sağlayabildiğini göstermektedir (Coutts vd., 2009; Hill-Haas vd., 2012). Ancak, dar alan oyunlarında yüklenme şiddetinin oyuncular arası etkileşim, oyun kuralları, alan boyutları ve teknik-taktik tercihler gibi çok sayıda değişkene bağlı olması, fizyolojik taleplerin standartlaştırılmasını güçleştirmektedir. Bu durum, özellikle sezonun belirli dönemlerinde veya bireysel fizyolojik hedeflerin önceliklendirildiği antrenman fazlarında, daha az özgül ancak yüklenme şiddeti ve yoğunluğu daha kontrollü koşu tabanlı HIIT protokollerinin tercih edilmesini gerekli kılabilir.

Dar alan oyunlarının fizyolojik yükünü değiştirmek, oyunun kurallarını değişmesiyle yapılabilir (Rampinini vd., 2007). Buna ek olarak, antrenman şiddetini kontrol etmek için oyuncu sayısını ve saha boyutunu değiştirmek, oyunun sürekli veya aralıklı oynanması, temas seviyesini artırmak veya azaltmak ve oyunculara pas, dokunuş ve oyun alanı ile ilgili basit kurallar koymak mümkündür. Ancak toplam yük,

protokolün doğası gereği kesin olarak standartlaştırılmaz. Aynı oyuncu bile farklı günlerde farklı fizyolojik tepkiler verebilir (örneğin, laktat varyasyon katsayısı %15–30 ve yüksek şiddetli koşu %30–50) (Dellal vd., 2008), ayrıca oyuncular arası varyasyonlar da klasik koşu tabanlı HIIT'e kıyasla daha büyüktür (Hill-Haas vd., 2012).

Özellikle aerobik kapasitesi yüksek ve iyi antrene sporcularda, dar alan oyunları sırasında ulaşılan oksijen tüketimi değerlerinin  $VO_{2maks}$ 'ın görece daha düşük bir yüzdesinde kaldığı bildirilmiştir (Buchheit vd., 2009), bu yaklaşımın aerobik kapasiteyi geliştirme açısından belli sınırlamalara sahip olabileceğini düşündürmektedir. Aynı zamanda, maksimal kardiyak fonksiyonun gelişimi için gerekli olan yüksek kardiyak dolum basıncının korunması, bu tür kısa süreli, interval ve çok yönlü hareket içeren yapılarda zorlaşabilir (Daussin vd., 2007).

Bu bakımdan, dar alan oyun sırasındaki KAH ile  $VO_2$  arasındaki ilişki, sabit koşullarda gözlenen sabit arteriovenöz fark varsayımı altında dolaylı olarak kalp atım hacmini yansıtabilir (Whipp vd., 1996). Bununla birlikte, bu oran koşu tabanlı uzun intervallere kıyasla anlamlı derecede daha düşük olabilmektedir. Örneğin, uzun intervallerde %95  $VO_{2maks}$  için %95  $KAH_{maks}$  gözlenirken, basketbol egzersizlerinde %79  $VO_{2maks}$  ile %92  $KAH_{maks}$  ve 5'e 5 futsal oyunlarında %52  $VO_{2maks}$  ile %72  $KAH_{maks}$  değerleri rapor edilmiştir (Buchheit, Kuitunen, vd., 2012; Carlo vd., 2011; Castagna vd., 2007). Bu durum, özellikle kalp atım hacmi üzerine olan adaptasyonları sınırlayabileceği gibi, KAH verilerine dayanarak yapılan fizyolojik yük analizlerinin de yanıltıcı olabileceğini göstermektedir (Hill-Haas vd., 2012; Rampinini vd., 2007). Ayrıca, oyunlar sırasında hız ile  $VO_2$  ve KAH arasındaki ilişki genellikle koşuya kıyasla daha yüksektir, bu da daha fazla kas kütlelerinin devreye girmesinden kaynaklanabilir (Dellal vd., 2008; Hill-Haas vd., 2012). Son olarak, oyunlar sırasında tekrar eden hızlanma, yavaşlama ve yön değiştirme gibi nöromüsküler stresler, önceden öngörülemeyen düzeyde olabilir ve bu yükler, antrenman modelleri oluşturulurken mutlaka dikkate alınmalıdır (Gabbett, 2006; Hill-Haas vd., 2012).

**Tablo 7.** Yüksek Şiddetli ve Kısa Süreli Dar Alan Oyunları Formatları ve Uygulama Örnekleri

Dar Alan Oyun Modeli	Saha Ölçüsü	Oyuncu Sayısı	Oyun Süresi	Dinlenme Süresi	Tipik İç Yük Yanıtı	Tipik Dış Yük Özelliği	Örnek Uygulama
<b>Kısa Alan (küçük saha)</b>	18–22 × 12–16 m	2–3	30–75 sn	30–60 sn (aktif)	KAH hızlı yükselir, KAH–VO <sub>2</sub> ayrışması belirgindir; anaerobik katkı yüksektir	Çok sayıda hızlanma, yavaşlama ve yön değiştirme; sprint sıklığı yüksek	10–12 × 45 sn oyun / 45 sn aktif toparlanma; maksimum pres, hızlı top kazanımı
<b>Orta Alan (orta saha)</b>	25–32 × 18–22 m	3–4	1,5–3 dk	45–90 sn (aktif veya pasif)	KAH yüksek düzeyde sürdürülür; AZD ve metabolik stres belirgindir	Toplam koşu mesafesi artar; sprint ve tempo koşuları dengelidir	8–10 × 2 dk oyun / 1 dk toparlanma; geçiş oyunu, yön değiştirme kısıtlı
<b>Büyük Alan (geniş saha)</b>	35–45 × 25–30 m	5–6	3–6 dk	1–2 dk (genelde pasif)	KAH yüksek ama daha stabildir; VO <sub>2</sub> yanıtı artar ancak plato görülebilir	Daha fazla toplam mesafe; yüksek hızlı koşu oranı artar, sprint sıklığı azalır	4–6 × 4 dk oyun / 1–2 dk toparlanma; geniş alan yerleşimi, hücum setleri

Tablo 7 yüksek şiddetli ve kısa süreli dar alan oyunlarının formatlarını ve tipik uygulama özelliklerini göstermektedir. Bu tabloda sunulan kısa, orta ve büyük alan oyun modelleri, oyun alanı boyutu, oyuncu sayısı ve yükleme süresine bağlı olarak ortaya çıkan iç ve dış yük yanıtlarını özetlemektedir. Tablo, özellikle oyun temelli kondisyonel antrenmanlarda fizyolojik yüklenmenin nasıl değiştiğini göstermek için tasarlanmıştır. Dar alan oyunlarında kısa, orta ve büyük alan formatlarına ait tipik uygulama özellikleri ve yüklenme desenleri. Bu tablo, Iacono ve arkadaşları (2023) tarafından yayımlanan sistematik derleme ve meta-analizden uyarlanmıştır. Dar alan oyunlarının fizyolojik temellerine ilişkin kavramsal çerçeve ise (Hill ve arkadaşları (2012) tarafından sunulan derleme çalışmasına dayanmaktadır. Oyun alanı boyutları, oyuncu sayısı ve kurallar, hedeflenen fizyolojik yük ve teknik-taktik amaçlara göre değiştirilebilir. Dinlenme süreleri pasif veya aktif (hafif tempo) şekilde uygulanabilir. Antrenörler, her tekrar için farklı driller uygulanabilmesi amacıyla çeşitli huni dizilişleri, özel kurallar ve farklı oyun modelleri kullanabilir.

## 7.2.1.10 Yüksek Şiddetli Antrenmanlarda Tekrarlanabilirlik ve Dayanıklılığın Alt Bileşenleri

HIIT, yalnızca akut fizyolojik uyarılara değil, aynı zamanda sporcunun yüksek şiddetteki eforları tekrar edebilme, sürdürebilme ve çevresel stres faktörlerine karşı uyum gösterebilme kapasitesine dayalı çok yönlü bir dayanıklılık profili gerektirir. Bu nedenle, HIIT ile en yakından ilişkili kavram tekrarlanabilirlik (repeatability) olarak öne çıkar. Tekrarlanabilirlik, sporcunun toparlanma süresi sonrasında yüksek şiddetli eforları yeniden ve benzer düzeyde üretebilme kapasitesini ifade eder (Gibala ve McGee, 2008). Özellikle, SIT ve 30-15 AFT gibi yapılandırılmış HIIT protokollerinde, tekrarlar arasındaki güç üretimindeki azalma doğrudan tekrarlanabilirlik düzeyini yansıtır. Glikojen yenilenmesi, nöromüsküler toparlanma ve metabolik esneklik gibi fizyolojik süreçler bu kapasitenin belirleyicileri arasında yer alır (Girard vd., 2011). Ancak HIIT performansını belirleyen yalnızca tekrarlanabilirlik değildir. Diğer üç temel bileşen olan süreklilik (durability), yorulabilirlik (fatigability) ve fizyolojik dayanıklılık (resilience) kavramları da bütüncül bir değerlendirme için dikkate alınmalıdır (Bangsbo vd., 2025; Jones ve Kirby, 2025). Süreklilik, sporcunun uzun süreli eforlar sırasında fizyolojik kararlılığı ve performansını ne ölçüde koruyabildiğini ifade eder (Maunder vd., 2021). Özellikle uzun intervalli HIT protokollerinde,  $VO_{2maks}$ , kritik güç ya da hareket ekonomisi gibi göstergelerde zamanla ortaya çıkan düşüşler düşük sürekliliğe işaret eder.

Yorulabilirlik (yorulma kapasitesi), kısa toparlanma aralıklarıyla uygulanan HIIT protokollerinde performansın ne kadar hızlı ve hangi düzeyde azaldığını ifade eder (Enoka ve Duchateau, 2016). Anaerobik kapasitenin sınırlı olması ve nöromüsküler tükenme, bu performans düşüşünün daha erken ve belirgin ortaya çıkmasına katkıda bulunabilir. Kavramın değerlendirilmesi, toparlanmanın sınırlı veya olmadığı koşullarda egzersiz süresince güç, hız veya tempo gibi dışsal performans çıktılarındaki azalmanın hızı ve büyüklüğüne dayanır. Dayanıklılık sporlarında, belirli bir enerji harcamasını takiben (örneğin 20, 30 veya 40  $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) maksimal ortalama güçteki düşüş, yorulabilirliğin nicel bir göstergesi olarak yaygın biçimde

kullanılmaktadır (Muriel vd., 2022). Buna ek olarak, sabit yüklenmeler sırasında laktat birikimi ve kalp atım hızı sürüklenmesi gibi fizyolojik yanıtlar, performans kaybına eşlik eden içsel yükü yansıtmak amacıyla değerlendirilir (Muriel vd., 2022).

Tekrarlanabilirlikten farklı olarak, yorulabilirlik ölçümleri egzersiz içi performans kaybına odaklanır ve toparlanma kapasitesinden büyük ölçüde bağımsızdır. Ekolojik geçerliliğin artırılması için, değerlendirme protokollerine gerçek yarış koşullarını yansıtan ön yüklenmelerin, beslenme durumunun ve stokastik efor örüntülerinin dahil edilmesi önerilmektedir (Peeters vd., 2025). Zorluklara karşı dayanıklılık (resilience) ise sporcunun çevresel (örneğin ısı, yükselti) ve psikolojik (örneğin zihinsel yorgunluk) stresörlere karşı performansını koruma ve sürdürme kapasitesini tanımlar (Den Hartigh vd., 2022). Bu özellik, uzun süreli antrenman kamplarında ya da zorlu çevre koşullarında yapılan HIIT protokollerinde belirleyici olabilir. Bu dört kavram, birbirinden farklı fizyolojik ve psikolojik bileşenleri temsil ettiği için değerlendirme yöntemleri de kavrama özgü olarak yapılandırılmalıdır (Tablo 8).

Tekrarlanabilirlik, yüksek şiddetli eforların, aralarda kontrollü toparlanma aralıklarıyla tekrarlandığı protokollerle ölçülür. Gerçekçi ön yükleme, yeterli toparlanma süresi ve beslenme durumu gibi değişkenler kontrol altında tutulmalı ve toparlanma kinetiği temel belirleyici olarak değerlendirilmelidir (Gibala ve McGee, 2008). Süreklilik, 90 dakikayı aşan uzun süreli egzersiz protokolleriyle değerlendirilir. Kalp atım hızı, oksijen tüketimi ve laktat eşiği gibi fizyolojik göstergelerdeki sapmaların büyüklüğü ve ne zaman başladığı takip edilir. Bu testlerin saha koşullarına uygun olması önerilir (Den Hartigh vd., 2022). Yorulabilirlik, toparlanma arası olmaksızın yapılan tekrarlı veya sürekli egzersizlerde, güç çıktısı veya hızdaki düşüş oranının ölçülmesiyle değerlendirilir. Bu testler, hem dinlenmiş hem de önceden yorulmuş koşullarda uygulanabilir (Enoka ve Duchateau, 2016). Zorluklara karşı dayanıklılık, sporcunun çevresel (ısı, irtifa, dehidrasyon) ve psikolojik (zihinsel yorgunluk, dikkat gerektiren görevler, ağrı algısı) stres faktörlerine maruz bırakıldığı koşullarda değerlendirilir. Performansın çoklu stres altında korunup korunmadığı izlenir (Den Hartigh vd., 2022; Junge vd., 2016).

Bu değerlendirme yaklaşımları sayesinde HIIT gibi kompleks antrenman modelleri altında sporcunun farklı performans bileşenleri ayrı ayrı analiz edilebilir. Böylece bireyselleştirilmiş antrenman programları daha sağlıklı planlanabilir, dayanıklılık kapasitesinin çok boyutlu doğası daha iyi anlaşılabilir.

**Tablo 8.** Dayanıklılık Sporlarında Performans Kavramları: Tanım, Değerlendirme Yöntemleri, Temel Özellikler, Fizyolojik Belirleyiciler, Egzersiz Tipi ve İlgili Disiplinler

Özellik	Dayanıklılık (Durability)	Yorulabilirlik (Fatigability)	Tekrarlanabilirlik (Repeatability)	Direnç/Dayanıklılık (Resilience)
<b>Tanım</b>	Uzun süreli egzersiz sırasında fizyolojik özelliklerde zamana bağlı fizyolojik belirteçlerdeki düşüş	Maksimum güce yakın yüklerde eforları tekrarlama yeteneği. Yorgunluk birikimi sırasında performans kaybının hızı ve miktarı	Aralarında pasif dinlenme olan birden fazla yarışta yüksek performansı tekrar üretme kapasitesi	Yorgunluk, sıcaklık, rakım gibi olumsuz koşullarda fizyolojik ve mekanik fonksiyonu koruma veya geri kazanma yeteneği
<b>Nasıl Ölçülür</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hız-süre eğrisi analizi</li> <li>Uzun egzersiz sonrası fizyolojik testler</li> </ul>	Belirli enerji harcaması sonrası güç düşüşü ölçümü (20/30/40 kJ/kg: kilogram başına 20, 30 veya 40 kilojoule enerji harlandıktan sonra maksimal ortalama güçte yüzde düşüş)	Ardışık yarışlarda performans düşüşünün ölçülmesi (zaman, derece)	Yukarıdaki tüm ölçümler + olumsuz çevre koşullarının eklenmesi
<b>Ana Özellikler</b>	Yarışın sonuna doğru performans düşüşü	Tekrarlanan yüksek efor ve değişken yoğunlukta performans kaybı	Tekrarlanan yarışlar boyunca performans kaybı	Yukarıdaki tüm özellikler + ideal koşullara göre performans düşüşü

Tablo 8'in devamı

<b>Fizyolojik Belirleyiciler</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Kardiyovasküler sapma</li> <li>•Oksijen tüketiminin yavaş artışı</li> <li>•Laktat ve solunum eşiklerinde değişim</li> <li>•Glikojen deposunun tükenmesi</li> <li>•Verimlilik ve koşu ekonomisinde düşüş</li> <li>•Kas yorgunluğu (güç kaybı)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sabit yükte laktat birikimi</li> <li>•Dinlenme olmadan kalp atışının artması</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kas yorgunluğu belirteçleri</li> <li>•Yorgunluk metabolitlerinin birikimi</li> <li>•Yarışlar arası laktat ve kalp atışının toparlanma hızı</li> <li>• Kas glikojen depolarının yenilenme hızı</li> <li>• Hormon ve metabolik toparlanma göstergeleri (kortizol, testosteron, kreatin kinaz)</li> </ul>	<p>Yukarıdaki tüm faktörler + ek olarak</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Sıcaklık, düşük oksijen basınçlı ortamlar, susuzluk gibi stres faktörleri altında performans sürdürme</li> <li>•Vücut ısısı kontrolü, terleme oranı</li> <li>•Stres hormonları (kortizol, adrenalin)</li> <li>•Zihinsel yorgunluk, algılanan zorluk, ağrı dayanma</li> </ul>
<b>Egzersiz Tipi</b>	Sürekli sabit tempolu egzersiz	Öngörülemeyen, düzensiz ve değişken şiddette yapılan eforlar (Stochastic efforts)	Kısa aralıklarla tekrarlanan maksimal performans	Yukarıdaki tüm egzersiz tipleri
<b>Hangi Sporlarda</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Maraton</li> <li>•Bireysel zamana karşı yarış</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Yol bisikleti yarışları</li> <li>• Patika koşusu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Kürek (günde birden fazla yarış)</li> <li>•Kısa kulvar sürat pateni</li> <li>•Pistte bisiklet</li> </ul>	Yukarıdaki tüm sporlar

\*Kardiyovasküler sapma, egzersiz yoğunluğunda artış olmadan kalp debisinin sabit kalması, kalp atım hacminin kademeli olarak azalması ve kalp atım hızının artması ile karakterizedir. **Kaynak:** Bu tablo (Johannes Meixner vd., 2025) tarafından farklı araştırmacıların çalışmalarından derlenerek oluşturulan kapsamlı literatür taraması temel alınarak uyarlanmıştır.

## 8. Saha vs. Laboratuvar Uygulamaları

HIIT planlanması ve uygulanması sürecinde, uygulamanın yapıldığı ortam (saha veya laboratuvar) antrenmanın geçerliliği, izlenebilirliği ve



güvenliği açısından belirleyici rol oynar. HIIT'in hem bilimsel araştırmalarda hem de pratik uygulamalarda farklı ortamlarda uygulanmasının avantaj ve sınırlılıklarını kapsamlı biçimde tartışmışlardır (Laursen ve Buchheit, 2019).

Laboratuvar ortamında uygulanan HIIT protokolleri, egzersiz yoğunluğu, süre, dinlenme ve fizyolojik ölçümler açısından yüksek düzeyde kontrol imkanı sunar. Ergometreler, gaz analiz sistemleri, laktat ölçüm cihazları ve kalp atım monitörleri yardımıyla yüklenmenin fizyolojik etkileri hassas şekilde izlenebilir. Böylece,  $VO_{2maks}$ , ventilatuvar eşikleri, kalp debisi ve kas oksijenasyonu gibi değişkenlerin bireyselleştirilmiş antrenman reçetelerine dönüştürülmesi mümkün kılınır. Ancak bu uygulamalar, maliyet, ekipman gereksinimi ve erişim sınırlılığı nedeniyle yaygın kullanıma her zaman uygun değildir.

Saha uygulamaları ise genellikle daha az ekipmanla, daha geniş gruplar üzerinde uygulanabilir. GPS, kalp atım hızı monitörleri veya taşınabilir zamanlayıcılar gibi giyilebilir teknolojiler sayesinde saha HIIT uygulamalarının izlenebilirliği artmıştır. Bununla birlikte, ortam koşulları (zemin yapısı, hava durumu), bireyler arası yüklenme farkları ve anlık tempo kontrolünün sınırlılığı gibi etkenler nedeniyle standardizasyon laboratuvar düzeyinde sağlanamayabilir.

Her iki ortamın da kendine özgü avantajları ve sınırlılıkları bulunmaktadır. Laboratuvar ortamında uygulanan HIIT protokolleri bilimsel geçerlilik açısından tercih edilirken, saha ortamı, gerçek sporcu davranışlarını gözleme ve geniş kitlelere ulaşma açısından daha işlevsel olabilir. Bu nedenle, antrenman hedeflerine ve popülasyona uygun olarak ortam tercihi yapılmalı ve mümkünse her iki yaklaşım entegre biçimde kullanılmalıdır.

## 9. Sonuç ve Uygulama Önerileri

HIIT hem performans gelişimi hem de sağlık kazanımları açısından geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Bu antrenman biçimi, kısa sürede yüksek fizyolojik uyarı sağlayarak geleneksel dayanıklılık antrenmanlarına kıyasla zaman açısından daha verimli çözümler sunmaktadır. Ancak bu etkinliğin sürdürülebilir olması, uygulamanın bilimsel prensiplere dayanmasına ve bireysel farklılıkların dikkate

alınmasına bağlıdır. HIIT uygulamalarında başarıya ulaşmak için protokol seçiminden yüklenme parametrelerine, dinlenme sürelerinden takip sistemlerine kadar birçok değişken dikkatle planlanmalıdır. Farklı HIIT modellerinin farklı fizyolojik sistemler üzerinde spesifik etkileri olduğu için model seçimi bireyin hedeflerine uygun yapılmalıdır. Ayrıca uygulama ortamının (saha veya laboratuvar) olanakları ve sınırlılıkları da göz önünde bulundurulmalıdır.

Pratik uygulayıcılara yönelik bazı temel öneriler de bulunmaktadır. HIIT, kondisyon düzeyi düşük bireylerde daha hafif versiyonlarla başlanmalı ve yüklenme kademeli olarak artırılmalıdır. Sportif performans hedefleyen bireylerde hedefe uygun HIIT modeline (SIT, RST, kısa veya uzun interval) göre programlama yapılmalıdır. Haftalık uygulama sıklığı toparlanma durumuna göre bireyselleştirilmeli ve genelde haftada 2–3 seans önerilmelidir. Egzersiz sonrası toparlanma göstergeleri (algılanan zorluk düzeyi, kalp atım hızı, uyku kalitesi vb.) düzenli olarak izlenmelidir. Klinik bireylerde ise mutlaka doktor onayı ile protokol planlaması yapılmalıdır.

Sonuç olarak HIIT protokollerinin etkili biçimde uygulanması yalnızca performans artışı değil, aynı zamanda sağlıklı yaşlanma, metabolik denge ve yaşam kalitesinde iyileşme gibi geniş kapsamlı faydalar sağlayabilir. Bu nedenle uygulayıcıların bu protokolleri bilimsel veriler ışığında ve bireysel uyarlama ilkeleri çerçevesinde kullanmaları önemlidir.

## Kaynakça

- American College of Sports Medicine. (2022). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription (11. bs.). Wolters Kluwer.
- As, H. ve Ozkaya, O. (2025). Evaluation of acute metabolic and physiologic responses obtained from sprint interval trainings performed by low cadence/high resistance and high cadence/low resistance. *Journal of Strength & Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000005288>
- Aughey, R. J. (2011). Applications of GPS technologies to field sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(3), 295–310. <https://doi.org/10.1123/IJSP.6.3.295>
- Bangsbo, J., Hostrup, M., Hellsten, Y., Hansen, M., Melin, A., Kjær, M., Burr, J. F., Engebretsen, L., Egan, B., Hackney, A. C., Chambers, T. L., Jones, A. M., Pitsiladis, Y., Magnusson, P., Petersen, J., Deshmukh, A. S., Calbet, J. A. L., Elliott-Sale, K., Joyner, M., ... Moesgaard, L. (2025). Consensus statements—Optimizing performance of the elite athlete. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 35(8), e70112. <https://doi.org/10.1111/sms.70112>
- Bangsbo, J., Mohr, M. ve Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*, 24(7), 665–674. <https://doi.org/10.1080/02640410500482529>
- Banister, E. W. (1991). Modeling elite athletic performance. J. D. MacDougall, H. A. Wenger ve H. J. Green (Ed.), *Physiological testing of elite athletes* (2. bs.) içinde. *Human Kinetics*.
- Behrens, M., Gube, M., Chaabene, H., Prieske, O., Zenon, A., Broscheid, K. C., Schega, L., Husmann, F. ve Weippert, M. (2023). Fatigue and human performance: An updated framework. *Sports Medicine*, 53(1), 7–31. <https://doi.org/10.1007/S40279-022-01748-2>
- Billat, V. L. (2001). Interval training for performance: A scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part II: Anaerobic interval training. *Sports Medicine*, 31(2), 75–90. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131020-00001>
- Bishop, D., Girard, O. ve Mendez-Villanueva, A. (2011). Repeated-sprint ability - part II: Recommendations for training. *Sports Medicine*, 41(9), 741–756. <https://doi.org/10.2165/11590560-000000000-00000>
- Blondel, N., Berthoin, S., Billat, V. ve Lensel, G. (2001). Relationship between run times to exhaustion at 90, 100, 120, and 140% of  $v\dot{V}O_2\max$  and velocity expressed relatively to critical velocity and maximal velocity. *International Journal of Sports Medicine*, 22(1), 27–33. <https://doi.org/10.1055/s-2001-11357>
- Borg, G. (1998). Borg's perceived exertion and pain scales. *Human Kinetics*.
- Bourdon, P. C., Cardinale, M., Murray, A., Gastin, P., Kellmann, M., Varley, M. C., Gabbett, T. J., Coutts, A. J., Burgess, D. J., Gregson, W. ve Cable, N. T. (2017). Monitoring athlete training loads: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(Suppl 2), 161–170. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2017-0208>
- Buchheit, M., Abbiss, C. R., Peiffer, J. J. ve Laursen, P. B. (2012). Performance and physiological responses during a sprint interval training session: Relationships with muscle oxygenation and pulmonary oxygen uptake kinetics. *European Journal of Applied Physiology*, 112(2), 767–779. <https://doi.org/10.1007/S00421-011-2021-1>

- Buchheit, M., Cormie, P., Abbiss, C. R., Ahmaidi, S., Nosaka, K. K. ve Laursen, P. B. (2009). Muscle deoxygenation during repeated sprint running: Effect of active vs. passive recovery. *International Journal of Sports Medicine*, 30(6), 418–425. <https://doi.org/10.1055/S-0028-1105933>
- Buchheit, M., Kuitunen, S., Voss, S. C., Williams, B. K., Mendez-Villanueva, A. ve Bourdon, P. C. (2012). Physiological strain associated with high-intensity hypoxic intervals in highly trained young runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(1), 94–105. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182184fcb>
- Buchheit, M. ve Laursen, P. B. (2013a). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: Cardiopulmonary emphasis. *Sports Medicine*, 43(5), 313–338. <https://doi.org/10.1007/S40279-013-0029-X>
- Buchheit, M. ve Laursen, P. B. (2013b). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part II: Anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports Medicine*, 43(10), 927–954. <https://doi.org/10.1007/S40279-013-0066-5>
- Buchheit, M. (2008). The 30-15 intermittent fitness test: Accuracy for individualizing interval training of young intermittent sport players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 365–374. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E3181635B2E>
- Buchheit, M. (2010). The 30-15 Intermittent Fitness Test: 10 year review. *Myorobie Journal*, 1. <http://www.martin-buchheit.net>
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2014.00073>
- Buchheit, M. ve Brown, M. (2020). Integrating the 30-15 Intermittent Fitness Test into the weekly microcycle pre-season fitness testing in elite soccer: Integrating the 30-15 Intermittent Fitness Test into the weekly microcycle. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2017-0045>
- Buchheit, M., Dikmen, U. ve Vassallo, C. (2021). The 30-15 Intermittent Fitness Test—Two decades of learnings.
- Buchheit, M., Lepretre, P. M., Behaegel, A. L., Millet, G. P., Cuvelier, G. ve Ahmaidi, S. (2009). Cardiorespiratory responses during running and sport-specific exercises in handball players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(3), 399–405. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.11.007>
- Buchheit, M., Simpson, M. B., Al Haddad, H., Bourdon, P. C. ve Mendez-Villanueva, A. (2012). Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, 112(2), 711–723. <https://doi.org/10.1007/S00421-011-2014-0>
- Burgomaster, K. A., Heigenhauser, G. J. F. ve Gibala, M. J. (2006). Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *Journal of Applied Physiology*, 100(6), 2041–2047. <https://doi.org/10.1152/JAPPLPHYSIOL.01220.2005>
- Burgomaster, K. A., Hughes, S. C., Heigenhauser, G. J. F., Bradwell, S. N. ve Gibala, M. J. (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *Journal of Applied Physiology*, 98(6), 1985–1990. <https://doi.org/10.1152/JAPPLPHYSIOL.01095.2004>
- Çabuk, R. ve Alp, E. (2025). Constant and variable-intensity distribution high-intensity interval training approaches: Which is more effective in increasing time spent at maximal oxygen

- uptake? A narrative review. *Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi*, 16(3), 577–591. <https://doi.org/10.17155/omuspd.1770805>
- Çabuk, R., Kayacan, Y., Murias, J. M. ve Karsten, B. (2025). Physiologic and mechanical responses to clustered vs. traditional sprint interval exercise approaches. *European Journal of Applied Physiology*, 125(12). <https://doi.org/10.1007/S00421-025-05857-4>
- Calvert, T. W., Banister, E. W., Savage, M. V. ve Bach, T. (1976). A systems model of the effects of training on physical performance. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-6(2), 94–102. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1976.5409179>
- Carlo, C., Impellizzeri, F. M., Chaouachi, A., Nidhal, B. A. ve Manzi, V. (2011). Physiological responses to ball-drills in regional level male basketball players. *Journal of Sports Sciences*, 29(12), 1329–1336. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.597418>
- Casado, A., González-Mohino, F., González-Ravé, J. M. ve Foster, C. (2022). Training periodization, methods, intensity distribution, and volume in highly trained and elite distance runners: A systematic review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 17(6), 820–833. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2021-0435>
- Castagna, C., Belardinelli, R., Impellizzeri, F. M., Abt, G. A., Coutts, A. J. ve D'Ottavio, S. (2007). Cardiovascular responses during recreational 5-a-side indoor-soccer. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10(2), 89–95. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.05.010>
- Céline, C. G. F., Monnier-Benoit, P., Groslander, A., Tordi, N., Perrey, S. ve Rouillon, J. D. (2011). The perceived exertion to regulate a training program in young women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 220–224. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E3181AFF3A6>
- Clark, K. P., Ryan, L. J. ve Weyand, P. G. (2014). Foot speed, foot-strike and footwear: Linking gait mechanics and running ground reaction forces. *Journal of Experimental Biology*, 217(12), 2037–2040. <https://doi.org/10.1242/jeb.099523>
- Clemente, F. M., Ramirez-Campillo, R., Sarmiento, H., Praça, G. M., Afonso, J., Silva, A. F., Rosemann, T. ve Knechtle, B. (2021). Effects of small-sided game interventions on the technical execution and tactical behaviors of young and youth team sports players: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2021.667041>
- Coates, A. M., Joyner, M. J., Little, J. P., Jones, A. M. ve Gibala, M. J. (2023). A perspective on high-intensity interval training for performance and health. *Sports Medicine*, 53(Suppl 1), 85–96. <https://doi.org/10.1007/S40279-023-01938-6>
- Couderc, A., Gabbett, T. J., Piscione, J., Robineau, J., Peeters, A., Igarza, G., Thomas, C., Hanon, C. ve Lacomme, M. (2023). Repeated high-intensity effort activity in international male rugby sevens. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002986>
- Couderc, A., Thomas, C., Lacomme, M., Piscione, J., Robineau, J., Delfour-Peyrethron, R., Borne, R. ve Hanon, C. (2017). Movement patterns and metabolic responses during an international rugby sevens tournament. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(7), 901–907. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2016-0313>
- Coutts, A. J., Rampinini, E., Marcora, S. M., Castagna, C. ve Impellizzeri, F. M. (2009). Heart rate and blood lactate correlates of perceived exertion during small-sided soccer games. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(1), 79–84. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.08.005>

- Daussin, F. N., Zoll, J., Dufour, S. P., Ponsot, E., Lonsdorfer-Wolf, E., Doutreleau, S., Mettauer, B., Piquard, F., Geny, B. ve Richard, R. (2008). Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: Relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 295(1), 264–272. <https://doi.org/10.1152/AJPREGU.00875.2007>
- Daussin, F. N., Ponsot, E., Dufour, S. P., Lonsdorfer-Wolf, E., Doutreleau, S., Geny, B., Piquard, F. ve Richard, R. (2007). Improvement of VO<sub>2</sub>max by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. *European Journal of Applied Physiology*, 101(3), 377–383. <https://doi.org/10.1007/S00421-007-0499-3>
- Dellal, A., Chamari, K., Pintus, A., Girard, O., Cotte, T. ve Keller, D. (2008). Heart rate responses during small-sided games and short intermittent running training in elite soccer players: A comparative study. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(5), 1449–1457. <https://doi.org/10.1519/JSC.0B013E31817398C6>
- Dello Iacono, A., McLaren, S. J., Macpherson, T. W., Beato, M., Weston, M., Unnithan, V. B. ve Shushan, T. (2023). Quantifying exposure and intra-individual reliability of high-speed and sprint running during sided-games training in soccer players: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 53(2), 371–413. <https://doi.org/10.1007/S40279-022-01773-1>
- Den Hartigh, R. J. R., Meerhoff, L. R. A., Van Yperen, N. W., Neumann, N. D., Brauers, J. J., Frencken, W. G. P., Emerencia, A., Hill, Y., Platvoet, S., Atzmueller, M., Lemmink, K. A. P. M. ve Brink, M. S. (2022). Resilience in sports: A multidisciplinary, dynamic, and personalized perspective. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 17(1), 564–586. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2022.2039749>
- Dupont, G., Millet, G. P., Guinhouya, C. ve Berthoin, S. (2005). Relationship between oxygen uptake kinetics and performance in repeated running sprints. *European Journal of Applied Physiology*, 95(1), 27–34. <https://doi.org/10.1007/S00421-005-1382-8>
- Dupont, G., Akakpo, K. ve Berthoin, S. (2004). The effect of in-season, high-intensity interval training in soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 584–589. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<584:TEOIH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<584:TEOIH>2.0.CO;2)
- Dupont, G., Blondel, N. ve Berthoin, S. (2003). Performance for short intermittent runs: Active recovery vs. passive recovery. *European Journal of Applied Physiology*, 89(6), 548–554. <https://doi.org/10.1007/S00421-003-0834-2>
- Enoka, R. M. ve Duchateau, J. (2016). Physiology of muscle activation and force generation. *Surface electromyography: Physiology, engineering and applications içinde* (ss. 1–29). <https://doi.org/10.1002/9781119082934.ch01>
- Fox, S. M. ve Naughton, J. P. (1972). Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Preventive Medicine*, 1(1–2), 92–120. [https://doi.org/10.1016/0091-7435\(72\)90079-5](https://doi.org/10.1016/0091-7435(72)90079-5)
- Gabbett, T. J. (2006). Skill-based conditioning games as an alternative to traditional conditioning for rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(2), 309–315. <https://doi.org/10.1519/R-17655.1>
- Gellish, R. L., Goslin, B. R., Olson, R. E., McDonald, A., Russi, G. D. ve Moudgil, V. K. (2007). Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(5), 822–829. <https://doi.org/10.1097/MSS.0B013E31803349C6>

- Gibala, M. J. ve McGee, S. L. (2008). Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: A little pain for a lot of gain? *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 36(2), 58–63. <https://doi.org/10.1097/JES.0B013E318168EC1F>
- Gibala, M. J., Little, J. P., Van Essen, M., Wilkin, G. P., Burgomaster, K. A., Safdar, A., Raha, S. ve Tarnopolsky, M. A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: Similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *The Journal of Physiology*, 575(3), 901–911. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.112094>
- Girard, O., Mendez-Villanueva, A. ve Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability - part I: Factors contributing to fatigue. *Sports Medicine*, 41(8), 673–694. <https://doi.org/10.2165/11590550-000000000-00000>
- Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjorth, N., Bach, R. ve Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve  $\dot{V}O_{2\max}$  more than moderate training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(4), 665–671. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180304570>
- Hill-Haas, S. V., Dawson, B., Impellizzeri, F. M. ve Coutts, A. J. (2011). Physiology of small-sided games training in football. *Sports Medicine*, 41(3), 199–220. <https://doi.org/10.2165/11539740-000000000-00000>
- Hoff, J., Wisløff, U., Engen, L. C., Kemi, O. J. ve Helgerud, J. (2002). Soccer specific aerobic endurance training. *British Journal of Sports Medicine*, 36(3), 218–221. <https://doi.org/10.1136/bjism.36.3.218>
- Iaia, M. F., Rampinini, E. ve Bangsbo, J. (2009). High-intensity training in football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(3), 291–306. <https://doi.org/10.1123/IJSP.4.3.291>
- Jamnack, N. A., Pettitt, R. W., Granata, C., Pyne, D. B. ve Bishop, D. J. (2020). An examination and critique of current methods to determine exercise intensity. *Sports Medicine*, 50(10), 1729–1756. <https://doi.org/10.1007/S40279-020-01322-8>
- Jobson, S. A., Passfield, L., Atkinson, G., Barton, G. ve Scarf, P. (2009). The analysis and utilization of cycling training data. *Sports Medicine*, 39(10), 833–844. <https://doi.org/10.2165/11317840-000000000-00000>
- Jones, A. M. ve Kirby, B. S. (2025). Physiological resilience: What is it and how might it be trained? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 35(3), e70032. <https://doi.org/10.1111/sms.70032>
- Jones, A. M., Vanhatalo, A., Burnley, M., Morton, R. H. ve Poole, D. C. (2010). Critical power: Implications for determination of  $\dot{V}O_{2\max}$  and exercise tolerance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(10), 1876–1890. <https://doi.org/10.1249/MSS.0B013E3181D9CF7E>
- Junge, N., Jørgensen, R., Flouris, A. D. ve Nybo, L. (2016). Prolonged self-paced exercise in the heat—Environmental factors affecting performance. *Temperature*, 3(4), 539–548. <https://doi.org/10.1080/23328940.2016.1216257>
- Keir, D. A., Iannetta, D., Mattioni Maturana, F., Kowalchuk, J. M. ve Murias, J. M. (2022). Identification of non-invasive exercise thresholds: Methods, strategies, and an online app. *Sports Medicine*, 52(2), 237–255. <https://doi.org/10.1007/S40279-021-01581-Z>
- Laursen, P. B. ve Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: Optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Medicine*, 32(1), 53–73. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232010-00003>

- Laursen, P. ve Buchheit, M. (2019). Science and application of high-intensity interval training: Solutions to the programming puzzle. *Human Kinetics*.
- Lorenz, D. S., Reiman, M. P. ve Walker, J. C. (2010). Periodization: Current review and suggested implementation for athletic rehabilitation. *Sports Health*, 2(6), 509–518. <https://doi.org/10.1177/1941738110375910>
- MacInnis, M. J. ve Gibala, M. J. (2017). Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *The Journal of Physiology*, 595(9), 2915–2930. <https://doi.org/10.1113/JP273196>
- Maunder, E., Seiler, S., Mildenhall, M. J., Kilding, A. E. ve Plews, D. J. (2021). The importance of "durability" in the physiological profiling of endurance athletes. *Sports Medicine*, 51(8), 1619–1628. <https://doi.org/10.1007/S40279-021-01459-0>
- Meixner, B., Joyner, M. J. ve Sperlich, B. (2025). Durability, fatigability, repeatability, and resilience in endurance sports: Definitions, distinctions, and implications. *Journal of Applied Physiology*, 139(6). <https://doi.org/10.1152/JAPPLPHYSIOL.00343.2025>
- Mendez-Villanueva, A., Buchheit, M., Simpson, B. ve Bourdon, P. C. (2013). Match play intensity distribution in youth soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 34(2), 101–110. <https://doi.org/10.1055/S-0032-1306323>
- Midgley, A. W., McNaughton, L. R. ve Jones, A. M. (2007). Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance. *Sports Medicine*, 37(10), 857–880. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737100-00003>
- Muriel, X., Mateo-March, M., Valenzuela, P. L., Zabala, M., Lucia, A., Pallares, J. G. ve Barranco-Gil, D. (2022). Durability and repeatability of professional cyclists during a Grand Tour. *European Journal of Sport Science*, 22(12), 1797–1804. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1987528>
- Noakes, T. D., Snow, R. J. ve Febbraio, M. A. (2004). Linear relationship between the perception of effort and the duration of constant load exercise that remains. *Journal of Applied Physiology*, 96(4), 1571–1573. <https://doi.org/10.1152/JAPPLPHYSIOL.01124.2003>
- Norouzi, M., Cabuk, R., Balci, G. A., As, H. ve Ozkaya, O. (2023). Assessing acute responses to exercises performed within and at the upper boundary of severe exercise domain. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 94(4). <https://doi.org/10.1080/02701367.2022.2117268>
- Nummela, A., Hynynen, E., Kaikkonen, P. ve Rusko, H. (2016). High-intensity endurance training increases nocturnal heart rate variability in sedentary participants. *Biology of Sport*, 33(1), 7–13. <https://doi.org/10.5604/20831862.1180171>
- Owen, A., Twist, C. ve Ford, P. (2004). Small-sided games: The physiological and technical effect of altering pitch size and player numbers. *Insight*, 7(2), 50–53.
- Ozkaya, O., Jones, A. M., Burnley, M., Peker, A. ve As, H. (2025). A simple method to determine the severe-extreme intensity exercise domain boundary using the VO<sub>2</sub> kinetic response. *Journal of Sports Sciences*, 43(15), 1523–1531. <https://doi.org/10.1080/02640414.2025.2510080>
- Peeters, W. M., Barrett, M. ve Podlogar, T. (2025). What is a cycling race simulation anyway: A review on protocols to assess durability in cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 125(6), 1527–1548. <https://doi.org/10.1007/S00421-025-05725-1>
- Pirie, G. (1996). *Running fast and injury free*. Random House.

- Poole, D. C., Wilkerson, D. P. ve Jones, A. M. (2008). Validity of criteria for establishing maximal O<sub>2</sub> uptake during ramp exercise tests. *European Journal of Applied Physiology*, 102(4), 403–410. <https://doi.org/10.1007/S00421-007-0596-3>
- Rabbani, A. ve Buchheit, M. (2015). Heart rate-based versus speed-based high-intensity interval training in young soccer players. T. Favero, B. Drust ve B. Dawson (Ed.), *International research in science and soccer II* içinde (ss. 119–130). Routledge.
- Rampinini, E., Impellizzeri, F. M., Castagna, C., Abt, G., Chamari, K., Sassi, A. ve Marcora, S. M. (2007). Factors influencing physiological responses to small-sided soccer games. *Journal of Sports Sciences*, 25(6), 659–666. <https://doi.org/10.1080/02640410600811858>
- Richard, R., Lonsdorfer-Wolf, E., Charloix, A., Doutreleau, S., Buchheit, M., Oswald-Mammoser, M., Lampert, E., Mettauer, B., Geny, B. ve Lonsdorfer, J. (2001). Non-invasive cardiac output evaluation during a maximal progressive exercise test, using a new impedance cardiograph device. *European Journal of Applied Physiology*, 85(3–4), 202–207. <https://doi.org/10.1007/S004210100458>
- Robergs, R. A. (2021). Quantifying H<sup>+</sup> exchange from muscle cytosolic energy catabolism using metabolite flux and H<sup>+</sup> coefficients from multiple competitive cation binding: New evidence for consideration in established theories. *Physiological Reports*, 9(7), e14728. <https://doi.org/10.14814/PHY2.14728>
- Robertson, R. J., Goss, F. L., Rutkowski, J., Lenz, B., Dixon, C., Timmer, J., Frazee, K., Dube, J. ve Andreacci, J. (2003). Concurrent validation of the OMNI perceived exertion scale for resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(2), 333–341. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000048831.15016.2A>
- Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 276–291. <https://doi.org/10.1123/IJSP.5.3.276>
- Seiler, S. ve Hetlelid, K. J. (2005). The impact of rest duration on work intensity and RPE during interval training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(9), 1601–1607. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000177560.18014.D8>
- Seiler, S. ve Sjursen, J. E. (2004). Effect of work duration on physiological and rating scale of perceived exertion responses during self-paced interval training. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 14(5), 318–325. <https://doi.org/10.1046/j.1600-0838.2003.00353.x>
- Seiler, S. ve Sylta, Ø. (2017). How does interval-training prescription affect physiological and perceptual responses? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(s2), S2–80. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2016-0464>
- Sloth, M., Sloth, D., Overgaard, K. ve Dalgas, U. (2013). Effects of sprint interval training on VO<sub>2</sub>max and aerobic exercise performance: A systematic review and meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23(6), 341–352. <https://doi.org/10.1111/SMS.12092>
- Sylta, Ø., Tønnessen, E., Hammarström, D., Danielsen, J., Skovereng, K., Ravn, T., Rønnestad, B. R., Sandbakk, Ø. ve Seiler, S. (2016). The effect of different high-intensity periodization models on endurance adaptations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(11), 2165–2174. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001007>
- Tanaka, H., Monahan, K. D. ve Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1), 153–156. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(00\)01054-8](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(00)01054-8)

- Weston, K. S., Wisløff, U. ve Coombes, J. S. (2014). High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 48(16), 1227–1234. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2013-092576>
- Whipp, B. J., Higgenbotham, M. B. ve Cobb, F. C. (1996). Estimating exercise stroke volume from asymptotic oxygen pulse in humans. *Journal of Applied Physiology*, 81(6), 2674–2679. <https://doi.org/10.1152/JAPPL.1996.81.6.2674>
- Wisløff, U., Støylen, A., Loennechen, J. P., Bruvold, M., Rognmo, Ø., Haram, P. M., Tjønnå, A. E., Helgerud, J., Slørdahl, S. A., Lee, S. J., Videm, V., Bye, A., Smith, G. L., Najjar, S. M., Ellingsen, Ø. ve Skjærpe, T. (2007). Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: A randomized study. *Circulation*, 115(24), 3086–3094. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.675041>