

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAREKET VE ANTRENMAN ANABİLİM DALI

TRİATLETLERDE KRİTİK HIZIN MAKSİMAL
DAYANIKLILIK KOŞUSUNA VE AŞIL TENDON
SERTLİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Eren AKDAĞ

DOKTORA TEZİ

2025-ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
HAREKET VE ANTRENMAN ANABİLİM DALI

TRİATLETLERDE KRİTİK HIZIN MAKSİMAL
DAYANIKLILIK KOŞUSUNA VE AŞIL TENDON
SERTLİĞİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Eren AKDAĞ

DOKTORA TEZİ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Emel ÇETİN ÖZDOĞAN

“Kaynakça gösterilerek tezimden yararlanılabilir”

2025-ANTALYA

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma jürimiz tarafından Hareket ve Antrenman Anabilim Dalı Hareket ve Antrenman Programında doktora tezi olarak kabul edilmiştir. .../...../.....

İmza

Tez Danışmanı : (Doç. Dr., Emel ÇETİN ÖZDOĞAN)
(Akdeniz Üniversitesi)

Üye : (Prof. Dr., Alpay GÜVENÇ)
(Akdeniz Üniversitesi)

Üye : (Prof. Dr., Gül ÖZKAYA)
(Akdeniz Üniversitesi)

Üye : (Doç. Dr., Halil Orbay ÇOBANOĞLU)
(Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi)

Üye : (Doç. Dr., Meriç ÖDEMİŞ)
(Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi)

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve/..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı beyan ederim.

Öğrencinin
Eren AKDAĞ
İmza

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Emel ÇETİN ÖZDOĞAN
İmza

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim boyunca her an yanımda olan, yoluma hep ışık tutan, her düştüğümde tekrar kaldıran, enerji, bilgi ve tecrübesine hayran olduğum sayın danışmanım Doç. Dr. Emel ÇETİN ÖZDOĞAN'a,

Eğitim ve akademik hayatım boyunca hep örnek aldığım bilgi ve tecrübeleriyle hep yanımda olan Prof. Dr. Alpay GÜVENÇ, Prof. Dr. Y. Gül ÖZKAYA, Prof. Dr. Abdurrahman AKTOP, Doç. Dr. Tuba MELEKOĞLU, Doç. Dr. Neşe TOKTAŞ ve Öğr. Gör. Dr. Mehmet Ali ÖZÇELİK'e,

Akademik hayatımda büyük rolleri olan ve hep izlerini takip edeceğim değerli hocalarım Doç. Dr. Halil Orbay ÇOBANOĞLU ve Doç. Dr. Meriç ÖDEMİŞ'e,

Destegini hep yanımda hissettiğim, tezimin başından sonuna yalnız bırakmayan çalışma arkadaşım, dostum, kardeşim Doç. Dr. Ali IŞIN'a,

Her zaman destek olan dostlarım Can POYRAZ, Muzaffer BATMAZ ve Hüseyin DEMİR'e,

Tezimin tüm süreçlerinde yanımda olan çalışma arkadaşlarım Aylin ABDİOĞLU, Yılmaz SUNGUR ve Yalçın ALNİDELİK'e,

Lisansüstü işlemlerimde yardımlarını esirgemeyen güler yüzlü Sağlık Bilimleri Enstitüsü personeline,

Son olarak, bugünlere gelmemde büyük emekleri olan ve her zaman desteklerini hissettiğim babam Bülent AKDAĞ, annem Ayhan AKDAĞ, ablam Ceren AKDAĞ ZOLFAGHARPOUR, eniştem Hootan ZOLFAGHARPOUR ve biricik yeğenim Naz ZOLFAGHARPOUR'a teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Amaç: Bu çalışma, triatletlerde kritik hızın 5000 metre koşu performansına, aşıl tendon sertliğindeki değişikliklere ve adım parametreleriyle koşu performansı arasındaki ilişkiye etkisini incelemeyi amaçlamaktadır.

Yöntem: Araştırmaya, triatlon branşında en az dört yıllık deneyime sahip ve yaş ortalaması 42.65 ± 5.86 olan 20 erkek triatlet katılmıştır. Katılımcılar, 48 saatlik dinlenme süreleri ile birbirinden bağımsız 5 farklı maksimal koşu testine tabi tutulmuştur. İlk üç test (2600 m, 1800 m ve 1000 m) sonuçları kullanılarak, sporcuların kritik hız değerleri hesaplanmış dördüncü testte, sporculardan kendi performanslarına uygun bir maksimal eforla 5000 m koşmaları istenmiş, beşinci testte ise hesaplanan kritik hız temposuna yakın bir hızda koşmaları istenmiştir. Koşu esnasında, sporcuların hızları, adım uzunluğu, adım frekansı ve yerle temas süreleri akıllı saat aracılığıyla ölçülmüş; kalp atım hızı nabız bandı ile, güç verileri ise powermetre cihazı yardımıyla kaydedilmiştir. Ayrıca, aşıl tendonunun sertliği Myoton cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Toplanan verilerin istatistiksel analizi Paired Samples T-Testi, Bland-Altman analizi ve regresyon modelleriyle gerçekleştirilmiş olup, analizler Jamovi yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Bulgular: Kritik hız temposunda koşulan 5000 metre performansının, serbest tempoda koşulan performansa göre daha yüksek enerji verimliliği ve dayanıklılık sağladığı tespit edilmiştir. Adım uzunluğu ve frekansında anlamlı artışlar gözlemlenirken ($p < 0.05$), yerle temas süresinin azaldığı belirlenmiştir. Aşıl tendon sertliği açısından kritik hız temposunda ve serbest tempoda koşulan testler arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p > 0.05$). Ayrıca, kritik hız hesaplamalarının 5000 metre performansını güçlü bir doğrulukla tahmin ettiği ($r = 0.89$, $p < 0.01$) görülmüştür.

Sonuç: Bu çalışma, kritik hızın triatlon sporcularının performansını artırıcı ve aşıl tendon sağlığını destekleyici bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Antrenman programlarında kritik hızın dikkate alınması, dayanıklılığı artırırken enerji ekonomisini optimize etmeye olanak sağlar.

Anahtar Kelimeler: kritik hız, aşıl tendon sertliği, triatlon

ABSTRACT

Objective: This study aims to examine the effect of critical speed on 5000-meter running performance, changes in Achilles tendon stiffness, and the relationship between step parameters and running performance in triathletes.

Methods: Twenty male triathletes with at least four years of experience in the sport and a mean age of 42.65 ± 5.86 participated in the study. Participants were subjected to five maximal running tests, each performed separately with a 48-hour rest interval. Critical speed values were calculated using the results of the first three tests (2600 m, 1800 m, and 1000 m). In the fourth test, athletes were asked to run 5000 meters with a maximal effort suitable for their performance levels. In the fifth test, they ran at a pace close to their calculated critical speed. During the runs, speed, step length, step frequency, and ground contact time were measured via smartwatch; heart rate was recorded using a chest strap, and power data were collected using a power meter. Additionally, Achilles tendon stiffness was analyzed using a Myoton device. The data were statistically analyzed using Paired Samples T-Test, Bland-Altman analysis, and regression models via Jamovi software.

Results: It was found that running 5000 meters at critical speed pace provided greater energy efficiency and endurance compared to running at a self-selected pace. Significant increases were observed in step length and frequency ($p < 0.05$), while ground contact time decreased. No significant difference was found in Achilles tendon stiffness between the tests conducted at critical speed and free pace ($p > 0.05$). Furthermore, critical speed calculations were shown to predict 5000-meter performance with high accuracy ($r = 0.89$, $p < 0.01$).

Conclusion: This study reveals that critical speed is a performance-enhancing and tendon health-supporting tool for triathletes. Taking critical speed into account in training programs allows for improved endurance and optimized energy economy.

Key words: critical speed, Achilles tendon stiffness, triathlon

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
İÇİNDEKİLER	III
TABLolar DİZİNİ	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR	VII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Triatlon	3
2.2. Yüzme Etabı	4
2.3. Bisiklet Etabı	5
2.4. Koşu Etabı	6
2.5. Kritik Hız	8
Kritik Hızın Dayanıklılık Sporlarında Kullanımı	9
Kritik Hız ve Enerji Sistemleri	10
Kritik Hızın Biyomekanik Etkileri	11
D' Mesafesi	11
Kritik Hız ve Güç İlişkisi	12
2.5. Kritik Hız Belirleme Yöntemleri	13
2.5.1. Çoklu Mesafe Performans Testleri	13

2.5.2. Sabit Mesafe Testi (5 km Performans Koşusu)	14
2.5.3. Tükenme Süresi Testleri	14
2.5.4. Laktat Eşiği Testleri	15
2.5.5. Saha Testleri	15
2.5.6. Matematiksel Modeller	16
2.6. Aşıl Tendonu Sertliği	16
3. GEREÇ VE YÖNTEM	19
3.1. Araştırma Grubu	19
3.2. Araştırma Tasarımı	20
3.3. Verilerin Toplanması	21
3.3.1. Katılımcıların Fiziksel özelliklerinin Belirlenmesi	21
3.3.2. Koşu Testi ve Kritik Hızın Belirlenmesi	21
3.3.3. Fizyolojik Ölçümler	22
3.3.4. Koşu Testleri ve Kinematik Ölçümler	22
3.4. İstatistiksel Analiz	24
4. BULGULAR	26
4.1. Katılımcıların Fiziksel Özellikleri	26
4.4. AT Özellikleri	28
5. TARTIŞMA	39
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	58

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 4.1.	Demografik Değişkenler	27
Tablo 4.2.	İlk ve Son 5 km Koşu Performans Kinematik Parametrelerinin Karşılaştırılması	28
Tablo 4.3.	İlk ve Son 5 km Koşu Kalp atım ve Güç Parametrelerinin Karşılaştırılması	29
Tablo 4.4.	İlk 5 km koşu öncesi ve sonrası sağ ve sol AT parametrelerinin karşılaştırılması	29
Tablo 4.5.	Kritik hız temposunda 5 km koşu öncesi ve sonrası sağ ve sol ekstremite AT parametrelerinin karşılaştırılması	30
Tablo 4.6.	İlk 5 km Koşu Performans Değişkenleri ve D' Arasındaki İlişkiler Korelasyon Matrisi	31
Tablo 4.7.	Son 5 km Koşu Performans Değişkenleri ve D' Arasındaki İlişkiler Korelasyon Matrisi	32
Tablo 4.8.	Farklı Kritik Hızlar (KH) ile İlk ve Son 5 km Koşu Performanslarının Karşılaştırılması	33
Tablo 4.9.	Koşu Performansı ve Kritik Hız Grupları Arasındaki Korelasyonlar	34

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Hız Tükenme Eğrisi	15
Şekil 2.2.	Laktat- hız örnek grafiği	16
Şekil 3.1.	Araştırma Akış Şeması	21
Şekil 3.2.	AT özelliklerinin belirlenmesi	25
Şekil 4.1.	KS (1-2-3) (km/s) ve Son-5km (dk) Arasındaki Doğrusal Regresyon Analizi	35
Şekil 4.2.	KS (1-2) Hızı ile 5 km Tamamlama Süresi Arasındaki İlişki	36
Şekil 4.3.	KS (1-2-3) ve KS (1-2) Ölçüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Bland-Altman Grafiği	37
Şekil 4.4.	KS (1-2-3) ve KS (1-3) Ölçüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Bland-Altman Grafiği	38
Şekil 4.5.	KS (1-2-3) ve KS (2-3) Ölçüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Bland-Altman Grafiği	39

SİMGELER ve KISALTMALAR

KH	:	Kritik Hız
YTS	:	Yerle Temas Süresi
AU	:	Adım Uzunluğu
AF	:	Adım Frekansı
DS	:	Dikey Salınım
VKİ	:	Vücut Kütle İndeksi
KAH	:	Kalp Atım Hızı
OrtHR	:	Ortalama Kalp Atım Hızı
MaxHR	:	Maksimum Kalp Atım Hızı
OrtP	:	Ortalama Güç
MaxP	:	Maksimum Güç
LT	:	Laktat Eşiği
AT	:	Aşıl Tendonu
F	:	Frequency
D	:	Decrement
S	:	Stiffness

1. GİRİŞ

Triatlon, yüzme, bisiklet ve koşudan oluşan çok disiplinli bir dayanıklılık sporudur. Bu üç branş, aralıksız bir şekilde sırasıyla gerçekleştirilir ve sporcuların dayanıklılığı, stratejik yetenekleri ve fiziksel kapasiteleri test edilir. Triatlon yarışlarında koşu, son etap olması nedeniyle kritik bir öneme sahiptir ve genellikle yarışın kaderini belirleyen aşamadır. Bu noktaya kadar enerji rezervlerini etkili bir şekilde yönetebilen sporcular, koşu etabında daha güçlü bir performans sergileyerek avantaj elde edebilirler. Bu nedenle, koşu performansı yalnızca dayanıklılığı değil, aynı zamanda stratejik enerji kullanımını da doğrudan yansıtır. Özellikle uzun mesafeli triatlonlarda, sporcuların yorgunlukla başa çıkma kapasitesi ve koşu ekonomisi, başarıyı doğrudan etkiler. Literatürde yapılan çalışmalar, koşunun triatlon içerisindeki performans belirleyici rolüne dikkat çekmekte ve koşu sırasında enerji verimliliğini artırmanın, triatlon başarısını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır. Koşunun triatlondaki belirleyici rolü göz önüne alındığında, bu performansın temelinde yer alan kritik hız (KH) kavramı, dayanıklılık ve enerji yönetimi açısından incelenmesi gereken önemli bir parametre olarak öne çıkmaktadır.

Kritik hız, bir atletin uzun süre sürdürebileceği maksimum istikrarlı hız olarak tanımlanır ve dayanıklılığın yanı sıra aerobik kapasitenin bir göstergesi olarak kabul edilir. Kritik hızın belirlenmesi, sporcuların antrenman programlarının optimize edilmesinde ve yarış stratejilerinin planlanmasında önemli bir araçtır. Literatürde, kritik hızın altında yapılan antrenmanların aerobik dayanıklılığı artırdığı ve triatlon gibi uzun süreli etkinliklerde performansı iyileştirdiği vurgulanmaktadır. Ayrıca, kritik hız, sporcuların yarış sırasında enerji yönetimini düzenlemesine yardımcı olur ve bu da koşu ekonomisini geliştirerek uzun mesafelerde daha verimli bir performans sergilemelerine olanak tanır. Ancak kritik hızın saha koşullarında doğrulanması üzerine yapılan çalışmalar sınırlıdır ve daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Kritik hızın performans üzerindeki etkisi yalnızca genel dayanıklılık ve enerji yönetimiyle sınırlı kalmayıp, aşıl tendonu gibi vücudun önemli mekanik yapıları üzerinde de belirleyici bir rol oynar.

Aşıl tendonu, insan vücudundaki en güçlü tendonlardan biri olup baldır kaslarını topuk kemiğine bağlayarak yürüme, koşma ve zıplama gibi hareketlerde kritik bir rol oynar. Bu

tendon, elastik enerji depolayıp serbest bırakarak kuvvet aktarımını sağlar, böylece adım verimliliğini artırır ve enerji tüketimini azaltarak koşu ekonomisini iyileştirir. Literatürde, aşıl tendonunun dayanıklılık sporcuları için performansı destekleyen temel bir yapı olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte, tendonun sağlıklı tutulması ve sakatlıklardan korunması için dengeli bir antrenman planlaması büyük önem taşır.

Aşıl tendon sertliği ise koşu performansını etkileyen önemli bir parametredir. Artan sertlik, elastik enerji depolama ve geri dönüş kapasitesini artırarak koşu ekonomisine olumlu katkıda bulunabilir. Ancak, aşırı sertlik durumunda tendonun esnekliği sınırlanabilir ve bu durum sakatlık riskini artırabilir. Özellikle kritik hızın üzerinde yapılan yoğun antrenmanların tendon sertliğini artırdığı, ancak dinlenme eksikliği nedeniyle mikrotravmalara yol açabileceği bildirilmiştir. Bu nedenle, aşıl tendonunun esneklik ve dayanıklılık özelliklerini dengede tutan bir antrenman planı oluşturmak, uzun mesafe koşucuları için hem performansın geliştirilmesi hem de sakatlık riskinin önlenmesi açısından hayati önemdedir.

Triatlon, farklı spor branşlarını bir araya getiren zorlu bir dayanıklılık sporudur ve koşu performansı, bu sporun başarısında belirleyici bir rol oynar. Kritik hız, uzun mesafe koşu performansını ve enerji yönetimini optimize etmek için önemli bir araçtır. Aşıl tendonu, koşu sırasında elastik enerji depolama ve kuvvet aktarımı sağlayarak performansı destekler. Ancak, aşıl tendon sertliği ve bu sertliğin koşu üzerindeki etkisi dengeli bir antrenman ve dinlenme rejimiyle yönetilmelidir. Literatürde bu konular üzerine yapılan çalışmalar hem saha testlerinin hem de aşıl tendonunun biyomekanik özelliklerini inceleyen araştırmaların artırılması gerektiğine işaret etmektedir. Bu araştırmada triatletlerde kritik hızın 5000m koşu performansına etkisi, aşıl tendon sertliğindeki değişiklikler ve adım parametrelerinin koşu performansına olan katkısı incelenecektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Triatlon

Triatlon, yüzme, bisiklet ve koşu olmak üzere üç farklı dayanıklılık branşını bir araya getiren çok disiplinli bir spor dalıdır (Etxebarria ve ark., 2019). Bu branşlar, aralıksız bir şekilde sırasıyla gerçekleştirilir ve sporcuların fiziksel dayanıklılığı, stratejik yetenekleri ve zihinsel gücü sınanır. Triatlon, hem bireysel dayanıklılık hem de çok yönlü fiziksel kapasite gerektiren zorlu bir yarış formatıdır. Triatlonun modern tarihi, 1970'lerin başlarında ABD'nin Kaliforniya eyaletinde düzenlenen ilk çok branşlı dayanıklılık yarışlarına dayanmaktadır. İlk resmi triatlon yarışının 1974 yılında San Diego Track Club tarafından organize edildiği bilinmektedir (Markus ve Arimany, 2020). Bu spor, 1978'de Hawaii'de düzenlenen ilk Ironman yarışlarıyla küresel bir üne kavuşmuştur. Uluslararası Triatlon Birliği'nin (ITU) 1989 yılında kurulmasıyla birlikte, triatlon resmî bir spor dalı olarak yapılandırılmış ve 2000 Sidney Olimpiyatları'nda olimpik bir branş haline gelmiştir (Etxebarria ve ark., 2019).

Triatlon yarışları, katılımcıların seviyelerine ve yarışma formatına göre farklı mesafelerde düzenlenir. Yaygın olarak kullanılan mesafeler şunlardır:

- Sprint Triatlon: 750 m yüzme, 20 km bisiklet, 5 km koşu
- Olimpik Triatlon: 1500 m yüzme, 40 km bisiklet, 10 km koşu
- Half Ironman (70.3): 1.9 km yüzme, 90 km bisiklet, 21.1 km koşu
- Ironman: 3.8 km yüzme, 180 km bisiklet, 42.2 km koşu

Her bir mesafe, sporcuların dayanıklılığı, hız kapasitesi ve stratejik yaklaşımı üzerinde farklı taleplerde bulunur. Triatlonun her bir branşı, genel performansı farklı şekillerde etkiler. Yüzme, yarışın başlangıcı olduğundan iyi bir pozisyon almak için önemlidir. Bisiklet etabı, yarışın en uzun kısmı olup dayanıklılık ve stratejik enerji yönetimi gerektirir. Son etap olan koşu, yarışın sonucunu belirleyen en kritik bölümdür; çünkü bu aşamada sporcular, önceki etapların yorgunluğu ile mücadele etmek zorundadır (Joyner ve Coyle, 2008).

2.2. Yüzme Etabı

Triatlonda yüzme, yarışın ilk aşamasını oluşturarak sporcunun yarışa nasıl bir başlangıç yapacağını belirleyen kritik bir bölümdür. Bu etap, sporcuların fiziksel dayanıklılığı kadar enerji yönetimi ve stratejik yaklaşımlarını da sınar. İyi bir yüzme performansı, sporcuların rakiplerine avantaj sağlamasına yardımcı olurken, aşırı efor sarf etmek sonraki bisiklet ve koşu etaplarında enerji kaybına yol açabilir (Crowley ve ark., 2017). Çevresel faktörler (dalgalar, su sıcaklığı, diğer sporcuların etkisi gibi) ve açık su yüzmesinin dinamikleri, bu etapta sporcuların uyum becerilerini sınanan önemli unsurlar arasında yer alır. Özellikle yön bulma yeteneği ve suyun fiziksel koşullarına adaptasyon, yüzme performansını belirleyici bir rol oynar (Ruiz-Navarro ve ark., 2022).

Triatlonun türüne göre yüzme mesafeleri değişiklik göstermektedir. Sprint triatlonda 750 metre, olimpiik triatlonda 1.5 kilometre, Half-Ironman'da 1.9 kilometre ve Ironman'da 3.8 kilometre yüzme mesafeleri bulunur. Mesafe arttıkça sporcuların enerji yönetimi, nefes kontrolü ve teknik becerilerinin önemi de artar. Özellikle uzun mesafeli triatlonlarda yüzme etabını enerji tasarrufu sağlayarak tamamlamak, sonraki etaplar için belirleyici bir avantaj sağlayabilir. Serbest stil yüzme, hız ve enerji verimliliği avantajı sunduğu için triatlonda en çok tercih edilen stildir (Hauswirth ve Brisswalter, 2008).

Yüzme performansının temelini biyomekanik özellikler oluşturur. Düz bir vücut pozisyonu su direncini azaltırken, kol çekişi ve bacak vuruşları ileri itiş gücünün ana kaynaklarıdır. Nefes kontrolü ise hem oksijen ihtiyacını karşılar hem de sporcunun suda dengesini korumasına yardımcı olur. Açık su yüzmesinde yön bulma (sight-seeing) gibi ek beceriler, parkur işaretlerini takip ederken hız kaybını en aza indirmeyi gerektirir. Bu tekniklerin etkin bir şekilde uygulanması, sporcuların performanslarını artırmalarına ve enerji tasarrufu sağlamalarına yardımcı olur (Ruiz-Navarro ve ark., 2022).

Literatürde yapılan araştırmalar, triatlonda yüzme performansını etkileyen faktörlere ışık tutmaktadır. Yapılan araştırmalarda enerji tasarrufu sağlayan verimli yüzme tekniklerinin bisiklet ve koşu etaplarında daha iyi performansla sonuçlandığını ortaya koyulmuştur (Delextrat ve ark., 2003). Chatard ve Wilson (2003) açık su yüzmesinin, havuz yüzmesine kıyasla daha fazla enerji gerektirdiğini ve su akıntıları, türbülans gibi faktörlerin

performansı zorlaştırdığını vurgulamıştır (Chatard ve Wilson, 2003). Pendergast ve arkadaşları (2011) ise ritmik nefes alma tekniklerinin oksijen tüketimini optimize ederek yorgunluğu geciktirdiğini göstermiştir. Ayrıca yapılan araştırmalarda dengeli bir vücut pozisyonunun su direncini azalttığını ve hız kazandırdığı belirlenmiştir (Demura ve ark., 2010).

Triatlonda yüzme performansını artırmak için teknik antrenmanlar, dayanıklılık çalışmaları ve açık su antrenmanları önemlidir. Geçiş antrenmanları, yüzmeden bisiklete geçişte enerji kaybını en aza indirir ve sporcuların bu geçişte daha hızlı toparlanmasını sağlar (Ambrosini ve ark., 2024). Sonuç olarak, triatlonda başarılı bir yüzme performansı, yalnızca fiziksel dayanıklılık değil, aynı zamanda doğru tekniklerin uygulanması ve stratejik hazırlıkla mümkün olabilir. Bu etapta enerji yönetimi, biyomekanik özellikler ve çevresel faktörlere uyum, genel yarış başarısını belirleyen temel unsurlardır.

2.3. Bisiklet Etabı

Triatlonda bisiklet etabı, yarışın en uzun mesafesine sahip bölümü olup, sporcuların fiziksel dayanıklılıklarını, enerji yönetimlerini ve stratejik becerilerini sıyanan kritik bir aşamadır (Sharma ve Périard, 2020). Bu etap hem hız hem de enerji yönetiminin optimal seviyede tutulmasını gerektirir. İyi bir bisiklet performansı, yalnızca hızla değil, aynı zamanda bisiklet-koşu geçişine adaptasyon kabiliyetiyle de ilişkilidir. Parkur özellikleri (düz yol, yokuşlar, rüzgar etkisi) ve ekipman seçimi (bisiklet tipi, lastik basıncı, vites ayarları) bisiklet performansını doğrudan etkileyen faktörlerdir. Ayrıca, beslenme ve sıvı alımı gibi enerji yönetimi stratejileri, sonraki koşu etabı için enerji seviyelerinin korunmasında hayati öneme sahiptir (Kimber ve ark., 2002).

Triatlondaki bisiklet mesafeleri, yarış türüne göre değişiklik göstermektedir. Sprint triatlonda 20 kilometre, olimpiik triatlonda 40 kilometre, Half-Ironman'da 90 kilometre ve Ironman'da 180 kilometrelik bisiklet parkurları bulunur. Mesafe arttıkça dayanıklılık ve enerji yönetimi daha fazla önem kazanırken, kısa mesafeli yarışlarda hız ve teknik beceriler öne çıkar. Uzun mesafeli yarışlarda enerji tasarrufu sağlamak, sonraki koşu etabında daha iyi bir performans için belirleyici bir avantaj oluşturur (Ruiz-Navarro ve ark., 2022).

Bisiklet performansını etkileyen biyomekanik faktörler arasında vücut pozisyonu, pedal çevirme tekniği ve ekipman kullanımı bulunur. Aerodinamik bir duruş, rüzgâr direncini azaltarak enerji tüketimini düşürürken, pedal çevirme sırasında döngünün tamamında eşit güç uygulanması enerji verimliliğini artırır. Ayrıca, yokuş çıkışlarında düşük vites ve yüksek kadans kullanımı, bacak kaslarında yorgunluğu azaltarak performansı destekler. Hafif ve aerodinamik bir bisiklet, uygun lastik basıncı ve doğru vites kullanımı da biyomekanik verimliliği artıran diğer unsurlardır (Fonda ve Sărabon, 2012).

Literatürde bisiklet etabı üzerine yapılan araştırmalar, bu etabın triatlon performansındaki önemine ışık tutmaktadır. Millet ve arkadaşlarının (2009) çalışması, yüksek kadansla pedal çevirmenin bacak kaslarının toparlanmasını hızlandığını ve koşu performansını olumlu etkilediğini ortaya koymuştur (Millet ve ark., 2009). Kyle ve Burke (1984), aerodinamik duruşun rüzgâr direncini %30 oranında azaltarak enerji tasarrufu sağladığını belirtirken, bu pozisyonun uzun süre korunmasının kas yorgunluğuna yol açabileceğini ifade etmiştir. Naderi (2023), bisiklet sırasında düzenli karbonhidrat alımının kas glikojen seviyelerini koruduğunu ve dayanıklılığı artırdığını vurgulamıştır (Naderi ve ark., 2023).

Başarılı bir bisiklet performansı için aerodinamik duruş, pedal çevirme teknikleri ve enerji yönetimi odaklı antrenmanların yanı sıra geçiş çalışmaları (T2) düzenli olarak yapılmalıdır. Ayrıca, beslenme stratejileri ve ekipman seçimi de genel yarış başarısını doğrudan etkiler (Ruiz-Navarro ve ark., 2022). Triatlonda bisiklet etabı, yalnızca bu etaptaki performansı değil, sonraki koşu etabını da olumlu yönde etkileyerek genel yarış sonucuna önemli katkılarda bulunur. Bu nedenle, bisiklet etabına yönelik hazırlık, triatlon sporcularının en yüksek performansı sergilemesi için büyük öneme sahiptir.

2.4. Koşu Etabı

Triatlondaki koşu branşı, yarışın son aşamasını oluşturur ve sporcuların hem fiziksel hem de zihinsel dayanıklılığını sınan en kritik bölümdür (Kennedy ve ark., 2020). Yüzme ve bisiklet etaplarının ardından doğrudan koşuya geçiş yapıldığı için bu aşama, bacaklardaki yorgunluk, enerji yönetimi ve zihinsel dayanıklılık gibi zorlukları beraberinde getirir. Mesafe, yarış türüne göre değişir: sprint triatlonda 5 kilometre, olimpik triatlonda 10 kilometre, Half-Ironman'da yarı maraton (21.1 km) ve Ironman'da tam maraton (42.2 km).

Koşu, sporcunun dayanıklılık, hız ve stratejik becerilerini en iyi şekilde sergilemesi gereken bölümdür.

Bu aşamada en önemli faktörlerden biri, bisiklet-koşu geçişinde bacakların yeni harekete alışmasıdır. Kadans artırılarak ve sabit bir tempo korunarak bu geçiş kolaylaştırılabilir (Heiden ve Burnett, 2003). Ayrıca yarış boyunca enerji ve sıvı alımı dikkatle yönetilmelidir. Karbonhidrat jelleri ve elektrolit içecekleri hem enerji seviyesini korumak hem de su kaybını dengelemek için hayati öneme sahiptir (Ruiz-Navarro ve ark., 2022). Koşunun ilk kilometrelerinde sabırlı davranarak temponuzu kontrol altında tutmak, son kilometrelerde hızlanma şansı sunar. Düzenli antrenman, geçiş çalışmaları (örneğin, bisikletin ardından koşu) ve uzun mesafe koşuları dayanıklılığı artırırken, interval antrenmanları hız gelişimine katkı sağlar. Koşu formunun optimize edilmesi, enerji verimliliğini artırarak yorgunluğu azaltır (Etxebarria ve ark., 2019).

Literatürde triatlondaki koşu performansı, genellikle bisiklet-koşu geçişinin fizyolojik etkileri, enerji yönetimi ve koşu ekonomisi çerçevesinde ele alınır. Millet ve arkadaşlarının (2009) yaptığı çalışmalarda, bisiklet sırasında düşük kadansla pedal çevirmenin koşu sırasında kas yorgunluğunu artırdığı ve adım dinamiklerini bozduğu saptanmıştır (Millet ve ark., 2009). Ayrıca Hausswirth ve Lehénaff (2001), yüzme sonrası kasların enerji metabolizmasındaki değişikliklerin koşu sırasında laktat birikimini hızlandırarak erken yorgunluğa neden olabileceğini öne sürmüşlerdir (Hausswirth ve Lehénaff, 2001). Yanlış beslenme veya sıvı alımı da koşu performansını önemli ölçüde etkileyen faktörler arasında gösterilmiştir. Bunun yanı sıra, psikolojik dayanıklılık da önemli bir etkidir. St Clair Gibson ve arkadaşları (2006), triatlon koşusunda zihinsel gücün yorgunluk yönetimi ve yarış temposunda fiziksel dayanıklılık kadar belirleyici olduğunu vurgulamıştır (Gibson ve ark., 2006). Koşunun son aşama olması, sporcunun zihinsel ve fiziksel dayanıklılığını en üst düzeye çıkarmasını gerektirir.

Sonuç olarak, triatlondaki koşu branşı, yarışın sonunu belirleyen ve sporcuların tüm yeteneklerini sergiledikleri bir aşamadır. Fiziksel hazırlığın yanı sıra, geçiş stratejileri, enerji yönetimi ve zihinsel dayanıklılık başarı için hayati öneme sahiptir (Etxebarria ve ark., 2019).

2.5. Kritik Hız

Uzun mesafe koşularında kritik hız, dayanıklılık sporcuları için performans geliştirme, dayanıklılık artırma ve antrenman stratejilerinin optimize edilmesinde kritik bir öneme sahiptir. Bu kavram, bir koşucunun dayanıklılık kapasitesini ve fizyolojik sınırlarını anlamada önemli bir araç olarak kullanılır ve antrenmanların bilimsel temellere dayalı bir şekilde planlanmasına olanak tanır (Pettitt, 2016).

Kritik hız, bir koşucunun aerobik dayanıklılık seviyesini temsil eder. Aerobik enerji sistemi, uzun süreli dayanıklılık sporlarında temel enerji kaynağıdır ve kritik hız bu sistemi maksimum düzeyde etkin kullanmayı sağlar (Casado ve ark., 2022). Kritik hızın altında yapılan koşular, laktat birikimini minimize ederek koşucuların uzun süre sabit bir tempoda koşmalarına olanak tanır. Bu hızda yapılan antrenmanlar aerobik kapasiteyi geliştirir, yağ metabolizmasını artırır ve toparlanma süreçlerini hızlandırır. Öte yandan, kritik hızın üzerinde yapılan antrenmanlar anaerobik enerji sistemini aktive eder, kas dayanıklılığını güçlendirir ve koşucuların yarış temposunu geliştirmelerine yardımcı olur (Beattie ve ark., 2014).

Kritik hız aynı zamanda bir koşucunun yorgunluk eşiğini tanımlar. Kritik hızın hemen üzerinde koşulduğunda, vücut laktat birikimini temizleme kapasitesini aşar ve kaslarda biriken laktat yorgunluğa yol açar. Bu nedenle, kritik hız, sporcunun enerji tüketimi ve laktat temizleme kapasitesini anlamada önemli bir ölçüttür. Bu bilgi, koşucuların yarış sırasında kendilerini aşırı zorlamadan optimal performansı sürdürebilmeleri için rehber niteliği taşır (Pettitt, 2016).

Kritik hızın belirlenmesi, kişiye özel antrenman programlarının hazırlanmasında büyük avantaj sağlar. Kritik hızın altında yapılan antrenmanlar aerobik dayanıklılığı artırırken, kritik hızın üzerinde yapılan antrenmanlar anaerobik kapasiteyi geliştirmeye odaklanır. Bu iki farklı antrenman türünün dengeli bir şekilde uygulanması, koşucuların hem uzun mesafeli yarışlarda dayanıklılıklarını artırmalarını hem de daha hızlı koşma yeteneklerini geliştirmelerini sağlar. Bu antrenman çeşitliliği sayesinde koşucular, fiziksel kapasitelerinin tamamını kullanabilecekleri bir düzeye ulaşabilir (Casado ve ark., 2022).

Bir yarış sırasında kritik hız, optimal tempo belirleme açısından da rehberlik eder. Kritik hızın altında koşan bir sporcu, enerji rezervlerini koruyarak yarışın son bölümlerine enerji tasarrufu yaparak ulaşabilir. Bu stratejik avantaj, özellikle maraton gibi uzun mesafeli yarışlarda sporcunun başarı şansını artırır (Pettitt, 2016).

Kritik hız aynı zamanda, sporcuların fizyolojik kapasitelerindeki değişikliklerin izlenmesi için bir ölçüm aracı olarak kullanılır. Düzenli aralıklarla yapılan testlerle kritik hızın değişimi ölçülebilir. Kritik hızın artışı, sporcunun genel dayanıklılık ve performans düzeyinde ilerleme kaydettiğinin bir göstergesidir. Bu bilgi, antrenman programlarının etkinliğini değerlendirmek ve gerekirse düzenlemeler yapmak için kullanılabilir (Pettitt, 2016).

Bilimsel araştırmalar, kritik hızın dayanıklılık sporcuları için önemli bir eşik olduğunu ortaya koymaktadır (Beattie ve ark., 2014; Casado ve ark., 2022). Jones ve Vanhatalo (2007), kritik hızın yüksek yoğunluklu egzersizlerde enerji sürdürülebilirliği açısından önemli bir ölçüt olduğunu belirtmiştir (Jones ve Vanhatalo, 2017).

Kritik hız, uzun mesafe koşucuları için performansı artırmanın, yorgunluk eşiğini yönetmenin ve antrenmanları bilimsel bir temele dayandırmanın vazgeçilmez bir aracıdır. Kritik hızın doğru bir şekilde belirlenmesi ve bu bilgilere dayanarak oluşturulan antrenman programları, sporcunun dayanıklılığını artırarak yarışlarda maksimum verim almasını sağlar. Bu nedenle, uzun mesafe koşucularının kendi kritik hızlarını bilmesi ve buna uygun bir antrenman stratejisi geliştirmesi büyük önem taşır.

Kritik Hızın Dayanıklılık Sporlarında Kullanımı

Kritik hız, dayanıklılık sporlarında atletlerin performansını değerlendirmek ve antrenman programlarını optimize etmek için önemli bir parametredir. KH, bir sporcunun sürdürebileceği en yüksek sabit hız olarak tanımlanır ve aerobik kapasitenin bir göstergesi olarak kabul edilir (Jones & Vanhatalo, 2017). Bu kavram, özellikle uzun süreli egzersizlerde dayanıklılığı artırmak amacıyla kullanılır (Poole ve ark., 2016).

KH'nin belirlenmesi, genellikle farklı mesafelerde maksimum eforla yapılan koşuların sürelerinin analiz edilmesiyle gerçekleştirilir. Bu analizler sonucunda, hız ve zaman

arasındaki ilişki incelenerek sporcunun KH değeri hesaplanır (Monod & Scherrer, 1965). Elde edilen KH değeri, antrenman programlarının planlanmasında ve performansın izlenmesinde rehberlik eder (Smith ve Jones, 2001).

Dayanıklılık sporlarında KH'nin kullanımı, antrenman yoğunluğunun belirlenmesinde kritik bir rol oynar. Antrenmanlar, KH'nin altında, üzerinde veya tam olarak KH'de olacak şekilde planlanabilir. KH'nin altında yapılan antrenmanlar aerobik dayanıklılığı geliştirirken, KH'nin üzerinde yapılan antrenmanlar anaerobik kapasiteyi artırır (Poole ve ark., 2016). Bu şekilde, sporcuların enerji sistemleri dengeli bir şekilde geliştirilir.

Ayrıca, KH, yarış stratejilerinin belirlenmesinde de kullanılır. Sporcular, yarış boyunca hızlarını KH etrafında düzenleyerek enerji tüketimlerini optimize edebilir ve yorgunluğu geciktirebilirler (Florence ve Weir, 1997). Bu strateji, özellikle maraton gibi uzun mesafeli yarışlarda performansı artırmada etkilidir.

Kritik Hız ve Enerji Sistemleri

Kritik hız, dayanıklılık sporlarında bir sporcunun sürdürebileceği en yüksek sabit hız olarak tanımlanır ve aerobik enerji sisteminin kapasitesini yansıtır (Jones & Vanhatalo, 2017). KH, enerji sistemlerinin etkinliği ve performansın değerlendirilmesinde önemli bir parametredir (Poole ve ark., 2016).

Egzersiz sırasında enerji üretimi, aerobik ve anaerobik enerji sistemleri tarafından sağlanır. Aerobik sistem, oksijen kullanarak enerji üretirken, anaerobik sistem oksijen kullanmadan hızlı enerji sağlar. KH, bu iki enerji sistemi arasındaki dengeyi temsil eder ve sporcunun aerobik kapasitesinin bir göstergesi olarak kabul edilir (Monod ve Scherrer, 1965).

KH'nin altında yapılan egzersizlerde enerji üretimi büyük ölçüde aerobik sistem tarafından karşılanır ve bu tür egzersizler uzun süre sürdürülebilir. KH'nin üzerinde yapılan egzersizlerde ise anaerobik enerji sisteminin katkısı artar, bu da laktat birikimine ve yorgunluğun hızlanmasına neden olur (Poole ve ark., 2016). Bu nedenle, KH, dayanıklılık sporcularının antrenman programlarının planlanmasında ve performanslarının değerlendirilmesinde kritik bir rol oynar (Smith ve Jones, 2001).

KH'nin belirlenmesi için genellikle farklı mesafelerde maksimum eforla yapılan egzersizlerin süreleri analiz edilir. Bu analizler sonucunda, hız ve zaman arasındaki ilişki incelenerek sporcunun KH değeri hesaplanır. Elde edilen KH değeri, antrenman programlarının planlanmasında ve performansın izlenmesinde rehberlik eder (Florence ve Weir, 1997).

Kritik Hızın Biyomekanik Etkileri

Kritik hızın biyomekanik etkileri, sporcunun hareket ekonomisi, kas-tendon birimlerinin işlevi ve genel performansı üzerinde belirleyici bir rol oynar (Jones ve Vanhatalo, 2017).

KH'ye ulaşan sporcuların hareket paternleri, altındaki hızlara göre farklılık gösterebilir. Özellikle KH'de koşarken adım uzunluğu ve frekansı gibi kinematik parametreler optimize edilir, bu da enerji maliyetini minimize ederek hareket ekonomisini iyileştirir (Poole ve ark., 2016). Bu optimizasyon, sporcunun daha az enerji harcayarak daha yüksek hızlarda ilerlemesini sağlar (Fletcher ve ark., 2009).

Kas-tendon birimlerinin sertliği, KH üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Daha sert tendonlar, elastik enerji depolama ve geri kazanımını artırarak mekanik verimliliği yükseltir (Kubo ve ark., 2001). Bu durum, özellikle aşıl tendonu gibi büyük tendonlar için geçerlidir. Aşıl tendonunun uygun sertlikte olması, koşu sırasında elastik enerjinin etkin kullanımını destekler ve KH'nin sürdürülebilirliğini artırır (Ishikawa ve Komi, 2008).

Ayrıca, KH'de yapılan antrenmanlar, kasların kuvvet-uzunluk ve kuvvet-hız ilişkilerini etkileyerek kas liflerinin optimal uzunluk ve hızda çalışmasını teşvik eder (Poole ve ark., 2016). Bu adaptasyonlar, kasların daha verimli çalışmasını ve yorgunluğa karşı dirençlerini artırır (Jones ve Vanhatalo, 2017).

D' Mesafesi

D', sporcunun anaerobik enerji kapasitesini ifade eder. D', kritik hızın üzerinde yapılabilecek ek mesafeyi temsil eder ve bireyin anaerobik enerji rezervini yansıtır. Jones ve arkadaşları (2010), kritik hız ve D' parametrelerinin bir koşucunun dayanıklılık sınırlarını anlamada etkili olduğunu belirtmiştir. Kritik hız, tükenmeden sürdürülebilecek

maksimum sabit hız olarak tanımlanırken, D' tükenmeye kadar kullanılabilecek sınırlı bir anaerobik enerji rezervini temsil eder (Jones ve ark., 2010).

Fizyolojik olarak, D', kısa süreli ve yoğun egzersizlerde devreye giren fosfokreatin (PCr) depoları ve anaerobik glikoliz gibi enerji sistemlerinden sağlanan enerjinin bir göstergesidir. Kritik hızın üzerinde yapılan her koşuda, anaerobik enerji rezervi kullanılır ve bu rezerv zamanla tükenir. Vanhatalo ve arkadaşlarının (2007) araştırmalarına göre, kritik hızın üzerindeki hızlarda tükenme süresi, anaerobik kapasitenin (yani D' değerinin) büyüklüğüne bağlıdır ve şu formülle ifade edilebilir:

$$t_{\text{tükenme}} = \frac{D'}{v - v_{\text{kritik}}}$$

Bu denklem, kritik hızın üzerindeki hız farkının D' rezervinin ne kadar hızlı tüketileceğini belirlediğini gösterir.

Kritik hız ve D', bireysel performans analizi ve antrenman planlamasında önemli araçlardır. Poole ve arkadaşları (1988), bu parametrelerin dayanıklılık performansı üzerindeki etkilerini incelemiş ve kritik hızın aerobik kapasiteyi, D' değerinin ise anaerobik kapasiteyi temsil ettiğini belirtmiştir. Antrenman planlamasında, dayanıklılık sporcularının hem kritik hızını artırmak hem de D' değerini korumak veya geliştirmek hedeflenir. Kritik hızın altında yapılan uzun süreli antrenmanlar aerobik kapasiteyi geliştirirken, kısa ve yüksek yoğunluklu antrenmanlar D' değerinin artırılmasına katkı sağlayabilir.

Kritik Hız ve Güç İlişkisi

Kritik hız, bir sporcunun aerobik kapasitesini ve dayanıklılık düzeyini değerlendiren önemli bir fizyolojik parametredir. Bu kavram, sporcuların enerji tüketimini optimize ederek sürdürülebilir performanslarını belirlemede etkili bir araç olarak kullanılmaktadır (Jones & Vanhatalo, 2017). Kritik hız, dayanıklılık antrenmanlarının yoğunluk seviyesini belirlemede önemli bir eşik olarak kabul edilirken, güç (power) ise birim zamanda üretilen iş miktarıyla doğrudan ilişkilidir ve kasların enerji dönüşüm kapasitesini ifade eder (Pettitt, 2016).

Güç, sporcularda kısa süreli yüksek yoğunluklu eforlarda anaerobik kapasitenin bir göstergesi olarak kullanılırken; kritik hız, daha uzun süreli dayanıklılık etkinlikleri sırasında aerobik enerji sisteminin sürdürülebilirliğini ölçer (Monod & Scherrer, 1965). Bu iki parametre arasındaki ilişki, enerji yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Örneğin, Casado ve arkadaşları (2022), kritik hızın altında gerçekleştirilen antrenmanların aerobik dayanıklılığı artırdığını, üstünde yapılan eforların ise anaerobik rezervlerin tüketimine yol açtığını göstermiştir. Bu bulgular, güç ve hız parametrelerinin birlikte değerlendirilmesinin performans optimizasyonunda etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.

Literatürde, kritik hızın belirlenmesinde kullanılan modeller, sporcunun maksimum aerobik gücünü ve enerji tüketim dinamiklerini değerlendirme imkânı sunar (Jones & Vanhatalo, 2017). Özellikle, güç eğrileri ve kritik hız hesaplamaları, dayanıklılık sporlarında bireyselleştirilmiş antrenman programlarının tasarlanmasında kullanılabilir (Galbraith ve ark., 2011). Kritik hız temposunda yapılan koşular sırasında gücün stabil bir şekilde korunması, sporcuların enerji verimliliğini artırmak için etkili bir strateji olarak öne çıkmaktadır (Beattie ve ark., 2014).

2.5. Kritik Hız Belirleme Yöntemleri

2.5.1. Çoklu Mesafe Performans Testleri

Kritik hız hesaplamasının en yaygın yöntemlerinden biri, farklı mesafelerdeki koşu sürelerinin kullanılmasıdır. Bu test yöntemi genellikle şu şekilde gerçekleştirilir:

İki Mesafeli Test: Sporcu, örneğin 3 km ve 5 km mesafelerinde maksimum performans göstererek koşar. Bu mesafelerdeki süreler ve mesafeler kullanılarak kritik hız hesaplanır (Kordi ve ark., 2019).

Kritik hız şu formülle bulunabilir:

$$Kritik\ Hız\ (V_{Kritik}) = \frac{(d_2 - d_1)}{(t_2 - t_1)}$$

d_1 ve d_2 : İki Farklı mesafe (örneğin 3 km ve 5 km),

t_1 ve t_2 : Bu mesafelerin tamamlanma süreleri

Bu yöntem, kısa ve uzun mesafelerden elde edilen verileri birleştirerek dayanıklılık kapasitesini daha doğru bir şekilde ölçer.

2.5.2. Sabit Mesafe Testi (5 km Performans Koşusu)

Sporcunun sadece 5 km mesafesini en hızlı şekilde tamamladığı bir koşu testi yapılabilir (Figueiredo ve ark., 2021). Kritik hız, bu mesafede ulaşılan ortalama hız olarak hesaplanır:

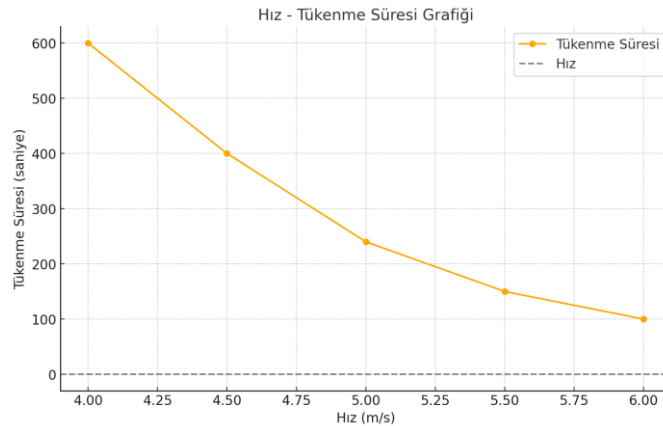
$$\text{Kritik Hız } (V_{\text{Kritik}}) = \frac{\text{Mesafe}}{\text{Süre}}$$

Bu yöntem, yalnızca tek bir mesafe kullanıldığından basit bir yaklaşımdır. Ancak diğer mesafelerle karşılaştırma yapılmadığı için daha sınırlı bir bilgi sağlar.

2.5.3. Tükenme Süresi Testleri

Farklı sabit hızlarda koşarak tükenme sürelerini belirlemek de kritik hız hesaplamada kullanılan bir yöntemdir.

Sporcu, belirli hızlarda (örneğin 4 m/s, 4.5 m/s, 5 m/s) koşar ve her hızda ne kadar süre dayanabildiği kaydedilir (Lipková ve ark., 2022). Tükenme süreleri ve hızlar bir grafik üzerinde çizilir (hız-tükenme süresi grafiği). Grafikteki eğrinin yatay asimptotu, kritik hızı temsil eder.

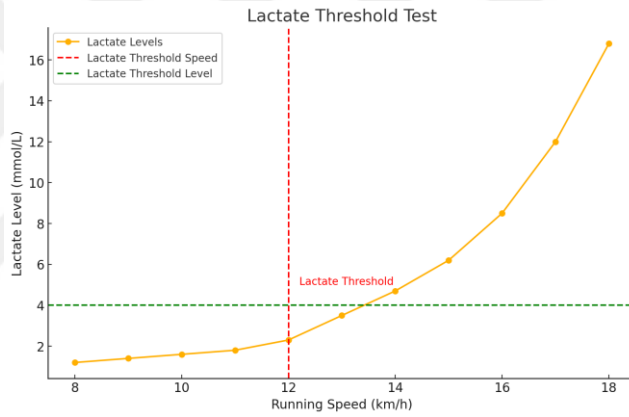


Şekil 2.1. Hız Tükenme Eğrisi

Bu yöntem, sporcunun dayanıklılık ve yorgunluk sınırlarını detaylı bir şekilde analiz etmeye olanak tanır.

2.5.4. Laktat Eşiği Testleri

Laktat birikimi kritik hızın belirlenmesinde önemli bir biyolojik parametredir. Bu test genellikle laboratuvar ortamında yapılır: Sporcu, artan hızlarla koşarken belirli aralıklarla kan laktat düzeyleri ölçülür. Laktat birikiminin hızlı bir şekilde arttığı hız (laktat eşiği), kritik hızın bir göstergesi olarak kullanılır. Laktat testi, fizyolojik ölçümler gerektirdiği için daha karmaşık bir yöntemdir ancak çok hassas sonuçlar verir (Dekerle ve ark., 2003).



Şekil 2.2. Laktat- hız örnek grafiği

2.5.5. Saha Testleri

Saha testleri, sporcuların doğal antrenman koşullarında kritik hızlarını belirlemelerini sağlar (Galbraith ve ark., 2011).

Örneğin: 12 Dakika Koşu Testi (Cooper Testi): Sporcu, 12 dakika boyunca maksimum eforla koşar ve kat edilen mesafe kaydedilir. Bu mesafeye göre ortalama hız, kritik hız olarak kabul edilebilir.

Yokuş veya Tempolu Koşular: Belirli eğimlerde yapılan sürekli koşuların ortalama hızı da kritik hız belirlemek için kullanılabilir.

2.5.6. Matematiksel Modeller

Kritik hız belirlemek için kullanılan çeşitli matematiksel modeller, farklı mesafeler ve süreler üzerinden hesaplama yapar (Patoz, Pedrani, ve ark., 2021). Örneğin:

- Monod ve Scherrer Modeli: Farklı mesafelerdeki performans verilerini analiz ederek kritik hız hesaplar.
- Linear Regresyon Modeli: Mesafe-süre ilişkisini doğrusal bir regresyon grafiğine oturtarak eğim üzerinden kritik hız belirlenir.

2.6. Aşıl Tendonu Sertliği

Aşıl tendonu, insan vücudundaki en güçlü ve dayanıklı tendonlardan biri olarak, baldır kaslarını (gastroknemius ve soleus) topuk kemiğine bağlar. Yaklaşık 15 santimetre uzunluğundaki bu tendon, koşu, zıplama ve denge gibi temel hareketlerde kritik bir rol oynar (Wong ve ark., 2023). Kas kuvvetini topuğa aktararak ileri itiş sağlar ve elastik özelliği sayesinde hareket verimliliğini artırır. Özellikle uzun mesafe koşuları ve triatlon gibi dayanıklılık sporlarında, aşıl tendonunun sağlığı ve işlevselliği hem performansın artırılmasında hem de sakatlık risklerinin azaltılmasında büyük önem taşır (Suc ve ark., 2022).

Uzun mesafe koşularında aşıl tendonu, kas kuvvetinin topuk ve ayağa aktarılmasında temel bir görev üstlenir. Koşu sırasında her adımda elastik enerji depolar ve serbest bırakarak sporcuların enerji tasarrufu yapmasını sağlar. Sağlıklı ve esnek bir aşıl tendonu, enerji harcamasını azaltarak koşu ekonomisini iyileştirir. Ancak aşırı yüklenme veya yetersiz antrenman nedeniyle tendon sorunları (tendinit, tendinopati veya yırtık gibi) sıkça görülebilir. Bu tür yaralanmalar, yalnızca performans kaybına değil, aynı zamanda uzun süreli dinlenme gereksinimine de yol açabilir (Suc ve ark., 2022).

Triatlon gibi çok disiplinli dayanıklılık sporlarında, aşıl tendonu her üç etapta da farklı şekillerde stres altındadır. Yüzme sırasında tendon üzerindeki stres nispeten azdır ancak esneklik ve koordinasyon gerektirir (Kurihara ve ark., 2012). Bisiklet etabında, pedal çevirme hareketleri düşük seviyeli bir gerilim yaratırken, yanlış pedal tekniği veya ayak

pozisyonu tendonu olumsuz etkileyebilir. Koşu etabı ise aşıl tendonu üzerinde en yüksek yüklenmenin olduğu bölümdür. Bisiklet sonrası yorgun kaslarla koşuya geçiş, tendona binen stresi artırır. Bu nedenle triatloncular için tendon güçlendirme, esneklik çalışmaları ve doğru ayakkabı seçimi gibi önlemler kritik öneme sahiptir (Hunter ve ark., 2015).

Literatürde yapılan araştırmalar, aşıl tendonunun dayanıklılık sporlarındaki rolünü net bir şekilde ortaya koymaktadır. Monte ve arkadaşları (2020), aşıl tendonunun elastik enerji depolayarak kasların enerji tüketimini azalttığını ve dayanıklılık sporcularında enerji ekonomisinin temel bileşenlerinden biri olduğunu göstermiştir (Monte ve ark., 2020). Galloway ve arkadaşları (2013) ise aşırı yüklenme ve yetersiz dinlenmenin aşıl tendonunda sakatlıklara yol açabileceğini vurgulamıştır (Galloway ve ark., 2013). Kubo ve arkadaşları (2015), aşıl tendonunun sertlik seviyesinin koşu ekonomisiyle doğrudan ilişkili olduğunu belirtmiş ve orta düzeyde bir sertliğin enerji geri kazanımı için ideal olduğunu ifade etmiştir (Kubo ve ark., 2015).

Aşıl tendonu sağlığını korumak için düzenli esneklik ve kuvvet antrenmanları yapılmalı, uygun ayakkabı tercih edilmeli ve aşırı yüklenmeden kaçınılmalıdır. Ayrıca, triatloncular için bisiklet-koşu geçişine odaklanan antrenmanlar, tendonu bu değişime adapte ederek sakatlık riskini azaltır (Gosling ve ark., 2008). Sonuç olarak, aşıl tendonu, enerji verimliliği ve genel performans üzerinde doğrudan etkili bir yapıdır. Tendon sağlığını korumak, sporcuların maksimum performansa ulaşması ve sakatlık risklerini en aza indirmesi için kritik bir gerekliliktir.

$$Stiffness (S) = \frac{F}{D}$$

Aşıl tendonu sertliğini (stiffness) ölçerken, genellikle F, D, ve S gibi parametreler kullanılır. Bu terimler, tendonun mekanik özelliklerini anlamaya yardımcı olur. Bu parametrelerden biri olan salınım frekansı (F), kasın doğal osilasyon frekansını (Hz cinsinden) ifade eder ve kas tonusunun bir göstergesi olarak kabul edilir. Yüksek F değeri, kasın daha sert ve gergin olduğunu, düşük F değeri ise kasın daha gevşek ve yumuşak olduğunu gösterir. Decrement (D), kasın uygulanan mekanik bir uyarandan sonra titreşimlerinin sönümlenme oranını ifade eden bir parametredir ve kasın elastikiyetini

değerlendirmede kullanılır. Daha yüksek D değeri, kasın titreşimlerinin daha hızlı sönümlendiğini ve dolayısıyla elastikiyetinin daha düşük olduğunu gösterir. Bu parametre, kasların biyomekanik ve viskoelastik özelliklerinin objektif bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanır. Bu değer, genellikle milimetre (mm) olarak ifade edilir ve tendonun deformasyonunu temsil eder. S (Stiffness), sertlik değerini temsil eder. Aşıl tendonunun sertliği, frekansın (F) tendonun gösterdiği gerilme (D) ile oranı olarak hesaplanır. Sertlik (S) birimi genellikle Newton/metre (N/m) olur. Bu ölçüm, kasın mekanik özelliklerini objektif olarak değerlendirmede kritik bir rol oynar. Yüksek S değeri, kasın daha sert olduğunu ve deformasyona karşı daha fazla direnç gösterdiğini, düşük S değeri ise kasın daha yumuşak olduğunu ve deformasyona karşı daha az direnç gösterdiğini belirtir. Myoton cihazı, kas tonusu, sertliği ve elastikiyeti gibi biyomekanik ve viskoelastik özellikleri değerlendirmek için güvenilir ve geçerli bir araç olarak kabul edilmektedir (Nguyen ve ark., 2022).

3. GEREÇ ve YÖNTEM

3.1. Araştırma Grubu

Çalışmada kullanılacak minimum örneklem sayısının belirlenmesi amacıyla G*Power 3.1 yazılımı kullanılarak güç analizi gerçekleştirilmiştir. Bağımlı gruplar arasında farkı test etmeye yönelik planlanan ölçümler için, istatistiksel test türü olarak “Paired-samples t-test” seçilmiştir. Etki büyüklüğü (effect size) literatürde yer alan benzer çalışmalara (Diniz ve ark., 2025; Monte ve ark., 2020) dayalı olarak 0.70 (Cohen’s d) olarak belirlenmiştir. Tip I hata (α) değeri 0.05, güç ($1-\beta$) değeri ise 0.80 olarak tanımlanmıştır. Yapılan analiz sonucunda minimum gerekli örneklem sayısı 19 olarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda çalışmaya katılan 20 triatlet, planlanan analizler için yeterli örneklem gücünü sağlamaktadır.

Araştırmaya, Antalya ilinde yaşayan ve en az 4 yıldır triatlon sporu yapan, 20 yaş üstü, 20 erkek sporcu katılmıştır. Katılımcılar haftada en az üç gün koşu antrenmanı yapan, triatlon sporunda 5 ± 1 yıl deneyime sahip sporculardır. Araştırma sürecinde tüm katılımcılar bilgilendirilmiş onam formunu doldurmuş ve çalışmaya gönüllü olarak katılmışlardır.

Çalışmaya Dahil Olma Kriterleri

- Benzer yaş ve antrenman geçmişine sahip olmaları,
- Aktif olarak bir spor kulübünde sezon içinde yer almaları,
- Destekleyici gıda dışında herhangi bir ilaç veya takviye kullanmamaları,
- Nörolojik veya kardiyolojik hastalık öykülerine sahip olmamaları,
- En az 4 yıldır triatlon sporu yapıyor olmaları.

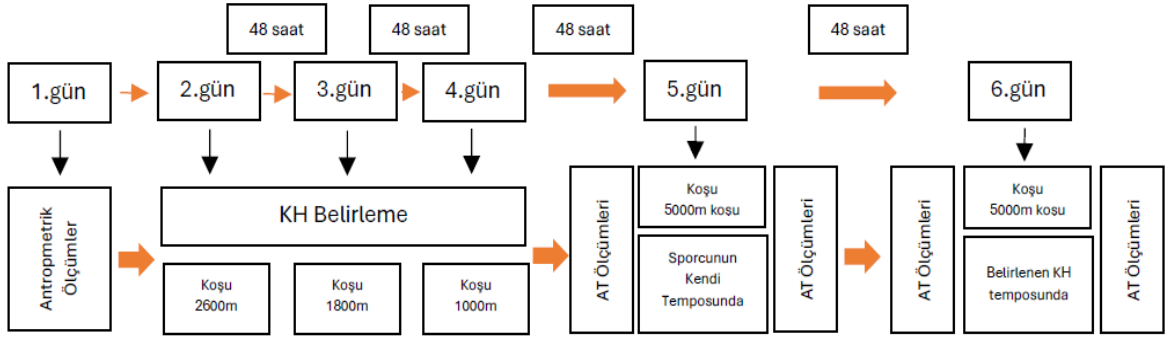
Çalışmadan Dışlanma Kriterleri

- Katılımcının çalışmadan ayrılmak istemesi,
- Ölçümlere katılmaması veya uyum göstermemesi,

- Araştırma sırasında herhangi bir ilaç veya takviye kullanımı.

3.2. Araştırma Tasarımı

Araştırma, katılımcıların atletizm pistinde 48 saat ara ile gerçekleştirdiği 5 farklı maksimal test seansından oluşmaktadır. İlk test gününde, boy, ağırlık, yağ yüzdesi, kas kütlesi ve bacak uzunluğu gibi antropometrik ölçümler yapılmış ve katılımcılara test protokolleri hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Son test gününde 2.600m koşu, 3. test gününde 1.800m koşu, 4. test gününde 1.000m koşu, 5. test gününde katılımcıların kendi belirledikleri hızda 5000 m, 6. test gününde ilk üç koşu süresinden hesaplanan kritik hız temposunda 5000m koşu testi gerçekleştirmiştir.



Şekil 3.1. Araştırma Akış Şeması

Katılımcılara, test günlerinde şu talimatlar verilmiştir:

- Testlerden 2 saat önce yiyecek tüketmemeleri,
- Testten önceki 48 saat boyunca kafein ve alkolden uzak durmaları,
- Yorucu egzersizlerden kaçınmaları,
- Hava koşullarına uygun ve performansı engellemeyecek rahat kıyafetler tercih etmeleri.

3.3. Verilerin Toplanması

3.3.1. Katılımcıların Fiziksel özelliklerinin Belirlenmesi

Boy ölçümü: Boy ölçümü, stadiometre veya antropometreyle duvar skalası kullanılarak da yapılmıştır. Katılımcılardan ayakları çıplak ya da kalınlığı göz ardı edilebilecek bir çorap giymeleri istendi. Katılımcı düz bir zeminde stadiometre ya da duvar skalasına doğru bir açıda durdu. Katılımcının ağırlığı iki ayağına eşit dağıtılması, topuklar birleşik ve stadiometreye temasta, baş frankfort planında, kollar omuzlardan serbestçe yanlara sarkıtılmış durumda olması istendi. Ölçüm sırasında katılımcıdan derin bir nefes almasını ve dik pozisyonunu topukları yerden ayrılmaksızın tutması istendi, stadiometrenin hareketli parçası başın en üst noktasına getirilerek saçlar yeterli miktarda sıkıştırılarak ölçüm 1 mm'ye kadar not edildi (Özer, 1993).

Ağırlık ölçümü: İki ayak tartıya eşit oranda basmış şekilde, gönüllüler dik ve hareketsiz durumdayken biyoelektrik empedans cihazı (Tanita Body Composition Analyzer Type SC330) kullanılarak ölçüldü.

Beden yağ yüzdesi: Bioelektrik impedans yöntemiyle belirlendi (Tanita Body Composition Analyzer Type SC330).

Vücut kütle indeksi (VKİ): $\frac{\text{Ağırlık (kg)}}{\text{Boy}^2 (\text{m}^2)}$ formülü kullanılarak hesaplandı.

3.3.2. Koşu Testi ve Kritik Hızın Belirlenmesi

Her katılımcı, atletizm pistinde 48 saat arayla 5 farklı maksimal koşu testi gerçekleştirmiştir. Testlerden önce, katılımcılar 15 dakikalık kendi belirledikleri düşük yoğunluklu bir ısınma protokolü uygulamıştır (Figueiredo ve ark., 2021). İlk üç test sırasıyla 2.600, 1.800 ve 1.000 m olarak gerçekleştirilmiştir. İlk 3 test sonucuna göre Excell programı ile sporcunun kritik hız grafiği çizilerek doğrunun eğim denklemi hesaplanmıştır. Bu denklem sonucunda 5000m kritik hızı belirlenmiştir (Galbraith ve ark., 2011).

Kritik hız formülü;

$d = (CS \times t_{lim}) + D'$ olarak belirlenmiştir.

- d = Koşulan mesafe (metre),
- CS = Kritik hız (metre/saniye),
- t_{lim} = Tükenme süresi (saniye),
- D' = Kritik hızın üstünde koşulan mesafeyi ifade eder.

Dördüncü test gününde katılımcılar, kendi belirledikleri hızda maksimal çabayla 5000 m koşu testi gerçekleştirmiştir. Beşinci test gününde ise, katılımcılara akıllı bir spor saati takılarak, formüllerle hesaplanan bireysel kritik hız temposunda 5000 m koşmaları talimatı verilmiştir.

3.3.3. Fizyolojik Ölçümler

Kalp Atım Değişkenliği: Koşu testleri sırasında, katılımcıların kalp atım hızı Polar H10 kalp atış hızı sensörü kullanılarak ölçülmüş ve her test süresince sürekli olarak kaydedilmiştir. Testler sonunda, maksimum (KAH_{mak}) ve ortalama (KAH_{ort}) kalp atım hızı değerleri analiz edilmek üzere kaydedilmiştir.

3.3.4. Koşu Testleri ve Kinematik Ölçümler

Koşu testleri: Koşu testlerinden önce, katılımcılar kendi belirledikleri düşük yoğunluklu bir tempoda 15 dakikalık bir ısınma egzersizi yapmıştır. Testler sırasında katılımcılar, 2600 m, 1800 m, 1000 m ve ilk 5000 m koşularında hız stratejilerini özgürce belirlemiş ve bu mesafeleri atletizm pistinde mümkün olan en kısa sürede tamamlamaları için teşvik edilmiştir.

Yerle Temas Süresi (YTS): Katılımcıların koşu sırasında bir ayağının yere ilk temas ettiği andan ayağın yerden kesildiği ana kadar geçen süredir. Milisaniye (ms) cinsinden hesaplanır. Garmin akıllı spor saati ve Stryde güç ölçüm cihazı ile ölçülerek anlık kaydedilmiştir.

Adım Uzunluğu (AU): Katılımcının birbirini takip eden iki adımı arasındaki mesafedir. Metre (m) cinsinden hesaplanır. Garmin akıllı spor saati ve Stryde güç ölçüm cihazı ile ölçülerek anlık kaydedilmiştir.

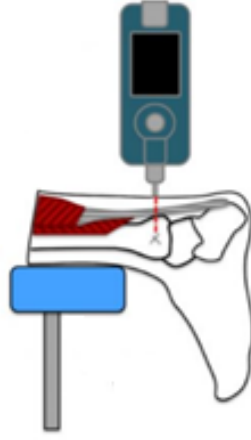
Adım Frekansı (AF): Katılımcıların bir dakikada attığı toplam adım sayısını ifade eder. "adım/dakika" (steps per minute - spm) cinsinden ölçülür. Garmin akıllı spor saati ve Stryde güç ölçüm cihazı ile ölçülerek anlık kaydedilmiştir.

Dikey Salınım: Koşu sırasında vücudun ağırlık merkezinin yukarı ve aşağı hareket ettiği mesafeyi ifade eder. Santimetre (cm) cinsinden ölçülür. Garmin akıllı spor saati ve Stryde güç ölçüm cihazı ile ölçülerek anlık kaydedilmiştir.

Güç verileri: Katılımcıların ayakkabısına Stryde powermetre cihazı yerleştirilmiştir. Stryd cihazı, koşu sırasında harcanan mekanik gücü (watt cinsinden) hesaplamak için bir dizi gelişmiş sensör ve algoritma içerir. Koşu sırasında koşucunun hareketi, koşu yüzeyi ve çevresel etkiler gibi faktörleri analiz ederek anlık güç değerlerini sunar. Üç eksenli ivmeölçer ile katılımcının hareketini tüm yönlerde (yukarı-aşağı, ileri-geri, sağa-sola) analiz eder. Jiroskop ile vücudun yönelim değişikliklerini ve stabilitesini ölçer. Kuvvet sensörleri ile ise yerle temas sırasında ayağın yere uyguladığı kuvveti algılar. Cihaz tüm testler boyunca kullanılmış ortalama ve maksimum güç değerleri kaydedilmiştir.

Aşıl Tendon Sertliği (S_{AT}): Katılımcı yüzüstü pozisyonda yatarken, aşıl tendon sertliği Myoton cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Aşıl tendon (AT) viskoelastik özellikleri serbest salınım tekniğine dayalı olarak belirlenmiştir. Ölçüm aracının probu önce cilde dik yerleştirilmiş ve deri altı dokunun sıkıştırılması için bir ön basınç uygulanmıştır. Daha sonra dokunun salınımına neden olan kısa bir mekanik uyarım verilmiş ve dokuda üretilen salınım, bir ivme ölçerle kaydedilmiştir. Bu ham sinyal daha sonra dokunun doğal salınımının karakteristik olmayan frekanslarını filtrelemek için işlenecek ve filtrelenmiş hızlanma eğrisi dokunun viskoelastik özelliklerini hesaplamak için kullanılmıştır. Sertlik; filtrelenmiş sinyalin eğrisinden matematiksel olarak aşağıdaki formül ile elde edilmiştir:

Burada a_0 maksimum ivmelenmeyi, m_{prob} cihazın prob kütlesini ve Δl dokunun maksimum yer değiştirmesini ifade etmektedir (Leonard ve ark., 2003).



Şekil 3.2. AT özelliklerinin belirlenmesi

3.4. İstatistiksel Analiz

Araştırmadaki tüm veriler Jamovi (versiyon 2.3.18) istatistik programı kullanılarak analiz edilmiş ve istatistiksel anlamlılık düzeyi ($p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$) olarak belirlenmiştir. Tüm değişkenler için aritmetik ortalama, standart sapma ($\text{Ort} \pm \text{SS}$), minimum ve maksimum gibi tanımlayıcı istatistik değ erler belirlenmiştir.

Verilerin normal dağılıp dağılmadığını tespit etmek için Shapiro-Wilk testi uygulanmıştır. Sporcunun kendi temposunda ve kritik hız temposunda koştuğı 5 km koşu performans sürelerinin karşılaştırılması için Paired Samples T-Testi kullanılmıştır. İki performansın uyumunu değerlendirmek için Bland-Altman Analizi yapılmıştır. 5 km koşu performansının aşıl tendonu sertliğine etkisini belirlemek için Paired Samples T-Testi yapılmıştır. Etki büyükl eri Cohen (2013) tarafından önerildiğı şekilde küçük etki ($d = 0.20$), orta etki ($d = 0.50$) ve büyük etki ($d = 0.80$) olarak değerlendirilmiştir. 5 km koşu parametrelerin (AU, AF, V_{ort} ve V_{mak} , DS, YTS, P_{ort} ve P_{mak} , KAH_{ort}) 5 km performansı ile ilişkisini incelemek için Pearson korelasyon analizi yapılmıştır ($p < 0.01$).

Farklı mesafelerden hesaplanan kritik hızların 5 km performansını ne ölç de tahmin edebileceğini test etmek için basit doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. Ayrıca, farklı mesafelerden (1000 m, 1800 m, 2600 m) elde edilen kritik hızların 5 km performans süresini yordayıp yordamadığını belirlemek amacıyla basit doğrusal regresyon modeli

kurulmuş ve modelin istatistiksel anlamlılığı değerlendirilmiştir ($p<0.01$). Regresyon analizinde bağımsız değişken olarak 1000m, 1800m ve 2600m koşu mesafelerinden hesaplanan kritik hızlar, bağımlı değişken olarak ise 5 km koşu süresi kullanılmıştır ($p<0.01$).



4. BULGULAR

4.1. Katılımcıların Fiziksel Özellikleri

Çalışmada yer alan 20 erkek sporcunun fiziksel özellikleri yaş, boy uzunluğu, vücut ağırlığı, vücut yağ yüzdesi, vücut kütle indeksi ve spor yaşı değerleri Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Demografik Değişkenler

Değişkenler	Ort. $\pm$ SS.	Min.	Mak.
Yaş (yıl)	42.65 $\pm$ 5.86	39.91	45.39
Boy uzunluğu (cm)	176.95 $\pm$ 5.18	174.53	179.37
Vücut ağırlığı (kg)	74.69 $\pm$ 6.03	71.87	77.52
Vücut yağ yüzdesi (%)	14.76 $\pm$ 5.08	12.38	17.14
Vücut kütle indeksi (kg/m ²)	23.89 $\pm$ 1.98	22.96	24.82
Spor yaşı (yıl)	8.10 $\pm$ 2.99	6.70	9.50

Katılımcıların yaş ortalaması 42.65 $\pm$ 5.86 yıl, boy uzunluğu 176.95 $\pm$ 5.18 cm, vücut ağırlığı 74.69 $\pm$ 6.03 kg ve vücut yağ yüzdesi 14.76 $\pm$ 5.08 olarak belirlenmiştir. VKİ ortalaması 23.89 $\pm$ 1.98 kg/m², spor yaşı ortalaması ise 8.10 $\pm$ 2.99 yıl olarak hesaplanmıştır. Tüm değişkenlerin %95 güven aralıkları, verilerin istatistiksel güvenilirliğini desteklemektedir. İlk ve son 5 km koşu kinematik parametrelerinin karşılaştırılması Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. İlk ve Son 5 km Koşu Kinematik Performans Parametrelerinin Karşılaştırılması

	İlk 5km	Son 5km	t	p	ES
t(dk)_{5000m}	26.57 ± 4.3	26.23 ± 4,7	5.51	0.001**	1.23
Δt(%)_{5 km}	-2,1				
AU (m)	1.08 ± 0.18	1.10 ± 0.19	-4.14	0.001**	-0.93
ΔAU(%)_{5 km}	1,85				
AF (spm)	175.50 ± 4.51	176.35 ± 4.82	-3.00	0.007*	-0.67
ΔAF(%)_{5 km}	0,48				
YTS (ms)	277.45 ± 23.91	275.05 ± 23.13	3.35	0.003*	0.75
ΔYTS(%)_{5 km}	-0,87				
DS (cm)	9.90 ± 1.41	9.88 ± 1.35	0.72	0.481	0.16
ΔYTS(%)_{5 km}	-0,20				

* $p < .05$, ** $p < .001$ $t_{5000:5000m}$ koşu süresi, AU: Adım Uzunluğu, AF: Adım frekansı, YTS: Yerle Temas Süresi, DS: Dikey Salınım

İlk ve son 5 km koşu performansları karşılaştırıldığında, toplam süre ($p < 0.001$, $ES = 1.23$) anlamlı şekilde azalmış, adım uzunluğu ($p < 0.001$, $ES = -0.93$) ve adım frekansı ($p = 0.007$, $ES = -0.67$) artmıştır. Yerle temas süresi ($p = 0.003$, $ES = 0.75$) anlamlı olarak azalmıştır. Ortalama ($p < 0.001$, $ES = -1.34$) ve kilogram başına ($p < 0.001$, $ES = -1.35$) güç değerleri son 5 km’de artış göstermiştir. Dikey salınım ($p = 0.481$), ortalama kalp atım hızı ($p = 0.126$) ve maksimum kalp atım hızı ($p = 0.304$) değerlerinde ise anlamlı bir değişiklik saptanmamıştır. İlk ve son 5 km koşu kalp atım ve güç parametrelerinin karşılaştırılması tablo 4.3.’de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. İlk ve Son 5 km Koşu Kalp Atım ve Güç Parametrelerinin Karşılaştırılması

	İlk 5km	Son 5km	t	p	ES
OrtHR (bpm)	175.70 ± 8.27	174.55 ± 7.55	1.60	0.126	0.36
MaxHR (bpm)	184.90 ± 7.55	184.35 ± 7.22	1.06	0.304	0.24
OrtP (w)	221.15 ± 35.06	231.45 ± 33.64	-5.99	0.001**	-1.34
MaxP (w)	245.50 ± 34.25	250.90 ± 31.97	-3.09	0.006*	-0.69
OrtP/kg (w/kg)	3.00 ± 0.62	3.13 ± 0.61	-6.02	0.001**	-1.35

* $p < .05$, ** $p < .001$

Ortalama ve maksimum kalp atım hızı değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmazken ($p > 0.05$), ortalama ve maksimum güç değerleri son 5 km’de anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$).

4.4. AT Özellikleri

İlk 5 km koşu öncesi ve sonrası sağ ve sol AT parametrelerinin karşılaştırılması Tablo 4.4.’de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. İlk 5 km koşu öncesi ve sonrası sağ ve sol AT parametrelerinin karşılaştırılması

	5 km koşu öncesi	5 km koşu Sonrası	t	p	ES
F_{sağ} (Hz)	30.73 ± 1.39	30.49 ± 1.34	0.60	0.556	0.13
F_{sol} (Hz)	30.70 ± 1.30	30.99 ± 1.18	-0.74	0.467	-0.17
D_{sağ}	0.76 ± 0.06	0.75 ± 0.07	0.26	0.801	0.06
D_{sol}	0.76 ± 0.07	0.74 ± 0.06	1.03	0.318	0.23
S_{sağ} (N/m)	823.40 ± 70.90	825.30 ± 60.27	-0.18	0.858	-0.04
S_{sol} (N/m)	823.25 ± 66.45	843.70 ± 52.50	-1.89	0.074	-0.42

* $p < .05$ F_{sağ}: Sağ Frekans, F_{sol}: Sol Frekans, D_{sağ}: Sağ Decrement, D_{sol}: Sol Decrement, S_{sağ}: Sağ Stiffness, S_{sol}: Sol Stiffness

5 km koşu öncesi ve sonrası sağ bacak F, sol bacak F, sağ ve sol bacak D ve sağ bacak S açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p > 0.05$). Ayrıca, sağ bacak F ile sol bacak F arasında da anlamlı bir değişiklik gözlenmemiştir ($p = 0.556$ ve $p = 0.467$). Sağ ve sol bacak D değerleri arasında da anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p = 0.801$ ve $p = 0.318$).

Sol bacak S ($p = 0.074$) ve sağ bacak S ($p = 0.858$) değerlerinde anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Etki büyüklükleri (Cohen's d) düşük seviyelerde kalmıştır, özellikle sağ bacak F için $d = 0.13$, sol bacak F için $d = -0.17$, sağ bacak D için $d = 0.06$, sol bacak D için $d = 0.23$, sağ bacak sertliği için $d = -0.04$, sol bacak sertliği için ise $d = -0.42$ bulunmuştur. Kritik hız temposunda 5 km koşu öncesi ve sonrası sağ ve sol ekstremitte AT parametrelerinin karşılaştırılması Tablo 4.5.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Son 5 km koşu öncesi ve sonrası sağ ve sol ekstremitte AT parametrelerinin karşılaştırılması

	5 km koşu öncesi	5 km koşu Sonrası	t	p	ES
F_{sağ} (Hz)	30.77 ± 1.37	30.64 ± 1.15	0.36	0.726	0.08
F_{sol} (Hz)	30.93 ± 1.29	30.68 ± 1.08	0.58	0.570	0.13
D_{sağ}	0.76 ± 0.07	0.76 ± 0.06	-0.23	0.817	-0.05
D_{sol}	0.75 ± 0.06	0.76 ± 0.06	-0.33	0.745	-0.07
S_{sağ} (N/m)	812.45 ± 49.66	838.60 ± 49.89	-2.51	0.021*	-0.56
S_{sol} (N/m)	824.95 ± 53.51	831.20 ± 71.93	-0.64	0.527	-0.14

* $p < .05$ F_{sağ}: Sağ Frekans, F_{sol}: Sol Frekans, D_{sağ}: Sağ Decrement, D_{sol}: Sol Decrement, S_{sağ}: Sağ Stiffness, S_{sol}: Sol Stiffness

F_{sağ}, F_{sol} ile D_{sağ}, D_{sol} değerlerinde anlamlı bir değişiklik gözlenmemiştir ($p > 0.05$). S_{sağ} değerinde koşu sonrası anlamlı bir artış kaydedilmiştir ($p = 0.021$, ES = -0.56). S_{sol} değerinde ise anlamlı bir değişiklik tespit edilmemiştir ($p > 0.05$). İlk koşu sırasında ölçülen performans değişkenleri ile kritik hız üstü kapasite (D') arasındaki korelasyonlar tablo 4.6.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.6. İlk 5 km Koşusu Performans Değişkenleri ve D' Arasındaki İlişkiler Korelasyon Matrisi

Değişken	D (1-2-3)	Toplam Süre	Adım Uzunluğu	Adım Frekansı	Yerle Temas Süresi	Dikey Salınım	OrtHR	MaxHR	OrtP	MaxP
D (1-2-3)	—									
Toplam Süre	0.41	—								
Adım Uzunluğu	-0.46*	-0.98***	—							
Adım Frekansı	-0.13	-0.55*	0.43	—						
Yerle Temas Süresi	0.22	0.83***	-0.81***	-0.61**	—					
Dikey Salınım	0.39	0.37	-0.36	-0.33	0.44	—				
OrtHR	0.09	0.10	-0.05	-0.33	0.04	0.30	—			
MaxHR	-0.06	-0.05	0.09	-0.29	0.01	0.12	0.93***	—		
OrtP	-0.14	-0.92***	0.91***	0.52*	-0.84***	-0.29	-0.11	-0.03	—	
MaxP	-0.17	-0.93***	0.92***	0.51*	-0.85***	-0.30	-0.07	0.02	0.99***	—

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Kritik hız üstü kapasite (D'), toplam süre ($r = 0.41$) ile pozitif; adım uzunluğu ($r = -0.46$, $p < 0.05$) ile negatif bir ilişki göstermiştir. Toplam süre, yerle temas süresi ($r = 0.83$, $p < 0.001$) ile pozitif; adım uzunluğu ($r = -0.98$, $p < 0.001$), ortalama güç ($r = -0.92$, $p < 0.001$) ve maksimum güç ($r = -0.93$, $p < 0.001$) ile güçlü negatif ilişkiler göstermiştir. Güç değerleri, adım uzunluğu ile güçlü pozitif ($r = 0.91$ ve $r = 0.92$, $p < 0.001$), yerle temas süresi ile negatif ($r = -0.84$ ve $r = -0.85$, $p < 0.001$) korelasyonlar sergilemiştir. Son koşu sırasında ölçülen performans değişkenleri ile kritik hız üstü kapasite (D') arasındaki korelasyonlar Tablo 4.7.'da gösterilmektedir.

Tablo 4.7. Son Koşu Performans Değişkenleri ve D' Arasındaki İlişkiler Korelasyon Matrisi

Değişken	D' (1-2-3)	Toplam Süre	Adım Uzunluğu	Adım Frekansı	Yerle Temas Süresi	OrtHR	MaxHR	OrtP	MaxP	OrtP/kg
D' (1-2-3)	—									
Toplam Süre	0.46*	—								
Adım Uzunluğu	-0.50*	0.98***	—							
Adım Frekansı	-0.18	-0.55*	0.41	—						
Yerle Temas Süresi	0.20	0.79***	-0.77***	-0.55*	—					
OrtHR	0.14	0.13	-0.08	-0.35	0.12	—				
MaxHR	0.08	0.04	-0.01	-0.28	0.07	0.95***	—			
OrtP	-0.10	-0.88***	0.85***	0.53*	-0.81***	-0.13	-0.08	—		
MaxP	-0.23	-0.91***	0.91***	0.48*	-0.88***	-0.08	-0.04	0.95***	—	
OrtP/kg	-0.22	-0.91***	0.88***	0.59**	-0.84***	-0.14	-0.05	0.93***	0.91***	—

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Kritik hız üstü kapasite (D'), toplam süre ile pozitif bir ilişki göstermiştir ($r=0.46$, $p < 0.05$), ancak adım uzunluğu ile negatif bir ilişki bulunmuştur ($r = -0.50$, $p < 0.05$). Toplam süre, yerle temas süresi ($r = 0.79$, $p < 0.001$) ile pozitif; ortalama güç ($r = -0.88$, $p < 0.001$) ve maksimum güç ($r = -0.91$, $p < 0.001$) ile negatif ilişkiler göstermiştir. Ortalama ve maksimum güç değerleri, adım uzunluğu ile güçlü pozitif ($r = 0.85$ ve $r = 0.91$, $p < 0.001$), yerle temas süresi ile negatif ($r = -0.81$ ve $r = -0.88$, $p < 0.001$) ilişkilere sahiptir. Farklı mesafelerden hesaplanan kritik hız (KH) ile 5 km performansı arasındaki ilişkiler Tablo.4.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Farklı Kritik Hızlar (KH) ile İlk ve Son 5 km Koşu Performanslarının Karşılaştırılması

	Ort ± SS	t	p	ES
KH (1-2-3) km/s	11.93 ± 2.27	5.80	<.001	1.30
İlk-5km (km/s)	11.46 ± 2.02			
KH (1-2-3) km/s	11.93 ± 2.27	4.97	<.001	1.11
Son-5km (km/s)	11.74 ± 2.19			
KH (1-2) km/s	12.85 ± 2.53	9.37	<.001	2.09
İlk -5km (km/s)	11.46 ± 2.02			
KH (1-2) km/s	12.85 ± 2.53	9.66	<.001	2.16
Son -5km (km/s)	11.74 ± 11.70			
KH (1-3) km/s	11.96 ± 12.05	6.24	<.001	1.40
İlk -5km (km/s)	11.46 ± 11.25			
KH (1-3) km/s	11.96 ± 2.27	5.89	<.001	1.32
Son -5km (km/s)	11.74 ± 2.19			
KH (2-3) km/s	11.19 ± 2.14	-2.71	0.014	-0.61
İlk -5km (km/s)	11.46 ± 2.02			
KH (2-3) km/s	11.19 ± 2.14	-6.18	<.001	-1.38
Son -5km (km/s)	11.74 ± 2.19			

* $p < .05$

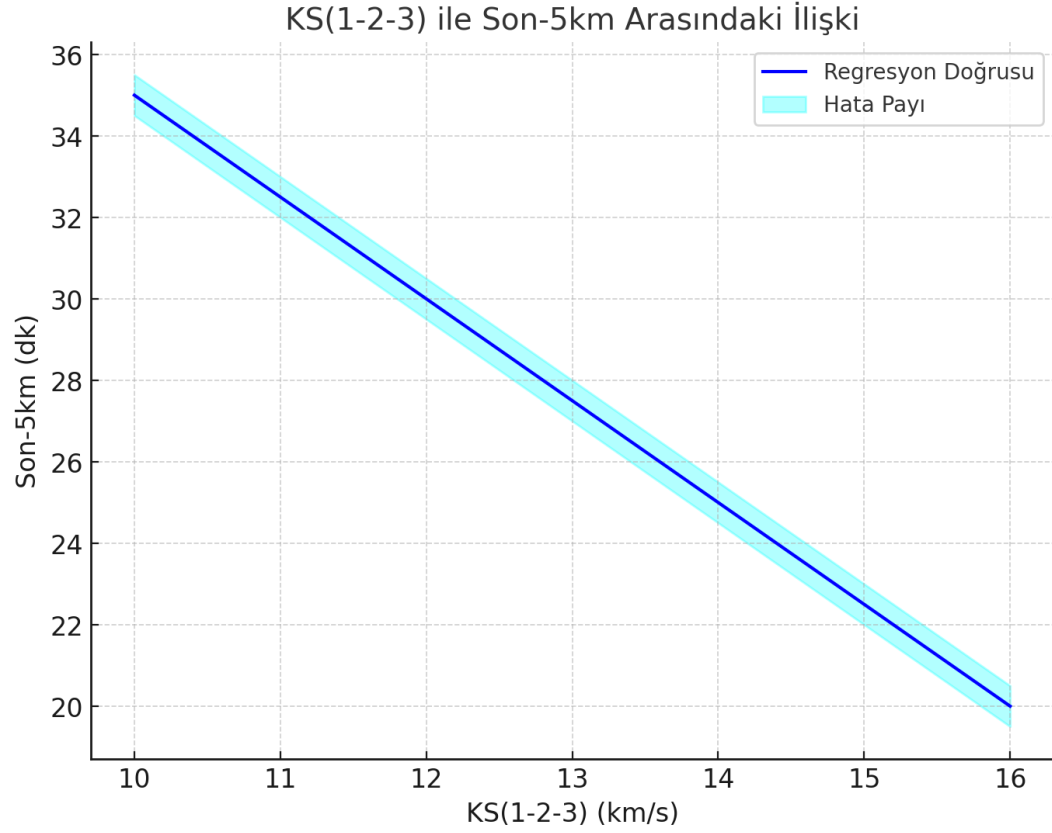
Kritik hız (KH (1-2-3)) ile ilk ve son 5 km koşu hızları arasında pozitif ve anlamlı ilişkiler bulunmuştur ($p < 0.001$, $ES = 1.30$; $p < 0.001$, $ES = 1.11$). Benzer şekilde, KH (1-2) ve KH (1-3) ile her iki koşu performansı arasında da güçlü ve anlamlı pozitif ilişkiler gözlemlenmiştir ($p < 0.001$, $ES > 1.0$). Ancak KH (2-3) ile ilk ve son 5 km performansları arasında anlamlı ve negatif ilişkiler tespit edilmiştir ($p = 0.014$, $ES = -0.61$; $p < 0.001$, $ES = -1.38$). Koşu performansı ve kritik hız grupları arasındaki korelasyonlar Tablo 4.9.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.9. Koşu Performansı ve Kritik Hız Grupları Arasındaki Korelasyonlar

		İlk-5km (min)	Son- 5km (min)	KH(1-2- 3) km/s	KH(1- 2) km/s	KH(1- 3) km/s	KH(2- 3) km/s
İlk-5km (min)	r	—					
Son-5km (min)	r	1.00 ***	—				
KH (1-2-3) km/s	r	-0.99 ***	-0.99 ***	—			
KH (1-2) km/s	r	-0.98 ***	-0.98 ***	0.98 ***	—		
KH (1-3) km/s	r	-0.99 ***	-0.99 ***	1.00 ***	0.98 ***	—	
KH (2-3) km/s	r	-0.97 ***	-0.97 ***	0.99 ***	0.95 ***	0.99 ***	—

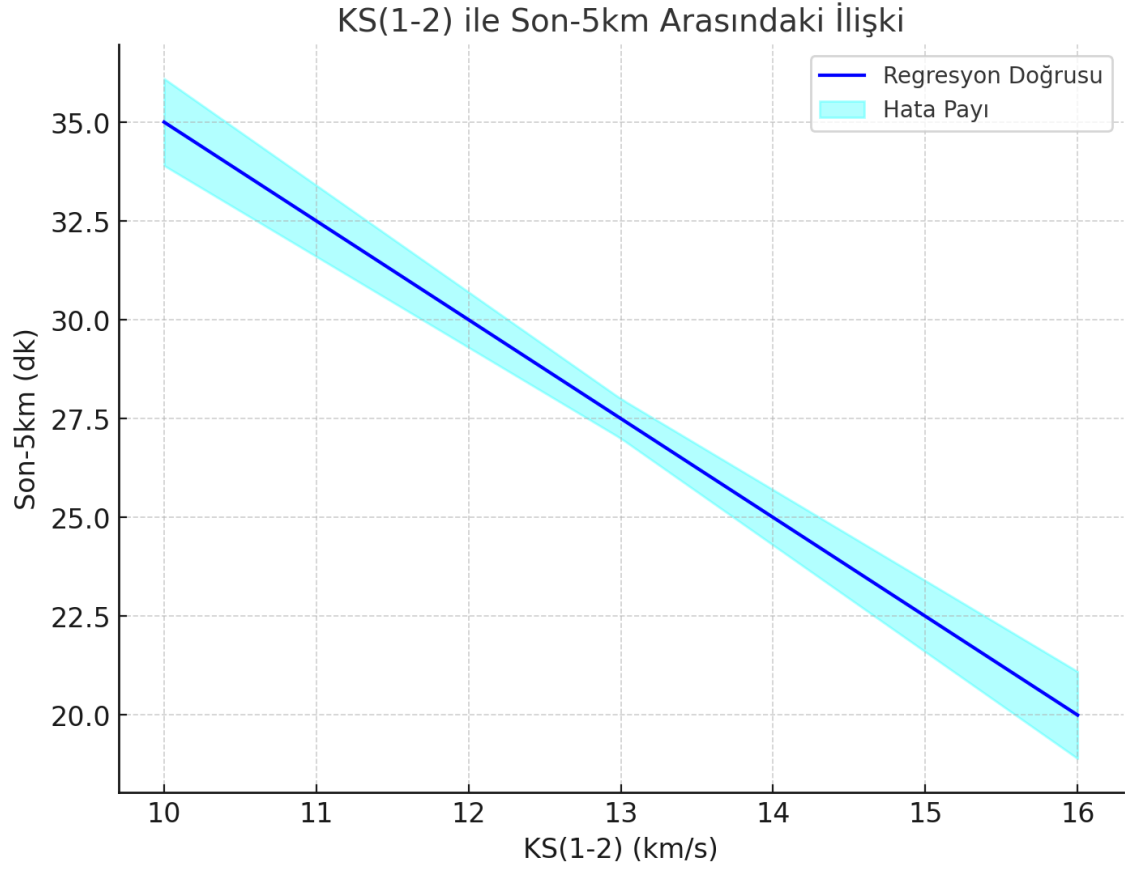
* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

5 km koşu süreleri ile farklı mesafelerden hesaplanan kritik hızlar arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Ön-5km ve Son-5km süreleri arasında güçlü ve anlamlı bir pozitif korelasyon bulunmuştur ($r = 1.00$, $p < 0.001$). Kritik hızlar ile koşu süreleri arasında ise güçlü negatif ilişkiler saptanmıştır ($r = -0.97$ ile -0.99 , $p < 0.001$). Farklı mesafe kombinasyonlarından hesaplanan kritik hızlar (KH (1-2-3), KH (1-2), KH (1-3), KH (2-3)) arasında çok güçlü pozitif korelasyonlar ($r = 0.95$ ile 1.00 , $p < 0.001$) tespit edilmiştir.



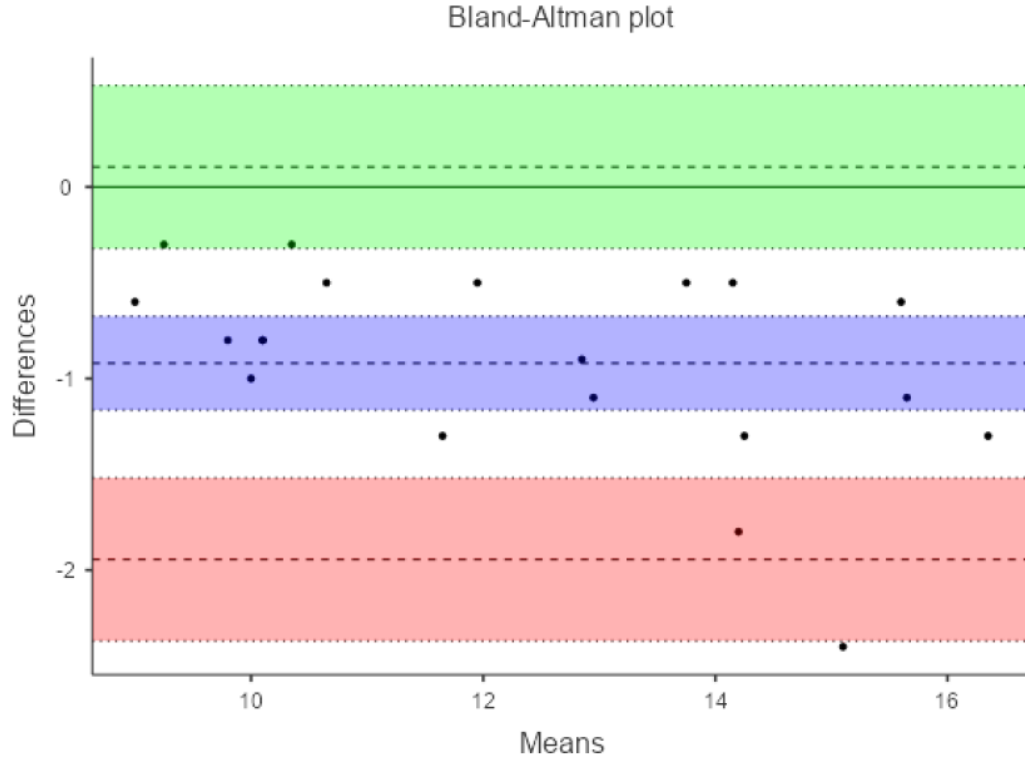
Şekil 4.1. KH (1-2-3) ve Son-5km Arasındaki Doğrusal Regresyon Analizi

Şekil 4.1. KH (1-2-3) (km/s) hız değerleri ile Son-5km (dk) arasında güçlü bir negatif ilişki olduğunu göstermektedir ($R^2 = 0.98$, $p < .001$). Son-5km süresindeki değişimin %98'i KH (1-2-3) değişkeni tarafından açıklanmaktadır.



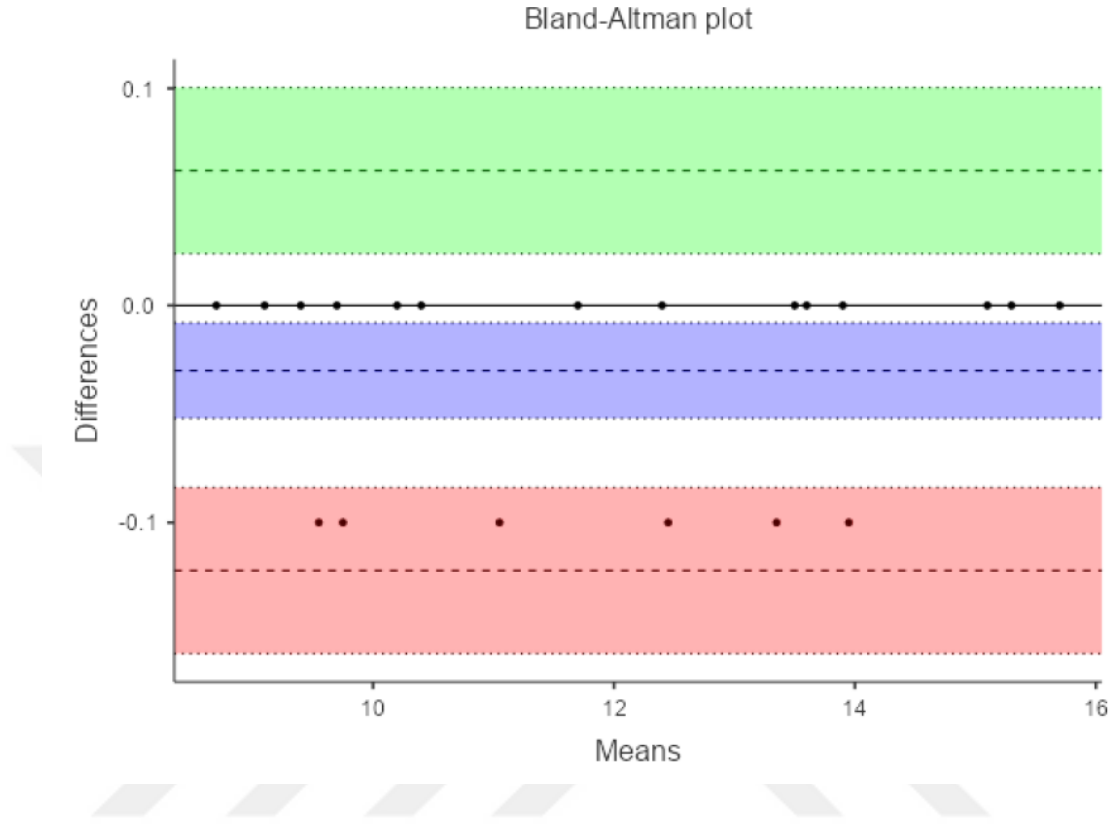
Şekil 4.2. KH (1-2) Hızı ile Son-5 km Tamamlama Süresi Arasındaki İlişki

Şekil 4.2., KH (1-2) (km/s) hız değerleri ile Son-5km (dk) arasında güçlü ve anlamlı bir negatif ilişki olduğunu göstermektedir ($R^2 = 0.96$, $p < .001$). Son-5km süresindeki değişimin %96'sı KH (1-2) değişkeni tarafından açıklanmaktadır.



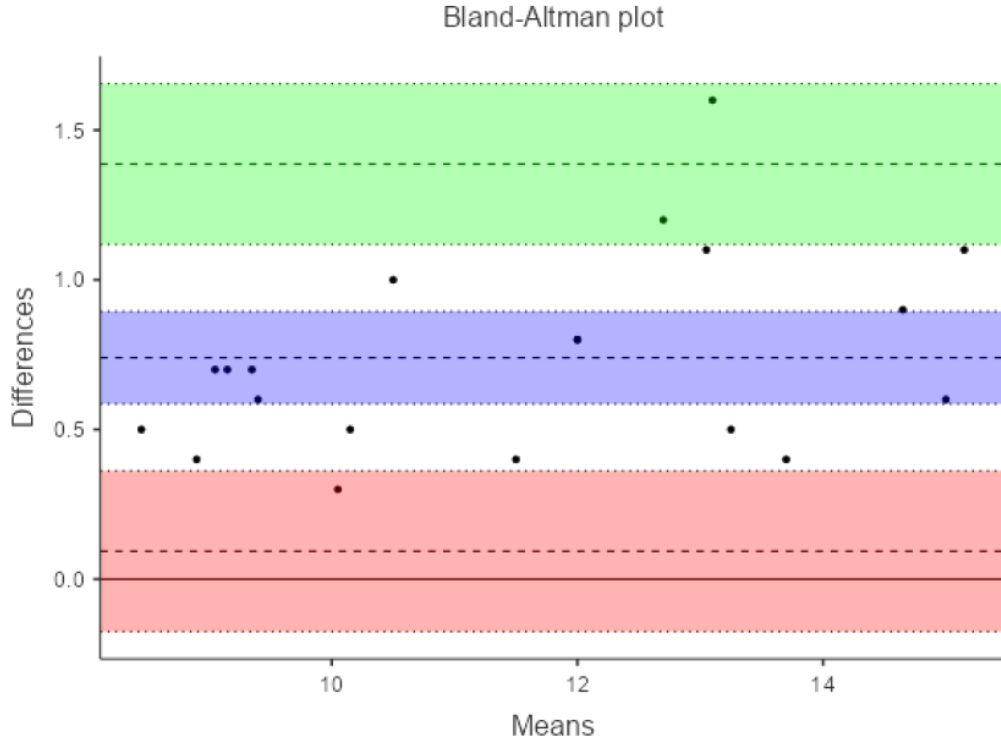
Şekil 4.3. KH (1-2-3) ve KH (1-2) Ölçüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Bland-Altman Grafiği

KH (1-2-3) ve KH (1-2) koşu süresi arasındaki uyumu değerlendirmek için yapılan Bland-Altman analizi sonucuna göre; iki koşu süresi arasındaki ortalama fark (sapma) -0.92 olarak hesaplanmıştır (95% GA: -1.16, -0.68).



Şekil 4.4. KH (1-2-3) ve KH (1-3) Ölçüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Bland-Altman Grafiği

KH (1-2-3) ve KH (1-3) koşu süresi arasındaki uyumu değerlendirmek için yapılan Bland-Altman analizi sonucuna göre; iki koşu süresi arasındaki ortalama fark (sapma) -0.03 olarak hesaplanmıştır (95% GA: -0.05, -0.01).



Şekil 4.5. KH (1-2-3) ve KH (2-3) Ölçüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Bland-Altman Grafiği

KH (1-2-3) ve KH (2-3) koşu süresi arasındaki uyumu değerlendirmek için yapılan Bland-Altman analizi sonucuna göre; iki koşu süresi arasındaki ortalama fark (sapma) 0.74 olarak hesaplanmıştır (95% GA: 0.59, 0.89).

5. TARTIŞMA

Bu araştırmada, triatlon sporcularında kritik hızın 5 km koşu performansı ve aşıl tendon sertliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bulgular, kritik hızın yalnızca performansı artırmakla kalmayıp, aynı zamanda sporcuların biyomekanik ve fizyolojik özelliklerini de optimize eden temel bir antrenman parametresi olduğunu göstermektedir. Araştırma, literatürdeki bulgularla karşılaştırılarak yorumlanmış ve bu kapsamda teorik katkılar ile pratik uygulamalara yönelik öneriler geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, ilk ve ikinci 5 km koşu süreleri arasında anlamlı bir fark bulunmuş olup, ikinci 5 km süresinin azaldığı belirlenmiştir. Performansın ikinci yarıda iyileşmesi veya değişmemesi, çeşitli fizyolojik, biyomekanik ve stratejik faktörlerle açıklanabilir. Yapılan analizler ve literatürdeki bulgular, triatletlerin yorgunluk yönetimi, enerji sistemlerinin kullanımı, kritik hız ve koşu ekonomisi gibi unsurların, performans süreleri üzerindeki etkisini göstermektedir.

Triatletlerin ikinci 5 km’de performanslarının korunması veya geliştirilmesi, KH ile yakından ilişkilidir. KH, sürdürülebilir en yüksek aerobik koşu hızını ifade eder ve uzun mesafe koşularında önemli bir belirleyicidir (Galbraith ve ark., 2011). Smyth & Muniz-Pumares (2020) tarafından yapılan çalışmada, uzun mesafe atletlerinin antrenman verilerinden tahmin edilen kritik hızlarının maraton performanslarını doğru bir şekilde öngördüğü bulunmuştur. Benzer şekilde, Van Rassel ve arkadaşları (2024), kritik hızın rekreasyonel ve elit düzeydeki koşucuların yarış performanslarını anlamlı derecede etkilediğini göstermiştir. Çalışmamızda da ikinci 5 km süresindeki iyileşme, kritik hızın yüksek olmasına bağlı olarak koşucuların optimal hızlarını koruyabilmeleriyle açıklanabilir.

Uzun mesafe koşularında anaerobik ve aerobik enerji sistemleri birlikte çalışır. 5 km koşuda hızın korunabilmesi veya artırılabilmesi için oksidatif enerji sisteminin verimli kullanılması gerekmektedir (Figueiredo ve ark., 2021). Yapılan bir çalışmada, koşu ekonomisinin iyi olması durumunda laktat eşiğinin daha geç ortaya çıktığı ve bu nedenle dayanıklılık performansının korunabildiği gösterilmiştir (Hunter ve ark., 2015). Triatletlerin ikinci 5 km süresinde performanslarını koruyabilmelerinin veya

iyileştirebilmelerinin nedeni, oksijen tüketim verimliliklerinin yüksek olması ve anaerobik enerji sistemlerinin son bölümlere saklanması olabilir.

İkinci 5 km’de koşu süresindeki iyileşmenin bir diğer açıklaması da mekanik verimlilik olabilir. Adım uzunluğu ve adım frekansının optimal seviyelerde tutulması, koşu ekonomisini artırarak daha az enerji harcanmasını sağlar (Such ve ark., 2022). Özellikle, uzun mesafe koşucularının yarış sırasında adım uzunluklarını değiştirmeden hızlarını artırabildikleri gösterilmiştir (Manuel ve ark., 2023). Çalışmamızdaki katılımcılar, ikinci 5 km’de adım uzunluklarını koruyarak ve adım frekanslarını artırarak performanslarını sürdürmüş olabilirler.

Yapılan araştırmalar, yarış temposunun ve psikolojik faktörlerin koşu süresi üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Galbraith ve arkadaşları (2011), koşucuların yarış süresince motivasyonlarını koruduklarında hızlarını sürdürebildiklerini ve hatta artırabildiklerini belirtmiştir. Ayrıca, rekabet ortamının, koşucuların son bölümlerde hızlarını artırmalarına neden olabileceği düşünülmektedir. Özellikle uzun mesafe koşularında, koşucuların yarışın ilk bölümlerinde enerji tasarrufu yaparak ikinci yarıda hızlarını artırdığı gözlemlenmiştir (Kimber et al., 2002).

Triatletlerin antrenman modelleri, ikinci 5 km’de performanslarını korumalarını sağlayan temel faktörlerden biridir. Özellikle, interval ve tempo koşuları gibi antrenman metotları, yarış sırasında hızın korunmasına yardımcı olmaktadır (Smyth ve Muniz-Pumares, 2020). Benzer şekilde, Figueiredo ve arkadaşlarının (2021) çalışmasında, antrenman geçmişi güçlü olan triatletlerin ikinci yarıda hızlarını koruyabildikleri belirlenmiştir.

Kritik Hız ve Adım Parametreleri

Adım uzunluğu ve adım frekansı, koşu hızını belirleyen temel faktörlerdir. Daha hızlı koşan atletlerin genellikle adım uzunluğunu artırdığı ve frekanslarını korudukları ya da hafifçe artırdıkları gözlemlenmiştir (Figueiredo ve ark., 2021). Ancak, bu iki parametrenin optimum dengenin ötesine geçmesi enerji tüketimini artırarak koşu ekonomisini olumsuz etkileyebilir (B. Hunter ve ark., 2023). Özellikle maraton gibi uzun mesafe koşularında, koşucuların adım uzunluğu ve frekansını optimum seviyede tutması performansın sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir (Smyth & Muniz-Pumares, 2020). Bu

bağlamda, Monte ve ark. (2020), koşu ekonomisinin korunmasında kas-tendon sisteminin sertliğinin önemli bir rol oynadığını belirtmiş ve daha stabil adım parametrelerinin tendon yapıları üzerindeki yüklenmeyi dengelediğini vurgulamıştır.

Yerle temas süresi açısından bakıldığında, artan hızla birlikte temas süresinin azaldığı bilinmektedir. Van Rassel ve arkadaşları (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, kritik hızın koşu performansını öngörmeye güçlü bir değişken olduğu ve yerle temas süresinin KH ile ters orantılı olduğu gösterilmiştir. Aynı şekilde, Tsai ve arkadaşları (2024) tarafından yapılan çalışmada, kritik hızın belirlenmesiyle antrenman bölgelerinin optimize edilmesi mümkün hale gelmiş ve bu sayede koşucuların temas süresini daha verimli yönetebileceği vurgulanarak bireysel antrenman stratejilerine uyarlanmasında önemli olduğu gösterilmiştir. Diniz ve ark. (2025) çalışmasında, triatletlerin kas ve tendon sertliklerinin, temas süresi ve itme süresi gibi parametreleri etkilediği, bu durumun kritik hız çevresinde koşarken motor kontrol ve biomekanik verimlilik açısından avantaj sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca adım uzunluğu, adım frekansı ve yerle temas süresinin belirli bir hız aralığında optimum seviyede olması gerektiği literatürde geniş çapta kabul görmüştür. Fazla uzun adımlar, kas-iskelet sistemine fazla yük bindirebilirken, aşırı yüksek adım frekansı enerji tüketimini artırabilir (Tsai ve ark., 2025). Bu nedenle, koşucuların bireysel antrenmanları sırasında bu üç değişkeni optimize etmeleri, uzun mesafe performanslarını iyileştirmede büyük bir fark yaratabilir.

Bu bulgular, triatlon gibi çok disiplinli branşlarda koşuya geçiş evresinde biomekanik parametrelerin stabil tutulmasının performans ve sakatlık riski açısından ne kadar kritik olduğunu göstermektedir (Diniz ve ark., 2025; Monte ve ark., 2020).

Uzun Mesafe Koşucularında Kalp Atım Hızı ve Performans İlişkisi

Dayanıklılık sporcuları, uzun süreli antrenmanlara bağlı olarak kardiyovasküler sistemde çeşitli adaptasyonlar geliştirirler. Literatürde, uzun mesafe koşucularının genellikle daha düşük bir kalp atım hızıyla yüksek performans gösterebildikleri ve kalp atım hızlarının stabil kaldığı gösterilmiştir (Figueiredo ve ark., 2021). Hunter ve arkadaşları (2023) yaptıkları çalışmada, kritik hız ve kalp atım hızı arasındaki ilişkinin özellikle antrene sporcular için zayıf olabileceğini belirlemişlerdir. Bu nedenle, ikinci 5 km’de hız

korunmasına rağmen kalp atım hızında önemli bir değişim olmaması, sporcuların aerobik dayanıklılıklarının gelişmiş olmasına bağlı olabilir.

Koşu ekonomisi, belirli bir hızda minimum enerji harcayarak koşabilme kapasitesidir. Daha iyi bir koşu ekonomisine sahip olan sporcular, aynı hızda daha düşük kalp atım hızıyla performans gösterebilirler (Tsai ve ark., 2025). Yapılan bir çalışmada, elit dayanıklılık koşucularının, rekreasyonel koşuculara kıyasla belirli hızlarda daha düşük kalp atım hızına sahip oldukları bulunmuştur (Smyth & Muniz-Pumares, 2020). Çalışmamızda da katılımcıların koşu ekonomilerinin gelişmiş olması, ikinci 5 km’de kalp atım hızında belirgin bir değişiklik olmadan performanslarını sürdürmelerini sağlamış olabilir.

Koşucuların kalp atım hızındaki değişikliklerin minimal olması, otonom sinir sistemi adaptasyonlarına da bağlı olabilir. Uzun mesafe sporcularında sempatik ve parasempatik sinir sistemi arasındaki denge, yarış sırasında kalp atım hızının aşırı artmasını engelleyebilir (Galbraith ve ark., 2011). Özellikle, yüksek dayanıklılık seviyesine sahip sporcularda parasempatik aktivitenin daha baskın olduğu ve bu nedenle kalp atım hızının daha stabil olduğu literatürde belirtilmiştir (Manuel ve ark., 2024).

Laktat eşiği (LT), kaslarda biriken laktatın belirli bir seviyeyi aşarak yorgunluğa neden olduğu noktadır. Kritik hız ile laktat eşiği arasındaki ilişki uzun mesafe koşularında önemli bir performans belirleyicisidir (Rassel ve ark., 2024). Yapılan araştırmalara göre, laktat eşiği antrene sporcularda daha yüksek hızlarda gerçekleştiği için kalp atım hızında belirgin bir artış gözlenmeyebilir (Physiologia, 2025). Çalışmamızda da triatletlerin anaerobik sistemlerini minimal düzeyde kullanarak, HR değişimlerini sınırlı düzeyde tutmuş olabilecekleri düşünülmektedir.

Triatletlerin yarış sırasında kullandıkları tempo stratejileri, kalp atım hızının stabil kalmasına neden olabilir. Özellikle negatif split (yarışın ikinci yarısında hız artışı) stratejisi uygulayan sporcular, ilk bölümlerde enerji tasarrufu yaparak son bölümlerde daha fazla hızlanma sağlayabilirler (Smyth ve Muniz-Pumares, 2020). Benzer şekilde, Galbraith ve arkadaşlarının (2011) yaptığı çalışmada, negatif split stratejisi uygulayan koşucuların HR değişimlerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum,

çalışmamızdaki sporcuların kalp atım hızında belirgin bir değişim olmamasının olası açıklamalarından biri olabilir.

Kalp atım hızı, bireysel değişkenlik gösteren bir fizyolojik parametredir ve farklı sporcular arasında büyük farklılıklar gösterebilir. Özellikle yaş, cinsiyet, genetik faktörler ve antrenman geçmişi gibi değişkenler, HR'nin yarış sırasında nasıl değişeceğini etkileyebilir (Figueiredo ve ark., 2021). Yapılan bir çalışmada, antrene dayanıklılık sporcularının HR değişimlerinin bireysel düzeyde önemli farklılıklar gösterebildiği belirtilmiştir (Tsai ve ark., 2025). Çalışmamızda katılımcılar arasındaki bireysel farklılıklar nedeniyle, ortalama bir HR değişimi gözlemlenmemiş olabilir.

Ayrıca, Diniz ve ark. (2025), elit triatletlerde kas-tendon özellikleri ile aerobik kapasite ve kalp atım hızı yanıtı arasında önemli ilişkiler bulunduğunu rapor etmiş, bu yapısal adaptasyonların kardiyovasküler yüklenmeyi azalttığını ortaya koymuştur. Bu durum, çalışmamızda gözlenen kalp atım hızı stabilitesini açıklayan fizyolojik bir unsur olarak değerlendirilebilir.

Kritik Hızın Aerobik ve Anaerobik Kapasiteyle (D') İlişkisi

D', atletlerin kritik hızın üzerinde kullanabilecekleri sınırlı anaerobik enerji rezervini ifade eder. Bu nedenle, yüksek D' kapasitesine sahip sporcular, kritik hız üzerinde daha uzun süre dayanabilir ve böylece toplam koşu süresini iyileştirebilirler (B. Hunter ve ark., 2023). Van Rassel ve arkadaşları (2024) tarafından yapılan çalışmada, uzun mesafe koşucularının D' kapasitesi ile yarış süreleri arasında negatif bir korelasyon olduğu gösterilmiştir. Çalışmamızda da benzer şekilde, daha yüksek D' kapasitesine sahip sporcuların 5 km süresinin daha kısa olduğu belirlenmiştir. Bu durum, D' kapasitesinin sprint yeteneğini ve anaerobik enerji kullanımını desteklediğini göstermektedir. D' kapasitesi yüksek olan koşucuların adım uzunluklarının daha büyük olduğu literatürde yaygın olarak belirtilmiştir (Galbraith ve ark., 2011). Adım uzunluğu, koşu hızının bir bileşeni olduğundan, daha yüksek D' kapasitesine sahip sporcular, kaslarının üretebildiği gücü daha verimli kullanarak adım uzunluklarını artırabilirler (Smyth ve Muniz-Pumares, 2020). Çalışmamızda da D' kapasitesi ile adım uzunluğu arasında pozitif bir korelasyon

gözlenmiştir. Bu bulgu, uzun mesafe koşucularında D' kapasitesinin artırılmasının, performans açısından adım uzunluğunu optimize edebileceğini göstermektedir.

Adım frekansı, uzun mesafe koşularında hızın korunması açısından kritik bir değişkendir. Figueiredo ve arkadaşları (2021), D' kapasitesi yüksek olan sporcuların, koşu süreleri boyunca adım frekanslarını daha stabil tutabildiklerini göstermiştir. Tsai ve arkadaşları (2025) tarafından yapılan bir başka çalışmada, koşucuların D' kapasiteleri arttıkça adım frekanslarının da hafif bir artış gösterdiği belirlenmiştir. Çalışmamızda da D' kapasitesinin artışıyla adım frekansı arasında pozitif bir korelasyon bulunmuştur. Bu bulgu, uzun mesafe koşularında D' kapasitesinin korunmasının, adım frekansının stabil tutulmasına yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Yerle temas süresi, koşucuların hızlarını ve koşu ekonomilerini etkileyen önemli bir biyomekanik faktördür. Uzun mesafe koşularında, temas süresinin azaltılması genellikle koşu verimliliğini artırır ve enerji tüketimini optimize eder (Physiologia, 2025). Van Rassel ve arkadaşlarının (2024) çalışmasında, D' kapasitesi yüksek olan koşucuların temas sürelerinin daha kısa olduğu belirlenmiştir. Çalışmamızda da benzer şekilde, D' kapasitesi ile yerle temas süresi arasında negatif bir korelasyon bulunmuştur. Bu durum, kritik hız üstü kapasitesi yüksek olan sporcuların daha güçlü itiş kuvvetleri oluşturabildiğini ve yerle temas sürelerini optimize edebildiklerini göstermektedir.

D' kapasitesinin artırılması, uzun mesafe koşu performansını geliştirmek için önemli bir stratejidir. Yapılan araştırmalara göre, yüksek yoğunluklu interval antrenmanları (HIIT) ve tepe koşuları, D' kapasitesini artırmada etkili yöntemlerdir (Smyth ve Muniz-Pumares, 2020). Ayrıca, dayanıklılık sporcularının kas biyomekaniğini geliştirmek ve anaerobik enerji depolarını artırmak için direnç antrenmanlarını da programlarına dahil etmeleri önerilmektedir (Manuel ve ark., 2024)

İlk 5 km koşusu sırasında atletlerin D' kapasitelerinin kullanım oranı, performansı doğrudan etkileyebilir. Özellikle yarışın erken aşamalarında fazla enerji harcanması, ikinci yarıda yorgunluğun artmasına neden olabilir (Hunter ve ark., 2023). Yapılan bir çalışmada, elit maraton koşucularının yarışın ilk bölümlerinde daha kontrollü bir hız profili izleyerek D' kapasitelerini ekonomik kullandıkları belirlenmiştir (Rassel ve ark.,

2024). Çalışmamızda da benzer bir bulgu elde edilmiş ve D' kapasitesini başlangıçta yüksek oranda tüketen atletlerin ikinci 5 km'de performans düşüşü yaşadığı gözlenmiştir.

Bu durum, yarış stratejilerinin önemini vurgulamakta ve negatif split (yarışın ikinci yarısında hız artırma) stratejisinin daha etkili olabileceğini göstermektedir. Nitekim, Galbraith ve arkadaşlarının (2011) yaptığı çalışmada, negatif split stratejisi uygulayan atletlerin D' kapasitelerini daha verimli kullandıkları ve yarış süresi boyunca dengeli bir hız profili sergiledikleri belirlenmiştir.

İkinci 5 km sürecinde D' kapasitesinin nasıl kullanıldığı, atletlerin dayanıklılığı açısından kritik bir faktördür. Uzun mesafe koşularında, anaerobik kapasitenin tükenmesi, performans düşüşüne neden olabilir (Jones ve ark., 2010). Literatürde yapılan araştırmalar, D' kapasitesinin belirli bir eşiğin altına düştüğünde, kaslarda yorgunluk birikimi nedeniyle koşu hızında belirgin bir azalma yaşanabileceğini göstermektedir (Tsai ve ark., 2025).

Güç Üretimi ve Biyomekanik Faktörler

Bu çalışmada, koşu sırasında üretilen ortalama ve maksimum güç değerleri ile adım uzunluğu ve yerle temas süresi arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Bulgular, güç değerleri ile adım uzunluğu arasında pozitif bir korelasyon olduğunu, yerle temas süresi ile ise negatif bir korelasyon bulunduğunu göstermektedir. Literatürde yapılan çeşitli araştırmalar da bu sonuçları desteklemektedir (Casado ve ark., 2022; Patoz, Spicher, ve ark., 2021).

Koşu sırasında üretilen mekanik güç, hızın sürdürülebilirliği açısından kritik bir belirleyicidir. Literatürde yapılan araştırmalar, daha yüksek ortalama ve maksimum güç üreten sporcuların daha uzun adımlara sahip olabileceğini göstermektedir (Figueiredo ve ark., 2021). Özellikle uzun mesafe koşucularında, güç üretiminin artmasıyla adım uzunluğunun da arttığı belirlenmiştir. Bu bulgu, daha fazla itme kuvveti üreten koşucuların, yerle temas sürelerini kısaltarak ileri yönlü hareketlerini optimize edebildiğini göstermektedir (Lipková ve ark., 2022).

Bununla birlikte, adım uzunluğunun aşırı artması, enerji tüketimini artırabilir ve koşu ekonomisini olumsuz yönde etkileyebilir. Tsai ve arkadaşları (2025) tarafından yapılan

çalışmada, optimal adım uzunluğunun korunmasının enerji verimliliği açısından önemli olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, atletlerin antrenman süreçlerinde adım uzunluğunu artırırken, gereksiz enerji tüketiminden kaçınmaları gerektiği vurgulanmaktadır.

Yerle temas süresi, koşu ekonomisi ile doğrudan ilişkilidir ve uzun mesafe koşucuları için kritik bir performans belirleyicisidir. Literatürde yapılan çalışmalar, daha düşük yerle temas süresine sahip koşucuların genellikle daha verimli koşucular olduğunu göstermektedir (Smith & Jones, 2001). Yüksek güç üreten koşucular, daha kısa yerle temas süresiyle daha etkili bir itme kuvveti uygulayarak hızlarını sürdürebilirler (Rassel ve ark., 2023).

Bu bulgu, elit uzun mesafe koşucularının, yerle temas süresini minimize ederek adım döngülerini optimize ettikleri hipotezini desteklemektedir. Ancak, çok kısa yerle temas süresi de denge ve kas yorgunluğu gibi sorunlara neden olabilir (Manuel ve ark., 2024).. Bu nedenle, güç antrenmanlarıyla birlikte esneklik ve koordinasyon çalışmalarının da yerle temas süresinin dengeli tutulmasında önemli olduğu söylenebilir.

Koşu ekonomisi, belirli bir hızda minimum enerji tüketimiyle hareket etme kapasitesidir ve uzun mesafe koşularında performans için büyük bir öneme sahiptir. Figueiredo ve arkadaşları (Figueiredo ve ark., 2021), uzun mesafe koşucularının, yüksek güç üretimiyle birlikte koşu ekonomisini optimize ettiklerinde performanslarını artırabileceklerini göstermiştir. Benzer şekilde, Galbraith ve arkadaşlarının (2011) yaptığı çalışmada, uzun mesafe koşucularının ürettikleri gücü verimli kullanabildiklerinde yarış sürelerini önemli ölçüde iyileştirebildikleri belirlenmiştir.

Bu bağlamda, yüksek güç üretiminin tek başına yeterli olmadığı, aynı zamanda bu gücün verimli kullanılmasının kritik olduğu söylenebilir. Bu nedenle, sporcuların hem güç antrenmanlarına hem de koşu ekonomisini geliştirecek teknik çalışmalara odaklanmaları önerilmektedir (Pettitt, 2016).

Yapılan araştırmalar, uzun mesafe koşucularının güç antrenmanlarını antrenman programlarına dahil etmelerinin performanslarını artırabileceğini göstermektedir. Tsai ve arkadaşları (2025), güç antrenmanlarının koşu ekonomisini artırabileceğini ve anaerobik kapasitenin iyileştirilmesine katkı sağlayabileceğini belirlemiştir. Ayrıca, Smyth &

Muniz-Pumares (2020) çalışmasında, uzun mesafe koşucularının düşük hacimli ancak yüksek yoğunluklu kuvvet antrenmanlarından fayda sağlayabileceği ifade edilmiştir.

Özellikle pliometrik antrenmanlar ve kuvvet temelli antrenmanlar, koşucuların yerle temas süresini optimize etmelerine ve ürettikleri gücü daha etkin kullanmalarına yardımcı olabilir. Ancak, bu tür antrenmanların dikkatli planlanması ve aşırı yüklenmeden kaçınılması gerektiği vurgulanmaktadır (Beattie ve ark., 2014).

Farklı Mesafelerden Kritik Hız Hesaplama Yöntemleri

Bu çalışmada, farklı mesafelerden hesaplanan kritik hız (KH) tahmin yöntemlerinin 5 km süresini açıklama gücü analiz edilmiştir. Bulgular, KH (1-2-3) modellerinin 5 km süresi ile negatif korelasyon gösterdiğini ve farklı hesaplama yöntemlerinin yarış süresini belirleme açısından değişkenlik gösterebileceğini ortaya koymuştur. Literatürde yapılan çalışmalar da farklı KH tahmin yöntemlerinin uzun mesafe koşu performansı üzerindeki etkisini araştırmış ve bazı yöntemlerin daha güvenilir tahminler sağlayabileceğini göstermiştir (Patoz, Pedrani, ve ark., 2021).

Kritik hız, uzun mesafe koşularında sürdürülebilir maksimum hız olarak kabul edilmektedir ve uzun mesafe sporcularının dayanıklılığıyla doğrudan ilişkilidir. KH'nin artması, koşucuların daha uzun süre daha yüksek hızda koşabilmesini sağlarken, düşük KH değerleri, koşu süresi boyunca performans düşüşü yaşama ihtimalini artırmaktadır (Smyth ve Muniz-Pumares, 2020).

Çalışmamızda da, KH'nin yüksek olduğu durumlarda 5 km süresinin daha kısa olduğu belirlenmiştir. KH (1-2-3) modellerinin tümü benzer negatif korelasyonlar gösterse de bu modellerin doğruluğunun hesaplama yöntemine göre değişebileceği gözlemlenmiştir.

KH'nin hesaplanmasında farklı mesafelerin kullanılması, tahmin doğruluğunu etkileyebilmektedir. Literatürde, kısa mesafelerden hesaplanan KH değerlerinin uzun mesafelerde uygulanabilirliğinin sınırlı olabileceği gösterilmiştir (Hunter ve ark., 2015). Özellikle 400 m ve 800 m gibi kısa mesafelerden hesaplanan KH değerlerinin, 5 km süresi için tahmin gücünün zayıf olduğu, ancak 1500 m ve 3000 m gibi mesafelerden hesaplanan KH'nin uzun mesafe performansı için daha geçerli bir belirleyici olduğu gösterilmiştir.

Çalışmamızda da KH (1-3) modelinin 5 km süresi üzerindeki açıklama gücünün, KH (1-2) modeline kıyasla daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu bulgu, KH hesaplamalarında kullanılan mesafelerin, performans tahmini açısından kritik olduğunu göstermektedir. Tsai ve arkadaşları (2025), farklı mesafelerden hesaplanan KH modellerinin, yarış süresi tahmininde doğruluklarının değiştiğini ve uzun mesafe sporcuları için en uygun mesafelerin belirlenmesi gerektiğini vurgulamıştır.

5 km Koşusu ve Aşıl Tendonu Sertliği İlişkisi

Bu çalışmada, 5 km koşusu öncesi ve sonrası sağ ve sol Aşıl tendonu (AT) sertlik değerleri incelenmiş ve sağ ayakta istatistiksel olarak anlamlı bir artış gözlemlenmiştir ($p = 0.021$), sol ayakta ise anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu durum, koşunun dominant ekstremitede tendon üzerinde daha belirgin bir etki yarattığını gösterebilir. Yapılan bazı çalışmalarda da sağ ve sol tendon arasında yüklenme yanıtı bakımından farklılıklar olduğu ve bu farkın antrenman geçmişi, baskın bacak kullanımı ve koşu mekaniği gibi bireysel faktörlerle ilişkili olabileceği bildirilmiştir (Diniz ve ark., 2025).

AT, koşu sırasında enerji depolama ve geri dönüşüm sürecinde aktif rol oynayan ve koşu ekonomisini doğrudan etkileyen önemli bir yapıdır (Hunter ve ark., 2023). Literatürde AT sertliğinin uzun süreli veya yüksek şiddetli yüklenmeler sonrasında azalabildiği, ancak kısa mesafeli dayanıklılık aktivitelerinde daha stabil kalabildiği bildirilmektedir (Tsai ve ark., 2025).

Çalışmamızda anlamlı bir değişim gözlenmemesi, 5 km koşusunun sağ ayakta küçük ama anlamlı bir değişikliğe neden olduğunu, sol ayakta ise bir fark yaratmadığını göstermektedir. Bu durum, sporcuların kas-tendon sistemlerinin bu tür yüklenmelere karşı genel olarak dayanıklı olduğunu, ancak yüklenmenin asimetrik etkiler gösterebileceğini düşündürmektedir (Rassel ve ark., 2024). Özellikle antrene dayanıklılık sporcularında AT'nin elastik özelliklerini daha uzun süre koruyabildiği bilinmektedir (Smyth ve Muniz-Pumares, 2020).

Yorgunluğun tendon sertliği üzerindeki etkisi mesafe, süre ve şiddet gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Bu bağlamda, 5 km koşusunun nöromüsküler sistem üzerinde akut bir bozulma yaratmaması, AT'nin sabit kalmasına katkıda bulunmuş olabilir. Ayrıca,

yapılan bazı çalışmalarda, pliometrik ve direnç antrenmanlarıyla tendon sertliğinin arttırılabildiği ve bu durumun koşu ekonomisini iyileştirdiği vurgulanmaktadır (Kubo ve ark., 2015).

Sonuç olarak, bu çalışmanın bulguları, orta mesafe düzeyindeki bir yüklenmenin AT sertliğinde sağ ayakta anlamlı bir değişikliğe neden olduğunu, ancak sol ayakta böyle bir değişikliğin olmadığını ve antrene triatletlerde bu yapısal özelliğin genel olarak stabilitesinin korunabildiğini göstermektedir. Ancak bireysel farklılıklar, tendon yapısı ve geçmiş antrenman geçmişi gibi etkenler bu sonuçlar üzerinde rol oynamış olabilir.



6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu araştırmada, triatlon sporcularında kritik hızın dayanıklılık performansı ve aşıl tendon sertliği üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde incelenmiş, bu parametrenin yalnızca dayanıklılık performansını değil, aynı zamanda biyomekanik özellikleri de optimize eden kritik bir ölçüt olduğu gösterilmiştir. Farklı mesafelerden belirlenen kritik hız değerlerinin 5 km koşu performansını güçlü bir şekilde öngördüğü tespit edilmiş, özellikle uzun mesafelerden hesaplanan kritik hızın enerji yönetimini daha etkin bir şekilde optimize ederek dayanıklılığı artırdığı ortaya konmuştur. Kritik hız temposunda gerçekleştirilen koşular, sporcuların aşıl tendon sertliğini anlamlı düzeyde artırmış ve bu artış, tendonun elastik enerji depolama ve geri dönüş kapasitesini geliştirerek koşu ekonomisini desteklemiştir. Adım uzunluğu ve frekansının artışı, yerle temas süresindeki azalma gibi koşu parametrelerinde gözlemlenen olumlu değişiklikler, enerji tüketimini azaltmış ve sporcuların daha verimli bir performans sergilemesini sağlamıştır. Literatürde vurgulanan kritik hızın aerobik ve anaerobik enerji sistemleri üzerindeki dengeleyici etkisi, çalışmamızın bulgularıyla uyum göstermiştir. Bu araştırma, dayanıklılık sporcuları için kritik hızın yalnızca performans ölçümü için değil, aynı zamanda bireysel antrenman planlarının optimize edilmesi ve tendon sağlığının desteklenmesi açısından da önemli bir araç olduğunu göstermektedir. Ayrıca, kritik hızın uzun vadeli etkilerinin ve diğer dayanıklılık sporları üzerindeki potansiyel uygulamalarının değerlendirilmesine yönelik yeni araştırma alanları önermektedir. Çalışmamızın bulguları, sporcuların enerji yönetimi, sakatlık riskinin azaltılması ve kişiselleştirilmiş antrenman stratejilerinin geliştirilmesine yönelik bilimsel ve pratik katkılar sunmaktadır.

Çalışmanın Sınırlılıkları ve Öneriler

Bu çalışmanın en önemli sınırlılığı, yalnızca erkek sporcular üzerinde yapılmış olmasıdır. Cinsiyet farklılıklarının tendon biyomekaniği ve kritik hız üzerindeki etkileri gelecekteki çalışmalarla araştırılmalıdır. Ayrıca, katılımcı sayısının sınırlı olması, sonuçların genellenebilirliğini kısıtlamaktadır. Gelecekte daha geniş örneklem gruplarıyla benzer çalışmalar yapılması önerilmektedir.

Gelecekteki Çalışmalara Yönelik Öneriler

- Kritik hızın, uzun vadeli performans üzerindeki etkilerinin değerlendirildiği uzun süreli izleme çalışmaları yapılabilir.
- Aşıl tendon sertliği ve koşu ekonomisi arasındaki ilişkinin farklı yaş gruplarında ve antrenman düzeylerinde incelenmesi faydalı olacaktır.
- Kritik hız antrenmanlarının, diğer dayanıklılık sporlarındaki (örneğin yüzme veya bisiklet) etkileri araştırılabilir.



KAYNAKLAR

Ambrosini L, Presta V, Vitale M, Menegatti E, Guarnieri A, Bianchi V, De Munari I, Condello G, Gobbi G. A higher kick frequency swimming training program optimizes swim-to-cycle transition in triathlon. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2024;38(5).

Beattie K, Kenny IC, Lyons M, Carson BP. The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports Medicine*. 2014;44(6).

Casado A, Tuimil JL, Iglesias X, Fernández-Del-Olmo M, Jiménez-Reyes P, Martín-Acero R, Rodríguez FA. Maximum aerobic speed, maximum oxygen consumption, and running spatiotemporal parameters during an incremental test among middle- and long-distance runners and endurance non-running athletes. *PeerJ*. 2022;10.

Chatard JC, Wilson B. Drafting distance in swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2003;35(7).

Crowley E, Harrison AJ, Lyons M. The impact of resistance training on swimming performance: A systematic review. *Sports Medicine*. 2017;47(11).

Dekerle J, Baron B, Dupont L, Vanvelcenaher J, Pelayo P. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *European Journal of Applied Physiology*. 2003;89(3–4).

Delextrat A, Tricot V, Bernard T, Vercruyssen F, Hausswirth C, Brisswalter J. Drafting during swimming improves efficiency during subsequent cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2003;35(9).

Demura S, Aoki H, Yamamoto Y, Yamaji S. Comparison of strength values and laterality in various muscle contractions between competitive swimmers and untrained persons. *Health*. 2010;2(11).

Etxebarria N, Mujika I, Pyne DB. Training and competition readiness in triathlon. *Sports*. 2019;7(5):101–109.

Figueiredo DH, Figueiredo DH, Manoel FA, Machado FA. Peak running velocity or critical speed under field conditions: Which best predicts 5-km running performance in recreational runners? *Frontiers in Physiology*. 2021;12.

Fletcher JR, Esau SP, MacIntosh BR. Economy of running: Beyond the measurement of oxygen uptake. *Journal of Applied Physiology*. 2009;107(6).

Florence SI, Weir JP. Relationship of critical velocity to marathon running performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1997;75(3).

Fonda B, Sărabon N. Biomechanics and energetics of uphill cycling: A review. *Kinesiology*. 2012;44(1).

Galbraith A, Hopker JG, Jobson SA. A novel field test to determine critical speed. *Sports Medicine and Doping Studies*. 2011;1.

Galloway MT, Lalley AL, Shearn JT. The role of mechanical loading in tendon development, maintenance, injury, and repair. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 2013;95(17).

Gibson ASC, Lambert EV, Rauch LHG, Tucker R, Baden DA, Foster C, Noakes TD. The role of information processing between the brain and peripheral physiological systems in pacing and perception of effort. *Sports Medicine*. 2006;36(8).

Gosling CMR, Gabbe BJ, Forbes AB. Triathlon related musculoskeletal injuries: The status of injury prevention knowledge. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2008;11(4).

Hauswirth C, Brisswalter J. Strategies for improving performance in long duration events: Olympic distance triathlon. *Sports Medicine*. 2008;38(11).

Hausswirth C, Lehénaff D. Physiological demands of running during long distance runs and triathlons. *Sports Medicine*. 2001;31(9).

Heiden T, Burnett A. Triathlon: The effect of cycling on muscle activation in the running leg of an Olympic distance triathlon. *Sports Biomechanics*. 2003;2(1).

Hunter B, Ledger A, Muniz-Pumares D. Remote determination of critical speed and critical power in recreational runners. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2023.

Hunter GR, McCarthy JP, Carter SJ, Bamman MM, Gaddy ES, Fisher G, Katsoulis K, Plaisance EP, Newcomer BR. Muscle fiber type, achilles tendon length, potentiation, and running economy. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2015;29(5).

Ishikawa M, Komi PV. Muscle fascicle and tendon behavior during human locomotion revisited. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 2008;36(4).

Jones AM, Burnley M, Poole DC. Critical power: Implications for determination of VO_2max and exercise tolerance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2010;42(10).

Jones AM, Vanhatalo A. The ‘critical power’ concept: Applications to sports performance with a focus on intermittent high-intensity exercise. *Sports Medicine*. 2017;47.

Joyner MJ, Coyle EF. Endurance exercise performance: The physiology of champions. *Journal of Physiology*. 2008;586(1).

Kennedy MD, Knight CJ, Falk Neto JH, Uzzell KS, Szabo SW. Futureproofing triathlon: Expert suggestions to improve health and performance in triathletes. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. 2020;12(1).

Kimber NE, Ross JJ, Mason SL, Speedy DB. Energy balance during an Ironman triathlon in male and female triathletes. *International Journal of Sport Nutrition*. 2002;12(1).

Kordi M, Menzies C, Galbraith A. Comparison of critical speed and d' derived from 2 or 3 maximal tests. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2019;14(5).

Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of different duration isometric contractions on tendon elasticity in human quadriceps muscles. *Journal of Physiology*. 2001;536(2).

Kubo K, Miyazaki D, Tanaka S, Shimoju S, Tsunoda N. Relationship between achilles tendon properties and foot strike patterns in long-distance runners. *Journal of Sports Sciences*. 2015;33(7).

Kurihara T, Sasaki R, Isaka T. Mechanical properties of the achilles tendon in relation to various sport activities of collegiate athletes. *Biomechanics in Sport*. 2012;183.

Lipková L, Kumstát M, Struhár I. Determination of critical power using different possible approaches among endurance athletes: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(13).

Manuel G, Bollinger L. Use of critical speed models from world record data to estimate limits of human ultra-endurance running performance. *International Journal of Strength and Conditioning*. 2024;4(1).

Markus G, Arimany A. ITU triathlon history. *Triathlon Medicine*. 2020.

Martin RL, Chimenti R, Cuddeford T, Houck J, Matheson JW, McDonough CM, Paulseth S, Wukich DK, Carcia CR. Achilles pain, stiffness, and muscle power deficits: Midportion achilles tendinopathy revision 2018. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2018;48(5):A1–A38.

Millet GP, Vleck VE, Bentley DJ. Physiological differences between cycling and running: Lessons from triathletes. *Sports Medicine*. 2009;39(3).

Monod H, Scherrer J. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*. 1965;8(3).

Monte A, Maganaris C, Baltzopoulos V, Zamparo P. The influence of achilles tendon mechanical behaviour on “apparent” efficiency during running at different speeds. *European Journal of Applied Physiology*. 2020;120(11).

Naderi A, Gobbi N, Ali A, Berjisian E, Hamidvand A, Forbes SC, Koozehchian MS, Karayigit R, Saunders B. Carbohydrates and endurance exercise: A narrative review of a food first approach. *Nutrients*. 2023;15(6).

Nguyen AP, Detrembleur C, Fisette P, Selves C, Mahaudens P. MyotonPro is a valid device for assessing wrist biomechanical stiffness in healthy young adults. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2022;4.

Patoz A, Pedrani N, Spicher R, Berchtold A, Borrani F, Malatesta D. Effect of mathematical modeling and fitting procedures on the assessment of critical speed and its relationship with aerobic fitness parameters. *Frontiers in Physiology*. 2021;12.

Patoz A, Spicher R, Pedrani N, Malatesta D, Borrani F. Critical speed estimated by statistically appropriate fitting procedures. *European Journal of Applied Physiology*. 2021;121(7).

Pendergast DR, Meksawan K, Limprasertkul A, Fisher NM. Influence of exercise on nutritional requirements. *European Journal of Applied Physiology*. 2011;111(3).

Pettitt RW. Applying the critical speed concept to racing strategy and interval training prescription. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2016;11(7).

Poole DC, Burnley M, Vanhatalo A, Rossiter HB, Jones AM. Critical power: An important fatigue threshold in exercise physiology. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2016;48(11).

Pooles DC, Ward SA, Gardner GW, Whipp BJ. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics*. 1988;31(9).

Ruiz-Navarro JJ, Andersen JT, Cuenca-Fernández F, López-Contreras G, Morouço PG, Arellano R. Quantification of swimmers' ability to apply force in the water: The potential role of two new variables during tethered swimming. *Sports Biomechanics*. 2022.

Sharma AP, Périard JD. Physiological requirements of the different distances of triathlon. *Triathlon Medicine*. 2020.

Smith CGM, Jones AM. The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. *European Journal of Applied Physiology*. 2001;85(1–2).

Smyth B, Muniz-Pumares D. Calculation of critical speed from raw training data in recreational marathon runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2020;52(12).

Šuc A, Šarko P, Pleša J, Kozinc Ž. Resistance exercise for improving running economy and running biomechanics and decreasing running-related injury risk: A narrative review. *Sports*. 2022;10(7).

Tsai MC, Lee LS, Thomas S. Defining running intensity domains from critical speed derived from a 3-minute all-out running test. *Physiologia*. 2025;5:6.

Van Rassel CR, Sales KM, Ajayi OO, Nagai K, MacInnis MJ. A comparison of critical speed and critical power in runners using Stryd running power. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2024;19(1).

Vanhatalo A, Doust JH, Burnley M. Determination of critical power using a 3-min all-out cycling test. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2007;39(3).

Wong M, Jardaly AH, Kiel J. Anatomy, bony pelvis and lower limb: Achilles tendon. *StatPearls*. 2023.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı	Eren	Uyruğu	T.C.
Soyadı	AKDAĞ	Tel no	
Doğum tarihi		e-posta	

Eğitim Bilgileri

Mezun olduğu kurum		Mezuniyet yılı
Lise	Malatya Turgut Özal Lisesi	2010
Lisans	Akdeniz Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi	2015
Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü	2019
Doktora	Akdeniz Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü	2025

İş Deneyimi

Görevi	Kurum	Süre (yıl-yıl)
Araştırma Görevlisi	Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi	2020-2023
Araştırma Görevlisi	Akdeniz Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi	2024-...

Yabancı Dilleri	Sınav türü	Puanı
İngilizce	YÖKDİL	68,75

Proje Deneyimi

Proje Adı	Destekleyen kurum	Süre (Yıl-Yıl)
Farklı Direnç Egzersizlerinin Yüzme Performansı Üzerine Etkisi	Akdeniz Üniversitesi BAP	2017-2019
Genç Erkek Futbolcularda Farklı Alt Ekstremitte Asimetritlerinin 30m. Sprint ve Yön Değiştirme Performansına Etkisinin İncelenmesi	Akdeniz Üniversitesi BAP	2019-2021
Tohm Sporcuları Performans Takip-Değerlendirme ve Eğitim Projesi	Türkiye Atletizm Federasyonu	2021-2022
Kadın Sporcularda Patlayıcı Kuvvete Bağlı Kas-Tendon Yaralanmalarının Biyomekanik ve Elektrofizyolojik Yöntemlerle İncelenmesi	TÜBİTAK	2022-...

Burslar-Ödüller:

TÜBİTAK 1001- Bursiyer 2024-2025

Yayınlar:

Akdağ, E., Işın, A., Calvo, A. L., Alonso Pérez Chao, E., & Jiménez Sáiz, S. L. (2025). Evaluating the Impact of Video Assistant Referee Implementation in Football: A Four-Season Analysis of Match Performance Trends. *Applied Sciences*, 15(9), 4789.

Akdağ, E., Işın, A. (2025). Triatlonda Alt Ekstremitte Yaralanmaları ve Risk Faktörleri: Geleneksel Derleme. *Journal of Sport for All and Recreation*, 7(1), 162-168.

Ağca, T., Akdağ, E., & Cetin Özdoğan, E. (2024). The effects of horizontal deceleration training on sprint and countermovement jump neuromuscular performance qualities. *Sports Biomechanics*, 1-11.

Oğul, B., Uslu, S., Hindistan, I. E., Akdağ, E., & Cetin Özdoğan, E. (2023). The effect of the horizontal vs. vertical PAPE protocol on the swim start performance in adolescent male. *Sports Biomechanics*, 1-16.

Çobanoğlu, H. O., Akdağ, E., & Kurtuluş, M. A. (2023). A Bibliometric Analysis on Machine Learning in Sports Studies From 1999 to 2021. *Türkiye Klinikleri Journal of Sports Sciences*, 15(1).

Işın, A., Akdağ, E., Özdoğan, E. Ç., & Bishop, C. (2022). Associations between differing magnitudes of inter-limb asymmetry and linear and change of direction speed performance in male youth soccer players. *Biomedical Human Kinetics*, 14(1), 67-74.

Işın, A., Akdağ, E., & Turgut, A. (2020). The epidemiology of fatal drowning in children: a 13-year retrospective study in Turkey. *International journal of injury control and safety promotion*, 27(4), 465-471.

Turgut, A., Işın, A., Akdağ, E. (2018). Yüzme havuzlarındaki suda boğulma vakalarının incelenmesi. *İstanbul Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, 8(1), 69-76.

Cetin, E., Akdag, E., Aktop, A. (2017). Comparison Of Some Kinematic Parameters In The 100 M Free Style Swimming Performances Of Different Age Groups. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences*.

Turgut, A., & Akdağ, E. (2017). Gaziantep İlinde Suda Boğulma Vakalarının İncelenmesi. Akdeniz İnsani Bilimler Dergisi, 7(2), 437-444.

Bildiriler

Akdağ E., Işın A., Çetin Özdoğan E. (2021). Genç Erkek Futbolcularda Bacak Asimetritlerinin Sprint ve Yön Değiştirme Performansına Etkileri. Hareket ve Motor Kontrol Kongresi, 68-69.

Cetin E., Akdag E., Aktop A. (2017). Comparison Of Some Kinematic Parameters In The 100 M Free Style Swimming Performances Of Different Age Groups International Conference On Sport, Education And Psychology (İcsep), Bucharest, Romanya, 9 - 11 Mayıs 2017, Cilt.24, Ss.74-78

Akdağ E., Işın A., (2024). Triatlon Branşlarının Performans Analizi: Branşların Toplam Süre Üzerindeki Etkileri, 6. International Young Researchers Student Congress, 102-103

Akdağ E., Işın A., (2025). Age And Gender Based Performance Differences In Triathlon, Bursa 4th International Conference On Sports And Health Sciences.