TÜRKİYE CUMHURİYETİ
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAEKWONDO TEKME FREKANS HIZ TESTİNİN FİZYOLOJİK VE KİNEMATİK PARAMETRELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

AHMET TALHA ÖZTÜRK
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
PROF. DR. ANİ AGOPYAN
HAREKET VE ANTREMAN BİLİMLERİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

İSTANBUL- 2026

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAEKWONDO TEKME FREKANS HIZ TESTİNİN FİZYOLOJİK VE KİNEMATİK PARAMETRELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

AHMET TALHA ÖZTÜRK
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
PROF. DR. ANİ AGOPYAN
HAREKET VE ANTREMAN BİLİMLERİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

İSTANBUL- 2026

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 çalışması ile elde edilmemiş bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığı beyan ederim.

Ahmet Talha ÖZTÜRK

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının her aşamasında bilgi ve deneyimlerini cömertçe paylaşan, yönlendirici katkılarıyla bu çalışmaya yön veren ve akademik kariyerime her daim destek olan danışmanım Sayın Prof. Dr. Ani AGOPYAN'a içtenlikle teşekkür ederim.

Bu çalışmaya destek olan Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Bu süreçte değerli katkı ve yönlendirmeleriyle destek olan Sayın Prof. Dr. Nusret RAMAZANOĞLU, Dr. Öğr. Üyesi Cansel CUMBUR' ve Prof. Dr. Hatice İlhan ODABAŞ'a, çalışmanın veri toplama sürecinde sağladığı katkılar dolayısıyla Arş. Gör. Tuğçe YEŞİLÇİMEN'e teşekkür ederim.

Araştırmaya gönüllü olarak katılan tüm sporculara teşekkür ederim.

Akademik yolculuğumun her aşamasında gösterdikleri destek ve dayanışma için İstanbul Esenyurt Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi'ndeki tüm meslektaşlarıma teşekkür ederim.

Akademik yolculuğuma olan inançlarıyla beni her zaman teşvik eden, ilham kaynağım olan dayım Doç. Dr. Yunus ÖZCAN ve yengem Doç. Dr. Neslihan ARICI ÖZCAN'a minnetle teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde yanımda olan, aldığım her kararı destekleyen ve beni daima cesaretlendiren annem Şerife ÖZTÜRK'e, babam Mevlüt ÖZTÜRK'e, kardeşlerime ve kuzenlerim Emirhan ATEŞ ile Beyza Nur ATEŞ'e sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım. Varlıklarıyla hayatıma anlam katan sevgili yeğenlerim Fatma Zehra, Zeynep ve Saliha'ya da bu satırlardan sevgilerimi iletiyorum.

Bu tez çalışması Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından TYL-2025-11616 No.'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
KISALTMALAR	**i**
ŞEKİLLER	**ii**
TABLOLAR	**iii**
1. ÖZET	**1**
2. SUMMARY	**2**
3. GİRİŞ ve AMAÇ	**3**
4. GENEL BİLGİLER	**7**
4.1. Taekwondo	7
4.1.1. Taekwondo branşının tanımı, tarihçesi ve temel yapısı	7
4.1.2. Taekwondo branşının müsabaka formatı ve kuralları	8
4.1.3. Taekwondo branşının kategorilendirilmesi ve puanlama sistemleri	9
4.2. Taekwondo Branşında Enerji Sistemlerinin Fizyolojik Rolü	10
4.3. Taekwondo Branşında Motorik Özelliklerin Performansa Etkisi	12
4.3.1. Taekwondo branşında kuvvet gelişiminin performansa etkisi	13
4.3.2. Taekwondo branşında dayanıklılık kapasitesinin önemi	14
4.3.3. Taekwondo branşında süratin performansa katkısı	15
4.3.4. Taekwondo performansında esnekliğin önemi	16
4.3.5. Taekwondo performansında koordinasyonun yapısal ve işlevsel rolü	17
4.4. Taekwondo Tekniklerinin Kinematik Analizi	18
4.5. Taekwondo Branşına Özgü Performans Testleri	20
4.5.1. Taekwondoya özgü çeviklik testi	21
4.5.2. Taekwondoya özgü performans protokolü	22
4.5.3. Taekwondoya özgü anaerobik aralıklı tekme testi	23
4.5.4. Taekwondoya özgü aşamalı test	25
4.5.5. Taekwondoya özgü aerobik anaerobik çeviklik testi	26
4.5.6. Taekwondoya özgü tekme frekans hız testi	28
5. GEREÇ ve YÖNTEM	**31**
5.1. Araştırma Grubu	31
5.1.1. Araştırmaya dahil edilme kriterleri	32
5.1.2. Araştırmadan dışlanma kriterleri	33
5.1.3. Araştırmadan çıkarılma kriterleri	33

5.2. Araştırma Modeli 33
5.3. Antropometrik Ölçümler 35
5.3.1. Boy uzunluğu ölçümü 35
5.3.2. Vücut ağırlığı ölçümü 36
5.3.3. Beden kütle indeksi hesaplama 36
5.4. Fizyolojik ve Kinematik Ölçümlere İlişkin Veri Toplama Araçları 37
5.4.1. Kalp atım hızı ölçümü 37
5.4.2. Kan laktat seviyesi ölçümü 38
5.4.3. Algılanan zorluk derecesi ölçümü 39
5.4.4. Bacak kuvveti ölçümü 40
5.4.5. İvme ölçümü 40
5.4.6. Uygulama öncesi ve ısınma protokolü 42
5.4.7. Tekme frekans hız testi protokolü 44
5.4.7.1.Tekme yorgunluk indeksi formülü 45
5.5. İstatistiksel Analiz 46
6. BULGULAR 48
6.1. Demografik ve Antropometrik Özellikler 48
6.2. $TFHT_{5x10}$ Protokolü Boyunca Tekme Sayısındaki Değişimler 49
6.3. $TFHT_{5x10}$ Protokolü Boyunca Tekme Darbe İvmesindeki Değişimler 52
6.4. $TFHT_{5x10}$ Protokolü Boyunca Algılanan Zorluk Derecesindeki Değişimler 55
6.5. $TFHT_{5x10}$ Protokolü Boyunca ve Sonrasında Kan Laktat Seviyesindeki Değişimler 57
6.6. $TFHT_{5x10}$ Protokolü Boyunca ve Sonrasında Kalp Atım Hızındaki Değişimler 60
7. TARTIŞMA ve SONUÇ 65
8. KAYNAKLAR 79
9. ÖZGEÇMİŞ 89
10. BİLİMSEL FAALİYETLER 90
11. EKLER 91
Ek 1. Gönüllü Olur Formu **91**
Ek 2. Gönüllü Onay Formu **93**
Ek 3. Kişisel Bilgi Formu **94**
Ek 4. Taekwondo Tekme Frekans Hız Testi Formu **95**
Ek 5. Etik Kurul Karar Formu **96**

KISALTMALAR

ANOVA	:	Analysis of Variance (Varyans Analizi)
ATP	:	(Adenosine Triphosphate) (Adenozin Trifosfat)
ATP-PCr	:	Adenosine Triphosphate-Phosphocreatine (Adenozin Trifosfat-Fosfokreatin)
AZD	:	Algılanan Zorluk Derecesi
BİA	:	Biyoelektrik İmpedans Analizi
BKİ	:	Beden Kütle İndeksi
CR-10	:	Category-Ratio Scale 10 (Kategori-Oran Ölçeği 10)
EMG	:	Electromyography (Elektromiyografi)
FSKT	:	Frequency Speed of Kick Test (Tekme Frekans Hız Testi)
HIIT	:	High-Intensity Interval Training (Yüksek Yoğunluklu Aralıklı Antrenman)
ICC	:	Intraclass Correlation Coefficient (Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı)
ISAK	:	International Society for the Advancement of Kinanthropometry (Uluslararası Kinantropometri Geliştirme Derneği)
KAH	:	Kalp Atım Hızı
KAH_{maks}	:	Maksimal Kalp Atım Hızı
KLS	:	Kan Laktat Seviyesi
PAP	:	Post-Activation Potentiation (Aktivasyon Sonrası Potansiyel Artışı)
PAPE	:	Post-Activation Performance Enhancement (Aktivasyon Sonrası Performans Artışı
PCr	:	Phosphocreatine (Fosfokreatin)
RPE	:	Rating of Perceived Exertion (Algılanan Zorluk Derecesi)
TFHT	:	Tekme Frekans Hız Testi
$TFHT_{5x10}$	:	Çoklu Tekme Frekans Hız Testi
TÖAAÇT	:	Taekwondoya Özgü Aerobik Anaerobik Çeviklik Testi
TÖAATT	:	Taekwondoya Özgü Aerobik Anaerobik Çeviklik Testi
TÖAT	:	Taekwondoya Özgü Aşamalı Test
TÖÇT	:	Taekwondoya Özgü Çeviklik Testi
TÖPP	:	Taekwondoya Özgü Performans Protokolü
TYİ	:	Tekme Yorgunluk İndeksi
VKİ	:	Vücut Kütle İndeksi
VO_{2maks}	:	Maksimal Oksijen Tüketimi

ŞEKİLLER

		Sayfa No
Şekil 1.	Taekwondo müsabaka alanı	8
Şekil 2.	Taekwondoya özgü çeviklik testi	22
Şekil 3.	Taekwondoya özgü anaerobik aralıklı tekme testi	24
Şekil 4.	Taekwondoya özgü aerobik anaerobik ve çeviklik testi	27
Şekil 5.	Örneklem seçiminde kullanılan G*Power analiz sonucunun görseli	32
Şekil 6.	Araştırma tasarımı	35
Şekil 7.	Boy uzunluğu ölçümünde kullanılan stadyometre aleti	36
Şekil 8.	Biyoelektrik impedans analiz (BİA) cihazı (TANITA BC 418, Vücut analizi)	36
Şekil 9.	Kalp atım hızı sensörü (Polar H10 HR)	38
Şekil 10.	Laktat ölçüm kiti (Lactate Scout Sensors, Almanya)	39
Şekil 11.	Laktat ölçüm cihazı (Lactate Scout, Almanya)	39
Şekil 12.	0–10 Borg skalası	40
Şekil 13.	Enode sensörünün yerleşimi	42
Şekil 14.	Kuvvet ölçümü yerleşimi (karşıdan)	43
Şekil 15.	Kuvvet ölçümü yerleşimi (yandan)	43
Şekil 16.	Powrlink uygulama ekranı	44
Şekil 17.	TFHT uygulama görseli	45
Şekil 18.	TFHT setlerine göre atılan tekme sayısı	51
Şekil 19.	TFHT boyunca atılan tekme sayısının setlere göre zaman profili	51
Şekil 20.	TFHT setlerine göre tekme darbe ivmesi	54
Şekil 21.	TFHT boyunca tekme darbe ivmesinin setlere göre zaman profili	54
Şekil 22.	TFHT setlerine göre algılanan zorluk derecesi (AZD; Borg CR-10) puanları	56
Şekil 23.	TFHT boyunca AZD puanlarının setlere göre zaman profili	57
Şekil 24.	TFHT öncesinde (dinlenik) ve toparlanma dönemlerinde ölçülen kan laktat seviyeleri	59
Şekil 25.	Kan laktat seviyesinin zaman profili	60
Şekil 26.	TFHT öncesinde (dinlenik), setler arasında ve toparlanma dönemlerinde kalp atım hızı	63
Şekil 27.	Kalp atım hızının zaman profili	63
Şekil 28.	TFHT setlerine göre AZD ve kalp atım hızı değişimleri (çift Y ekseni)	64
Şekil 29.	TFHT dinlenik ve toparlanma dönemlerinde kan laktat seviyesi ile kalp atım hızı (çift Y ekseni)	64

TABLOLAR

Sayfa No

Tablo 1. Erkekler dünya taekwondo müsabaka sıkletleri ve elektronik darbe eşikleri 9

Tablo 2. Kadınlar dünya taekwondo müsabaka sıkletleri ve elektronik darbe eşikleri 10

Tablo 3. Taekwondoya özgü aşamalı test protokolü 25

Tablo 4. TFHT erkekler norm tablosu 29

Tablo 5. TFHT kadınlar norm tablosu 29

Tablo 6. Katılımcıların demografik ve antropometrik özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve normallik sonuçları 48

Tablo 7. TFHT tekme performansına ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve normallik sonuçları 49

Tablo 8. TFHT setlerine göre tekme sayısı için tekrarlı ölçümler ANOVA sonuçları (küresellik ve etki büyüklüğü) 50

Tablo 9. TFHT setleri arasında Holm-Bonferroni düzeltmeli ikili karşılaştırmalar (tekme sayısı) 50

Tablo 10. Darbe ivme değişkenlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve normallik sonuçları 52

Tablo 11. Tekme darbe ivme değişkeninin zamana göre değişiminin Friedman testi sonuçları 52

Tablo 12. TFHT setleri sırasında tekme darbe ivmesi için Holm-Bonferroni düzeltmeli Wilcoxon ikili karşılaştırmaları 53

Tablo 13. TFHT sırasında setlere göre AZD puanlarının tanımlayıcı istatistikleri ve normallik sonuçları 55

Tablo 14. TFHT sırasında setlere göre AZD puanlarının Friedman testi sonuçları 55

Tablo 15. TFHT setleri arasında AZD puanları için Holm-Bonferroni düzeltmeli Wilcoxon ikili karşılaştırmaları 56

Tablo 16. TFHT öncesi ve sonrasında kan laktat seviyelerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve normallik sonuçları 58

Tablo 17. TFHT öncesi ve sonra kan laktat seviyelerinin zamana göre değişiminin Friedman testi sonuçları 58

Tablo 18. TFHT kan laktat seviyeleri için Holm-Bonferroni düzeltmeli Wilcoxon ikili karşılaştırmaları 59

Tablo 19. Kalp atım hızı değişkenlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve normallik sonuçları 61
Tablo 20. Kalp atım hızı değişkeninin zamana göre değişiminin Friedman testi sonuçları 61
Tablo 21. Kalp atım hızı değişkenleri için Holm-Bonferroni düzeltmeli Wilcoxon ikili karşılaştırmaları 62

1. ÖZET

Tezin Başlığı : Taekwondo Tekme Frekans Hız Testinin Fizyolojik ve Kinematik Parametrelerinin Değerlendirilmesi
Öğrenci : Ahmet Talha ÖZTÜRK
Danışman : Prof. Dr. Ani AGOPYAN
Program : Hareket ve Antrenman Bilimleri Yüksek Lisans Programı

Amaç: Bu çalışmanın amacı, taekwondo sporcularında çoklu Tekme Frekans Hız Testi ($TFHT_{5x10}$) protokolü süresince ortaya çıkan performans (set bazlı tekme sayısı), fizyolojik (kalp atım hızı [KAH], kan laktat seviyesi [KLS], algılanan zorluk derecesi [AZD]) ve kinematik (darbe ivmesi [Dİ]) yanıtlarında yüksek şiddetli tekrarlı yüklenmeye bağlı oluşan akut değişimlerin eş zamanlı olarak değerlendirilmesidir.

Gereç ve Yöntem: Araştırmaya, 18–25 yaş aralığında, 63–68 kg sıklet kategorisinde yer alan, en az dört yıllık taekwondo deneyimine sahip ve siyah kuşak derecesindeki 16 erkek sporcu dahil edildi (yaş: 20,3±2,3 yıl; antrenman yaşı: 8,3±2,9 yıl; vücut ağırlığı: 68,8±3,9 kg; boy uzunluğu: 178,2±6,5 cm). Sporcular yaklaşık 11 dakikalık ısınmanın ardından her biri 10 saniyelik maksimal çaba ve 10 saniyelik pasif dinlenmeden oluşan 5 setlik $TFHT_{5x10}$ protokolü uyguladı. Her set sonunda set bazlı tekme sayısı (adet), Dİ (g) ve AZD (Borg CR-10) kaydedildi; KAH (atım/dk) test süresince sürekli olarak izlendi. Kan laktat seviyesi (mmol/l) ise dinlenik durumda, testin hemen sonunda (0.dk), 3.dk ve 5.dk ölçüldü. Verilerin analizinde normal dağılım gösterenler için tekrarlı ölçümler ANOVA, normal dağılım göstermeyenler için Friedman testi kullanıldı. Çoklu karşılaştırmalarda Holm-Bonferroni düzeltmesi uygulandı.

Bulgular: $TFHT_{5x10}$ boyunca set bazlı tekme sayısı $TFHT_1$'de 18,4±2,9'dan $TFHT_5$'te 14,1±2,1'e anlamlı biçimde azaldı ($p<0,001$). Toplam tekme sayısı 78,3±10,5 ve tekme yorgunluk indeksi ise 15,3±5,8 olarak belirlendi. Dİ setler boyunca doğrusal olmayan dalgalı bir değişim gösterdi ($p<0,001$). AZD puanları $TFHT_1$'deki 2,3±0,9 düzeyinden $TFHT_5$'te 8,0±0,8'e yükseldi ($p<0,001$). KLS dinlenik değere göre test sonu, toparlanmanın 3. ve 5. dakikalarında anlamlı olarak daha yüksek bulundu (sırasıyla 1,3±0,6; 10,9±3,4; 11,7±3,0; 11,3±2,6 mmol/l; $p<0,001$). KAH test boyunca kademeli olarak arttı ve beşinci set sonunda 188,7±5,6 atım/dk değerine ulaştı ($p<0,001$).

Sonuç: $TFHT_{5x10}$ protokolü taekwondo sporcularında setler ilerledikçe tekme performansını düşürürken fizyolojik yüklenme göstergelerini artırmaktadır. Darbe ivmesindeki doğrusal olmayan dalgalı değişim, yorgunluk altında kinematik yanıtın yalnızca performans kaybını değil, nöromüsküler düzenlemedeki değişimleri de yansıtabileceğini düşündürmektedir. Bu yönüyle $TFHT_{5x10}$, taekwondoya özgü yüksek şiddetli tekrarlı yüklenmeye verilen performans, fizyolojik ve kinematik yanıtları eş zamanlı olarak değerlendirilebilen işlevsel bir saha testi olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Darbe ivmesi, kan laktat düzeyi, taekwondo, tekme frekans hız testi

2. SUMMARY

Title of Thesis : Evaluation of the Physiological and Kinematic Parameters of the Taekwondo Frequency Speed of Kick Test
Student : Ahmet Talha ÖZTÜRK
Supervisor : Prof. Dr. Ani AGOPYAN
Program : Movement and Training Master of Science Program

Objective: This study aimed to simultaneously evaluate acute changes in performance (set-based kick count), physiological (heart rate [HR], blood lactate concentration [BLC], rating of perceived exertion [RPE]), and kinematic (impact acceleration [IA]) responses induced by high-intensity repeated loading during the multiple Frequency Speed of Kick Test ($FSKT_{5x10}$) protocol in taekwondo athletes.

Material and Method: Sixteen male athletes aged 18–25 years, competing in the 63–68 kg weight category, holding black belt rank with a minimum of four years of taekwondo experience, were enrolled in the study (age: 20.3±2.3 years; training age: 8.3±2.9 years; body weight: 68.8±3.9 kg; height: 178.2±6.5 cm). Following an approximately 11-minute warm-up, participants performed the $FSKT_{5x10}$ protocol consisting of five sets, each comprising 10 seconds of maximal effort and 10 seconds of passive recovery. Set-based kick count (repetitions), IA (g), and RPE (Borg CR-10) were recorded at the end of each set, while HR (bpm) was continuously monitored throughout the test. Blood lactate concentration (mmol/l) was measured at rest, immediately post-test (0 min), and at the 3rd and 5th minutes of recovery. Statistical analyses employed repeated measures ANOVA or the Friedman test depending on data distribution, with Holm–Bonferroni correction for multiple comparisons.

Results: Set-based kick count decreased significantly across the $FSKT_{5x10}$, from 18.4±2.9 in $FSKT_1$ to 14.1±2.1 in $FSKT_5$ ($p<0.001$). Total kick count was 78.3±10.5 and the kick fatigue index was15.3±5.8, respectively. Impact acceleration exhibited a non-linear oscillatory pattern across sets ($p<0.001$). RPE scores increased from 2.3±0.9 in $FSKT_1$ to 8.0±0.8 in $FSKT_5$ ($p<0.001$). BLC was significantly elevated compared to resting values immediately post-test and at the 3rd and 5th minutes of recovery (1.3±0.6; 10.9±3.4; 11.7±3.0; 11.3±2.6 mmol/l, respectively; $p<0.001$). HR increased progressively throughout the test, reaching 188.7±5.6 bpm at the end of the fifth set ($p<0.001$).

Conclusion: The $FSKT_{5x10}$ protocol progressively reduces kicking performance while augmenting physiological loading indices in taekwondo athletes. The non-linear oscillatory pattern observed in impact acceleration suggests that the kinematic response under fatigue may reflect not only performance decrement but also alterations in neuromuscular regulation. In this regard, the $FSKT_{5x10}$ emerges as a functional field test capable of simultaneously assessing performance, physiological, and kinematic responses to taekwondo-specific high-intensity repeated loading.

Keywords: Blood lactate levels, frequency speed of kick test, impact acceleration, taekwondo

3. GİRİŞ ve AMAÇ

Taekwondo, puanlamanın yumruk ve tekme teknikleriyle sağlandığı, aralıklı (intermittent) yüklenme yapısının baskın olduğu, kısa süreli ve yüksek şiddetli eforların tekrarlandığı olimpik bir dövüş sporudur (Bridge ve ark., 2014; World Taekwondo, 2022). Müsabaka performansı; teknik-taktik karar verme, hızlı ivmelenme–yavaşlama döngüleri, patlayıcı güç üretimi ve rauntlar boyunca performansı sürdürebilme kapasitesinin bütünleşik etkileşimiyle şekillenmektedir (Butios ve Tasika, 2007; Bridge ve ark., 2014). Bu çok boyutlu yapı, yalnızca anlık maksimal çıktıları değil, tekrarlı yüksek şiddetli eforlar sırasında ortaya çıkan yorgunluk dinamikleri ile performansın sürdürülebilirliliği nicel olarak ele alınmasını gerektirmektedir (da Silva Santos ve Franchini, 2016; Apollaro ve ark., 2024).

Müsabakaların fizyolojik talepleri incelendiğinde, yüksek şiddetli atakların kısa süreli olması ve ataklar arasında nispeten kısa toparlanma pencerelerinin bulunduğu görülmektedir. Bu yapı, anaerobik enerji sistemlerinin belirgin katkısına rağmen, maç boyunca tekrar eden eforların sürdürülebilirliği için aerobik kapasitenin de kritik rol oynadığını göstermektedir (Butios ve Tasika, 2007; Bridge ve ark., 2014). Nitekim taekwondo karşılaşmalarında kalp atım hızının yüksek düzeylere ulaşabildiği; kan laktat birikiminin ise yoğun efor dönemlerini yansıtacak şekilde arttığı bildirilmektedir (Butios ve Tasika, 2007; Bridge ve ark., 2014). Bu doğrultuda performans çıktılarının fizyolojik yanıtlarla birlikte analiz edilmesi; test sonuçlarının metabolik temellerini açıklığa kavuşturarak antrenman planlaması, yüklenme kontrolü ve toparlanma yönetiminin daha hassas biçimde düzenlenmesine katkı sağlayabilir (Buchheit, 2014; Brooks, 2020).

Taekwondoda teknik icra kapasitesinin değerlendirilmesinde, spora özgü tekrarlı yüksek şiddetli tekme performansını ölçen saha testleri öne çıkmaktadır (da Silva Santos ve Franchini, 2016; da Silva Santos ve Franchini, 2018). Bu testlerin önemli bir avantajı, branşın belirleyici motor örüntülerini doğrudan içermesi ve antrenör ile sporcu için yorumlanabilir veriler sağlamasıdır (da Silva Santos ve Franchini, 2016; da Silva Santos ve ark., 2020). Bu bağlamda Tekme Frekans Hız Testi (TFHT), taekwondo sporcularının kısa süreli maksimal efor sırasında ürettikleri tekme sayısını değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş bir saha testidir. Test, bu performansın tekrarlı uygulamalarda ne ölçüde sürdürülebildiğini değerlendirmeye yönelik geçerli ve güvenilir bir değerlendirme aracı olarak kullanılabilmektedir (da Silva Santos ve Franchini, 2016; da Silva Santos ve Franchini, 2018).

TFHT'nin çoklu uygulama formatı olan $TFHT_{5x10}$, 10 saniyelik maksimal efor ile 10 saniyelik pasif dinlenme periyotlarının art arda uygulandığı ve bu döngünün toplam beş set boyunca tekrarlandığı aralıklı bir protokol olarak yapılandırılmaktadır (da Silva Santos ve Franchini, 2016). Bu yüklenme yapısı, taekwondo müsabakalarında gözlenen tekrarlı yüksek şiddetli ataklar ve kısa toparlanma aralıklarını modelleyerek branşın özgül enerji sistemi taleplerini yansıtmaktadır (da Silva Santos ve Franchini, 2016; Apollaro ve ark., 2024).

$TFHT_{5x10}$ protokolünde her set için üretilen tekme sayıları ($TFHT_{1–5}$) ayrı ayrı belirlenmekte; ayrıca toplam tekme sayısı ve setler arası performans azalımını yansıtan yorgunluk indeksi hesaplanmaktadır (da Silva Santos ve Franchini, 2016). Bu göstergeler, yalnızca toplam üretim kapasitesini değil, tekrarlı yüksek şiddetli eforlar sırasında performansın sürdürülebilirliğini ve yorgunluğa bağlı değişim dinamiklerini nicel olarak ortaya koymaktadır (da Silva Santos ve Franchini, 2016; Apollaro ve ark., 2024).

Bu test yaklaşımının fizyolojik geçerliliği, taekwondo müsabakalarında rapor edilen kardiyovasküler ve metabolik yanıtlarla uyumlu yüklenme profillerine dayanmaktadır (Bridge ve ark., 2009; Bürger-Mendonça ve ark., 2015). Örneğin, Bridge ve ark. (2009) uluslararası düzeyde taekwondo sporcularının metabolik tepkilerini inceledikleri çalışmalarında, müsabaka sırasında en yüksek kalp atım hızı ve kan laktat seviyesinin üçüncü raundun sonunda zirveye ulaştığını raporlamaktadırlar. Benzer şekilde, Bürger-Mendonça ve ark. (2015) müsabaka simülasyonu sırasında üçüncü raund sonunda kan laktat seviyelerinin 7,36 ± 2,97 mmol/l değerine ulaştığını vurgulamaktadırlar. Campos ve ark. (2012) ise araştırmalarında, taekwondo müsabaka simülasyonunda enerji sistemlerinin katkı oranlarını aerobik (%66 ± 6), anaerobik alaktik (%30 ± 6) ve laktik (%4 ± 2) olduğunu belirtmektedirler. Taekwondo sporcularının enerji metabolizmasının yapısına dair önemli bulgular sunmaktadırlar. Bu dağılım, taekwondoda enerji üretiminin büyük ölçüde aerobik temele dayandığını; ancak anaerobik alaktik ve laktik sistemlerin de anlamlı düzeyde katkı sunduğunu ortaya koymaktadır.

Sant'Ana ve ark. (2018; 2019) tarafından rapor edilen veriler, taekwondo sporcularının aerobik ve anaerobik kapasite profillerine ilişkin tutarlı bulgular ortaya koymaktadır. 2018 yılı sonuçlarında VO_{2maks} değeri 49,25 ± 5,69 ml/kg/dakika, maksimum kalp atım hızı 189 ± 9 atım/dakika ve egzersiz sonrası kan laktat seviyesi 9,03 ± 1,93 mmol/l olarak bildirilmektedir. 2019 yılında rapor edilen değerler ise sırasıyla 49,2 ± 5,3 ml/kg/dakika, 190 ± 8 atım/dakika ve 8,9 ± 1,7 mmol/l'dir. Değerler arasındaki sınırlı farklılık, sporcuların gelişmiş aerobik kapasite ve belirgin anaerobik dayanıklılık düzeylerine sahip olduklarını ve yoğun egzersiz yüklenmelerine fizyolojik olarak uyum sağlayabildiklerini göstermektedir.

Güncel araştırmalar, taekwondonun belirgin kardiyovasküler ve metabolik talepler içerdiğini ortaya koymaktadır. Tayech ve ark. (2020) taekwondo sporcularında maksimum kalp atım hızını 188,85 ± 0,11 atım/dakika, kan laktat düzeyini ise 10,96 ± 1,59 mmol/l olarak bildirmektedir. Taati ve ark. (2022) tarafından geliştirilen aerobik–anaerobik çeviklik testinde VO_{2maks} 52,89 ± 6,18 ml/kg/dakika ve maksimum kalp atım hızı 197,98 ± 7,57 atım/dakika düzeyinde olduğu belirtilmektedir. Bu bulgular, taekwondonun hem aerobik kapasite hem de yüksek şiddetli anaerobik yüklenme açısından önemli fizyolojik gereksinimler içerdiğini göstermektedir. Bu fizyolojik profil, taekwondo performansının değerlendirilmesinde müsabaka taleplerini modelleyen branşa özgü ve tekrarlı yüksek şiddetli eforları içeren test protokollerine duyulan gereksinimi göstermektedir. Bu doğrultuda literatürde taekwondo branşına özgü aerobik (Araujo ve ark., 2017; Sant'Ana ve ark., 2019) ve anaerobik (Oliveira ve ark., 2015; Rocha ve ark., 2016b; Sant'Ana ve ark., 2014) kapasitelerin belirlenmesine yönelik geliştirilen testler de sıklıkla kullanılmaktadır.

Sant'Ana ve ark. (2014), Taekwondo Anaerobik Testi (TAT) kapsamında karşı hareket sıçrama performansı ve maksimum kan laktat düzeyi ile tekme performansı arasındaki ilişkileri bildirmektedirler. Karşı hareket sıçrama değerlerinin en iyi tekme süresiyle güçlü ve negatif ilişki gösterdiği (r=-0,89), maksimum laktat düzeyinin ise tekmeleme döngü sayısı ile pozitif ilişki sergilediği (r=0,65) raporlanmaktadır. Bu sonuçlar, anaerobik metabolik yanıt ile teknik performans çıktıları arasında anlamlı bir bağlantı olduğunu düşündürmektedir. Bu ilişkiler, taekwondo performansında yalnızca fizyolojik kapasitenin değil, aynı zamanda tekmeleme hızını ve ivmesini yansıtan teknik çıktılara dayalı ölçümlerin de birlikte değerlendirilmesinin önemini olduğunu göstermektedir.

Taekwondoda tekme hızı veya ivmesine bağlı vuruş kuvvetine göre puan alınabilmesi (World Taekwondo, 2022; Tornello ve ark., 2014) nedeniyle, fizyolojik ve motorik özelliklerin yanı sıra, tekme hızı ve ivmesi gibi kinematik çıktıları belirleyen teknik özellikler de performans açısından kritik öneme sahiptir. da Silva Santos ve Franchini (2016), TFHT'nin antrenmanlarda performans artışını destekleyen, yüksek güvenilirliğe sahip (Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı [ICC]= 0,85–0,95) ve ayrıca kadın taekwondo sporcularında farklı performans düzeylerini ayırt edebilen bir test olduğunu ortaya koymaktadırlar. Ayrıca, Ferreira da Silva Santos ve arkadaşları (2019), erkek ve kadın taekwondo sporcuları için TFHT'ye dayalı geliştirdikleri sınıflandırma tablosunun, branşa özgü performans değerlendirmelerinde kullanılabileceğini bildirmektedir.

Literatürde TFHT'nin temel olarak toplam tekme sayısı, set bazlı tekme sayısı ve yorgunluk indeksi gibi performans çıktıları üzerinden değerlendirildiği görülmektedir. Buna karşılık

müsabaka performansında belirleyici olduğu bilinen fizyolojik (kalp atım hızı, kan laktat düzeyi) ve kinematik (tekme hızı, ivme, darbe şiddeti) parametrelerin (Estevan ve Falco, 2013; Ramazanoğlu, 2013; Liu ve ark., 2021), eş zamanlı olarak incelenmediği dikkat çekicidir. Bu durum, TFHT performansının altında yatan metabolik ve mekanik mekanizmaların açıklanmasını sınırlamakta ve test çıktılarının müsabaka talepleriyle doğrudan ilişkilendirilmesini güçleştirmektedir.

Tüm bu yaklaşımlarla araştırmanın amacı; taekwondo sporcularında $TFHT_{5x10}$ protokolü süresince ortaya çıkan kinematik (darbe ivmesi), fizyolojik (kalp atım hızı, kan laktat seviyesi, algılanan zorluk derecesi) ve performans (set bazlı tekme sayısı) yanıtlarında yüksek şiddetli tekrarlı yüklenmeye bağlı olarak akut değişimlerin eş zamanlı olarak değerlendirilmesidir.

Bu araştırmanın özgünlüğü, $TFHT_{5x10}$ protokolünün performans, fizyolojik ve kinematik bileşenleri eş zamanlı olarak değerlendiren bütüncül bir yaklaşımla ele alınmasındır. Literatürde test performansı çoğunlukla toplam tekme sayısı üzerinden incelenirken (da Silva Santos ve Franchini, 2016; 2018; da Silva Santos ve ark., 2018; 2020; Ferreira da Silva Santos ve ark., 2019; 2020), bu çalışma performansın setler boyunca değişimini; kalp atım hızı, kan laktat seviyesi, algılanan zorluk derecesi ve darbe ivmesi gibi çok boyutlu parametrelerle birlikte analiz ederek metodolojik boşluğun doldurulması hedeflenmektedir. Bu yaklaşımla araştırma, $TFHT_{5x10}$ protokolü sırasında ortaya çıkan tekme performansını yalnızca üretim miktarı açısından değil, bu performansın hangi fizyolojik ve kinematik profil eşliğinde gerçekleştiğini de ortaya koyabilen bir değerlendirme modeli sunmaktadır.

Bu bütüncül değerlendirme modeli, performans düşüşünün altında yatan fizyolojik ve kinematik belirleyicilerin ayrıştırılmasına olanak tanıyarak, saha uygulamalarında yüklenme kontrolü, yorgunluk yönetimi ve antrenman programlarının bireyselleştirilmesine yönelik önemli bir metodolojik katkı sunmaktadır.

Araştırma hipotezleri aşağıda yer almaktadır:

H1: $TFHT_{5x10}$ protokolü boyunca set tekme sayısı anlamlı olarak azalır.

H2: $TFHT_{5x10}$ protokolü boyunca tekme darbe ivmesi anlamlı olarak azalır.

H3: $TFHT_{5x10}$ protokolü boyunca algılanan zorluk derecesi anlamlı olarak artar.

H4: $TFHT_{5x10}$ protokolü sonrasında kan laktat seviyesi dinlenik değerlere kıyasla anlamlı olarak artar.

H5: $TFHT_{5x10}$ protokolü boyunca kalp atım hızı anlamlı olarak artar.

H6: $TFHT_{5x10}$ protokolü sonrasında kalp atım hızı dinlenik değerlere kıyasla anlamlı olarak artar.

4. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde taekwondo branşının tanımı, performans yapısına ilişkin temel kavramlar sunulmakta; motorik özellikler, enerji sistemleri, kinematik yaklaşımlar ve branşa özgü performans testleri ele alınmaktadır.

4.1. Taekwondo

Bu bölümde taekwondo branşının tanımı, tarihçesi ve temel yapısı, taekwondo branşının müsabaka formatı ve kuralları, taekwondo branşının kategorilendirilmesi ve puanlama sistemleri hakkında bilgi verilmektedir.

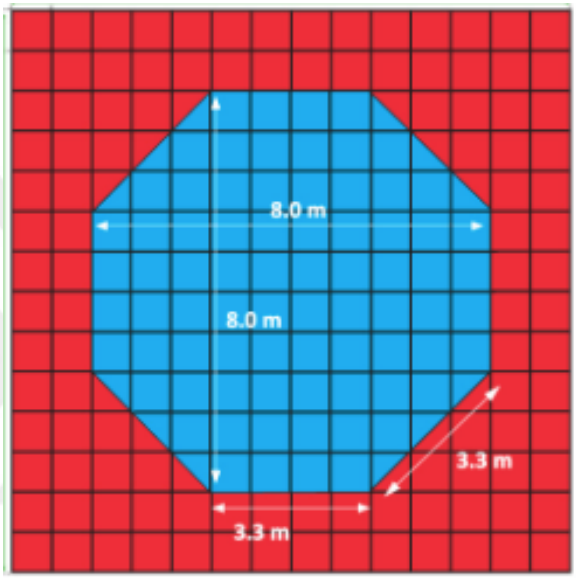
4.1.1. Taekwondo branşının tanımı, tarihçesi ve temel yapısı

Dövüş sporları, insanlık tarihinin en eski rekabet biçimlerinden biri olarak, zaman içinde sistematik antrenman modelleri ve sportif kurallar çerçevesinde gelişim göstermektedir. Bu disiplinlerden biri olan taekwondo, bireyler arası doğrudan fiziksel mücadeleye dayalı olup; yüksek yoğunluklu efor, çeviklik, kuvvet ve psikolojik dayanıklılık gibi çok yönlü performans bileşenlerini içermektedir (Chaabene ve ark., 2018a). Taekwondo, kökeni Kore'ye dayanan bir dövüş sanatı olarak ortaya çıkmış olsa da; zamanla hem teknik ve taktik açıdan hem de organizasyonel olarak gelişerek, 2000 Sydney Olimpiyatları itibarıyla resmi olarak olimpik bir spor branşı statüsü kazanmaktadır (Chaabene ve ark., 2018a; Sousa ve ark., 2024). Günümüzde Dünya Taekwondo Federasyonu (World Taekwondo) çatısı altında 210'dan fazla ülkede icra edilen taekwondo, yalnızca fiziksel gelişimi değil, aynı zamanda zihinsel disiplini de destekleyen bütüncül bir spor yapısına sahiptir (Sousa ve ark., 2024).

Taekwondo terimi, Korece kökenli üç kelimenin birleşiminden meydana gelmektedir: "Tae" (ayakla vurmak), "Kwon" (elle vurmak) ve "Do" (yol, disiplin). Günümüzde uygulanan resmi Taekwondo müsabakaları iki ana kategoriye ayrılmaktadır: "Kyorugi" (dövüş) ve "Poomsae" (hareket serisi). Kyorugi müsabakaları genellikle 8x8 metrelik tatami zeminli bir alan içerisinde gerçekleştirilmekte olup, üç raunt üzerinden tamamlanmaktadır; her raunt iki dakika sürerken aralarda bir dakikalık dinlenme süresi verilmektedir. İki raundu kazanan taraf, galip ilan edilmektedir. Sporcular; gövdeye tekme ve yumruklarla, kafaya sadece tekme ile puan toplamaktadır. Ceza sayısı beşi geçtiğinde, diğer sporcu ilgili raundu kazanan taraf ilan edilmektedir (World Taekwondo, 2022; Sousa ve ark., 2024).

4.1.2. Taekwondo branşının müsabaka formatı ve kuralları

Taekwondo müsabakaları, 8x8 metrelik (Şekil 1) tatami döşeli altıgen alan içerisinde gerçekleştirilmektedir. Üç raunt üzerinden gerçekleştirilen müsabakalarda, sporcular her rauntta en yüksek puanı toplayarak galip gelmeyi hedeflemektedir. Ayrıca rakibin 5 kez ceza alması durumunda, diğer sporcu raundu kazanmaktadır. İki raundu kazanan taraf maçın galibi ilan edilmektedir. Rauntlar iki dakikadan oluşmakta ve aralarında bir dakikalık dinlenme süresi yer almaktadır (World Taekwondo, 2022).



Şekil 1. Taekwondo müsabaka alanı (T.C. Millî Eğitim Bakanlığı, 2024'ten uyarlanmıştır)

Sporcular, temel olarak şu tekniklerle puan elde etmektedirler:

- Gövdeye tekme: Gövdeye yapılan düz vuruşlar (bandal-chagi/roundhouse kick ve yeop chagi) 2 puan, dönüşlü vuruşlar (dwit chagi) ise 4 puan değerindedir.
- Kafaya tekme: Kafaya yapılan düz vuruşlar (dollyeo chagi ve naeryeo chagi) 3 puan, dönüşlü vuruşlar (bandae dollyeo chagi) ise 5 puan değerindedir.
- Yumruk vuruşu: Gövde bölgesine yapılan yumruklar 1 puan değerindedir (World Taekwondo, 2022).

Taekwondoda ceza gerektiren durumlar şunlardan oluşmaktadır:

- Sınır çizgisini geçmek
- Yere düşmek
- Maçı oyalamak
- Rakibi tutmak veya itmek
- Düşen rakibe vurmak

- Diz ile vurmak
- Belden aşağı tekme atmak
- Yüze yumruk atmak
- Göğüs göğüse sarılıp pozisyonda iken (klinç) ayağın altı veya yanıyla vuruş yapmak
- Klinç pozisyonunda iken kaskın arkasına vuruş yapmak
- Hakemin komut ve kararına uymamak
- Sporcu veya antrenörün uygunsuz davranışları ve benzeri durumlar (World Taekwondo, 2022).

4.1.3. Taekwondo branşının kategorilendirilmesi ve puanlama sistemleri

Taekwondo'nun organizasyonel yapısında, sporcular yaş gruplarına (minik, yıldız, genç, ümit, büyük) ve cinsiyete göre farklı sıklet kategorilerine ayrılmaktadır. Ayrıca olimpik formatta yarışan büyükler kategorisindeki sporcular için belirlenen elektronik gövde darbe eşikleri kullanılmaktadır (Tablo 1 ve 2). Bu sistem, her sıkletin elektronik puanlama sistemine göre farklı şiddette darbe eşiğiyle puan alabilmesini sağlamakta ve sporcunun fiziksel yapısına uygun ölçütler dâhilinde yarışmasına olanak tanımaktadır (World Taekwondo, 2022). Bu farklılıklar, teknik etkinliğin değerlendirilmesini daha adil ve güvenli hale getirirken, aynı zamanda sporcuların darbe üretme kapasitesinin de nesnel olarak ölçülmesine katkı sunmaktadır (Tornello ve ark., 2014).

Tablo 1. Erkekler dünya taekwondo müsabaka sıkletleri elektronik darbe eşikleri

Kategori	Gövde eşiği (Bar)*	Safeguard bedeni
54 kg	18	3
58 kg	19	3
63 kg	20	3
68 kg	21	4
74 kg	22	4
80 kg	23	4
87 kg	25	5
+87 kg	27	5

*1 Bar = 1,02 kg/cm^2

Tablo 2. Kadınlar dünya taekwondo müsabaka sıkletleri elektronik darbe eşikleri

Kategori	Gövde eşiği (Bar)*	Safeguard bedeni
46 kg	15	2
49 kg	16	2
53 kg	17	3
57 kg	18	3
62 kg	19	3
67 kg	20	3
73 kg	21	4
+73 kg	22	4

*1 Bar = 1,02 kg/cm^2

Sonuç olarak, taekwondo günümüzde yalnızca bir dövüş sanatı değil, aynı zamanda bilimsel temellerle geliştirilen; fizyolojik, teknik, taktik ve bilişsel unsurların bütünleşmiş biçimde işlediği bir olimpik spor disiplini olarak kabul edilmektedir. Müsabaka kurallarından enerji sistemine, teknik yapılardan sıklet sınıflarına kadar her bir unsurun sportif performansı etkilediği göz önüne alındığında, bu branşın kapsamlı analizinde multidisipliner bir yaklaşım kaçınılmaz hale gelmektedir.

4.2. Taekwondo Branşında Enerji Sistemlerinin Fizyolojik Rolü

Taekwondo, fizyolojik açıdan hem aerobik hem de anaerobik sistemleri eşzamanda kullanan, kısa süreli yüksek şiddetli patlayıcı hareketler ile düşük yoğunluklu toparlanma dönemlerinin sürekli olarak yer değiştirdiği bir spor branşıdır. Taekwondo müsabaka kuralları yalnızca sportif düzeni sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda sporcunun enerji kullanım stratejilerini de doğrudan belirlemektedir. Özellikle 2016 sonrasında gerçekleştirilen kural değişiklikleri ile birlikte pasif davranışların cezalandırılması gibi uygulamalar, sporcuların müsabaka süresince daha aktif olmalarını zorunlu hale getirmekte; bu yapısal değişiklikler sonucunda toplam fizyolojik yükün yaklaşık %3–%5 oranında arttığı belirtilmektedir (Janowski ve ark., 2020). Literatürde, taekwondo müsabakalarında enerji kullanımının büyük ölçüde anaerobik sistemlere dayandığını, ancak raunt aralarında ve düşük yoğunluklu geçişlerde aerobik sistemin kritik toparlanma işlevi gördüğü vurgulanmaktadır (Bridge ve ark., 2014; Sant'Ana ve ark., 2019). Özellikle ilk 10–15 saniyelik patlayıcı tekniklerde ATP-PCr sistemi devreye girerken, 30 saniyeye kadar süren ardışık teknik kombinasyonlarında anaerobik glikolitik sistem baskın

hale gelmektedir (Jung ve ark., 2022). Müsabaka genelinde ise aerobik sistem, toplam yüklenmenin yaklaşık üçte birini karşılamakta; böylece kalp atım hızı kontrolü, laktat tamponlanması ve oksijen taşınma kapasitesi gibi faktörlerde etkili olmaktadır (Taati ve ark., 2022).

VO_{2maks} aerobik kapasitenin değerlendirilmesinde en yaygın ve temel ölçüt olarak kabul edilmektedir. Taekwondo sporcularında da dayanıklılık düzeyi ve toparlanma kapasitesinin önemli bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Literatürde elit erkek sporcularda VO_{2maks} değerlerinin 55–65 ml/kg/dk, kadın sporcularda ise 47–58 ml/kg/dk aralığında olduğu raporlanmaktadır (Sant'Ana ve ark., 2019; Rocha ve ark., 2016a). Taekwondoya özgü aşamalı yüklenme protokolü ile elde edilen ortalama 54,3 ± 4,2 ml/kg/dk değerinin ise, kalp atım hızı defleksiyon noktası (egzersiz şiddeti arttıkça kalp atım hızının artış hızının yavaşladığı eşik nokta) ile yüksek düzeyde anlamlı bir ilişki içinde olduğu bildirilmektedir (Sant'Ana ve ark., 2019).

Rocha ve arkadaşları (2016a), spora özgü testlerle yapılan VO_{2maks} ölçümlerinde sporcuların hem performans hem de toparlanma sürelerinin değerlendirilebildiğini; ayrıca elit taekwondocuların maksimal kalp atım hızına yakın değerlere (190±8 atım/dk) ulaştığını ve bu yanıtın spora özgü testle doğrulanabildiğini ortaya koymaktadır.

Anaerobik glikolitik sistem, özellikle 10-60 saniye arası yüksek şiddetli eforlarda hızlı ATP üretimi sağlaması nedeniyle taekwondo performansı açısından kritik bir önem taşımaktadır. Bu sistemde glikoz, sitozolik glikoliz yoluyla parçalanmakta ve pirüvat oluşmaktadır. Normal aerobik koşullarda pirüvat mitokondrilere taşınarak oksidatif fosforilasyon yoluyla ATP üretiminde kullanılmaktadır. Ancak yüksek şiddetli egzersiz sırasında oksijen kullanımının sınırlı olması veya enerji ihtiyacının çok hızlı artması durumunda, pirüvat üretimi mitokondriyal oksidasyon kapasitesinin üzerine çıkmaktadır. Bu durumda sitozolik laktat dehidrojenaz (LDH) enzimi aracılığıyla pirüvat laktata indirgenmekte ve bu süreçte NAD^+ rejenerasyonu sağlanarak glikolizin sürdürülmesi mümkün kılınmaktadır (Brooks, 2020; Gastin, 2001). Oluşan laktat kan dolaşımına geçerek kan laktat düzeylerinin yükselmesiyle sonuçlanmaktadır. Kan laktat birikimi, anaerobik glikolitik sistemin aktivite düzeyinin dolaylı bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Beneke ve ark., 2011).

Anaerobik enerji sistemleri, müsabaka esnasında uygulanan hızlı ve ardışık tekme kombinasyonlarında öne çıkmaktadır. Bu yüksek şiddetli eforlar sırasında ortaya çıkan kan laktat seviyeleri, metabolik yüklenmenin bir göstergesi olarak incelenmektedir. Jung ve arkadaşlarının (2022) yaptığı çalışmada, art arda gerçekleştirilen poomsae uygulamalarının ardından kan laktat seviyelerinin 12,3 ± 1,6 mmol/l seviyelerine çıktığı ve egzersiz yoğunluğu

ile laktat seviyeleri arasında yüksek bir korelasyon bulunduğu bildirilmektedir. Aynı şekilde, Butios ve Tasika'nın (2007) müsabaka simülasyonunda, ön testte 2,1 mmol/l olan laktat seviyesinin maç sonunda 11,3 mmol/l'ye ulaştığı tespit edilmiş olup, bu da anaerobik glikolitik sistemin müsabaka içi katkısını açıkça ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, müsabaka sırasında kalp atım hızının çoğu zaman maksimum kalp atım hızının %90'ının üzerinde seyretmesi ve laktat değerlerinin sıklıkla 10–13 mmol/l bandına ulaşması, taekwondoda anaerobik yüklenmenin baskınlığını destekleyen temel göstergeler arasında değerlendirilmektedir (Franchini ve ark., 2014).

Enerji sistemlerinin katkısına yönelik yapılan modellemelerde, taekwondo müsabaka simülasyonu sırasında aerobik sistemin baskın kaynak olduğu (%66±6); ATP-PCr sisteminin özellikle yüksek şiddetli atak eylemlerinde birincil anaerobik kaynak konumunda olduğu (%30±6); glikolitik sistemin ise teknik kombinasyonların sürdürülmesinde destekleyici bir rol üstlendiği (%4±2) rapor edilmektedir (Campos ve ark., 2012). Bu bulgular, taekwondo performansının çoklu enerji sistemlerinin senkronize çalışmasına dayandığını yansıtmaktadır. Kalp atım hızı da bu sistemlerin aktivasyon düzeylerinin bir göstergesi niteliğinde değerlendirilmektedir. Taati ve arkadaşları (2022), taekwondo özel testleri sırasında sporcuların kalp atım hızı değerlerinin maksimum kalp atım hızlarının %90'ını aştığını ve bu değerlerin hem aerobik hem de anaerobik sistemlerin aynı anda yüksek düzeyde çalıştığını gösterdiğini belirtmektedir. Bununla birlikte taekwondo; hız, çeviklik, denge, zamanlama, reaksiyon ve taktiksel karar alma gibi motorik ve bilişsel bileşenleri birlikte gerektirdiğinden, enerji sistemi kullanım profili yalnızca metabolik taleplerle değil aynı zamanda teknik-taktik davranış örüntüsüyle de şekillenmektedir. Özellikle genç ve yetişkin sporcular arasında enerji sistemi kullanımında farklılıklar olabildiği; genç sporcuların anaerobik sistemler yerine aerobik yolaklara görece daha fazla yöneldiği ifade edilmektedir (da Silva Santos ve ark., 2020).

4.3. Taekwondo Branşında Motorik Özelliklerin Performansa Etkileri

Taekwondo, çok yönlü fiziksel ve fizyolojik talepleri olan, yüksek hızda karar verme, teknik uygulama ve sürekli pozisyon değiştirmeyi gerektiren bir dövüş sporudur. Bu yapısı itibarıyla taekwondo performansı, temel motorik özelliklerin gelişmiş düzeyde olmasını gerektirmektedir. Sporcuların başarı düzeyleri; kuvvet, sürat, dayanıklılık, esneklik ve koordinasyon gibi motorik niteliklerin bütünsel entegrasyonu ile şekillenmektedir. Bu özellikler sadece fiziksel performansı artırmakla kalmayıp, aynı zamanda tekniklerin daha etkili uygulanmasını, sakatlanma risklerinin azalmasını ve sporcunun taktik kararları daha hızlı ve doğru biçimde uygulayabilmesine olanak tanımaktadır (Bridge ve ark., 2014; Slimani ve ark.,

2016; Chaabene ve ark., 2018). Literatür; elit taekwondocuların bu motorik bileşenlerde yüksek değerlere sahip olduğunu ve bu yetilerin sporcunun kategorisi, cinsiyeti ve deneyim düzeyi gibi faktörlerle de ilişkili olduğunu belirtmektedir (Chaabene ve ark., 2018). Bu nedenle, motorik özelliklerin doğru analizi ve hedefe yönelik geliştirilmesi, performans optimizasyonunun temel bileşenlerinden birini oluşturmaktadır.

4.3.1. Taekwondo branşında kuvvet gelişiminin performansa etkisi

Taekwondoda kuvvet, sporcunun teknik etkinliğini ve genel performansını belirleyen temel fiziksel bileşenlerden birini oluşturmaktadır. Müsabaka sırasında gerçekleştirilen; yüksek hızlı tekmeler, ani yön değişimleri ve savunma manevraları üst düzey kuvvet gerektiren hareketler arasında yer almaktadır. Kuvvetin geliştirilmesi, yalnızca fiziksel uygunluğu artırmakla kalmayıp, aynı zamanda sporcunun teknik becerilerini daha etkili bir şekilde uygulamasına da katkı sunmaktadır (Turner, 2009). Taekwondoda kuvvetin çeşitli formları bulunmakta ve her biri, farklı hareket dinamikleri açısından kritik bir önem taşımaktadır.

Kuvvet, genel olarak bir kasın veya kas grubunun belirli bir dirence karşı oluşturduğu maksimum gerilim olarak tanımlanmaktadır. Taekwondoda kuvvet üç ana başlık altında incelenmektedir: Maksimal kuvvet, dinamik kuvvet ve patlayıcı kuvvet. Maksimal kuvvet, bir hareket sırasında üretilebilecek en yüksek kuvvet seviyesini ifade ederken, dinamik kuvvet sürekli değişen hız ve direnç altında sürdürülebilir kuvvet üretimi ile ilişkilendirilmektedir. Patlayıcı kuvvet ise kısa sürede maksimum kuvvet oluşturma kapasitesi olarak tanımlanmakta ve özellikle hızlı tekme tekniklerinin etkinliğinde belirleyici olmaktadır (Bridge ve ark., 2014). Bu kuvvet türlerinin gelişimi, yalnızca güçlü ve hızlı tekmelerin başarısını değil, aynı zamanda rakibin hamlelerine karşı koyma becerisini de artırmaktadır (Fong ve Ng, 2011).

Kuvveti belirleyen faktörler fizyolojik, teknik ve antrenman bileşenleri olarak sınıflandırılmaktadır. Fizyolojik açıdan bakıldığında, kas lifi kompozisyonu taekwondo sporcularının performansında kritik bir etki oluşturmaktadır. Özellikle hızlı kasılan tip II kas liflerinin gelişimi, yüksek hız ve patlayıcı kuvvet gerektiren tekmeler için avantaj sağlamaktadır (Chiodo ve ark., 2012). Bununla birlikte, güçlü bacak kasları ve kas dayanıklılığı, yüksek etkili tekmelerin daha verimli üretilmesini desteklemektedir (Harbili ve ark., 2022). Teknik açıdan ise tekme ve yumruk kuvveti, hareketlerin doğru uygulanmasıyla doğrudan ilişkilidir. Denge ve çekirdek kas kuvveti ise sporcunun istikrarını artırarak teknik etkinliği güçlendirmektedir (Ju-sik, 2019).

Kuvvetin geliştirilmesi için uygulanan antrenman yöntemleri, taekwondo sporcularının performansını artırmada kritik rol oynamaktadır. Ağırlık antrenmanlarının, sporcuların genel

kuvvet kapasitelerini ve maksimal kuvvet düzeylerini artırdığı literatürde belirtilmektedir (Zulkarnain ve ark., 2021). Pliometrik antrenmanlar, patlayıcı kuvveti geliştirerek taekwondodaki hızlı ve güçlü hareketlerin etkinliğini artırmaktadır (Yoo ve ark., 2018). Özellikle pliometrik çalışmaların, tekme frekansı ve darbe ivmesini doğrudan iyileştirdiği; aynı zamanda tekrarlı yüksek şiddetli yüklenmelerde performansın sürdürülebilirliğini desteklediği gösterilmektedir (Slimani ve ark., 2016).

Vücut ağırlığına dayalı antrenmanlar, sporcunun fonksiyonel kuvvetini destekleyerek müsabaka sırasında daha kontrollü ve güçlü hareket edilmesini mümkün kılmaktadır. İzokinetik kuvvet çalışmaları ise belirli hızlarda maksimum kuvvet üretimini sağlayarak sporcunun performans kapasitesini optimize etmektedir (Harbili ve ark., 2022). Literatürde, optimal yük altında yapılan kuvvet egzersizleri ile TFHT performansı arasında anlamlı ilişkiler bulunduğu; bu durumun antrenman programı planlamasında dikkate alınması gerektiği vurgulanmaktadır (da Silva Santos ve ark., 2018). Ayrıca, kuvvet antrenmanının yalnızca maksimal çıktıyı değil; aynı zamanda yorgunluğa toleransı artırarak tekrarlı eforlar boyunca performansın korunmasına katkı sunduğu belirtilmektedir (Chaabene ve ark., 2018a).

4.3.2. Taekwondo branşında dayanıklılık kapasitesinin önemi

Taekwondo, yüksek yoğunluklu ve patlayıcı hareketler içeren bir dövüş sporu olup, sporcuların dayanıklılığı teknik performansı sürdürebilme kapasiteleri açısından kritik bir faktör olarak öne çıkmaktadır. Dayanıklılık, aerobik ve anaerobik kapasiteyi kapsayan temel bir fiziksel özellik olup, taekwondo müsabakalarında sporcunun yüksek tempolu saldırı ve savunma hareketlerini uzun süre boyunca etkin bir şekilde gerçekleştirmesini sağlamaktadır (Bridge ve ark., 2014). Bu bağlamda, dayanıklılığın geliştirilmesi, sporcuların hem antrenman süreçlerinde hem de müsabaka esnasında performans kaybı yaşamadan etkinliklerini sürdürebilmeleri açısından büyük önem taşımaktadır (Apollaro ve ark., 2022).

Dayanıklılık, genel anlamda bir sporcunun yorgunluk hissetmeden veya performans düşüşü yaşamadan belirli bir süre boyunca fiziksel aktiviteyi sürdürebilme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Taekwondo bağlamında ise bu özellik, müsabaka süresince yoğun saldırı ve savunma kombinasyonlarını etkin bir şekilde uygulayabilme yeteneği ile ilişkilendirilmektedir. Dayanıklılık, aerobik ve anaerobik olmak üzere iki temel bileşene ayrılmaktadır. Aerobik dayanıklılık, düşük-orta yoğunluklu uzun süreli performans sergileyebilme kapasitesidir ve kardiyovasküler sistemin verimliliğiyle ilişkilendirilmektedir (Fong ve Ng, 2011). Buna karşılık, anaerobik dayanıklılık, kısa süreli ve yüksek yoğunluklu hareketleri yorgunluk hissi

olmadan gerçekleştirme yeteneğini yansıtmakta ve özellikle taekwondoda patlayıcı tekme ve yumruk hareketleri için kritik bir öneme sahip olmaktadır (Mischenko ve ark., 2021).

Taekwondoda dayanıklılığı artıran çeşitli fizyolojik ve antrenman faktörleri bulunmaktadır. Fizyolojik açıdan bakıldığında, kas dayanıklılığı ve kardiyovasküler kapasite, sporcuların müsabaka süresince etkin kalabilmelerini sağlayan temel unsurları oluşturmaktadır. Özellikle alt ve üst vücut kaslarının dayanıklılığı, taekwondo tekniklerinin etkin bir şekilde uygulanabilmesi için büyük önem taşımaktadır (Nam ve Lim, 2019). Kardiyovasküler dayanıklılığın yüksek olması ise, sporcuların müsabaka sırasında oksijen kullanım kapasitesini artırarak uzun süreli performans sergilemelerine olanak tanımaktadır (Kim ve ark., 2011a). Antrenman faktörleri açısından değerlendirildiğinde ise, yüksek yoğunluklu aralıklı antrenman (HIIT) ve spora özgü dayanıklılık testleri, sporcuların dayanıklılık seviyelerini artırmada etkili yöntemler olarak öne çıkmaktadır. Özellikle Tabata protokolü gibi yüksek yoğunluklu aralıklı antrenman yöntemlerinin taekwondo sporcularının dayanıklılığını artırmada faydalı olduğu belirtilmektedir (Mischenko ve ark., 2021).

Dayanıklılığı artırmak için geliştirilen antrenman protokolleri arasında core antrenmanları, dijital antrenman araçları ve müsabaka dönemine yönelik özel çalışmalar yer almaktadır. Core kaslarının güçlendirilmesi, sporcunun vücut dengesini ve dayanıklılığını artırırken, yapılan çalışmalar 8 haftalık core antrenman programlarının taekwondo sporcularının aerobik dayanıklılığı üzerinde olumlu etkileri olduğunu ortaya koymaktadır (Demir ve Serin, 2023). Ayrıca, modern teknolojilerle geliştirilen sensörlü antrenman cihazları, sporcuların reaksiyon hızlarını ve dayanıklılık seviyelerini artırmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Swandana ve ark., 2021). Bununla birlikte, müsabaka dönemi boyunca optimum dayanıklılığın korunabilmesi için antrenman programlarının dikkatle planlanması ve sporcuların aşırı yorgunluk yaşamadan performanslarını sürdürebilmeleri için uygun dinlenme protokollerinin uygulanması gerekmektedir (Tirtawirya ve ark., 2017).

4.3.3. Taekwondo branşında süratin performansa katkısı

Taekwondo, hızın ve patlayıcı gücün etkin olduğu dinamik bir dövüş sporudur. Bir taekwondo sporcusunun başarısı; yalnızca teknik yetkinliğine değil, aynı zamanda tekme ve yumruk hızına, reaksiyon süresine ve çevikliğe de bağlanmaktadır (Pieter ve Pieter, 1995). Sürat, taekwondoda hem saldırı hem de savunma stratejileri açısından belirleyici bir faktördür; bir sporcunun rakibine karşı üstünlük kurabilmesi için hareketlerini en kısa sürede gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, süratin geliştirilmesi, antrenman süreçlerinde büyük bir önem taşımaktadır.

Taekwondoda sürat, branşa özgü performansı belirleyen çok boyutlu bir yapı olarak ele alınmalıdır. Bu kapsamda sürat; (i) teknik icra hızı (tekme/yumruk hızının yanı sıra kısa süreli tekrarlı uygulamalarda teknik frekansın sürdürülebilmesi), (ii) algısal-bilişsel tepki/karar verme hızı (rakibin atağına uygun zamanda yanıt verebilme) ve (iii) çeviklik–yön değiştirme hızı (mesafe ayarlama, giriş-çıkış ve hızlı pozisyonlanma) bileşenlerinin etkileşimiyle açıklanmaktadır (Akhmad ve ark., 2021; Aloui ve ark., 2022; Ölmez ve Yüksek, 2023). Nitekim taekwondoda başarılı atakların oluşmasında yalnızca tekniğin hızlı uygulanması değil, aynı zamanda dış uyaranlara (rakip hareketi/sinyal) hızlı reaksiyon verilmesi ve bu reaksiyonun kısa sürede etkili bir tekniğe dönüştürülmesi kritik görülmektedir (Hermann ve ark., 2008; Vieten ve ark., 2007). Bu nedenle sürat, taekwondoda yalnızca "genel motor hız" olarak değil; müsabaka bağlamında reaksiyon + teknik hız + çeviklik bileşenlerinin bütünleşik performans çıktısı şeklinde değerlendirilmelidir (Aloui ve ark., 2022; Pieter ve Pieter, 1995).

Sürati etkileyen fizyolojik faktörler arasında kas lifi tipi, sinir-kas koordinasyonu ve patlayıcı kuvvet yer almaktadır (da Silva Santos ve Franchini, 2018). Hızlı kasılan tip II kas lifleri, ani ve güçlü hareketler için kritik öneme sahiptir. Sinir-kas koordinasyonu ise, beyin ve kaslar arasındaki iletişimin hızını tanımlamakta ve sporcuların daha çabuk tepki vermesini desteklemektedir (Arabacı ve ark., 2010).

Sürati artırmak için farklı antrenman yöntemleri kullanılmaktadır. Hız ve çeviklik antrenmanları (Speed, Agility, Quickness - SAQ), genç taekwondo sporcularında tekme hızını ve genel hareket verimliliğini artırmak için kullanılan etkili yöntemlerden birini oluşturmaktadır (Akhmad ve ark., 2021). Ayrıca, özel hız testleri kullanılarak sporcuların hız gelişimi objektif olarak değerlendirilmektedir (Ölmez ve Yüksek, 2023). Bunun yanı sıra, pliometrik antrenmanlar ve patlayıcı kuvvet çalışmaları, sporcuların hareket hızını artırmada etkili olmaktadır (Zulkarnain ve ark., 2021).

Taekwondo sporcularının hızlarını artırmak için kullanılan testler arasında Tekme Frekans Hız Testi (Frequency Speed of Kick Test - TFHT) öne çıkmaktadır. Bu test, sporcuların tekme hızlarını objektif olarak ölçerek, gelişimlerini takip edilmesine olanak tanımaktadır (Ferreira da Silva Santos ve ark., 2019). Bunun yanı sıra, özel antrenman protokollerinin geliştirilmesiyle, sporcuların hareket hızlarını artırmak ve tepki sürelerini kısaltmak mümkün hale gelmektedir (Aloui ve ark., 2022).

4.3.4. Taekwondo performansında esnekliğin önemi

Taekwondo, yüksek düzeyde esneklik gerektiren bir dövüş sanatı olup, tekniklerin doğru uygulanması, sakatlanmaların önlenmesi ve performansın optimize edilmesi açısından önemli

bir fiziksel bileşen olarak kabul edilmektedir (Yılmaz, 2021). Esneklik, bir eklemin veya kas grubunun tam hareket aralığında çalışabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Taekwondo sporcuları için özellikle yüksek tekmeler ve hızlı manevraların başarısı açısından kritik bir faktör olarak öne çıkmaktadır (Paramitha ve ark., 2020). Bu bağlamda, esnekliği geliştiren antrenmanların uygulanması, sporcuların hem performansını artırmakta hem de sakatlanma risklerini minimize etmektedir (Behm ve Haddad, 2015).

Esneklik düzeyi, çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Yaş, cinsiyet, kas sıcaklığı, kas uzunluğu ve antrenman türü gibi değişkenler, bireyin esneklik kapasitesini belirleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Özellikle dinamik esneme tekniklerinin, statik esneme tekniklerine kıyasla daha fazla fayda sağladığı belirtilmekte ve bu yöntemlerin taekwondo sporcularının performansını artırmada daha etkili olduğu vurgulanmaktadır (Bridge ve ark., 2014). Araştırmalar, düzenli olarak uygulanan esneklik antrenmanlarının, vuruş hassasiyeti ve genel atletik performans üzerinde olumlu etkileri olduğunu ortaya koymaktadır (Kim ve ark., 2011a). Örneğin, 12 haftalık taekwondo antrenman programının kas gücünü ve esnekliği önemli ölçüde artırdığı tespit edilmektedir (Chen ve ark., 2021). Bunun yanı sıra, esnekliği artırmaya yönelik programların, sporcuların kas-iskelet sistemi üzerindeki baskıyı azaltarak sakatlanma risklerini düşürdüğü rapor edilmektedir (Aksoy, 2019).

Taekwondo sporcularının esneklik düzeylerini belirlemek amacıyla çeşitli testler uygulanmaktadır. Bunlar arasında yaygın olarak kullanılan otur-eriş testi, pasif bacak kaldırma ve aktif hareket açıklığı ölçümleri bulunmaktadır (Avramov, 2024). Son yıllarda yapılan çalışma, taekwondo sporcularına özgü tekme esneklik testlerinin geliştirildiğini ve bu testlerin sporcuların performans ölçümünde daha doğru sonuçlar sağladığını ortaya koymaktadır (Tirtawirya ve Sudarko, 2024).

4.3.5. Taekwondo performansında koordinasyonun yapısal ve işlevsel rolü

Taekwondo, yüksek teknik beceri ve fiziksel yeterlilik gerektiren bir dövüş sporudur. Sporcuların etkili bir şekilde saldırı ve savunma yapabilmesi için fiziksel koordinasyonlarının üst düzeyde olması gerekmektedir (Kim ve ark., 2011b). Koordinasyon, vücudun farklı bölümlerinin belirli bir hareketi gerçekleştirmek üzere zamanlama ve kuvvet üretimi açısından uyum içinde organize edilmesini ifade etmektedir. Motor kontrol literatüründe koordinasyon, çok sayıdaki serbestlik derecesinin (eklem, segment ve kas aktivitesi gibi) görev gereksinimlerine göre etkin biçimde düzenlenmesi ve yönetilmesi problemi olarak ele alınmaktadır (Turvey, 1990; Diedrichsen, Shadmehr ve Ivry, 2010). Taekwondoda ise özellikle tekme teknikleri gibi yüksek hızda çok eklemli hareketlerde kalça, diz ve ayak bileği eklemleri

arasındaki eklemler arası koordinasyonun ve segmentler arası zamanlamanın, sürat ve teknik etkinliği belirleyen temel bir mekanizma olduğu vurgulanmaktadır (Straiotto ve ark., 2021; Aybüke Yılmaz ve Ateş, 2025).

Taekwondoda koordinasyonun gelişimi hem çocuk sporcularda hem de ileri seviye atletlerde önemli bir faktörü oluşturmaktadır. Çocuklarda motor koordinasyon yeteneklerinin gelişimi, antrenman düzeyine ve yaş faktörüne bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Boutios ve ark., 2021). Çalışmalar, motor koordinasyonun genç yaşlardan itibaren gelişiminin taekwondo performansında belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle reaksiyon süresi, denge ve vücut kontrolü, sporcuların teknik becerilerini geliştirmelerinde etkili faktörler arasında yer almaktadır (Lyuchkova ve ark., 2022).

Koordinasyon, yalnızca teknik hareketlerin doğru bir şekilde uygulanmasını sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda sporcuların sakatlık riskini azaltmalarına da katkı sunmaktadır. Özellikle, eklemler arası uyum, yüksek hızda yapılan tekmelerin ve yön değişimlerinin etkinliğini artırmaktadır (Kim ve ark., 2011b). Yapılan araştırmalar, taekwondo antrenmanlarının denge ve koordinasyonu artırmada etkili olduğunu ve düzenli antrenman yapan sporcuların vücut kontrolünü daha iyi sağladığını göstermektedir (Fong ve ark., 2013).

Taekwondo antrenmanları sırasında uygulanan koordinasyon temelli egzersizlerin, sporcuların çeviklik ve denge yeteneklerini geliştirdiği tespit edilmektedir (Casolino ve ark., 2012). Bu egzersizler, sporcuların değişen müsabaka koşullarına hızlı uyum sağlamasına olanak tanımakta ve hareket kombinasyonlarını daha etkin gerçekleştirmelerine yardımcı olmaktadır. Özellikle 12 haftalık temel taekwondo antrenmanlarının, çocuk sporcuların denge, çeviklik ve vücut koordinasyonu üzerinde önemli olumlu etkileri olduğu belirlenmektedir (Top ve ark., 2018).

Koordinasyon yeteneğini geliştirmek için kullanılan antrenman yöntemleri arasında proprioseptif antrenmanlar, denge tahtası çalışmaları ve hızlı yön değiştirme egzersizleri bulunmaktadır (Ma ve ark., 2018). Ayrıca, segmentler arası koordinasyon analizi kullanılarak yapılan çalışmalar, sporcuların farklı duruş pozisyonlarında koordinasyon değişimlerini incelemekte ve antrenman programlarının bireyselleştirilmesine imkan tanımaktadır (Estevan ve ark., 2015).

4.4. Taekwondo Tekniklerinin Kinematik Analizi

Taekwondo, dinamik hareketler ve yüksek hız gerektiren bir dövüş sporudur. Sporcuların tekniklerini daha etkili uygulayabilmesi için hareket mekaniklerinin bilimsel olarak incelenmesi büyük önem taşımaktadır. Kinematik, hareketi “neden”lerinden (kuvvet-moment)

bağımsız olarak hareketin uzay-zaman özellikleri üzerinden tanımlanmaktadır. Bu kapsamda eklem açıları (açısal yer değiştirme), açısal hız ve ivmeler, segment hızları, zamanlama (faz süreleri), temas süresi ve proksimalden distale hız aktarım örüntüsü gibi bileşenler temel inceleme alanlarıdır (Aybüke Yılmaz ve Ateş, 2025; Diniz ve ark., 2021). Taekwondoda özellikle tekme tekniklerinde performansın belirleyicilerinden biri, vücut segmentleri arasındaki koordinasyonun doğru zamanlamayla organize edilmesi ve distal segment hızının (özellikle ayak/ayak bileği) efektif biçimde yükseltilebilmesidir (Aybüke Yılmaz ve Ateş, 2025).

Taekwondoda yaygın kullanılan tekmelerin (palding/bandal-chagi, yeop chagi, naeryeo chagi) uygulanışı sırasında kalça–diz–ayak bileği eklemlerinin ardışık ve senkronize çalışması, tekme hızını ve etkinliğini doğrudan etkileyen bir kinematik mekanizma olarak değerlendirilmektedir (Kim ve ark., 2011; Aybüke Yılmaz ve Ateş, 2025). Nitekim kinematik araştırmalar, tekme performansında proksimalden distale sıralama (kalça ve gövde ile başlayan, uyluk–bacak–ayak segmentlerine aktarılan hız/enerji aktarımı) ve eklemler arası koordinasyonun kritik olduğunu; bu örüntü bozulduğunda hızın ve hareket ekonomisinin olumsuz etkilendiğini göstermektedir (Kim ve ark., 2011b; Hidayat ve ark., 2025).

Üç boyutlu hareket yakalama sistemleri (3B motion capture), yüksek hızlı kamera analizleri ve atalet ölçüm birimleri (IMU) gibi yöntemler, taekwondo tekniklerinin detaylı kinematik profilini ortaya koymada yaygın olarak kullanılmaktadır (Aybüke Yılmaz ve Ateş, 2025). Bu sistemlerle eklem açılarının zamana bağlı değişimi, segmentlerin tepe hızları, tekme süresi ve temas süresi gibi çıktılar nicel olarak izlenebilmektedir. Böylece teknik öğretiminde "hangi fazda hangi segmentin geciktiği/hız kaybettiği" gibi antrenöre doğrudan uygulanabilir geri bildirim üretilebilmektedir (Aybüke Yılmaz ve Ateş, 2025).

Özellikle yeop chagi (yan tekme) üzerine yapılan çalışmalar, deneyim düzeyinin kinematik verimlilik üzerinde belirgin etkileri olabileceğini göstermektedir. Üniversite düzeyinde taekwondocularda yapılan bir çalışmada, deneyimli grubun yeop chagi icrasında hareket verimliliği ve segmentler arası koordinasyon açısından daha avantajlı bir kinematik örüntü sergilediği; bu durumun proksimalden distale dizilim ve zamanlama farklılıklarıyla ilişkili olabileceği rapor edilmektedir (Hidayat ve ark., 2025). Benzer şekilde, yeop chagi tekniğinde seçili kinematik parametrelerin (tekme süresi, segment hızları ve eklem açıları) tekmenin uygulanış kalitesi ve etkinliğiyle ilişkili olduğu; bu nedenle tekniğin değerlendirilmesinde yalnızca "sonuç" değil, hareketin kinematik organizasyonunun da dikkate alınması gerektiği belirtilmektedir (Wasik, 2011).

Taekwondo tekmelerini merkeze alan güncel bir sistematik derlemede ise, literatürde en sık incelenen temaların dollyo/bandal-chagi ve yeop chagi gibi tekmeler olduğu; performansı en tutarlı biçimde açıklayan değişkenler arasında distal segment hızı (kinematik) ile kalça eklem torku ve yer tepki kuvvetleri (kinetik) gibi belirleyicilerin öne çıktığı vurgulanmaktadır (Aybüke Yılmaz ve Ateş, 2025). Bu bulgular, taekwondoda kinematik analizlerin yalnızca teknik optimizasyon için değil, aynı zamanda performansın mekanik belirleyicilerini netleştirerek antrenman içeriğini hedefe yönelik düzenlemek için de önemli bir çerçeve sunduğunu göstermektedir (Aybüke Yılmaz ve Ateş, 2025).

4.5. Taekwondo Branşına Özgü Performans Testleri

Spor performansı, sporcunun yalnızca fiziksel uygunluğunu değil, aynı zamanda spora özgü teknik ve taktik gereklilikler doğrultusunda ortaya koyduğu yeteneklerini de içeren çok boyutlu bir kavramdır. Bu çok boyutluluk, performans değerlendirmelerinin yalnızca genel fiziksel testlerle sınırlı kalamayacağını ve sporun doğasına uygun özgül test protokollerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Taekwondo gibi patlayıcı güç, hız, çeviklik ve dayanıklılığı aynı anda talep eden bir branşta, sporcuların bu yetilerini ölçen spora özgü performans testleri hem bilimsel araştırmalarda hem de saha uygulamalarında giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Chaabene ve ark., 2018a). Bu testler, sporcunun müsabaka benzeri koşullarda nasıl performans sergilediğine dair bilgi sunmakta, klasik laboratuvar testlerinin yetersiz kaldığı bağlamsal geçerlilik sorununu aşmak için alternatif oluşturmaktadır (Apollaro ve ark., 2024).

Taekwondo'nun aralıklı (intermittent) yapısı, enerji sistemlerinin karmaşık kullanımını gerektirmektedir. Bu sebeple, performans değerlendirmeleri hem anaerobik hem de aerobik sistemleri kapsayacak biçimde yapılandırılmalıdır. Araştırmalar, spora özgü testlerin enerji sistemlerinin katkısını daha iyi simüle ettiğini, aynı zamanda antrenmana bağlı gelişmeleri hassas biçimde izleyebildiğini ortaya koymaktadır (Sant'Ana ve ark., 2019; Tayech ve ark., 2020). Ayrıca, bu testlerin güvenilirlik (test-tekrar test tutarlılığı), geçerlilik (testin ölçmeyi amaçladığı özelliği yansıtma düzeyi) ve duyarlılık (küçük değişimleri saptayabilmesi) gibi bilimsel kriterleri karşılaması, antrenman programlarının daha doğru planlanmasına imkan tanımaktadır (Rocha ve ark., 2016a; Rocha ve ark., 2016b; Tayech ve ark., 2022). Spora özgü testler yalnızca fiziksel parametreleri değil; aynı zamanda teknik uygulamaların doğruluğunu ve tekrarlayan eforlara toleransı da ölçerek, sporcunun branşa özgü kapasitesine dair kapsamlı veriler sağlamaktadır.

Bu kapsamda; güncel literatürde taekwondoya özgü testlerin kullanımı yalnızca akademik araştırmalarda değil, aynı zamanda üst düzey performans sporcularının antrenman takibinde de

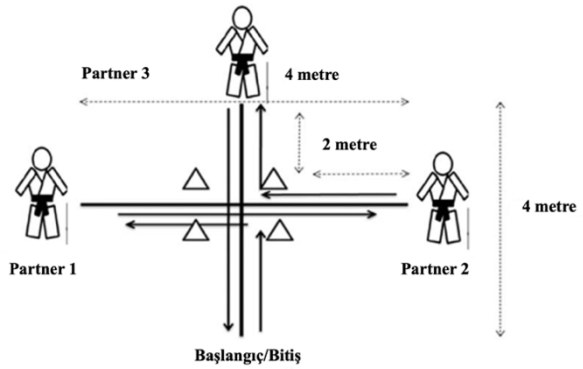
kritik bir öneme sahip olmaktadır. Testlerin uygulanabilirliği, maliyeti, değerlendirme süresi ve ekipman gereksinimleri gibi pratik faktörler de göz önünde bulundurularak tercih edilmesi, sporcunun gelişimini en doğru şekilde izleme olanağı sunmaktadır. Spora özgü testler sayesinde spor bilimciler; yalnızca mevcut durumu değil, aynı zamanda ilerlemeyi ve gerilemeyi de nesnel biçimde tespit edebilmektedir (Bridge ve ark., 2014; Apollaro ve ark., 2022).

Taekwondo'da kullanılan performans testleri aşağıda listelenmektedir: Taekwondo özgü çeviklik testi, taekwondoya özgü performans protokolü, taekwondoya özgü anaerobik aralıklı tekme testi, taekwondoya özgü aşamalı test, taekwondoya özgü aerobik anaerobik çeviklik testi ve taekwondoya özgü tekme frekans hız testi. Bu testler, yalnızca sporcuların mevcut durumunu değerlendirmekle kalmayıp, aynı zamanda antrenman sürecindeki ilerlemeyi ve etkileri izlemeye yarayacak şekilde uygulanabilmektedir. Antrenörler veya güç ve kondisyon uzmanları bu testleri kullanarak antrenman programlarını hedefe uygun bir şekilde ayarlayabilmektedir (Apollaro ve ark., 2024).

4.5.1. Taekwondoya özgü çeviklik testi

TÖÇT'nin ekolojik geçerliliği, ilgili literatür temelinde değerlendirilmekte ve taekwondo müsabakalarında en yaygın kullanılan teknik beceriler göz önünde bulundurularak tasarlanmaktadır. Test, taekwondo müsabakalarının gerçekleştirildiği 8x8 metrelik alan dikkate alınarak 4x4 metrelik bir alanda uygulanmakta; benzer teknik beceri düzeyine ve boya sahip üç partner ile gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, sporcuların hedeflere yönelik teknik uygulama etkinliği de değerlendirme sürecine dahil edilmektedir (Chaabene ve ark., 2018b).

TÖÇT'nin kriter geçerliliği, performansının altın standart olarak kabul edilen T-Test ile karşılaştırılması yoluyla incelenmektedir. Bununla birlikte, TÖÇT'nin ayırt edicilik kapasitesi; uluslararası ve ulusal düzeydeki taekwondo şampiyonalarında madalya kazanan sporcuların performansları üzerinden analiz edilmektedir. Bu kapsamda yapılan değerlendirmeler sonucunda, TÖÇT'nin diskriminant geçerliliği 0,94 olarak belirlenmektedir. (Chaabene ve ark., 2018b).



Şekil 2. Taekwondoya özgü çeviklik testi (Chaabene ve ark., 2018b'den uyarlanmıştır)

Test Prosedürü:

Testin başlangıcında sporcu, başlangıç/bitiş çizgisinin gerisinde steps (teknik hazırlık aşaması) pozisyonunda beklemektedir. Ardından şu adımları takip etmektedir:

- Steps pozisyonunda ayaklarını çaprazlamadan mümkün olan en hızlı şekilde merkeze ilerlemek,
- Partner 1'e steps hareketiyle yönelerek sol ayakla bandal vuruşu yapmak,
- Partner 2'ye steps hareketiyle yönelerek sağ ayakla dollyeo-chagi vuruşu yapmak,
- Steps hareketiyle merkeze geri dönmek,
- Steps pozisyonunda ileri hareket ederek partner 3'e yönelik çift bandal vuruşu yapmak,
- Steps pozisyonunda geri hareket ederek başlangıç/bitiş çizgisine dönmek (Şekil 2).

Sporcu test protokolüne uygun hareket etmezse (örneğin yer değiştirme sırasında ayaklarını çaprazlamak ya da tekme hedeflerine yeterli güçte temas edememek), deneme geçersiz sayılmakta ve sporcu üç dakikalık dinlenme süresi sonrasında testi tekrarlamaktadır. Her sporcuya üç deneme hakkı verilmekte ve en iyi performansları dikkate alınmaktadır (Chaabene ve ark., 2018b).

4.5.2. Taekwondoya özgü performans protokolü

Taekwondo, aerobik ve anaerobik enerji sistemlerinin yoğun kullanıldığı, yüksek çeviklik, hız, dayanıklılık ve teknik beceri gerektiren bir dövüş sporudur. Sporcuların performansını değerlendirmek ve antrenman süreçlerini daha verimli hale getirmek amacıyla çeşitli testler geliştirilmektedir. Bu bağlamda, taekwondo özgü performans protokolü (TÖPP); sporcuların teknik hızlarını, çevikliklerini ve genel fiziksel kapasitelerini ölçmek üzere tasarlanan, taekwondoya özgü bir değerlendirme aracı olma niteliği taşımaktadır (Ölmez ve Yüksek, 2023).

TÖPP testi, sporcuların belirlenen teknikleri belirli bir süre içinde uygulamalarını gerektirerek hem tekrarlı sprint yeteneğini hem de teknik uygulama hızını ölçmektedir.

Teknik frekans ölçümlerinde her beş saniyede bir gerçekleştirilen tekme sayısı kaydedilmekte; toplam hızlılık, maksimum hızlılık, minimum hızlılık ve ortalama hızlılık değerleri hesaplanmaktadır. Teknik hız hesaplamaları ise "hız = mesafe (ayağını bastığı yer ve vurduğu yer arasındaki mesafe) / zaman" formülü kullanılarak yapılmakta, sporcunun tekme mesafesi ile frekansı çarpılarak ortalama teknik hız belirlenmektedir (Ölmez ve Yüksek, 2023).

TÖPP testinin bilimsel geçerliliği ve güvenilirliği, 2023 yılında yapılan bir çalışmada istatistiksel analizlerle doğrulanmaktadır. Çalışma sonuçlarına göre, test-retest güvenilirlik katsayısı (ICC) 0,92 olarak hesaplanmakta ve testin oldukça yüksek güvenilirliğe sahip olduğu ortaya konulmaktadır. Standart hata ölçümü (SEM) %4,3 olarak belirlenmekte olup, bu oran test sonuçlarının düşük hata payına sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, test ile taekwondo müsabaka performansı arasındaki korelasyon katsayısının 0,88 olduğu tespit edilmekte, bu da TÖPP testinin sporcu performansını doğru bir şekilde değerlendirdiğini yansıtmaktadır (Ölmez ve Yüksek, 2023).

4.5.3. Taekwondoya özgü anaerobik aralıklı tekme testi

Taekwondo; yüksek yoğunluklu, tekrarlı ve kısa süreli saldırı-dinlenme döngülerine dayanan bir dövüş sporudur. Müsabaka sırasında sporcular, anaerobik enerji sistemlerini etkin bir şekilde kullanarak hızlı ve güçlü tekmeler gerçekleştirmek zorundadır. Bu nedenle, sporcunun anaerobik kapasitesini, teknik verimliliğini ve yorgunluk direncini değerlendiren spora özgü testler büyük önem taşımaktadır. Ancak, mevcut testlerin bazılarında zaman yapısının müsabaka temposunu tam olarak yansıtmadığı, saldırı dizisi sürelerinin gerçek maç ortalamalarından uzun olduğu ve değerlendirme sürecinde subjektif unsurların etkili olduğu gözlemlenmektedir. Bu eksiklikleri gidermek amacıyla Tayech ve arkadaşları (2018), taekwondo sporcularının anaerobik performansını daha geçerli ve güvenilir şekilde ölçmek üzere $TÖAATT_{gövde}$ ve $TÖAATT_{kafa}$ testlerini geliştirmektedir.

$TÖAATT_{gövde}$, sporcuların gövde bölgesine yönelik tekme performansını ölçmeye yönelik geliştirilen aralıklı bir anaerobik testtir. Test sırasında sporcular, elektronik gövde koruyuculu bir hedefe beş saniyelik periyotlar halinde maksimum sayıda bandal-chagi tekmesi uygulamaktadır. Her tekme seti arasında 10 saniyelik aktif dinlenme süresi bulunmakta ve bu süreç boyunca hafif tempolu sıçrama hareketleri gerçekleştirilmektedir. Beşer saniyelik altı setten oluşmaktadır ve toplamda 30 saniyelik aktif tekme süresi içermektedir (Şekil 3).

Sporcuların tekme verileri, elektronik bir sistem aracılığıyla kaydedilerek performans ölçümleri hesaplanmaktadır (Tayech ve ark., 2018).



Şekil 3. Taekwondoya özgü anaerobik aralıklı tekme testi

$TÖAATT_{gövde}$'nin değerlendirme parametreleri şunlardan oluşmaktadır:

- Tepe güç: Altı set içerisinde üretilen en yüksek güç çıkışı (W).
- Ortalama güç: Tüm setlerin ortalama güç çıkışı (W).
- Yorgunluk indeksi: (Tepe güç - minimum güç) / toplam test süresi (30 s).

$TÖAATT_{gövde}$ testine ilişkin analizler, testin anaerobik güç üretimi ve yorgunluk toleransını değerlendirmede yüksek düzeyde geçerlilik ve güvenilirlik sunduğunu göstermektedir. RAST testi ile yapılan kriter geçerliliği incelemelerinde performans parametreleri ile orta–yüksek düzeyde korelasyonlar elde edilmektedir (r=0,60–0,81). Bunun yanı sıra, test çıktılarının anaerobik metabolizmaya ilişkin fizyolojik göstergelerle de anlamlı ilişkiler sergilediği vurgulanmaktadır (KAH_{maks} r=0,55; kan laktat r=0,89; AZD r=0,78) (Tayech ve ark., 2018). Elde edilen bu ilişkiler, testin yalnızca mekanik çıktı miktarını değil, aynı zamanda metabolik yüklenmenin düzeyini de yansıtabildiğini göstermektedir.

Test tekrar edildiğinde, ölçüm sonuçları yüksek derecede tutarlı görülmekte ve güvenilirlik katsayıları (ICC) 0,68 ile 0,99 arasında değişmektedir. Ayrıca, tipik hata ölçümü (TEM) ve minimal algılanabilir değişiklik (MDC95%) değerleri, testin hem bireysel hem de grup düzeyinde duyarlılığını yansıtmaktadır.

$\underline{TÖAATT_{kafa}\ Testi}$

Taekwondoda başa yapılan tekmeler, hem skor açısından yüksek değere sahip olması hem de teknolojik gelişmelerle birlikte puanlama sisteminin elektronik kasklarla hassas hale gelmesi nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda $TÖAATT_{gövde}$, baş bölgesine yönelik olarak modifiye edilerek $TÖAATT_{kafa}$ adı verilen yeni bir test formatına dönüştürülmektedir. $TÖAATT_{kafa}$, yapısal olarak $TÖAATT_{gövde}$ ile benzerlik gösterse de, burada tekmeler elektronik baş koruyuculu bir mankene yöneltilmektedir.

$TÖAATT_{kafa}$ testinde de ICC değerleri 0,87–0,99 aralığında olup yüksek güvenilirlik sağlamaktadır. Bununla birlikte, minimal algılanabilir değişiklik (MDC95%) ve tipik hata

ölçümü (TEM) analizleri, testin duyarlılığını ve tekrar edilebilirliğini desteklemektedir (Tayech ve ark., 2022).

4.5.4. Taekwondoya özgü aşamalı testi

Taekwondo, sporcuların aerobik ve anaerobik enerji sistemlerini yüksek düzeyde kullanmasını gerektiren bir dövüş sporudur. Performansın objektif şekilde değerlendirilmesi için spora özgü testlerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Taekwondoya özgü aşamalı test (TÖAT), sporcuların maksimum aerobik kapasitesini (VO_{2maks}), kalp atış hızı defleksiyon noktasını (KAHDN) ve dayanıklılık seviyelerini değerlendirmek amacıyla tasarlanan, taekwondoya özgü bir testtir (Sant'Ana ve ark., 2019). TÖAT, özellikle bandal-chagi tekniği üzerinden ilerleyen bir test olup, sporcunun artan yoğunlukla tekme atmasını gerektirmektedir.

Tablo 3. Taekwondoya özgü aşamalı test protokolü (Sant'Ana ve ark., 2019)

Aşama	Aşama süresi	Aşama başına tekme sayısı	Tekme sıklığı (tekme/dk)
1	100	6	3,6
2	84	10	7,1
3	77,1	14	10,9
4	73,3	18	14,7
5	70,9	22	18,6
6	69,2	26	22,5
7	68	30	26,5
8	67,1	34	30,4
9	66,3	38	34,4
10	65,7	42	38,4
11	65,2	46	42,3
12	64,8	50	46,3
13	64,4	54	50,3
14	64,1	58	54,3
15	63,9	62	58,2

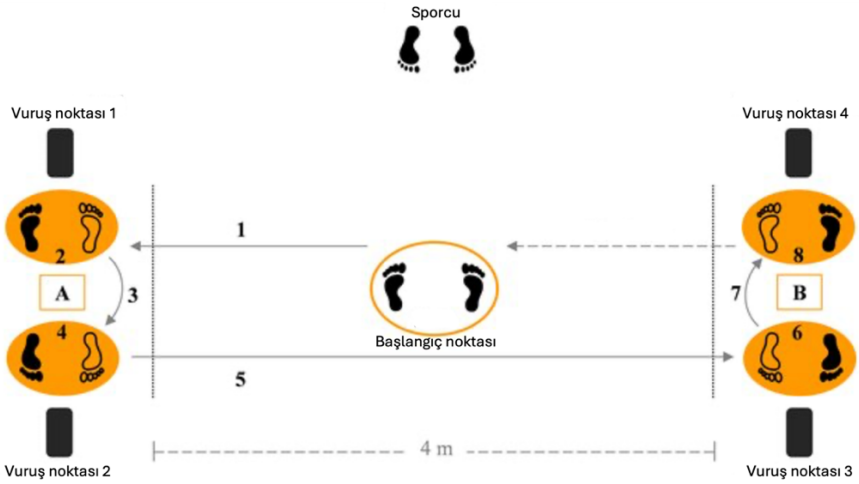
Sant'Ana ve ark. (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada TÖAT'nin VO_{2maks} ölçümündeki geçerliliği, koşu ergometresi testi ile karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Test-tekrar test

güvenilirliğinin yüksek düzeyde (ICC=0,91) olduğu rapor edilmekte; VO_{2maks} değerleri açısından TÖAT (54,3 ± 4,2 ml/kg/dk) ile ergometre testi (53,9 ± 4,5 ml/kg/dk) arasında anlamlı bir fark olmadığı belirtilmektedir (p>0,05). Bu sonuçlar, TÖAT'nin aerobik kapasiteyi değerlendirmede laboratuvar temelli ölçümlerle uyumlu sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, kalp atım hızı defleksiyon noktası açısından iki test arasında yüksek düzeyde ilişki olduğu bildirilmektedir (r=0,87).

4.5.5. Taekwondoya özgü aerobik anaerobik çeviklik testi

Taekwondo hem aerobik hem de anaerobik enerji sistemlerinin yoğun şekilde kullanıldığı, hızlı ve çevik hareketler gerektiren bir dövüş sporunu oluşturmaktadır. Müsabaka sürecinde sporcular, ani yön değişimleri, tekrarlayan yüksek şiddetli tekmeler ve dayanıklılık gerektiren uzun süreli performans sergileme zorunluluğu bulunmaktadır. Geleneksel kondisyon testleri, taekwondoya özgü hareketleri içermediği için, sporcuların gerçek performans seviyelerini tam olarak yansıtamamaktadır. Taekwondoya özgü aerobik anaerobik çeviklik testi (TÖAAÇT), taekwondo sporcularının fiziksel kapasitelerini değerlendirmek amacıyla geliştirilen, maksimum aerobik kapasite (VO_{2maks}), anaerobik güç, toparlanma süresi ve çeviklik gibi değişkenleri aynı anda ölçen özel bir test niteliği taşımaktadır. TÖAAÇT, müsabakalarda gerçekleştirilen hareketleri dikkate alarak tasarlanan aerobik güç, anaerobik uygunluk ve çeviklik bileşenlerini değerlendirmek amacıyla hazırlanan branşa özgü bir testtir (Taati ve ark., 2022).

Bu testin kullanıldığı çalışmada aerobik kapasitenin tahminine yönelik geliştirilen regresyon modelinde $KAH_{farkı}$ ve BKİ'nin VO_{2maks} varyansının yaklaşık %70'ini açıkladığı bildirilmektedir. Ölçülen ve tahmin edilen VO_{2maks} değerleri arasında ise güçlü bir ilişki bulunduğu raporlanmaktadır (r=0,84; p<0,001). Anaerobik güç parametreleri açısından Wingate ve TAAA testleri arasında yüksek düzeyde korelasyon elde edilirken (r=0,79; R^2=%62; p<0,001), çeviklik performansı ile T-Testi arasında anlamlı ve doğrusal ilişki olduğu belirtilmektedir (r=0,73; R^2=%53; p<0,001). ROC analizleri ise TÖAAÇT'nin performans düzeylerini ayırt etmede yüksek doğruluk gösterdiğini (VO_{2maks}=0,83; çeviklik=0,82) ve farklı rekabet seviyelerindeki sporcuları ayırt edebilecek geçerlilik düzeyine sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 4. Taekwondoya özgü aerobik anaerobik ve çeviklik testi (Taati ve ark., 2022'den uyarlanmıştır)

Testin başlangıcında sporcu, ayakları omuz genişliğinde açık olacak şekilde başlangıç noktasında hazır pozisyonda beklemektedir. Sesli bir komutun (düdük) verilmesiyle birlikte, A noktasına doğru sprint atarak ilerlemekte, gard pozisyonu almakta ve sağ ayağıyla belirlenen hedefe vuruş yapmaktadır. Ardından, 180 derecelik bir dönüş gerçekleştirerek diğer vuruş bölgesine geçmekte ve bu kez sol ayağıyla vuruş gerçekleştirmektedir. Bu hareketlerin tamamlanmasının ardından, sporcu dört metrelik bir mesafeyi hızla kat ederek B noktasına ulaşmakta ve burada, A noktasında gerçekleştirilen vuruşların aynısını tekrar etmektedir. Sporcu, 20 saniye boyunca A ve B noktaları arasında mümkün olduğunca fazla tekrar yapmayı hedeflemektedir. Test süresi, taekwondo müsabakalarındaki raunt ve dinlenme süreleri dikkate alınarak tasarlanmaktadır (raunt süresi: 2 dakika, dinlenme süresi: 1 dakika). Bu doğrultuda, 20 saniyelik bir uygulama süresinin ardından 10 saniyelik dinlenme arası verilmekte ve test toplamda altı turdan oluşmaktadır. Böylece testin toplam süresi iki dakika 50 saniye olarak belirlenmektedir. Test, 4x4 m alanda, katılımcıların mekik sprintleri yaparak bandal-chagi tekniğiyle tekme atmalarını içermekte ve bu teknik, müsabakalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. (Taati ve ark., 2022).

- Minimum vuruş sayısı: 20 saniyelik bir süre zarfında yapılan minimum vuruş sayısını ifade etmektedir.
- Maksimum vuruş sayısı: 20 saniyelik bir süre zarfında yapılan maksimum vuruş sayısını tanımlamaktadır.
- Ortalama vuruş sayısı: Testin sonunda elde edilen toplam tekme sayısının altıya bölünmesiyle hesaplanmaktadır.

4.5.6. Taekwondoya özgü tekme frekans hız testi

Taekwondo müsabakalarının kısa süreli, tekrarlayan ve yüksek yoğunluklu doğası, sporcuların anaerobik kapasitesini ölçen özgül testlerin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda geliştirilen tekme frekans hız testi (TFHT), sporcuların 10 saniyelik süre içerisinde mümkün olan en fazla sayıda ve teknik doğrulukta bandal-chagi uygulamasına dayanmaktadır. TFHT'nin iki ana versiyonu bulunmaktadır: $TFHT_{10}$, 10 saniyelik tek bir eforu ölçerken, $TFHT_{5x10}$ ise bu uygulamanın beş kez tekrarlandığı ve her set arasında 10 saniyelik pasif dinlenmenin verildiği versiyonu oluşturmaktadır. Test, video analiziyle kaydedilerek geçerli tekmeler manuel olarak sayılmaktadır. Performans hem toplam tekme sayısı hem de tekme yorgunluk indeksi (TYİ) gibi yorgunluk göstergeleriyle değerlendirilmektedir (Silva Santos ve Franchini, 2016).

$$\text{TYİ (\%)} = \left[1 - \frac{TFHT_1 + TFHT_2 + TFHT_3 + TFHT_4 + TFHT_5}{\text{En iyi TFHT x Tur sayı}}\right] \text{X } 100$$

TFHT'nin antrenman etkisine duyarlılığı da Silva Santos ve Franchini (2016) tarafından yapılan ve dokuz haftalık özgül bir mikro döngü kapsamında yürütülen çalışmayla kanıtlanmaktadır. Bu araştırmada, sporcuların $TFHT_{5x10}$ skorları 90 ± 9'dan 107 ± 10'a yükselmekte ve bu gelişme istatistiksel olarak anlamlı tespit edilmektedir ($p < 0,05$). Ayrıca, yorgunluk indeksinde de belirgin bir azalma gözlemlenmekte, bu durum testin kısa dönemli antrenmanlara karşı duyarlı olduğunu yansıtmaktadır. Aynı zamanda, araştırmacılar TFHT'nin yalnızca bir ölçüm aracı değil, aynı zamanda bir antrenman protokolü olarak da etkili biçimde kullanılabileceğini önermektedir.

Performans düzeyine göre testin ayırt edici geçerliliği da Silva Santos ve Franchini (2018) tarafından kadın taekwondo sporcuları üzerinde değerlendirilmektedir. Çalışmada ulusal ve uluslararası düzeydeki kadın sporcuların TFHT performansı, bölgesel düzeydeki sporculara göre anlamlı olarak daha yüksek tespit edilmektedir ($TFHT_{5x10}$; $p < 0,05$). Aynı çalışmada, elit düzeydeki sporcuların test sırasında daha stabil performans sergilediği, TYİ'nin daha düşük çıktığı ve her sette ortalama daha yüksek tekme sayısına ulaştıkları saptanmaktadır.

Antropometrik özelliklerin TFHT performansıyla ilişkisini inceleyen da Silva Santos ve arkadaşları (2018), siyah kuşak seviyesindeki erkek sporcularla yürüttükleri çalışmada, boy ve vücut yağ oranı ile TFHT performansı arasında negatif korelasyon olduğunu ortaya koymaktadır ($r = [-0,53] - [-0,61]$). Bu bulgular, daha kısa boylu ve daha düşük yağ oranına sahip sporcuların anaerobik eforlarda daha iyi performans gösterdiğini vurgusunu yansıtmaktadır. Aynı çalışmada, optimal yük altında yapılan kuvvet egzersizleriyle TFHT

performansı arasında ilişki bulunmakta ve bu durumun antrenman programı planlamasında dikkate alınması gerektiği önerilmektedir.

Ferreira da Silva Santos ve arkadaşları (2019), TFHT'nin yaygınlaştırılması amacıyla erkek ve kadın sporcular için normatif sınıflandırma tabloları oluşturmaktadır. Söz konusu çalışmada, yaş ve cinsiyete göre farklı gruplarda TFHT skor aralıkları tanımlanmakta ve testin sahada kolaylıkla uygulanabilir bir izleme aracı olduğu vurgulanmaktadır. Bu norm skalalar, antrenörlerin ve kondisyonerlerin sporcuları karşılaştırmalı olarak değerlendirmesine olanak sağlamaktadır.

Tablo 4. TFHT erkekler norm tablosu (Ferreira da Silva Santos ve ark., 2019)

Sınıflama	$TFHT_{10s}$	$TFHT_1$	$TFHT_2$	$TFHT_3$	$TFHT_4$	$TFHT_5$	$TFHT_{5x10}$	$TFHT_{TYİ}$
Mükemmel	≥24	≥24	≥23	≥22	≥20	≥20	≥108	≤3,3
İyi	22-23	22-23	21-22	20-21	19	19	97-107	3,4-5,9
Ortalama	18-21	19-21	18-20	17-19	16-18	16-18	85-96	6-11,4
Zayıf	17	18	17	16	15	15	80-84	11,5-19,9
Çok Zayıf	≤16	≤17	≤16	≤15	≤14	≤14	≤79	≥20

Tablo 5. TFHT kadınlar norm tablosu (Ferreira da Silva Santos ve ark., 2019)

Sınıflama	$TFHT_{10s}$	$TFHT_1$	$TFHT_2$	$TFHT_3$	$TFHT_4$	$TFHT_5$	$TFHT_{5x10}$	$TFHT_{TYİ}$
Mükemmel	≥22	≥22	≥21	≥20	≥20	≥19	≥97	≤1,2
İyi	21	21	20	19	19	18	92-96	1,3-3,4
Ortalama	17-20	18-20	17-19	16-18	16-18	15-17	82-91	3,5-10,5
Zayıf	16	17	16	15	15	14	73-81	10,6-14,4
Çok Zayıf	≤15	≤16	≤15	≤14	≤14	≤13	≤72	≥14,5

Güvenilirlik açısından ise Ferreira da Silva Santos ve arkadaşlarının (2020) çalışması dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, $TFHT_{10s}$ için test–retest güvenilirliği ICC = 0,95, $TFHT_{çoklu}$ için ise ICC = 0,63–0,83 aralığında tespit edilmektedir. Aynı çalışmada, ortalama standart hata (SEM) değerlerinin, en küçük anlamlı değişim (SWC 0,6) değerlerinden düşük olması, testin ölçüm hassasiyetini ve güvenilirliğini desteklemektedir. Bu da TFHT'nin küçük performans değişimlerini dahi saptayabilecek kadar duyarlı bir test olduğunu ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, TFHT; maksimum anaerobik güç ($TFHT_{10s}$) ve tekrarlayan anaerobik çaba kapasitesi ($TFHT_{5x10}$) ölçümlerinde yüksek doğruluk ve geçerlilik sunan, aynı zamanda normatif karşılaştırma ve antrenman etkisi izleme açısından oldukça değerli bir testtir. Uygulama kolaylığı, düşük maliyeti, video analizle desteklenebilirliği ve bilimsel temelleri, bu testi taekwondo sporcularının kondisyonel değerlendirmelerinde vazgeçilmez hale getirmektedir.

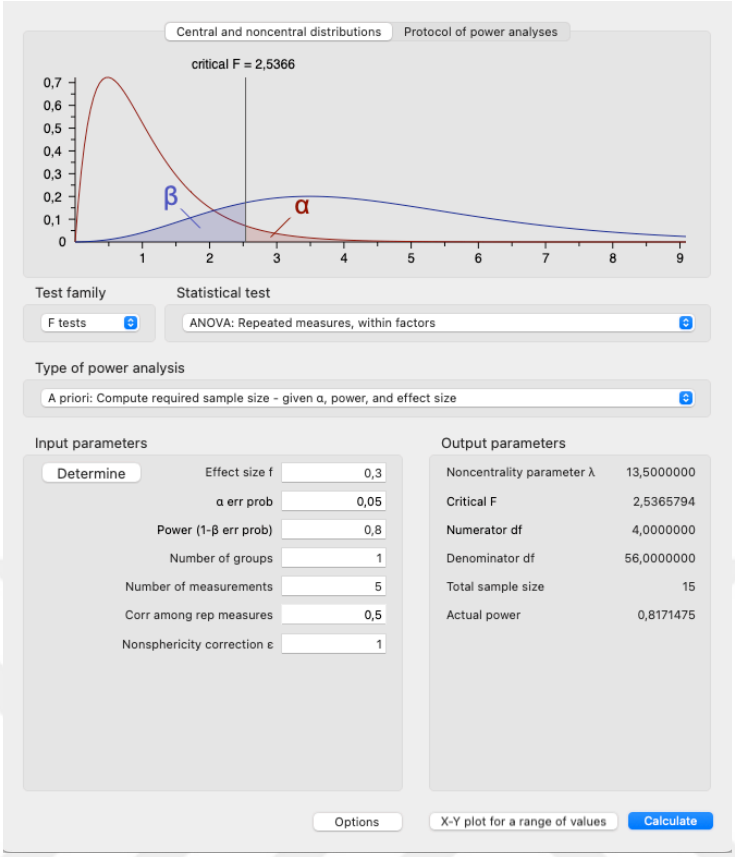
5. GEREÇ ve YÖNTEM

Bu bölümde araştırma grubu, araştırma modeli, antropometrik ölçümler, fizyolojik ve kinematik ölçümlere ilişkin veri toplama araçları, istatistiksel analiz hakkında bilgi verilmektedir.

5.1. Araştırma Grubu

Örneklem seçiminde G*Power 3.1.9.7 (Universität Düsseldorf, Almanya) yazılımı kullanılarak analiz gerçekleştirildi (Faul ve ark., 2009). Çalışmada ana analiz yaklaşımı, $TFHT_{5x10}$ protokolü boyunca setler arası değişimi (5 set) inceleyen tek grupta tekrarlı ölçüm tasarımına dayandığından, güç analizi "F tests - ANOVA: Repeated measures, within factors" seçeneği ile a priori olarak gerçekleştirildi. Analizde etki büyüklüğü f=0,30, tip 1 hata oranı alfa=0,05, test gücü 1-beta=0,80, grup sayısı=1 ve ölçüm sayısı=5 olarak girildi. Etki büyüklüğü değeri, TFHT protokolünün kullanıldığı önceki bir çalışmada setler arası tekme sayısındaki değişim için tekrarlı ölçümler ANOVA sonucunda bildirilen yüksek düzeydeki eta kare değeri dikkate alınarak belirlendi ($\eta^2 = 0,608$; $p < 0,001$; da Silva Santos ve ark., 2018). Bununla birlikte, örneklem büyüklüğü hesaplamasında, Cohen'in (1988) etki büyüklüğü sınıflandırmasına göre orta düzeye karşılık gelen daha temkinli bir değer tercih edildi ($f = 0,30$). Tekrarlı ölçümler arası korelasyon 0,50 ve nonsphericity düzeltmesi epsilon=1 varsayıldı (Şekil 5). Bu parametrelere göre minimum toplam örneklem büyüklüğü 15 kişi olarak hesaplandı (actual power=0,812). Olası katılımcı kaybı (drop-out) ve eksik/uygunsuz veri olasılığı göz önünde bulundurularak çalışma 16 katılımcı planlanacak şekilde tasarlandı.

Araştırma kapsamına 18-25 yaş arasındaki erkek taekwondo sporcuları dahil edildi. Bu sıklet aralığı, örneklemin homojenliğini artırmak ve performans çıktılarında vücut kütlesine bağlı değişkenliği azaltmak amacıyla tercih edildi. Araştırmaya antrenman düzeyleri aynı (3 gün/hafta, 1,5 saat/gün), siyah kemere sahip, en az dört yıl taekwondo spor geçmişi olan ve aktif olan sporculardan katılım sağlandı. Katılımcılara araştırmanın içeriği hakkında da sözel ve yazılı bilgilendirme yapıldı ve gönüllü olur formu (Ek1 ve Ek2) imzalatıldı. Çalışmaya katılan sporcuların, testler esnasında gerek olduğu takdirde fotoğraflarının çekilebilmesi ve çalışma içerisinde kullanılabilmesi için kendilerinden izin alındı. Katılımcıların fotoğrafları çalışmada kullanılırsa yüz bölgeleri gizlendi. Araştırma için Marmara Üniversitesi Tıp Fakültesi İlaç ve Tıbbi Cihaz Dışı Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 15.11.2024 tarihli ve 09.2024.1293 protokol kodu ile etik kurul izni alındı. Araştırmanın başlangıcında katılımcıların öncelikle antrenman geçmişlerine ve yaralanmalarına yönelik bilgileri kaydedildi. (Ek3).



Şekil 5. Örneklem seçiminde kullanılan G*Power analiz sonucunun görseli

5.1.1. Araştırma dahil edilme kriterleri

Araştırma grubunun oluşturulmasında aşağıdaki kriterler esas alındı:

- Araştırma kapsamı, erkek taekwondo sporcuları ile sınırlandırıldı.
- Katılımcıların 18-25 yaş aralığında olması sağlandı.
- Sporcuların yarışma kategorileri 63 kg ve 68 kg arasındaki sıkletlerden seçildi.
- Araştırmaya en az siyah kuşak derecesine sahip sporcular dahil edildi.
- Katılımcıların en az dört yıldır taekwondo branşı ile ilgilenmesi ve aktif sporcu olması koşulu arandı.
- Haftada üç gün, günde 1,5 saat antrenman yapan sporcular çalışmaya dahil edildi.
- Araştırmaya katılımda gönüllülük esası dikkate alındı.

5.1.2. Araştırmadan dışlanma kriterleri

Aşağıdaki durumlar araştırmadan dışlanma kriteri olarak belirlendi:

- Araştırmadan en az üç ay öncesinde herhangi bir sağlık problemi (alt ve üst ekstremitede ağrı, şişlik, hareket kısıtlılığı gibi kas-iskelet sistemine ait yumuşak doku yaralanması, nörolojik rahatsızlık, dolaşım sistemi problemi veya solunum sistemi problemi) olması.
- Araştırmaya katılmak için gönüllü olunmaması.
- 18 yaşından küçük ve 25 yaşından büyük olmak.
- Yarışma kategorisi 63 kg'den düşük veya 68 kg'den yüksek olan sporcular olunması.
- En az siyah kuşağına sahip olmaması.
- En az dört yıldır taekwondo branşı ile ilgilenilmemesi ve aktif sporcu olunmaması.
- Haftada üç gün, günde 1,5 saat antrenman yapılmaması.

5.1.3. Araştırmadan çıkarılma kriterleri

Araştırma sürecinde aşağıdaki durumların gerçekleşmesi halinde katılımcılar araştırmadan muaf tutuldu:

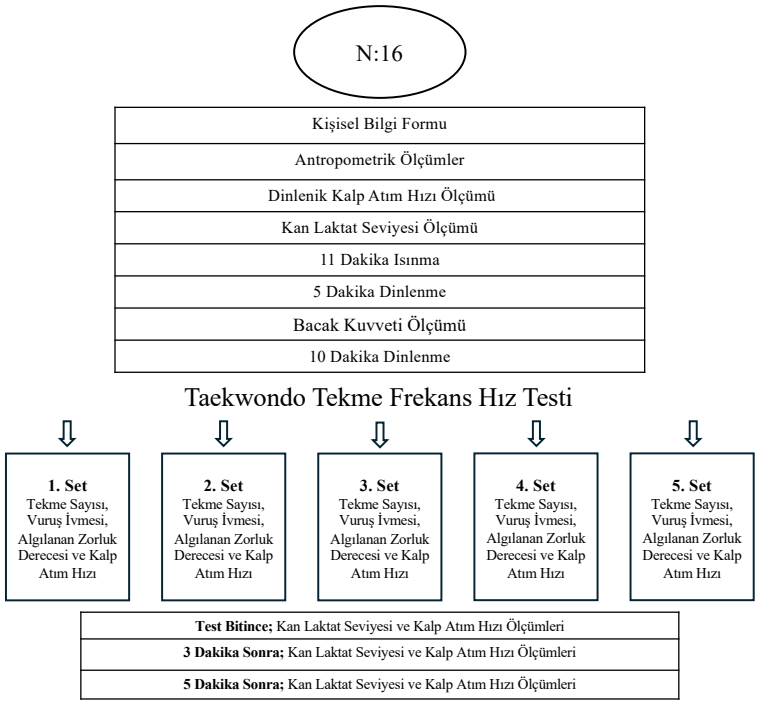
- Uygulama sırasında herhangi bir yaralanmanın meydana gelmesi.
- Belirlenen tüm ölçümlere katılım sağlanmaması.
- Test sırasında isteksiz davranışlar sergilenmesi.
- Test protokollerinin doğru uygulanmaması.
- Katılımcıların kendi isteği ile araştırmadan ayrılmayı talep etmesi.
- Araştırmaya adaptasyon sağlayamama, verimli performans gösterememe durumları araştırmadan çıkartılma kriterleri olarak kabul edildi.

5.2. Araştırma Modeli

Taekwondocularda TFHT protokolü sırasında performans (set tekme sayısı), fizyolojik (KAH, KLS ve AZD) ve kinematik (darbe ivmesi) yanıtların setler boyunca ve test öncesi-sonrası değişimini inceleyen bu çalışmada nicel araştırma yöntemlerinden tek gruplu, tekrarlı ölçümler içeren yarı deneysel (within-subject) araştırma modeli kullanıldı (Büyüköztürk ve ark., 2015). Bu model kapsamında aynı katılımcılardan $TFHT_{5x10}$ protokolünün her setinde ve belirlenen zaman noktalarında ölçümler alındı. Böylece değişkenlerin akut yanıtları birey içi karşılaştırmalarla değerlendirildi. Ayrıca ikincil olarak, TFHT performans göstergeleri ile fizyolojik/kinematik değişkenler arasındaki ilişkiler incelenerek çok bileşenli değerlendirme desteklendi.

Araştırma; sporcuların hazırlık döneminde (Eylül 2025), İstanbul'da spor merkezinde gerçekleştirildi. Testler her bir sporcu için bir günde tamamlandı ve 18.00 ile 20.00 saatleri arasında yapıldı. Test gününde sporcuların ağır fiziksel aktiviteden kaçınmaları, testten en az 2-3 saat önce ağır öğün tüketmemeleri ve testlere dinlenik durumda katılmaları istendi (Riebe ve ark., 2018; Jeukendrup ve Gleeson, 2019). Ayrıca katılımcılara test gününde kafein tüketmemeleri ve son 24 saat içinde yüksek şiddetli antrenman yapmamaları talimatı verildi (Riebe ve ark., 2018; Grgic ve ark., 2018). Katılımcılardan test öncesi gece en az 8 saat uyumaları, test gününde olağan beslenme düzenlerini sürdürmeleri ve teste yeterli hidrasyon sağlanmış olarak gelmeleri istendi. Bu koşullara uyum, test öncesinde katılımcılardan alınan sözlü beyan yoluyla teyit edildi (Jeukendrup ve Gleeson, 2019).

TFHT ise zemini tatami ile kaplı ve 22–25 °C sıcaklığa sahip kapalı spor salonunda yapıldı. Katılımcılar, antropometrik ölçümlere şort ve tişört, TFHT'ye ise dobok (taekwondo kıyafeti) giyerek çıplak ayakla katıldı. Araştırma tasarımı kapsamında (Şekil 6) katılımcıların kişisel bilgi formu doldurtuldu (antrenman yaşı, son iki yıl Türkiye şampiyonası derecesi, milli sporcu düzeyi, kuşak seviyesi, haftalık ve günlük antrenman süresi), antropometrik ölçümler (boy uzunluğu ve vücut ağırlığı) ve sırası ile dinlenik fizyolojik (kalp atım hızı ve kan laktat seviyesi) ölçümler yapıldı. Ardından 11 dakika ısınma ve 5 dakika oturarak pasif dinlenme uygulandı. Bacak kuvveti testi uygulandı. 10 dakika pasif dinlendikten sonra TFHT yapıldı. Tur aralarında ve test bitiminde algılanan zorluk derecesi sorularak elle göstermeleri sağlandı. Bunun yanı sıra setlerdeki her darbenin ivmelerine ilişkin veriler de kaydedildi. TFHT süresince kalp atım hızı sürekli kaydedildi; her set için set sonu kalp atım hızı ve her set boyunca elde edilen en yüksek kalp atım hızı değerleri raporlandı. Ardından fizyolojik ölçümler (kalp atım hızı ve kan laktat seviyesi); test bitiminde, 3 dakika ve 5 dakika sonra alındı.



Şekil 6. Araştırma tasarımı

5.3. Antropometrik Ölçümler

Ölçümler, International Society fort he Advancement of Kinanthropometry (ISAK) tarafından yayımlanan kılavuza uygun şekilde gerçekleştirildi (Esparza-Ros ve ark., 2019). Araştırmaya katılan sporcuların antropometrik ölçüm verilerinin belirlenmesi için boy uzunluğu ve vücut ağırlıkları değerleri kaydedildi. Ölçümler iki kez yapıldı ve boy ölçümleri arasında 0,5 cm veya vücut ağırlığı ölçümlerinde 0,1 – 0,2 kg fark saptanması durumunda ölçüm üçüncü kez tekrar edildi. Sonuçların analizinde ise iki ölçümün ortalaması, üç ölçümde ise medyanı esas alındı (Özer, 2009). Beden kütle indeksi (BKİ) formül kullanılarak hesaplandı. Buna göre ölçümler şu şekilde yürütüldü.

5.3.1. Boy uzunluğu ölçümü

Sporcuların boy ölçümleri; 200 cm'lik taşınabilir ve duvara monte edilebilen Stadyometre (Seca 213, Seca GmbH & Co. KG, Hamburg, Almanya) (Şekil 7) ile gerçekleştirildi. Ölçüm sırasında sporcuların ayakkabısız olması, vücut ağırlığının her iki ayağa eşit şekilde dağıtılması ve topukların birleşik durumda bulunması sağlandı. Ayrıca; baş, omuzlar, kalça ve topukların duvara temas etmesi kontrol edildi. Baş, Frankfort düzleminde ve vücut dik bir pozisyonda olacak şekilde; kollar yanda serbest bırakılmış ve gözler karşıya bakar durumda iken 0,1 cm hassasiyetle kayıt altına alındı (Özer, 2009) (Ek 3).



Şekil 7. Boy uzunluğu ölçümünde kullanılan stadyometre aleti

5.3.2. Vücut ağırlığı ölçümü

Sporcuların vücut ağırlığı ölçümleri; biyoelektrik impedans analizi (BİA) cihazı (TANITA BC 418, Vücut analiz) (Şekil 8) ile yapıldı. Sporcuların tartıya çıkarak her iki ayaklarını tartının kenarlarında eşit tutmaları, dengeli ve dik bir pozisyon almaları; ölçüm bitene kadar bu pozisyonun korunması sağlandı. Elde edilen veriler, kg cinsinden kayıt altına alındı (Özer, 2009) (Ek 3).



Şekil 8. Biyoelektrik impedans analiz (BİA) cihazı (TANITA BC 418, Vücut analiz)

5.3.3. Beden kütle indeksi hesaplama

Araştırmada yer alan taekwondocuların beden kütle indeksi (BKİ) değerleri; vücut ağırlığının boy uzunluğunun karesine (kg/m^2) bölünmesiyle hesaplandı (Özer, 2009) (Ek 3).

5.4. Fizyolojik ve Kinematik Ölçümlere İlişkin Veri Toplama Araçları

Fizyolojik ölçüm olarak uygulama esnasında kalp atım hızı (Polar H10 HR) ve kan laktat seviyesi (Lactate Scout Sensors, Almanya) ölçüldü. Ek olarak algılanan zorluk derecesi (Borg CR-10) kaydedildi. Kinematik ölçümlerde TFHT sırasında ivmeölçer cihazı enode sensör (44x27x13 mm) (Magdeburg, Almanya) kullanılarak her darbe anındaki ivme değerleri, turlardaki tekme sayısı ile toplam tekme sayıları kaydedildi. Ayrıca turlardaki tekme sayısından tekme yorgunluk indeksi de hesaplandı.

5.4.1. Kalp atım hızı ölçümü

Egzersiz sırasında ve sonrasında kalp atım hızındaki değişimler, sempatik ve parasempatik sinir sistemlerinin egzersize nasıl tepki verdiğini anlamak için kritik veriler sağlamaktadır. Egzersiz sonrası toparlanmanın hızlı aşamasında kalp atım hızı hızla düşmekte, bu da parasempatik sinir sisteminin devreye girdiğini yansıtmaktadır. Daha yavaş aşamada ise kalp atım hızındaki düşüş daha sabit bir seyir izlemektedir. Kalp atım hızıyla, egzersiz yoğunluğu; 1. Bölge %50-%60 KAH_{maks}, 2. Bölge %60-%70 KAH_{maks}, 3. Bölge %70-%80 KAH_{maks}, 4. Bölge %80-%90 KAH_{maks} ve 5. Bölge %90-%100 KAH_{maks} olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmalar sporcuların egzersiz yoğunluğunu ve toparlanma sürecini değerlendirmede önemli bir referans sağlamaktadır (Perandini ve ark., 2012). Egzersiz sonrası kalp atım hızının normale dönme hızı, kardiyovasküler kondisyonun bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Tanaka ve ark., 2001). Katılımcıların kalp atım hızları, yumuşak kumaş göğüs bandı ile vücuda bağlanan Bluetooth özellikli Polar H10 HR kalp atış hızı sensörü kullanılarak ölçüldü (Şekil 9). Göğüs bandı sternumun (göğüs kemiği) altına yerleştirildi (Buchheit, 2014). Kalp atış hızı verileri Polar H10 (Fransa) sensörü ile kaydedildi ve bu veriler, Elite HRV mobil uygulaması aracılığıyla bir akıllı telefonda toplandı.

Araştırmada kalp atım hızı; dinlenik pozisyonda, taekwondo tekme frekansı hız testi sürecinde ve test bitimi sonrasında kaydedildi. Dinlenik kalp atım hızı ölçümü öncesinde, kişinin ayak tabanları yere basacak ve eller bacakların üzerinde dinlendirilecek şekilde oturur pozisyonda bir dakika beklendi. Ardından, beş dakikalık veri kaydedildi ve ortalama değer hesaplandı (Moya-Ramon ve ark., 2022). Ayrıca taekwondo tekme frekansı hız testi süresince, her tur sonunda kalp atım hızı değeri (atım/dk) kaydedildi. Beş tur bittikten hemen sonra, üçüncü dakika ve beşinci dakikada elde edilen veriler, kişiye özel hazırlanan bilgi formuna (Ek3) işlendi.



Şekil 9. Kalp atım hızı sensörü (Polar H10 HR)

5.4.2. Kan laktat seviyesi ölçümü

Egzersiz sırasında kan laktat seviyeleri, vücudun anaerobik enerji üretim kapasitesini ve dayanıklılığını değerlendirmek için önemli bir parametredir. Laktat, yoğun egzersiz sırasında kasların yeterli oksijen alamadığında glikoliz sonucunda üretilmekte ve kan dolaşımına salınmaktadır (Brooks, 2020). Kan laktat değerlerine göre egzersiz yoğunluğu; 1. Bölge mmol/l $\leq$ 2 /L, 2. Bölge 2 < mmol/l < 4 ve 3. Bölge mmol/l $\geq$ 4 olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma; egzersiz sonrası toparlanma sürecini ve sporcunun anaerobik gücünü değerlendirmek için kullanılmaktadır (Perandini ve ark., 2012).

Laktat ölçümleri katılımcılar oturur pozisyonda iken sağ el parmak ucu kapillerinden kan örneği alındı. Kan örnekleri tek kullanımlık strip laktat ölçüm kitiyle (Lactate Scout Sensors, Almanya) (Şekil 10) toplanıp, laktat ölçüm cihazı (Lactate Scout, Almanya) (Şekil 11) ile okutuldu. Her ölçümden önce laktat striplerinin kalibrasyonu üretici firmanın yönergelerine uygun bir şekilde yapıldı. Katılımcıların oturur pozisyonda iken sağ el parmak ucu alkol ile silindi ve pamuklu yün ile kurutuldu. Sonrasında temizlenen yer lanset ucu kullanılarak delindi ve hafif bir şekilde sıkıldı. Çıkan ilk kan silindikten sonra tekrar hafifçe sıkılarak çıkan kan tek kullanımlık strip ile alındı. Kan laktat ölçümleri; dinlenik durumda, ayrıca taekwondo tekme frekansı hız testi bitimi olan beşinci turun tamamlanmasından hemen sonra, üçüncü dakika ve beşinci dakika sonra alınarak (Campos ve ark., 2012; Bürger-Mendonça ve ark., 2015), kişiye özel hazırlanan bilgi formuna (Ek3) kaydedildi.



Şekil 10. Laktat ölçüm kiti (Lactate Scout Sensors, Almanya)



Şekil 11. Laktat ölçüm cihazı (Lactate Scout, Almanya)

5.4.3. Algılanan zorluk derecesi

Vücudun algılanan eforunu değerlendirmek için Borg CR-10 kullanıldı. Algılanan zoruk derecesi (AZD), TFHT sırasında oluşan iç yükün değerlendirilmesi amacıyla kaydedildi. Borg CR-10 derecelendirmesi, farklı vücut koşullarına sahip denekler arasında aynı fiziksel aktiviteye karşı genellikle farklılık göstermektedir (Borg, 1998). Bu skala, sporcunun vücudunun ne kadar zorlandığını hissettiğini belirlemekte ve genellikle artan kalp atım hızı, solunum hızı, terleme ve kas yorgunluğuyla eş zamanlı olarak deneyimlenen fiziksel duyumlara dayanmaktadır; bu duyumlar kan laktatı ile ilişkilendirilmektedir (Xuan ve ark., 2023). Katılımcı egzersizin şiddetini değerlendirmek için 0 (yok) – 10 (en şiddetli) puan arasından puanlama yaptı. 4 puan ve altı düşük, 5-6 puan arası orta, 7 puan ve üstü yüksek şiddette yorgunluğu ifade etmektedir (Şekil 12). Verilen puanlar yorgunluk düzeyi olarak kabul edilmektedir (Borg, 1998). AZD TFHT'nin her turu sonunda ve beş tur bittikten hemen sonra katılımcıların elleriyle sayıları göstermesi yoluyla belirlendi. Bu değerler kişiye özel hazırlanan bilgi formuna (Ek3) kaydedildi.

0	Dinlenme
1	Çok Kolay
2	Biraz Kolay
3	Orta Düzeyde
4	Biraz Zor
5	Zor
6	
7	Çok Zor
8	
9	
10	Çok Çok Zor

Şekil 12. 0 – 10 Borg skalası (Borg, 1988'den uyarlanmıştır)

5.4.4. Bacak kuvveti ölçümü

Taekwondo sporcularının alt ekstremite kuvvet kapasitesini değerlendirmek amacıyla, izometrik bacak kuvveti ölçümü gerçekleştirildi. İzometrik kuvvet testleri, kasların maksimal istemli kasılma kapasitesini objektif olarak değerlendirmede altın standart olarak kabul edilmektedir (Maffiuletti ve ark., 2016). Özellikle taekwondo gibi patlayıcı güç gerektiren branşlarda, alt ekstremite izometrik kuvveti tekme performansı ile yüksek korelasyon göstermektedir (Estevan ve ark., 2011).

Ölçüm, geçerlilik ve güvenilirliği Shahidi ve arkadaşları (2023) tarafından kanıtlanmış olan Powrlink taşınabilir kuvvet ölçüm cihazı (Almanya) kullanılarak yapıldı. Bu cihazın test-retest güvenilirliği (ICC) 0,93'ün üzerinde olup, minimum belirgin değişim eşiği %15'in altında bildirilmektedir (Shahidi ve ark., 2023).

5.4.5. İvme ölçümü

Bu bölümde araştırmada uygulanan ivme ölçümünün protokolü açıklanmaktadır. Kinematik, hareketi oluşturan kuvvetleri dikkate almaksızın konum, hız ve ivme gibi büyüklükler üzerinden tanımlayan biyomekanik alt dalıdır (Winter, 2009). Bu çalışmada klasik anlamda kinematik parametreler (eklem açıları, segment açısal hızları veya segmental hareket analizleri) doğrudan ölçülmemiştir. Sensör sporcu segmentine değil, sabit kütleli hedefe (gövde koruyucusu) sabitlenmiş olup elde edilen ivme verileri sporcunun alt ekstremite kinematiğini değil, tekme sırasında hedef yüzeyde oluşan vuruş ivmesini yansıtmaktadır. Bu nedenle darbe

ivmesi, tekme performansının mekanik çıktısına ilişkin dolaylı bir gösterge olarak değerlendirildi Hedef kütlesi tüm katılımcılar için sabit olduğundan, tekme sırasında ölçülen ivme değerleri darbenin şiddeti hakkında dolaylı bilgi sağlamaktadır. Sabit hedef kütlesi koşulunda ivme değerleri Newton'un ikinci yasası ($F=m \cdot a$) gereği darbe kuvvetinin de dolaylı bir göstergesi olarak yorumlanabilmekle birlikte, bu çalışmada kuvvet değeri Newton cinsinden doğrudan hesaplanmadı, yalnızca ivme değerleri değerlendirildi. Araştırmada TFHT esnasında müsabakalarda en çok kullanılan teknik olan bandal-chagi tekniğinin (modern WT müsabaka literatüründe gövdeye atılan kısa, hızlı roundhouse-stili tekme) (da Silva Santos ve ark., 2020; Apollaro ve ark., 2024) her tur içinde ve turlar arasında tekme gücü ile yorgunluk düzeyinin değerlendirilmesi amacıyla darbe ivme ölçümü gerçekleştirildi. Dövüş sporlarına yönelik atalet sensörü (IMU) uygulamalarına ilişkin sistematik derlemede, hedefe sabitlenen ivmeölçerlerin sporcu segmentine takılan ivmeölçerlere alternatif olarak darbe değerlendirmesinde yaygın biçimde kullanılan bir yaklaşım olduğu raporlanmıştır (Worsey ve ark., 2019). Bu doğrultuda araştırmada, kas gücü değerlendirmesinde geçerlilik ve güvenirliği gösterilmiş olan (Markovic ve ark., 2024) üç eksende ivme verisi kaydeden triaksiyel ivmeölçer enode sensör (44x27x13 mm) (Magdeburg, Almanya) cihazı ile cansız mankenin (170 cm uzunluğunda, 35 kg; Haşado 4, İstanbul, Türkiye) gövde kısmına giydirilen gövde koruyucusunun arka bölgesine sabitlendi (Şekil 13). Veri örnekleme frekansı 64 Hz olarak belirlendi ve veriler bluelooth bağlantısı aracılığıyla eşzamanlı olarak ilişkili uygulamaya aktarıldı. Ham ivme verileri önce yer çekimi bileşeninden arındırıldı. Ardından her eksendeki ham veriye 0,3 Hz kesme frekanslı 4. dereceden butterworth alçak geçiren filtre uygulandı. Elde edilen düşün frekanslı bileşen statik yerçekimi ivmesini temsil etmekte olup ham veriden çıkarılarak dinamik ivme elde edildi. Sonrasında sinyal gürültüsünü azaltmak amacıyla 5 Hz kesme frekanslı 4. dereceden butterworth alçak geçiren filtre uygulandı. Filtreleme sonrasında verilerin hedeflenen aralıkta kaldığı gözlemlendi (Bartlett, 2013; Mönks, 2017). Bu işlemlerin ardından üç eksen bileşenlerinden birleşik ivme değeri "$g = \sqrt{(ax^2 + ay^2 + az^2)}$" formülü ile hesaplandı (Lee ve ark., 2005). Elde edilen birleşik ivme zaman serisinde her darbe anına karşılık gelen yerel en yüksek değer belirlendi ve tekme darbesine ait ivme değeri olarak kaydedildi. Her set içindeki geçerli tekme darbelerine ait tüm değerlerin aritmetik ortalaması alınarak o sete ait ortalama darbe ivmesi elde edildi.



Şekil 13. Enode sensörünün yerleşimi

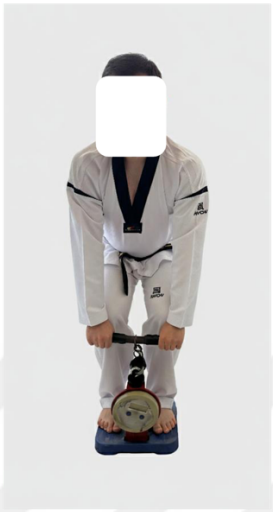
5.4.6. Uygulama öncesi ve ısınma protokolü

Sporcuların antropometrik ölçümler için şort ve tişört giymelerinin ardından çıplak ayakla sırasıyla boy uzunluğu ve vücut ağırlığı ölçüldü. Bu değerlerden beden kütle indeksi hesaplandı. Antropometrik ölçümlerin ardından sporcular doboklarını giydi ve dinlenik fizyolojik ölçümler (kalp atım hızı ve kan laktat seviyesi) yapıldı. Ardından yaklaşık 11 dakikalık standart bir ısınma protokolü antrenör denetiminde uygulandı. Isınma süreci; beş dakika düşük tempo koşu (jogging), dört hareket 15'er saniyeden (ağrı eşiğinin altında kalacak şekilde) balistik germe hareketleri (quadriceps, hamstring, adductor, abductor) yaparak, 90 saniye aralıklarla 10 saniyeden dört kez düşük yoğunluklu tekme atışlarıyla tamamlandı (Ferreira da Silva Santos ve ark., 2019). Isınmanın ardından beş dakika pasif dinlenme verildi (Apollaro ve ark., 2024) ve bacak kuvveti ölçümü gerçekleştirildi.

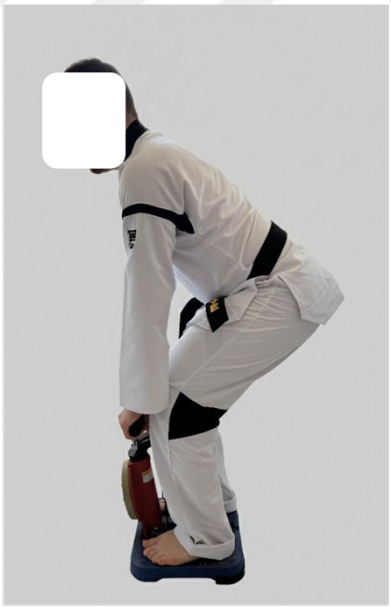
Ölçümler, ısınma protokolünün tamamlanmasından beş dakika sonra gerçekleştirildi (Blazevich ve Babault, 2019). Katılımcılar, çıplak ayakla omuz genişliğinde iki ayaklarını zemine sabit bir platform üzerine yerleştirdi (Şekil 14 ve 15). Diz açısı gonyometre (0-180°, Baseline Digital Goniometer, Fabrication Enterprises Inc., ABD) kullanılarak ölçüldü ve yaklaşık 120-130° fleksiyon pozisyonuna getirilerek katılımcının gövdesi hafifçe öne eğik bir duruş alması sağlandı (Katoh ve Yamasaki, 2009).

Powrlink cihazının tutma barı, diz hizasının hemen altına gelecek şekilde yükseklik açısından ayarlandı (Coldwells ve ark., 1994). Tutma barının kayışı, sporcunun her iki eline güvenli bir şekilde kavratıldı. Katılımcılara yalnızca bacak kaslarını kullanarak, sırt kaslarını devreye sokmadan, maksimum çaba ile yukarı doğru çekiş yapmaları talimatı verildi (Shahidi ve ark., 2023).

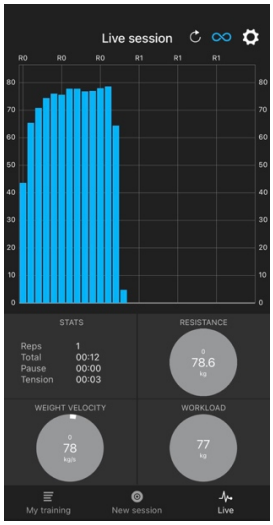
Her bir çekiş yaklaşık 3 saniye sürdü ve katılımcıdan bu süre boyunca azami kuvvet uygulamaya devam etmesi beklendi. Test, her birey için üç tekrar halinde uygulandı; her tekrar arasında 2 dakikalık pasif dinlenme süresi verildi (Shahidi ve ark., 2023). Denemeler sırasında ölçülen en yüksek kuvvet değeri, analizde kullanılacak olan maksimum kuvvet kaydedildi (Şekil 16).



Şekil 14. Kuvvet ölçümü yerleşimi (karşıdan)



Şekil 15. Kuvvet ölçümü yerleşimi (yandan)



Şekil 16. Powrlink uygulama ekranı

Bacak kuvveti ölçümünün ardından 10 dakika pasif dinlenme (Bishop, 2003; Glaister ve ark., 2008; McLellan ve Lovell, 2012) verilerek TFHT protokolü gerçekleştirildi.

5.4.7. Tekme frekans hız testi protokolü

Taekwondo sporcularının tekrarlı yüksek şiddetli tekme uygulama kapasitesini değerlendirmek amacıyla literatürde geçerlilik ve güvenirliği raporlanan tekme frekans hız tesi (TFHT) kullanıldı. Bu araştırmada TFHT'nin çoklu uygulamaya dayalı versiyonu olan $TFHT_{5x10}$ protokolü uygulandı; protokol 5 set boyunca 10 sn maksimal eforu takiben 10 sn pasif dinlenme içerecek şekilde yürütüldü (da Silva Santos ve Franchini, 2016). Test uygulaması, cansız manken üzerinde gerçekleştirildi; manken sabit olup hareket etmedi ve (170 cm, 35 kg; Haşado 4, İstanbul, Türkiye) mankenin gövde kısmına giydirilen gövde koruyucusu hedef yüzey olarak kullanıldı. Test sırasında, müsabakalarda en sık kullanılan (%77 – %90) tekniklerden biri olduğu bildirilen bandal-chagi tekniği standart teknik olarak belirlendi (da Silva Santos ve ark., 2020). Sporcuların mankene olan uygulama mesafesi bireysel olarak standardize edildi: test başlamadan önce sporcu birkaç deneme tekmesi uygulayarak kendi optimal vuruş mesafesini belirledi; bu mesafe zeminde bant ile işaretlendi ve test boyunca sporcunun vuruşlarını bu çizgi üzerinden gerçekleştirmesi sağlandı. Test, düdük komutu ile başlatıldı ve düdük komutu ile sonlandırıldı. Her 10 sn'lik efor periyodunda sporcuların mümkün olan en yüksek sayıda bandal-chagi üretmesi istendi; tekmeler sağ ve sol ayak ardışık olacak biçimde uygulanarak maksimal tekrar sayısına ulaşması hedeflendi (Şekil 17). Test oturumu telefon kamerası ile kaydedildi (iPhone 16 Pro, Apple Inc., Cupertino, CA, ABD). Video kayıtları 60 kare/s (fps) hızında alındı ve her sette üretilen tekme sayılarının belirlenmesi amacıyla analiz edildi. Tekme

sayımları aynı araştırmacı tarafından video üzerinden iki farklı zamanda yapıldı; iki sayım arasında uyuşmazlık olması durumunda üçüncü sayım yapılarak nihai değer belirlendi. Gövde koruyucusuna hedef bölgeye temas edecek şekilde uygulanan ve teknik bütünlüğü korunarak tamamlanan vuruşlar, literatürde tanımlanan yaklaşım doğrultusunda geçerli tekme olarak kabul edildi (Ulupınar ve ark., 2021). Her bir setteki tekme sayıları ayrı ayrı ($TFHT_{1,2,3,4,5}$) olarak kaydedildi; beş setin toplam tekme sayısı ($TFHT_{5\times10}$) olarak hesaplandı. Ayrıca beş set performansına dayalı toplam tekme sayısı ve tekme yorgunluk indeksi (5.4.7.1.) ilgili formüle göre hesaplandı (da Silva Santos ve Franchini, 2016). Tur aralarında ve test bitiminde AZD üzerinden algılanan zorluk düzeyi kaydedildi. Tur esnasında sporcuların manken üzerindeki darbe ivmeleri enode sensörü (Magdeburg, Almanya) ile kaydedildi (5.4.5.). Fizyolojik bileşenler kapsamında kalp atım hızı (atım/dk) ve kan laktat seviyesi (mmol/l), dinlenik, test bittikten hemen sonra, ayrıca üçüncü ve beşinci dakikalarda ölçüldü.



Şekil 17. TFHT uygulama görseli

5.4.7.1. Tekme yorgunluk indeksi formülü

Tekme yorgunluk indeksi (TYİ), test sırasında sporcuların tekme performansındaki düşüşün bir göstergesi niteliğinde değerlendirildi. Bu amaçla araştırmada TYİ'yi hesaplamak için TFHT sonuçları dikkate alındı. Bu hesaplamada payda, sporcunun en yüksek set tekme sayısını tüm setlerde aynı düzeyde sürdürebildiği varsayımıyla elde edilen olasılı maksimum toplam performansı temsil etmektedir. Dolayısıyla TYİ değerinin düşük olması, sporcunun setler ilerledikçe tekme sayısında minimal kayıp yaşadığını, dolayısıyla performans stabilitesinin yüksek ve yorgunluğa toleransının görece iyi olduğunu göstermektedir. ardışık setlerde üretimin belirgin biçimde gerilediğine, yani yorgunluk kaynaklı performans düşüşünün daha

baskın olduğuna işaret eder. Bu nedenle TYİ, toplam tekme miktarından bağımsız olarak, performansın setler arasında ne kadar korunabildiğini özetleyen ve $TFHT_{5x10}$ protokolü kapsamında yorgunluğun pratik bir nicel göstergesi olarak kullanılan bir parametredir. TYİ değerleri aşağıda yer alan denklem aracılığıyla hesaplandı (da Silva Santos ve Franchini, 2016).

$$\text{TYİ (\%)} = \left[1 - \frac{TFHT_1 + TFHT_2 + TFHT_3 + TFHT_4 + TFHT_5}{\text{En iyi TFHT x Tur sayı}}\right] \text{X } 100$$

5.5. İstatistiksel Analiz

Sporculara ait demografik özellikler, antropometrik ölçümler ile TFHT'nin performans (set tekme sayıları ve toplam tekme sayısı), fizyolojik (KAH, KLS ve AZD) ve kinematik (darbe ivmesi) bileşenlerine ilişkin elde edilen veriler tanımlayıcı istatistiklerle (Ortalama, Standart Sapma, Minimum, Maksimum, Medyan) hesaplandı. Normallik değerlendirmesi Shapiro–Wilk testi, çarpıklık-basıklık katsayıları ve görsel incelemeler birlikte dikkate alınarak yapıldı.

Araştırmada bağımsız değişken, TFHT protokolü kapsamında ardışık olarak uygulanan setlerdir. Bağımlı değişkenler ise her set sonunda veya set sürecinde ölçülen performans, fizyolojik ve kinematik göstergelerden oluşmaktadır. Bu kapsamda tekme sayısı, KAH, KLS, AZD ve darbe ivmesi değerleri bağımlı değişkenler olarak değerlendirildi.

Normallik varsayımını tüm set düzeylerinde sağlayan performans ve kinematik değişkenlerin setler arasındaki değişimini incelemek amacıyla tek gruplu tekrarlı ölçümler ANOVA (Repeated Measures ANOVA) kullanıldı. Küresellik (sphericity) varsayımı Mauchly testi ile değerlendirildi; ihlal durumunda Greenhouse–Geisser düzeltmesi ile serbestlik dereceleri düzeltilerek sonuçlar raporlandı (Field, 2024; Blanca ve ark., 2023). Parametrik analizlerde etki büyüklüğü olarak kısmi eta kare (η^2p) raporlandı ve Cohen'in eşiklerine göre küçük ($\eta^2p \geq 0{,}01$), orta ($\eta^2p \geq 0{,}06$) ve büyük ($\eta^2p \geq 0{,}14$) olarak yorumlandı (Cohen, 2013; Lakens, 2013).

Anlamlı ANOVA bulgularında setler arası ikili karşılaştırmalar yapıldı. Çoklu karşılaştırmalarda Tip-I hata oranını kontrol etmek için Holm–Bonferroni düzeltmesi uygulanarak düzeltilmiş p değerleri raporlandı (Field, 2024). Parametrik ikili karşılaştırmalar için etki büyüklüğü Cohen's dz ile hesaplanarak küçük ($0{,}20 \leq dz < 0{,}50$), orta ($0{,}50 \leq dz < 0{,}80$) ve büyük ($dz \geq 0{,}80$) şeklinde değerlendirildi (Cohen, 2013; Lakens, 2013).

Normallik varsayımını en az bir set düzeyinde sağlamayan fizyolojik ve algısal değişkenlerin setler arası değişimini değerlendirmek için Friedman testi kullanıldı. Friedman testi anlamlı bulunduğunda setler arası ikili karşılaştırmalar Wilcoxon işaretli sıralar testi ile yapıldı ve çoklu

karşılaştırmalar için Holm–Bonferroni düzeltmesi uygulandı (Field, 2024). Parametrik olmayan analizlerde Friedman testi için etki büyüklüğü Kendall's W katsayısı ile raporlandı. Wilcoxon ikili karşılaştırmaları için ise etki büyüklüğü sıra-biseriyel korelasyon katsayısı (rank-biserial correlation) ile hesaplandı ($r = Z/\sqrt{N}$) ve r değerleri küçük ($0,10 \leq r < 0,30$), orta ($0,30 \leq r < 0,50$) ve büyük ($r \geq 0,50$) olarak yorumlandı (Cohen, 2013; Fritz ve ark., 2012).

Elde edilen bulgular %95 güven aralığında ve %5 anlamlılık düzeyinde ($p < 0,05$) değerlendirildi. Verilerin analizinde JAMOVI (sürüm 2.3.21) programı kullanıldı. Bulguların grafikleştirilmesinde ise R yazılımı (sürüm 4.2.2) kullanılarak görselleştirmeler oluşturuldu.

6. BULGULAR

Bu bölümde demografik ve antropometrik özellikler, $TFHT_{5x10}$ protokolü boyunca tekme sayısındaki değişimler, $TFHT_{5x10}$ protokolü boyunca tekme darbe ivmesindeki değişimler, $TFHT_{5x10}$ protokolü boyunca algılanan zorluk derecesindeki değişimler, $TFHT_{5x10}$ protokolü boyunca ve sonrasında kan laktat seviyesindeki değişimler, $TFHT_{5x10}$ protokolü boyunca ve sonrasında kalp atım hızındaki değişimler hakkında bilgi verilmektedir.

6.1. Demografik ve Antropometrik Özellikler

Katılımcıların demografik ve antropometrik özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 6'da sunulmaktadır. Yaş ortalaması 20,3±2,3 yıl, antrenman yaşı 8,3±2,9 yıl ve antrenman süresi 9,9±3,5 yıl olarak görülmektedir. Vücut ağırlığı 68,8±3,9 kg, boy uzunluğu 178,2±6,5 cm ve vücut kütle indeksi 21,7±1,9 kg/m^2 düzeyindedir. Sporcuların izometrik bacak kuvveti 126±32,1 kg olarak belirlendi. Değişkenlere ait medyan ile minimum–maksimum değer aralıkları Tablo 6'da yer almaktadır.

Normallik varsayımı Shapiro–Wilk testi ile değerlendirildiğinde yaş (p=0,056), boy uzunluğu (p=0,774), VKİ (p=0,472), antrenman yaşı (p=0,820), antrenman süresi (p=0,070) ve bacak kuvveti (p=0,460) için normallikten anlamlı sapma saptanmamaktadır (p>0,05). Vücut ağırlığında Shapiro–Wilk testi anlamlı bulunmakta (p=0,046) ve bu değişkende normallik varsayımı sağlanmamaktadır. Çarpıklık ve basıklık katsayıları Tablo 6'da raporlanmaktadır.

Tablo 6. Katılımcıların demografik ve antropometrik özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve normallik sonuçları

Değişkenler	**Ort ± SS [%95 GA]**	**Med [Min – Maks]**	**Çarpıklık (SE)**	**Basıklık (SE)**	**p**
Yaş	20,3 ± 2,3 [19,1 – 21,5]	20 [18 – 25]	0,727 (0,564)	-0,428 (1,09)	0,056
Vücut Ağırlığı	68,8 ± 3,9 [66,7 – 70,9]	69,5 [61,1 – 73,0]	-0,728 (0,564)	-0,756 (1,09)	**0,046**
Boy Uzunluğu	178,2 ± 6,5 [174,8 – 181,6]	178,5 [167,0 – 188,5]	-0,065 (0,564)	-0,805 (1,09)	0,774
VKİ	21,7 ± 1,9 [20,7 – 22,8]	21,6 [18,9 – 26,2]	0,801 (0,564)	0,685 (1,09)	0,472
Antrenman Yaşı	8,3 ± 2,9 [6,7 – 9,8]	8 [4 – 14]	0,219 (0,564)	-0,457 (1,09)	0,820
Antrenman Süresi	9,9 ± 3,5 [8,1 – 11,8]	9 [6 – 18]	0,788 (0,564)	0,140 (1,09)	0,070
Bacak Kuvveti (kg)	126 ± 32,1 [109 – 143]	126 [74 – 176]	-0,280 (0,564)	-1,010 (1,09)	0,460

Not: Ort ± SS: Ortalama ± Standart sapma; %95 GA: %95 güven aralığı; Med: Medyan; Min–Maks: Minimum–maksimum değerler; VKİ: Vücut kütle indeksi; Çarpıklık ve basıklık değerleri parantez içinde standart hataları (SE) ile birlikte sunuldu. p: Shapiro–Wilk normallik testi (p>0,05, normal dağılım varsayımının sağlandığını göstermektedir).

6.2. $TFHT_{5x10}$ Protokolü Boyunca Tekme Sayısındaki Değişimler

Tablo 7 incelendiğinde, tekme sayısının setler ilerledikçe azaldığı görülmektedir. En yüksek ortalama tekme sayısı $TFHT_1$'de 18,4±2,9 iken, $TFHT_5$'te 14,1±2,1 düzeyine inmektedir. Medyan değerler de benzer biçimde $TFHT_1$'de 18 iken $TFHT_5$'te 14'tür. Setlere ait minimum–maksimum değer aralıkları $TFHT_1$'de 14–24, $TFHT_2$'de 12–22, $TFHT_3$'te 10–20, $TFHT_4$'te 10–21 ve $TFHT_5$'te 11–17 olarak yer almaktadır.

Dağılım özellikleri incelendiğinde setlere ait çarpıklık katsayılarının 0,007–0,514 aralığında olduğu ve basıklık katsayılarının -1,203 ile 1,512 arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 7). Shapiro–Wilk test sonuçları tüm setlerde anlamlı değildir (p>0,05). Çarpıklık/basıklık göstergeleri ile kutu grafikleri (boxplot) üzerindeki dağılım yapısına dayalı görsel inceleme birlikte değerlendirildiğinde, tekme sayısı verilerinin yaklaşık normal dağılım varsayımını desteklediği görülmektedir. Bu nedenle sonraki analizlerde parametrik yaklaşım kullanıldı.

Toplam performansı temsil eden $TFHT_{5x10}$ değişkeni 78,3±10,5 ve $TFHT_{TYİ}$ ise 15,3±5,8 düzeyindedir (Tablo 7). Bu iki değişkende Shapiro–Wilk test sonuçları anlamlı değildir (p>0,05). Tanımlayıcı istatistikler $TFHT_1$'den $TFHT_5$'e doğru tekme sayısında kademeli bir azalma eğilimine işaret etmektedir (Tablo 7). Bu gözlenen azalma eğiliminin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını değerlendirmek üzere tekrarlı ölçümler ANOVA uygulandı.

Tablo 7. TFHT tekme performansına ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve normallik sonuçları

Değişkenler	Ort ± SS [%95 GA]	Med [Min – Maks]	Çarpıklık (SE)	Basıklık (SE)	p
$TFHT_1$	18,4 ± 2,9 [16,8 – 19,9]	18 [14 – 24]	0,145 (0,564)	-0,694 (1,09)	0,694
$TFHT_2$	15,9 ± 2,8 [14,4 – 17,4]	15,5 [12 – 22]	0,514 (0,564)	-0,097 (1,09)	0,534
$TFHT_3$	15,1 ± 2,7 [13,6 – 16,5]	15 [10 – 20]	0,334 (0,564)	-0,185 (1,09)	0,224
$TFHT_4$	14,9 ± 2,6 [13,5 – 16,3]	15 [10 – 21]	0,507 (0,564)	1,512 (1,09)	0,193
$TFHT_5$	14,1 ± 2,1 [13,0 – 15,2]	14 [11 – 17]	0,007 (0,564)	-1,203 (1,09)	0,183
$TFHT_{5x10}$	78,3 ± 10,5 [72,7 – 83,9]	78 [62 – 101]	0,770 (0,564)	1,012 (1,09)	0,117
$TFHT_{TYİ}$	15,3 ± 5,8 [12,2 – 18,4]	15,6 [6,3 – 25,7]	0,207 (0,564)	-0,933 (1,09)	0,668

Not: Ort ± SS: Ortalama ± Standart sapma; %95 GA: %95 güven aralığı; Med: Medyan; Min–Maks: Minimum–maksimum değerler; $TFHT_{1-5}$: TFHT'nin 1–5. setlerindeki toplam tekme sayısını; $TFHT_{5x10}$: beş set boyunca üretilen toplam tekme sayısı; $TFHT_{TYİ}$: tekme yorgunluk indeksi; Çarpıklık ve basıklık değerleri parantez içinde standart hataları (SE) ile birlikte sunuldu. p: Shapiro–Wilk normallik testi (p>0,05, normal dağılım varsayımının sağlandığını göstermektedir).

Tekrarlı ölçümler ANOVA için küresellik (sphericity) varsayımı Mauchly testi ile değerlendirildi ve küresellik varsayımının ihlal edilmediği belirlendi (W=0,399, p=0,199). Bu nedenle Greenhouse–Geisser veya Huynh–Feldt düzeltmesi uygulanmadan tekrarlı ölçümler ANOVA yürütüldü. Analiz sonuçlar, setler arasında tekme sayısı bakımından anlamlı bir fark olduğunu göstermektedir (F(4,60)=13,8, p<0,001, ηp^2=0,479). Kısmi eta kare değeri (ηp^2=0,479), set etkisinin büyük düzeyde olduğunu göstermektedir (Tablo 8).

Tablo 8. TFHT setlerine göre tekme sayısı için tekrarlı ölçümler ANOVA sonuçları (küresellik ve etki büyüklüğü)

Değişken	**Mauchly's W**	**P (W)**	**F(df)**	**p**	**EB (ηp^2)**
$TFHT_{1-5}$	0,399	0,199	13,8 (4,60)	**<0,001**	0,479 (büyük)

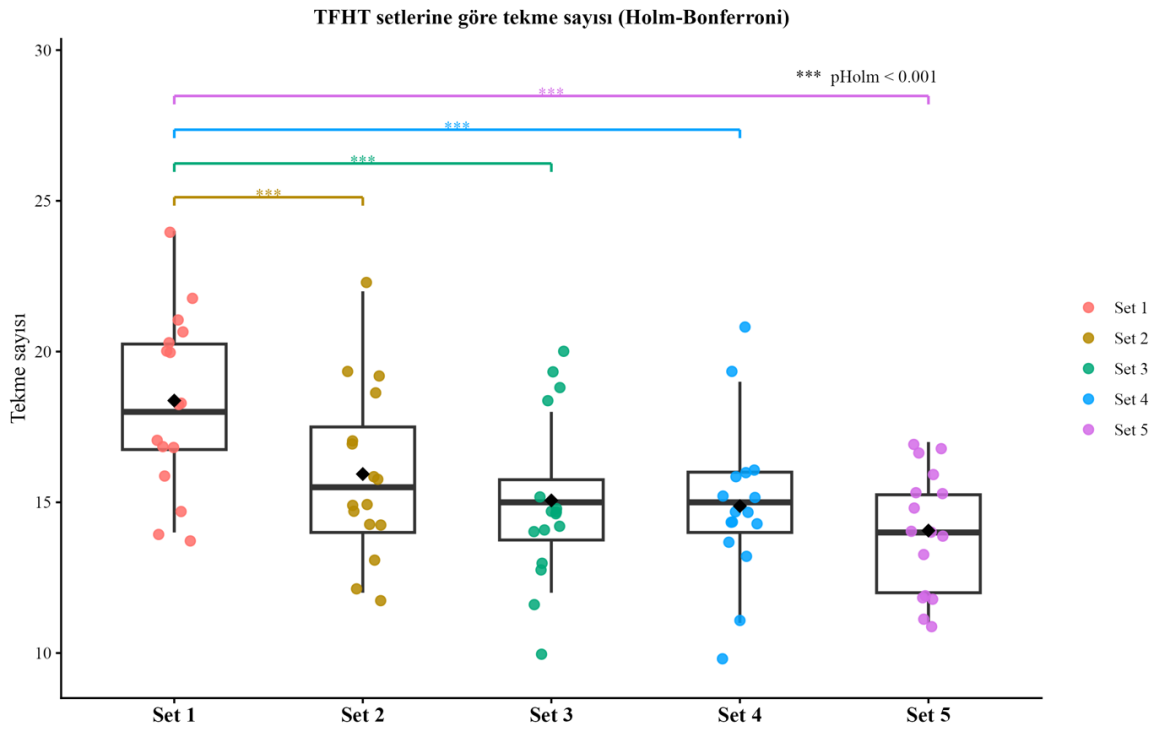
Not:Mauchly's W: sferistie varsayımının testi; P(W): Mauchly testi için anlamlılık düzeyi; F(df): F istatistiği ve serbestlik dereceleri; p:anlamlılık düzeyi; EB: Etki büyüklüğü (ηp^2).

Holm düzeltmeli ikili karşılaştırmalar Tablo 9'da sunulmaktadır. Buna göre $TFHT_1$'deki tekme sayısı, $TFHT_2$'ye (OF=2,4; p_{Holm}<0,001), $TFHT_3$'e (OF=3,3; p_{Holm}<0,001), $TFHT_4$'e (OF=3,5; p_{Holm}<0,001) ve $TFHT_5$'e (OF=4,3; p_{Holm}<0,001) göre anlamlı derecede daha yüksektir. Buna karşın $TFHT_2$ – $TFHT_5$ arasındaki ikili karşılaştırmalarda anlamlı fark saptanmamaktadır (p_{Holm}>0,05). Etki büyüklükleri incelendiğinde, $TFHT_1$'in diğer setlere üstünlüğünün Cohen's dz değerlerine göre büyük düzeydir (dz=1,29–1,54).

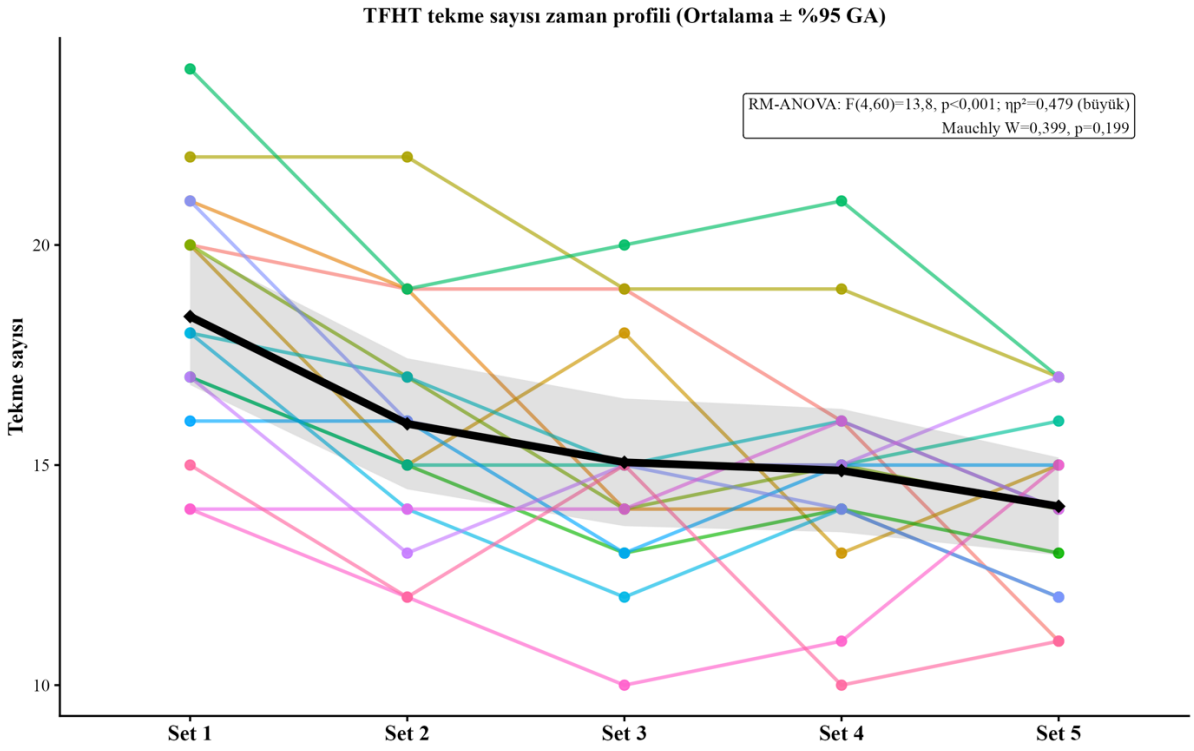
Tablo 9. TFHT setleri arasında Holm-Bonferroni düzeltmeli ikili karşılaştırmalar

Değişkenler	**Ortalama Fark [%95 GA]**	**t(15)**	**p_{Holm}**	**EB (Cohen's dz)**
$TFHT_1$ - $TFHT_2$	2,4 [1,5 – 3,4]	5,45	**<0,001**	1,36 (büyük)
$TFHT_1$ – $TFHT_3$	3,3 [2,2 – 4,5]	6,16	**<0,001**	1,54 (büyük)
$TFHT_1$ - $TFHT_4$	3,5 [2,2 – 4,8]	5,85	**<0,001**	1,46 (büyük)
$TFHT_1$ - $TFHT_5$	4,3 [2,5 – 6,1]	5,16	**<0,001**	1,29 (büyük)
$TFHT_2$ - $TFHT_3$	0,9 [-0,4 – 2,1]	1,52	0,599	0,38 (küçük)
$TFHT_2$ - $TFHT_4$	1,1 [0,0 – 2,1]	2,19	0,227	0,55 (orta)
$TFHT_2$ - $TFHT_5$	1,9 [0,2 – 3,6]	2,33	0,206	0,58 (orta)
$TFHT_3$ - $TFHT_4$	0,2 [-1,0 – 1,4]	0,33	0,744	0,08 (küçük)
$TFHT_3$ - $TFHT_5$	1,0 [-0,6 – 2,6]	1,34	0,599	0,34 (küçük)
$TFHT_4$ -$TFHT_5$	0,8 [-0,4 – 2,1]	1,39	0,599	0,35 (küçük)

Not: %95 GA: %95 güven aralığı; t: eşleştirilmiş örneklem t-testine ait t istatistiği ve serbestlik derecesi; p_{Holm}: Holm-Bonferroni düzeltmesi uygulanmış p değeri; EB: Etki büyüklüğü (Cohen's dz); $TFHT_{1-5}$: TFHT'nin 1–5. setlerindeki toplam tekme sayısı.



Şekil 18. TFHT setlerine göre atılan tekme sayısı



Şekil 19. TFHT boyunca atılan tekme sayısının setlere göre zaman profili

6.3. $TFHT_{5x10}$ Protokolü Boyunca Tekme Darbe İvmesindeki Değişimler

Tablo 10'da TFHT setlerine göre darbe ivmesi değişkenlerinin tanımlayıcı istatistikleri ve normallik sonuçları sunulmaktadır. $TFHT_1^{ivme}$ 3,33±0,13 iken $TFHT_2^{ivme}$ 2,97±0,09 olarak görülmektedir. $TFHT_3^{ivme}$ 4,08±0,18 düzeyine yükseldi, $TFHT_4^{ivme}$ 4,33±0,12 ile en yüksek ortalamaya ulaştı ve $TFHT_5^{ivme}$ 3,91±0,12 olarak saptandı.

Normallik varsayımı Shapiro–Wilk testi ile değerlendirildiğinde $TFHT_1^{ivme}$ ve $TFHT_2^{ivme}$ düzeylerinde normallikten anlamlı sapma görülmedi (sırasıyla p=0,205 ve p=0,071). Buna karşın $TFHT_3^{ivme}$, $TFHT_4^{ivme}$ ve $TFHT_5^{ivme}$ düzeylerinde normallikten anlamlı sapma görülmektedir (sırasıyla p=0,028; p=0,002; p=0,003). Bu nedenle setler arasındaki farkın incelenmesinde parametrik olmayan yaklaşım tercih edildi ve izleyen analizlerde Friedman testi ile Wilcoxon işaretli sıralar testleri (Holm–Bonferroni düzeltmeli) kullanıldı.

Tablo 10. Darbe ivme değişkenlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve normallik sonuçları

Değişkenler	Ort ± SS [%95 GA]	Med [Min – Maks]	Çarpıklık (SE)	Basıklık (SE)	p
$TFHT_1^{ivme}$	3,33 ± 0,13 [3,26 – 3,40]	3,36 [3,03 – 3,59]	-0,394 (0,564)	1,190 (1,09)	0,205
$TFHT_2^{ivme}$	2,97 ± 0,09 [2,92 – 3,01]	2,98 [2,81 – 3,13]	0,146 (0,564)	0,549 (1,09)	0,071
$TFHT_3^{ivme}$	4,08 ± 0,18 [3,99 – 4,18]	4,06 [3,85 – 4,44]	0,741 (0,564)	0,693 (1,09)	**0,028**
$TFHT_4^{ivme}$	4,33 ± 0,12 [4,27 – 4,39]	4,29 [4,19 – 4,62]	1,322 (0,564)	1,505 (1,09)	**0,002**
$TFHT_5^{ivme}$	3,91 ± 0,12 [3,84 – 3,97]	3,92 [3,78 – 4,08]	0,372 (0,564)	-1,266 (1,09)	**0,003**

Not: Ort ± SS: Ortalama ± Standart sapma; %95 GA: %95 güven aralığı; Med: Medyan; Min–Maks: Minimum–maksimum değerler; $TFHT_{1\text{-}5}^{ivme}$: 1-5. Setlerindeki ortalama darbe ivme değerleri; Çarpıklık ve basıklık değerleri parantez içinde standart hataları (SE) ile birlikte sunuldu; p: Shapiro–Wilk normallik testi (p>0,05, normal dağılım varsayımının sağlandığını göstermektedir).

Tekme darbe ivmesinin setlere göre değişimi parametrik olmayan Friedman testi ile değerlendirildi. Analiz sonuçları, darbe ivmesi değerlerinin zaman (set) düzeyleri arasında anlamlı biçimde farklılaştığını göstermektedir ($\chi^2(4)=61,1$; $p<0,001$) (Tablo 11). Etki büyüklüğü Kendall's W=0,955 olarak hesaplanmış olup, bu değer set (zaman) faktörünün darbe ivmesi üzerinde büyük düzeyde bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Tablo 11).

Tablo 11. Tekme darbe ivme değişkeninin zamana göre değişiminin Friedman testi sonuçları

Değişken	X^2	df	P	EB (Kendall's W)
$TFHT_{1\text{-}5}^{ivme}$	61,1	4	**<0,001**	0,955 (büyük)

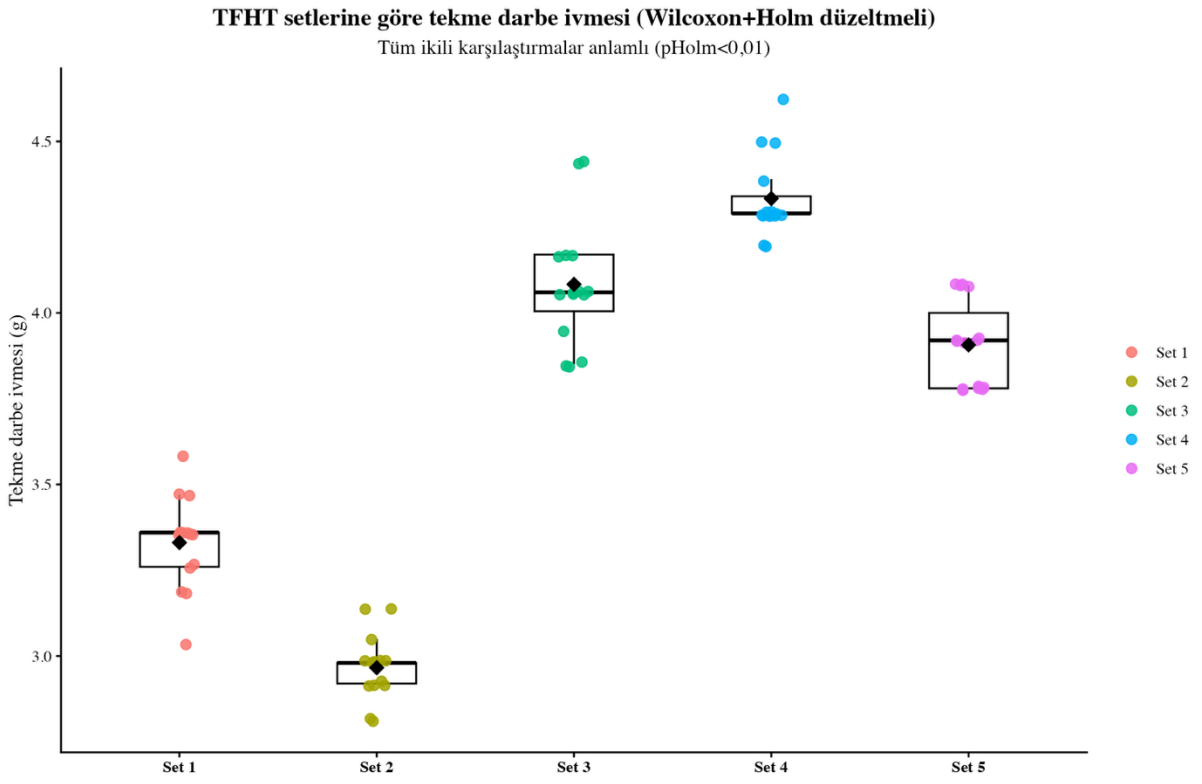
Not: X^2: Friedman ki-kare değeri; df: serbestlik derecesi; p: p<0,05 istatistiksel anlamlılığı göstermektedir; EB: etki büyüklüğü (Kendall's W).

Anlamlı ana etkinin kaynağını incelemek amacıyla ikili karşılaştırmalar Wilcoxon işaretli sıralar testi ile yürütüldü ve çoklu karşılaştırmalarda Holm–Bonferroni düzeltmesi uygulandı (Tablo 12). Holm düzeltmesi sonrasında setler arasındaki tüm ikili karşılaştırmalar anlamlılığını korumaktadır (p_{Holm}=0,004). Karşılaştırmaların yönü incelendiğinde $TFHT_2^{ivme}$ $TFHT_1^{ivme}$'e göre daha düşük olduğu görülmektedir. $TFHT_3^{ivme}$ ve $TFHT_4^{ivme}$ değerleri $TFHT_1^{ivme}$ ve $TFHT_2^{ivme}$'ye kıyasla daha yüksek düzeydedir. $TFHT_5^{ivme}$, $TFHT_3^{ivme}$ ve $TFHT_4^{ivme}$'e göre daha düşük; buna karşın $TFHT_1^{ivme}$ ve $TFHT_2^{ivme}$ göre daha yüksek ivme değerleri vermektedir. Etki büyüklükleri sıra-biseriyel korelasyon katsayısı ile raporlandı ve tüm karşılaştırmalar için büyük düzeyde etki gözlenmektedir (|EB|≥0,85) (Tablo 12). Bu bulgular, darbe ivmesinin setler boyunca anlamlı biçimde değiştiğini ve değişimin yönünün $TFHT_2^{ivme}$'de düşüş, $TFHT_3^{ivme}$ – $TFHT_4^{ivme}$'te artış ve $TFHT_5^{ivme}$'te kısmi gerileme şeklinde bir desen izlediğini göstermektedir.

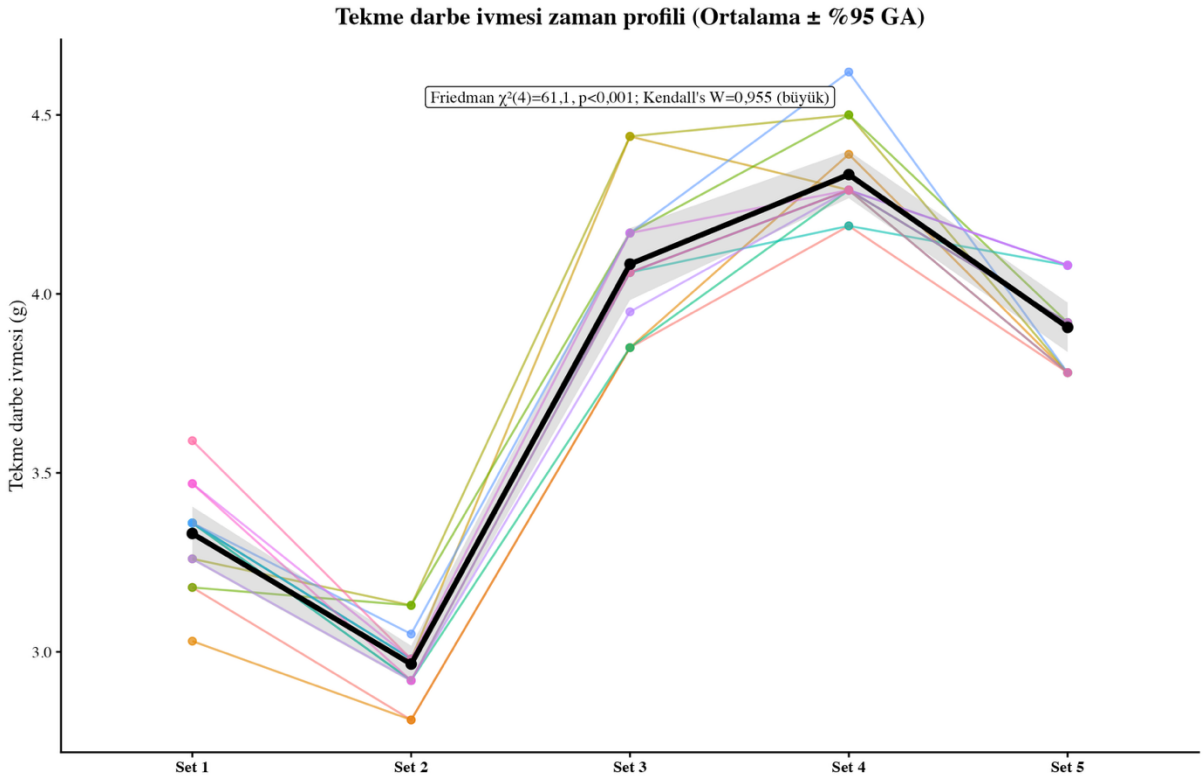
Tablo 12. TFHT setleri sırasında tekme darbe ivmesi için Holm-Bonferroni düzeltmeli Wilcoxon ikili karşılaştırmaları

Değişkenler	**Ortalama Fark [%95 GA]**	**p**	**p_{Holm}**	**EB (skk)**
$TFHT_1^{ivme}$ - $TFHT_2^{ivme}$	0,36 [0,29 – 0,44]	<0,001	**0,004**	1,00 (büyük)
$TFHT^1_{ivme}$ - $TFHT_3^{ivme}$	-0,75 [-0,85 – -0,65]	<0,001	**0,004**	-1,00 (büyük)
$TFHT_1^{ivme}$ - $TFHT_4^{ivme}$	-1,00 [-1,11 – -0,90]	<0,001	**0,004**	-1,00 (büyük)
$TFHT_1^{ivme}$ - $TFHT_5^{ivme}$	-0,58 [-0,66 – -0,49]	<0,001	**0,004**	-1,00 (büyük)
$TFHT_2^{ivme}$ - $TFHT_3^{ivme}$	-1,12 [-1,18 – -1,05]	<0,001	**0,004**	-1,00 (büyük)
$TFHT_2^{ivme}$ - $TFHT_4^{ivme}$	-1,37 [-1,41 – -1,32]	<0,001	**0,004**	-1,00 (büyük)
$TFHT_2^{ivme}$ - $TFHT_5^{ivme}$	-0,94 [-1,02 – -0,86]	<0,001	**0,004**	-1,00 (büyük)
$TFHT_3^{ivme}$ - $TFHT_4^{ivme}$	-0,25 [-0,34 – -0,16]	<0,001	**0,004**	-0,94 (büyük)
$TFHT_3^{ivme}$ - $TFHT_5^{ivme}$	0,18 [0,07 – 0,29]	0,003	**0,004**	0,85 (büyük)
$TFHT_4^{ivme}$ - $TFHT_5^{ivme}$	0,43 [0,32 – 0,53]	<0,001	**0,004**	1,00 (büyük)

Not: %95 GA: %95 güven aralığı; p: Wilcoxon işaretli sıralar testi ile elde edilen p değerleri; p_{Holm}: çoklu karşılaştırmlar için Holm-Bonferroni düzeltmesi uygulanmış p değerleri; EB (skk): Etki büyüklüğü (sıra-biseriyel korelasyon katsayısı); $TFHT_{1\text{-}5}^{ivme}$: TFHT'nin 1–5. Setlerindeki tekme darbe ivmeleri.



Şekil 20. TFHT setlerine göre tekme darbe ivmesi



Şekil 21. TFHT boyunca atılan tekme darbe ivmesinin setlere göre zaman profili

6.4. $TFHT_{5x10}$ Protokolü Boyunca Algılanan Zorluk Derecesindeki Değişimler

TFHT sırasında setlere göre AZD puanlarının tanımlayıcı istatistikleri Tablo 13'de sunulmaktadır. Ortalama AZD puanı $TFHT_1^{AZD}$'de 2,3±0,9 iken $TFHT_2^{AZD}$'de 3,8±1,0, $TFHT_3^{AZD}$'te 5,3±0,9, $TFHT_4^{AZD}$'te 6,6±1,0 ve $TFHT_5^{AZD}$'te 8,0±0,8 olarak düzeyindedir. Medyan değerler de benzer biçimde $TFHT_1^{AZD}$'de 2 iken $TFHT_5^{AZD}$'te 8'e yükselmektedir.

Normallik varsayımı Shapiro–Wilk testi ile değerlendirildiğinde $TFHT_1^{AZD}$ (p=0,020), $TFHT_2^{AZD}$ (p=0,006), $TFHT_3^{AZD}$ (p=0,044) ve $TFHT_5^{AZD}$ (p=0,004) düzeylerinde normallikten anlamlı sapma olduğu görülmektedir. Bu nedenle setler arasındaki fark parametrik olmayan Friedman testi ile değerlendirildi.

Tablo 13. TFHT sırasında setlere göre AZD puanlarının tanımlayıcı istatistikleri ve normallik sonuçları

Değişkenler	Ort ± SS [%95 GA]	Med [Min – Maks]	Çarpıklık (SE)	Basıklık (SE)	p
$TFHT_1^{AZD}$	2,3 ± 0,9 [1,8 – 2,8]	2 [1 – 4]	0,567 (0,564)	-0,119 (1,09)	**0,020**
$TFHT_2^{AZD}$	3,8 ± 1 [3,3 – 4,3]	4 [2 – 6]	-0,062 (0,564)	1,384 (1,09)	**0,006**
$TFHT_3^{AZD}$	5,3 ± 0,9 [4,8 – 5,7]	5 [4 – 7]	0,182 (0,564)	-0,316 (1,09)	**0,044**
$TFHT_4^{AZD}$	6,6 ± 1 [6,1 – 7,1]	7 [5 – 8]	-0,147 (0,564)	-0,679 (1,09)	0,065
$TFHT_5^{AZD}$	8,0 ± 0,8 [7,6 – 8,4]	8 [7 – 9]	0,000 (0,564)	-1,467 (1,09)	**0,004**

Not: Ort ± SS: Ortalama ± Standart sapma; %95 GA: %95 güven aralığı; Med: Medyan; Min–Maks: Minimum–maksimum değerler; $TFHT_{1-5}^{AZD}$: TFHT'nin 1–5. setlerindeki algılanan zorluk derecesi; Çarpıklık ve basıklık değerleri parantez içinde standart hataları (SE) ile birlikte sunuldu; p: Shapiro–Wilk normallik testi (p>0,05, normal dağılım varsayımının sağlandığını göstermektedir).

Friedman testi sonuçları, AZD puanlarının setler arasında anlamlı biçimde değiştiğini göstermektedir ($\chi^2(4)=63,4$, p<0,001; Kendall's W=0,991) (Tablo 14). Hesaplanan Kendall's W değeri, set etkisinin büyük düzeyde olduğunu işaret etmektedir.

Tablo 14. TFHT sırasında setlere göre AZD puanlarının Friedman testi sonuçları

Değişken	X^2	df	P	EB (Kendall's W)
$TFHT_{1-5}^{AZD}$	63,4	4	**<0,001**	0,991 (büyük)

Not: X^2: Friedman ki-kare değeri; df: serbestlik derecesi; ; p: p<0,05 istatistiksel anlamlılığı göstermektedir; EB: etki büyüklüğü (Kendall's W).

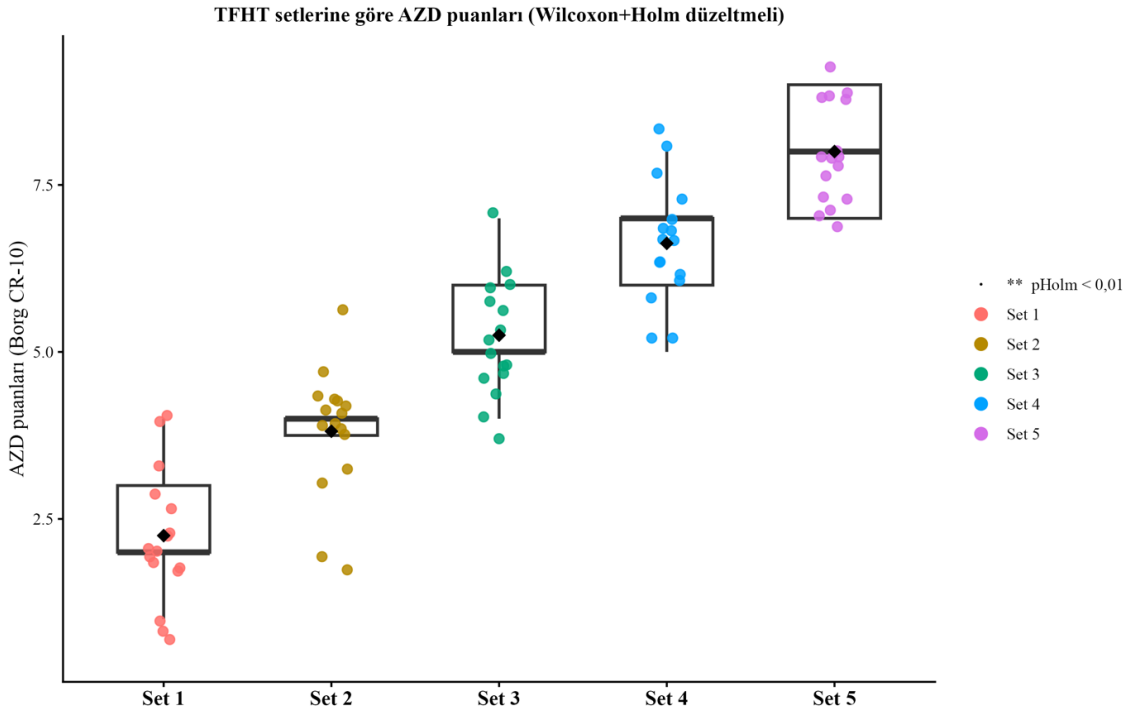
Anlamlı ana etkinin kaynağını belirlemek amacıyla ikili karşılaştırmalar Wilcoxon işaretli sıralar testi ile yapıldı ve çoklu karşılaştırmalarda Holm–Bonferroni düzeltmesi uygulandı

(Tablo 15). Holm düzeltmesi sonrasında tüm ikili karşılaştırmaların anlamlı kaldığı saptandı (p_{Holm}=0,003). İkili karşılaştırmalarda ortalama farkların tümünde negatif yönde olması, AZD puanlarının sonraki setlerde sistematik olarak daha yüksek olduğunu göstermektedir. Etki büyüklükleri sıra-biseriyel korelasyon katsayısı ile raporlandı ve tüm karşılaştırmalar için r=-1,00 olarak bulundu (Tablo 15).

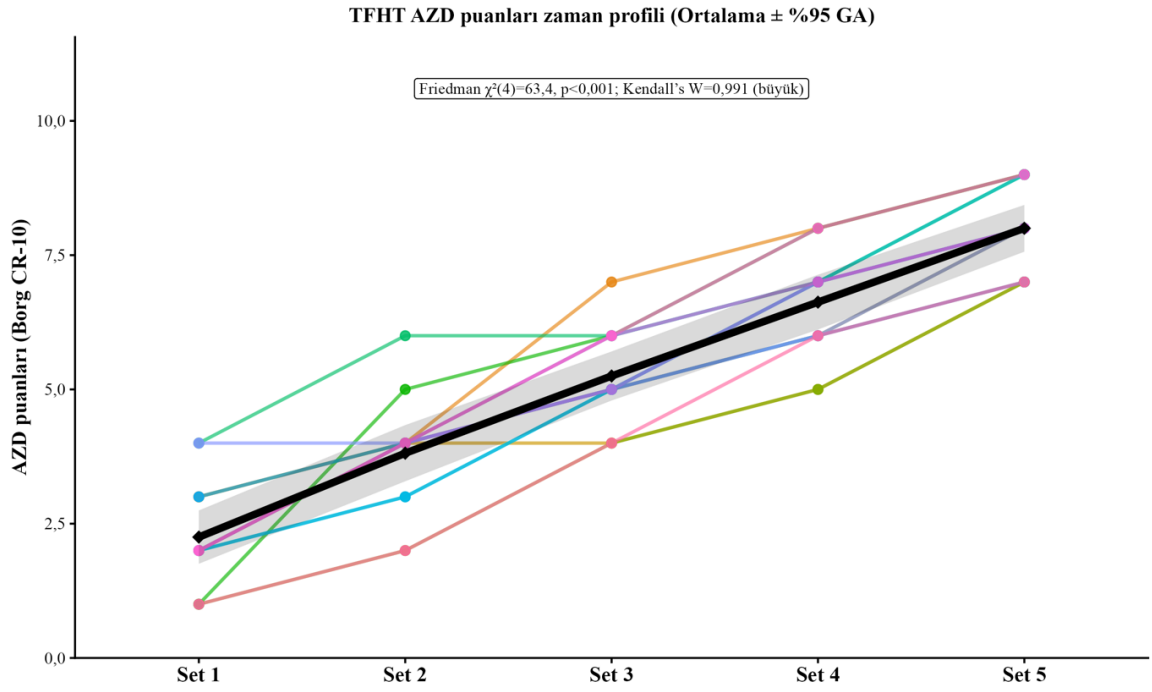
Tablo 15. TFHT setleri arasında AZD puanları için Holm-Bonferroni düzeltmeli Wilcoxon ikili karşılaştırmaları

Değişkenler	**Ortalama Fark [%95 GA]**	**p**	**p_{Holm}**	**EB (skk)**
$TFHT_1^{AZD}$ - $TFHT_2^{AZD}$	-1,5 [-2,0 – -1,0]	<0,001	**0,003**	-1,00 (büyük)
$TFHT_1^{AZD}$ - $TFHT_3^{AZD}$	-3,0 [-3,5 – -2,5]	<0,001	**0,003**	-1,00 (büyük)
$TFHT_1^{AZD}$ - $TFHT_4^{AZD}$	-4,5 [-5,0 – -3,5]	<0,001	**0,003**	-1,00 (büyük)
$TFHT_1^{AZD}$ - $TFHT_5^{AZD}$	-6,0 [-6,5 – -5,0]	<0,001	**0,003**	-1,00 (büyük)
$TFHT_2^{AZD}$ - $TFHT_3^{AZD}$	-1,5 [-2,0 – -1,5]	<0,001	**0,003**	-1,00 (büyük)
$TFHT_2^{AZD}$ - $TFHT_4^{AZD}$	-3,0 [-3,5 – -2,0]	<0,001	**0,003**	-1,00 (büyük)
$TFHT_2^{AZD}$ - $TFHT_5^{AZD}$	-4,0 [-4,5 – -3,5]	<0,001	**0,003**	-1,00 (büyük)
$TFHT_3^{AZD}$ - $TFHT_4^{AZD}$	-1,5 [-1,5 – -1,0]	<0,001	**0,003**	-1,00 (büyük)
$TFHT_3^{AZD}$ - $TFHT_5^{AZD}$	-3,0 [-3,0 – -2,5]	<0,001	**0,003**	-1,00 (büyük)
$TFHT_4^{AZD}$ - $TFHT_5^{AZD}$	-1,5 [-1,5 – -1,0]	<0,001	**0,003**	-1,00 (büyük)

Not: %95 GA: %95 güven aralığı; p: Wilcoxon işaretli sıralar testi ile elde edilen p değerleri; p_{Holm}: çoklu karşılaştırmlar için Holm-Bonferroni düzeltmesi uygulanmış p değerleri; EB (skk): Etki büyüklüğü (sıra-biseriyel korelasyon katsayısı); $TFHT_{1\text{-}5}^{AZD}$: TFHT'nin 1–5. setlerindeki algılanan zorluk derecesi.



Şekil 22. TFHT setlerine göre algılanan zorluk derecesi (AZD; Borg CR-10) puanları



Şekil 23. TFHT boyunca AZD puanlarının setlere göre zaman profili

6.5. $TFHT_{5x10}$ Protokolü Boyunca ve Sonrasında Kan Laktat Seviyesindeki Değişimler

TFHT sırasında laktat ölçümlerinin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 16'da sunulmaktadır. Dinlenik laktat düzeyi 1,3±0,6 mmol/l iken, test bitiminde (0. dk) 10,9±3,4 mmol/l düzeyine yükselmektedir. Toparlanmanın 3. dakikasında laktat 11,7±3,0 mmol/l, 5. dakikada ise 11,3±2,6 mmol/l düzeyindedir.

Normallik varsayımı Shapiro–Wilk testi ile değerlendirildiğinde dinlenik ölçümde normallikten anlamlı sapma görülmektedir (p=0,002); 0., 3. ve 5. dakikalardaki ölçümlerde ise normallik varsayımı sağlanmaktadır (p>0,05) (Tablo 16). Bu nedenle zaman noktaları arasındaki farkın değerlendirilmesinde parametrik olmayan yöntemler kullanılmakta, izleyen analizlerde Friedman testi ve Wilcoxon işaretli sıralar testleri (Holm–Bonferroni düzeltmeli) gerçekleştirildi.

Tablo 16. TFHT öncesi ve sonrasında kan laktat seviyelerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve normallik sonuçları

Değişkenler	Ort ± SS [%95 GA]	Med [Min – Maks]	Çarpıklık (SE)	Basıklık (SE)	p
$TFHT_{Din}^{KLS}$	1,3 ± 0,6 [1 – 1,6]	1,1 [0,7 – 2,6]	1,489 (0,564)	1,173 (1,09)	**0,002**
$TFHT_0^{0KLS}$	10,9 ± 3,4 [9,1 – 12,7]	11 [5,9 – 17]	0,104 (0,564)	-1,291 (1,09)	0,264
$TFHT_3^{KLS}$	11,7 ± 3 [10 – 13,3]	10,8 [7,9 – 19,5]	1,291 (0,564)	1,711 (1,09)	0,077
$TFHT_5^{KLS}$	11,3 ± 2,6 [9,9 – 12,7]	11,1 [6,4 – 15,6]	-0,220 (0,564)	-0,857 (1,09)	0,709

Not: Ort ± SS: Ortalama ± Standart sapma; %95 GA: %95 güven aralığı; Med: Medyan; Min–Maks: Minimum–maksimum değerler; $TFHT_{Din}^{KLS}$: TFHT öncesi kan laktat seviyesi; $TFHT_0^{KLS}$: TFHT bitimindeki (0. dk) kan laktat seviyesi; $TFHT_3^{KLS}$: toparlanmanın 3. dk'sındaki kan laktat seviyesi; $TFHT_5^{KLS}$: toparlanmanın 5. dk'sındaki kan laktat seviyesi; Çarpıklık ve basıklık değerleri parantez içinde standart hataları (SE) ile birlikte sunuldu; p: Shapiro–Wilk normallik testi (p>0,05, normal dağılım varsayımının sağlandığını göstermektedir).

TFHT öncesi, test bitimi ve toparlanma sürecindeki zaman noktalarına göre laktat düzeylerindeki değişim parametrik olmayan Friedman testi ile değerlendirildi. Sonuçlar, laktat seviyelerinin ölçüm zamanları arasında anlamlı biçimde değiştiğini göstermektedir ($\chi^2(3)=29,0$, p<0,001) (Tablo 17). Etki büyüklüğü Kendall's W=0,604 düzeyinde ve bu değer zaman faktörünün laktat seviyeleri üzerinde büyük etkiye sahip olduğunu işaret etmektedir.

Tablo 17. TFHT öncesi ve sonra kan laktat seviyelerinin zamana göre değişiminin Friedman testi sonuçları

Değişken	X^2	df	P	EB (Kendall's W)
$TFHT^{KLS}$	29,0	3	**<0,001**	0,604 (büyük)

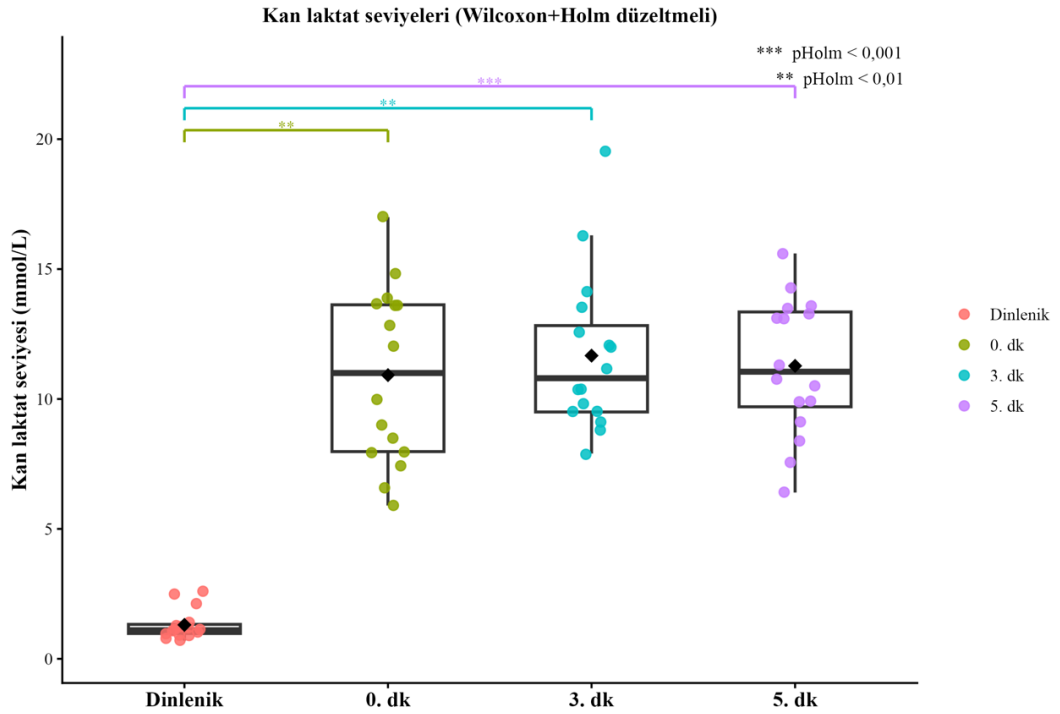
Not: X^2: Friedman ki-kare değeri; df: serbestlik derecesi; p: p<0,05 istatistiksel anlamlılığı göstermektedir; EB: etki büyüklüğü (Kendall's W).

Friedman testinde saptanan anlamlı farkın kaynağını incelemek amacıyla ikili karşılaştırmalar Wilcoxon işaretli sıralar testi ile yapıldı. Çoklu karşılaştırmalarda Holm–Bonferroni düzeltmesi uygulandı (Tablo 18). Holm düzeltmesi sonrasında dinlenik laktat seviyesinin test bitimi (0. dk), 3. dakika ve 5. dakika ölçümlerine göre anlamlı derecede düşük olduğu saptandı (sırasıyla p_{Holm}<0,001; p_{Holm}=0,003; p_{Holm}=0,003). Dinlenik ölçüm ile diğer zaman noktaları arasındaki farkların büyüklüğü yüksek olup, etki büyüklüğü tüm bu karşılaştırmalarda maksimum düzeyde bulunmuştur (EB=-1,00). Buna karşılık, test bitimi ile 3. dakika (p_{Holm}=1,00), test bitimi ile 5. dakika (p_{Holm}=1,00) ve 3. dakika ile 5. dakika (p_{Holm}=1,00) ölçümleri arasında anlamlı fark saptanmamaktadır.

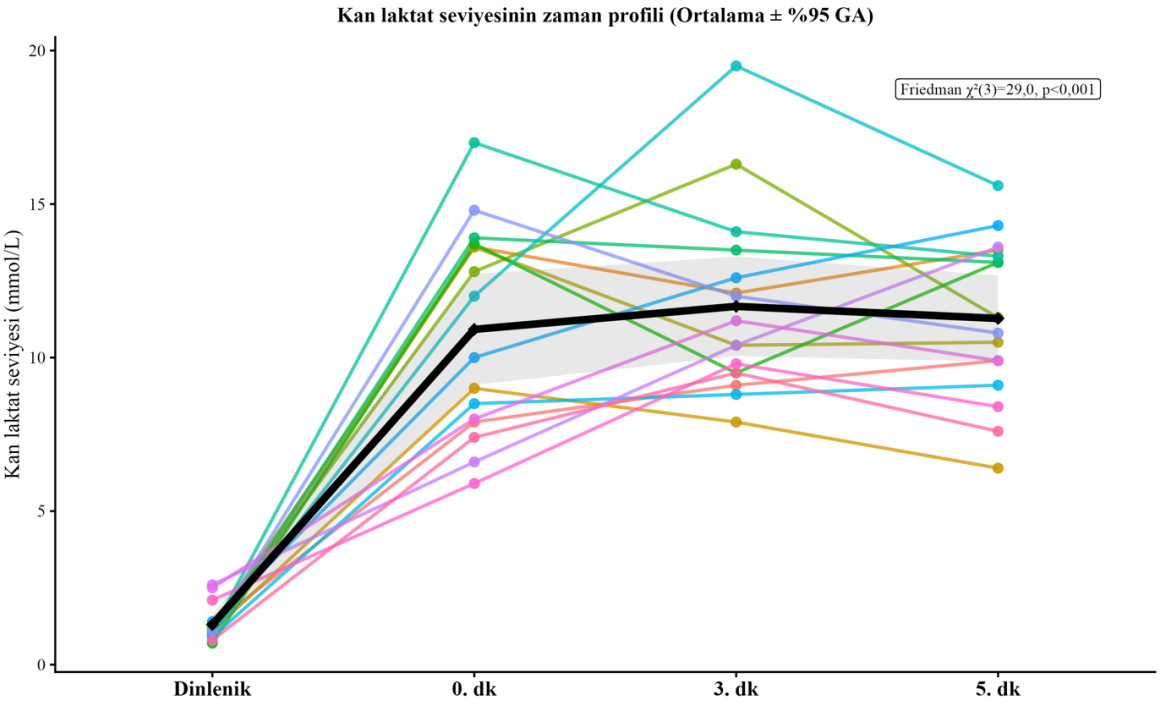
Tablo 18. TFHT kan laktat seviyeleri için Holm-Bonferroni düzeltmeli Wilcoxon ikili karşılaştırmaları

Değişkenler	Ortalama Fark [%95 GA]	P	p_{Holm}	EB (skk)
$TFHT_{Din}^{KLS}$ - $TFHT_0^{0KLS}$	-9,7 [-12,0 – -7,5]	<0,001	**<0,001**	-1,00 (büyük)
$TFHT_{Din}^{KLS}$ - $TFHT_3^{KLS}$	-10,0 [-11,9 – -8,3]	<0,001	**0,003**	-1,00 (büyük)
$TFHT_{Din}^{KLS}$ - $TFHT_5^{KLS}$	-9,9 [-11,6 – -8,4]	<0,001	**0,003**	-1,00 (büyük)
$TFHT_0^{0KLS}$ - $TFHT_3^{KLS}$	-0,5 [-2,7 – 1,1]	0,438	1	-0,23 (küçük)
$TFHT_0^{0KLS}$ - $TFHT_5^{KLS}$	-0,2 [-2,0 – 1,5]	0,836	1	-0,7 (büyük)
$TFHT_3^{KLS}$ - $TFHT_5^{KLS}$	0,4 [-0,9 – 1,6]	0,501	1	0,2 (küçük)

Not: %95 GA: %95 güven aralığı; p: Wilcoxon işaretli sıralar testi ile elde edilen p değerleri; p_{Holm}: çoklu karşılaştırmlar için Holm-Bonferroni düzeltmesi uygulanmış p değerleri; EB (skk): etki büyüklüğü (sıra-biseriyel korelasyon katsayısı); $TFHT_{Din}^{KLS}$: TFHT öncesi kan laktat seviyesi; $TFHT_0^{KLS}$: TFHT bitimindeki (0. dk) kan laktat seviyesi; $TFHT_3^{KLS}$: toparlanmanın 3. dk'sındaki kan laktat seviyesi; $TFHT_5^{KLS}$: toparlanmanın 5. dk'sındaki kan laktat seviyesi.



Şekil 24. TFHT öncesinde (dinlenik) ve toparlanma dönemlerinde ölçülen kan laktat seviyeleri



Şekil 25. Kan laktat seviyesinin zaman profili

6.6. TFHT$_{5x10}$ Protokolü Boyunca ve Sonrasında Kalp Atım Hızındaki Değişimler

Kalp atım hızı değişkenlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 19'da sunulmaktadır. Dinlenik kalp atım hızı 74,8±4,48 atım/dk düzeyindedir. Setler boyunca kalp atım hızında artış eğilimi görülmektedir; $TFHT_1^{KAH}$ 158,6±12,0 atım/dk iken $TFHT_2^{KAH}$ 170,3±10,9, $TFHT_3^{KAH}$ 178,4±9,6, $TFHT_4^{KAH}$ 184,1±7,0 ve $TFHT_5^{KAH}$ 188,7±5,6 atım/dk düzeyine ulaşmaktadır. Medyan değerler de benzer biçimde $TFHT_1^{KAH}$ 154,5 iken $TFHT_5^{KAH}$ 190,0'a yükselmektedir (Tablo 19). Toparlanma ölçümlerinde kalp atım hızı $TFHT^{KAH3}$ sonrası 132,2±18,9 atım/dk ve $TFHT^{KAH5}$ sonrası 117,8±18,2 atım/dk düzeyindedir.

Normallik varsayımı Shapiro–Wilk testi ile değerlendirildiğinde KAH_{Din} (p=0,714), $TFHT_1^{KAH}$ (p=0,085), $TFHT_2^{KAH}$ (p=0,162), $TFHT_3^{KAH}$ (p=0,606), $TFHT_4^{KAH}$ (p=0,088), $TFHT^{KAH3}$ (p=0,129) ve $TFHT^{KAH5}$ (p=0,736) değişkenlerinde test sonucu anlamlı değildir (p>0,05). $TFHT^5_{KAH}$ değişkeninde Shapiro–Wilk testi anlamlıdır (p=0,018) ve bu değişkende normallik varsayımı sağlanmamaktadır (Tablo 19). Bu nedenle zaman noktaları arasındaki farkın değerlendirilmesinde parametrik olmayan yöntemler kullanılmakta, izleyen analizlerde Friedman testi ve Wilcoxon işaretli sıralar testleri (Holm–Bonferroni düzeltmeli) gerçekleştirildi.

Tablo 19. Kalp atım hızı değişkenlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve normallik sonuçları

Değişkenler	Ort ± SS [%95 GA]	Med [Min – Maks]	Çarpıklık (SE)	Basıklık (SE)	p
KAH_{Din}	74,8 ± 4,5 [72,4 – 77,2]	75,0 [67 – 82]	-0,201 (0,564)	-0,937 (1,09)	0,714
$TFHT_1^{KAH}$	158,6 ± 12,0 [152,2 – 165,0]	154,5 [142 – 180]	0,535 (0,564)	-1,177 (1,09)	0,085
$TFHT_2^{KAH}$	170,3 ± 10,9 [164,4 – 176,1]	171,5 [152 – 185]	-0,281 (0,564)	-1,292 (1,09)	0,162
$TFHT_3^{KAH}$	178,4 ± 9,6 [173,3 – 183,5]	179,5 [160 – 194]	-0,519 (0,564)	-0,215 (1,09)	0,606
$TFHT_4^{KAH}$	184,1 ± 7,0 [180,3 – 187,8]	185,5 [167 – 194]	-1,206 (0,564)	1,553 (1,09)	0,088
$TFHT_5^{KAH}$	188,7 ± 5,6 [185,7 – 191,7]	190,0 [175 – 195]	-1,378 (0,564)	1,732 (1,09)	**0,018**
$TFHT^{KAH3}$	132,2 ± 18,9 [122,1 – 142,2]	128,0 [110 – 168]	0,731 (0,564)	-0,504 (1,09)	0,129
$TFHT^{KAH5}$	117,8 ± 18,2 [108,1 – 127,5]	115,0 [87 – 153]	0,450 (0,564)	-0,320 (1,09)	0,736

Not: Ort ± SS: Ortalama ± Standart sapma; %95 GA: %95 güven aralığı; Med: Medyan; Min–Maks: Minimum–maksimum değerler; KAH_{Din}: Dinlenik kalp atım hızı; $TFHT_{1\text{-}5}^{KAH}$: 1-5. Set sonlarındaki kalp atım hızları; $TFHT^{KAH3}$: test bittikten 3 dk sonraki kalp atım hızı; $TFHT^{KAH5}$: test bittikten 5 dk sonraki kalp atım hızı; p: Shapiro–Wilk normallik testi (p > 0,05, normal dağılım varsayımının sağlandığını göstermektedir); Çarpıklık ve basıklık değerleri parantez içinde standart hataları (SE) ile birlikte sunuldu; p: Shapiro–Wilk normallik testi (p>0,05, normal dağılım varsayımının sağlandığını göstermektedir).

Friedman testi sonuçları, kalp atım hızı ölçümlerinin zaman/koşul düzeyleri arasında anlamlı biçimde değiştiğini göstermektedir ($\chi^2(7)=109$, $p<0,001$). Etki büyüklüğü Kendall's W 0,973 düzeyindedir ve bu değer zaman/koşul etkisinin büyük olduğunu işaret etmektedir (Tablo 20).

Tablo 20. Kalp atım hızı değişkeninin zamana göre değişiminin Friedman testi sonuçları

Değişken	**X^2**	**df**	**P**	**EB (Kendall's W)**
$TFHT^{KAH}$	109	7	**<0,001**	0,973 (büyük)

Not: X^2: Friedman ki-kare değeri; df: serbestlik derecesi; p: p<0,05 istatistiksel anlamlılığı göstermektedir; EB: etki büyüklüğü (Kendall's W).

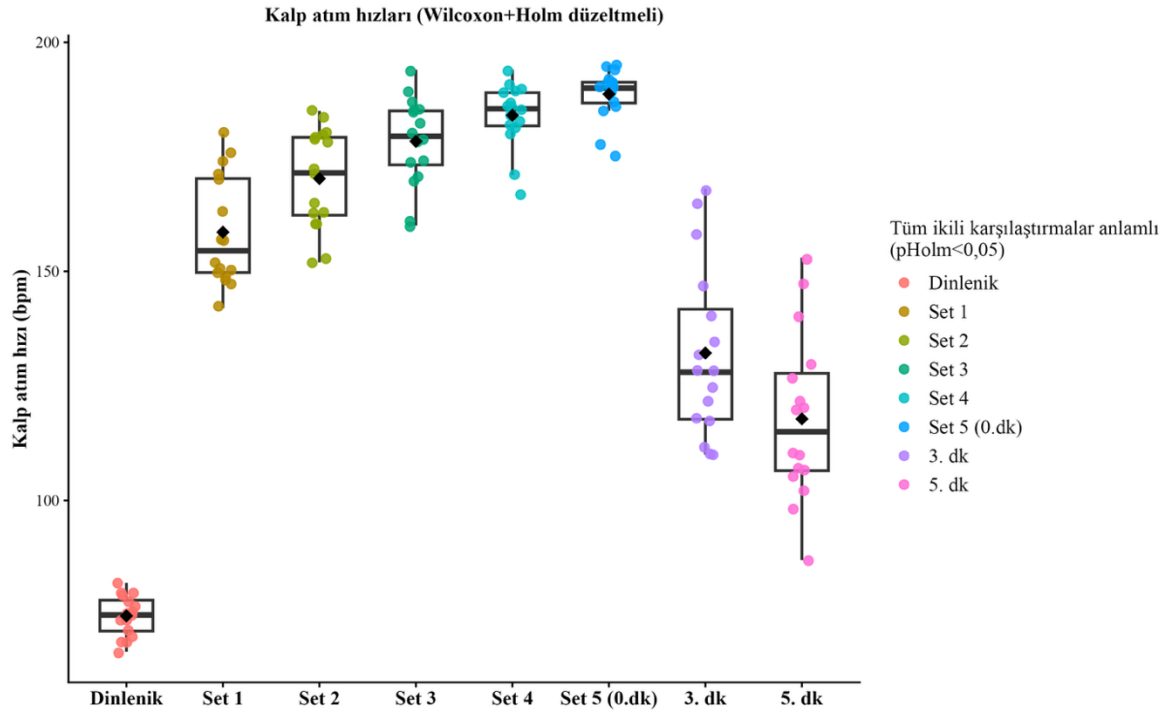
Friedman testinde görülen anlamlı farkın kaynağını incelemek amacıyla ikili karşılaştırmalar Wilcoxon işaretli sıralar testi ile yapıldı. Çoklu karşılaştırmalarda Holm–Bonferroni düzeltmesi uygulandı (Tablo 21). Holm düzeltmesi sonrasında tüm ikili karşılaştırmalar anlamlılığını korumaktadır ($p_{Holm}\leq0,013$). Ortalama farkların negatif yönde olması, ikinci ölçümün ilk ölçüme göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Etki büyüklükleri sıra-biseriyel korelasyon katsayısı ile raporlandı ve karşılaştırmalara göre -1,00 ile 1,00 aralığında değişmektedir (Tablo 21).

Tablo 21. Kalp atım hızı değişkenleri için Holm-Bonferroni düzeltmeli Wilcoxon ikili karşılaştırmaları

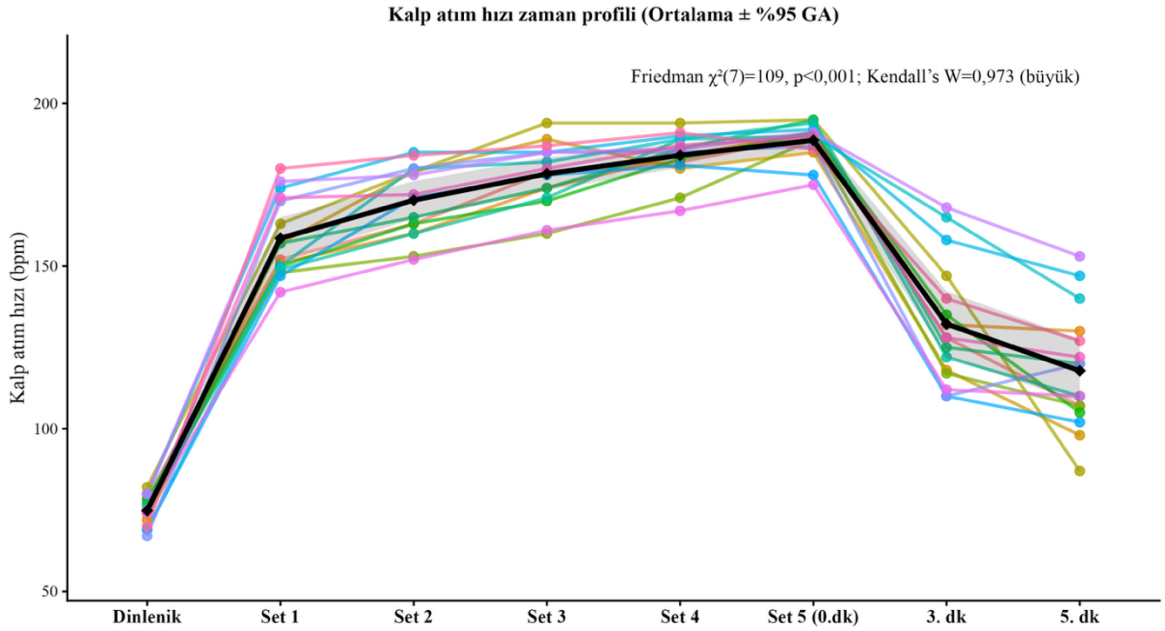
Değişkenler	**Ortalama Fark [%95 GA]**	**p**	**p_{Holm}**	**EB (skk)**
KAH_{Din} - $TFHT_1^{KAH}$	-83,0 [-91,0 – -76,0]	<0,001	**0,013**	-1,00 (büyük)
KAH_{Din} - $TFHT_2^{KAH}$	-95,5 [-102,5 – -87,5]	<0,001	**0,013**	-1,00 (büyük)
KAH_{Din} - $TFHT_3^{KAH}$	-104,5 [-109,5 – -98,0]	<0,001	**0,013**	-1,00 (büyük)
KAH_{Din} - $TFHT_4^{KAH}$	-110,0 [-113,5 – -105,0]	<0,001	**0,013**	-1,00 (büyük)
KAH_{Din} - $TFHT_5^{KAH}$	-114,5 [-116,5 – -112,0]	<0,001	**0,013**	-1,00 (büyük)
KAH_{Din} - $TFHT^{KAH3}$	-55,5 [-67,5 – -47,0]	<0,001	**0,013**	-1,00 (büyük)
KAH_{Din} - $TFHT^{KAH5}$	-42,7 [-53,0 – -31,0]	<0,001	**0,013**	-1,00 (büyük)
$TFHT_1^{KAH}$ - $TFHT_2^{KAH}$	-10,5 [-16,5 – -7,0]	<0,001	**0,013**	-1,00 (büyük)
$TFHT_1^{KAH}$ - $TFHT_3^{KAH}$	-20,0 [-25,0 – -14,5]	<0,001	**0,013**	-1,00 (büyük)
$TFHT_1^{KAH}$ - $TFHT_4^{KAH}$	-25,0 [-31,5 – -20,0]	<0,001	**0,013**	-1,00 (büyük)
$TFHT_1^{KAH}$ - $TFHT_5^{KAH}$	-30,0 [-38,0 – -23,5]	<0,001	**0,013**	-1,00 (büyük)
$TFHT_1^{KAH}$ - $TFHT^{KAH3}$	27,3 [17,5 – 35,5]	<0,001	**0,013**	0,96 (büyük)
$TFHT_1^{KAH}$ - $TFHT^{KAH5}$	41,0 [32,0 – 49,0]	<0,001	**0,013**	1,00 (büyük)
$TFHT_2^{KAH}$ - $TFHT_3^{KAH}$	-8,5 [-11,0 – -6,5]	<0,001	**0,013**	-1,00 (büyük)

$TFHT_2^{KAH}$ - $TFHT_4^{KAH}$	-13,5 [-18,0 – -9,5]	<0,001	**0,013**	-1,00 (büyük)
$TFHT_2^{KAH}$ - $TFHT_5^{KAH}$	-18,5 [-25,0 – -11,5]	<0,001	**0,013**	-1,00 (büyük)
$TFHT_2^{KAH}$ - $TFHT^{KAH3}$	37,4 [29,5 – 48,0]	<0,001	**0,013**	1,00 (büyük)
$TFHT_2^{KAH}$ - $TFHT^{KAH5}$	51,0 [42,5 – 61,5]	<0,001	**0,013**	1,00 (büyük)
$TFHT_3^{KAH}$ - $TFHT_4^{KAH}$	-7,0 [-10,5 – -3,0]	0,007	**0,013**	-0,83 (büyük)
$TFHT_3^{KAH}$ - $TFHT_5^{KAH}$	-11,0 [-17,0 – -5,0]	0,002	**0,013**	-0,91 (büyük)
$TFHT_3^{KAH}$ - $TFHT^{KAH3}$	47,0 [35,0 – 57,0]	<0,001	**0,013**	1,00 (büyük)
$TFHT_3^{KAH}$ - $TFHT^{KAH5}$	59,0 [49,5 – 70,5]	<0,001	**0,013**	1,00 (büyük)
$TFHT_4^{KAH}$ - $TFHT_5^{KAH}$	-4,5 [-7,0 – -1,5]	0,006	**0,013**	-0,79 (büyük)
$TFHT_4^{KAH}$ - $TFHT^{KAH3}$	53,5 [42,5 – 61,0]	<0,001	**0,013**	1,00 (büyük)
$TFHT_4^{KAH}$ - $TFHT^{KAH5}$	65,5 [56,5 – 75,0]	<0,001	**0,013**	1,00 (büyük)
$TFHT_5^{KAH}$ - $TFHT^{KAH3}$	59,0 [46,5 – 67,0]	<0,001	**0,013**	1,00 (büyük)
$TFHT_5^{KAH}$ - $TFHT^{KAH5}$	71,5 [61,0 – 81,0]	<0,001	**<0,001**	1,00 (büyük)
$TFHT^{KAH3}$- $TFHT^{KAH5}$	12,5 [6,5 – 20,0]	0,002	**0,013**	0,90 (büyük)

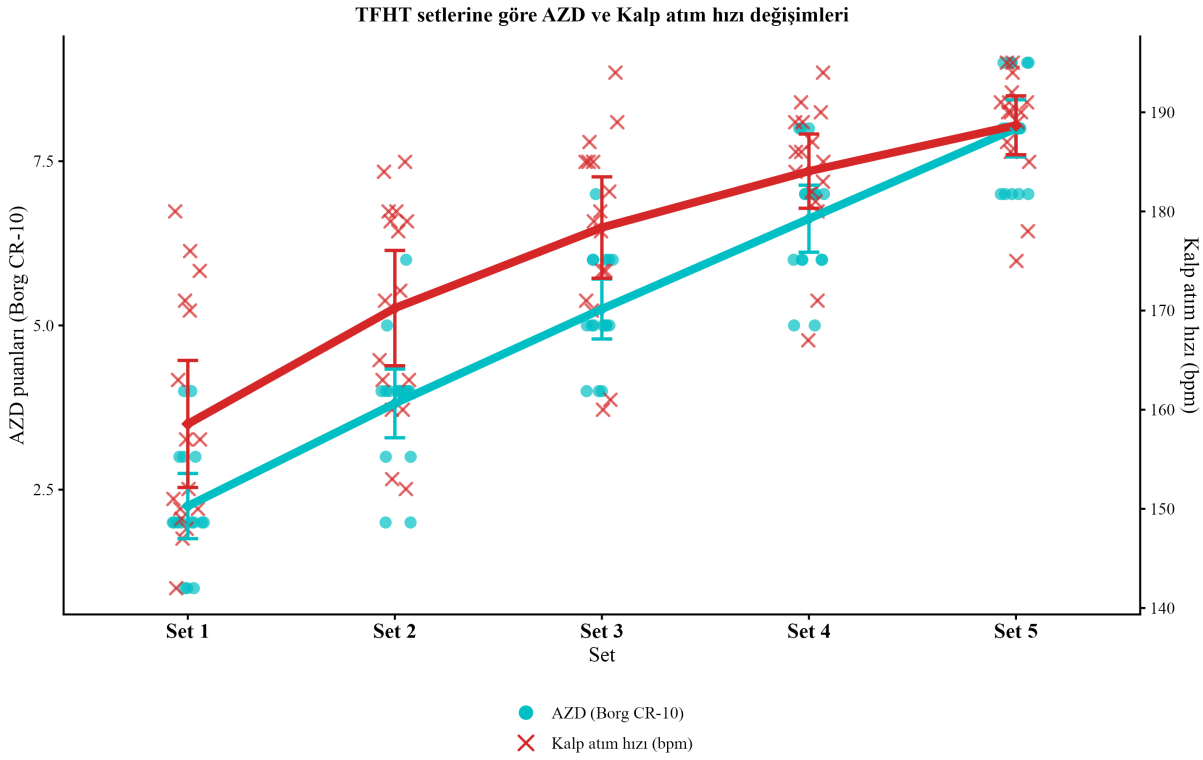
Not: %95 GA: %95 güven aralığı; p: Wilcoxon işaretli sıralar testi ile elde edilen p değerleri; p_{Holm}: çoklu karşılaştırmlar için Holm-Bonferroni düzeltmesi uygulanmış p değerleri; EB (skk): etki büyüklüğü (sıra-biseriyel korelasyon katsayısı); $TFHT_{Din}$: dinlenik kalp atım hızı; $TFHT_{1\text{-}5}^{KAH}$: TFHT 1-5. Set sonlarındaki kalp atım hızı; $TFHT^{KAH3}$: toparlanmanın 3. dk'sındaki kalp atım hızı; $TFHT^{KAH5}$: toparlanmanın 5. dk'sındaki kalp atım hızı.



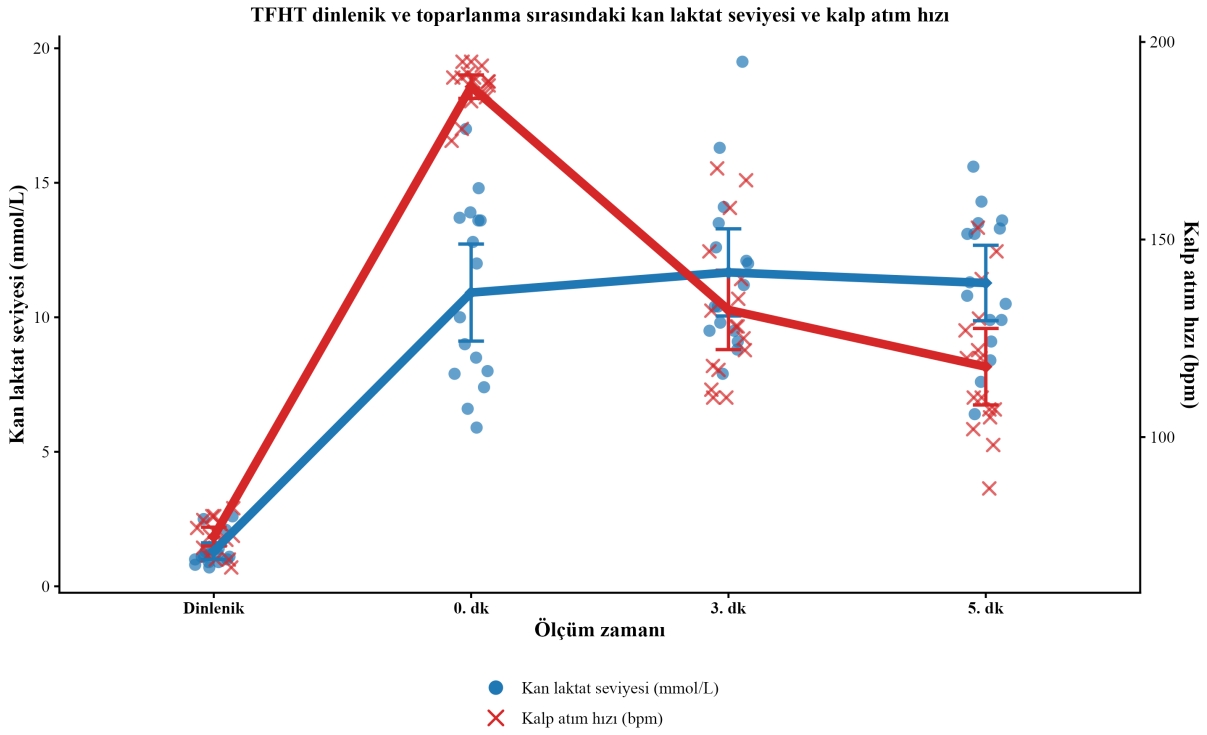
Şekil 26. TFHT öncesinde (dinlenik), setler arasında ve toparlanma dönemlerinde kalp atım hızı



Şekil 27. Kalp atım hızının zaman profili



Şekil 28. TFHT setlerine göre AZD ve kalp atım hızı değişimleri (çift Y ekseni)



Şekil 29. TFHT dinlenik ve toparlanma dönemlerinde kan laktat seviyesi ile kalp atım hızı (çift Y ekseni)

7. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışma, $TFHT_{5x10}$ protokolünün taekwondo sporcularında yüksek şiddetli tekrarlı yüklenmeye verilen performans, fizyolojik ve kinematik yanıtları ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu çalışmanın bulguları, $TFHT_{5x10}$ protokolünün taekwondoya özgü tekrarlı yüksek şiddetli yüklenme sırasında ortaya çıkan yorgunluk yanıtını çok boyutlu biçimde yansıttığını göstermektedir. Setler ilerledikçe tekme sayısındaki azalma, performansın sürdürülebilirliğinde bozulmaya işaret ederken; kalp atım hızı, kan laktat düzeyi ve algılanan zorluk derecesindeki artış, bu düşüşe eşlik eden fizyolojik yüklenmenin giderek belirginleştiğini ortaya koymaktadır. Buna karşın darbe ivmesinin doğrusal bir azalma göstermemesi, yorgunluk altında hareket çıktısının yalnızca niceliksel performans kaybı ile açıklanamayacağını, kinematik yanıtın nöromüsküler düzenleme süreçlerinden de etkilendiğini düşündürmektedir. Bu yönüyle $TFHT_{5x10}$, taekwondoya özgü yüklenmeyi çok boyutlu olarak değerlendirmeye olanak sağlayan işlevsel bir saha testi niteliği taşımaktadır. Bu test, antrenman yükünün izlenmesi, yorgunluk yanıtının değerlendirilmesi ve sporcuya özgü performans profilinin ortaya konması açısından uygulayıcılara pratik katkı sunmaktadır.

$TFHT_{5x10}$ protokolü, her biri 10 saniye maksimal çaba gerektiren ve 10 saniye pasif dinlenme ile birbirinden ayrılan beş setten oluşan aralıklı bir tekme performans testi olarak tanımlanmaktadır. Bu yapı, taekwondo müsabakalarındaki kısa süreli yüksek yoğunluklu efor-dinlenme döngüsünü benzerlik göstermekte; aynı zamanda enerji sistemleri üzerinde spesifik bir stres oluşturmaktadır (da Silva Santos ve Franchini, 2016; Apollaro ve ark., 2024). Enerji sistemlerinin egzersiz sırasındaki etkileşimi ve göreli katkısını kapsamlı biçimde ele alan Gastin (2001), 10 saniye süren maksimal efor sırasında enerjinin büyük çoğunluğunun (%70–80) fosfajen sistemden (ATP-PCr) karşılandığını ve glikolitik katkının egzersiz süresi uzadıkça arttığını belirtmektedir. Bu bağlamda $TFHT_{5x10}$'deki her 10 saniyelik set, fosfajen sistemin sınırına yakın çalışmasıyla ve ardından gelen 10 saniyelik yetersiz dinlenme süresinde bu depoların yalnızca kısmen yenilenmesiyle sonuçlanmaktadır (Baker ve ark., 2010).

Nitekim fosfokreatinin (PCr) 10 saniye veya daha uzun yoğun egzersiz sonrasında istirahat düzeyinin %30'ın altına gerilediği ve yeniden sentezinin tamamlanması için 3–5 dakikalık bir süreye ihtiyaç duyulduğu bilinmektedir (Bogdanis ve ark., 1996). $TFHT_{5x10}$'de setler arası dinlenme yalnızca 10 saniye olduğundan PCr depoları tam olarak yenilenmemektedir; bu durum ilerleyen setlerde glikolitik ATP yeniden sentezine olan bağımlılığı artırmakta ve yorgunlukla birlikte nöromüsküler çıktının düşmesine zemin hazırlamaktadır (Girard ve ark., 2011). Dolayısıyla bu fizyolojik sınırlılıklar, setler ilerledikçe kısa süreli maksimal güç

üretiminin sürdürülebilirliğini azaltarak performans çıktısında kademeli bir düşüşe yol açabilmektedir.

Bu fizyolojik mekanizmalar dikkate alındığında, $TFHT_{5x10}$ süresince set bazlı tekme sayılarında azalma görülmesi beklenen bir durumdur. Nitekim mevcut çalışmada da ilk setteki tekme sayısının (18,4±2,9), beşinci sete kıyasla (14,1±2,1) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde azaldığı görülmektedir. Bu durum setler ilerledikçe gelişen yorgunluğun tekme üretim kapasitesini sınırlandırdığını göstermektedir. Ayrıca birinci setin diğer setlere kıyasla daha yüksek tekme sayısı ile karakterize olması, performans düşüşünün testin erken aşamalarında ortaya çıktığını düşündürmektedir. Bu durum, $TFHT_{5x10}$ protokolünde setler arası dinlenme süresinin kısa olması nedeniyle fosfokreatin depolarının tam olarak yenilenememesi ve ilerleyen setlerde enerji üretiminde glikolitik katkının artması ile açıklanabilir. Benzer şekilde tekrarlı sprint egzersizlerinde de kısa toparlanma süreleri nedeniyle performansın ilk tekrarlar sonrasında belirgin biçimde düşüş gösterdiği bildirilmektedir (Girard ve ark., 2011). Dolayısıyla, mevcut çalışmada gözlenen tekme sayısındaki azalma örüntüsünün tekrarlı yüksek yoğunluklu egzersizlerde tanımlanan yorgunluk mekanizmaları ile açıklanabileceği değerlendirilebilir.

Elde edilen bu sonuç, TFHT'nin daha önce bildirilen performans düşüş profilleriyle de uyumludur. Apollaro ve ark. (2024), $TFHT_{5x10}$ test formatında setler ilerledikçe vuruş sayısında azalma görüldüğünü; birinci ve ikinci setlerde vuruş sayılarının daha yüksek olduğunu belirtmektedir. Ulupınar ve ark. (2021) da $TFHT_{5x10}$ kullanarak deneyimli ve acemi taekwondo sporcularını karşılaştırdıkları çalışmalarında da benzer düşüş örüntüsünü elde ettiklerini raporlamaktadır. Ayrıca aynı çalışmada çoklu set testinin sporcu performansını ayırt etmede daha duyarlı olduğu vurgulanmaktadır. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, $TFHT_{5x10}$'un taekwondo müsabakalarında rauntlar ilerledikçe ortaya çıkan performans değişimlerini yansıtabilen spora özgü bir test olduğunu görüşünü (da Silva Santos ve Franchini, 2016) destekler niteliktedir.

Bu çalışmada önemli bir başka performans göstergesi olan tekme yorgunluk indeksinin (TYİ), $TFHT_{5x10}$ protokolünde 15,3±5,8 düzeyinde belirlenmiş olmasıdır. TYİ, yalnızca toplam üretilen tekme miktarını yansıtmamaktadır. Bu değer, en iyi sete ait tekme sayısının diğer setlerde ne ölçüde sürdürülebildiğini gösteren bir performans göstergesi olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle TYİ, performansın setler boyunca ne ölçüde korunabildiğini yansıtan önemli bir yorgunluk göstergesi olarak değerlendirilmektedir (da Silva Santos ve Franchini, 2016). Ferreira da Silva Santos ve ark. (2019) tarafından geliştirilen erkekler norm tablosuna göre $TFHT_{5x10}$ toplam tekme performansı; ≥108 tekme "mükemmel", 97–107 "iyi",

85–96 "ortalama", 80–84 "zayıf" ve ≤79 tekme ise "çok zayıf" olarak sınıflandırılmaktadır. TYİ için ise ≤3,3 "mükemmel", 3,4–5,9 "iyi", 6,0–11,4 "ortalama", 11,5–19,9 "zayıf" ve ≥20 "çok zayıf" olarak tanımlanmaktadır. Mevcut çalışmada elde edilen 15,3±5,8 düzeyindeki TYİ değeri, sporcuların en yüksek performans gösterdikleri sete kıyasla ilerleyen setlerde performansın ortalama %15 düzeyinde azaldığını göstermektedir. Bu durum, test ilerledikçe ortaya çıkan yorgunluğun tekme üretim kapasitesini sınırlandırdığını ve performansın setler boyunca kademeli olarak azaldığını düşündürmektedir. Nitekim da Silva Santos ve Franchini (2016), farklı performans düzeylerine sahip kadın taekwondo sporcularında TFHT testinin yüksek güvenilirliğe (ICC=0,85–0,95) ve ayırt edici kapasiteye sahip olduğunu bildirmektedir. Benzer şekilde Ferreira da Silva Santos ve ark. (2019), erkek ve kadın taekwondo sporcuları için geliştirdikleri sınıflandırma tablosu ile TFHT performans değerlerinin normatif referans aralıkları içinde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda mevcut örneklemde elde edilen toplam tekme sayısı (78,3±10,5) erkekler norm tablosuna göre "çok zayıf" kategorisine (≤79 tekme) karşılık gelirken, TYİ değeri (15,3±5,8) ise "zayıf" kategorisinde (11,5–19,9) yer almaktadır. Bu durum, katılımcıların yüksek şiddetli tekrarlı yüklenme altında performanslarını koruma kapasitelerinin geliştirilmeye açık olduğuna işaret etmektedir. Ancak katılımcıların antrenman düzeyi ve test uygulama koşulları gibi metodolojik farklılıklar dikkate alınmadan yapılan doğrudan karşılaştırmaların sınırlı yorumlanabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır.

Çalışmada ayrıca sporcuların izometrik bacak kuvveti 126±32,1 kg olarak belirlendi. Alt ekstremite kuvveti, taekwondo sporcularında tekme performansı ve patlayıcı güç üretiminin önemli bir belirleyicisi olarak değerlendirilmektedir. İzometrik kuvvet testleri bu kapasitenin objektif olarak ölçülmesinde altın standart kabul edilmektedir (Maffiuletti ve ark., 2016). Taekwondo sporcularında alt ekstremite kuvvetinin tekme hızı ve ivmesiyle ilişkili olduğu bilinmekle birlikte (Estevan ve ark., 2011; Harbili ve ark., 2022), ölçüm protokolleri ve kullanılan cihazlar arasındaki metodolojik farklılıklar doğrudan literatür karşılaştırmasını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle mevcut çalışmada bacak kuvveti tanımlayıcı bir parametre olarak raporlanmaktadır.

Bütün olarak değerlendirildiğinde, TYİ ve set bazlı tekme sayısı birlikte ele alındığında performans düşüşünün özellikle birinci setten ikinci sete geçişte yoğunlaştığı ve ardından görece daha sınırlı değişimlerin gözlendiği bir performans örüntüsünün ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Bu durum anaerobik çalışma kapasitesinin kısa süreli maksimal eforlarla hızla baskı altına alındığını düşündürmektedir. Nitekim $TFHT_{5x10}$ protokolünde setler arası dinlenme süresinin kısa olması nedeniyle fosfokreatin depolarının tam olarak yenilenememesi ve enerji

üretiminde glikolitik katkının artması, ilerleyen setlerde performans çıktısının azalmasına katkıda bulunabilmektedir. Bu bulgu, tekrarlı yüksek yoğunluklu egzersizlerde performans düşüşünün genellikle ilk tekrarlar sonrasında ortaya çıktığını ve sonraki tekrarların daha düşük ancak görece istikrarlı bir düzeyde sürdürüldüğünü bildiren çalışmalarla da uyumludur (Girard ve ark., 2011; Baker ve ark., 2010).

Bununla birlikte tekme sayısındaki değişimin yalnızca metabolik yorgunluk ile açıklanması yeterli olmayıp, performans çıktısının ortaya çıkmasında rol oynayan mekanik ve kinematik özelliklerin de dikkate alınması gerekmektedir. Bu nedenle $TFHT_{5x10}$ protokolü sırasında elde edilen kinematik verilerin incelenmesi, setler boyunca ortaya çıkan performans değişimlerinin altında yatan nöromüsküler yanıtların daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.

$TFHT_{5x10}$ sırasında elde edilen kinematik veriler, darbe ivmesinin setler boyunca anlamlı biçimde değiştiğini göstermektedir. Hesaplanan yüksek etki büyüklüğü, bu değişimin yalnızca rastlantısal bir dalgalanma olmadığını, aksine test süresince gelişen yorgunluğun vuruş mekaniği üzerinde belirgin ve sistematik bir etki oluşturduğunu düşündürmektedir. Bununla birlikte ivme değerleri beklenen tekdüze bir düşüş örüntüsü izlememektedir. İkinci sette gözlenen azalmanın ardından üçüncü ve dördüncü setlerde ivmenin yeniden artış göstermesi, sporcuların yorgunluğun ilerleyen aşamalarında hareket stratejilerini yeniden düzenleyebildiğine; başka bir deyişle setler ilerledikçe daha az sayıda ancak daha yüksek ivmeli darbe üretmeye yöneldiğine işaret etmektedir. Beşinci sette gözlenen yeniden düşüş ise biriken metabolik ve nöromüsküler yorgunluğun hareket hızı ile kuvvet üretim kapasitesini sınırlamaya başlamasıyla açıklanabilir.

Bu dalgalı ivme profilinin altında yatan mekanizmalar birkaç farklı açıdan ele alınabilmektedir. Tekrarlı maksimal eforlar sırasında nöromüsküler yorgunluğun yalnızca enerji depolarının tükenmesiyle değil, aynı zamanda iletim hızındaki yavaşlama, motor ünite baskılanması ve merkezi yorgunlukla da ilişkili olduğu bilinmektedir (Girard ve ark., 2011). $TFHT_2$'deki ivme düşüşünün ardından gözlemlenen $TFHT_3^{ivme}$ ve $TFHT_4^{ivme}$ artışı bu çerçevede değerlendirildiğinde, iki mekanizmanın eş zamanlı katkısı öne çıkmaktadır. Birincisi, kısa pasif dinlenme sürelerinin sağladığı kısmi PCr yenilenme kapasitesidir; fosfokreatinin 10 saniye veya daha uzun yoğun egzersiz sonrasında istirahat düzeyinin %30'ın altına gerilediği ve tam sentezi için 3–5 dakikaya ihtiyaç duyulduğu göz önüne alındığında (Bogdanis ve ark., 1996), 10 saniyelik dinlenmenin kısmi yenilemeye olanak tanıdığı değerlendirilebilir. İkincisi ise miyozin hafif zincirinin fosforilasyonuna bağlı post-aktivasyon potansiyasyonu (PAP) benzeri bir yanıttır. Tekrarlı kas kasılmalarının hem akut yorgunluk hem de kasılma potansiyasyonu oluşturduğu ve bu ikisinin net dengesinin sonraki fiziksel performansı belirlediği bilinmektedir

(Olsen ve ark., 2025). Blazevich ve Babault (2019) da PAP ile post-aktivasyon performans artışı arasındaki ayrımı ele aldıkları derlemelerinde, önceki kasılmaların kas mekaniksel özelliklerini ve motor ünite işe alım eşiğini geçici olarak değiştirebildiğini; bu etkinin özellikle kısa dinlenme pencerelerinde izlenebilir olduğunu vurgulamaktadır. Ancak mevcut çalışmada bu olası mekanizmalara ilişkin doğrudan ölçüm yapılmadığından, söz konusu değişim yalnızca potansiyasyon lehine gelişen olası bir nöromüsküler yanıt çerçevesinde hipotez düzeyinde yorumlanabilir. Bununla birlikte, bu çalışmada ilgili fizyolojik ve nöromüsküler mekanizmalar doğrudan değerlendirilmediğinden, bu yorum hipotez düzeyinde ele alınmalıdır. Beşinci sette yeniden ortaya çıkan düşüş ise, artan metabolik yük ve yükselen kan laktat düzeylerinin eşlik ettiği yorgunluk yanıtıyla ilişkili olabilir (Girard ve ark., 2011; Gastin, 2001). Taekwondo özelinde değerlendirildiğinde, bu bulgular branşa özgü EMG çalışmalarıyla da uyumluluk sergilemektedir. Barramuno-Medina ve arkadaşları (2025), ardışık yuvarlak tekme serilerinde alt ekstremite kaslarındaki EMG tepe değerlerinin doğrusal olmayan bir değişim örüntüsü izlediğini bildirmektedir. İleri düzey sporcularda biceps femoris ve lateral gastrocnemius kaslarında belirgin artış eğilimleri gözlemlenirken tecrübesiz sporcularda quadriceps aktivasyon örüntüsünün farklılaştığı ortaya konmaktadır. Ardışık tekme serilerinde motor ünite aktivasyon örüntüsünün hem deneyim düzeyine hem de kümülatif yorgunluğa bağlı olarak değiştiği göz önünde bulundurulduğunda (Barramuno-Medina ve ark., 2025), mevcut çalışmadaki dalgalı ivme profilinin yalnızca metabolik değil, aynı zamanda sinirsel düzeyde gerçekleşen uyarlanma süreçlerini de yansıttığı değerlendirilebilir. Nitekim tekrarlı sprint ve yüksek yoğunluklu egzersizleri inceleyen çalışmalar da yorgunluk ilerledikçe sporcuların hareket ekonomisi ve kuvvet üretim stratejilerini yeniden düzenleyebildiklerini bildirmektedir (Girard ve ark., 2011). Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, $TFHT_{5x10}$ sırasında gözlenen ivme değişimlerinin yorgunluğun ilerleyen aşamalarında nöromüsküler performansın hem metabolik hem de sinirsel mekanizmalar tarafından birlikte şekillendirildiğini gösterdiği söylenebilir. Bu durum aynı zamanda H2 hipotezinde öngörülen doğrusal düşüş örüntüsünün yorgunluk altındaki kinematik tepkiyi tam olarak yansıtmadığını; tekme ivmesinin tekrarlı yüksek şiddetli efor protokollerinde daha karmaşık bir nöromüsküler adaptasyon seyri izlediğini ortaya koymaktadır.

Elde edilen bu bulgular, tekme sayısındaki azalmayla birlikte değerlendirildiğinde daha anlamlı hale gelmektedir. Yorgunluk yalnızca tekme miktarını değil, tekmenin hız ve kuvvet niteliğini de etkilemektedir. Taekwondoda puanlama sisteminin elektronik koruyucu aracılığıyla kuvvete dayalı olduğu ve tekme ivmesinin skora doğrudan yansıdığı göz önüne alındığında (Estevan ve Falco, 2013), bu bulgu önemli bir pratik boyut taşımaktadır. Nitekim Sant'Ana ve ark. (2017),

spesifik bir yorgunluk protokolü sonrasında bandal-chagi etkisinde anlamlı bir azalma tespit etmektedir. Bu çalışmalar birlikte ele alındığında yorgunluğun yalnızca performansın miktarını değil, kas aktivasyonu ve kuvvet üretim özelliklerini de etkilediği anlaşılmaktadır. Bu yönüyle $TFHT_{5x10}$, geleneksel yalnızca tekme sayısına dayalı yaklaşımlara kıyasla performansın niteliğini de değerlendirebildiğini ortaya koymakta ve saha koşullarında kapsamlı bir kinematik izleme aracı olarak kullanılabilme potansiyeli sunmaktadır (da Silva Santos ve ark., 2020). İvme ölçümünün TFHT protokolüyle bütünleşik biçimde uygulandığı çalışmaların literatürde sınırlı sayıda kalması, bu yönüyle mevcut araştırmanın özgün katkısını daha da belirginleştirmektedir.

Bununla birlikte yüksek yoğunluklu egzersizlere verilen yanıt yalnızca performans çıktıları ve kinematik değişkenlerle sınırlı değildir. Sporcuların egzersiz sırasında deneyimlediği öznel zorlanma düzeyi de yüklenmenin önemli bir bileşenini oluşturmaktadır (Borg 1998; Xuan ve ark., 2023). Bu nedenle mevcut araştırmada ayrıca $TFHT_{5x10}$ sırasında ölçülen AZD'nin incelenmiş olması, testin sporcular üzerinde oluşturduğu içsel yükün daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Algılanan zorluk derecesi (Borg CR-10) setler ilerledikçe sistematik biçimde artış göstermektedir. Birinci sette düşük düzeyde olan AZD puanlarının (2,3±0,9), beşinci sette belirgin biçimde yükselerek 8,0±0,8 düzeyine ulaştığı görülmektedir. Çok yüksek etki büyüklüğü, setler ilerledikçe algılanan zorlanmadaki değişimin güçlü ve tutarlı bir örüntü sergilediğine işaret etmektedir. Bu durum, kısa süreli maksimal eforların ardışık tekrarları sırasında sporcuların algıladığı içsel yükün kademeli olarak arttığını göstermektedir.

AZD'nin egzersiz sırasında oluşan fizyolojik yükü yansıtma kapasitesi spor bilimi literatüründe geniş ölçüde ele alınmaktadır. Borg (1998) tarafından geliştirilen kavramsal çerçeve, AZD'nin kalp atım hızı, oksijen tüketimi ve kan laktat konsantrasyonu gibi nesnel fizyolojik ölçütlerle anlamlı düzeyde ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Chen ve ark. (2002), meta-analiz çalışmalarında Borg AZD ölçeğinin kalp atım hızıyla r=0,62, kan laktatıyla r=0,57 ve maksimum oksijen tüketiminin yüzde oranıyla r=0,64 düzeyinde ölçüt geçerliği sergilediğini raporlamaktadır. Taekwondoya özgü bağlamda da bu ilişki güçlü bir biçimde desteklenmektedir: Perandini ve ark. (2012), taekwondo sporcularında seans-AZD'nin antrenman yükü nicelendirilmesinde ve şiddet dağılımı izlenmesinde geçerli bir araç olduğunu bildirmekte; Delleli ve ark. (2023) ve van der Zwaard ve ark. (2023) ise kısa süreli ölçüm protokollerinde AZD güvenilirliğini elit sporcularda teyit etmektedir.

Bu çalışmada AZD artışının kalp atım hızı ve laktat yükselişiyle paralel bir seyir izlemesi, söz konusu teorik çerçeveyi güçlü biçimde desteklemekte ve $TFHT_{5x10}$ sırasında ölçülen öznel

zorlanma algısının nesnel fizyolojik yanıtlarla uyumlu olduğunu yansıtmaktadır. Xuan ve ark. (2023) tarafından yürütülen çalışmada da taekwondo antrenmanlarındaki tekrarlı yüksek yoğunluklu teknik protokoller sırasında AZD'nin fizyolojik yük göstergeleriyle tutarlı bir ilişki sergilediği bildirilmektedir. Bu uyum, $TFHT_{5x10}$'un içsel yük izleme amacıyla antrenman ortamında pratik biçimde uygulanabilecek bir araç olduğunu işaret etmektedir.

Ayrıca, AZD'nin ardışık her setten hemen sonra kaydedilmesi hem zamansal çözünürlük hem de iç yükün set bazlı izlenmesi açısından önemli bir metodolojik avantaj sağlamaktadır. Birinci ve beşinci setler arasındaki yaklaşık 5,7 puanlık mutlak artış, kısa süreli maksimal eforların birikmeli etkisini öznel düzlemde de açıkça yansıtmaktadır. Benzer şekilde bu artış eğrisi, KAH'ın setler boyunca kademeli yükselişiyle paralel seyretmekte ve AZD ile KAH arasında yüklenmeye verilen yanıta ilişkin fizyolojik bir uyum bulunduğunu düşündürmektedir.

Dinlenik AZD değerinin (0) grafik başlangıcında sunulması, test sırasında algılanan yük artışının büyüklüğünü daha net bir biçimde ortaya koymakta ve antrenörler yüklenme şiddetini daha kolay yorumlanmasına olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada $TFHT_{5x10}$ protokolü sonrasında kan laktat düzeylerinin dinlenik değerlere kıyasla belirgin biçimde arttığı görülmektedir. Dinlenik durumda düşük düzeyde seyreden kan laktat seviyelerinin (1,3±0,6 mmol/l), test bitiminde 10,9±3,4 mmol/l düzeyine yükselmesi, $TFHT_{5x10}$'un sporcular üzerinde yüksek düzeyde anaerobik metabolik yük oluşturduğunu göstermektedir. Elde edilen etki büyüklüğünün yüksek olması da bu değişimin güçlü ve tutarlı bir fizyolojik yanıt niteliği taşıdığına işaret etmektedir. Bu bulgu, test sırasında yinelenen kısa süreli maksimal eforlarla birlikte fosfajen sisteminin başlangıçtaki katkısına ek olarak anaerobik glikolitik enerji üretiminin daha belirgin hale gelmiş olabileceğini ve buna bağlı metabolik stresin hızla biriktiğini düşündürmektedir (Gastin, 2001; Girard ve ark., 2011).

Bu laktat artışının altında yatan fizyolojik mekanizmalar, tekrarlı sprint egzersizinde enerji sistemlerinin birbirine geçişiyle açıklanabilmektedir. 10 saniye süren her set boyunca fosfajen sistemin hızla tükenmesi ve kısa dinlenme süreleri nedeniyle tam PCr yenilenmesinin gerçekleşememesi, glikolitik ATP yeniden sentezine olan bağımlılığı artırmakta; bu süreçte laktat ve H^+ iyonlarının hücre içinde birikmesiyle sonuçlanmaktadır (Gastin, 2001; Bogdanis ve ark., 1996). Setlerin belirgin bir laktat birikimine yol açmaktadır (Girard ve ark., 2011). Nitekim Gastin (2001), yaklaşık 15 saniyelik maksimal egzersizlerde enerjinin büyük bölümünün (%88–90) anaerobik metabolizmadan (fosfajen ve glikolitik sistemler) sağlandığını bildirmektedir. Bu enerji talep yapısının, $TFHT_{5x10}$ protokolünün kısa süreli maksimal efor ve kısa dinlenme aralıklarından oluşan yapısıyla büyük ölçüde örtüştüğü görülmektedir. Dolayısıyla mevcut çalışmada gözlenen belirgin laktat artışı, testin sporcular üzerinde güçlü bir

anaerobik metabolik stres oluşturduğunu destekleyen bir fizyolojik yanıt olarak değerlendirilmektedir.

Test bitimini izleyen toparlanma sürecinde (3. ve 5. dakikalar), kan laktat seviyelerinin sırasıyla 11,7±3,0 ve 11,3±2,6 mmol/l düzeyinde kaldığı ve dinlenik değerlere tam olarak dönmediği görülmektedir. Bu noktada dikkat çekici bir bulgu olarak, test bitimiyle karşılaştırıldığında 3. dakikadaki laktat değerinin (11,7 mmol/l) test bitimine ait değerin (10,9 mmol/l) üzerine çıktığı görülmektedir. Bu durum, egzersiz sonrası laktat kinetiklerinde bilinen bir fenomenle uyumludur; yüksek yoğunluklu anaerobik egzersizin hemen ardından kas içinde üretilmeye devam eden laktat, kan kompartımanına difüze olurken toparlanmanın erken evrelerinde kan laktat seviyesinin egzersizin son anına ait değerin bile üzerine çıkabilmesi mümkündür (Beneke ve ark., 2011). Başka bir ifadeyle, egzersiz sona ermiş olsa da kaslarda oluşan laktatın kana geçişi kısa bir süre daha devam edebildiği için, toparlanmanın ilk dakikalarında ölçülen kan laktat düzeyi test bitimindeki değerden daha yüksek bulunabilmektedir. Buna karşın toparlanma sürecinde ölçülen laktat değerlerinin dinlenik düzeylerin belirgin biçimde üzerinde kalması, $TFHT_{5x10}$ protokolünün yalnızca egzersiz sırasında değil, egzersiz sonrasındaki erken toparlanma döneminde de metabolik yükün sürdüğünü ortaya koymaktadır. Bu bulgu, testin sporcular üzerinde yüksek düzeyde anaerobik metabolik stres oluşturduğunu ve toparlanma sürecinde dahi metabolik yanıtın devam ettiğini göstermektedir.

Elde edilen bu laktat profili, taekwondo müsabaka ve müsabaka simülasyonlarında bildirilen değerlerle büyük ölçüde benzerlik taşımaktadır. Literatürde, taekwondo karşılaşmaları sırasında veya simülasyon protokolleri sonrasında kan laktat düzeylerinin genellikle 7–11 mmol/l aralığında raporlandığı belirtilmektedir (Bridge ve ark., 2009; Bürger-Mendonça ve ark., 2015; Sant'Ana ve ark., 2018; Tayech ve ark., 2020). Bu çalışmada $TFHT_{5x10}$ sonrası ulaşılan laktat düzeylerinin de benzer bir aralıkta seyretmesi, testin müsabakaya özgü metabolik talepleri başarılı biçimde yansıttığını desteklemektedir.

Toparlanma sürecinde bireysel laktat kinetiklerinin farklılık göstermesi dikkat çekici bir bulgu olarak değerlendirilebilir. Kan laktat değerlerine göre egzersiz yoğunluğu; 1. bölge mmol/l ≤ 2, 2. bölge $2 <$ mmol/l < 4 ve 3. bölge mmol/l ≥ 4 olarak sınıflandırılmaktadır (Perandini ve ark., 2012). Bu sınıflandırma çerçevesinde değerlendirildiğinde, mevcut çalışmada test bitiminde ölçülen laktat düzeyi (10,9±3,4 mmol/l), toparlanmanın 3. dakikasındaki değer (11,7±3,0 mmol/l) ve 5. dakikadaki değer (11,3±2,6 mmol/l) açıkça 3. bölge kapsamında kalmaktadır. Bu bulgular, $TFHT_{5x10}$ protokolünün yüksek anaerobik talep oluşturduğunu ve kısa toparlanma sürelerinin laktat eliminasyonunu tamamlamaya yetmediğini göstermektedir. Bununla birlikte, bazı sporcularda laktat düzeylerinin 3. dakikada belirgin biçimde düşmeye başladığı,

bazılarında ise 5. dakikada dahi görece yüksek seviyelerde kaldığı gözlenmektedir. Bu bireysel farklılıklar, sporcuların laktat toleransı, aerobik kapasitesi ve toparlanma etkinliği açısından farklı profillere sahip olduğunu düşündürmektedir. Egzersiz sonrası toparlanma süreçlerinde aerobik kapasitenin belirleyici bir rol oynadığı iyi bilinmektedir. Yüksek aerobik kapasiteye sahip sporcuların yoğun anaerobik yüklenmeler sonrasında oluşan laktatı daha hızlı okside edebildiği ve dolaşımdan daha etkin biçimde uzaklaştırabildiği raporlanmaktadır (Brooks, 2020; Buchheit, 2014). Benzer şekilde, Song ve Sheykhlouvand (2024) tarafından yürütülen teknik spesifik antrenman çalışmasında da tekrarlı yüksek şiddetli tekmelerin metabolik kapasite ve laktat toleransı üzerindeki bireysel etkilerinin heterojen bir yapı sergilediğini ortaya konmaktadır.

Bu bağlamda $TFHT_{5x10}$'un sunduğu laktat verileri, yalnızca testin oluşturduğu metabolik yükün büyüklüğünü değil, aynı zamanda sporcuların bu metabolik yükü ne ölçüde tolere edebildiğini ve toparlanma hızlarını da değerlendirmeye olanak tanımaktadır. Bu özellik, testin antrenman planlamasında yüklenme şiddetinin ayarlanması, toparlanma stratejilerinin bireyselleştirilmesi ve metabolik adaptasyonların izlenmesi açısından önemli bir avantaj sunduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, $TFHT_{5x10}$ protokolü sırasında ve sonrasında gözlenen kan laktat yanıtları, taekwondo sporcularının yüksek şiddetli tekrarlı eforlar sırasında belirgin anaerobik metabolik katkı ile birlikte güçlü bir aerobik toparlanma kapasitesine ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Bu bulgu, taekwondo performansının yalnızca kısa süreli patlayıcı eforlara değil, aynı zamanda bu eforların sürdürülebilmesini sağlayan anaerobik ve aerobik enerji sistemlerinin etkileşimine dayandığını ortaya koymaktadır.

Kalp atım hızı verileri, $TFHT_{5x10}$ protokolünün taekwondo sporcuları üzerinde çok yüksek düzeyde kardiyovasküler yük oluşturduğunu göstermektedir. Dinlenik durumda 74,8±4,5 atım/dk olan kalp atım hızının, test süresince setler ilerledikçe kademeli olarak arttığı ve beşinci set sonunda 188,7±5,6 atım/dk düzeyine ulaştığı görülmektedir. Kalp atım hızına dayalı egzersiz yoğunluğu sınıflandırmasına göre; 1. bölge %50-%60 KAHmaks, 2. bölge %60-%70 KAHmaks, 3. bölge %70-%80 KAHmaks, 4. bölge %80-%90 KAHmaks ve 5. bölge %90-%100 KAHmaks olarak tanımlanmaktadır (Perandini ve ark., 2012). Bu çerçevede dinlenik KAH değeri (74,8±4,5 atım/dk) 1. Bölge'nin altında yer alırken, test boyunca artan KAH'ın beşinci set sonunda 5. Bölge'ye (≥%90 KAHmaks) ulaştığı görülmektedir. Toparlanma sürecinde kalp atım hızının 3. ve 5. dakikalarda sırasıyla 132,2±18,9 ve 117,8±18,2 atım/dk düzeylerine gerilediği, 3. dakikadaki değerin yaklaşık 2. bölgeye (%60-70 KAHmaks), 5. dakikadaki değerin ise 1. bölgeye (%50-60 KAHmaks) karşılık geldiği görülmektedir. Bununla

birlikte her iki toparlanma değerinin de dinlenik düzeyin (74,8±4,5 atım/dk) belirgin biçimde üzerinde seyrettiği ve tam toparlanmanın gerçekleşmediği anlaşılmaktadır.

Son setlerde ulaşılan bu değerler (188,7±5,6 atım/dk), sporcuların %90–100 KAHmaks aralığında egzersiz yaptığına işaret etmektedir. Bu yoğunluk bandı hem aerobik hem de anaerobik enerji sistemlerinin eş zamanlı baskı altında olduğu "aşırı yüklenme" eşiğine karşılık gelmekte (Tanaka ve ark., 2001) ve testin oluşturduğu kardiyovasküler stresin ciddiyetini açıkça yansıtmaktadır. Taekwondo müsabakalarındaki kalp atım hızı tepkilerini inceleyen araştırmalarda; birinci rauntta ortalama KAH'ın 175±15, üçüncü rauntta ise 187±8 atım/dk değerlerine ulaştığı bildirilmektedir (Bridge ve ark., 2009). Sant'Ana ve ark. (2019) tarafından yürütülen çalışmada, ulusal düzeydeki taekwondo sporcularında müsabaka simülasyonu sırasında KAH'ın maksimum kalp atım hızının %90–95'ine ulaştığı raporlanmaktadır. Butios ve Tasika (2007) ise Yunan elit taekwondocularında müsabaka sırasında ortalama KAH'ın maksimum değerin %90'ını aştığını belirtmektedir. Bu çalışmada elde edilen KAH değerlerinin söz konusu verilerle büyük ölçüde örtüştüğü ve $TFHT_{5x10}$'un müsabakaya benzer kardiyovasküler talepler oluşturduğu anlaşılmaktadır.

Toparlanma sürecindeki bireysel KAH düşüş hızının sporcular arasında farklılık göstermesi, daha önce belirtilen bireysel metabolik profil farklılıkları ile uyumluluk sergilemektedir. Aerobik kapasitenin tekrarlı sprint performansı ve toparlanması üzerindeki belirleyici rolü, kapsamlı derleme çalışmalarında ayrıntılı biçimde ele alınmaktadır (Girard ve ark., 2011; Bishop ve ark., 2011). Son dönem taekwondo özgü HIIT araştırmaları, teknik spesifik antrenmanların bireysel kardiyovasküler toparlanma hızını olumlu etkileyebileceğine işaret etmektedir (Song ve Sheykhlouvand, 2024). Dolayısıyla $TFHT_{5x10}$'daki toparlanma sürecindeki KAH kinetikleri, yalnızca akut yüklenme şiddetini değil, aynı zamanda sporcunun kardiyovasküler toparlanma kapasitesini de yansıtan bir gösterge niteliği taşımaktadır.

Dinlenik kalp atım hızının grafik başlangıcında referans noktası olarak sunulması, testin oluşturduğu kardiyovasküler stresin büyüklüğünü daha net görselleştirmekte ve $TFHT_{5x10}$'un müsabakaya benzer fizyolojik talepler oluşturduğu görüşünü desteklemektedir. Bu durum, testin antrenman planlaması ve yüklenme izleme süreçlerindeki pratik uygulanabilirliğine katkı sağlamaktadır.

Tüm değişkenler birlikte değerlendirildiğinde, $TFHT_{5x10}$ protokolünün performans, fizyolojik ve kinematik boyutlarda tutarlı ve birbiriyle uyumlu bir yüklenme tablosu ortaya koyduğu görülmektedir. Setler ilerledikçe tekme sayısının azalması, KAH ve AZD'nin yükselmesi ve test sonrasında KLS'nin belirgin biçimde artması; hepsi birden taekwondo sporcularının hem anaerobik kapasitelerinin sınırlarını test ettiklerini hem de süregelen aerobik bir stresi tolere

etmek zorunda kaldıklarını yansıtmaktadır. Bu bulgular, taekwondo müsabakasının yüksek düzeyde anaerobik katkı ile birlikte güçlü bir aerobik desteğin eş zamanlı olarak devrede olduğu karmaşık bir fizyolojik yapıya sahip olduğunu bildiren çalışmalarla uyumludur (Butios ve Tasika, 2007; Bridge ve ark., 2014).

Kinematik boyutta ise ivme değerlerinin salt düşüş izlemek yerine dalgalı bir profil sergilemesi, yorgunluğun doğrusal olmayan bir süreç olduğunu ve kısa dinlenme süreleri içinde gerçekleşebilen kısmi toparlanma kapasitesinin bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, tekrarlı sprint literatüründe sıkça tartışılan "ardışık eforlar arasındaki toparlanma yeterliliği" kavramına, taekwondoya özgü tekme hareketi bağlamında yeni bir perspektif sunmaktadır (Girard ve ark., 2011).

AZD'nin setler arasında hem tekme sayısı hem de KAH ile paralel artış sergilemesi, öznel ve nesnel yük göstergelerinin birlikte kullanımının saha izleme açısından ne ölçüde değerli olduğunu somutlaştırmaktadır. Bu uyum, $TFHT_{5x10}$'un yalnızca birkaç parametreyi değil; performansın bütünleşik bir tablosunu aynı test oturumunda sunabildiğinin göstergesidir. Apollaro ve ark. (2024) tarafından yürütülen kapsamlı derlemede taekwondoya özgü anaerobik testlerin hem anlık performansı hem de sporcuların tekrarlı yüksek yoğunluklu efora dayanma kapasitelerini değerlendirebilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Mevcut bulgular da $TFHT_{5x10}$ protokolünün bu gereklilikleri karşılayabilecek nitelikte olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle araştırma yalnızca erkek taekwondo sporcuları ile yürütülmüş olup, elde edilen bulguların kadın sporculara doğrudan genellenmesi sınırlı olabilir. Ayrıca örneklem büyüklüğünün sınırlı olması ve ölçümlerin tek bir test oturumu sırasında gerçekleştirilmiş olması, uzun dönem antrenman adaptasyonlarının değerlendirilmesine olanak vermemektedir. Gelecekte yapılacak çalışmaların farklı yaş gruplarını, performans düzeylerini ve kadın sporcuları da kapsayacak şekilde planlanması, $TFHT_{5x10}$ protokolünün uygulanabilirliğinin daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesine katkı sağlayabilir. Ayrıca bu çalışmada ivme ölçümü sporcu segmentine değil sabit kütleli hedefe (gövde koruyucusu) sabitlenmiş bir sensör aracılığıyla gerçekleştirildi. Bu yaklaşım, tekme performansının mekanik çıktısına ilişkin dolaylı bir gösterge sunmakla birlikte, eklem açıları, segment açısal hızları ve segmental hareket analizleri gibi klasik kinematik parametrelerin doğrudan ölçülmesine olanak tanımamaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda sporcu segmentine yerleştirilen sensörler veya yüksek hızlı kamera sistemleri kullanılması, tekme kinematiğinin daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesine katkı sağlayabilir. Bunun yanı sıra, bu çalışmada toparlanma döneminde (3. ve 5. dakikalar) kan laktat seviyesi ve kalp atım hızı ölçülmüş olmakla birlikte, AZD yalnızca test süreci boyunca kayıt altına alındı; ancak

toparlanma döneminde ise ölçüm gerçekleştirilmedi. Bu durum, egzersiz sonrası öznel yük algısının zamansal seyrine ilişkin değerlendirmeyi sınırlandırmaktadır. İleride yürütülecek çalışmalarda toparlanma döneminde de AZD ölçümünün planlanması, fizyolojik ve öznel yük göstergelerinin eş zamanlı olarak izlenmesine olanak tanıyabilir. Bu çalışmada kan laktat düzeyi toparlanma döneminde yalnızca 3. ve 5. dakikalarda değerlendirildi. Bu ölçümler erken toparlanma yanıtı hakkında bilgi sağlamakla birlikte, laktatın daha geç dönemdeki uzaklaştırılma hızı ve bazal değerlere dönüş süreci hakkında sınırlı bilgi sunmaktadır. Gelecek çalışmalarda 30. ve 60. dakika gibi daha geç toparlanma zaman noktalarında da kan laktat ölçümlerinin yapılması, $TFHT_{5x10}$ sonrası laktat klirensi ve bireysel toparlanma kinetiklerinin daha kapsamlı değerlendirilmesine katkı sağlayabilir.

Bu çalışmadan elde edilen bulgular değerlendirildiğinde; $TFHT_{5x10}$'un taekwondo sporcularında yüksek şiddetli tekrarlı eforlara özgü performans düşüşü, kardiyovasküler stres, metabolik yüklenme ve algılanan zorlanmayı eş zamanlı olarak ortaya koyabildiği görülmektedir. Bu yönüyle $TFHT_{5x10}$, yalnızca performans çıktısını değil, bu mekanizmanın altında yatan fizyolojik ve kinematik süreçleri de değerlendirebilen bütüncül bir saha testi niteliği taşımaktadır.

Genel itibarıyla, $TFHT_{5x10}$ protokolünün performans (tekme sayısı ve tekme yorgunluk indeksi), kinematik (darbe ivmesi), fizyolojik (kalp atım hızı, kan laktat ve algılanan zorluk) boyutlarıyla eş zamanlı değerlendirebilmesi, testin sahada uygulanabilir ve çok boyutlu bir sporcu izleme aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Nitekim Apollaro ve ark. (2024) tarafından vurgulanan çok boyutlu sporcu izleme yaklaşımı dikkate alındığında, $TFHT_{5x10}$ protokolünün performans, fizyolojik ve kinematik göstergeleri birlikte değerlendirebilmesi önemli bir avantaj sunmaktadır. Bu durum, testin yalnızca tek bir performans çıktısını değil, sporcuların yüklenmeye verdikleri çok yönlü yanıtları aynı değerlendirme süreci içinde ortaya koyabilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yönüyle mevcut çalışma, $TFHT_{5x10}$'un literatürde çoğunlukla toplam tekme sayısı ve yorgunluk indeksi üzerinden ele alınan değerlendirme çerçevesini genişleterek, test performansının eş zamanlı fizyolojik ve kinematik göstergelerle birlikte yorumlanabileceğini ortaya koymaktadır. Böylece çalışma, $TFHT_{5x10}$ sırasında gözlenen performans değişimlerinin yalnızca niceliksel değil, aynı zamanda bu değişimlere eşlik eden içsel yük ve hareket çıktıları bağlamında da değerlendirilebileceğini göstererek literatüre metodolojik bir katkı sunmaktadır.

Elde edilen bulgular, $TFHT_{5x10}$ protokolünün yalnızca araştırma ortamında kullanılan bir performans değerlendirme aracı değil, aynı zamanda antrenman süreçlerinde sporcu yüklenmesini izlemek için işlevsel bir saha yaklaşımı olduğunu göstermektedir. Tekme sayısı,

darbe ivmesi, kalp atım hızı, kan laktat ve algılanan zorluk derecesinin birlikte değerlendirilmesi, tekrarlı yüksek yoğunluklu eforlara verilen yanıtın çok boyutlu olarak anlaşılmasına olanak tanımaktadır. Bununla birlikte antrenman ortamında tüm bu değişkenlerin ölçülmesi her zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle $TFHT_{5x10}$, özellikle tekme sayısı ve AZD üzerinden, antrenörlere performans sürdürülebilirliği, içsel yük ve toparlanma durumunu saha koşullarında izleme olanağı sunan pratik bir araç olarak kullanılabilir. Setler arası tekme sayısı düşüşünün azalması ve benzer yüklenmeye daha düşük AZD yanıtı verilmesi olumlu antrenman adaptasyonunu düşündürürken, erken performans kaybı ve yüksek zorlanma yanıtı yüklenme planının yeniden gözden geçirilmesi gereksinimine işaret edebilir.

Araştırma kapsamında öne sürülen hipotezler bulgular doğrultusunda şu şekilde değerlendirilmektedir:

- $TFHT_1$'deki tekme sayısı diğer setlere kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksektir. Setler ilerledikçe tekme sayısı azalmaktadır. H1 hipotezini desteklemektedir
- $TFHT_{5x10}$ protokolünde tekme darbe ivmesi dalgalı bir profil göstermektedir. H2 hipotezini desteklememektedir.
- $TFHT_{5x10}$ protokolünde algılanan zorluk derecesi anlamlı düzeyde artmıştır. H3 hipotezini desteklemektedir.
- $TFHT_{5x10}$ protokolü öncesi (dinlenik) kan laktat seviyesi, test sonrası ve toparlanma ölçümlerine kıyasla anlamlı düzeyde daha düşüktür. H4 hipotezini desteklemektedir.
- $TFHT_{5x10}$ protokolünde setler ilerledikçe kalp atım hızı anlamlı düzeyde artmıştır. H5 hipotezini desteklemektedir.
- $TFHT_{5x10}$ protokolü öncesi (dinlenik) kalp atım hızı, test sonrası ve toparlanma ölçümlerine kıyasla anlamlı düzeyde daha düşüktür. H6 hipotezini desteklemektedir.

Araştırmadan elde edilen bu temel bulgular doğrultusunda şu noktalar önerilmektedir:

- Antrenörlerin ve performans uzmanlarının, sporcu gelişimini izleme sürecinde yalnızca tekme sayısına odaklanmak yerine darbe ivmesi gibi kinematik çıktıları da değerlendirmeye alması önerilmektedir. Tekmenin niceliksel sürekliliğinin yanı sıra, niteliksel boyutunun izlenmesi, elektronik koruyucu sistemlere dayalı puan alma potansiyelindeki değişimlerin daha erken fark edilmesine katkı sağlayabilir.
- Gelecek araştırmalarda, $TFHT_{5x10}$ protokolü sonrası laktat klirensini ve bireysel toparlanma farklılıklarını daha ayrıntılı değerlendirebilmek amacıyla kan laktat ölçümlerinin 30. ve 60. dakika gibi daha geç toparlanma zaman noktalarında da yapılması önerilmektedir.

- $TFHT_{5x10}$ protokolünün sağladığı kan laktat ve kalp atım hızı verilerinin, sporcuların bireysel toparlanma profillerini belirlemek amacıyla kullanılması önerilmektedir. Toparlanma kinetiklerindeki bireysel farklılıklar dikkate alınarak antrenman şiddetinin kişiselleştirilmesi, metabolik adaptasyonların etkin biçimde izlenmesini ve performans gelişiminin planlanmasını kolaylaştıracaktır.
- Gelecek araştırmalarda darbe ivmesi ile elektronik koruyucu sistemlerden elde edilen puan değerleri arasındaki ilişkinin doğrudan incelenmesi öncelikli bir öneri olarak öne çıkmaktadır. Bu ilişkinin ortaya konulması, kinematik değişkenlerin saha koşullarındaki pratik değerini somutlaştıracak ve taekwondo performans değerlendirme literatürüne katkı sağlayabilir.
- Gelecek araştırmalarda, $TFHT_{5x10}$ protokolünün farklı yaş grupları ve cinsiyetler üzerindeki etkilerinin incelenmesi; testin genellenebilirliğinin değerlendirilmesi ve normatif referans değerlerinin oluşturulması açısından önemli görülmektedir.

8. KAYNAKLAR

Akhmad I, Nugraha T, Sembiring P. Speed, agility, and quickness (SAQ) training of the circuit system: how does it affect kick speed and agility of junior taekwondo athletes? J Sport Area. 2021;6(02):175-182.

Aksoy D. Effects of 10-week whole body vibration training on strength, flexibility and agility in taekwondo athletes. J Educ Learn. 2019;8(2):213-222.

Aloui A, Tayech A, Mejri MA, Makhlouf I, Clark CC, Granacher U, et al. Reliability and validity of a new taekwondo-specific change-of-direction speed test with striking techniques in elite taekwondo athletes: a pilot study. Front Physiol. 2022;13:774546. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.774546

Apollaro G, Franchini E, Falcó C, Detanico D, Kons RL. Sport-specific tests for endurance in taekwondo: a narrative review with guidelines for the assessment. Strength Cond J. 2022;44(6):627-645.

Apollaro G, Ouergui I, Rodríguez YQ, Kons RL, Detanico D, Franchini E, et al. Anaerobic sport-specific tests for taekwondo: a narrative review with guidelines for the assessment. Sports. 2024;12(10):278. https://doi.org/10.3390/sports12100278

Arabacı R, Görgülü R, Çatıkkaş F. Relationship between agility and reaction time, speed and body mass index in taekwondo athletes. Sport Sci. 2010;5(2):71-77.

Araujo MP, Nóbrega AC, Espinosa G, Hausen MR, Castro RR, Soares PP, et al. Proposal of a new specific cardiopulmonary exercise test for taekwondo athletes. J Strength Cond Res. 2017;31(6):1525-1535. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001312

Avramov D. Level of flexibility in taekwondo athletes 7-9 and 10-11 years old. J Appl Sports Sci. 2024;8:45-53.

Aybüke Yılmaz E, Ateş O. Taekwondo kicks at the center of biomechanical research: systematic review. Kinesiology. 2025;57(2):289-307. https://doi.org/10.26582/k.57.2.13

Baker JS, McCormick MC, Robergs RA. Interaction among skeletal muscle metabolic energy systems during intense exercise. J Nutr Metab. 2010;2010(1):905612. https://doi.org/10.1155/2010/905612

Barramuno-Medina M, Aravena-Sagardia P, Valdés-Badilla P, Hernandez-Martinez J, Espinoza-Palavicino T, Sandoval C, et al. Neuromuscular strategies in novice and advanced taekwondo athletes during consecutive roundhouse kicks. Appl Sci. 2025;15(15):8356. https://doi.org/10.3390/app15158356

Bartlett D. Essentials of Positioning and Location Technology. Cambridge University Press; 2013.

Behm D, Haddad M. Stretching during the warm-up and to increase flexibility for taekwondo. In: Haddad M, editor. Performance Optimization in Taekwondo: From Laboratory to Field. OMICS Group eBooks; 2015. p. 94-105.

Beneke R, Leithäuser RM, Ochentel O. Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. Int J Sports Physiol Perform. 2011;6(1):8-24. https://doi.org/10.1123/ijspp.6.1.8

Bishop D, Girard O, Mendez-Villanueva A. Repeated-sprint ability—part II: recommendations for training. Sports Med. 2011;41(9):741-756. https://doi.org/10.2165/11590560-000000000-00000

Bishop D. Warm up I: potential mechanisms and the effects of passive warm up on exercise performance. Sports Med. 2003;33(6):439-454. https://doi.org/10.2165/00007256-200333060-00005

Blanca MJ, Arnau J, García-Castro FJ, Alarcón R, Bono R. Repeated measures ANOVA and adjusted F-tests when sphericity is violated: which procedure is best? Front Psychol. 2023;14:1192453. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1192453

Blazevich AJ, Babault N. Post-activation potentiation versus post-activation performance enhancement in humans: historical perspective, underlying mechanisms, and current issues. Front Physiol. 2019;10:1359. https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01359

Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy HK. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. J Appl Physiol. 1996;80(3):876-884. https://doi.org/10.1152/jappl.1996.80.3.876

Borg GA. Borg's Perceived Exertion and Pain Scales. Human Kinetics; 1998.

Boutios S, Fiorilli G, Buonsenso A, Daniilidis P, Centorbi M, Intrieri M, et al. The impact of age, gender and technical experience on three motor coordination skills in children practicing taekwondo. Int J Environ Res Public Health. 2021;18(11):5998. https://doi.org/10.3390/ijerph18115998

Bridge CA, Ferreira da Silva Santos J, Chaabene H, Pieter W, Franchini E. Physical and physiological profiles of taekwondo athletes. Sports Med. 2014;44:713-733. https://doi.org/10.1007/s40279-014-0159-9

Brooks GA. Lactate as a fulcrum of metabolism. Redox Biol. 2020;35:101454. https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101454

Buchheit M. Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? Front Physiol. 2014;5:73. https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073

Butios S, Tasika N. Changes in heart rate and blood lactate concentration as intensity parameters during simulated taekwondo competition. J Sports Med Phys Fitness. 2007;47(2):179-185.

Bürger-Mendonça M, de Oliveira JC, Cardoso JR, Bielavsky M, Azevedo P. Changes in blood lactate concentrations during taekwondo combat simulation. J Exerc Rehabil. 2015;11(5):255-258. https://doi.org/10.12965/jer.150218

Büyüköztürk Ş, Akgün ÖE, Demirel F, Karadeniz Ş, Çakmak EK. Bilimsel Araştırma Yöntemleri. 19. Baskı. Ankara: Pegem Akademi; 2015.

Campos FAD, Bertuzzi R, Dourado AC, Santos VGF, Franchini E. Energy demands in taekwondo athletes during combat simulation. Eur J Appl Physiol. 2012;112(4):1221-1228. https://doi.org/10.1007/s00421-011-2071-4

Casolino E, Lupo C, Cortis C, Chiodo S, Minganti C, Capranica L, et al. Technical and tactical analysis of youth taekwondo performance. J Strength Cond Res. 2012;26(6):1489-1495. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318231a66d

Chaabene H, Negra Y, Bouguezzi R, Capranica L, Franchini E, Prieske O, et al. Tests for the assessment of sport-specific performance in Olympic combat sports: a systematic review with practical recommendations. Front Physiol. 2018a;9:386. https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00386

Chaabene H, Negra Y, Capranica L, Bouguezzi R, Hachana Y, Rouahi MA, et al. Validity and reliability of a new test of planned agility in elite taekwondo athletes. J Strength Cond Res. 2018b;32(9):2542-2547. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002325

Chen AH, Chiu CH, Hsu CH, Wang IL, Chou KM, Tsai YS, et al. Acute effects of vibration foam rolling warm-up on jump and flexibility asymmetry, agility and frequency speed of kick test performance in taekwondo athletes. Symmetry. 2021;13(9):1664. https://doi.org/10.3390/sym13091664

Chen MJ, Fan X, Moe ST. Criterion-related validity of the Borg ratings of perceived exertion scale in healthy individuals: a meta-analysis. J Sports Sci. 2002;20(11):873-899. https://doi.org/10.1080/026404102320761787

Chiodo S, Tessitore A, Lupo C, Ammendolia A, Cortis C, Capranica L. Effects of official youth taekwondo competitions on jump and strength performance. Eur J Sport Sci. 2012;12(2):113-120. https://doi.org/10.1080/17461391.2010.545837

Cohen J. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. 2nd ed. New York: Routledge; 2013.

Coldwells A, Atkinson G, Reilly T. Sources of variation in back and leg dynamometry. Ergonomics. 1994;37(1):79-86. https://doi.org/10.1080/00140139408963623

da Silva Santos JF, Franchini E. Frequency speed of kick test performance comparison between female taekwondo athletes of different competitive levels. J Strength Cond Res. 2018;32(10):2934-2938. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002552

da Silva Santos JF, Franchini E. Is frequency speed of kick test responsive to training? A study with taekwondo athletes. Sport Sci Health. 2016;12(3):377-382. https://doi.org/10.1007/s11332-016-0300-2

da Silva Santos JF, Loturco I, Franchini E. Relationship between frequency speed of kick test performance, optimal load, and anthropometric variables in black-belt taekwondo athletes. Ido Mov Cult J Martial Arts Anthropol. 2018;18(1):39-44. https://doi.org/10.14589/ido.18.1.6

da Silva Santos JF, Wilson VD, Herrera-Valenzuela T, Machado FSM. Time-motion analysis and physiological responses to taekwondo combat in juvenile and adult athletes: a systematic

review. Strength Cond J. 2020;42(2):103-121. https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000517

Delleli S, Ouergui I, Messaoudi H, Ballmann CG, Ardigò LP, Chtourou H. Effects of caffeine consumption combined with listening to music during warm-up on taekwondo physical performance, perceived exertion and psychological aspects. PLoS One. 2023;18(10):e0292498. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0292498

Demir YE, Serin E. The effect of core training program on aerobic endurance, blood-oxygen saturation and flexibility in adolescent taekwondo competitors. Int J Educ Technol Sci Res. 2023;8(22):927-937. https://doi.org/10.35826/ijetsar.595

Diedrichsen J, Shadmehr R, Ivry RB. The coordination of movement: optimal feedback control and beyond. Trends Cogn Sci. 2010;14(1):31-39. https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.11.004

Diniz R, Del Vecchio FB, Schaun GZ, Oliveira HB, Portella EG, Da Silva ES, et al. Kinematic comparison of the roundhouse kick between taekwondo, karate, and muaythai. J Strength Cond Res. 2021;35(1):198-204. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002657

Esparza-Ros F, Vaquero-Cristóbal R, Marfell-Jones M. International Standards for Anthropometric Assessment. Potchefstroom: International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK); 2019.

Estevan I, Alvarez O, Falco C, Molina-García J, Castillo I. Impact force and time analysis influenced by execution distance in a roundhouse kick to the head in taekwondo. J Strength Cond Res. 2011;25(10):2851-2856. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318207ef72

Estevan I, Falco C, Silvernail JF, Jandacka D. Comparison of lower limb segments kinematics in a taekwondo kick: an approach to the proximal to distal motion. J Hum Kinet. 2015;47:41-49. https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0060

Estevan I, Falco C. Mechanical analysis of the roundhouse kick according to height and distance in taekwondo. Biol Sport. 2013;30(4):275-279. https://doi.org/10.5604/20831862.1077553

Faul F, Erdfelder E, Buchner A, Lang AG. Statistical power analyses using G*Power 3.1: tests for correlation and regression analyses. Behav Res Methods. 2009;41(4):1149-1160. https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149

Ferreira da Silva Santos J, Herrera-Valenzuela T, Franchini E. Establishing frequency speed of kick test classificatory tables in male and female taekwondo athletes. Kinesiology. 2019;51(2):213-218. https://doi.org/10.26582/k.51.2.12

Ferreira da Silva Santos J, Lopes-Silva JP, Loturco I, Franchini E. Test-retest reliability, sensibility and construct validity of the frequency speed of kick test in male black-belt taekwondo athletes. Ido Mov Cult J Martial Arts Anthropol. 2020;20(3):38-46. https://doi.org/10.14589/ido.20.3.6

Field A. Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics. 6th ed. London: Sage Publications; 2024.

Fong SS, Chung JW, Chow LP, Ma AW, Tsang WW. Differential effect of taekwondo training on knee muscle strength and reactive and static balance control in children with

developmental coordination disorder: a randomized controlled trial. Res Dev Disabil. 2013;34(5):1446-1455. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.01.025

Fong SS, Ng GY. Does taekwondo training improve physical fitness? Phys Ther Sport. 2011;12(2):100-106. https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2010.07.001

Franchini E, Tabben M, Chaabene H. Physiological responses during taekwondo training and competition. Int SportMed J. 2014;15(4):500-515.

Fritz CO, Morris PE, Richler JJ. Effect size estimates: current use, calculations, and interpretation. J Exp Psychol Gen. 2012;141(1):2-18. https://doi.org/10.1037/a0024338

Garbisu-Hualde A, Santos-Concejero J. Post-activation potentiation in strength training: a systematic review of the scientific literature. J Hum Kinet. 2021;78:141-150. https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0034

Gastin PB. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. Sports Med. 2001;31(10):725-741. https://doi.org/10.2165/00007256-200131100-00003

Girard O, Mendez-Villanueva A, Bishop D. Repeated-sprint ability—part I: factors contributing to fatigue. Sports Med. 2011;41(8):673-694. https://doi.org/10.2165/11590550-000000000-00000

Glaister M, Howatson G, Pattison JR, McInnes G. The reliability and validity of fatigue measures during multiple-sprint work: an issue revisited. J Strength Cond Res. 2008;22(5):1597-1601. https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e318181ab80

Grgic J, Trexler ET, Lazinica B, Pedisic Z. Effects of caffeine intake on muscle strength and power: a systematic review and meta-analysis. J Int Soc Sports Nutr. 2018;15(1):11. https://doi.org/10.1186/s12970-018-0216-0

Harbili S, Harbili E, Aslankeser Z. Comparison of bilateral isokinetic and isometric strength differences in elite young male and female taekwondo athletes. J Exerc Rehabil. 2022;18(2):117-122. https://doi.org/10.12965/jer.2244122.061

Hermann G, Scholz M, Vieten M, Kohloeffel M. Reaction and performance time of taekwondo top-athletes demonstrating the baldung-chagi. In: ISBS Conference Proceedings Archive; 2008.

Hidayat R, Jin X, Dou C, Yang B. Movement efficiency in taekwondo side kick (Yop Chagi): a kinematic comparison between novice and experienced practitioners. Front Physiol. 2025;16:1708748. https://doi.org/10.3389/fphys.2025.1708748

Janowski M, Zieliński J, Ciekot-Sołtysiak M, Schneider A, Kusy K. The effect of sports rules amendments on exercise intensity during taekwondo-specific workouts. Int J Environ Res Public Health. 2020;17(18):6779. https://doi.org/10.3390/ijerph17186779

Jeukendrup A, Gleeson M. Sport Nutrition. 3rd ed. Champaign: Human Kinetics; 2019.

Ju-sik P. The effect of functional training on the physical strength factor of elite taekwondo athletes. Kinesiology. 2019;4(1):1-7. https://doi.org/10.22471/SPORT.2019.4.1.01

Jung WS, Moon HW, Kim JW, Park HY, Park JB, Choi SH, et al. Analysis of cardiopulmonary function, energy metabolism, and exercise intensity and time according to the number of repetitions of taekwondo taegeuk poomsae in taekwondo players. J Mens Health. 2022;18(4):1-10. https://doi.org/10.31083/jomh.2021.140

Katoh M, Yamasaki H. Test-retest reliability of isometric leg muscle strength measurements made using a hand-held dynamometer restrained by a belt: comparisons during and between sessions. J Phys Ther Sci. 2009;21(3):239-243. https://doi.org/10.1589/jpts.21.239

Kim HB, Stebbins CL, Chai JH, Song JK. Taekwondo training and fitness in female adolescents. J Sports Sci. 2011a;29(2):133-138. https://doi.org/10.1080/02640414.2010.525519

Kim YK, Kim YH, Im SJ. Inter-joint coordination in producing kicking velocity of taekwondo kicks. J Sports Sci Med. 2011b;10(1):31-38.

Lakens D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. Front Psychol. 2013;4:62627. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863

Lee CL, Chin YF, Liu Y. Comparing the difference between front-leg and back-leg round-house kicks attacking movement abilities in taekwondo. In: ISBS Conference Proceedings Archive; 2005.

Liu TT, Lin YC, Tang WT, Hamill J, Chang JS. Lower-limb kinematic characteristics of taekwondo kicks at different attack angles. Int J Perform Anal Sport. 2021;21(4):519-531. https://doi.org/10.1080/24748668.2021.1924526

Lyuchkova E, Nesen O, Bartik P, Skrobecki J. Increasing the level of coordination abilities of young taekwondo athletes aged 13-14 under martial law. Pedagogy Health. 2022;1(2):59-64. https://doi.org/10.15561/health.2022.0205

Ma AW, Fong SS, Guo X, Liu KP, Fong DY, Bae YH, et al. Adapted taekwondo training for prepubertal children with developmental coordination disorder: a randomized, controlled trial. Sci Rep. 2018;8(1):10330. https://doi.org/10.1038/s41598-018-28738-7

Maffiuletti NA, Aagaard P, Blazevich AJ, Folland J, Tillin N, Duchateau J. Rate of force development: physiological and methodological considerations. Eur J Appl Physiol. 2016;116(6):1091-1116. https://doi.org/10.1007/s00421-016-3346-6

Markovic M, Toskić L, Stanković V, Arsenijević R, Aksović N, Bjelica B, et al. Reliability and sensitivity of Enode/Vmaxpro sensor for muscle power assessment. Life. 2024;14(12):1706. https://doi.org/10.3390/life14121706

McLellan CP, Lovell DI. Neuromuscular responses to impact and collision during elite rugby league match play. J Strength Cond Res. 2012;26(5):1431-1440. https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e318231a627

Mischenko NY, Kolokoltsev M, Gryaznykh A, Vorozheikin A, Romanova E, Suslina I. Endurance development in taekwondo according to the Tabata protocol. J Phys Educ Sport. 2021;21:3162-3167. https://doi.org/10.7752/jpes.2021.s6421

Moya-Ramon M, Mateo-March M, Peña-González I, Zabala M, Javaloyes A. Validity and reliability of different smartphones applications to measure HRV during short and ultra-short measurements in elite athletes. Comput Methods Programs Biomed. 2022;217:106696. https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.106696

Mönks U. Information Fusion Under Consideration of Conflicting Input Signals. Heidelberg: Springer; 2017.

Nam SS, Lim K. Effects of taekwondo training on physical fitness factors in Korean elementary students: a systematic review and meta-analysis. J Exerc Nutr Biochem. 2019;23(1):36-47. https://doi.org/10.20463/jenb.2019.0006

Oliveira MP, Szmuchrowski LA, Flor CAG, Gonçalves R, Couto BP. Correlation between the performance of taekwondo athletes in an adapted anaerobic kick test and Wingate anaerobic test. In: Kalina RM, editor. Proceedings of the 1st World Congress on Health and Martial Arts in Interdisciplinary Approach. Warsaw: Archives of Budo; 2015. p. 130-134.

Olsen RH, Aagaard P, Caserotti P, Magnusson SP. Post-activation performance enhancement in strength and power sports—a narrative review. *Scand J Med Sci Sports*. 2025. Advance online publication. https://doi.org/10.1111/sms.70162

Ölmez C, Yüksek S. Development of the taekwondo performance protocol to assess technical speed and quickness. Balt J Health Phys Act. 2023;15(1):1-15.

Özer K. Kinantropometri Sporda Morfolojik Planlama. 2. Baskı. Ankara: Nobel Yayın Evi; 2009.

Paramitha ST, Rosadi TY, Ramadhan MG, Suwanta DM. The influence of flexibility training on the accuracy of the dollyo chagi kick in taekwondo martial arts. In: 4th International Conference on Sport Science, Health, and Physical Education (ICSSHPE 2019). Atlantis Press; 2020. p. 317-320.

Perandini LA, Siqueira-Pereira TA, Okuno NM, Soares-Caldeira LF, Nakamura FY. Use of session RPE to training load quantification and training intensity distribution in taekwondo athletes. Sci Sports. 2012;27(4):e25-e30. https://doi.org/10.1016/j.scispo.2011.07.001

Pieter F, Pieter W. Speed and force in selected taekwondo techniques. Biol Sport. 1995;12:257-266.

Ramazanoğlu N. Transmission of impact through the electronic body protector in taekwondo. Int J Appl Sci Technol. 2013;3(2):1-7.

Riebe D, Ehrman JK, Liguori G, Magal M. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 10th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2018.

Rocha F, Louro H, Matias R, Costa A. Anaerobic fitness assessment in taekwondo athletes: a new perspective. Motricidade. 2016b;12(2):127-139. https://doi.org/10.6063/motricidade.8954

Rocha FPS, Louro H, Matias R, Brito J, Costa AM. Determination of aerobic power through a specific test for taekwondo: a predictive equation model. J Hum Kinet. 2016a;53(1):117-126. https://doi.org/10.1515/hukin-2016-0016

Sant'Ana J, Diefenthaeler F, Dal Pupo J, Detanico D, Guglielmo LGA, Santos SG. Anaerobic evaluation of taekwondo athletes. Int SportMed J. 2014;15(4):492-499.

Sant'Ana J, Franchini E, Murias JM, Diefenthaeler F. Validity of a taekwondo-specific test to measure VO2peak and the heart rate deflection point. J Strength Cond Res. 2019;33(9):2523-2529. https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002153

Sant'Ana J, Franchini E, Sakugawa RL, Diefenthaeler F. Estimation equation of maximum oxygen uptake in taekwondo specific test. Sport Sci Health. 2018;14(3):699-703. https://doi.org/10.1007/s11332-018-0502-x

Shahidi SH, Özkaya I, Karakas S, Yavuz Taşkıran M, Esformes JI. Validity and reliability of isometric muscle strength using the Powrlink portable device. Int J Strength Cond. 2023;3(1):1-6. https://doi.org/10.47206/ijsc.v3i1.237

Slimani M, Miarka B, Briki W, Cheour F. Comparison of mental toughness and power test performances in high-level kickboxers by competitive success. Asian J Sports Med. 2016;7(2):e30840. https://doi.org/10.5812/asjsm.30840

Song Y, Sheykhlouvand M. A comparative analysis of high-intensity technique-specific intervals and short sprint interval training in taekwondo athletes: effects on cardiorespiratory fitness and anaerobic power. J Sports Sci Med. 2024;23(3):672-683. https://doi.org/10.52082/jssm.2024.672

Sousa J, Beltrán VH, Louro H, Puerto JG. Evolution of the documents related to the study of taekwondo sports performance: a bibliometric review. Retos. 2024;(60):539-551. https://doi.org/10.47197/retos.v60.105867

Straiotto BG, Cook DP, James DC, Seeley PJ. Interjoint coordination in kicking a moving target: a comparison between elite and nonelite taekwondo players. J Appl Biomech. 2021;37(6):513-521. https://doi.org/10.1123/jab.2020-0359

Swandana A, Sugiharto S, Wahyu ISC. Development of reaction speed and endurance training tools for taekwondo kick speeds using Pyongyo. J Phys Educ Sports. 2021;10(1):8-16. https://doi.org/10.53905/inspiree.v5i01.125

T.C. Millî Eğitim Bakanlığı. Taekwondo Spor Lisesi Ders Materyali. [İnternet] (Erişim Tarihi: 21.08.2025). Available from: https://ogmmateryal.eba.gov.tr/kitap/spor-lisesi/taekwondo/index.html#p=27

Taati B, Arazi H, Bridge CA, Franchini E. A new taekwondo-specific field test for estimating aerobic power, anaerobic fitness, and agility performance. PLoS One. 2022;17(3):e0264910. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264910

Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. J Am Coll Cardiol. 2001;37(1):153-156. https://doi.org/10.1016/s0735-1097(00)01054-8

Tayech A, Mejri MA, Chaabene H, Chaouachi M, Behm DG, Chaouachi A. Test-retest reliability and criterion validity of a new taekwondo anaerobic intermittent kick test. J Sports Med Phys Fitness. 2018;59(2):230-237. https://doi.org/10.23736/s0022-4707.18.08105-7

Tayech A, Mejri MA, Chaouachi M, Chaabene H, Hambli M, Brughelli M, et al. Taekwondo anaerobic intermittent kick test: discriminant validity and an update with the gold-standard wingate test. J Hum Kinet. 2020;71:229-242. https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0081

Tayech A, Mejri MA, Makhlouf I, Uthof A, Hambli M, Behm DG, et al. Reliability, criterion-concurrent validity, and construct-discriminant validity of a head-marking version of the taekwondo anaerobic intermittent kick test. Biol Sport. 2022;39(4):951-963. https://doi.org/10.5114/biolsport.2022.109459

Tirtawirya D, Rohidi R, Hidayah T. The maintenance of endurance performance among taekwondo athletes during the competition period. J Educ Dev. 2017;5(2):183-197. https://doi.org/10.15294/jed.v5i2.14377

Tirtawirya D, Sudarko RA. Kick flexibility test model in taekwondo martial arts: BFS flexibility test. Ido Mov Cult. 2024;24(3):73-80. https://doi.org/10.14589/ido.24.3.8

Top E, Akil M, Aydin N. The effects of the taekwondo training on children's strength-agility and body coordination levels. JTRM Kinesiol. 2018.

Tornello F, Capranica L, Minganti C, Chiodo S, Condello G, Tessitore A. Technical-tactical analysis of youth Olympic taekwondo combat. J Strength Cond Res. 2014;28(4):1151-1157. https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000000255

Turner A. Strength & conditioning for taekwondo athletes. Prof Strength Cond. 2009;15:15-27.

Turvey MT. Coordination. Am Psychol. 1990;45(8):938. https://doi.org/10.1037/0003-066X.45.8.938

Ulupınar S, Özbay S, Gençoğlu C. Taekwondoya özgü tekli ve çoklu tekme frekans hız testlerinin deneyimli ve deneyimsiz taekwondocuları ayırt edebilmedeki etkinliği. Spor Hekimliği Derg. 2021;56(3):125-132.

van der Zwaard S, Graafland FH, van Middelkoop C, Lintmeijer LL. Validity and reliability of facial rating of perceived exertion scales for training load monitoring. J Strength Cond Res. 2023;37(5):e317-e324. https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000004361

Vieten M, Scholz M, Kilani H, Kohloeffel M. Reaction time in taekwondo. In: ISBS Conference Proceedings Archive; 2007.

Wasik J. Kinematics and kinetics of taekwon-do side kick. J Hum Kinet. 2011;30:13-20. https://doi.org/10.2478/v10078-011-0068-z

Winter DA. Biomechanics and Motor Control of Human Movement. 4th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2009.

World Taekwondo Federation. Müsabaka kuralları ve yorumlaması. [İnternet] 2022. (Erişim Tarihi: 27.09.2025). Available from: https://www.worldtaekwondo.org/rules-wt/rules.html

Worsey MT, Espinosa HG, Shepherd JB, Thiel DV. Inertial sensors for performance analysis in combat sports: a systematic review. Sports (Basel). 2019;7(1):28. https://doi.org/10.3390/sports7010028

Xuan X, Chen C, Molinero-Fernandez A, Ekelund E, Cardinale D, Swarén M, et al. Fully integrated wearable device for continuous sweat lactate monitoring in sports. ACS Sens. 2023;8(6):2401-2409. https://doi.org/10.1021/acssensors.3c00708

Yılmaz DS. The effect of different flexibility studies on performance of taekwondo. Turk J Sport Exerc. 2021;23(3):339-344. https://doi.org/10.15314/tsed.982755

Yoo S, Park SK, Yoon S, Lim HS, Ryu J. Comparison of proprioceptive training and muscular strength training to improve balance ability of taekwondo poomsae athletes: a randomized controlled trial. J Sports Sci Med. 2018;17(3):445-454.

Zulkarnain AN, Kristiyanto A, Rachma N. Effectiveness body weight strength training and plyometric in the speed and agility taekwondo athletes. Jurnal SPORTIF. 2021;7(2):219-231. https://doi.org/10.29407/js_unpgri.v7i2.15943

9. ÖZGEÇMİŞ

10. BİLİMSEL FAALİYETLER

Öztürk AT, Agopyan A, Yeşilçimen T, Coşkun EŞ. Comparison of physiological and kinematic responses to frequency speed of kick test in taekwondo athletes of different levels. Anatolia Sport Res. 2026;7(1):41-57.

Öztürk AT. Taekwondo'da laktatın rolü. İçinde: Baydaş G, Uca M, editörler. Spor Perspektifinde Sağlık. Ankara: Akademisyen Kitabevi; 2024. s. 87-101.

Öztürk AT, Agopyan A, Yeşilçimen T, Coşkun EŞ. Farklı düzeydeki taekwondo sporcularında tekme frekans hız testinin fizyolojik ve kinematik yanıtlarının karşılaştırılması. 23. Uluslararası Spor Bilimleri Kongresi, Sözlü Sunum. Aralık 2025.

Coşkun EŞ, Yeşilçimen T, Öztürk AT. Elit taekwondocularda tekme frekans hız testi ile taekwondo anaerobik aralıklı tekme testi arasındaki kalp atım hızı, kan laktat konsantrasyonu ve vuruş yüklerinin karşılaştırılması. 23. Uluslararası Spor Bilimleri Kongresi, Sözlü Sunum. Aralık 2025.

11. EKLER

GÖNÜLLÜ OLUR FORMU (EK1)

Lisansüstü eğitim programı sürdürdüğüm Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalında "Taekwondo Tekme Frekans Hız Testinin Fizyolojik ve Kinematik Parametrelerinin Değerlendirilmesi" adlı araştırmayı yapmayı planlamaktayım.

Araştırmamızda, Tekme Frekans Hız Testinin (TFHT) fizyolojik (kalp atım hızı, kan laktat seviyesi, algılanan zorluk derecesi) ve kinematik (darbe ivmesi) parametreler üzerindeki etkisini incelenmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamlı analizler, TFHT'nin taekwondo sporcularının performansını değerlendirmede ne kadar etkili ve güvenilir olduğunu ortaya koyacak, ayrıca literatürde var olan boşluğu dolduracaktır. Bu yaklaşımla araştırmamız özgün bir yapı taşımaktadır.

Bu çalışmaya 18-25 yaş arası 16 erkek sporcu gönüllülük esasına göre alınacaktır. Ölçümler gerekli etik kurul onayı alınarak gerçekleştirilecektir. Araştırmaya katılan sporcuların tüm ölçümleri 1 günde yapılacaktır. Katılımcılar kişisel bilgi formunu dolduracak, antropometrik ölçümler (boy uzunluğu ve vücut ağırlığı) ve sırası ile dinlenik fizyolojik ölçümler (kalp atım hızı ve kan laktat seviyesi) yapılacaktır. Sonrasında 11 dakika ısınma yapılacak ve 5 dakika dinlenme verilecektir. Bacak kuvveti ölçümü yapılacaktır. 10 dakika sonra teste başlayacak ve toplam vurulan tekme sayısı hesaplanacak, tur aralarında, test bitince algılanan zorluk derecesi ile darbe ivmesi kaydedilecektir. Test bittikten hemen sonra, 3 dakika ve 5 dakika sonra fizyolojik ölçümler (kalp atım hızı ve kan laktat seviyesi) ölçülecektir.

Çalışmanın tüm aşamaları İstanbul'da spor merkezinin taekwondo salonunda yapılacaktır.

Bu çalışmaya katılmanız için sizden herhangi bir ücret istenmeyecektir. Çalışmaya katıldığınız için size ek bir ödeme de yapılmayacaktır. Sizinle ilgili bilgiler gizli tutulacak, ancak çalışmanın kalitesini denetleyen görevliler, etik kurullar ya da resmi makamlarca gereği halinde incelenebilecektir. Bu araştırmaya katılmak tamamen isteğe bağlıdır ve çalışmaya katılmayı reddedebilirsiniz. Ayrıca çalışmanın herhangi bir aşamasında onayınızı çekmek hakkına da sahipsiniz.

Gönüllünün Hakları

-Gönüllü araştırmaya katılmayı reddetme hakkına sahiptir.

-Gönüllü araştırmacıya haber vermek kaydıyla istediği anda çalışmadan çekilebilir ya da araştırmacı tarafından gerek görüldüğünde araştırmadan çıkartılabilir.

-Gönüllü araştırmayı kabul etmemesi durumunda veya herhangi bir nedenle çalışma programından çıkarılması veya çıkması halinde, spor yaşantısı ile ilgili bir aksama olmayacağını taahhüt ederiz.

-Araştırma için yapılacak harcamalarla ilgili gönüllü herhangi bir parasal sorumluluk altında değildir, ayrıca kendisine hiçbir masraf ve harcama yaptırılmayacaktır.

-Gönüllüden alınacak ölçüm ve veriler yalnızca adı geçen çalışmada kullanılacaktır.

-Gönüllünün kimlik bilgileri gizli kalacaktır.

Sayın Prof. Dr. Ani AGOPYAN ve Ahmet Talha ÖZTÜRK tarafından M.Ü. Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı Hareket ve Antrenman Bilimleri Yüksek Lisans tezi çalışması kapsamında bir araştırma yapılacağı belirtilerek bu araştırma ile ilgili yukarıdaki ilgiler bana aktarıldı. Bu bilgilerden sonra böyle bir araştırmaya "katılımcı" (denek) olarak davet edildim. Eğer bu araştırmaya katılırsam araştırmacı ile aramda kalması gereken bana ait

bilgilerin gizliliğine bu araştırma sırasında ve sonrasında büyük özen ve saygı ile yaklaşılacağına inanıyorum. Araştırma sonuçlarının eğitim ve bilimsel amaçlarla kullanımı sırasında kişisel bilgilerimin ihtimamla korunacağı konusunda bana yeterli güven verildi.

Projenin yürütülmesi sırasında herhangi bir sebep göstermeden araştırmadan çekilebilirim. Ancak araştırmacıları zor durumda bırakmamak için araştırmadan çekileceğimi önceden bildirmemin uygun olacağının bilincindeyim. Ayrıca spor performansıma herhangi bir zarar verilmemesi amacıyla araştırmacı tarafından araştırmadan çıkartılabileceğimi de biliyorum. Araştırma için yapılacak harcamalarla ilgili herhangi bir parasal sorumluluk altına girmiyorum. Bana da bir ödeme yapılmayacaktır. İster doğrudan ister dolaylı olsun araştırma uygulamasından kaynaklanan nedenlerle meydana gelebilecek herhangi bir sağlık sorunumun ortaya çıkması halinde, her türlü tıbbi müdahalenin sağlanacağı konusunda gerekli güvence verildi. Bu tıbbi müdahalelerle ilgili olarak da parasal bir yük altına girmeyeceğimi biliyorum.

Araştırma sırasında bir sağlık sorunu ile karşılaştığımda; herhangi bir saatte,
numaralı telefondan arayabileceğimi ve

adresinden ulaşacağımı biliyorum.

Bu çalışmaya ilişkin olarak aklınıza gelebilecek her türlü soru ve ek bilgilendirme talebiniz için, araştırma gurubu adına sizi bilgilendirecek olan ve aşağıda ulaşabileceğiniz telefon numaraları bulunan araştırmacılar ile iletişime geçebilir ve randevulaşıp yüz yüze görüşme talep edebilirsiniz.

Danışman: Prof. Dr. Ani AGOPYAN numaralı telefondan ve Araştırmacı: Ahmet Talha ÖZTÜRK numaralı telefondan ulaşabilirsiniz. Araştırma sırasında bir sağlık sorunu ile karşılaştığımda; herhangi bir saatte,
numaralı telefondan arayabileceğimi ve

adresinden ulaşacağımı biliyorum. Bu araştırmaya katılmak zorunda değilim ve katılmayabilirim. Araştırmaya katılmam konusunda zorlayıcı bir davranışla karşılaşmış değilim. Eğer katılmayı reddedersem, bu durumun herhangi bir zarar getirmeyeceğini de biliyorum.

Bana yapılan tüm açıklamaları ayrıntılarıyla anlamış bulunmaktayım. Kendi başıma belli bir düşünme süresi sonunda adı geçen bu araştırma projesinde "katılımcı" (denek) olarak yer alma kararını aldım. Bu konuda yapılan daveti büyük bir memnuniyet ve gönüllülük içerisinde kabul ediyorum. İmzalamış bulunduğum bu form kâğıdının bir kopyası bana verilecektir.

GÖNÜLLÜ ONAY FORMU (EK2)

Sporcu bilgilendirme formunun içeriğini ve "Taekwondo Tekme Frekans Hız Testinin Fizyolojik ve Kinematik Parametrelerin Değerlendirilmesi" adlı araştırmayı tamamen okudum. Bunlar hakkında bana yazılı ve sözlü açıklamalar yapıldı. Bana verilen bilgiler ışığında bu araştırmanın tamamen ağrısız, güvenilir bir yöntem olduğuna, araştırma süresince tüm güvenlik ve koruyucu önlemlerin alındığına ikna oldum.

Bu bilgiler doğrultusunda herhangi bir baskıya maruz kalmadan tamamen kendi isteğimle ekte belirtilen çalışmaya gönüllü olarak katılmayı kabul ediyorum.

Gönüllünün Adı Soyadı:

E-Mail:

Tel No.:

Adres:

İmza:

Araştırmacı Adı Soyadı:

E-Mail:

Tel No.:

İmza:

Rıza alma işlemine başından sonuna kadar tanıklık eden kuruluş görevlisi

Danışman Adı Soyadı:

E-Mail:

Tel No.:

İmza:

KİŞİSEL BİLGİ FORMU (EK3)

Adı – Soyadı:	
Doğum Tarihi:	Ölçüm Tarihi:
Antrenman Yaşı:	Haftalık Antrenman Süresi:
Son 3 Ay İçerisinde Sakatlık Yaşadınız Mı?	☐ Evet ☐ Hayır

FİZİKSEL BİLGİLER

Boy Uzunluğu (cm):
Vücut Ağırlığı (kg):
Vücut Kütle İndeksi (kg/m^2):

FİZYOLOJİK ÖLÇÜMLER

Kalp Atım Hızı				
1. Tur	2. Tur	3. Tur	4. Tur	5. Tur
Dinlenik	1 Dakika Sonra	3 Dakika Sonra	5 Dakika Sonra	

Kan Laktat Seviyesi			
Dinlenik	Hemen bitince	3 Dakika Sonra	5 Dakika Sonra

Algılanan Zorluk Seviyesi				
1. Tur	2. Tur	3. Tur	4. Tur	5. Tur

Bacak Kuvveti Ölçümü		
1. Tur	2. Tur	3. Tur

TAEKWONDO TEKME FREKANS HIZ TESTİ FORMU (EK4)

1. Tur (İvmeölçer)											
1.	**2.**	**3.**	**4.**	**5.**	**6.**	**7.**	**8.**	**9.**	**10.**	**11.**	**12.**
13.	**14.**	**15.**	**16.**	**17.**	**18.**	**19.**	**20.**	**21.**	**22.**	**23.**	**24.**
2. Tur (İvmeölçer)											
1.	**2.**	**3.**	**4.**	**5.**	**6.**	**7.**	**8.**	**9.**	**10.**	**11.**	**12.**
13.	**14.**	**15.**	**16.**	**17.**	**18.**	**19.**	**20.**	**21.**	**22.**	**23.**	**24.**
3. Tur (İvmeölçer)											
1.	**2.**	**3.**	**4.**	**5.**	**6.**	**7.**	**8.**	**9.**	**10.**	**11.**	**12.**
13.	**14.**	**15.**	**16.**	**17.**	**18.**	**19.**	**20.**	**21.**	**22.**	**23.**	**24.**
4. Tur (İvmeölçer)											
1.	**2.**	**3.**	**4.**	**5.**	**6.**	**7.**	**8.**	**9.**	**10.**	**11.**	**12.**
13.	**14.**	**15.**	**16.**	**17.**	**18.**	**19.**	**20.**	**21.**	**22.**	**23.**	**24.**
5. Tur (İvmeölçer)											
1.	**2.**	**3.**	**4.**	**5.**	**6.**	**7.**	**8.**	**9.**	**10.**	**11.**	**12.**
13.	**14.**	**15.**	**16.**	**17.**	**18.**	**19.**	**20.**	**21.**	**22.**	**23.**	**24.**
Toplam Tekme Sayısı:											
Tekme Yorgunluk İndeksi:											

ETİK KURUL KARAR FORMU (EK5)