

T.C.
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BEDEN EĞİTİMİ VE SPOR ANABİLİM DALI

**FARKLI YAŞ GRUPLARINDAKİ FUTBOLCU ÇOCUKLARDA
BACAĞI SERTLİĞİ VE KOŞU EKONOMİSİNİN İNCELENMESİ**

Çağatay Selçuk KARAKAŞ

**BEDEN EĞİTİMİ VE SPOR TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMANI
Doç. Dr. Selcen Göktürk KORKMAZ ERYILMAZ**

ADANA-2020

T.C.
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BEDEN EĞİTİMİ VE SPOR ANABİLİM DALI

**FARKLI YAŞ GRUPLARINDAKİ FUTBOLCU ÇOCUKLARDA
BACAĞI SERTLİĞİ VE KOŞU EKONOMİSİNİN İNCELENMESİ**

Çağatay Selçuk KARAKAŞ

**BEDEN EĞİTİMİ VE SPOR TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DANIŞMANI
Doç. Dr. Selcen Göktürk KORKMAZ ERYILMAZ**

ADANA-2020


Kabul ve Onay Yazısı

KABUL VE ONAY

Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı
Tezli Yüksek Lisans Programı Çerçevesinde yürütölmüş olan
"Farklı Yaş Gruplarındaki Futbolcu Çocuklarda Bacak Sertliği ve Koşu Ekonomisinin
İncelenmesi"
adlı çalışma, aşağıdaki jüri tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tarihi: 28 / 04 / 2020

TEZ SINAV JÜRİSİ


Doç. Dr. Selcen G. KORKMAZ ERYILMAZ
Çukurova Üniversitesi
Başkan


Prof. Dr. Sanlı Sadi KURDAK
Çukurova Üniversitesi
Üye


Prof. Dr. Mehmet Yavuz TAŞKIRAN
İstanbul Gedik Üniversitesi
Üye

Yukandaki Tez, Yönetim Kurulunun / / tarih ve
edilmiştir.

sayılı karar ile kabul

Prof.Dr. Behice DURGUN
Sağlık Bilimleri Enstitü Müdürü

T.C.
ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesini okuduğumu ve anladığımı ve Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tez olarak sunduğum bu çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda bu konuda hakkımda yapılacak tüm yasal işlemleri ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim./....../2020

Çağatay Selçuk KARAKAŞ

Kayıtlı olunan Program	: Beden Eğitimi ve Spor
Tezin Konusu	: Farklı Yaş Gruplarındaki Futbolcu Çocuklarda Bacak Sertliği ve Koşu Ekonomisinin İncelenmesi
Tezin Türü	: Yüksek Lisans : <input checked="" type="checkbox"/> Doktora: <input type="checkbox"/>
Danışmanın Adı-Soyadı	: Doç. Dr. Selcen Göktürk KORKMAZ ERYILMAZ
Danışmanın İletişim Bilgileri	
Telefon	: +90 542 291 3014
E-Posta	: selcen_korkmaz@yahoo.com
Öğrencinin İletişim Bilgileri	
Telefon	: +90 507 917 46 57
E-Posta	: selcukk.12@gmail.com
Adresi	: Seyhan-ADANA

**Bu belgenin Lisansüstü eğitim tezleri savunmaya alınmadan önce öğrenci tarafından doldurulup imzalanarak Enstitü Müdürlüğüne teslim edilmesi gerekmektedir.*

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında değerli katkıları ve eleştirileriyle yol gösteren ve sonsuz sabrıyla yanımda olan ve bana güvenen değerli tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Selcen Göktürk KORKMAZ ERYILMAZ'a, bir aile gibi çalışma ortamı sunan saygıdeğer değerli hocalarım Sayın Doç. Dr. Kerem Tuncay ÖZGÜNEN, Sayın Doç. Dr. Çiğdem ÖZDEMİR ve Sayın Prof. Dr. Sanlı Sadi KURDAK' a, yoğun çalışmalarımız sırasında bana katlandıkları ve sabır gösterdikleri için değerli dostlarım Arş. Gör. Abdullah KILCI, Arş. Gör. Ömer Cumhuri BOYRAZ, Arş. Gör. Özgür GÜNAŞTI, Nedim ASKERİ, Ümit ADAŞ, Hakan ÖZDEMİR ve Muhammed Emin KOÇ'a değerli yorum ve değerlendirmeleriyle katkıda bulunan Sayın Prof. Dr. Mehmet Yavuz TAŞKIRAN'a, mesai arkadaşlarım Arş. Gör. Şerefcan ÇAKIR, Öğr. Gör. Halil KORKMAZ, Arş. Gör. Cem AKYÜZ'e, çalışmalarım sırasında bana ümit vererek manevi desteklerini esirgemeyen dostlarım Furkan OĞUZ ve Bekir GÖKMEN'e ve tez çalışmama katılan bütün sporculara ve antrenörlerine çalışmaya gösterdikleri ciddiyet, verdikleri önem ve yaptıkları fedakârlıklar için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca beni bu süreçte hiçbir zaman yalnız bırakmayan her zaman destek noktam olarak yanımda duran ve bana olan inançlarını her zaman hissettiren ablam Sinem ÜÇOK, ağabeyim Seyhan KARAKAŞ, eniştem Ersan ÜÇOK, annem Sabriye KARAKAŞ ve babam Salih KARAKAŞ'a minnettarlık duyar teşekkürü borç bilirim.

Son olarak teyzem Betül TOPÇULU'nun bana ve bizlere kattığı güzel anılardan dolayı bu tezi ona adıyorum.

İÇİNDEKİLER

Kabul ve Onay Yazısı	ii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
KISALTMALAR DİZİNİ	xii
ÖZET	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİ.....	4
2.1. Futbolun Metabolik Gereksinimi ve Şiddeti.....	4
2.2. Koşu Ekonomisi ve Performans İlişkisi.....	9
2.3. Koşu Ekonomisini Performansını Etkileyen Faktörler	11
2.4. Gerilme-Kısalma Döngüsü Aktiviteler	19
2.5. Çocuklarda Büyüme ve Olgunlaşma	24
2.6. Biyolojik Olgunlaşmanın Değerlendirilmesi	31
3. MATERYAL VE METOD	36
3.1. Deney Protokolü	36
3.2. Yapılan Ölçümler.....	37
3.3 İstatistiksel Analiz.....	50
4. BULGULAR.....	52
4.1. Bacak Sertliği ile Koşu Ekonomisi İlişkisi	52
4.2. Dikey Sıçrama Testi Bacak Sertliği ile Diz Eklem Açısı İlişkisi	57
4.3. Bacak Sertliği ile Tekrarlı Sprint Performansı İlişkisi.....	57
4.4. VO ₂ max'ın Fraksiyonel Kullanımı ve Koşu Ekonomisi ile Maksimal Kademeli Artan Koşu Testi Sırasında Ölçülen Değişkenlerin İlişkisi	60
4.5. Sabit Hızda Koşu Testleri Sırasında Ölçülen Mutlak ve Görece Adım Uzunluğu Değerleri ile Koşu Ekonomisi İlişkisi.....	63
4.6. Maksimal Kademeli Artan Koşu Testi Sırasında Ölçülen Değişkenlerin Gruplar Arası Karşılaştırılması.....	67

4.7. Sabit Hızda Koşu Testleri Sırasında Ölçülen Değişkenlerin Gruplar Arası Karşılaştırılması.....	68
4.8. Dikey Sıçrama Testleri Bacak Sertliği Değerlerinin Gruplar Arası Karşılaştırılması.....	70
4.9. Sabit Hızda Koşu Testleri Bacak Sertliği Değerlerinin Gruplar Arası Karşılaştırılması.....	72
4.10. Tekrarlı Sprint Performansının Gruplar Arası Karşılaştırılması.....	74
5. TARTIŞMA.....	76
5.1. Bacak Sertliği ile Koşu Ekonomisi İlişkisi	76
5.2. Sabit Hızda Koşu Testleri Sırasında Ölçülen Mutlak ve Görece Adım Uzunluğu Değerleri ile Koşu Ekonomisi İlişkisi	78
5.3. VO _{2max} 'ın Fraksiyonel Kullanımı ile Maksimal Kademeli Artan Koşu Testi Sırasında Ölçülen Değişkenlerin İlişkisi	80
5.4. Bacak Sertliği ile Tekrarlı Sprint Performansı İlişkisi.....	81
5.5. Maksimal Kademeli Artan Koşu Testi Sırasında Ölçülen Değişkenlerin Gruplar Arası Karşılaştırılması	83
5.6. Sabit Hızda Koşu Testleri Sırasında Ölçülen Değişkenlerin Gruplar Arası Karşılaştırılması.....	84
5.7. Bacak Sertliği ve Tekrarlı Sprint Performansının Gruplar Arası Karşılaştırılması.....	87
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	90
7. KAYNAKLAR	92
ÖZGEÇMİŞ	102
EKLER	103
EK-1. AYDINLATILMIŞ ONAM(RIZA) FORMU	103
EK-2. ETİK KURUL ONAY FORMU	104
EK-3. ANTROPOMETRİ DEĞERLENDİRME FORMU	105
EK 4. TEST BİLGİ FORMU.....	107

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Farklı koşu ekonomisi profiline sahip iki sporcunun aynı hız iş yükündeki oksijen yanıtlarının karşılaştırılması. Daha iyi koşu ekonomisine sahip (Sporcu 1) sporcunun, kötü koşu ekonomisine sahip (Sporcu 2) sporcuya kıyasla aynı hız iş yükünde daha az oksijen kullandığı görülmektedir.....	9
Şekil 2.2. Eşdeğer $\dot{V}O_{2max}$ 'a ($ml.kg^{-1}.dak^{-1}$) sahip iki sporcunun koşu ekonomisi profilleri.....	10
Şekil 2.3. Koşu ekonomisini etkileyen faktörler	11
Şekil 2.4. Adım uzunluğu manipülasyonunun bir fonksiyonu olarak $\dot{V}O_2$ 'de meydana farklılıklar. (KSAU; Kendi seçtikleri adım uzunlukları, ΔAU ; Adım uzunluğunda meydana gelen farklılıklar, BU; Bacak Uzunluğu)	18
Şekil 2.5. Gerilme-Kısalma Döngüsü.....	20
Şekil 2.6. Gerilme-kısalma döngüsü aktiviteleri esnasında eksantrik kasılmalar, konsantrik kasılma sırasında üretilen kas kuvvetini artırıcı yöndeki etkisi ..	20
Şekil 2.7. Gerilme-kısalma döngüsü içeren aktivitelerde enerjinin depolanması ve yeniden kullanımı.....	21
Şekil 2.8. Yay kütle modelinin insan vücudu üzerindeki modeli.....	22
Şekil 2.9. Reaktif Kuvvet İndeksi.....	24
Şekil 2.10. Genç erkekler için uzun vadeli fiziksel gelişim modeli	27
Şekil 2.11. Erken ve geç olgunlaşan erkeklerin (A) ve kızların (B) kronolojik yaş ile biyolojik olgunlaşmanın gelişimsel eğrilerindeki farklılıklar	32
Şekil 2.12. Kızların ve erkeklerin pik uzama hızı yaşları.....	34
Şekil 2.13. Erken, ortalama ve geç olgunlaşan bireyler için kronolojik yaşa göre (yıl) büyüme hızları (santimetre/yıl)	34
Şekil 3.1-A. Kurdaklar Elektronik Baskül.....	38
Şekil 3.1-B. Elektronik Stadyometre	38
Şekil 3.2. Aptamil Marka Mezura	38
Şekil 3.3. Bacak uzunluğunun belirlenmesi	39
Şekil 3.4. Oturma yüksekliğinin belirlenmesi	40
Şekil 3.5 Fotoselli Kronometre (Witty timer, Microgate, Bolzano, Italy)	41
Şekil 3.6. 10x20m Tekrarlı Sprint Yeteneği Testi.....	41

Şekil 3.7. Elektrik motorlu koşu bandı ve gaz analizörü.....	42
Şekil 3.8. Maksimal kademeli artan yük testi.....	43
Şekil 3.9. Submaksimal sabit yük koşu testi	44
Şekil 3.10. Ayağın yerden ayrılış ve yerle temas anındaki görüntü karesi	45
Şekil 3.11. Temasa Duyarlı Hassas Sensörler İçeren Sıçrama Matı (Witty timer, Microgate, Bolzano, Italy).....	46
Şekil 3.12. Yerle temas süresinin başlangıç anı	48
Şekil 3.13. Go-pro hero3 black edition.....	48
Şekil 3.14. Havada kalış süresinin başlangıç anı	49
Şekil 4.1. A. 8 km/saat sabit hızda koşu testi oksijen alım (VO_{2KE}) değeri ile maksimal dikey sıçrama testi bacak sertliği (DBS_{maks}) değerleri arasındaki ilişki. B. 8 km/saat %1 eğim sabit hızda koşu testi oksijen alım (VO_{2KE}) değeri ile maksimal dikey sıçrama testi bacak sertliği (DBS_{maks}) değerleri arasındaki ilişki. C. 8 km/saat sabit hızda koşu testi oksijen alım (VO_{2KE}) değeri ile submaksimal dikey sıçrama testi bacak sertliği (DBS_{maks}) değerleri arasındaki ilişki. D. 8 km/saat %1 eğim sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen oksijen alım (VO_{2KE}) değeri ile submaksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen bacak sertliği (DBS_{maks}) değerleri arasındaki ilişki.....	55
Şekil 4.2. A. 8 km/saat sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen oksijen alım (VO_{2KE}) değeri ile bacak sertliği (BS_{8km}) ve dikey bacak sertliği (DBS_{8km}) değerleri arasındaki ilişki. B. 8 km/saat %1 eğim sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen oksijen alım (VO_{2KE}) değeri ile bacak sertliği ($BS_{8km\%1eğim}$) ve dikey bacak sertliği ($DBS_{8km\%1eğim}$) değerleri arasındaki ilişki. C. 9 km/saat sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen oksijen alım (VO_{2KE}) değeri ile bacak sertliği (BS_{9km}) ve dikey bacak sertliği (DBS_{9km}) değerleri arasındaki ilişki.	56
Şekil 4.3. Tekrarlı sprint testi sırasında ölçülen en iyi sprint zamanı ile maksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen bacak sertliği (BS_{maks}) değerleri arasındaki ilişki.....	59
Şekil 4.4. Tekrarlı sprint testi sırasında ölçülen ortalama sprint zamanı ile maksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen bacak sertliği (BS_{maks}) değerleri arasındaki ilişki	59

Şekil 4.5. Kademeli olarak artan maksimum koşu testi sonucunda elde edilen maksimal oksijen alım değerleri (VO_{2max}) ile 8 km/saat sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen oksijen alım (VO_{2KE}) değeri arasındaki ilişki.....	61
Şekil 4.6 Kademeli olarak artan maksimum koşu testi sonucunda elde edilen maksimal oksijen alım değerleri (VO_{2max}) ile 8 km/saat %1 eğim sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen oksijen alım (VO_{2KE}) değeri arasındaki ilişki.....	62
Şekil 4.7. Kademeli olarak artan maksimum koşu testi sonucunda elde edilen maksimal oksijen alım değerleri (VO_{2max}) ile 9km/saat sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen oksijen alım (VO_{2KE}) değeri arasındaki ilişki	62
Şekil 4.8. 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen adım frekansı (adım/sn) ile adım uzunluğu (m) değeri arasındaki ilişki.	65
Şekil 4.9. 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen adım frekansı (adım/sn) ile bacak uzunluğu (m) değeri arasındaki ilişki	66
Şekil 4.10. 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen adım frekansı (adım/sn) ile adım uzunluğu (m) değeri arasındaki ilişki	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Çalışmaya katılan sporcuların demografik özellikleri (Ortalama \pm standart sapma).....	52
Çizelge 4.2. Koşu ekonomisi ve bacak sertlik özellikleri arasındaki korelasyon katsayısı değerleri (r)	54
Çizelge 4.3. Tekrarlı sprint yeteneği ve bacak sertlik özellikleri arasındaki korelasyon katsayısı değerleri (r).....	58
Çizelge 4.4. Sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen oksijen alımı ve oksijen alımının VO_{2max} 'ın fraksiyonel kullanımı ($\%VO_{2max}$) cinsinden değerleri ile maksimal kademeli artan koşu testi sırasında ölçülen değişkenler arasında korelasyon katsayısı (r) değerleri	61
Çizelge 4.5. Sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen görece adım uzunluğu (m) değerleri ile koşu ekonomisi arasında korelasyon katsayısı (r) değerleri .	64
Çizelge 4.6. Maksimal kademeli artan koşu testi sırasında ölçülen değişkenlerin gruplar arası karşılaştırılması (Ortalama \pm standart sapma).	67
Çizelge 4.7. 8 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen değişkenlerin gruplar arası karşılaştırılması (Ortalama \pm standart sapma)	68
Çizelge 4.8. %1 eğimde 8 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen değişkenlerin gruplar arası karşılaştırılması (Ortalama \pm standart sapma).....	69
Çizelge 4.9. 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen değişkenlerin gruplar arası karşılaştırılması (Ortalama \pm standart sapma)	70
Çizelge 4.10. Maksimal dikey sıçrama testi ve submaksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen değişkenlerin gruplar arası karşılaştırılması (Ortalama \pm standart sapma).....	71
Çizelge 4.11. 8 km/saat sabit hızda koşu testi sırasında bacak sertlik özelliklerinin gruplar arası karşılaştırılması (Ortalama \pm standart sapma)	72
Çizelge 4.12. %1 eğimde 8 km/saat sabit hızda koşu testi bacak sertlik özelliklerinin gruplar arası karşılaştırılması (Ortalama \pm standart sapma)	73
Çizelge 4.13. 9 km/saat sabit hızda koşu testi bacak sertlik özelliklerinin gruplar arası karşılaştırılması (Ortalama \pm standart sapma)	74

Çizelge 4.14. Tekrarlı sprint testi sırasında ölçülen değişkenler (Ortalama \pm standart sapma).....	75
--	----

KISALTMALAR DİZİNİ

% $\dot{V}O_{2max}$: Maksimal Oksijen Alımının Yüzdesi Cinsinden Değeri ($\dot{V}O_{2max}$ ' In Fraksiyonel Kullanımı)

8km $\dot{V}O_{2KE}$: 8km/Saat Sabit Hızdaki Test Protokolü

8km %1eğim $\dot{V}O_{2KE}$: %1 Eğim İçeren 8km/Saat Sabit Hızdaki Test Protokolü

9 km $\dot{V}O_{2KE}$: 9km/Saat Sabit Hızdaki Test Protokolü

ANOVA: Tek Yönlü Varyans Analizi

BS: Bacak Sertliği

PUH: Pik Uzama Hızı

DBS: Dikey Bacak Sertliği

DBSmaks: Maksimal Dikey Sıçrama Testi Dikey Bacak Sertliği

DBSsubmaks: Submaksimal Dikey Sıçrama Testi Dikey Bacak Sertliği

DBS8km: 8 Km/Saat Koşu Testi Dikey Bacak Sertliği

DBS8km%1eğim: %1 Eğimde 8 Km/Saat Koşu Testi Dikey Bacak Sertliği

DBS9km: 9 Km/Saat Koşu Testi Dikey Bacak Sertliği

BS8km: 8 Km/Saat Koşu Testi Bacak Sertliği

BS8km%1eğim: %1 Eğimde 8 Km/Saat Koşu Testi Bacak Sertliği

BS9km: 9 Km/Saat Koşu Testi Bacak Sertliği

AF: Adım Frekansı

AU: Adım Uzunluğu

BU: Bacak Uzunluğu

AS: Adım Süresi.

KE: Koşu Ekonomisi

$\dot{V}O_2$ /adım: Adım Başına Oksijen Alımı

DEAmaks: Maksimal Dikey Sıçrama Testi Sırasında Diz Ekleminin Açısı

DEAsubmaks: Submaksimal Dikey Sıçrama Testi Sırasında Diz Ekleminin Açısı

BSmaks: 5 Tekrarlı Maksimal Dikey Sıçrama Testi Sırasında Ölçülen Bacak Sertliği

BSsubmaks: 20 Tekrarlı Submaksimal Dikey Sıçrama Testi Sırasında Ölçülen Bacak Sertliği

D: Defans

FOR: Forvet

G.Ort.: Genel Ortalama

GKD: Gerilme-Kısalma Döngüsü

HKS_{maks}: 5 Tekrarlı Maksimal Dikey Sıçrama Testi Sırasında Ölçülen Havada Kalış Süresi

HKS_{submaks}: 20 Tekrarlı Submaksimal Dikey Sıçrama Testi Sırasında Ölçülen Havada Kalış süresi

KAH_{maks}: Maksimal Kalp Atım Hızı

KE: Koşu Ekonomisi

kNm⁻¹: kilonewton/metre

MSY: Maksimal Dikey Sıçrama Yüksekliği

O.S.: Orta Saha

PDY: Performans Düşüş Yüzdesi

RER_{maks}: Maksimal Solunum Değişim Oranı

RSI: Reaktif Kuvvet İndeksi

VA: Kilogram (kg) Cinsinden Vücut Ağırlığı

VE_{maks}: Maksimal Dakika Ventilasyonu

VO_{2AKE}: ml kg^{-0.75} dak⁻¹ Cinsinden Oksijen Alım Değerleri

VO_{2KE}: ml kg⁻¹ dak⁻¹ Cinsinden Oksijen Alım Değerleri

VO_{2max}: Maksimal Oksijen Alımı

YTS_{maks}: 5 Tekrarlı Maksimal Dikey Sıçrama Testi Sırasında Ölçülen Yerle Temas Süresi

YTS_{submaks}: 20 Tekrarlı Submaksimal Dikey Sıçrama Testi Sırasında Ölçülen Yerde Kalış Süresi

ÖZET

Farklı Yaş Gruplarındaki Futbolcu Çocuklarda Bacak Sertliği ve Koşu Ekonomisinin İncelenmesi

Bu çalışmanın amacı farklı yaş gruplarındaki futbolcu çocuklarda bacak sertliği (BS) ve koşu ekonomisi (KE) ilişkisini incelemek ve kronolojik yaşın bu değişkenler üzerindeki olası etkilerini araştırmaktır.

Araştırmaya her bir grupta 10 sporcu olmak üzere U11, U12, U13 ve U14 futbol liginde oynayan toplam 40 erkek sporcu katılmıştır. Maksimal oksijen alımı ($\dot{V}O_{2max}$) koşu bandında şiddeti kademeli artan egzersiz protokolü uygulanarak tespit edilmiştir. KE'nin belirlenmesi için altı dakika süre ile 8 km/saat (8km $\dot{V}O_{2KE}$), %1 eğimde 8 km/saat (8km %1eğim $\dot{V}O_{2KE}$) ve 9 km/saat (9km $\dot{V}O_{2KE}$) sabit hızlarda üç farklı protokol uygulanmıştır. Üç sabit hızdaki koşu testi oksijen alım değerlerinden $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı (% $\dot{V}O_{2max}$) hesaplanmıştır. Üç sabit hızdaki koşu testleri sırasında BS ve dikey BS (DBS) belirlendi. Ayrıca sıçrama esnasında DBS'nin belirlenmesi için kontak mat üzerinde 5 tekrarlı maksimal ve 2.5Hz metronom frekansında 20 tekrarlı submaksimal dikey sıçrama testleri uygulanmıştır. 10×20m tekrarlı sprint testi uygulanmıştır.

8km $\dot{V}O_{2KE}$, 8km %1eğim $\dot{V}O_{2KE}$ ve 9km $\dot{V}O_{2KE}$ değerleri ile hem tekrarlı sıçrama testlerinde hem de sabit hız koşu protokolleri sırasında DBS ve BS değerleri arasında orta düzeyde negatif ilişki bulunmuştur ($p<0.05$). Üç protokolde de $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı ile $\dot{V}O_{2max}$ ve maksimal kademeli artan test performansı arasında negatif korelasyon bulunmuştur ($p<0.05$). Maksimal ve submaksimal tekrarlı sıçrama DBS, 8 km/saat koşu testi DBS ve BS ile ortalama sprint zamanı arasında negatif ilişki bulunmuştur ($p<0.05$). $\dot{V}O_{2max}$, KE ve $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı, dört yaş grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığın olmadığı görülmüştür ($p>0.05$).

Bulgularımız DBS ve BS düzeyi iyi olan futbolcu çocukların KE ve tekrarlı sprint performansının da iyi düzeyde olacağını işaret etmektedir. Çocuklarda düşük şiddetli koşu testlerinde ölçülen $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı, aerobik dayanıklılığın değerlendirilmesinde kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Oksijen Alımı, Yerle Temas Süresi, Havada Kalış Süresi, Sıçrama, Gerilme-Kısalma Döngüsü

ABSTRACT

Investigation of Leg Stiffness and Running Economy in Junior Soccer Players in Different Age Groups

The purpose of this study was to investigate the relationship between the leg stiffness (K_{leg}) and running economy (RE) in junior soccer players in different age groups and potential effects of chronological age on these variables.

A total of 40 male players, who play in U11, U12, U13 and U14 soccer leagues, including 10 players in each group, took part in the study. The maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$) was determined using an incremental maximal exercise test on a treadmill. RE was determined by three constant-speed running tests for 6-min at 8 km/hour (8km $\dot{V}O_{2RE}$), at 1% incline and 8 km/hour (8km 1% incline $\dot{V}O_{2RE}$) and 9km/hour (9km $\dot{V}O_{2RE}$). Fractional use of $\dot{V}O_{2max}$ ($\% \dot{V}O_{2max}$) was calculated from the oxygen uptake values during three constant-speed running tests. Leg stiffness (K_{leg}) and vertical stiffness (K_{vert}) were determined during the three constant-speed running tests. Also, K_{vert} determined by two vertical jump tests consisting of 5 repeated maximal hopping and 20 repeated submaximal hopping at 2.5Hz metronome frequency on the contact mat. 10×20-m repeated sprint test was performed.

A moderate negative correlation was found between 8km $\dot{V}O_{2KE}$, 8km 1% incline $\dot{V}O_{2KE}$ and 9km $\dot{V}O_{2KE}$ values and K_{legmax} and $K_{legsubmax}$ values both in repeated jump tests and three constant-speed running tests ($p < 0.05$). A negative correlation was found between the fractional use of $\dot{V}O_{2max}$ values and $\dot{V}O_{2max}$ and incremental maximal exercise test performance in all three protocols ($p < 0.05$). 8 km/hour running test K_{legmax} and $K_{legsubmax}$, 5 repeated maximal and 20 repeated submaximal vertical jump tests K_{vert} were negative correlations with mean sprint time ($p < 0.05$). Fractional use of $\dot{V}O_{2max}$, RE and $\dot{V}O_{2max}$ showed no statistically significant difference between the four age groups.

Our findings indicate that junior soccer players with good K_{legmax} and $K_{legsubmax}$ will have good RE and repeated sprint performance. Fractional use of $\dot{V}O_{2max}$, measured during low-intensity running tests in children, can be used to evaluate aerobic endurance.

Keywords: Flight Time, Ground Contact Time, Jump, Oxygen Uptake, Stretch-Shortening Cycle

1. GİRİŞ

Futbol iki yüzden fazla ülkede, 250 milyon kişi tarafından oynandığı bilinen dünyanın en popüler sporu olarak kabul edilmektedir. Futbolda performans teknik, taktik, biyomekanik ve fizyolojik birçok değişkene bağlıdır ⁽¹⁾. Futbolcuların bahsi geçen performans bileşenlerinin hepsinde optimal düzeye sahip olması başarıyı sağlamada anahtar rol oynamaktadır ⁽¹⁾.

Futbol antrenörlerinin futbolcuların performans bileşenlerini artırma çabasıyla bilim dünyasında yapılan çalışmaları yakından takip ederek alanla ilgili çalışmalardan yararlandığı bilinmektedir ⁽²⁾. Nitekim antrenörler sporcularının performansını arttırmak amacıyla periyodik olarak yaptırarak çalışmalarda fiziksel ve fizyolojik uygunluğun yanı sıra teknik ve taktiğe de yer vermektedirler.

90 dakika süren bir futbol müsabakasında elit düzeyde oynayan bir oyuncu yaklaşık olarak 10 km'nin üzerinde bir mesafe kat eder ⁽¹⁾. Futbolcular müsabaka boyunca sıçrama, şut atma, ani yön değiştirme ve sprint gibi birçok patlayıcı aktiviteyi sıklıkla sergilemektedirler ⁽²⁾. Performansı etkileyen bu faktörler irdelendiğinde, oyuncuların kısa toparlanma periyotları ile kısa süreli maksimal veya maksimale yakın şiddette gerçekleşen aktiviteleri ardışık olarak tekrarlaması gerektiği bilgisine ulaşılmaktadır ^(1, 2, 3, 4).

Koşu ekonomisi, futbolcularda maçın maksimal şiddetli aktivite periyotlarından sonra meydana gelen düşük şiddetli aktivite periyotları sırasında toparlanmaya katkı sağlayan fizyolojik açıdan önemli bir parametredir ^(5, 6). Koşu ekonomisi, belirli bir submaksimal koşu hızında oksijen tüketiminin kararlı düzeyi olarak ifade edilir ve harcanan enerjiyi temsil eder ^(7, 8). Koşu ekonomisi iyi olan sporcunun, submaksimal iş yükünde daha az oksijen tüketerek iş yükünü daha uzun süre sürdürebileceği belirtilmektedir ⁽⁹⁾.

Literatürde koşu ekonomisinin, dayanıklılık koşu performansını belirleyen fizyolojik faktörler arasında yer aldığı bilinmektedir ^(7, 10, 11). Futbolcuların dayanıklılık performanslarının yanı sıra, tekrarlayan kasılmalarda güç üretiminin verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi ve optimum seviyede aktarılabilmesi için bacak sertliklerinin de iyi düzeyde olması gerektiği bilgisine ulaşılmaktadır ⁽¹²⁾. Futbolda çeviklik, sprint ve sıçrama aktiviteleri performansı belirleyen temel parametreler arasında yer almaktadır ⁽¹³⁾. Bu tarz

aktiviteler, kas fonksiyonunun doğal bir formu olan gerilme-kısalma döngüsü (GKD) ile gerçekleştirilir⁽¹²⁾.

Gerilme-kısalma döngüsü, kasların eksantrik kasılmayı takiben konsantrik kasılmaların döngüsel olarak tekrarlandığı hareket örüntüsüdür⁽¹⁴⁾. Gerilme-kısalma döngüsü hareketler sırasında, eksantrik kasılmalar konsantrik kasılma sırasında üretilen kas kuvvetini arttırıcı yönde fizyolojik olarak avantaj sağlamaktadır⁽¹⁴⁾. Bacak sertliği gerilme-kısalma döngüsü fonksiyonunun değerlendirilmesi için kullanılan bir ölçüttür⁽¹⁵⁾. Bacak sertliğine katkıda bulunan fizyolojik mekanizmalar içerisinde elastik enerjinin depolanması ve tekrar kullanılması, nöral aktivasyonun artması ve gerilme refleksi olduğu düşünülmektedir^(16, 17, 18).

Bacak sertliği, hareket esnasında tüm alt ekstremitede yer alan kas-iskelet yapılarının (kasılabilir elemanlar, tendonlar ve bağlar dahil olmak üzere) bir bütün olarak sertliğini ve bu yapıların yay benzeri etkileşimini ifade etmektedir⁽¹⁹⁾. Bacak sertliğine optimum düzeyde sahip bir sporcunun gerilme-kısalma döngüsü aktivitelerde, frenleme fazındaki eksantrik kasılmada daha fazla elastik potansiyel enerji depolayacağı ve depolanan bu elastik enerjinin konsantrik kasılmanın gerçekleştiği itme fazı sırasında serbestleşerek kuvvet çıkıtısına katkıda bulunduğu belirtilmektedir⁽¹⁹⁾.

Literatürde yapılan araştırmalarda, bacak sertliğinin aynı zamanda koşu esnasında enerji verimliliğini arttırabileceği ve koşu ekonomisinin gelişimine katkıda bulunacağı vurgulanmaktadır⁽²⁰⁾. Alt ekstremitte sertlik düzeyinin artması, dayanıklılık koşu performansının iyileşmesinde önemli bir etken olduğu kabul edilmektedir⁽²¹⁾. Optimum düzeyde bacak sertliğine sahip sporcular, koşu esnasında depolanan elastik enerjinin kinetik enerjiye aktarılmasında daha avantajlı olduğu gösterilmiştir⁽²²⁾.

Yapılan araştırmalarda, koşu ekonomisindeki bireyler arası varyasyonlar için çeşitli açıklamalar ileri sürülmektedir. Yaş, cinsiyet⁽²³⁾, antrenman durumu⁽²⁴⁾, mekanik değişkenler (adım uzunluğu, adım frekansı, bacak uzunluğu ve segmental kitlelerin dağılımı), substrat kullanımı (mitokondriyal verimlilik)⁽²⁵⁾, kas lifi tiplerinin dağılımı, kalp hızı, dakika ventilasyon hacmi, dinlenim enerji metabolizması⁽²⁶⁾, kasın elastik enerjiyi depolayabilme ve serbest bırakabilme yeteneği gibi bir dizi bileşen, koşu ekonomisi ile ilişkili olduğu belirtilmektedir^(27, 28). Dayanıklılık antrenmanlarının yanı sıra, kuvvet ve plyometrik antrenmanlar gibi farklı antrenman uygulamalarının koşu ekonomisini olumlu yönde etkileyebileceği gösterilmiştir^(28, 29).

Sporcularda koşu ekonomisinin gelişimini sağlayan mekanizmalar içerisinde, mitokondri sayısı ve oksidatif enzimlerdeki artış gibi kasta antrenmanla gelişen metabolik adaptasyonlarla birlikte kasların sertlik düzeyinin artması, elastik enerjiyi depolayabilme ve serbest bırakabilme yeteneğindeki gelişimler görölmektedir⁽⁸⁾. Bunun yanı sıra elastik enerjinin etkili bir şekilde kullanılabilmesi için adım uzunluğu, adım frekansı ve kas aktivitesinin entegrasyonu gibi mekanik özelliklerin düzenlenmesi koşu ekonomisinde gelişmelere yol açabilmektedir^(8, 30). Yapılan çalışmalarda çocukların yetişkinlere kıyasla daha düşük seviyede koşu ekonomisine ve bacak sertliğine sahip olduğu bildirilmiştir^(31, 32). Bununla birlikte çocuklarda büyüyüp olgunlaşmayla birlikte dayanıklılık performansı sürekli olarak gelişim göstermektedir^(10, 11, 24, 33). Öte yandan koşu ekonomisindeki gelişimin, antrenmanlara verilen yanıtlardaki fizyolojik adaptasyonlar, büyüyüp olgunlaşma veya sadece vücut büyüklüğündeki bir artış sonucu olup olmadığı belirsizliğini korumaktadır⁽³⁴⁾. Bu gelişimlere benzer şekilde, çocuklarda bacak sertliğinin yaşla birlikte daha iyi seviyelere geldiği bildirilmiştir⁽¹⁵⁾.

Literatürde yetişkinlerde bacak sertliği ve koşu ekonomisi arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar bulunmaktadır, ancak çocuklar üzerinde yapılmış araştırmaya rastlanılmamıştır. Bunun yanı sıra literatürde farklı yaş gruplarındaki çocuklarda yaşın bacak sertliğine veya koşu ekonomisine etkilerini inceleyen çalışmalar bulunmaktadır, ancak her iki değişkenin aynı anda incelendiği çalışmaya rastlanmamıştır.

Sunulan çalışmada, farklı yaş gruplarındaki futbolcu çocuklarda bacak sertliği ve koşu ekonomisi ilişkisi incelenmiş ve yaşın bu değişkenler üzerindeki olası etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİ

2.1. Futbolun Metabolik Gereksinimi ve Şiddeti

Futbol en basit haliyle topa ayak, kafa ve vücudun el dışındaki diğer kısımlarının temas edilmesiyle oynanan ve normal süresi 45 dakikalık iki devre halinde, birinci ve ikinci devre arası 15 dakika mola ile gerçekleştirilen bir oyun olması ile bilinir⁽³⁵⁾. Futbolun oyun süresi içerisinde gerçekleşen aktivitelere bakıldığında, harcanan metabolik maliyetin büyük bir oranı aerobik enerji metabolizmasının desteği ile sürdürülmektedir. Ancak yapılan araştırmalarda, özellikle anaerobik enerji yolağının baskın olarak kullanıldığı ani ve kısa süreli aktivitelerin skoru doğrudan etkilediği bildirilmiştir⁽³⁶⁾. Bu sebeple antrenör ve spor bilimciler yaptıkları antrenman programlarında futbolcuların bu özelliklerini geliştirmeye yönelik fazladan çaba sarf etmektedirler⁽³⁶⁾.

Literatürde futbol maçları esnasında futbolcuların metabolik gereksinimleri ve aktivitelerini incelemek amacıyla birçok maç analiz çalışmaları yapılmıştır^(35, 36, 37, 38, 39). Bu çalışmalar incelendiğinde, 90 dakikalık bir futbol maçı sırasında oyunun büyük bir diliminde oyuncuların dakikada 155 ile 172 nabız aralığında iş yaptıkları gösterilmiştir. Bahsi geçen bu nabız aralığı, sporcuların maksimum kalp atım hızlarının ortalama % 85'ine denk geldiği görülmüştür. Bununla beraber maksimum oksijen alım miktarının ise ortalama %70 şiddetine karşılık geldiği bildirilmiştir^(1, 38, 39, 40, 41). Ortalama nabız ölçümlerinin geniş aralıklarda olması, maç sırasında sıklıkla uygulanan yüksek şiddetli aktivitelerin yanı sıra hipertermi, dehidrasyon ve mental stresten kaynaklı olduğu da düşünülmektedir^(1, 36, 37). Kalp atım sayısının hızlı artışı, oksijenin de devamlı olarak yüksek seviyelerde tüketimine neden olmaktadır^(36, 42). Ayrıca futbolcuların maksimal kalp atım hızları maç süresince nadiren maksimumlarının %65'inin altında seyrettiği görülmektedir.

Ortaya konulan bu bulgular ışığında oyun esnasında kalp debisinin sürekli olarak yüksek kaldığı ve bu nedenle de dokulara ulaşan kan akışı vasıtasıyla yüksek miktarda oksijen taşındığını işaret etmektedir⁽³⁸⁾. Futbolcuların anlık ölçülen kan laktat konsantrasyonlarının 12 mmol/lit düzeyine yakın değerlere ulaştığı bildirilmiştir⁽³⁶⁾.

Oyun boyunca ölçülen ortalama değerler incelendiğinde ise kan laktat miktarının laktik asit eşiğine yakın seviyeler (3-6 mmol/Lt) arasında değiştiği gösterilmiştir^(36, 38). Ortalama ve maksimal kan laktat seviyeleri arasındaki farkın geniş aralıklarda olmasının

sebebi, yine yukarda bahsi geçen yüksek şiddetli aktivitelerin müsabaka boyunca tekrarlayan aralıklarla sürdürülmesidir. Oyuncular müsabaka esnasında, oyun temposunun düştüğü zaman aralıklarında laktik asidin kalp, karaciğer ve böbreklerin yanı sıra düşük tempolarda etkinliği artan oksidatif kas fibrillerinin yardımıyla metabolize olabileceği bilinmektedir^(2, 36, 43, 44).

Futbol müsabakaları esnasında enerji metabolizmasında kullanılan substrat türü ve miktarı irdelendiğinde, oyun öncesi kas glikojen depo miktarı normal olan (~100 mmol/kg.yaş ağırlık) oyuncuların, müsabaka bitimindeki değerlerine bakıldığında hemen hemen tüm glikojen depo depolarınının tükendiği bildirilmiştir (~10mmol/kg.yaş ağırlık)⁽⁴³⁾. Özellikle maçın ikinci devresinde düşme eğiliminde olan kan laktat konsantrasyonun glikojen depo miktarındaki azalmadan kaynaklandığı düşünülmektedir. Depo glikojenin oyunun ikinci yarısı azalması oyuncuların performansını da olumsuz yönde etkilemektedir.

2.1.1 Futbol Müsabakasında Kat Edilen Mesafe

Futbol müsabakalarında maç analiz uygulamalarının yaygın kullanımının başlamasıyla birlikte araştırmacılar tarafından incelenen noktaların başında, özellikle futbolcuların oyun süresince kat ettikleri mesafenin miktarına ve şiddetine yer verilmektedir⁽⁴⁵⁾. 20. Yüzyılın sonlarına doğru yürütülen çalışmalarda, oyuncuların maç süresince ortalama 10 km mesafe kat ettikleri sunulurken, günümüzde bu değer 12 km'nin üzerine çıktığı görülmektedir⁽⁴⁵⁾. Verilen bu mesafe değerlerinin %55-60'a yakın olan dilimi ilk devrede tamamlanmaktadır⁽⁴⁶⁾.

Oyuncuların müsabaka içerisinde kendi oynadıkları pozisyonlara göre yapılan maç analizleri neticesinde, kat edilen mesafe bakımından orta saha mevkiinde oynayan futbolcuların diğer pozisyonlara oranla istatistiksel olarak daha fazla olduğu, defansın merkezinde bulunan futbolcularda ise diğer mevkilere kıyasla daha düşük kaldığı bildirilmiştir^(47, 48).

Müsabaka boyunca kat edilen mesafelerin mevkilere bağlı olarak farklılık göstermesinin sebebi maçın gidişatı ve taktiklerine bağlı olduğu ve mevkiye has hareket örüntülerinden kaynaklandığı rapor edilmektedir^(3, 49, 50, 51). Futbolcuların pozisyonlara göre kat ettikleri mesafe ve etkinliğin şiddeti bir arada incelendiğinde, defans ve orta

sahanın kenar pozisyonunda bulunan futbolcuların, diğer pozisyonlara kıyasla daha çok yüksek şiddetli aktivitede buldukları görülmektedir^(51,52). Merkez savunma bölgesinde oynayan futbolcuların fiziksel aktivite şiddetine bakıldığında, diğer pozisyonlara kıyasla daha düşük şiddette aktiviteler içerdiği rapor edilmiştir⁽³⁾.

2.1.2. Futbol Müsabakasında Gerçekleştirilen Yüksek Şiddetli Aktiviteler

Futbol müsabakalarında gerçekleştirilen mesafe ile aktivite şiddetlerinin birlikte incelendiği bir araştırmada, oyuncuların maç süresince toplam kat ettikleri mesafenin %24'ünü yürüme temposu, %20'sini düşük şiddetli koşu, %36'sını orta şiddetli koşu, %7'sini geri geri koşulan aktiviteler oluştururken, yalnızca %11'ini yüksek şiddetli aktivite (sprint) ve %2'sini ise topla birlikte yapılan etkinliklerden oluştuğu bildirilmiştir^(36, 46). Müsabaka esnasında kat edilen mesafenin küçük bir bölümünde yer alan yüksek şiddetli aktiviteleri anlamlı kılan bilgi ise bu tarz aktivitelerin sonucu doğrudan etkilediği bulgusudur⁽⁵³⁾.

Futbol müsabakalarında yer alan sprint tarzı koşular, birebir mücadeleler, topa kafa vurma, şut atma, sıçrama, ani yön ve yer değiştirme yüksek şiddetli etkinlikler olarak bilinmektedir⁽³⁾. Futbol maçları esnasında bir oyuncu ortalama 10-20 sefer sprint, her bir 70 saniyede ise yüksek şiddetli koşular yapmakta, 15 kez rakibi takip etme durumunda kalmakta, 10 defa topa kafa vurma eylemini gerçekleştirme ve 30 defa topla pas alışverişine girmektedir⁽²⁾. İlgili konu açısından yapılan incelemelerde, gerçekleştirilen bu tarz aktivitelerin büyük oranda bilhassa müsabakanın kazanılmasında başlıca belirleyici faktör olan atılan golden önceki zaman diliminde uygulandığı rapor edilmiştir⁽⁴⁴⁾. Literatürde yapılan bir araştırmada, Almanya Birinci Ligi'nden elde edilen 360 gol üzerinde yapılan incelemede, gollerin %83'ünde gol öncesi patlayıcı aktivitelerin gerçekleştiği, %45'inde kısa sprint koşuları yapıldığı, %16'sında sıçramanın dahil olduğu, %6'sının ise ani yön değiştirme neticesinde skor elde edildiği rapor edilmiştir⁽⁵⁴⁾.

Diğer taraftan elit ve elit olmayan oyuncuları birbirinden ayıran en temel faktörlerin başında yüksek şiddet içeren aktivite sayısı olduğu vurgulanmaktadır. Elit düzeydeki oyuncuları diğer futbolculardan ayıran diğer bir husus müsabaka esnasında daha çok sayıda yüksek şiddetli etkinlikler içerisinde oldukları, yapılan derin analizler sonucunda rapor edilmiştir⁽³⁾.

2.1.3. Futbolda Tekrarlı Sprint Yeteneği Performansı

Sprint koşularının yüksek şiddette yapılan koşular olarak tanımlanmasıyla birlikte, oyuncunun vücudunu mümkün olan en hızlı durumda hareket ettirmesiyle gerçekleştirilir⁽⁵⁵⁾. Sprint koşularının bu özelliği sebebiyle bu tarz koşuların içinde olduğu bütün spor dallarında olduğu gibi oyununun doğası gereği futbolda da performans açısından büyük bir öneme sahiptir. Sprint performansının belirleyici faktörleri içerisinde; reaksiyon zamanı, koşu tekniği, iskelet kas fibril tipi, kasın elektriksel ve nöral aktivite düzeyi ile kuvvet üretimi bileşenlerinin yer aldığı bildirilmiştir⁽⁵⁵⁾. Futbol müsabakası içerisinde oyuncular ortalama 17-81 aralığında sprint benzeri koşular yapmaktadırlar. Gerçekleştirilen her bir sprint koşusunun ortalama süresi ise 2-4 sn aralığında olmakla birlikte bu koşuların büyük bir kısmı da 20 m'den daha kısa mesafeleri içermektedir⁽⁵¹⁾. Literatürde yürütölen birçok araştırmada, oyuncuların müsabaka sırasında ulaştıkları en yüksek koşu hızının 32km/saat olduğu rapor edilmiştir⁽⁵⁶⁾. Futbol müsabakaları içerisinde oyuncular tarafından meydana getirilen yüksek şiddetli aktiviteler; sprint, çeviklik (ani yön değiştirmeleri içeren koşular) ve bununla birlikte tekrarlı sprint yeteneği başlığı altında tartışılmaktadır.

Tekrarlı sprint yeteneği, bir atletin maksimal eforla ortaya koyduğu bir sprint sonrası toparlanma hızını ve yapılacak olan bir sonraki sprint için ortaya koyulan bu maksimal eforu yeniden gerçekleştirebilme kabiliyeti olarak tarif edilir ve futbol gibi takım sporlarında önemli bir faktör olarak düşünölmektedir⁽⁵⁷⁾. Futbol müsabakası içerisinde futbolcular ortalama her beş saniyede bir aktivitelerini değiştirmekte ve ortalama 200'den fazla yüksek şiddetli aktiviteleri içeren yaklaşık 1300 hareket örüntüsü gerçekleştirmektedirler⁽³⁶⁾. Ayrıca bir futbol müsabakası içerisinde maçın kaderini belirleyebilecek pozisyonların geldiği anlarda oyuncuların yüksek şiddetli aktiviteler sergilediği görölmektedir. Bu nedenle, müsabaka esnasında temponun yüksek olduğu ve tekrarlı aralıklarla meydana gelen yüksek şiddetli sprintlerle başa çıkabilme becerisi futbolcuların topa sahip olma ve gole giden pozisyonlarda daha iyi bir performans sergileyebilmesi bakımından önemli olduğu vurgulanmaktadır⁽⁵⁸⁾. Örneğin sprint hızındaki ~%0.8'lik bir azalma ile bir oyuncunun rakibine karşı vereceği mücadelede pozisyonu kaybetme olasılığı üzerinde önemli bir etkisi olduğu gösterilmiştir⁽⁵⁹⁾.

2.1.4. Futbolda Dayanıklılık Performansı

Oyun süresi dikkate alındığında futbol oyununun enerji gereksinimi ağırlıklı olarak aerobik enerji metabolizması tarafından karşılanmaktadır ⁽²⁾. Futbol maçı esnasında ortalama iş yükü irdelendiğinde, maksimal kalp atım hızının yüzdesi olarak ölçülen değerler anaerobik eşiğe yakın gerçekleştiği bildirilmiştir ⁽²⁾.

Bunun yanı sıra futbol müsabakası süresince oyuncuların maksimum kalp atım hızlarının nadiren %65'nin altına düştüğü görülmektedir ⁽³⁶⁾. Bütün bunlar düşünüldüğünde futbol oyunu esnasında aerobik enerji metabolizmasının önemi kritiktir. Müsabaka esnasında yüksek şiddetli aktiviteleri sergileyebilmek ve tekrarlı aktiviteler arasındaki süreçte toparlanma kabiliyeti futbolcunun performansı açısından önemi büyüktür. Dolayısıyla yüksek aerobik kapasiteye sahip bir futbolcu, müsabaka süresince yüksek şiddetli aktiviteleri tekrarlayarak gerçekleştirebilir ve bu yüksek şiddetli aktiviteler arasında daha hızlı toparlanabilir ⁽⁶⁰⁾.

Literatürde profesyonel futbol ile ilgili yapılan çalışmalarda aerobik güç ile takım sıralaması, takım düzeyi ve bir müsabaka esnasında kat edilen toplam mesafe arasında önemli bir ilişki olduğunu gösteren çalışmalar bulunmaktadır ^(42, 61, 62, 63). Aerobik kapasiteyi yansıtan $\dot{V}O_{2max}$, tüketici bir egzersiz sırasında organizmanın en yüksek miktarda oksijen kullanımı olarak ifade edilmektedir ⁽²⁾. Yapılan bir araştırmada, futbol müsabakası sırasında Douglas Torbası (ekipman ağırlığı 1200 gr) aracılığıyla 2 futbolcunun 3 dakikalık periyotlarla VO_2 değerleri elde edilmek istenilmiş ve elde edilen değerler maçın ilk devresinde ortalama 35-38 mL/kg/dk olarak görülürken, ikinci devresinde ise 29-30 mL/kg/dk olarak rapor edilmiştir ⁽⁶⁴⁾. Elde edilen bu bulguların yapılan diğer çalışmalardan oldukça düşük olduğu bildirilmiştir ^(41, 65).

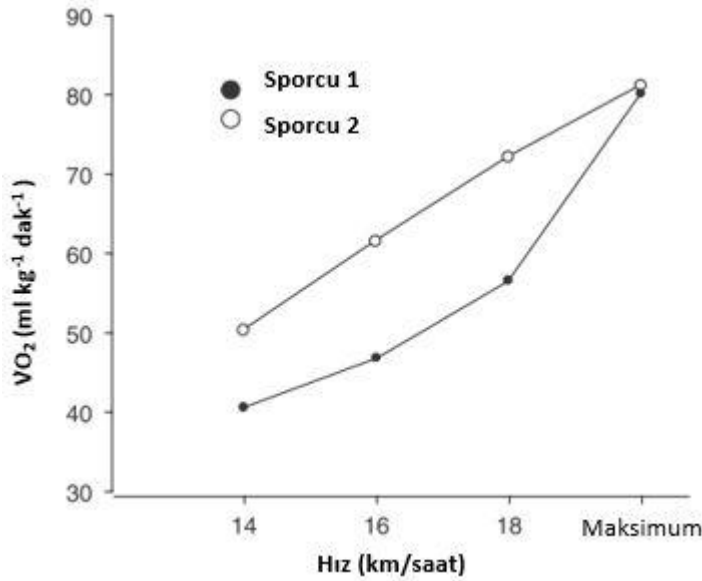
Ayrıca Douglas Torbası kullanılarak yapılan ölçümlerde futbolcuların müsabakada kat ettikleri mesafenin, normal değerlerden %11 daha düşük olduğu bildirilmiştir. Bu açıdan bakıldığında elde edilen VO_2 değerlerinin neden düşük olduğu konusunda kısmen açıklayıcı bir neden olduğu düşünülmektedir. Laboratuvar ortamında yapılan testler ve ölçüm ekipmanları $\dot{V}O_2$ 'yi direk ve doğru olarak tayin etmek için sıklıkla kullanılmaktadır.

$\dot{V}O_{2max}$ 'ı belirlemek amacıyla, laboratuvarında standardize edilmiş bisiklet ve koşu ergometreleri aracılığıyla egzersizin şiddetini kademeli olarak arttırıldı ve tükenmeyle sonlandırılan test protokolleri kullanılmaktadır. Futbola özgü spesifik hareket

örüntülerinin koşu ergometresiyle daha çok benzeşmesi sebebiyle laboratuvarında futbolcuların koşu ergometresi kullanılarak test yapılmaları önerilmektedir. Bunun yanı sıra bisiklet ergometresiyle elde edilen $\dot{V}O_{2max}$ değerlerinin koşu ergometresine kıyasla daha düşük olduğu iyi bilinmektedir ⁽⁶⁶⁾.

2.2. Koşu Ekonomisi ve Performans İlişkisi

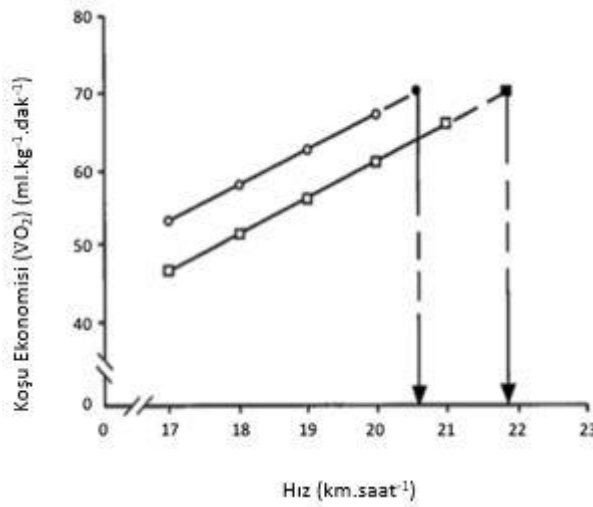
Koşu ekonomisi (KE) ve performans arasındaki ilişki son yıllarda yaygın olarak çalışılmaktadır. Koşu ekonomisi, belirli bir submaksimal koşu hızında oksijen alımının kararlı düzeyi olarak ifade edilir ^(7, 8). Literatürde yapılan bir çalışmaya göre koşu ekonomisi iyi olan sporcu, aynı sabit hız iş yükünde kötü koşu ekonomisine sahip sporcuya oranla daha az oksijen kullandığı bildirilmiştir (Şekil 2.1) ⁽⁶⁷⁾. Daha iyi koşu ekonomisine sahip (Sporcu 1) sporcunun, kötü koşu ekonomisine sahip (Sporcu 2) sporcuya kıyasla aynı hız iş yükünde daha az oksijen kullandığı görülmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.1. Farklı koşu ekonomisi profiline sahip farklı iki sporcunun, aynı hız iş yükündeki oksijen yanıtlarının karşılaştırılması ⁽⁶⁷⁾. Daha iyi koşu ekonomisine sahip sporcunun (Sporcu 1), kötü koşu ekonomisine sahip sporcuya (Sporcu 2) kıyasla, aynı hız iş yükünde daha az oksijen kullandığı görülmektedir.

Koşu ekonomisi hakkında yapılan ilk çalışmalardan bir tanesinde, elit düzeydeki uzun mesafe koşucularının, orta düzeydeki uzun mesafe koşucularına oranla daha iyi koşu ekonomisine sahip oldukları rapor edilmiştir ⁽⁶⁸⁾. Yıllar sonra benzer düzeydeki 12 elit uzun mesafe koşucuları ile yapılan bir çalışmada, koşu ekonomisi ve yarış süresi arasında

yüksek düzeyde ilişki olduğu rapor edilmiştir. Bununla birlikte benzer $\dot{V}O_{2max}$ düzeyindeki iyi antrenmanlı sporcular arasında koşu ekonomisi %30'a kadar değişkenlik gösterebileceği belirtilmektedir ⁽⁶⁹⁾. Özellikle $\dot{V}O_{2max}$ açısından homojen sporcu gruplarında koşu ekonomisi, dayanıklılık koşu performansını değerlendirme açısından daha iyi belirleyici faktör olduğu düşünülmektedir (Şekil 2.2) ^(7, 11, 30, 69). Koşu ekonomisi, profesyonel futbolcularda maçın maksimal şiddetli aktivite periyotlarından sonra gerçekleştirilen düşük şiddetli aktivite periyotları sırasında toparlanmayı sağlayan önemli bir fizyolojik parametredir ^(5, 6).



Şekil 2.2 Eşdeğer $\dot{V}O_{2max}$ 'a (ml.kg⁻¹.dak⁻¹) sahip iki sporcunun koşu ekonomisi profilleri ⁽⁷⁰⁾.

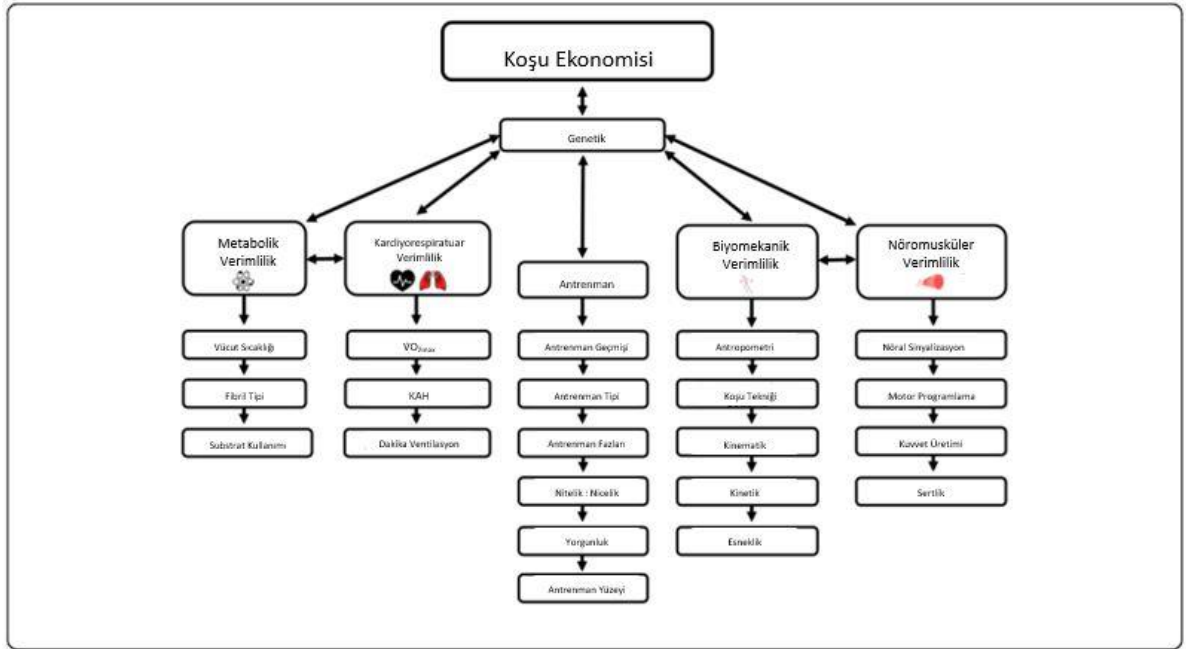
Koşu ekonomisi iyi olan futbolcunun, submaksimal iş yükünde daha az oksijen tüketerek, iş yükünü daha uzun süre sürdürebileceği belirtilmektedir ⁽⁹⁾. Buna ek olarak, koşu ekonomisindeki %5'lik bir artışın, bir futbol müsabakasında kat edilen mesafe üzerindeki etkisi, yüksek $\dot{V}O_{2max}$ değerine sahip olmayan futbolcularda bile yaklaşık 1.000 m mesafeye kadar katkı sağlayacağı belirtilmiştir ⁽⁷¹⁾. Geçmiş 10 yıl içerisinde, daha başarılı futbol takımları sıralamada daha düşük takımlarla kıyaslandığında, başarılı futbol takımlarının performans ölçütlerinin daha yüksek değerlere sahip olması nedeniyle fiziksel kapasiteye verilen önem artmıştır ^(63, 72).

Bu bilgiler ışığında, özellikle benzer $\dot{V}O_{2max}$ değerlerine sahip futbol takımlarında sezon öncesi yapılan fiziksel performans faktörleri değerlendirilirken koşu ekonomisinin dikkate alınması gereken önemli bir parametre olabileceği bildirilmiştir ⁽⁷¹⁾. Koşu

ekonomisinin dayanıklılık ve koşu performansını arttırmak için önemli bir faktör olduğu literatürde yapılan çalışmalarla desteklenmektedir.

2.3. Koşu Ekonomisini Performansını Etkileyen Faktörler

Koşu ekonomisi çoğunlukla basit bir kavram olarak algılansa da, kardiyopulmoner, metabolik, nöromusküler ve biyomekanik sistemlerin bir arada işleyişini yansıtan çok faktörlü bir ölçüt olduğu vurgulanmaktadır (Şekil 2.3.) (8, 30, 69, 70, 73).



Şekil 2.3. Koşu ekonomisini etkileyen faktörler (70)

Metabolik verimlilik, optimum performansı ortaya koyabilmek için var olan enerjinin harcanmasını ifade ederken, kardiyopulmoner verimlilik oksijen taşıma ve kullanımı ile ilgili süreçler için daha az enerji harcanması anlamına gelmektedir. Son olarak, nöromusküler ve biyomekanik faktörlerin (kas-iskelet ve nöral sistem) etkileşimi vasıtasıyla elde edilen etkenleri (güç çıktısı ve yer değiştirme kabiliyeti) performansa yansıtmaya yeteneğini ifade etmektedir (8, 30, 69, 70).

2.3.1. Metabolik ve Kardiyorespiratuar Verimliliğin Koşu Ekonomisi Performansı Üzerindeki Etkileri

Koşu ekonomisi performansının iyileşmesinde rol oynayan metabolik ve kardiyovasküler verimlilik, belirli bir iş yükünde oksijenin daha iyi kullanılmasına yol açan süreçleri ifade etmektedir ^(74, 75, 76). Kardiyovasküler ölçümler esnasında ortaya çıkan dalgalanmalar (kalp atım hızı, dakika ventilasyon, termoregülasyon ve substrat metabolizması) koşu ekonomisi performansını etkilediği görülmüştür ^(74, 75, 76). Yapılan bir çalışmada, simüle edilmiş 5 km'lik bir yarışın koşu ekonomisi, kalp atım hızı, dakika ventilasyon ve vücut sıcaklığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma neticesinde dakika ventilasyon, kalp atım hızı ve vücut sıcaklığı koşunun başlangıcından sonuna kadar artarken koşu ekonomisinin önemli ölçüde azaldığı bulunmuştur ⁽⁷⁷⁾.

Koşu ekonomisindeki bireysel varyasyonlar, kalp atım hızı ve dakika ventilasyon ile bağlantılıdır. Sunulan bir başka çalışmada, kalp atım hızı ve dakika ventilasyonun $\dot{V}O_2$ ile anlamlı korelasyon gösterdiği bulunmuştur ⁽⁷⁸⁾. Çalışma neticesinde, iyi bir koşu ekonomisi performansının düşük kalp atım hızına ve dakika ventilasyona bağlı olduğu gösterilmiştir. Ayrıca miyokardiyal $\dot{V}O_2$ 'nin egzersiz esnasında tüm vücut $\dot{V}O_2$ 'sinin % 1-2' lik kısmını temsil ettiği bilinmektedir. Kalp atım hızı ve atım hacminin daha verimli bir kombinasyonunun sonucu olarak (kalp atım hızının azalması ve kalp atım hacminin artması) miyokardiyal $\dot{V}O_2$ 'deki azalmalar, daha gelişmiş bir koşu ekonomisine sebep olduğu gösterilmiştir ⁽⁷⁹⁾. Ancak Bailey ve Pate'nin yürüttüğü bir çalışmaya göre⁽⁷⁵⁾, kalp atım hızındaki değişikliklerin koşu ekonomisi performansına önemli bir katkıda bulunmasının mümkün olmadığı fikrini vurgulamaktadır. Kalp atım hızının 20 atım/dakika artması, $\dot{V}O_2$ 'yi sadece 8 ml/kg/dk arttırdığı görülmüştür. Kalp atım hızındaki söz konusu bu değişimin koşu ekonomisini 41.8 ml'den 41.9 ml'ye yükselttiği bildirilmiştir⁽⁷⁵⁾. Buna karşın istirahat halindeyken istemli olarak yapılan, anormal derecede daha hızlı ve derin solunumun gerçekleştirilmesi halinde ise, dakika ventilasyonun 70 ml'den 100 ml'ye yükseldiği ve $\dot{V}O_2$ 'yi 122 ml/dak arttırdığı tespit edilmiştir ⁽⁸⁰⁾. Bu nedenle dakika ventilasyonun koşu ekonomisi performansını etkileyen değişkenlerden bir tanesi olduğu bilgisine ulaşılmaktadır. Sonuç olarak yapılan antrenmanlarla, belirli bir koşu hızında solunum işi azaltılabilirse, bu durumun daha iyi bir koşu ekonomisi performansına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

2.3.2. Vücut Sıcaklığındaki Dalgalanmaların Koşu Ekonomisi Üzerindeki Etkileri

Vücut sıcaklığı ve koşu ekonomisi arasındaki ilişkiye dair çelişkili kanıtların var olduğu görülmektedir. Bazı çalışmalarda, belirli bir koşu hızı ve hipertermik koşullar altında belirginleşen daha yüksek vücut sıcaklıklarının $\dot{V}O_2$ 'de bir artışa sebep olduğu görülmüştür ^(75, 81). Sözü edilen bu duruma, muhtemelen termoregülasyon yanıtına bağlı artan dolaşım, terleme miktarı ve dakika ventilasyon ile birlikte, ayrıca oksidatif fosforilasyon etkinliğindeki azalma nedeniyle de metabolik talepteki artışlara neden olduğu düşünülmektedir ^(82, 83). Bu bağlamda Grimby'in gerçekleştirmiş olduğu bir çalışmada ⁽⁸⁴⁾, vücut sıcaklığındaki 1.3°'lik bir artışın $\dot{V}O_2$ 'yi %5.5 arttırdığı bulunmuştur. Diğer taraftan bir başka çalışmada ise ⁽⁷⁷⁾, vücut sıcaklığındaki 1.0°'lik bir yükselmenin $\dot{V}O_2$ 'de %6.2 lik bir artışa sebep olduğu görülmüştür. Sunulan bu çalışmaların aksine, diğer araştırmalardan elde edilen sonuçlar hipertermik egzersiz sırasında $\dot{V}O_2$ 'de herhangi bir değişiklik veya azalma meydana gelmediğini bununla birlikte daha yüksek vücut sıcaklıklarının mekanik verimliliği arttırdığı bildirilmiştir ^(85, 86).

2.3.3. Kas Fibril Tipi ve Kompozisyonu

İnsanlarda bir dizi kas lifi tipinin var olduğu bilinmektedir ve her bir farklı kas lifi tipinin kendine özgü metabolik karakteristiği olduğu kabul edilmektedir ^(87, 88). Gerçekten de, kas liflerinin yapısı ve kompozisyonu koşu ekonomisini etkilediği düşünülmektedir ^(89, 90). Kas fibril tipleri incelendiğinde tip IIA fibrillerinin, tip IIX fibrillerinden daha oksidatif olduğu ve tip I fibrillere daha benzer fonksiyonel özellikler gösterdikleri bilinmektedir ⁽⁹¹⁾. Tip II spesifik miyozin ATPase izoformları birim kuvvet üretimi başına tip I'den 1,6 ila 2,1 kat daha fazla ATP'ye ihtiyaç duyduğu ve bu nedenle orantılı olarak daha yüksek oksidatif fosforilasyon gerektirdiği bilinmektedir ⁽⁹²⁾. Bu nedenle tip IIA lifleri sayısındaki bir artışın kasın oksidatif kapasitesini arttırabileceği ve koşu ekonomisinin iyileşmesine katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. Bu konu ile literatürde ilgili kas lifi tipi ve koşu ekonomisi arasındaki genetik bağlantıyı inceleyen çalışma olmasa da, sporcuların tip I ve tip II kas lifi bileşimlerine dayanarak daha iyi veya daha kötü koşu ekonomisine yatkın oldukları yorumu yapılabilir ⁽⁹³⁾.

2.3.4. Antrenmanın Koşu Ekonomisi Performansı Üzerindeki Etkileri

Dayanıklılık sporcuları, bir yarış süresince yüksek ortalama hızları ile yüksek eforda iş yapabilmelidirler. Bu yüksek eforla gerçekleşen iş yükünün sürdürülebilmesi açısından, nöromusküler özelliklerin, optimum kas kuvvetlerinin, koşu mekaniğinin ve anaerobik kapasitenin rolü önem kazanmaktadır^(94, 95).

Antrenman, koşu ekonomisinin gelişimine katkı sağlaması açısından sıkça kullanılan bir yöntemdir. Yapılan antrenmanlarla, kısa yerle temas süreleri ve hızlı kuvvetlerin üretimi gibi özelliklere katkı sağlanabilmektedir^(96, 97). Yapılan araştırmalarda, yüksek şiddetli direnç ve dayanıklılık antrenmanlarının bir arada kullanılması, iyi antrenmanlı triatletlerde ($\dot{V}O_{2max}$ 69 ml/kg/dk) koşu performansı ve koşu ekonomisine katkı sağladığı vurgulanmaktadır^(91, 98). Direnç ve dayanıklılık antrenmanının birlikte yapılmasının submaksimal $\dot{V}O_2$ 'de %11'lik bir azalmaya neden olduğu bulunmuştur⁽⁹⁸⁾.

Tipik kuvvet antrenmanı türü olarak bilinen plyometrik veya patlayıcı kuvvet antrenmanı, spesifik nöral uyarmaları gerektirdiği gibi (motor ünite sayılarının artan aktivasyonu) bununla beraber ağır yük direnç antrenmanından daha az kas hipertrofisi sağlamaktadır^(99, 100). Plyometrik antrenman, sekme ve sıçrama gibi aktiviteleri kullanarak, gerilme-kısalma döngüsü etkinliğini arttırmasıyla birlikte kasların güç üretme kabiliyetine katkıda bulunduğu bilinmektedir⁽¹⁰¹⁾. Plyometrik antrenman ayrıca vücudun elastik enerjiiyi daha etkili bir şekilde depolamasını ve kullanmasını mümkün kılarak, kas-tendon ünitesinin sertliğini arttırma potansiyeline sahiptir. Plyometrik antrenmanlardan elde edilen adaptasyonlar vasıtasıyla, metabolik enerji gereksiniminde oransal bir artış olmadan, kaslardan daha fazla kuvvet elde edilerek koşu ekonomisi performansında artışlar söz konusu olmaktadır⁽¹⁰²⁾.

Yapılan bir çalışmada Paavoilanen ve ark.⁽⁹⁵⁾ uyguladıkları 9 haftalık patlayıcı güç antrenmanının, orta düzey antrenmanlı koşucularda $\dot{V}O_{2max}$ 'ta bir gelişim görülmezsizin koşu ekonomisinde %8'lik iyileşmeyle beraber 5 km koşu performansının da geliştiği bulunmuştur. Elde edilen bu bulgular, patlayıcı kuvvet antrenmanının, artmış nöromusküler fonksiyonun bir sonucu olarak koşu ekonomisi performansına katkıda bulunabileceğini işaret etmektedir. Nitekim plyometrik antrenmanlardan elde edilen artmış kas gücüyle beraber daha fazla elastik enerjinin depolanması ve kullanımı, daha iyi bir koşu ekonomisi performansını mümkün kılacağı bilinmektedir⁽⁹⁵⁾.

2.3.5. Koşu Ekonomisini Etkileyen Biyomekanik Faktörler

Koşu vücuttaki tüm büyük kas ve eklemlerin iş birliğiyle karmaşık hareket örüntülerini kas kuvvetlerinin yardımıyla harekete aktarımını kapsamaktadır⁽³⁰⁾. Mevcut bulgular incelendiğinde koşu ekonomisi, yerle temas süresi, adım frekansı, adım uzunluğu, antropometrik karakteristik özellikler, zemin tepki kuvvetleri ve adım esnasında vücut kütle merkezinin yer değiştirmesi dahil olmak üzere çok yönlü faktörlerden etkilendiği vurgulanmaktadır⁽¹⁰³⁾. Konuyla ilgili ayrıntılı çalışmalar gerçekleştirilse de, optimum koşu ekonomisini ortaya koyabilmek için kabul edilebilir biyomekanik faktörler konusunda henüz bir fikir birliğine varılamamaktadır⁽¹⁰³⁾. Lakin literatürde yürütülen araştırmalar irdelendiğinde bahsi geçen bu faktörlerden bazıları iyi tanımlanmış ve koşu ekonomisi ile ilişkisi var olduğu vurgulanmıştır⁽¹⁰³⁾.

2.3.6. Antropometrik Karakteristik Özellikler ve Koşu Ekonomisi

Vücut kütlesi, boy uzunluğu ve segmental kütle dağılımı gibi bireysel antropometrik özelliklerin koşu ekonomisi üzerindeki bu potansiyel etkileri literatürde yapılan yaygın çalışmalar arasındadır. Oksijen talebi, koşu esnasında vücut kütlesi ile orantılı olarak artmamakla birlikte, vücut kütle başına çocuklarda yetişkinlere kıyasla daha yüksek olduğu iyi bilinmektedir^(10, 24, 32, 33, 69, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111). Koşucuların vücut ağırlığı koşu sırasında bedenlerine ek ağırlık eklenerek arttırıldığında, hem yetişkinlerde hem de çocuklarda vücut kütle başına $\dot{V}O_2$ 'nin azaldığı rapor edilmiştir^(110, 112, 113, 114). Diğer taraftan, bazı araştırmalar yetişkinlerdeki submaksimal $\dot{V}O_2$ değerinin çocuklarla kıyaslandığında düşük olmasının sebebi sadece olgunlaşma ve büyümeye bağlı olmadığı, vücut kütledeki farklılıkların bir fonksiyonu olduğunu vurgulamışlardır^(115, 116). Bu bilgiye destek olarak, çeşitli çalışmalar vücut kütlesi ve koşu ekonomisi arasında orta düzeyde ters ilişki olduğunu belirtmişlerdir^(117, 118, 119, 120).

Koşu ekonomisi ve vücut kütlesi arasındaki ilişki, kütle başına vücut kütle üzerindeki dağılımına bağlı olarak (özellikle alt ekstremite segmentlerinde) bireysel farklılıkların bir sonucu olarak görülmektedir⁽¹²¹⁾. Vücut kütle indeksinin düşük olmasına ek olarak uyluk kütle başına büyük olması, uzun ve ince bacaklar koşu ekonomisi performansını belirleyen değişkenler arasında yer almaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda Afrikalı koşucuların

olağanüstü koşu ekonomisine sahip olmalarının temelinde bu bireysel ince farklılıkların neden olduğu öne sürülmektedir ^(122, 123, 124, 125). Genel olarak çalışmalardan elde edilen bulguların, kütlenin vücut merkezinden daha uzakta konumlandığı durumlarda ekstra yük taşımaya neden olduğu dolayısıyla aerobik talebe olan gereksinimin daha önemli hale geldiğini göstermektedir.

Konu ile ilgili Myers'in yapmış olduğu bir araştırmada gövde üzerinde taşınan ekstra 1 kg değerindeki ağırlığın aerobik talebi %1 oranında arttırdığını buna karşın eşdeğer miktardaki ağırlığın ayakkabı ile birlikte taşındığında %10 kadar bir aerobik talep artışı olduğu gözlemlenmiştir ⁽¹²⁶⁾. Alt ekstremitte üzerindeki kütle dağılımının koşu ekonomisi performansına etkisi vurgulanmakla birlikte, bacak uzunluğunun koşu ekonomisini belirlemede bir faktör olup olmadığı konusunda herhangi bir fikir birliğinin olmadığı görülmektedir.

Vücut kütesinin taşınması, alt ve üst ekstremitelerin hızlı bir şekilde hareket ettirilmesi kas tendon ünitesi aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Yapılan işin bir kısmı metabolik maliyet olmaksızın kas tendon ünitesinin yay benzeri etkileşiminden meydana gelen enerji tarafından desteklendiği düşünülmektedir. Bacak uzunluğunun koşu ekonomisi üzerindeki etkisi literatürde dolaylı olarak incelenmiş ve çalışmadan elde edilen bulgularla bacak uzunluğunun koşu esnasında harcanan metabolik maliyete pozitif yönde katkı sağladığı rapor edilmiştir ^(30, 127).

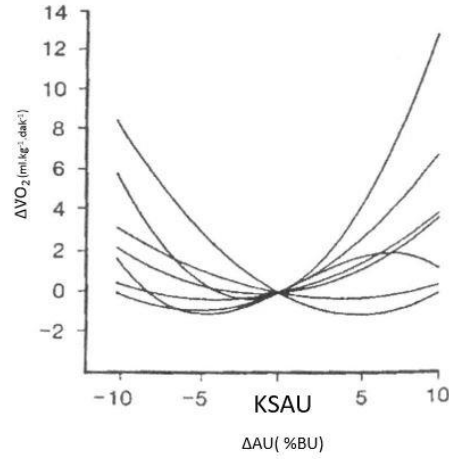
Kadın ve erkek sprinterlerin fiziksel yapılarını inceleyen bir araştırma orta ve uzun mesafe koşucularının bacak boylarının daha uzun olduğunu buna karşın sprinterlerin daha kısa bacak boyu ile karakterize oldukları görülmüştür ⁽¹²⁸⁾. Yapılan incelemelerde sprinterlere kıyasla, orta ve uzun mesafe koşucularının daha iyi bir koşu ekonomisi performansı sergilediklerine rastlanılmıştır lakin bacak uzunluğunun bu farklılıklar üzerindeki etkisi bilinmemektedir ^(68, 117, 129, 130). Williams ve Cavanagh'ın ⁽¹²⁰⁾ yapmış olduğu bir çalışmada 31 erkek uzun mesafe koşucu grubu içerisinde koşu ekonomisinde büyük bir varyasyon bulmalarına karşın bacak uzunluğu ve kütleleri ile ilişkili hiçbir farka rastlanılmamıştır.

2.3.7. Adım Uzunluğu, Adım Frekansı ve Koşu Ekonomisi

Koşu tekniği ve koşu ekonomisi performansı arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır. Zira koşu esnasında ideal mekanik hareket örüntülerinin gerçekleştirilmesi ancak hareket için gerekli olan kuvvetin doğru büyüklükte ve uygun zamanlama ile üretilmesi sonucu gerçekleşecektir. Böylece düşük enerji maliyeti ile optimum koşu performansı sağlanabilecektir ⁽³⁰⁾. Koşu mekaniği karakteristiğini belirleyen tanımlayıcı faktörlerin koşu ekonomisi üzerindeki etkileri sabit koşu hızları altında göz önüne alındığında, adım uzunluğu deneysel kanıtlarla koşu ekonomisini doğrudan etkileyen birkaç değişkenden biri olduğu bildirilmiştir ^(131, 132, 133, 134, 135). Bu gerekçeyle bazı araştırmacılar koşucular arasındaki bazı biyomekanik model farklılıklarının koşu ekonomisi performansının bireysel varyasyonları üzerinde yoğunlaşmışlardır.

Koşmanın enerji talebi ile ilgili olan koşu stilinin ilk tanımlayıcısı adım uzunluğu olduğu bilinmektedir. Yapılan araştırmalarda belirli bir hız için koşucular en uygun adım uzunluğunu kendileri seçmektedirler ancak bununla birlikte adım uzunlukları manipüle edildiğinde (adım uzunluğunun uzatıldığı veya kısaltıldığı durumlarda) koşu ekonomisinin metabolik maliyeti artma eğilimine girdiği gözlemlenmiştir ^(131, 132, 133, 134, 135). Cavanagh ⁽¹³¹⁾ bu fenomeni aydınlatmak için iki mekanizma üzerinde yakından ilgilenmiştir. İlk olarak koşucuların algılanan efor düzeyinde, zaman içinde doğal olarak optimal bir adım uzunluğu ve adım frekansı sergilediğini savunmaktadır. Diğer taraftan koşuculara belirli bir koşu hızında belirli bir adım uzunluğu ve adım frekansı kombinasyonu tekrarlanan antrenman yöntemiyle fizyolojik olarak adapte edilebileceği düşüncesindedir. Cavanagh'ın düşüncesine destek niteliğinde antrenörler arasında, iyi düzeydeki koşucuların zaman içinde en ekonomik koşu tekniğini benimsediklerine ilişkin bir inanç vardır ^{(136) (137)}. Buna göre, koşu deneyiminin yıl sayısı ve yüksek antrenman kapsamı koşu ekonomisinin gelişimi için önemli olduğu öne sürülmüştür ⁽¹³⁸⁾.

İlgili konu açısından yapılan çalışmalarda biyomekanik özellikler ile koşu ekonomisi arasında küçük ve orta düzeyde korelasyon bulgusuna ulaşmakla birlikte, ekonomiyi doğrudan etkileyen adım uzunluğu deneye dayalı kanıtlarla bildirilen birkaç koşu değişkeninden biri olduğu düşünülmektedir ^(120, 131, 133, 139, 140, 141, 142). Ekonomi ve adım uzunluğu arasındaki bu eğrisel ilişki benzer şekilde yürüyüş ve yarış yürüyüşü için de bulunmuştur (Şekil 2.4.) ^(139, 143).



Şekil 2.4. Adım uzunluğu manipülasyonunun bir fonksiyonu olarak $\dot{V}O_2$ 'de meydana farklılıklar. (KSAU; Kendi Seçtikleri Adım Uzunlukları, ΔAU ; Adım Uzunluğunda Meydana Gelen Farklılıklar, BU; Bacak Uzunluğu)

Bu ilişkinin altında yatan mekanizma ise normalden daha uzun atılan adımların, itme fazı esnasında ihtiyaç duyulan kuvvetin artmasına, vücut kütle merkezinin dikey ekseninde normalden daha fazla salınımına ve bu sebeple daha uzun süren bir frenleme fazına neden olduğu düşüncesidir. Hareketin optimum düzeyde gerçekleştirilmesi, iç sürtünmenin ve eklem hareket açıklığının artmasına bağlı olarak daha iyi düzeyde kas-tendon sertliği gerektirir. ⁽³⁰⁾. Aksine atılan adımların çok kısa olması, adım frekans sayısının normalden daha çok olmasına, dolayısıyla da kasların iç iş miktarını ve harcanan enerji maliyetini artırarak koşu ekonomisinde azalmalara yol açacaktır ⁽³⁰⁾. Literatürde bu konuya ilişkin daha önce yapılan incelemelerde, sporcunun kendi belirlediği koşuldaki adımlarla yaptığı submaksimal koşullarda $\dot{V}O_2$ 'nin en düşük seviyede olduğu gösterilmiştir ^(131, 132). Bu sonuçlara dayanarak adım uzunluğunun zaten optimale yakın seyrettiği bundan dolayı çoğu koşucu için adım uzunluğunun manipüle edilmesine çok az ihtiyaç duyulduğu sonucuna varılmıştır ⁽¹³¹⁾.

2.3.8. Nöromüsküler Sistem Özellikleri ve Koşu Ekonomisi

Biyomekanik, kardiyorespiratuvar ve metabolik etkenlere ek olarak nöromüsküler sistem özellikleri de koşu ekonomisinin belirleyici faktörleri arasında yer almaktadır⁽⁷⁰⁾. Kas ve nöral sistem arasındaki iletişim, (nöromüsküler sistem) tüm hareketler için gerekli bir ağı oluşturmaktadır ve dolayısıyla performansın belirleyicisidir ⁽⁷⁰⁾.

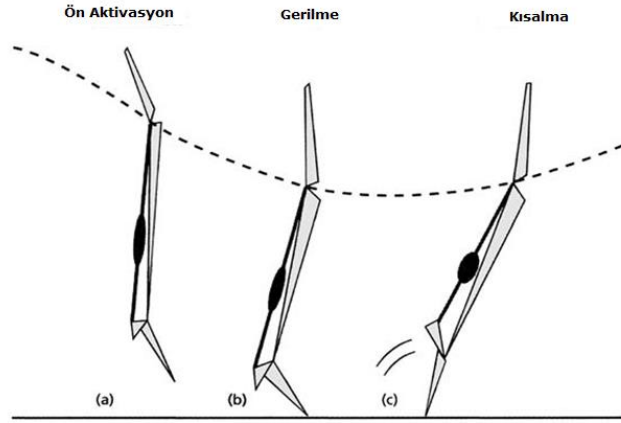
Nitekim dayanıklılık performansını etkileyen aerobik faktörlerin tek değişken olmadığı bu noktada daha belirgin hale gelmiştir ⁽⁷³⁾. Bilhassa Green ve Patla, ⁽¹⁴⁴⁾ kasın kasılabilir elemanlarında ortaya çıkan herhangi bir başarısızlık, var olan mevcut oksijenin verimli kullanımını engelleyebileceği görülmektedir. Temelde yüksek performans gerektiren bir koşuyu ortaya koyabilmek, bir golf topunu ya da basketbol topunu istenilen hedefe isabet ettirmek kadar beceri gerektiren bir iş olduğu düşünülmektedir ⁽³⁰⁾.

Koşu performansı, hemen hemen tüm büyük kas gruplarının meydana getirdiği kas kuvvetlerinin, eklemlere en verimli düzeyde aktarılması ve böylece mekanik işe dönüşmesi açısından hassas bir zamanlama gerektirir ⁽³⁰⁾. Koşu ekonomisi performansını etkileyen kas kasılması ile ilişkili iki unsura dikkat edilmektedir; ilk olarak eksantrik kasılma fazından konsantrik kasılma fazına hızlı bir geçiş ve bir diğer husus bu iki kasılma tipi arasındaki dengenin sağlanabilmesidir ⁽³⁰⁾.

Koşma ve sıçrama gibi sportif performansı belirleyen hareketler sırasında iskelet kaslarının eksantrik kasılmalarının ardından konsantrik kasılmaların takip ettiği ve bu türlü kasılmaları döngüsel olarak gerçekleştirdikleri gösterilmiştir ⁽¹⁴⁾. Tipik olarak bu tür kas hareketleri, ayağın zeminle her temasında alt ekstremitelerde periyodik olarak meydana gelir ve kas-iskelet sisteminin eksantrik gerilmeye karşı koyabilme yeteneği tarafından yönetilir ⁽¹⁴⁾. Eksantrik kasılmaları konsantrik kasılmaların takip ettiği bu hareket örüntüsü gerilme-kısalma döngüsü (GKD) olarak adlandırılmaktadır⁽¹⁴⁾.

2.4. Gerilme-Kısalma Döngüsü Aktiviteler

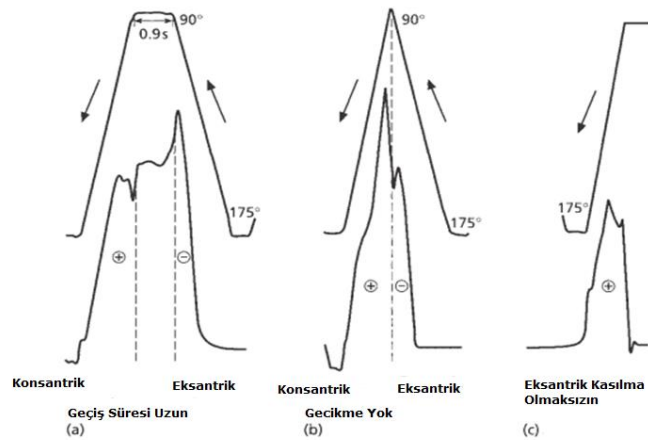
Bir kas hareketinin gerilme-kısalma döngüsü olarak sınıflandırılabilmesi için; ayağın zeminle temasından önce bir ön aktivasyon periyodu (Şekil 2.5-a), hızlı bir eksantrik kasılma fazı (Şekil 2.5-b) ve ardından konsantrik kasılma (Şekil 2.5-c) fazına hızlı bir geçiş olması gerekmektedir ⁽¹⁴⁾. Alt ekstremitelerde gerçekleşen gerilme-kısalma döngüsü aktiviteleri tipik olarak sporcunun zemine karşı geri tepme hareketini gerektirir. Gerilme-kısalma döngüsü aktiviteleri esnasında eksantrik kasılmalar, konsantrik kasılma sırasında üretilen kas kuvvetini arttırıcı yönde fizyolojik olarak avantaj sağlamaktadır ⁽¹⁴⁵⁾ ⁽¹⁴⁾.



Şekil 2.5. Gerilme-kısalma döngüsü ⁽¹⁴⁾

Başka bir deyişle, kas eksantrik kasılma olmaksızın sadece konsantrik kasılmanın gerçekleştiği aynı aktivite ile karşılaştırıldığında konsantrik fazda kuvvet çıktısı ve verimliliği daha düşüktür (Şekil 2.6.). Alt ekstremitede gerçekleşen gerilme-kısalma döngüsü aktiviteleri esnasında eksantrik fazda ortaya çıkan gerimin artışıyla birlikte gerim refleksi arkının etkinliği artmakta dolayısıyla elastik elemanların gerilmesiyle depolanan potansiyel elastik enerji hareketin konsantrik fazında kasın güç üretiminde artışına neden olmaktadır ⁽¹⁴⁾.

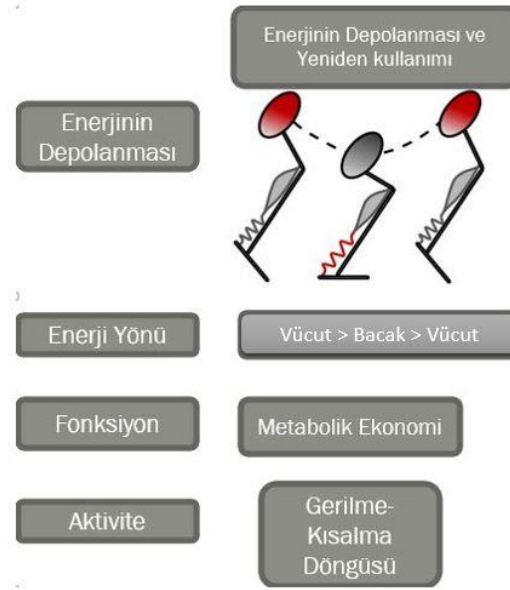
Alt ekstremitenin sertlik özelliği yere temas fazı sırasında elastik enerjinin depolanması ve depolanan bu enerjinin serbest bırakılma kabiliyetine pozitif yönde etki etmektedir ⁽¹⁴⁶⁾. Bacak sertliği (BS), gerilme-kısalma döngüsü performansını değerlendirilmesinde kullanılan bir ölçüttür.



Şekil 2.6. Gerilme-kısalma döngüsü aktiviteleri esnasında eksantrik kasılmalar, konsantrik kasılma sırasında üretilen kas kuvvetini artırıcı yöndeki etkisi ⁽¹⁴⁾.

2.4.1. Bacak Sertliği

Bacak sertliği, hareket esnasında tüm alt ekstremitede yer alan kaslar, tendonlar ve bağlar gibi kas-iskelet sistemini oluşturan yapıların bir bütün olarak sertliğini ve bu yapıların yay benzeri etkileşimini ifade etmektedir (şekil 2.7.)⁽¹⁹⁾. Yeterli düzeyde bacak sertliği gerilme-kısalma döngüsü içeren hareketlerde elastik enerjinin etkili bir şekilde depolanması ve tekrar kullanılması için önemli bir parametre olduğu vurgulanmaktadır⁽¹⁵⁾. Birçok araştırmacı optimum düzeydeki kas-tendon ünitesinin, kas kuvvetini iskelete hızlı ve etkili bir şekilde aktardığını ve bu sayede kuvvet gelişimine katkı sağladığını bildirmiştir^(14, 21, 147, 148).



şekil 2.7. Gerilme-kısalma döngüsü içeren aktivitelerde enerjinin depolanması ve yeniden kullanımı^(21, 147, 148).

Literatürde yapılan çalışmalarda bacak sertliğinin g çıktısı, sprint hızı, elastik enerji depolanması ve yeniden kullanımı, sıçrama performansı, koşu ekonomisi ve koşu kinematiği gibi atletik performansı belirleyen birçok özellik üzerinde etkili olduğu bildirilmiştir^(21, 148). En basit tanımıyla sertlik, belli bir kuvvete maruz kalan bir cismin deformasyonunun büyüklüğü olduğu bilinmektedir⁽¹⁴⁸⁾. Sertlik kavramının kökeni *Hooke* yasasının bir parçası olarak fiziğe dayanmaktadır. *Hooke Yasası Denkliği* $F=kx$ olarak tanımlanmaktadır (Denklik 2.3.1), burada F bir nesneyi deforme edebilmek için gereken kuvveti, k orantı sabiti ve x nesnenin deforme olduğu mesafedir⁽¹⁴⁸⁾.

Denklik 2.3.1 Hooke Yasası Denkliği

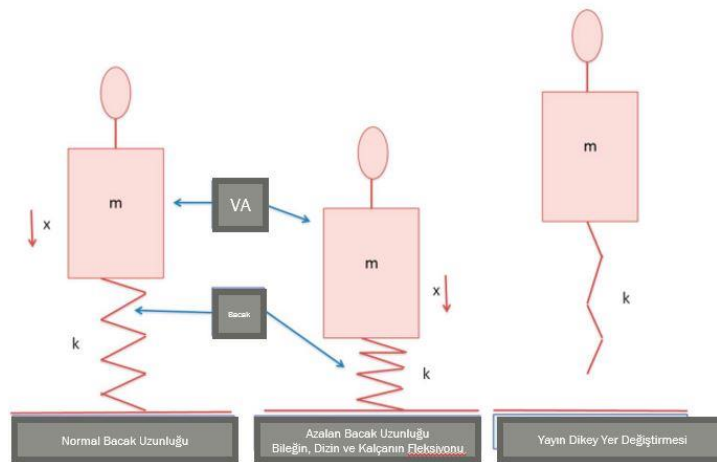
$$F = k \times \Delta x$$

Yukarıdaki denklikte k orantı sabiti diğeri bir ifade ile yay sabiti olarak da bilinir ve ideal bir yay kütle sisteminin sertliğini tanımlamaktadır ⁽¹⁴⁸⁾. Bahsi geçen bu formülü yeniden düzenleyerek $k = \Delta F / \Delta x$ yay sabiti değeri elde edilmektedir (Denklik 2.3.2), burada ΔF kuvvette meydana gelen değışim farkı ve Δx uzunlukta ortaya çıkan değışim farkı olarak bilinmektedir ⁽¹⁴⁸⁾. Başka bir deyişle, *Hooke yasasına* uyan bir nesnenin uzunluğundaki değışim, onun üzerinde etkili olan kuvvetle doğru orantılıdır ⁽¹⁴⁸⁾.

Denklik 2.3.2 Yay Sabiti

$$k = \Delta F / \Delta x$$

Sertlik yasasının insan vücudu üzerinde değıerlendirilmesi tek bir kas fibrilinden tüm vücuda kadar geniş bir aralıkta kullanılarak modellenme yapılabilmektedir ⁽¹⁴⁵⁾ ⁽¹⁹⁾. Koşma ve sıçrama gibi gerilme-kısalma döngüsü içeren hareketler esnasında vücudun kas-iskelet sistemini oluşturan kas fibrilleri, tendon ve bağ doku gibi elemanlar bir bütün olarak yay benzeri davranarak hareket ettiği bilinmektedir ⁽¹⁴⁹⁾. Dolayısıyla, basit bir yay-kütle modeli gerilme-kısalma döngüsü içeren çeşitli vücut hareketlerinin temel mekaniğini modellemek için başarıyla kullanılmaktadır ⁽²¹⁾. Burada kütle temsil eden total vücut ağırlığı ve yayı ifade eden parametrenin ise destek bacağına hareket boyunca yer değıştirme mesafesi olarak ele alınmıştır (Şekil 2.8.) ^(21, 148).



Şekil 2.8. Yay kütle modelinin insan vücudu üzerindeki modeli ^(21, 148)

Bacak sertliğinin düzenlenmesi, gerilme-kısalma döngüsü içeren aktivitelerin optimum seviyede gerçekleşmesi açısından önemli bir rol oynayabileceği vurgulanmaktadır ⁽¹⁹⁾. Örneğin, bacak sertliğinin koşu hızı ve adım frekansı ile arttığı bildirilmiştir ⁽²⁰⁾. Bacak sertliğine katkıda bulunan fizyolojik mekanizmalar içerisinde elastik enerjinin depolanması ve tekrar kullanılması, nöral aktivasyonun artması ve gerim refleksi arkı olduğu düşünülmektedir ^(16, 18, 150).

Bacak sertliğinin, tekrarlı sıçramalar, maksimum koşu hızı ve koşu ekonomisi ile yakından ilişkili olduğu gösterilmiştir ^(151, 152, 153, 154). Daha iyi bacak sertliğine sahip olan bireylerin koşu sırasında enerji maliyetinin düşük olduğu ve bunun altında yatan mekanizmanın koşu sırasında alt ekstremitelerde bulunan tendonlar ve ligamentlerin elastik enerji depoları olarak yapılan işe katkı sağladığı bildirilmiştir ⁽¹⁵³⁾.

Alt ekstremitelerde bulunan kaslar atılan her adımda gerilerek enerjiyi depolar ve sonrasında depolanan bu enerji geri serbestleşerek lokomasyonun metabolik maliyetini düşürdüğü belirtilmektedir ⁽¹⁵⁵⁾. Merkezi sinir sistemi, ekstremitelerdeki kasların hareketlerini, tendonların ve bağların aktiviteleriyle koordine eder, böylece gerilme-kısalma döngüsü gerçekleşirken alt ekstremitenin tek bir mekanik yay gibi davranarak hareket ettiği görülmektedir ⁽¹⁵⁶⁾. Buna ek olarak, fiziksel aktivitelerin hız ve kuvvet talepleri arttıkça, sertlikte eşzamanlı bir artış olduğu belirtilmektedir ⁽²¹⁾.

Bu hareket örüntüsüne sahip koşu, sıçrama ve sprint gibi döngüsel aktivitelerde, çocukların performans özelliklerinin yetişkinlerin altında olduğu bilinmektedir ^(157, 158, 159, 160). Bacak sertliğinin yanı sıra gerilme-kısalma döngüsünü içeren aktivitelerin değerlendirmesinde kullanılan bir diğer ölçüt, reaktif kuvvet indeksidir ^(15, 18).

2.4.2. Reaktif Kuvvet İndeksi

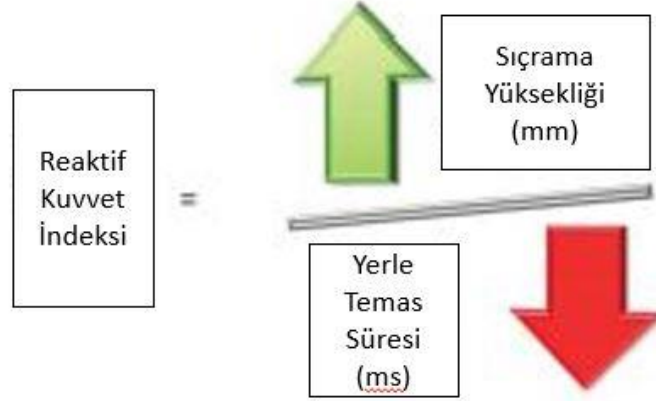
Reaktif kuvvet indeksi, spor bilimleri literatüründe pliometrik veya gerilme-kısalma döngüsü performansını değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır ^(161, 162). Reaktif kuvvet indeksi, sıçrama yüksekliği (mm) ile yerle temas süresi (ms) arasındaki oranı ifade eder (Denklik 2.3.3) ve bireyin eksantrik kasılmadan konsantrik kasılmaya hızla geçebilme kabiliyetini temsil eder (Şekil 2.9.) ^(161, 163, 164).

Young ⁽¹⁶³⁾, reaktif kuvvet indeksinin patlayıcılık ölçüsü olarak kabul edilebileceğini bildirmiştir. Antrenman biliminde patlayıcılık, bir sporcunun en kısa

sürede maksimal kuvvet üretebilme yeteneği olarak ifade edilir ⁽¹⁶⁵⁾. Reaktif kuvvet indeksi ayrıca kas-tendon ünitesi üzerindeki stresi izlemek için kullanılan basit bir yöntem olarak da kullanılmaktadır ⁽¹⁶²⁾.

Denklik 2.3.3 Reaktif Kuvvet İndeksi

$$= \text{Sıçrama Yüksekliği (mm)} / \text{Yerle Temas Süresi(ms)}$$



Şekil 2.9. Reaktif Kuvvet İndeksi ⁽¹⁶¹⁾

2.5. Çocuklarda Büyüme ve Olgunlaşma

Büyüme fiziksel görünüm, vücut kompozisyonu ve vücudun çeşitli sistemlerinde boyutu ölçülebilir değişiklikler anlamına gelirken, olgunlaşma olgun duruma doğru ilerleme anlamına gelmektedir ⁽¹⁶⁶⁾. Ergenlik bedensel değişimleri kapsayan 3-5 yıllık bir süreç iken, adolesan dönem fizyolojik, psikososyal ve ruhsal değişiklikleri kapsayan 10-15 yıllık bir aşama olduğu bilinmektedir ^(167, 168). Puberte boyunca görülen en belirgin değişiklikler boy uzama hızının artması ve ikincil cinsel karakterlerin gelişimidir ⁽¹⁶⁹⁾. Bunun yanında vücut kompozisyonu, kemik boyut ve mineralizasyonu, fertilité kabiliyeti (kızlarda ovülasyon, erkekte spermatogenez), kalp ve damarlar ve nöroendokrin aks gibi pek çok vücut dizgesinde belirgin değişiklikler olduğu bildirilmiştir ⁽¹⁶⁹⁾.

Örneğin; puberte boyunca kardiyovasküler sistem performansının arttığı, bunun yanında elektrokardiyografide ve kan basıncında farklılıklar ortaya çıktığı bildirilmiştir ^(167, 168). Büyüme ve olgunlaşma süreçleri birbirleriyle ilişkili ve her iki sürecinde fiziksel performans üzerinde etkileri söz konusu olmuştur ⁽¹⁶⁶⁾. Gelişim süreci üç geniş aşamada incelenmektedir; erken çocukluk, orta çocukluk ve ergenlik ⁽¹⁶⁶⁾.

Boy uzunluğu bebeklik ve erken çocukluk döneminde hızlı bir artış gösterirken, orta çocukluk döneminde oldukça sabit bir örüntü gösterir ve adolesan dönemine girildiği sırada hızlanmaktadır, fakat daha sonra yavaşlayarak yetişkin boy uzunluğuna ulaşılmaktadır ⁽¹⁷⁰⁾. Bu evrede görülen en belirgin değişimler vücut ağırlığı ve deri altı yağ kütlelerinin artmasıdır ^(170, 171). Boy büyüme hızı, yaşamın birinci yılı süresince doruğa ulaşır fakat daha sonra kademeli olarak yavaş yavaş ergenlik dönemine kadar azalma eğilimi göstermektedir ^(170, 171).

Ergenlik büyüme atağı başlamasıyla (kızlarda yaklaşık 10-12 yaş ve erkeklerde 12-14 yaş) büyüme hızı zirveye ulaşır ve daha sonraki süreçte büyüme hızı yavaşlayarak yetişkin döneme girildiğinde tamamlanarak durur. Ergenlik döneminde iskelet yapısı önce boyut ve uzunluk olarak, daha sonra yoğunluğu ve gücü açısından gelişim sağladığı bilinmektedir ^(170, 171).

Büyüme evresine girilmeden önce kollar ve bacaklarda uzama görülmektedir. Ancak büyüme evresinde ise artış daha çok gövde de görülmektedir. Ergenlik evresine girilmesiyle birlikte en hızlı büyüyen alan gövde de meydana gelmektedir. Büyüme plağı olarak adlandırılan özelleşmiş hücrelerin aktivelilerinin artmasıyla paralel olarak, kollar ve bacakların uzun kemiklerin boyunda artış görüldüğu bilinmektedir ^(170, 172).

2.5.1. Çocukluk ve Ergenlik Döneminde Fiziksel Yeteneklerdeki Değişimler

Çocukluk döneminde, erkekler ve kızlar büyümeye bağlı olarak artan kol uzunluğu ve kas dokusu neticesinde kuvvetlerini arttırma potansiyeline sahip olurlar ⁽¹⁶⁶⁾. Kız ve erkek çocuklar puberte dönem öncesi motor becerilerini gerçekleştirmek için benzer gelişim göstermektedir ⁽¹⁶⁶⁾. Diğer taraftan, ergenlik dönemindeki erkeklerin dayanıklılık ve performans bileşenleri sürekli olarak artma eğilimi gösterir ⁽¹⁶⁶⁾.

Vücut yapısındaki değişime bağlı olarak, atletik performansın temel bileşenleri ergenlik döneminin ilk zamanlarında çarpıcı bir değişime uğrar ⁽¹⁶⁶⁾. Eğer çocuk uygun spor dallarına yönlendirilmek isteniyorsa erken olgunlaşan ve geç olgunlaşan bireyleri belirlemek bu noktada önemlidir ^(173, 174). Erkeklerde erken olgunlaşma bazı sporlarda avantaj olarak görüldüğu, ancak kızlarda bunun tersi geçerli olduğu bilinmektedir ^(173, 174). Bunun yanı sıra geç olgunlaşan sporcular, daha az güç, dayanıklılık ve iskelet olgunluğuna sahip olmaları nedeniyle, ortalama akranlarına kıyasla daha düşük motor

becerileri var olduğu görülmektedir ⁽¹⁷⁴⁾. Nitekim olgunluğa geç erişen sporcuların, gelişmemiş kasları ve olgunlaşmamış iskelet yapıları sebebiyle ile yaralanma ve sakatlanma risklerinin daha yüksek olduğu bilinmektedir ^(173, 174). Örneğin, yerle temas ve ani yön değiştirme manevraları sırasında oluşan kötü nöromusküler kontrol mekanizmaları neticesinde ortaya çıkan verimsiz hareket örüntüleri genç sporcuların yaralanma riskine daha yatkın olacaklarını göstermektedir ^(175, 176, 177).

Hormonal profilde meydana gelen değişim, kas içi ve kaslar arası koordinasyonun gelişmesi, adölesan dönem miyelinizasyon artması ve yağsız vücut kütlelerinde artış biyolojik olgunlaşma ile görülen bir takım değişiklikler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Nitekim bahsi geçen süreçlerin tamamı sonuç olarak çocuğun fiziksel ve fizyolojik açıdan gelişimini işaret etmektedir ^(172, 178, 179). Olgunlaşma ile ilişkili vücut boyutları ve ekstremitelerde uzunluklarındaki hızlı artışlarla birlikte kas kütlelerindeki önemli gelişimlerin ergenlikte koordinasyon sorunlarına yol açtığı düşünülmektedir ⁽¹⁸⁰⁾. Bu döneme girmiş çocukların, kendinden daha büyük, güçlü ve olgun sporculara karşı rekabet ettiklerinde, potansiyel performanslarını ortaya koyamadıkları görülmektedir ^(173, 174). Çocukların erken yaşta spordan uzaklaşmalarının altında yatan sebeplerden bir tanesinin buna bağlı olduğu düşünülmektedir ⁽¹⁷⁴⁾. Literatürde iskelet yaşı veya cinsel olgunlaşma evreleri, daha önce bir birey veya birey grupları içinde biyolojik olgunlaşma evresini belirlemek adına kullanılmış olsa da, bu yöntemler çoğunlukla etik değerlerle çatışabilmektedir ⁽¹⁸¹⁾.

Bu gibi problemlerin önünce geçebilmek amacıyla yapılan bir çalışmada, araştırmacılar tarafından ölçülen bir dizi somatik değişken (boy uzunluğu ve oturma yüksekliği gibi) ile birlikte bireyin biyolojik olgunluk profili belirlenebilmiştir ⁽¹⁸²⁾.

Uzun vadeli sporcu gelişim modeli (Şekil 2.10.) çocuğun olgunlaşma durumunu dikkate alır ve genç bireylerin atletik gelişimine daha stratejik bir yaklaşım sunar. Çocukların olgunlaşma yıllarında “Kritik Fırsat Penceresi” olarak adlandırılan antrenmana bağlı adaptasyonlara karşı daha duyarlı oldukları bir dönemin var olduğu düşünülmektedir ⁽¹⁸³⁾. Çocuğun olgunlaşma süreci içerisindeki bu dönemin adaptasyonun en verimli ve dış uyaranlara karşı en duyarlı olduğu dönem bilinmektedir ⁽¹⁸³⁾.

Bu sebeple, hızlandırılmış adaptasyon dönemlerini (kritik fırsat penceresi) tespit etmek, genç sporcuların ileri dönemdeki atletik potansiyellerini ortaya çıkarmak açısından önemlidir.

Genç Erkekler İçin Fiziksel Gelişim Modeli																						
Kronolojik Yaş (yıl)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21+		
Yaş Dönemleri	Erken Çocukluk			Orta Çocukluk							Adolesan							Yetişkin				
Büyüme Hızı	Hızlı Büyüme			İstikrarlı Büyüme				Adolesan Atağı				Büyüme Hızında Düşüş										
Olgunlaşma Durumu	PHV Öncesi Yaş							PHV							PHV Sonrası Yaş							
Antrenman Adaptasyonu	Ağırlıklı Olarak Nöral (Yaşa Bağlı)							Nöral ve Hormonal Kombinasyonu (Olgunluğa Bağlı)														
Fiziksel Özellikler	Temel Hareket Becerisi	Temel Hareket Becerisi			Temel Hareket Becerisi			Temel Hareket Becerisi														
	Spora Özgü Beceriler	Spora Özgü Beceriler			Spora Özgü Beceriler			Spora Özgü Beceriler														
	Mobilite	Mobilite			Mobilite																	
	Çeviklik	Çeviklik			Çeviklik							Çeviklik										
	Sürat	Sürat			Sürat							Sürat										
	Güç	Güç			Güç							Güç										
	Kuvvet	Kuvvet			Kuvvet							Kuvvet										
	Hipertrofi	Hipertrofi			Hipertrofi							Hipertrofi										
	Dayanıklılık & Metabolik Kondisyon	Dayanıklılık & Metabolik Kondisyon							Dayanıklılık & Metabolik Kondisyon							Dayanıklılık & Metabolik Kondisyon						
	Antrenman Yapısı	Yapılanmamış			Düşük Yapılanma				İlmi Yapılanma				Yüksek Yapılanma				Tümüyle Yapılanma					

Şekil

2.10. Genç erkekler için uzun vadeli fiziksel gelişim modeli ⁽¹⁸⁴⁾

Biyolojik olgunlaşma sürecinin altında yatan bir dizi gelişmeler (nöral, metabolik, androjenik, kardiyovasküler ve kas) hızlandırılmış adaptasyonun bu dönemlerini destekler ⁽¹⁸⁵⁾. Pediatrik araştırmacılar ve klinisyenler, antrenman adaptasyonunu optimize etmek, uygun eğitim programlarını geliştirmek ve aktiviteye bağlı yaralanma riskini en aza indirmek için biyolojik olgunlaşmanın önemini vurgulamaktadırlar ^(184, 186). Bu düşüncelere dayanarak, ebeveynler ve antrenörler adolesan gelişiminin sonuçlarının farkında olmalı ve beklentilerini bu döneme göre belirlemelidirler ^(173, 174).

2.5.2. Çocuklarda Koşu Ekonomisi

Literatürde hem kesitsel hem de boylamsal birçok çalışma koşu ekonomisinin küçük çocuklarda daha düşük olduğunu ancak büyüme ve olgunlukla iyileştiğini göstermektedir ^(10, 24, 66, 69, 117, 187, 188, 189, 190, 191). Ancak mevcut kanıtlar koşu sırasında atılan her adım bazında çocuklar ve yetişkinler arasında koşu ekonomisinde çok az fark olduğunu işaret etmektedir ^(111, 191).

Birçok araştırmacı yetişkinler ve çocuklarda koşu ekonomisini, yaş grupları arasındaki performans farklılıklarına neden olan değişkenleri irdelemek amacıyla kıyaslamaktadırlar⁽³¹⁾. Daha genç bireylerde adım uzunluğunun düşük ve adım frekansının yüksek seyretmesi, koşu ekonomisinin düşük olmasının altında yatan nedenlerden biridir ^(10, 69, 117). Yapılan çalışmalarda, sabit hızda koşu sırasında hem erkek hem de kız cinsiyetteki çocukların yetişkinlerden daha düşük koşu ekonomisi sergilediği görölmektedir ⁽³⁴⁾.

Çocukların erişkinlere kıyasla daha az koşu ekonomisine sahip olmasının nedenleri olarak, daha yüksek istirahat metabolizmaları, kalp atım hızları, ventilasyon oranları ve kan laktat düzeyleri olduğu diğer taraftan vücut büyüklüğündeki farklılıklardan kaynaklı adım frekansları ve adım uzunluklarının dezavantajlı olduğu bildirilmiştir ^(8, 34). Koşu stili, çocukların koşu ekonomisinde önemli bir belirleyici gibi görönmektedir ⁽⁶⁾. Adım frekansının, adım uzunluğuna oranının yetişkinlere kıyasla çocuklarda daha yüksek olduğu belirlenmiştir ⁽³³⁾. Yapılan çalışmalarda, adım frekansının tüm hızlarda çocuklarda anlamlı olarak daha yüksek olduğu bulunmuştur ⁽¹⁹²⁾.

Ayrıca bacak uzunluğunun koşu sırasında metabolik maliyeti etkilediği bildirilmiştir ⁽³⁰⁾. Öte yandan bacak uzunluğunun, koşu ekonomisinin belirlenmesinde önemli bir faktör olup olmadığı konusunda pek az fikir birliği vardır ⁽⁸⁾. Bacak uzunluğu, adım uzunluğu, adım frekansı ve $\dot{V}O_2$ arasındaki ilişkinin kesin doğası tam olarak anlaşılamamıştır. Literatürdeki araştırmalarda çocukluk ve gençlik süresince büyüme ile birlikte yaptırılan koşu antrenmanlarının, koşu ekonomisine ve performansın gelişimine katkı sağladığı bilgisine ulaşılmaktadır^(10, 24). Öte yandan koşu ekonomisindeki gelişimin büyümeden mi yoksa antrenmanlardan mı kaynaklandığı ayırımına gidilememiştir ⁽³⁴⁾.

2.5.3.Çocuklarda Bacak Sertliği

İnsan sinir sisteminin motor fonksiyonunun yaşa bağlı değişikliklere uğradığı, böylece ergenlik öncesi çocukların kas aktivasyon kapasitesi ve kontraktil özellikleri yaşla birlikte geliştiği bilinmektedir ^(193, 194, 195). Genel atletik performansa katkıda bulunan parametrelerin çokluğu göz önüne alındığında, bazı fiziksel öz niteliklere dikkat edilmesi gerekmektedir ^(193, 194, 195). Bu özelliklerden biri olan gerilme-kısalma döngüsü, yapılan aktivitelerin birçok formu için temel kas eylemi olarak kabul edilir ⁽¹⁸⁾. Gerilme-

kısalma döngüsü, sprint, sıçrama ve dayanıklılık performansı ile yakın ilişkilidir, bu nedenle sporcu performansında önemli bir rol oynamaktadır ⁽¹⁴⁾. Gerilme-kısalma döngüsü içeren aktivitelerde, performansı etkileyen parametreler içerisinde bacak sertliğinin öneminden bahsedilmektedir.

Koşu gibi gerilme-kısalma döngüsünün sürekli olarak gerçekleştiği hareketlerde, bacak sertliğinin çocuk ve yetişkinlerin sprint hızı üzerinde belirleyici bir faktör olduğu gösterilmiştir ^(196, 197, 198). Bununla beraber çocukluk ve ergenlik döneminde süratin doğal gelişiminin doğrusal olmayan bir süreci takip ettiği düşünülmekte, adolesan öncesi ve adolesan dönemlerde sprint performansında dalgalı gelişimler olduğu görülmektedir⁽¹⁹⁹⁾. Çocukluk çağında hız gelişimini etkileyen fizyolojik ve fiziksel faktörler hem yaş hem de olgunluğa bağlı bir perspektiften araştırılmaktadır^(172, 200). Ergenlik başlamadan önce, erkek çocuklar sprint performansında hızlandırılmış gelişimler sergilemektedirler ⁽¹⁷²⁾. Söz konusu gelişimin öncelikle motor ünite aktivasyonu ve koordinasyon kabiliyetinin gelişimi gibi nörolojik adaptasyonlara atfedilmektedir⁽¹⁷²⁾.

Sprint performansındaki pik kazanımların, ergen büyüme atağı sırasında başlayan pik boy uzaması dönemi (PUH) ile çakıştığı görülmektedir^(200, 201). Gelişmenin bu aşamasında ekstremite uzunluğu, kas kütlesi ve hormonal düzeylerdeki artışlar nedeniyle, gelişmiş kas gücüne bağlı güç çıktısı ile ilişkili olan, hız gelişimine biyolojik olgunlaşmanın etkisi olası görünmektedir^(199, 202).

Ergenlik ile ilişkili hormon düzeylerinin yükselmesi (testosteron ve büyüme hormonları) olgunlaşmanın, pik boy uzama hızı evresinde kuvvet ve dolayısıyla güç çıktısı ve sprint yeteneği performanslarını etkilediği bildirilmiştir ^(203, 204, 205, 206, 207). Hem mutlak hem de göreceli bacak sertliğinin olgunlaşma boyunca arttığı yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir ^(18, 208, 209).

Bu bilgiye ek olarak kronolojik yaşça daha büyük çocuklara kıyasla (12-15 yaş) daha küçük çocuklar (9 yaş) daha fazla bacak sertliği sergilemelerine rağmen, sıçrama esnasında daha fazla zemin tepki kuvvetleri üretmedikleri rapor edilmiştir ⁽¹⁸⁾. Bacak sertliğine katkıda bulunan nörofizyolojik mekanizmalar arasında nöral aktivasyonun artması ve gerim refleksi arkının katkısı olduğu vurgulanmaktadır^(16, 17, 210). Bu açıdan bakıldığında çocukluk çağındaki performans gelişimini etkileyen kas-tendon sertliği, kas lifi uyarı süresi, güç üretme hızı, golgi tendon organı sayısı ve olası intrafüzel lif gelişimi

bacak sertliğinin nöromusküler mekanizmasının düzenlenmesinde önemli olduğu bilinmektedir (208, 211, 212, 213).

Yukarda bahsi geçen değişkenler irdelendiğinde kas gerim refleksinin bu noktada önemli olduğu bilinmektedir. İskelet kas yapısıyla (kas içiği) kasın tendonlarında (Golgi tendon organı) bulunan duysal ileti nöronları, kasın anlık gerim ve boy değişiklikleri hakkında medulla spinalise sürekli olarak bilgi taşımaktadırlar (214, 215, 216, 217, 218, 219, 220). Kas işlevlerinin verimli olabilmesi ve kasılmaların hedeflenen süre ve şiddette oluşturulabilmesi için bu geri besleme devresinin optimum düzeyde etkinlik göstermesi zorunluluk haline gelmiştir. İntrafüzel kas fibrillerinden meydana kas içkikleri kasın orta bölümünde yer alarak, kasta meydana gelen boy değişimine duyarlı grup I ve II duysal nöronları barındırmaktadırlar. Kasın bu duysal reseptörleri neredeyse bilinçaltı düzeyde etkinlik göstermektedir. Her bir lif aslında çok küçük bir iskelet kas lifidir ancak intrafüzel kas liflerinde aktin ve miyozin yoktur, bu nedenle kasılabilir özelliği yoktur (214, 215, 219).

Kas içiğinin orta merkezi onun reseptör bölgesi olarak bilinir ve grup 1 ve 2 duysal nöronlar bu bölgede bulunmaktadır. Kas ne zaman hızlı bir gerilme gösterirse, içkiklerin uyarılması aynı kas ve sinerjistik kaslardaki kas liflerinin refleks olarak uyarılmasına neden olmaktadır (214, 215, 219). Kas boyunun uzamasına bağlı olarak etkinlikleri artan bu duysal nöronların medulla spinalise taşıdığı bilgiye yanıt ise ilgili iskelet kas segmentinde kontraksiyonu tetikler. Nitekim kas içiğinin kas gerimine duyarlı olarak verdiği refleks yanıtları, gerilme-kısalma döngüsü içeren aktivitelerde artan güç çıktıklarına neden olduğu bilinmektedir (217, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227).

Diğer taraftan kasta meydana gelen gerim, kas-tendon kompleksine potansiyel olarak zarar verebilecek bir hıza yaklaştıkça kas içiği, ilgili kas segmentinin zıt bir kasılmasını (antagonist kas segmenti) aktive eder ve refleks olarak uyarır (215, 222, 226). Böylece dış kuvvetlerin zararlı etkileri bu refleks mekanizması ile absorbe edilmektedir.

Golgi tendon organları ise, kasın tendonunda yer alır ve tendonun gerimi veya gerimin değişme hızındaki bilgileri sinir sistemine iletirler. Kas içiği ile golgi arasındaki temel fark, içcik kasın uzunluğu ve kas uzunluğundaki değişimleri algılamak, golgi tendon üzerindeki gerimi algılamak. Golgiden kaynaklanan sinyaller, medulla spinalise kalın ve hızlı ileten 1b tipi sinir lifleriyle taşınır (214, 215, 219). Golgi tendon organının uyarı frekansında ortaya çıkan artışın vereceği cevap, tendon üzerindeki gerimi düşürme isteği

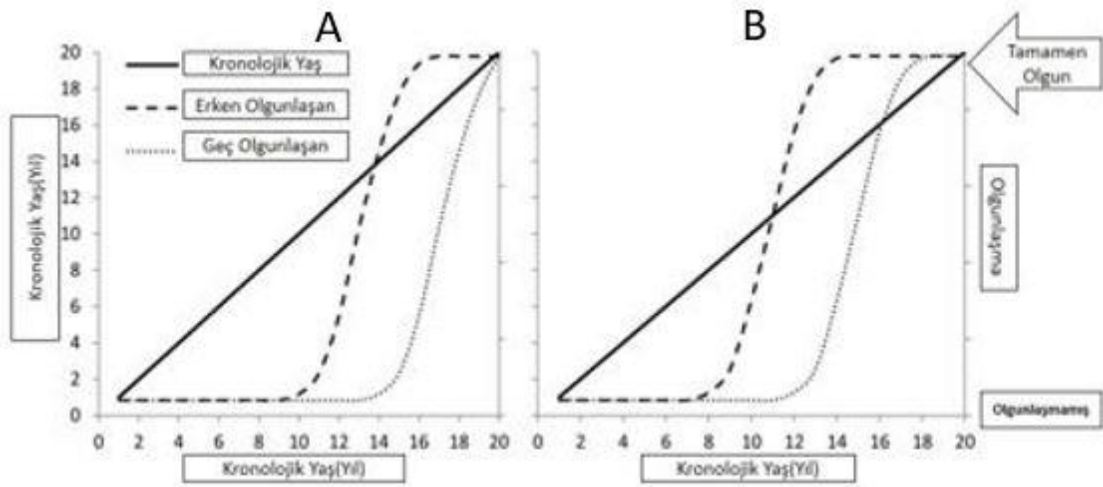
yönünde olacağından, yanıt kas kasılmasının sonlanmasını sağlayan inhibitör etki olarak gözlemlenir. Böylece bu refleks kasta çok fazla gerim oluşumunu önleyen bir negatif geri bildirim mekanizması olarak görev yapmaktadır ^(214, 215, 219).

Kasta ve buna bağlı olarak tendondaki gerim aşırı bir hal aldığı zaman, golgiden gelen inhibitör/baskılayıcı etki omurilikte ani bir reaksiyonla bütün kasın ansızın gevşemesine yol açacak kadar büyük etki meydana gelebilir ^(217, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227). Gerim refleks arkının optimum seviyede olması sadece kas kasılmalarının düzenlenmesi anlamında değil, bunun yanında da kasın aşırı kasılma oluşturmaya bağlı olarak istenmeyen sakatlıkların önüne geçilebilmesi (kas yırtılmaları ve tendonun kemikten kopması gibi) anlamında da önemli bir önleyici mekanizma olarak bilinir ^(222, 223, 224).

2.6. Biyolojik Olgunlaşmanın Değerlendirilmesi

Sporcuların fiziksel ve fizyolojik değerlendirmeleri bireysel antrenman programlarının veya yıllık antrenman planının genel etkilerini belirlemek amacıyla bir antrenman döngüsü boyunca çeşitli aşamalarda gerçekleştirilmektedir. Ancak çocuklarla veya adolesanlarla çalışırken performans bileşenleri büyüme ve olgunlaşma dönemleri içerisinde önemli ölçüde etkilenebilmektedir. Literatürde büyüme ve olgunlaşmanın fiziksel performans üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmalar yer almaktadır. Ancak sahada pratik uygulamalar açısından incelendiğinde antrenörlerin konuyu değerlendirmelerinin mevcut şartlarda zor olduğu görülmektedir ⁽²²⁸⁾. Doğum tarihinden itibaren tek bir zaman noktası olarak hesaplanan kronolojik yaş, geleneksel olarak spor branşlarında yaşa bağlı sporcu düzeylerini gruplandırmak, yetenekli performans bireylerini belirlemek ve antrenman planlamaları için sınırlar koymak amacıyla kullanılmıştır⁽²²⁸⁾. Bununla birlikte literatür, aynı kronolojik yaşta bireylerin biyolojik olgunluğa göre belirgin şekilde farklılık gösterebileceğini açıkça göstermiştir^(229, 230, 231). Bireyler arası biyolojik olgunlaşmanın seviyesine (değişimin büyüklüğü), zamanlamasına (değişimin başlangıcı) ve temposuna (değişme oranı) bakıldığında önemli ölçüde farklılıklar görülmektedir⁽²²⁸⁾. Bu değişkenlere bağlı olarak, çocuklar biyolojik olarak kronolojik yaşlarının önünde (erken olgunlaşan birey), kronolojik yaşlarıyla paralel (zamanında) veya kronolojik yaşlarının gerisinde (geç olgunlaşan birey) gelişim örüntüsü gösterebilirler⁽¹⁷²⁾.

Teorik verilere dayanarak hem erkeklerde hem de kadınlarda, cinsel olgunlaşmanın doğrusal olmayan gelişimine karşı kronolojik yaşın doğrusal gelişimindeki farkı göstermektedir (Şekil 2.11.)⁽²²⁸⁾. Grafik detaylı bir şekilde incelendiğinde erken olgunlaşan erkeklerin 10 yaş, geç olgunlaşanların ise 14 yaşın sonlarına doğru pik uzama dönemine girdikleri görülmektedir. Diğer taraftan erken olgunlaşan kızların 8 yaş geç olgunlaşanların ise 12 yaşın sonlarında aynı döneme girmektedir.



Şekil 2.11. Erken ve geç olgunlaşan erkeklerin (A) ve kızların (B) kronolojik yaş ile biyolojik olgunlaşmanın gelişimsel eğrilerindeki farklılıklar.⁽²²⁸⁾

Bu verilere dayanarak, göreceli uyumsuzluklar ve aynı kronolojik yaştaki çocuklar arasında görülen biyolojik olgunlaşmadaki farklılıklar, antrenman programı hazırlanmasında ve sportif performans beklentilerinin karşılanmasında kronolojik yaşın kullanımı sınırlamalara sebep olabilir.

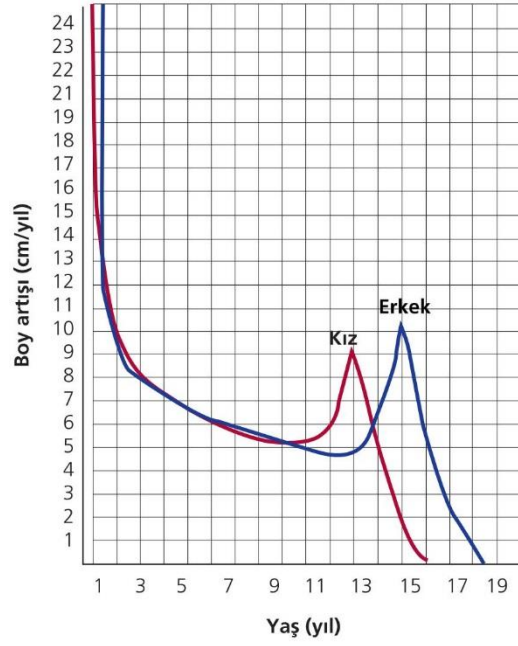
Olgunlaşmanın bir sonucu olarak ortaya çıkan fiziksel ve fizyolojik süreçler antrenman programının tasarlanması için biyolojik olgunluğun düzenli olarak değerlendirilmesi ve izlenmesine dikkat çekilmektedir⁽¹⁸⁴⁾. Sporcular arasında grup ayırımına gidebilmek için kronolojik yaş kolayca belirlenebilse de ergen büyüme atağının büyüklüğü, zamanlaması ve temposundaki büyük bireysel farklılıklar nedeniyle biyolojik olgunluğun izlenmesi ve değerlendirilmesi önerilmektedir⁽²³²⁾. Literatürde iskelet, cinsel ve somatik göstergeler üzerinden olgunluk düzeyinin farklı kategorilerinin belirlendiği çok sayıda yöntemin yer aldığı görülmektedir⁽²²⁹⁾. Bu yöntemler önemli ölçüde farklılık

gösterse de, farklı göstergeler arasındaki korelasyonlar çoğunlukla orta ila yüksektir^(172, 229).

Pratik açıdan diğer sınıflamalara göre somatik değerlendirmeler biyolojik olgunlaşmayı yansıtmada kayda değer bir geçerliliğe sahip olduğu ispat edilmiştir⁽²³¹⁾. Somatik değerlendirmeler genel boy uzunluğundaki uzama derecesini veya vücudun belirli boyutlarını (oturma yüksekliği) ifade etmektedir. Bununla beraber somatik büyüme gelişimde doğrusal değildir⁽²³²⁾. Somatik büyümenin yaygın ölçütleri arasında uzunlamasına büyüme eğrilerinin (pik uzama yaşının tahmini) değerlendirilmesi yer almaktadır.

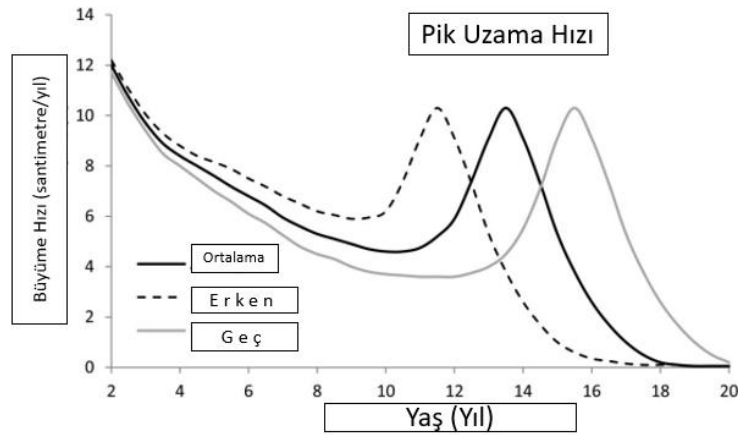
2.6.1. Pik Uzama Hızı Yaşının Belirlenmesi

Yetişkin boyunun yaklaşık %17-18'i puberte sürecinde edinildiği bilinmektedir⁽²³³⁾. Pubertal dönemdeki pik boy uzaması cinsiyet hormonları ve bu hormonların uyardığı büyüme hormonu salınımının önemli payı olduğu kabul edilmektedir⁽¹⁶⁹⁾. Bu dönemdeki uzama hızındaki artıştan sorumlu büyüme hormonu bir dizi fizyolojik mekanizmayı uyararak birçok gelişime yol açmaktadır⁽¹⁶⁹⁾. Sonuç olarak, bu etki kendisini boy ve diğer vücut boyutlarının gelişimi sağlamasıyla göstermektedir. Kızlarda ve erkeklerde puberte öncesinde her iki cinsin de büyüme eğrisi benzerlik göstermektedir. Bununla birlikte, büyüme atağının (pik boy uzaması) başlamasıyla cinsiyete göre farklı büyüme süreçleri izlenmektedir. Teorik bilgilere dayanarak erkeklerin kızlardan yaklaşık 2 sene sonra gelişim gösterdiği görülmektedir (Şekil 2.12.)⁽¹⁶⁹⁾. Tüm puberte süresince erkeklerde 28cm, kızlarda ise toplam 25cm boy kazanımı gerçekleşebildiği bildirilmiştir⁽¹⁷⁰⁾.



Şekil 2.12. Kızların ve erkeklerin pik uzama hızı yaşları ⁽²³⁴⁾

Nitekim büyüme süreçlerini incelemek zordur ve sonuç olarak genel gelişimi değerlendirmek adına vücut büyüklüğü ve oranlarından elde edilen bir dizi dolaylı ölçüm teknikleri oluşturulmuştur. Pratik bir perspektiften bakıldığında, bir süre boyunca tekrarlanan boy uzunluk ölçümlerinin derlemesi, büyüme eğrilerinin analizini mümkün kılacaktır. Örneğin boy uzunluğunun zaman içindeki değişiminin büyüklüğü ve oranı (yıl/cm) yorumlanabilir⁽²²⁸⁾. Bu tür büyüme eğrilerinden, ergenlik büyüme hamlesi sırasında pik uzama hızı yaşı (PUH) tahmin edilebilir (Şekil 2.13.).



Şekil 2.13. Erken, ortalama ve geç olgunlaşan bireyler için kronolojik yaşa göre (yıl) büyüme hızları (santimetre/yıl) ⁽²³²⁾.

Erken olgunlaşan bireyler ortalama yaşlarından yaklaşık 1 yıl (veya daha fazla) önce pik uzama hızı gösterirlerken öte yandan geç olgunlaşan gençler pik uzama hızındaki ortalama yaşından en az 1 yıl sonra pik uzama hızı göstermektedirler⁽²²⁹⁾. Ek olarak pik uzama hızı ancak geriye dönük bir zirve gözlemlendikten sonra tanımlanabilir. Örneğin, genç yaş grubundaki spor antrenörü 14 yaşında genç bir sporcu ile çalışmaya başlayabilir, bu nedenle potansiyel olarak çocuğun önceki yıllarda yaşadığı büyümeden dolayı ortaya çıkan durumlar hakkında veri sahibi olmayabilir. Sonuç olarak, çocuğun büyümeye ne zaman başladığını belirlemek zor olacaktır.

Boy ve vücut kütlelerinin boylamasına izlenmesinin mümkün olmadığı durumlarda (kesitsel analiz veya kısa süreli bir antrenman bloğu) Mirwald ve ark⁽¹⁸²⁾ tarafından sunulan denklemler (Denklik 2.5.1.1.) aracılığıyla 6 aylık standart bir hataya kadar pik uzama hızı yaşı tahmin edilebilmektedir. Temel olarak denklem kronolojik yaş (yıl ve ay), vücut kütlesi (kg), boy uzunluğu (cm) ve oturma yüksekliği(cm) gibi bir dizi somatik değerlere sahip olmayı gerektirir⁽¹⁸²⁾.

Denklik 2.5.1.1 Pik Uzama Hızı Yaşının Belirlenmesi (erkekler için)

$$\begin{aligned} &= -29.769 + 0.0003007 \times (\text{Bacak Uzunluğu} \times \text{Oturma Yüksekliği}) \\ &- 0.01177 \times (\text{Yaş} \times \text{Bacak Uzunluğu}) \\ &+ 0.01639 \times (\text{Yaş} \times \text{Oturma yüksekliği}) \\ &+ 0.445 \times (\text{Bacak Uzunluğu}/\text{Boy Uzunluğu}) \end{aligned}$$

Özetle genç yaştaki sporcularla çalışan uygulayıcıların, çocukların ve adolesanların egzersiz programlamalarıyla ilgili olarak, biyolojik olgunlaşmanın atletik performans ve gelişim üzerindeki etkisinin farkında olabilmeleri önemlidir. Biyolojik olgunlaşma, genç bireyler için egzersiz programları tasarlanırken dikkate alınması gereken ek bir değişken olarak görülmelidir. Temel somatik ölçümler, büyümedeki değerli farklılaşmaların belirlenmesini sağlamak için yaklaşık olarak her 3 ayda bir uygulayıcı tarafından değerlendirilmesi gerektiği önerilmektedir⁽²²⁸⁾.

3. MATERYAL VE METOD

Sunulan araştırmaya Adana Őenlik Liginde yer alan Yapı Meslek Spor Kulübü takımının U11, U12, U13 ve U14 yaş kategorisinde aktif olarak futbol oynayan, her bir grupta 10 sporcu olmak üzere, toplam 40 erkek sporcu katılmıştır. (Çizelge 4.1). Çalışma öncesinde futbolculara ve ailelerine araştırmada yapılacak ölçümlerle ilgili bilgi verilmiştir. Ayrıca ailelerin tamamına “Farklı Yaş Gruplarındaki Futbolcu Çocuklarda Bacak Sertliği ve Koşu Ekonomisinin İncelenmesi” başlıklı ‘Aydınlatılmış Onam Formu’ (EK-1) imzalatılmıştır. Sunulan alışma T.C. Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Tarafından, 07.12.2018 tarihinde yapılan 83 numaralı toplantı ile uygun bulunmuştur (EK-2). Performans testlerin ölçümlerinden 24 saat önce sporcuların herhangi bir fiziksel aktiviteye katılmamaları sağlanmıştır.

3.1. Deney Protokolü

Çalışmaya katılan futbolcuların tamamı yer aldıkları takımların U11, U12, U13 ve U14 kategorilerinde 2018 ve 2019 futbol sezonunda aktif olarak futbol oynamıştır. Bu futbolcuların araştırmamız kapsamında 3 ay süre ile kendi takımlarının antrenmanlarına ve müsabakalarına katılım durumları izlenmiştir. Futbolcuların saha ve laboratuvar test ölçümleri 15.12.2018 ile 08.02.2019 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir.

Futbolculara uygulanan antropometrik ve kardiopulmoner ölçüm testleri Çukurova Üniversitesi Sağlıklı Yaşam ve Spor Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi, Egzersiz Fizyolojisi Laboratuvarında, tekrarlı sprint testi ve sıçrama testleri Adana İsmet İnönü Endüstri Meslek Lisesi spor salonunda gerçekleştirilmiştir. Sporculara ilk önce sıçrama testleri ardından tekrarlı sprint testi olmak üzere saha testleri aynı günde en az 15 dakika ara ile yapılmıştır. Laboratuvarda maksimal kademeli artan yük testi, %0 eğimde 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve %0 eğimde 9 km/saat submaksimal sabit yük koşu ekonomisi testi olmak üzere toplam 4 test protokolü uygulanmıştır.

Sporcuların laboratuvarı ilk ziyaretlerinde önce antropometrik ölçümler alınmış, sonrasında koşu bandına alıştırmak amacıyla fitness salonunda yürüme temposuyla

başlanıp 8 km/saat ve 9 km/saat koşu hızlarında 5 dakika egzersize devam edilmiş, ardından hız sporcuların tolere edebilecekleri kadar arttırılarak sonlandırılmıştır. 8 km/saat ve 9 km/saat submaksimal sabit yük koşu ekonomisi testleri 30 dakika ara ile aynı günde yapılmıştır. En az 2 gün ara ile farklı bir günde maksimal kademeli artan yük testi ve %1 eğimde 8 km/saat submaksimal sabit yük koşu ekonomisi testi 30 dakika ara ile yapılmıştır. Saha testlerinden önce ve laboratuvar ölçümlerinden önce standart test protokolü uygulanmıştır. Isınmaya 5 dakika düşük tempo koşu ile başlanmış ardından hız arttırılarak koşu sonlandırılmıştır. Isınma koşusunun ardında alt ekstremiteye ağırlık verilerek tüm vücut esnetme gerdirme egzersizleri yapılmıştır. Sahada farklı olarak arttırmalı koşular, sıçrama ve sprint denemeleri yapılmıştır.

3.2. Yapılan Ölçümler

3.2.1. Vücut Ağırlığı ve Boy Uzunluğu

Araştırmaya katılan futbolcuların vücut ağırlığı (kg) ölçümleri 0,01kg hata payına sahip, ağırlıkları bilinen standart kalibrasyon ağırlıkları ile kalibre edilmiş elektronik baskül (Kurdaklar) (Şekil 3.1-A) kullanılarak yapılmıştır. Futbolcuların vücut ağırlığı ölçümlerinde ayaklarının çıplak olmasına, üzerlerinde sadece şort ve tişört bulunmasına dikkat edilmiştir. Futbolcuların vücut ağırlığı ölçümlerinden en az iki saat öncesine kadar besin alımını durdurmaları istenmiştir.

Boy ölçümleri, elektronik stadyometre (Professional Sport Technologies, Sport Expert) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sırasında futbolcuların çıplak ayaklı olmaları sağlanmıştır (Şekil 3.1.-B).



Şekil 3.1-A. Kurdaklar Elektronik Baskül



Şekil 3.1-B. Elektronik Stadyometre

3.2.2. Pik Uzama Hızı Yaşının Belirlenmesi

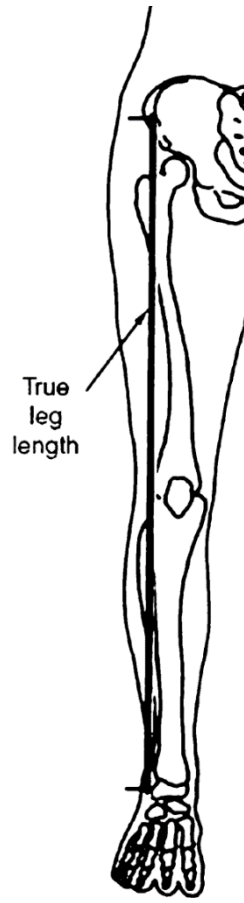
Araştırmamıza katılan futbolcuların bacak uzunluğu ve oturma yüksekliği ölçümleri esnek olmayan 7mm kalınlığında Aptamil marka mezura (Şekil 3.2.) kullanılarak yapılmıştır. Araştırmaya katılan futbolcuların Pik uzama hızı yaşlarının belirlenmesi vücut kütlesi, boy uzunluğu, bacak uzunluğu ve oturma yüksekliği dahil olmak üzere somatik değişkenlerden elde edilen değerlerle cinsiyete özgü (erkek) olgunluk tahmin denklemi (Denklik 3.2.2.1) kullanılarak belirlenmiştir ⁽¹⁸²⁾.



Şekil 3.2. Aptamil Marka Mezura

Denklik 3.2.2.1 Pik Uzama Hızı Yaşının Belirlenmesi =
-29.769 + 0.0003007 x (Bacak Uzunluğu x Oturma Yüksekliği) –
0.01177x (Yaş x Bacak Uzunluğu) + 0.01639 x (Yaş x Oturma yüksekliği) +
0.445 x (Bacak Uzunluğu/Boy Uzunluğu)

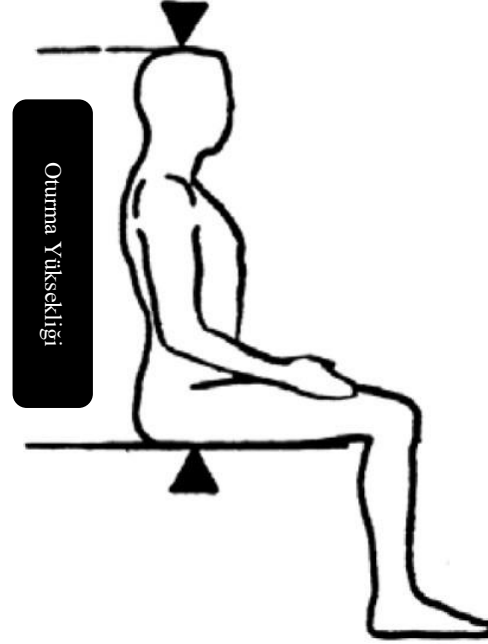
a) Bacak Uzunluğunun Belirlenmesi: Bacak uzunluğu ölçümlerinin tamamı futbolcuların anatomik pozisyondayken gerçekleştirilmiştir. Mezuranın “0” rakamının yer aldığı ucu Ön Superior İliak Omurganın en belirgin noktasına (ASIS) ve mezuranın diğer ucu Medial Malleolus’un tam orta noktasına denk gelen rakam dikkate alınmış ve bu iki nokta arasındaki mesafe bacak uzunluğu olarak belirlenmiştir (Şekil 3.3.). Ölçümler en az iki defa tekrar edilmiştir. Yapılan iki ölçümün aynı çıkması durumunda ölçülen değer kabul edilmiştir ancak ardarda yapılan ölçümlerin farklı çıkması durumunda iki ölçümün ortalaması hesaplanarak değerlendirmeye alınmıştır ⁽²³⁵⁾.



Şekil 3.3. Bacak uzunluğunun belirlenmesi ⁽²³⁵⁾

b) Oturma Yüksekliğinin Belirlenmesi: Ölçüm boyunca futbolcuların düz bir sehpa üzerine oturmaları ve oturdukları esnada olabildiğince derin bir nefes almaları istenmiş ve üst ekstremitelerinin dik pozisyonda olmaları direktifler verilerek korunmuştur. Oturma yüksekliği sehpa tabanı (“0” noktası) ile başın orta kısmındaki en yüksek nokta arasındaki mesafe olarak ölçülmüştür ⁽²³⁶⁾. Ölçümler en az iki defa tekrar edilmiştir.

Yapılan iki ölçümün aynı çıkması durumunda ölçülen değer kabul edilmiştir ancak ardada yapılan ölçümlerin farklı çıkması durumunda iki ölçümün ortalaması hesaplanarak değerlendirmeye alınmıştır (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Oturma yüksekliğinin belirlenmesi ⁽²³⁶⁾

3.2.3. Tekrarlı Sprint Yeteneği Testi (10 × 20 metre)

20 metre tekrarlı sprint yeteneği testi kapalı spor salonu sahasında 0-20m metrelik düz bir parkurda, maksimal hızda 10 kez tekrarlanarak yapılan sprint koşularını ve sprintler arası 20 saniye dinlenme sürelerini içeren bir test protokolüdür (Şekil 3.6.). Sporculardan 20 metrelik parkurun başlangıç çizgisinden (0) bitiş çizgisine (20m) kadar maksimal hızlarına ulaşarak sprint koşusu yapmaları ve bir sonraki sprinte başlamadan iki saniye öncesinde başlangıç pozisyonunda hazır bulunmaları için fotoselli kronometrenin (Şekil 3.5) (Witty timer, Microgate, Bolzano, Italy) 60 cm'lik mesafenin arkasında beklemeleri istenilmiş ve ardından her bir sprint için "hazır, hazır, çık" talimatı verilmiştir.

Sporcuların tekrarlı sprint performansları 20 metrelik parkurun başlangıç (0) ve bitiş noktasına (20m) yerleştirilen fotoselli kronometreler kullanılarak, fotosellere bağlı bir elektronik cihaz tarafından anlık milisaniye cinsinden veri kaydı alınmıştır. Çocuklar

tarafından tamamlanan her bir sprint sonrası tekrar başlangıç noktasına dönüş süreleri (20 saniye) kronometre ile ölçülerek kontrol altında tutulmuştur. Test sonuçlarından elde edilen veriler aracılığıyla performans düşüş yüzdesi hesaplanmıştır (Denklik 3.2.3.1.)⁽²³⁷⁾. (EK-4).



Şekil 3.5 Fotoselli Kronometre (Witty timer, Microgate, Bolzano, Italy)

Denklik 3.2.3.1

Performans Düşüş Yüzdesi (%) =

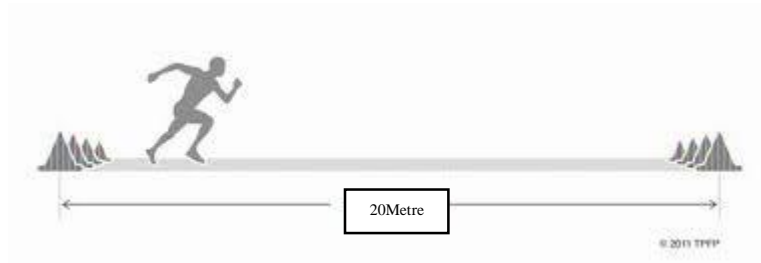
$$= (100 \times (\text{toplam sprint zamanı}/\text{ideal sprint zamanı})) - 100$$

İdeal Sprint Zamanı = Toplam Sprint Sayısı x En İyi Sprint Zamanı

En iyi sprint zamanı: testte gerçekleşen en iyi sprint süresi değerlendirilmeye alınacaktır.

Toplam sprint zamanı: Bütün sprintlerin toplam süresi.

Ortalama sprint zamanı: 10 Sprintin ortalaması



Şekil 3.6. 10x20m Tekrarlı Sprint Yeteneği Testi⁽²³⁷⁾

3.2.4. Kardiyopulmoner Egzersiz Testleri

Sporcuların maksimal oksijen alımı (VO_{2max}) ve koşu ekonomisi değerleri koşu bandında (h/p/CosmosQuasarmed, H-P-Cosmos Sports &Medical. GmbH, Nussdorf-Traunstein, Germany) (şekil 3.7.), solunum havasına ait verilerin egzersiz sırasında değişimini irdeleyen kardiyopulmoner egzersiz test bataryası kullanılarak tespit edilmiştir. Test sırasında solunum havasında meydana gelen değişimler Cosmed Quark PFT-Ergo gaz analizörü (Quark-Omnia; Cosmed, Rome, Italy) ile her bir soluk için (breath-by-breath) ayrı ayrı ölçülmüştür. Her testten önce standardizasyonu sağlayabilmek için akış sensörü ve gaz analizör bileşenleri üretici firmanın önerdiği şekilde kalibre edilmiştir. Test süresince kalp atım hızları telemetrik kalp hızı monitörü (Garmin) aracılığı ile elde edilmiştir.

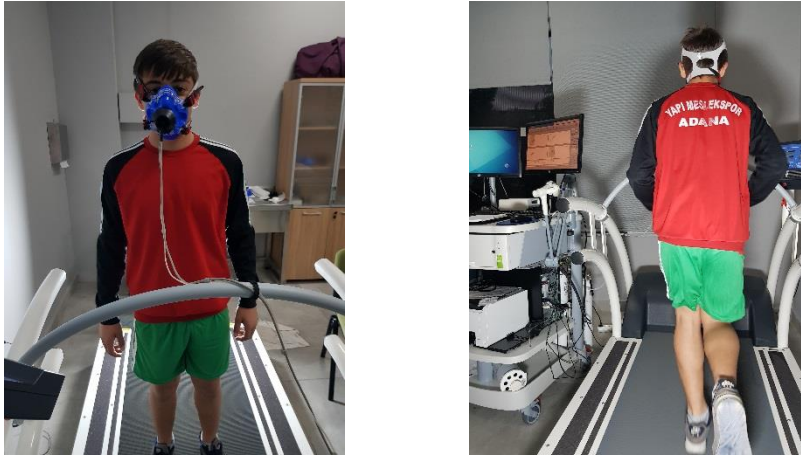


şekil 3.7. Elektrik motorlu koşu bandı ve gaz analizörü (Quark-Omnia; Cosmed, Rome, Italy)

3.2.4.1 Maksimal Kademeli Artan Yükl Testi

Futbolculara VO_{2max} ölçümlerinden önce ısınma protokolü olarak, 5 dakikalık düşük tempolu koşu egzersizi ve sonrasında ağırlıklı olarak alt ekstremite kas gruplarına yönelik 5 dakika süreyle esneme egzersizleri yaptırılmıştır. Sporcuların VO_{2max} değerlerini belirlemek amacıyla şiddeti kademeli olarak artan ve tükenene kadar devam eden egzersiz test protokolü uygulanmıştır. % 1 eğimde 6 km/saat'lik koşu hızı ile teste başlanılmış ve koşu hızı dakikada 1 km/saat arttırılarak ve sporcuların tükeninceye kadar egzersize devam etmeleri sağlanmışır (şekil 3.8.). Sporcuların test sırasında maksimal kalp atım hızına ulaşmaları, ekspire edilen CO_2 ile alınan O_2 'nin anlık oranı olarak ifade edilen solunumsal eşitlik değerinin 1.15 veya daha yüksek değerlere çıkması ve egzersiz

yoğunluğu artmasına karşın oksijen alımının ≤ 150 ml/dakikalık bir değerde kalması çalışmada sporcuların maksimal kapasitelerinde egzersiz yaptıklarının kriteri olarak kabul edilmiştir. Test sonrası veri değerlendirmesinde onar saniyelik zaman aralıkları ile ortalama değerler alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Yukarıda bahsi geçen kriterlerden en az iki tanesinin aynı anda gerçekleştiği en yüksek 10 saniyelik oksijen alım değeri, VO_{2max} (ml/kg/dak) olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.8. Maksimal kademeli artan yük testi

3.2.4.2. Submaksimal Sabit Yük Koşu Ekonomisi Testi

Futbolculara test öncesi ısınma protokolü olarak, 5 dakikalık düşük tempolu koşu egzersizi ve sonrasında ağırlıklı olarak alt ekstremitelere yönelik 5 dakika süreyle esneme egzersizleri yaptırılmıştır. Koşu ekonomilerinin belirlenmesi için altı dakika süre ile 8 km/saat (8km VO_{2KE}), %1 eğimde 8 km/saat (8km %1eğim VO_{2KE}) ve 9 km/saat (9km VO_{2KE}) sabit hızlarda üç farklı test protokolü uygulanmış ve kararlı durumdaki oksijen alım değerleri belirlenmiştir (Şekil 3.9.). Üç sabit hızdaki koşu testi sırasında oksijen alım değerlerinden VO_{2max} 'ın fraksiyonel kullanımı (% VO_{2max}) hesaplanmıştır. Koşu ekonomisi ölçümünün ilk protokolü olan 8km VO_{2KE} testi ile başlanmış, en az 30 dakika sonra 9km VO_{2KE} test protokolü uygulanmıştır. Daha sonraki oturumda, ilk olarak 8km %1eğim VO_{2KE} test protokolü ile başlanılmış ve en az 30 dakika dinlenme sonrasında maksimal kademeli artan yük test protokolü uygulanmıştır. Test süresi boyunca koşu hızı sabit tutulup 6 dakika bitiminde test sonlandırılmıştır. Verilerin analizi bir dakikalık zaman aralıkları ile ortalama değerler alınarak elde edilmiştir. Üç

ayrı test protokolünde de verilerin 6. dakikasındaki bir dakikalık ortalama oksijen alım değerleri dikkate alınmıştır.



Şekil 3.9. Submaksimal sabit yük koşu testi

3.2.5. Tekrarlı Sıçrama Testleri Esnasında Dikey Bacak Sertliğinin Değerlendirilmesi

Dikey bacak sertliğinin değerlendirilmesi için 5 tekrarlı maksimal ve 20 tekrarlı submaksimal dikey sıçrama testi uygulanmıştır. Testler esnasında sporcuların temasa duyarlı hassas sensörler içeren sıçrama matı (Şekil 3.10.) (Witty timer, Microgate, Bolzano, Italy) üzerinde yaptıkları tekrarlı dikey sıçramaların havada kalış (Şekil 3.10) ve yerle temas süreleri (Şekil 3.10.) kayıt altına alınmıştır. Elde edilen değişkenler formülize edilerek bacak sertliği değerleri elde edilmiştir (Denklik 3.2.5.1) ^(15, 18, 20).

Denklik 3.2.5.1 Dikey Bacak Sertliği (DBS)

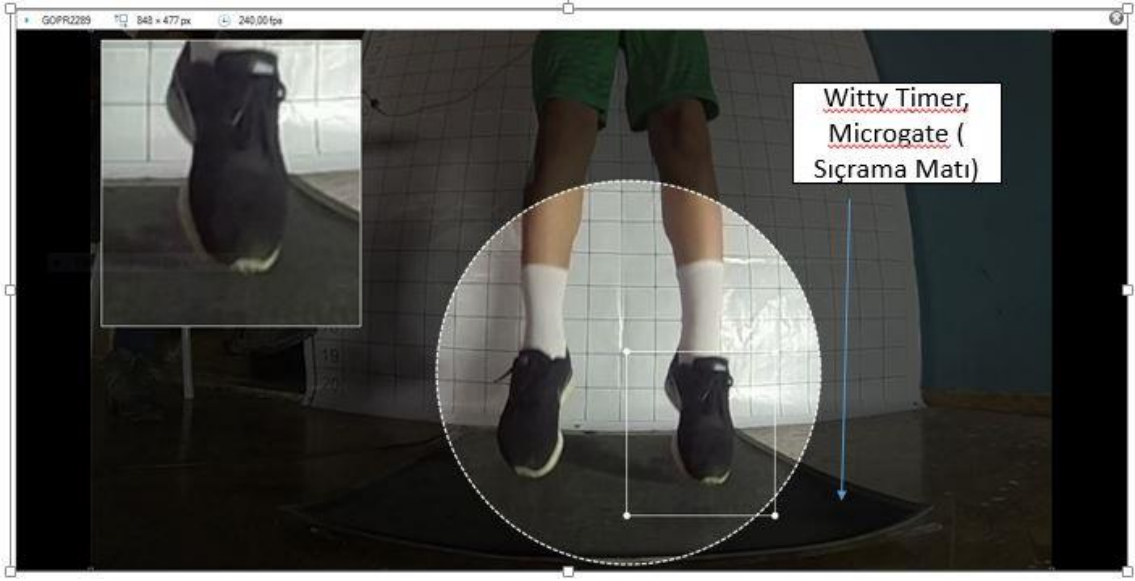
$$= [m \times \pi (HKS + YTS)] / YTS^2 \quad [(HKS + YTS / \pi) - (YTS / 4)]$$

a) Havada Kalış Süresi (HKS): Sıçrama esnasında ayakucunun zeminden ayrılış anı (Şekil 3.10.) ve her iki ayakucundan herhangi birisinin zemine tekrar temas anı arasındaki zaman değerlendirmeye alınarak saniye cinsinden ölçülmüştür.

b) Yerle Temas Süresi (YTS): Sıçrama esnasında ayakucunun zemine temas ettiği (Şekil 3.10.) an kabul edilmiş ve zeminde kaldığı süre boyunca saniye cinsinden değerlendirmeye alınmıştır.

c) m: Vücut ağırlığı (kg)

d) π : Pi sayısı



Şekil 3.10. Ayağın yerden ayrılış ve yerle temas anındaki görüntü karesi.

3.2.6. 5 Tekrarlı Maksimal Dikey Sıçrama Testi

Sporculardan dikey olarak ardışık 5 maksimal sıçrama yapmaları (DBS_{maks}) ve yerde kalış sürelerini en aza indirmeleri istenilmiştir. Ardışık beş sıçramanın başlangıcındaki ilk sıçrama (1. Sıçrama) gerilme-kısalma döngüsü örüntüsüne uymadığı için analizlerden çıkarılmıştır. Geriye kalan dört sıçramanın her biri için havada kalış süresi ve zemin temas süresi analiz edilmiş ve ortalama değerleri bacak sertliği hesaplamaları için kullanılmıştır.

3.2.7. Reaktif Kuvvet İndeksinin Belirlenmesi

Reaktif kuvvet indeksi (RSI), katılımcıların temasa duyarlı hassas sensörler içeren sıçrama matı (Witty timer, Microgate, Bolzano, Italy) (Şekil 3.11.) üzerinde yapılan 5 Tekrarlı Maksimal Dikey Sıçrama Testi sırasında belirlenmiştir. Test öncesinde ve sırasında, katılımcılara sıçrama yüksekliğini en üst düzeye çıkarmaları ve yerle temas süresini en aza indirmeleri talimatı verilmiştir. Her denemede ardışık beş sıçramanın başlangıcındaki ilk sıçrama (1. Sıçrama) gerilme-kısalma döngüsü örüntüsüne uymadığı için analizlerden çıkarılmıştır. Geriye kalan dört sıçramanın her biri için yerle temas süresi analiz edilmiş ve ortalama değerleri ele alınmıştır.

Bununla birlikte dikkate alınan dört sıçramadaki maksimal sıçrama yükseklik değeri reaktif kuvvet indeksi hesaplamaları için kullanılmıştır (Denklik 3.2.7.1) ⁽¹⁶⁴⁾.



Şekil 3.11. Temasa Duyarlı Hassas Sensörler İçeren Sıçrama Matı (Witty timer, Microgate, Bolzano, Italy)

Denklik 3.2.7.1 Reaktif Kuvvet İndeksi

$$= \text{SıçramaYüksekliği(mm)} / \text{YerleTemasSüresi(ms)}$$

3.2.8. 20 Tekrarlı Submaksimal Dikey Sıçrama Testi

Futbolculardan saniyede 2.5Hz frekans uyarı veren dijital metronom (TempoPerfect Metronome, NCH Software) aracılığıyla ardışık 20 sıçrama (DBS_{submaks}) yapmaları istenilmiştir. Futbolcuların sıçrama frekansını kendilerinin tercih etmelerine izin vermek yerine dijital metronom kullanılması alt ekstremitede hareket koordinasyonunun daha tutarlı ve yay-kütle modelinin hareket paternine uygun olması sağlanmıştır. 20 tekrarlı dikey sıçrama testinde gerçekleşen ilk beş ve son beş sıçrama değerlendirilmeye alınmamış olup geriye kalan 10 sıçrama içerisindeki her bir yerle temas ve havada kalış sürelerinin (saniye cinsinden) ortalama değerleri hesaplanarak değerlendirmeye alınmıştır.

3.2.9. Submaksimal Sabit Yük Koşu Ekonomisi Testleri Esnasında Adım Frekansı, Adım Uzunluğu ve Adım Süresinin Belirlenmesi

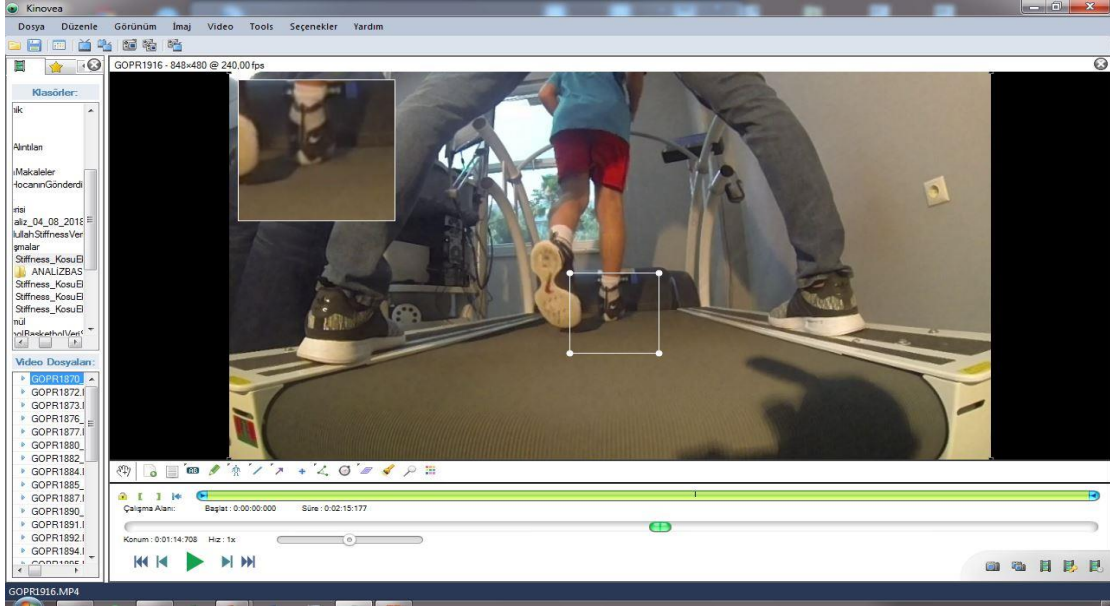
Koşu ekonomisi submaksimal sabit yük test protokolleri esnasında koşu bandının 1 metre arkasına yerleştirilen (ön düzleme dik), saniyede 240 kare görüntü (240 frame/second) kayıt yapan (Go-Pro HERO3 Black Edition) kamera ile kayıt altına alınmıştır (Şekil 3.13). Her bir sabit hız protokolü (8km/saat, %1 eğim 8km/saat ve 9km/saat) boyunca kamera tarafından alınan görüntü kayıtlarının beşinci ve altıncı dakika arasındaki bir dakikalık süre değerlendirilmeye alınmıştır. Bir dakikalık görüntü kayıtları video analiz programı (Kinovea Open Source Software–Version 0.8.15) aracılığıyla futbolcuların sağ ayakları dikkate alınarak atılan her bir adımdaki yerle temas ve havada kalış süreleri (saniye cinsinden) analiz edilmiş ve verilerin ortalamaları değerlendirilmeye alınmıştır. Görüntülerden sağlanan bu değişkenlerden futbolcuların adım süresi, adım uzunluğu ve adım frekans değerleri elde edilmiştir.

a) Adım Süresi = Yerle Temas Süresi (YTS) + Havada Kalış Süresi (HKS)

b) Adım Frekansı = $1 \times \text{Adım Süresi}^{-1}$

c) Adım Uzunluğu = Adım Frekansı x Koşu Bandı Hızı (metre/saniye) $^{-1}$

d) **Yerle Temas Süresi (saniye):** Futbolcuların koşu sırasında adımlarının koşu bandının zeminine ilk temas ettiği (topuk) andaki görüntü kare süresi ile yine aynı ayağın koşu bandı zemininden ayrılış (ayakucu) anındaki kare süresi arasında geçen süre olarak değerlendirilmiştir. Tüm futbolcuların sadece sağ adımları dikkate alınarak analiz edilmiştir (Şekil 3.12.).

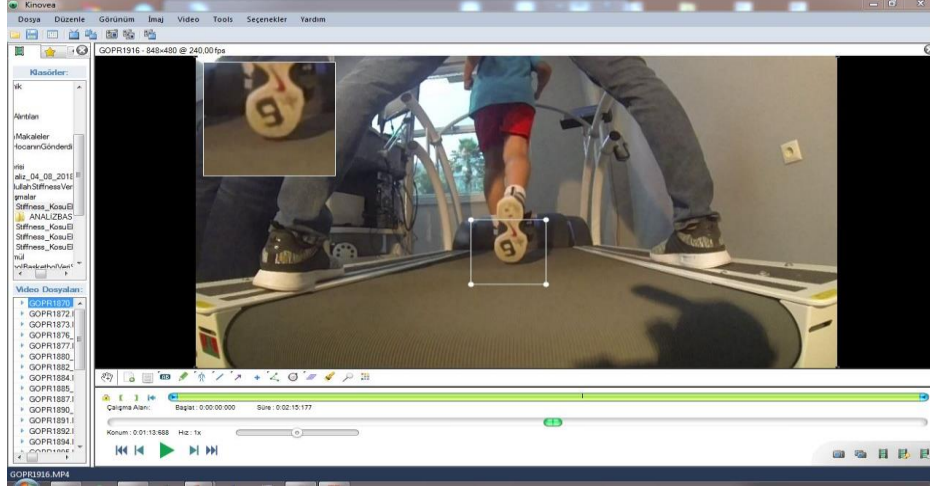


Şekil 3.12. Yerle temas süresinin başlangıç anı



Şekil 3.13. Go-pro hero3 black edition

- e) **Havada kalış süresi (saniye):** Futbolcuların koşu esnasında adımlarının koşu bandı zemininden ayrıldığı (ayakucu) andaki görüntü karesi ile başlayıp yine aynı ayağın tekrar koşu bandına temas ettiği (topuk) andaki görüntü karesine kadar olan süre olarak hesaplanmıştır. Tüm futbolcuların sadece sağ adımları dikkate alınarak analiz edilmiştir (Şekil 3.14.).



Şekil 3.14. Havada kalış süresinin başlangıç anı

3.2.10. Submaksimal Sabit Yük Koşu Ekonomisi Testleri Esnasında Bacak Sertliğinin Belirlenmesi

Futbolcuların bacak sertlikleri submaksimal sabit yük test protokolleri (8km/saat, %1 eğim 8km/saat ve 9 km/saat) esnasında belirlenmiştir. Test protokolleri sırasında daha önceden edinilen (koşu bandı hızı, yerle temas süresi ve havada kalış süresi) veriler aracılığıyla matematiksel hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan matematiksel hesaplamalarla sırasıyla Zemin Tepki Kuvveti (F_{max} (kN)) (Denklik 3.2.10.1), Vücut Kütle Merkezinin Dikey Eksendeki Yer Değişimi Farkı ($\Delta\hat{y}_c$ (m)) (Denklik 3.2.10.2), Bacak Uzunluğundaki Değişim Farkı (ΔL (m)) (Denklik 3.2.10.3), Dikey Sertlik ($kN \cdot m^{-1}$) (Denklik 3.2.10.4) ve Bacak Sertliği ($kN \cdot m^{-1}$) (Denklik 3.2.10.5) değerleri bulunmuştur⁽²³⁸⁾.

Denklik 3.2.10.1 Zemin Tepki Kuvveti ($F_{max}(kN)$)

$$Zemin\ Tepki\ Kuvveti(F_{max}) = mg \frac{\pi}{2} \left(\frac{HKS}{YTS} + 1 \right)$$

m: kütle (kg)

g: Yer çekimi kuvveti

π : Pi sayısı

HKS: Havada kalış süresi(sn)

YTS: Yerle temas süresi(sn)

Denklik 3.2.10.2

Vücut Kütle Merkezinin Dikey Eksendeki Yer Değişimi Farkı ($\Delta\hat{y}_c$ (m))

$$\Delta\hat{y}_c(m) = \frac{F_{\max}YTS^2}{m\pi^2} + g \frac{YTS^2}{8}$$

Denklik 3.2.10.3 Bacak Uzunluğundaki Değişim Farkı (ΔL (m))

$$\Delta L(m) = L - \sqrt{L^2 - \left(\frac{v_{YTS}}{2}\right)^2} + \Delta\hat{y}_c$$

L: Bacak uzunluğu(m)

v: koşu bandı hızı (metre/saniye)

Denklik 3.2.10.4 Dikey Sertlik (kN/m)

$$\text{Dikey Sertlik (kN. m}^{-1}\text{)} = F_{\max} * \Delta\hat{y}_c^{-1}$$

Denklik 3.2.10.5 Bacak Sertliği (BS) (kN/m)

$$\text{Bacak Sertliği (kN. m}^{-1}\text{)} = F_{\max} * \Delta L^{-1}$$

3.2.11. Diz Eklemine Hareket Açıklığının Değerlendirilmesi

Beş tekrarlı maksimum ve 20 tekrarlı submaksimal dikey sıçrama testleri esnasında eklem hareket açıklığının ölçümleri MegaWin ME 3000 marka EMG cihazı ile bağlantılı Biometriks marka gonyometre kullanılarak elde edilmiştir. Her ölçüm öncesi, 90°'lik bir köşe referans alınarak 0 ve 90° kalibrasyonları yapılmış ve bu işlem sonrasında da belirli açılarda ölçümün tekrarlanması ile kalibrasyon geçerliliği değerlendirilmiştir. Diz eklemine, aktif eklem açıklığının tespiti sırasında gonyometrenin bir ucu caputis fibulaya, diğer ucu ise femurun lateral epikondülü üzerine, gonyometre uzantıları doğrusal olacak şekilde yerleştirilmiştir.

3.3 İstatistiksel Analiz

Çalışmada sunulan verilerin tümü ortalama \pm standart sapma olarak verildi, $p < 0.05$ ile altındaki değerler istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testi ile incelendi. Normal dağılım gösteren

veriler Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) ile test edildi. Verilerin homojen dağılım gösterip göstermediği Levene istatistiği ile değerlendirildi. Varyans analizi testi sonucunda anlamlı farklılık gösteren gruplardan, farkın hangi gruplardan kaynaklandığını tespit etmek için Post-Hoc testlerinden Tukey HSD testi ve varyansın homojen olmadığı durumda Games – Howell testi kullanıldı. Normal dağılım göstermeyen veriler ise Kruskall Wallis testi ile analiz edildi, anlamlı farklılık gösteren verilerde farkın hangi gruplardan kaynaklandığını tespit etmek için Mann-Whitney U testi kullanıldı. İki farklı değişken arasındaki ilişki Pearson korelasyon analizi ile, normal dağılım göstermeyen veriler Spearman's sıra korelasyon analizi yapılarak değerlendirildi ve lineer regresyon analizleri yapıldı. Korelasyon katsayıları; ($r > 0.9$) mükemmel, ($r = 0.7-0.9$) çok yüksek, ($r = 0.5 - 0.7$) yüksek, ($r = 0.3-0.5$) orta, ($r = 0.1-0.3$) zayıf ve ($r < 0.1$) çok zayıf olarak yorumlandı ⁽²³⁹⁾. İstatistik hesaplamalarının tümü Windows için yazılmış olan SPSS 21 (IBM SPSS Statistics 21 Inc. Chicago, IL) paket programı kullanılarak yapıldı. Lineer regresyon analizleri, Sigma Plot programı (Sigma Plot 12.0, Systat Software Inc., Chicago, ABD) kullanılarak gerçekleştirildi.

4. BULGULAR

Futbolcu çocukların olgunluk düzeyleri, pik uzama hızlarına göre dolaylı olarak değerlendirildi (Çizelge 4.1.). Yapılan hesaplamalar sonucunda U11, U12 ve U13 gruplarındaki bütün çocukların pik uzama hızı dönemine ulaşmadıkları, dolayısıyla henüz olgunlaşmadıkları görülmüştür. U14 grubunda ise 3 çocuğun pik uzama hızlarına (4 ± 1 ay) ulaşmadığı, 7 çocuğun pik uzama hızlarının ($+6 \pm 3$ ay) ilerisinde olduğu tespit edilmiştir. Gruplar arası pik uzama hızlarından yaş farkları karşılaştırıldığında, U11 grubunun diğer gruplardan daha yüksek olduğu, U12 ve U13 gruplarının da U14 grubuna göre istatistiksel olarak yüksek olduğu bulunmuştur ($P < 0.01$). Futbolcu çocukların boy ve vücut ağırlıkları karşılaştırıldığında, U11 grubunun U12 ve U14 gruplarına göre düşük olduğu, U12 ve U13 gruplarının da U14 grubuna göre istatistiksel olarak düşük olduğu görülmüştür ($P < 0.05$). U14 grubunun bacak boyunun U11 ve U12 gruplarına göre daha uzun olduğu, U13 grubunun da U11 grubundan daha uzun olduğu tespit edilmiştir ($P < 0.05$). U14 grubunun spor yaşlarının diğer gruplara göre anlamlı olarak yüksek olduğu tespit edilmiştir ($P < 0.05$).

Çizelge 4.1. Çalışmaya katılan sporcuların demografik özellikleri (Ortalama \pm standart sapma)

	U11	U12	U13	U14
	n= 10	n= 10	n= 10	n= 10
Yaş (yıl)	10,6 \pm 0,3	11,8 \pm 0,1	12,8 \pm 0,2	13,8 \pm 0,3
Pik Uzama				
Hızından Yaş Farkı (yıl)	-2,9 \pm 0,4	-1,7 \pm 0,3*.&	-1,5 \pm 0,3*.&	0,2 \pm 0,6*
Boy (cm)	143 \pm 0,04	151 \pm 0,04*.&	150 \pm 0,05&	164 \pm 0,07*
Bacak Boyu (cm)	0,67 \pm 0,02&	0,71 \pm 0,03&	0,72 \pm 0,03*	0,75 \pm 0,04
Vücut Ağırlığı(kg)	32,4 \pm 3,1	42,7 \pm 7,4*.&	39,2 \pm 3,7&	54,5 \pm 9,9*
Spor Yaşı (yıl)	2,3 \pm 1,2&	1,9 \pm 0,8&	2,7 \pm 0,9&	2,7 \pm 0,1

* U11'e göre istatistiksel anlamlı farklılığı ifade eder ($p < 0.05$). & U14' göre istatistiksel anlamlılığı ifade eder ($p < 0.05$).

4.1. Bacak Sertliği ile Koşu Ekonomisi İlişkisi

Sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen koşu ekonomisi değerleri ile bacak

sertliği arasındaki korelasyon katsayı değerleri Çizelge 4.2.'de sunulmuştur.

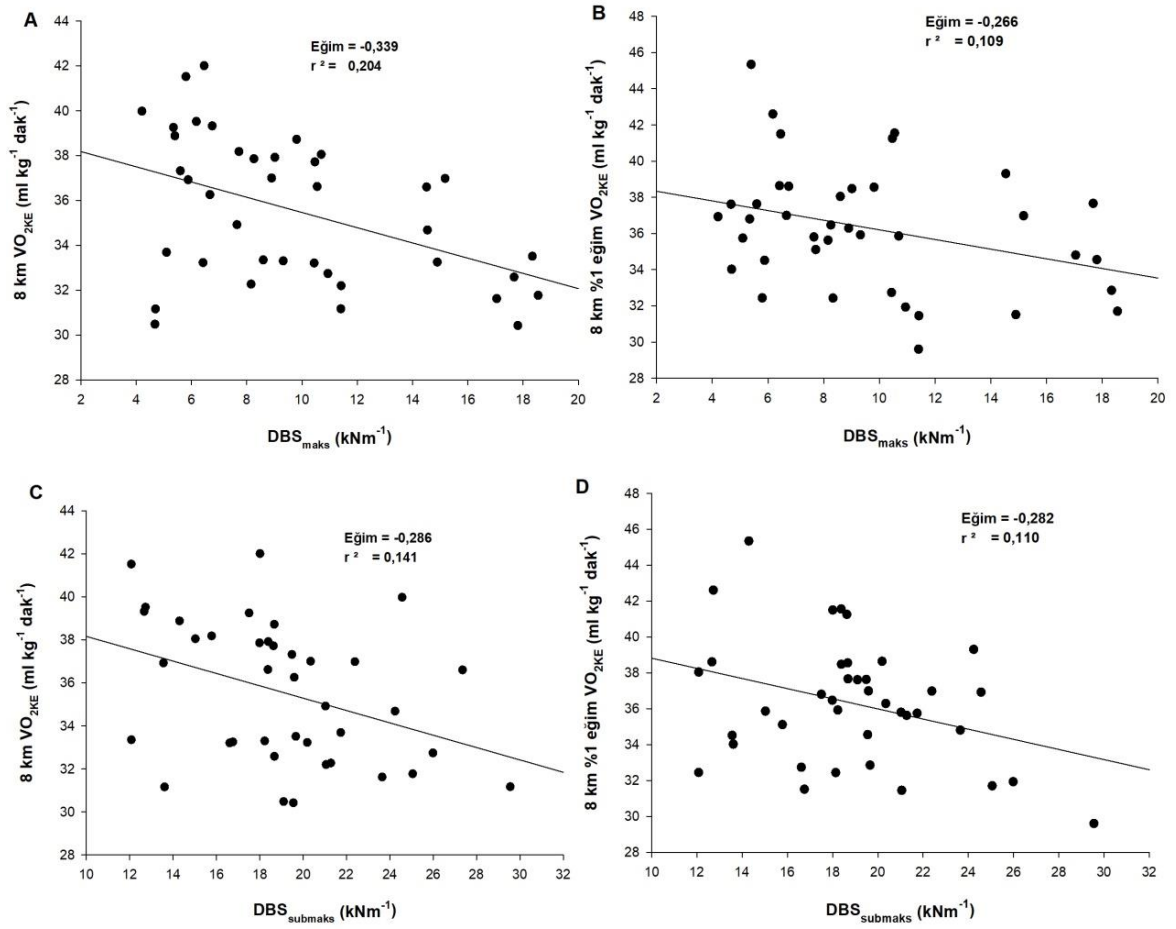
Yapılan korelasyon analizleri sonucunda, 5 tekrarlı maksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen dikey bacak sertliği (DBS_{maks}) değerleri ile 8 km/saat ve %1 eğimde 8 km/saat sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen $ml\ kg^{-1}\ dak^{-1}$ (VO_{2KE}) ($p < 0.01$) ve $ml\ kg^{-0.75}\ dak^{-1}$ (VO_{2AKE}) ($p < 0.05$) cinsinden oksijen alım değerleri arasında orta düzeyde negatif yönde anlamlı bir ilişki bulundu (Şekil 4.1. A ve B). Benzer şekilde 20 tekrarlı submaksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen dikey bacak sertliği ($DBS_{submaks}$) değerleri ile 8 km/saat ve %1 eğimde 8 km/saat sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen $ml\ kg^{-1}\ dak^{-1}$ ($p < 0.01$) ve $ml\ kg^{-0.75}\ dak^{-1}$ ($p < 0.05$) cinsinden oksijen alım değerleri arasında orta düzeyde negatif korelasyon bulundu (Şekil 4.1. C ve D). Bacak sertliği değerleri ile 9 km/saat sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen oksijen alım değerleri arasında anlamlı bir ilişki bulunamadı ($p > 0.05$) (Çizelge 4.2.).

Sabit hızda koşu testlerinde bacağın dikey yer değiştirmesi sırasında ve ileri hareketi sırasında sertlik özellikleri iki farklı formülle değerlendirildi. Literatür terminolojisinden yola çıkarak koşu sırasında bacağın ileri yer değiştirmesinde hesaplanan sertlik, bacak sertliği (BS) olarak tanımlandı. Bacağın dikey yer değiştirmesinde hesaplanan sertlik özelliği ise dikey bacak sertliği (DBS) olarak tanımlandı. Yapılan korelasyon analizleri sonucunda, 8 km/saat sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen bacak sertliği (BS_{8km}) ve dikey bacak sertliği (DBS_{8km}) değerleri ile 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat koşu testlerinde ölçülen $ml\ kg^{-1}\ dak^{-1}$ (VO_{2KE}) ve $ml\ kg^{-0.75}\ dak^{-1}$ (VO_{2AKE}) cinsinden oksijen alım değerleri arasında orta düzeyde negatif yönde anlamlı bir ilişki bulundu ($p < 0.01$) (Çizelge 4.2; Şekil 4.2. A) %1 eğimde 8 km/saat sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen bacak sertliği ($BS_{8km\%1eğim}$) ve dikey bacak sertliği ($DBS_{8km\%1eğim}$) değerleri ile üç koşu testinde de ölçülen $ml\ kg^{-1}\ dak^{-1}$ ve $ml\ kg^{-0.75}\ dak^{-1}$ cinsinden oksijen alım değerleri arasında orta düzeyde negatif korelasyon bulundu ($p < 0.01$) (Şekil 4.2. B). Benzer şekilde 9 km/saat koşu testi sırasında ölçülen bacak sertliği (BS_{9km}) ve dikey bacak sertliği (DBS_{9km}) değerleri ile üç sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen koşu ekonomisi değerleri arasında orta düzeyde negatif korelasyon bulundu ($p < 0.05$) (Şekil 4.2. C). Reaktif kuvvet indeksi ile koşu ekonomisi verileri arasında anlamlı ilişki görülmedi ($p > 0.05$).

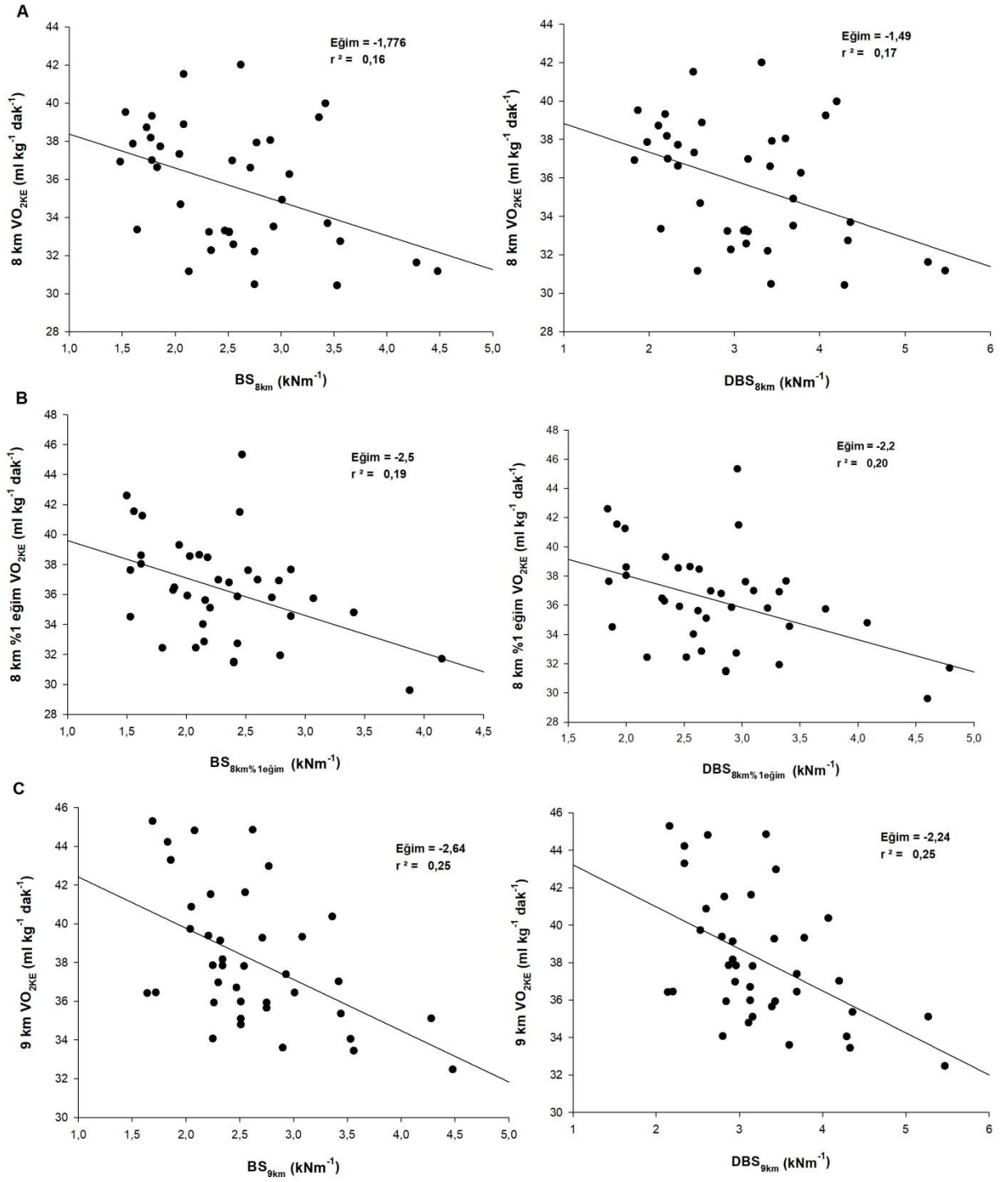
Çizelge 4.2. Koşu ekonomisi ve bacak sertlik özellikleri arasındaki korelasyon katsayısı değerleri (r)

n= 40	8km	8km	8km	8km	9km	9km
	VO _{2KE}	VO _{2AKE}	%1eğim VO _{2KE}	%1eğim VO _{2AKE}	VO _{2KE}	VO _{2AKE}
DBS _{maks}	-0,470**	-0,471**	-0,330	-0,325*	-0,215	-0,275
DBS _{submaks}	-0,416**	-0,414**	-0,332*	-0,322*	-0,215	-0,273
RSI	-0,260	-0,280	0,072	0,081	0,067	0,068
BS _{8km}	-0,411**	-0,415**	-0,438**	-0,440**	-0,457**	-0,457**
DBS _{8km}	-0,418**	-0,423**	-0,422**	-0,425**	-0,447**	-0,446**
BS _{8km%} eğim	-0,455**	-0,460**	-0,446**	-0,454**	-0,455**	-0,455**
DBS _{8km%} eğim	-0,452**	-0,460**	-0,447**	-0,455**	-0,458**	-0,457**
BS _{9km}	-0,370*	-0,371*	-0,488**	-0,496**	-0,503**	-0,503**
DBS _{9km}	-0,370*	-0,372*	-0,487**	-0,496**	-0,504**	-0,504**

** p < 0.01, * p < 0.05 istatistiksel olarak anlamlılığı ifade etmektedir. DBS_{maks}: maksimal dikey sıçrama testi dikey bacak sertliği, DBS_{submaks}: submaksimal dikey sıçrama testi dikey bacak sertliği, RSI: Reaktif kuvvet indeksi. 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen; BS: bacak sertliği, DBS: dikey bacak sertliği, VO_{2KE}: ml kg⁻¹ dak⁻¹ cinsinden oksijen alım değerleri, VO_{2AKE}: ml kg^{-0.75} dak⁻¹ cinsinden oksijen alım değerleri. KE: koşu ekonomisi.



Şekil 4.1. **A.** 8 km/saat sabit hızda koşu testi oksijen alım (VO_{2KE}) değeri ile maksimal dikey sıçrama testi bacak sertliği (DBS_{maks}) değerleri arasındaki ilişki (p<0.01). **B.** 8 km/saat %1 eğim sabit hızda koşu testi oksijen alım (VO_{2KE}) değeri ile maksimal dikey sıçrama testi bacak sertliği (DBS_{maks}) değerleri arasındaki ilişki (p>0.05). **C.** 8 km/saat sabit hızda koşu testi oksijen alım (VO_{2KE}) değeri ile submaksimal dikey sıçrama testi bacak sertliği (DBS_{submaks}) değerleri arasındaki ilişki (p<0.01). **D.** 8 km/saat %1 eğim sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen oksijen alım (VO_{2KE}) değeri ile submaksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen bacak sertliği (DBS_{submaks}) değerleri arasındaki ilişki (p<0.05).



Şekil 4.2. A. 8 km/saat sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen oksijen alım (VO_{2KE}) değeri ile bacak sertliği (BS_{8km}) ve dikey bacak sertliği (DBS_{8km}) değerleri arasındaki ilişki ($p < 0.01$). B. 8 km/saat %1 eğim sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen oksijen alım (VO_{2KE}) değeri ile bacak sertliği ($BS_{8km\%1eğim}$) ve dikey bacak sertliği ($DBS_{8km\%1eğim}$) değerleri arasındaki ilişki ($p < 0.01$). C. 9 km/saat sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen oksijen alım (VO_{2KE}) değeri ile bacak sertliği (BS_{9km}) ve dikey bacak sertliği (DBS_{9km}) değerleri arasındaki ilişki ($p < 0.01$).

4.2. Dikey Sıçrama Testi Bacak Sertliği ile Diz Eklem Açısı İlişkisi

5 tekrarlı maksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen diz eklem açısı değerleri ile dikey bacak sertliği (DBS_{maks}) değerleri arasında orta düzeyde negatif yönde korelasyon bulundu ($r = -0,442$; $p < 0.01$). Benzer şekilde 20 tekrarlı submaksimal dikey sıçrama testi sırasında diz eklem açısı değerleri ile dikey bacak sertliği ($DBS_{submaks}$) değerleri arasında orta düzeyde negatif korelasyon olduğu görüldü ($r = -0,407$; $p < 0.01$).

4.3. Bacak Sertliği ile Tekrarlı Sprint Performansı İlişkisi

Sabit hızda koşu testleri ve dikey sıçrama testlerinde ölçülen sertlik özellikleri ile tekrarlı sprint testi değerleri arasındaki korelasyon katsayı değerleri Çizelge 4.3'de sunulmuştur. Maksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen dikey bacak sertliği değerleri ile tekrarlı sprint testi sırasında ölçülen en iyi sprint zamanı (Şekil 4.3.) ($p < 0.01$) ve ortalama sprint zamanı ($p < 0.01$) arasında anlamlı olarak orta düzeyde negatif korelasyon bulundu (Şekil 4.4.). Maksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen reaktif kuvvet indeksi (mm/ms) ile en iyi sprint zamanı ve ortalama sprint zamanı arasında çok yüksek düzeyde negatif yönde korelasyon bulundu ($p < 0.01$). Submaksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen bacak sertliği değerleri ile ortalama sprint zamanı ($p < 0.05$) arasında orta düzeyde negatif korelasyon bulunurken, en iyi sprint zamanı ile arasında anlamlı bir ilişki bulunamadı ($p > 0.05$). Sıçrama testleri dikey bacak sertliği değerleri ile tekrarlı sprint testi sonuçlarından hesaplanan performans düşüş yüzdesi değerleri arasında anlamlı bir ilişki bulunamadı ($p > 0.05$).

8 km/saat sabit hızda koşu testi bacak sertliği ve dikey bacak sertliği değerleri ile ortalama sprint zamanı ve performans düşüş yüzdesi değerleri arasında negatif ilişki olduğu ($p < 0.05$), en iyi sprint zamanı ile ise arasında anlamlı bir ilişki olmadığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$). %1 eğimde 8 km/saat koşu testi bacak sertliği ve dikey bacak sertliği değerleri ile performans düşüş yüzdesi arasında negatif korelasyon olduğu ($p < 0.05$), en iyi sprint ve ortalama sprint zamanı ile aralarında ilişki olmadığı görüldü ($p > 0.05$). 9 km/saat koşu testi bacak sertlik özellikleri ile tekrarlı sprint değişkenleri arasında anlamlı bir ilişki bulunamadı ($p > 0.05$).

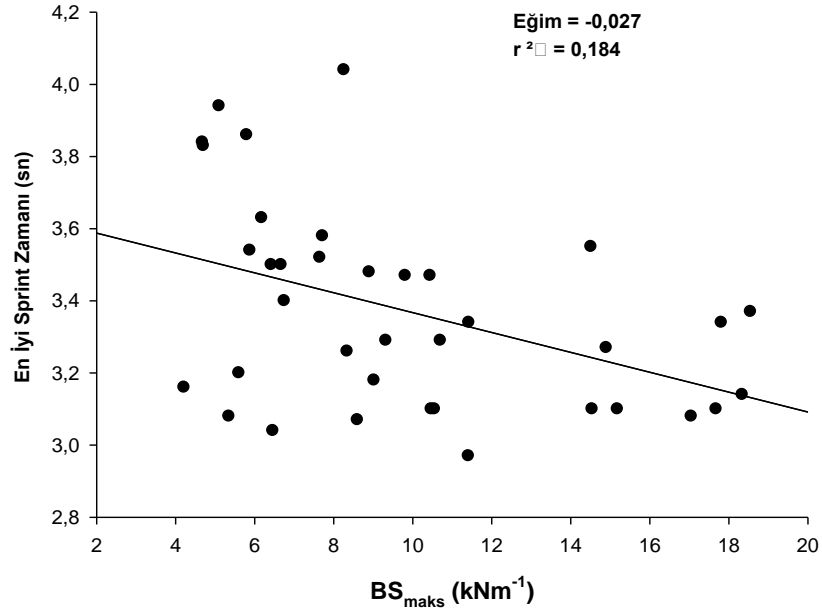
Maksimal dikey sıçrama yüksekliği ile hem koşu hem de sıçrama testleri sırasında ölçülen bacak sertlik özellikleri arasında pozitif korelasyon tespit edildi ($p < 0.05$)

(Çizelge 4.2).

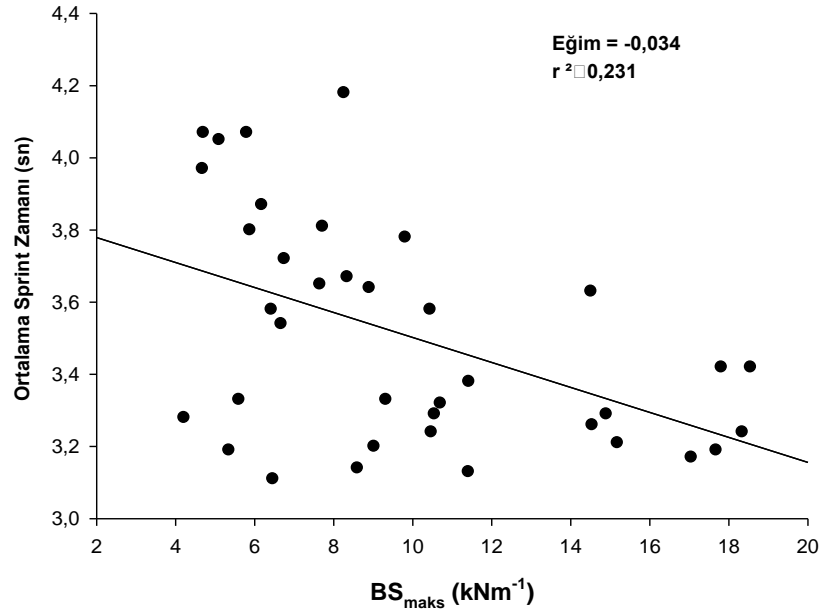
Çizelge 4.3. Tekrarlı sprint yeteneği ve bacak sertlik özellikleri arasındaki korelasyon katsayısı değerleri (r)

n= 40	Maksimal dikey sıçrama yüksekliği	En iyi sprint zamanı	Ortalama sprint zamanı	Performans düşüş yüzdesi
DBS _{maks}	0,343*	-0,429**	-0,464**	-0,288
DBS _{submaks}	0,572**	-0,287	-0,346*	-0,255
RSI	0,512**	-0,532**	-0,541**	-0,165
BS _{8km}	0,447**	-0,294	-0,398*	-0,435**
DBS _{8km}	0,435**	-0,288	-0,385*	-0,410*
BS _{8km%1eğim}	0,326*	-0,097	-0,206	-0,401*
DBS _{8km%1eğim}	0,327*	-0,090	-0,200	-0,402*
BS _{9km}	0,366*	-0,173	-0,251	-0,313
DBS _{9km}	0,361*	-0,160	-0,239	-0,315

** p < 0.01, * p < 0.05 istatistiksel olarak anlamlılığı ifade etmektedir. DBS_{maks}: maksimal dikey sıçrama testi dikey bacak sertliği, DBS_{submaks}: submaksimal dikey sıçrama testi dikey bacak sertliği, RSI: Reaktif kuvvet indeksi. BS_{8km}: 8 km/saat koşu testi bacak sertliği, DBS_{8km}: 8 km/saat koşu testi dikey bacak sertliği, BS_{8km%1eğim}: %1 eğimde 8 km/saat koşu testi bacak sertliği, DBS_{8km%1eğim}: %1 eğimde 8 km/saat koşu testi dikey bacak sertliği, BS_{9km}: 9 km/saat koşu testi bacak sertliği, DBS_{9km}: 9 km/saat koşu testi dikey bacak sertliği.



Şekil 4.3. Tekrarlı sprint testi sırasında ölçülen en iyi sprint zamanı ile maksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen dikey bacak sertliği (BS_{maks}) değerleri arasındaki ilişki (p<0.01).



Şekil 4.4. Tekrarlı sprint testi sırasında ölçülen ortalama sprint zamanı ile maksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen dikey bacak sertliği (BS_{maks}) değerleri arasındaki ilişki (p<0.01).

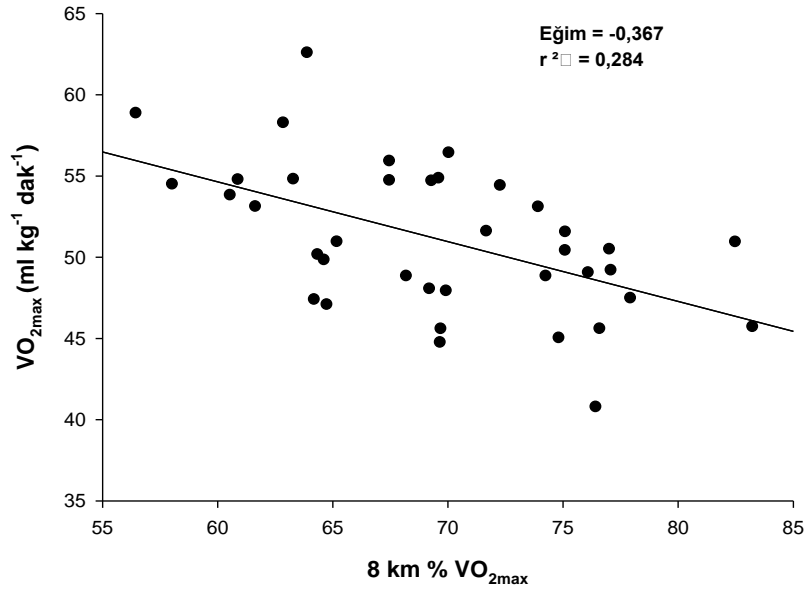
4.4. VO_{2max}'ın Fraksiyonel Kullanımı ve Koşu Ekonomisi ile Maksimal Kademeli Artan Koşu Testi Sırasında Ölçülen Değişkenlerin İlişkisi

8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen oksijen alımının $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı ($\% \dot{V}O_{2max}$) cinsinden değerleri, oksijen alımının vücut ağırlığına ($ml\ kg^{-1}\ dak^{-1}$) ve vücut ağırlığının 0.75'ine ($ml\ kg^{-0.75}\ dak^{-1}$) normaliz edilen değerleri ile maksimal kademeli artan koşu testi sırasında ölçülen değişkenler arasında korelasyon katsayısı değerleri Çizelge 4.4'de sunulmuştur. Sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen oksijen alımının $\dot{V}O_{2max}$ 'ın yüzdesi cinsinden değeri $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı olarak ifade edildi. 8 km/saat sabit hızda koşu testi sonuçlarından hesaplanan $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı değerleri ile maksimal kademeli artan koşu testi sırasında ulaşılan maksimal koşu hızı ($p < 0.05$) ve test süresi ($p < 0.01$) arasında orta düzeyde, $\dot{V}O_{2max}$ ($p < 0.01$) ile arasında yüksek düzeyde negatif korelasyon bulundu (şekil 4.5). Benzer şekilde %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen sonuçlarından hesaplanan $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı değerleri ile maksimal koşu hızı ve test süresi ($p < 0.05$) arasında orta düzeyde, $\dot{V}O_{2max}$ ($p < 0.01$) ile arasında sırasıyla orta ve yüksek düzeyde negatif korelasyon bulundu (sırasıyla Şekil 4.6 ve Şekil 4.7) (Çizelge 4.4.). 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen oksijen alımının $ml\ kg^{-1}\ dak^{-1}$ ve $ml\ kg^{-0.75}\ dak^{-1}$ cinsinden değerleri ile $\dot{V}O_{2max}$ arasında orta düzeyde pozitif korelasyon tespit edildi ($p < 0.01$).

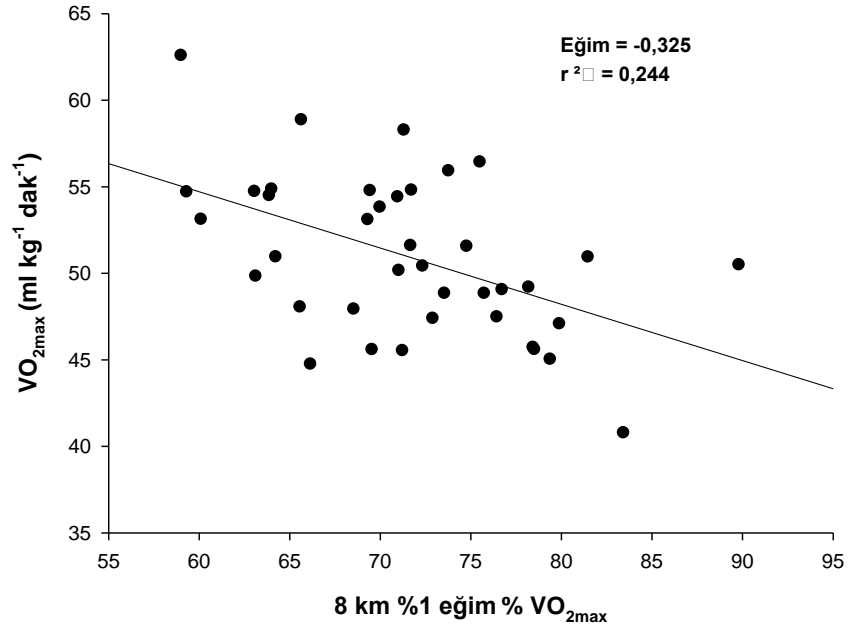
Çizelge 4.4. Sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen oksijen alımı ve oksijen alımının $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı ($\% \dot{V}O_{2max}$) cinsinden değerleri ile maksimal kademeli artan koşu testi sırasında ölçülen değişkenler arasında korelasyon katsayısı (r) değerleri

n= 40	$\dot{V}O_{2max}$	Test Süresi	Maksimal Koşu Hızı
8 km % $\dot{V}O_{2max}$	-0,533**	-0,427**	-0,344*
8 km %1 eğim % $\dot{V}O_{2max}$	-0,495**	-0,352*	-0,350*
9 km % $\dot{V}O_{2max}$	-0,513**	-0,346*	-0,344*
8 km $\dot{V}O_{2KE}$	0,429**	-0,075	-0,016
8 km $\dot{V}O_{2AKE}$	0,411**	-0,058	0,013
8km %1eğim $\dot{V}O_{2KE}$	0,431**	0,065	0,032
8km %1eğim $\dot{V}O_{2AKE}$	0,434**	0,101	0,052
9 km $\dot{V}O_{2KE}$	0,442**	0,076	0,033
9 km $\dot{V}O_{2AKE}$	0,443**	0,074	0,031

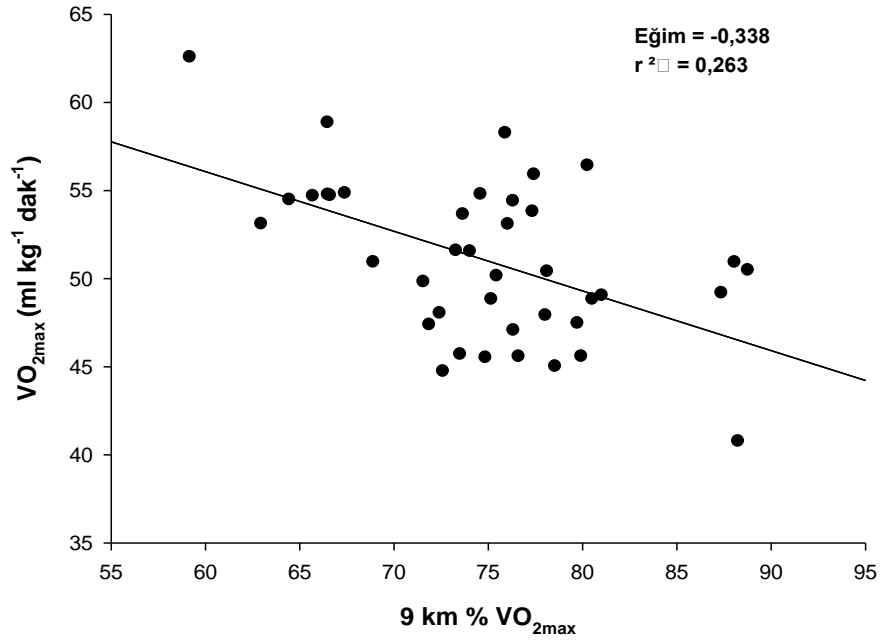
** p < 0.01, * p < 0.05 istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ifade eder. $\dot{V}O_{2max}$: maksimal oksijen alımı (ml $kg^{-1} dak^{-1}$). Sırasıyla 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen $\dot{V}O_{2-8km} \% \dot{V}O_{2max}$, $\dot{V}O_{2-eğim8km} \% \dot{V}O_{2max}$, $\dot{V}O_{2-9km} \% \dot{V}O_{2max}$: oksijen alımının $\dot{V}O_{2max}$ 'ın yüzdesi cinsinden değeri ($\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı).



Şekil 4.5. Kademeli olarak artan maksimum koşu testi sonucunda elde edilen maksimal oksijen alım değerleri ($\dot{V}O_{2max}$) ile 8 km/saat sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı arasındaki ilişki (p<0.01).



Şekil 4.6 Kademeli olarak artan maksimum koşu testi sonucunda elde edilen maksimal oksijen alım değerleri ($\dot{V}O_{2max}$) ile 8 km/saat %1 eğim sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı arasındaki ilişki ($p < 0.01$).



Şekil 4.7. Kademeli olarak artan maksimum koşu testi sonucunda elde edilen maksimal oksijen alım değerleri ($\dot{V}O_{2max}$) ile 9km/saat sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı arasındaki ilişki ($p < 0.01$).

4.5. Sabit Hızda Koşu Testleri Sırasında Ölçülen Mutlak ve Görece Adım Uzunluğu Değerleri ile Koşu Ekonomisi İlişkisi

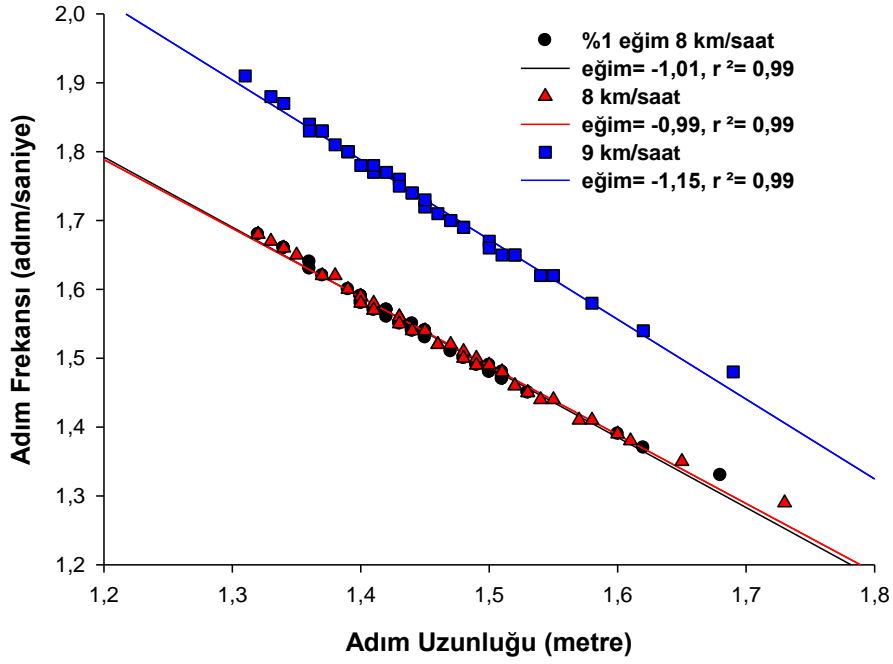
8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen adım uzunluğu (m) bacak uzunluğuna (m) oranı alınarak normalize edilmiş görece değerleri ile koşu ekonomisi değerleri arasında korelasyon katsayısı değerleri Çizelge 4.5.'da sunulmuştur. 8 km/saat sabit hızda koşu testi sonuçlarından hesaplanan görece adım uzunluğu (m) değerleri ile 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen $\text{ml kg}^{-1} \text{dak}^{-1}$ ($\dot{V}O_{2KE}$) ($p < 0.05$) cinsinden oksijen alım değerleri arasında orta düzeyde anlamlı bir ilişki bulundu. Ayrıca 8 km/saat sabit hızda koşu testi görece adım uzunluğu değerleri ile 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testi $\text{ml kg}^{-0.75} \text{dak}^{-1}$ ($\dot{V}O_{2AKE}$) ($p < 0.05$) cinsinden oksijen alım değerleri arasında da orta düzeyde korelasyon bulundu. %1 eğimde 8 km/saat testi görece adım uzunluğu (m) değerleri ile 8 km/saat ve %1 eğimde 8 km/saat sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen $\text{ml kg}^{-1} \text{dak}^{-1}$ ($\dot{V}O_{2KE}$) ve $\text{ml kg}^{-0.75} \text{dak}^{-1}$ ($\dot{V}O_{2AKE}$) ($p < 0.05$, $p < 0.01$ sırasıyla) cinsinden oksijen alım değerleri arasında orta düzeyde, 9 km/saat sabit hızda koşu testi $\text{ml kg}^{-1} \text{dak}^{-1}$ ($\dot{V}O_{2KE}$) ve $\text{ml kg}^{-0.75} \text{dak}^{-1}$ ($\dot{V}O_{2AKE}$) ($p < 0.01$) cinsinden oksijen alım değerleri arasında yüksek düzeyde korelasyon bulundu. 9 km/saat testi görece adım uzunluğu (m) değerleri ile 8 km/saat ve %1 eğimde 8 km/saat sabit hızda koşu testi $\text{ml kg}^{-1} \text{dak}^{-1}$ ($\dot{V}O_{2KE}$) ve $\text{ml kg}^{-0.75} \text{dak}^{-1}$ ($\dot{V}O_{2AKE}$) ($p < 0.05$, $p < 0.01$ sırasıyla) cinsinden oksijen alım değerleri arasında orta düzeyde, 9 km/saat sabit hızda koşu testi $\text{ml kg}^{-1} \text{dak}^{-1}$ ($\dot{V}O_{2KE}$) ve $\text{ml kg}^{-0.75} \text{dak}^{-1}$ ($\dot{V}O_{2AKE}$) ($p < 0.01$) cinsinden oksijen alım değerleri arasında yüksek düzeyde korelasyon bulundu. 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen mutlak adım uzunluğu (m) ve adım frekansı değerleri ile koşu ekonomisi değerleri arasında anlamlı ilişki görülmedi. ($p > 0,05$). Ayrıca çocukların bacak uzunlukları ile üç koşu testinde de $\text{ml kg}^{-1} \text{dak}^{-1}$ ve $\text{ml kg}^{-0.75} \text{dak}^{-1}$ cinsinden oksijen alım değerleri arasında orta düzeyde negatif korelasyon olduğu tespit edildi ($p < 0.05$). 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen yerle temas süresi ve havada kalış süresi ile koşu ekonomisi değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamıştır ($p > 0.05$).

Çizelge 4.5. Sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen görece adım uzunluğu (m) değerleri ile koşu ekonomisi arasında korelasyon katsayısı (r) değerleri

n= 40	8 km	8km %1eğim	9 km
	$\dot{V}O_{2KE}$	$\dot{V}O_{2KE}$	$\dot{V}O_{2KE}$
BU	-0,418**	-0,347*	-0,336*
8 km AU/BU	0,368	0,325*	0,360*
8km %1eğim AU/BU	0,363*	0,479**	0,513**
9 km AU/BU	0,379*	0,454**	0,559**
8 km YTS	-0,059	-0,123	-0,075
8 km HKS	-0,063	0,046	0,054
8km %1eğim YTS	-0,006	0,131	0,158
8km %1eğim HKS	-0,093	0,048	0,075
9 km YTS	-0,127	0,217	0,232
9 km HKS	0,074	0,044	0,173

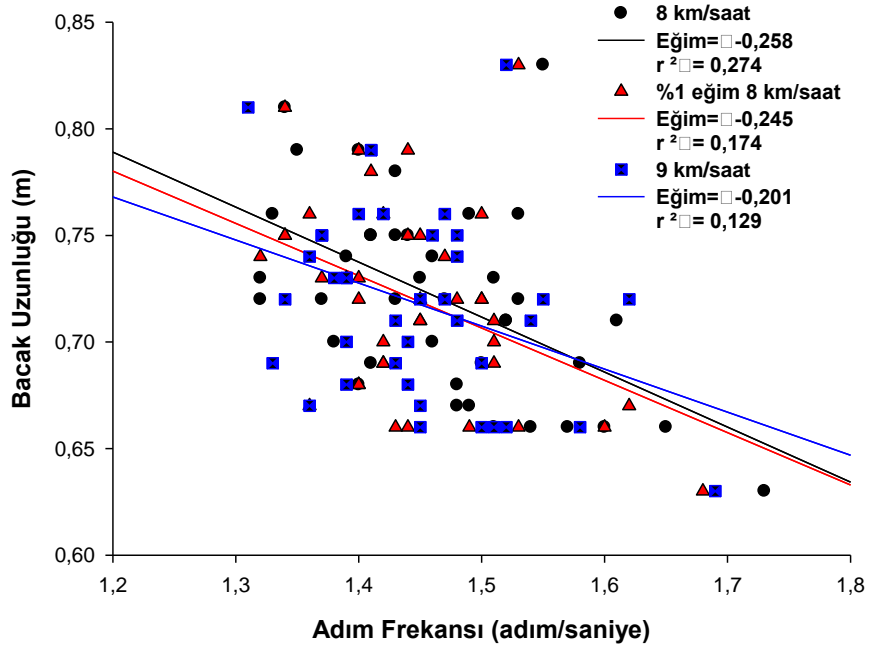
** p < 0.01, * p < 0.05 istatistiksel olarak anlamlı farklılığı ifade eder. AF: adım frekansı, AD: adım Uzunluğu, BU: bacak uzunluğu, KE: koşu ekonomisi, $\dot{V}O_{2KE}$: ml kg⁻¹ dak⁻¹ cinsinden oksijen alım değerleri, YTS: yerle temas süresi, HKS: havada kalış süresi.

8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen adım frekansı (adım/saniye) ile adım uzunluğu (m) değeri arasındaki ilişkiyi gösteren lineer regresyon grafiği Şekil 4.8 de sunulmuştur. Üç test protokolünde de adım frekansı ve adım uzunluğu değerleri arasında negatif korelasyon olduğu tespit edilmiştir (r= -0,997; p < 0.01).

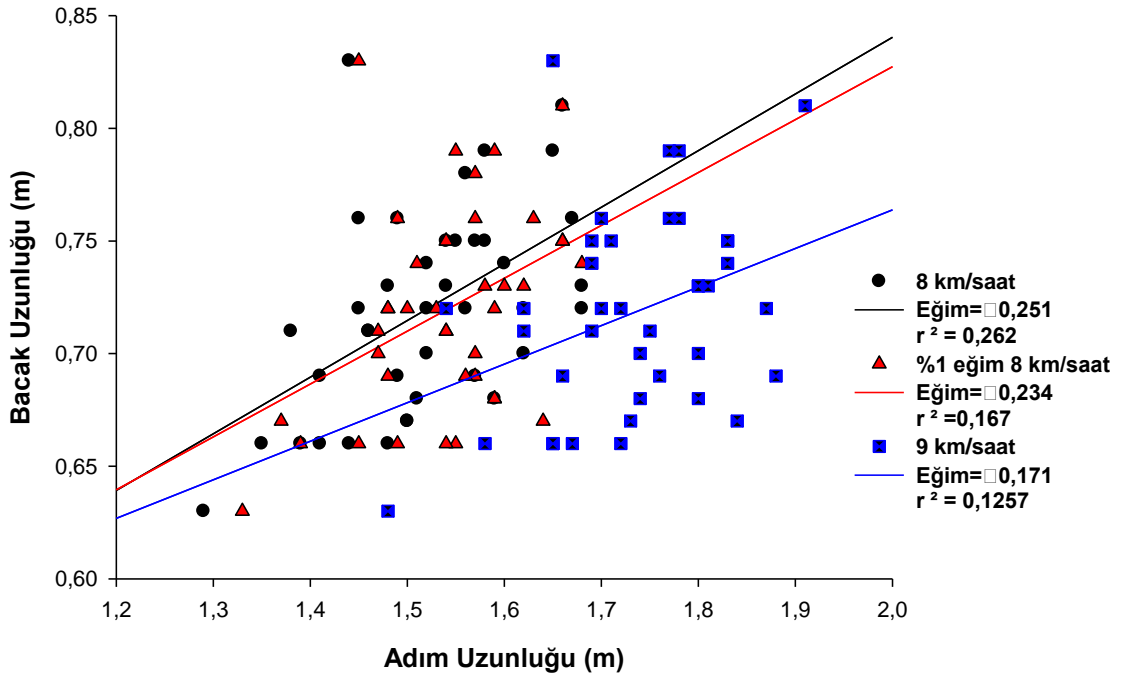


Şekil 4.8. 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen adım frekansı (adım/sn) ile adım uzunluğu (m) değeri arasındaki ilişki.

8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen adım frekansı (adım/saniye) ve adım uzunluğu (m) değeri ile çocukların bacak uzunlukları arasındaki ilişkiyi gösteren lineer regresyon grafiği Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da sunulmuştur. Çocukların bacak uzunluğu değerleri ile 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen adım frekansı değerleri arasında negatif yönde korelasyon bulunurken (sırasıyla $r = -0,522$, $r = -0,421$; $p < 0,001$ ve $r = -0,361$; $p < 0,05$) (Şekil 4.10), adım uzunluğu değerleri arasında pozitif korelasyon olduğu tespit edildi (sırasıyla $r = 0,513$, $r = 0,411$; $p < 0,001$ ve $r = 0,355$; $p < 0,05$) (Şekil 4.10).



Şekil 4.9. 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen adım frekansı (adım/sn) ile bacak uzunluğu (m) değeri arasındaki ilişki



Şekil 4.10. 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen adım frekansı (adım/sn) ile adım uzunluğu (m) değeri arasındaki ilişki

4.6. Maksimal Kademeli Artan Koşu Testi Sırasında Ölçülen Değişkenlerin Gruplar Arası Karşılaştırılması

Maksimal kademeli artan koşu testi sırasında ölçülen değişkenlerin değerleri Çizelge 4.6'da sunulmuştur. Yapılan ölçümlerin, U11, U12, U13 ve U14 futbol liglerinde top oynayan sırasıyla 11, 12, 13 ve 14 yaş grupları arasında istatistiksel olarak karşılaştırılması yapılmıştır (Çizelge 4.6.). Maksimal kademeli artan koşu testi sırasında ölçülen değişkenlerin gruplar arası karşılaştırılması yapıldığında, vücut ağılığına normalize edilmiş $\dot{V}O_{2max}$ ($ml\ kg^{-1}dak^{-1}$), KAH_{maks} ve RER_{maks} değerleri arasında anlamlı farklılık görülmemiştir ($p > 0.05$). Öte yandan $\dot{V}O_{2max}$ 'ın ($ml\ dak^{-1}$) mutlak değeri karşılaştırıldığında, U14'ün diğer gruplardan anlamlı olarak yüksek olduğu ($p < 0.01$), U12 ve U13'ün de U11 göre anlamlı olarak yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$). U14 grubunun test süresi ve maksimal koşu hızı değerlerinin U11'den istatistiksel olarak yüksek olduğu, VE_{maks} değerlerinin ise grupların üçünden yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$).

Çizelge 4.6. Maksimal kademeli artan koşu testi sırasında ölçülen değişkenlerin gruplar arası karşılaştırılması (Ortalama \pm standart sapma).

	U11 n= 10	U12 n= 10	U13 n= 10	U14 n= 10
$\dot{V}O_{2max}$ ($ml\ kg^{-1}dak^{-1}$)	51,08 \pm 5,07	50,3 \pm 4,9	50,2 \pm 3,6	52,4 \pm 4,6
$\dot{V}O_{2max}$ ($ml\ dak^{-1}$)	1647,3 \pm 147 ^{&}	2111,1 \pm 317 ^{*,&}	1946,9 \pm 148 ^{*,&}	2846,7 \pm 486
Test Süresi (dak)	9,9 \pm 0,8 ^{&}	10,3 \pm 0,9	11,05 \pm 0,8	11,4 \pm 1,3
Maksimal Koşu Hızı ($km\ saat^{-1}$)	13,6 \pm 0,8 ^{&}	13,8 \pm 1,1	14,6 \pm 0,8	15,1 \pm 1,4
VE_{maks} ($L\ dak^{-1}$)	66,8 \pm 9,2 ^{&}	81,4 \pm 10,4 ^{&}	78,3 \pm 10,3 ^{&}	109 \pm 22,5
KAH_{maks} (atım dak^{-1})	200,5 \pm 6,8	200,7 \pm 8	198,3 \pm 7,2	198,4 \pm 9,3
RER_{maks} ($\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$)	1,18 \pm 0,04	1,17 \pm 0,07	1,21 \pm 0,05	1,21 \pm 0,06

* U11'e göre istatistiksel anlamlı farklılığı ifade eder ($p < 0.05$). & U14' göre istatistiksel anlamlılığı ifade eder ($p < 0.05$). $\dot{V}O_{2max}$: maksimal oksijen alımı, VE_{maks} : maksimal dakika ventilasyonu, RER_{maks} : maksimal solunum değişim oranı, KAH_{maks} : maksimal kalp atım hızı.

4.7. Sabit Hızda Koşu Testleri Sırasında Ölçülen Değişkenlerin Gruplar Arası Karşılaştırılması

8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen değişkenlerin değerleri Çizelge 4.7 4.8 ve 4,9'da sunulmuştur.

Sabit hızda koşu testinin üç farklı protokolünde ölçülen oksijen alımının vücut ağırlığına ($\text{ml kg}^{-1} \text{dak}^{-1}$) ve vücut ağırlığının 0.75'ine ($\text{ml kg}^{-0.75} \text{dak}^{-1}$) bölünerek normalize edilen değerleri ayrı ayrı karşılaştırıldığında, dört grupta da istatistiksel olarak anlamlı farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$). Bu nedenle U11, U12, U13 ve U14 gruplarının koşu ekonomilerinin benzer düzeyde olduğu ifade edilebilir. Benzer şekilde oksijen alımının $\dot{V}O_{2\max}$ 'ın yüzdesi cinsinden değeri olarak hesaplanan $\dot{V}O_{2\max}$ 'ın fraksiyonel kullanımının, üç farklı protokolde de gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$). $\dot{V}O_2$ 'in (ml dak^{-1}) mutlak değerinin üç farklı protokolde de benzer sonuçlar gösterdiği, U14 grubunda diğer gruplardan anlamlı olarak yüksek olduğu ($p < 0.01$), U12 ve U13 gruplarının da U11 göre anlamlı olarak yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen oksijen alımının dakikadaki adım frekansına ($\text{ml kg}^{-1} \text{adım}^{-1}$) normaliz edilen değerleri ayrı ayrı karşılaştırıldığında da, benzer sonuçların görüldüğü dört grupta da istatistiksel olarak anlamlı farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($p < 0.01$).

Çizelge 4.7. 8 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen değişkenlerin gruplar arası karşılaştırılması (Ortalama \pm standart sapma)

	U11	U12	U13	U14
	n= 10	n= 10	n= 10	n= 10
8 km/saat sabit hızda koşu testi				
$\dot{V}O_{2KE}$ ($\text{ml kg}^{-1} \text{dak}^{-1}$)	37,80 \pm 2,86	34,24 \pm 2,38	34,42 \pm 2,96	35,70 \pm 3,82
$\dot{V}O_{2AKE}$ ($\text{ml kg}^{-0.75} \text{dak}^{-1}$)	50,37 \pm 3,80	45,66 \pm 3,16	45,89 \pm 3,96	47,59 \pm 5,09
$\dot{V}O_2$ (ml dak^{-1})	1209,7 \pm 85 ^{&}	1467,9 \pm 247* ^{&}	1348,3 \pm 143* ^{&}	1924,2 \pm 249
% $\dot{V}O_{2\max}$	72,5 \pm 3,6	69,09 \pm 8,2	68,7 \pm 6,1	68,3 \pm 7,3
$\dot{V}O_2/\text{adım}$ ($\text{ml kg}^{-1} \text{adım}^{-1}$)	0,41 \pm 0,038	0,38 \pm 0,037	0,39 \pm 0,037	0,42 \pm 0,05
VE (L dak^{-1})	38,83 \pm 4,3 ^{&}	45,59 \pm 7,2 ^{&}	41,62 \pm 4,5 ^{&}	54,39 \pm 7,02
RER ($\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$)	0,95 \pm 0,04	0,95 \pm 0,03	0,98 \pm 0,04	0,96 \pm 0,04
KAH (atım dak^{-1})	162,2 \pm 16,4	168,4 \pm 14,5	152,7 \pm 15,9	152,3 \pm 15,1

* U11'e göre istatistiksel anlamlı farklılığı ifade eder ($p < 0.05$). & U14' göre istatistiksel anlamlılığı

ifade eder ($p < 0.05$). KE: koşu ekonomisi, $\dot{V}O_2$: oksijen alımı, % $\dot{V}O_{2max}$: oksijen alımının maksimal oksijen alımının yüzdesi cinsinden değeri ($\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı), $\dot{V}O_2/adım$: Adım başına oksijen alımı, VE: dakika ventilasyonu, RER: solunum değişim oranı, KAH: Kalp atım hızı, AF: adım frekansı, AD: adım uzunluğu, BU: bacak uzunluğu. YTS: yerle temas süresi, HKS: havada kalış süresi.

Üç farklı protokol de U14 grubunun VE değerlerinin diğer üç gruptan istatistiksel olarak yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.01$). Sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen kalp atım hızlarında, üç farklı protokolde de gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olmadığı görülmüştür ($p > 0.05$). 8 km/saat sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen solunum değişim oranı değerlerinde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır ($p > 0.05$). %1 eğimde 8 km/saat sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen solunum değişim oranı değerlerinin, U11 grubunda U12 ve U13 gruplardan anlamlı olarak yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$). 9 km/saat sabit hızda koşu testinde ise, U11 grubunun solunum değişim oranı değerlerinin U13 gruplardan anlamlı olarak yüksek olduğu bulunmuştur ($p < 0.05$) (Çizelge 4.8.).

Çizelge 4.8. %1 eğimde 8 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen değişkenlerin gruplar arası karşılaştırılması (Ortalama \pm standart sapma)

	U11	U12	U13	U14
	n= 10	n= 10	n= 10	n= 10
%1 eğimde 8 km/saat sabit hızda koşu testi				
$\dot{V}O_{2KE}$ (ml kg ⁻¹ dak ⁻¹)	36,1 \pm 3,1	36,5 \pm 2,4	36,5 \pm 4,7	36,04 \pm 3,3
$\dot{V}O_{2AKE}$ (ml kg ^{-0.75} dak ⁻¹)	48,1 \pm 4,1	48,6 \pm 3,2	49,2 \pm 5,8	48,06 \pm 4,5
$\dot{V}O_2$ (ml dak ⁻¹)	1169,2 \pm 34 ^{&}	1561,5 \pm 237* ^{&}	1440,9 \pm 117* ^{&}	1940,9 \pm 208
% $\dot{V}O_{2max}$	71,1 \pm 7,2	73,3 \pm 4,8	72,8 \pm 8,3	69,02 \pm 6,9
$\dot{V}O_2/adım$ (ml kg ⁻¹ adım ⁻¹)	0,4 \pm 0,04	0,41 \pm 0,03	0,42 \pm 0,05	0,42 \pm 0,04
VE (L dak ⁻¹)	39,2 \pm 4,8 ^{&}	45,3 \pm 7,3 ^{&}	43,9 \pm 5,4 ^{&}	55,4 \pm 6,4
RER ($\dot{V}CO_2/ \dot{V}O_2$)	0,99 \pm 0,03	0,94 \pm 0,02*	0,94 \pm 0,04*	0,97 \pm 0,03
KAH (atım dak ⁻¹)	155,9 \pm 27	166,3 \pm 13,6	154 \pm 13,4	150,5 \pm 12,6

* U11'e göre istatistiksel anlamlı farklılığı ifade eder ($p < 0.05$). & U14' göre istatistiksel anlamlılığı ifade eder ($p < 0.05$). KE: koşu ekonomisi, $\dot{V}O_2$: oksijen alımı, % $\dot{V}O_{2max}$: oksijen alımının maksimal oksijen alımının yüzdesi cinsinden değeri ($\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı), $\dot{V}O_2/adım$: Adım başına oksijen alımı, VE: dakika ventilasyonu, RER: solunum değişim oranı, KAH: Kalp atım hızı, AF: adım frekansı, AD: adım uzunluğu, BU: bacak uzunluğu. YTS: yerle temas süresi, HKS: havada kalış süresi.

Çizelge 4.9. 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen değişkenlerin gruplar arası karşılaştırılması (Ortalama \pm standart sapma)

	U11	U12	U13	U14
	n= 10	n= 10	n= 10	n= 10
9 km/saat sabit hızda koşu testi				
$\dot{V}O_{2KE}$ (ml kg ⁻¹ dak ⁻¹)	38,1 \pm 3,2	37,1 \pm 2,8	38,9 \pm 4,1	37,9 \pm 3,7
$\dot{V}O_{2AKE}$ (ml kg ^{-0.75} dak ⁻¹)	50,8 \pm 4,2	49,6 \pm 3,8	51,9 \pm 5,5	50,5 \pm 4,9
$\dot{V}O_2$ (ml dak ⁻¹)	1234,8 \pm 128 ^{&}	1568,3 \pm 266 ^{*,&}	1522,5 \pm 146 ^{*,&}	2039,4 \pm 209
% $\dot{V}O_{2max}$	75,1 \pm 7,09	74,1 \pm 4,7	77,6 \pm 6,4	72,7 \pm 8,6
$\dot{V}O_2$ /adım (ml kg ⁻¹ adım ⁻¹)	0,425 \pm 0,04	0,422 \pm 0,04	0,418 \pm 0,1	0,451 \pm 0,4
VE (L dak ⁻¹)	41,9 \pm 5,2 ^{&}	47,8 \pm 6,1 ^{&}	46,5 \pm 4,1 ^{&}	58,8 \pm 6,5
RER ($\dot{V}CO_2 / \dot{V}O_2$)	1,004 \pm 0,03	0,97 \pm 0,02	0,94 \pm 0,05 [*]	0,96 \pm 0,03
KAH (atım dak ⁻¹)	165,5 \pm 14,3	166,8 \pm 12,6	158 \pm 12,7	156,7 \pm 12,7

* U11'e göre istatistiksel anlamlı farklılığı ifade eder ($p < 0.05$). & U14' göre istatistiksel anlamlılığını ifade eder ($p < 0.05$). KE: koşu ekonomisi, $\dot{V}O_2$: oksijen alımı, % $\dot{V}O_{2max}$: oksijen alımının maksimal oksijen alımının yüzdesi cinsinden değeri ($\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı), $\dot{V}O_2$ /adım: Adım başına oksijen alımı, VE: dakika ventilasyonu, RER: solunum değişim oranı, KAH: Kalp atım hızı, AF: adım frekansı, AD: adım uzunluğu, BU: bacak uzunluğu. YTS: yerle temas süresi, HKS: havada kalış süresi.

4.8. Dikey Sıçrama Testleri Bacak Sertliği Değerlerinin Gruplar Arası Karşılaştırılması

5 tekrarlı maksimal dikey sıçrama testi ve 20 tekrarlı submaksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen değişkenlerin değerleri Çizelge 4.10'da sunulmuştur. Maksimal maksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen değişkenlerin gruplar arası karşılaştırılması yapıldığında, bacak sertliği ve yerle temas süresi değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık görülmemiştir ($p > 0.05$). Havada kalış süresi değerlerinin ise U14 grubunda U11 ve U13 gruplarından istatistiksel olarak yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Submaksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen değişkenlerin gruplar arası karşılaştırılması yapıldığında, U14 grubunun bacak sertliği değerlerinin U11 grubundan anlamlı olarak yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$).

Submaksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen havada kalış süresi ve yerle temas süresi değerleri karşılaştırıldığında, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık görülmemiştir ($p > 0.05$). 5 tekrarlı maksimal dikey sıçrama testi verilerinden hesaplanan reaktif kuvvet indeksi (mm/ms) değerleri gruplar arasında istatistiksel olarak

anlamli farklılık göstermediği tespit edilmiştir ($p > 0.05$). Üç grubun maksimal dikey sıçrama yüksekliği değerleri karşılaştırıldığında, U14 grubunun değerlerinin U11, U12 ve U13 gruplarından istatistiksel olarak yüksek olduğu bulunmuştur ($p < 0.05$) (Çizelge 4.10.).

5 tekrarlı maksimal dikey sıçrama testi diz ekleminin hareket açıklığının değerlendirilmesi için gonyometre ile yapılan ölçümlerde, U11, U12, U13 ve U14 gruplarının diz eklem açısı (derece) değerleri arasında istatistiksel olarak anlamli farklılık olmadığı görülmüştür ($p > 0.05$). Benzer şekilde 20 tekrarlı submaksimal dikey sıçrama testi sırasında diz eklem açısı (derece) değerleri gruplar arasında anlamli farklılık göstermediği tespit edilmiştir ($p > 0.05$).

Çizelge 4.10. Maksimal dikey sıçrama testi ve submaksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen değerlerin gruplar arası karşılaştırılması (Ortalama \pm standart sapma)

	U11 n= 10	U12 n= 10	U13 n= 10	U14 n= 10
HKS _{maks} (ms)	0,401 \pm 0,03 ^{&}	0,441 \pm 0,03	0,421 \pm 0,04 ^{&}	0,473 \pm 0,02
YTS _{maks} (ms)	0,260 \pm 0,04	0,247 \pm 0,07	0,239 \pm 0,06	0,298 \pm 0,07
DBS _{maks} (kNm ⁻¹)	7,23 \pm 1,6	10,89 \pm 4,5	10,82 \pm 4,9	9,99 \pm 4,5
HKS _{submaks} (sn)	0,220 \pm 0,02	0,214 \pm 0,03	0,218 \pm 0,02	0,203 \pm 0,01
YTS _{submaks} (sn)	0,182 \pm 0,02	0,188 \pm 0,02	0,181 \pm 0,01	0,197 \pm 0,01
DBS _{submaks} (kNm ⁻¹)	15,55 \pm 3,009 ^{&}	19,35 \pm 4,03	18,78 \pm 2,8	22,67 \pm 3,7
RSI (mm/ms)	0,890 \pm 0,2	1,134 \pm 0,3	1,136 \pm 0,3	1,070 \pm 0,3
DEA _{maks} (°)	49,9 \pm 15,4	42,1 \pm 14,9	41,5 \pm 12,4	42,2 \pm 18,7
DEA _{submaks} (°)	24,4 \pm 16,8	15,4 \pm 12,6	17,7 \pm 8,06	12,3 \pm 0,09
MSY (cm)	22,43 \pm 2,8 ^{&}	25,58 \pm 3,04 ^{&}	25,18 \pm 2,4 ^{&}	29,82 \pm 2,07

* U11'e göre göre istatistiksel anlamli farklılığı ifade eder ($p < 0.05$). & U14' göre istatistiksel anlamlılığı ifade eder ($p < 0.05$). 5 tekrarlı maksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen; YTS_{maks}: yerle temas süresi, HKS_{maks}: havada kalış süresi, DBS_{maks}: Bacak sertliği. 20 tekrarlı submaksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen; YTS_{submaks}: yerle temas süresi, HKS_{submaks}: havada kalış süresi, DBS_{submaks}: Bacak sertliği, RSI: Reaktif kuvvet indeksi, DEA_{maks}: Maksimal dikey sıçrama testi sırasında diz ekleminin açısı, DEA_{submaks}: submaksimal dikey sıçrama testi sırasında diz ekleminin açısı, MSY: maksimal dikey sıçrama yüksekliği.

4.9. Sabit Hızda Koşu Testleri Bacak Sertliği Değerlerinin Gruplar Arası Karşılaştırılması

Sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen bacak sertlik özelliklerinin değerleri Çizelge 4.10, 4.11 ve 4.12’de sunulmuştur. 8 km/saat sabit hızda koşu testi bacak sertliği (BS_{8km}) ve dikey bacak sertliği (DBS_{8km}) değerleri karşılaştırıldığında, U11 grubunda U12 ve U14 gruplarından istatistiksel olarak düşük olduğu, U13 grubunun da U14 grubundan daha düşük olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.11.).

Çizelge 4.11. 8 km/saat sabit hızda koşu testi sırasında bacak sertlik özelliklerinin gruplar arası karşılaştırılması (Ortalama \pm standart sapma)

	U11	U12	U13	U14
	n= 10	n= 10	n= 10	n= 10
8 km/saat sabit hızda koşu testi				
$BS_{8km}(kNm^{-1})$	$1,8 \pm 0,2$	$2,68 \pm 0,6^*$	$2,42 \pm 0,3^{\&}$	$3,17 \pm 0,8^*$
$DBS_{8km}(kNm^{-1})$	$2,21 \pm 0,2$	$3,35 \pm 0,7^*$	$3,01 \pm 0,4^{\&}$	$3,91 \pm 0,4^*$
HKS (sn)	$0,329 \pm 0,03$	$0,35 \pm 0,02$	$0,359 \pm 0,02$	$0,36 \pm 0,02$
YTS (sn)	$0,323 \pm 0,02$	$0,326 \pm 0,02$	$0,332 \pm 0,02$	$0,35 \pm 0,02$
Adım Süresi (sn)	$0,65 \pm 0,04^{\&}$	$0,67 \pm 0,02$	$0,69 \pm 0,03$	$0,71 \pm 0,03$
AF (adım dak^{-1})	$92,2 \pm 6,3^{\&}$	$88,7 \pm 3,9$	$86,9 \pm 4,2$	$84,5 \pm 4,6$
AU (m)	$1,45 \pm 0,9^{\&}$	$1,5 \pm 0,06$	$1,53 \pm 0,07$	$1,58 \pm 0,08$
AU/BU (m)	$2,14 \pm 0,1$	$2,11 \pm 0,09$	$2,12 \pm 0,1$	$2,08 \pm 0,1$

* U11’e göre istatistiksel anlamlı farklılığı ifade eder ($p < 0.05$). $\&$ U14’ göre istatistiksel anlamlılığı ifade eder ($p < 0.05$). BS_{8km} : 8 km/saat koşu testi bacak sertliği, DBS_{8km} : 8 km/saat koşu testi dikey bacak sertliği, YTS: yerle temas süresi, HKS: havada kalış süresi, AF: adım frekansı, AU: adım uzunluğu, BU: bacak uzunluğu, AS: adım süresi.

%1 eğimde 8 km/saat sabit hızda koşu testi bacak sertliği ($BS_{8km\%1eğim}$) ve dikey bacak sertliği ($DBS_{8km\%1eğim}$) değerlerinin gruplar arası karşılaştırılması yapıldığında, U14 grubunun bacak sertliği değerlerinin U11 grubundan anlamlı olarak yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.12).

9 km/saat sabit hızda koşu testi bacak sertliği (BS_{9km}) ve dikey bacak sertliği (DBS_{9km}) değerlerinin U14 grubunda, U11 ve U13 gruplarından anlamlı olarak yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.05$) (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.12. %1 eğimde 8 km/saat sabit hızda koşu testi bacak sertlik özelliklerinin gruplar arası karşılaştırılması (Ortalama \pm standart sapma)

	U11	U12	U13	U14
	n= 10	n= 10	n= 10	n= 10
%1 eğimde 8 km/saat sabit hızda koşu testi				
BS _{8km%1eğim} (kNm ⁻¹)	1,86 \pm 0,2	2,31 \pm 0,4	2,45 \pm 0,7	2,66 \pm 0,5*
DBS _{8km%1eğim} (kNm ⁻¹)	2,27 \pm 0,2	2,79 \pm 0,5	2,92 \pm 0,8	3,18 \pm 0,6*
HKS (sn)	0,35 \pm 0,03	0,352 \pm 0,03	0,381 \pm 0,03	0,364 \pm 0,02
YTS (sn)	0,321 \pm 0,02	0,332 \pm 0,02	0,318 \pm 0,03 ^{&}	0,35 \pm 0,02
Adım Süresi (sn)	0,67 \pm 0,03 ^{&}	0,68 \pm 0,03	0,7 \pm 0,02	0,71 \pm 0,02
AF (adım dak ⁻¹)	89,5 \pm 5,2 ^{&}	87,8 \pm 4,7	85,7 \pm 3,2	84,04 \pm 3,7
AU (m)	1,49 \pm 0,08 ^{&}	1,52 \pm 0,08	1,55 \pm 0,05	1,58 \pm 0,06
AU/BU (m)	2,2 \pm 0,09	2,13 \pm 0,1	2,15 \pm 0,1	2,1 \pm 0,1

* U11'e göre göre istatistiksel anlamlı farklılığı ifade eder ($p < 0.05$). & U14' göre istatistiksel anlamlılığı ifade eder ($p < 0.05$). BS_{8km}: %1 eğimde 8 km/saat koşu testi bacak sertliği, DBS_{8km}: %1 eğimde 8 km/saat koşu testi dikey bacak sertliği, YTS: yerle temas süresi, HKS: havada kalış süresi, AF: adım frekansı, AU: adım uzunluğu, BU: bacak uzunluğu.

Sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen adım süresi (sn), adım frekansı (adım dak⁻¹) ve adım uzunluğu (m) değerlerinin üç farklı protokolda de benzer bulgularla, U14 grubunun U11 grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösterdiği tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Öte yandan adım uzunluğunun bacak uzunluğuna normalize edilmiş görece değerlerinin (m) üç test protokolünde de, gruplar arasında anlamlı farklılık olmadığı görülmüştür ($p > 0.05$). Benzer şekilde üç test protokolünde de yerle temas süresi ve havada kalış sürelerinin, gruplar arasında istatistiksel olarak farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$).

Çizelge 4.13. 9 km/saat sabit hızda koşu testi bacak sertlik özelliklerinin gruplar arası karşılaştırılması (Ortalama \pm standart sapma)

	U11	U12	U13	U14
	n= 10	n= 10	n= 10	n= 10
9 km/saat sabit hızda koşu testi				
BS _{9km} (kNm ⁻¹)	2,17 \pm 0,2 ^{&}	2,68 \pm 0,6	2,42 \pm 0,3 ^{&}	3,17 \pm 0,8
DBS _{9km} (kNm ⁻¹)	2,74 \pm 0,3 ^{&}	3,35 \pm 0,7	3 \pm 0,4 ^{&}	3,9 \pm 0,9
HKS (sn)	0,372 \pm 0,02	0,374 \pm 0,03	0,398 \pm 0,02	0,393 \pm 0,04
YTS (sn)	0,295 \pm 0,02 ^{&}	0,306 \pm 0,01	0,308 \pm 0,01	0,321 \pm 0,02
Adım Süresi (sn)	0,66 \pm 0,03 ^{&}	0,68 \pm 0,03	0,70 \pm 0,02	0,71 \pm 0,03
AF (adım dak ⁻¹)	90,06 \pm 4,8 ^{&}	88,3 \pm 4,9	85,02 \pm 3,4	84,05 \pm 3,8
AU (m)	1,66 \pm 0,08 ^{&}	1,70 \pm 0,09	1,76 \pm 0,07	1,78 \pm 0,07
AU/BU (m)	2,4 \pm 0,09	2,39 \pm 0,09	2,47 \pm 0,1	2,36 \pm 0,2

[&] U14' göre istatistiksel anlamlılığı ifade eder ($p < 0.05$). BS_{8km}: 9 km/saat koşu testi bacak sertliği, DBS_{8km}: 9 km/saat koşu testi dikey bacak sertliği, YTS: yerle temas süresi, HKS: havada kalış süresi, AF: adım frekansı, AU: adım uzunluğu, BU: bacak uzunluğu.

4.10. Tekrarlı Sprint Performansının Gruplar Arası Karşılaştırılması

Tekrarlı sprint testi sırasında ölçülen değişkenlerin değerleri Çizelge 4.14.'da sunulmuştur. Tekrarlı sprint testi sonuçlarından hesaplanan ortalama sprint zamanı ve performans düşüş yüzdesi değerlerinin gruplar arası karşılaştırılması yapıldığında, U11 grubu değerlerinin diğer üç grubun değerlerinden istatistiksel olarak yüksek olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.01$). En iyi sprint zamanlarının karşılaştırmasında, U11 grubu değerlerinin U13 ve U14 gruplarının değerlerinden anlamlı olarak yüksek olduğu bulunmuştur ($p < 0.05$). U12, U13 ve U14 gruplarının karşılaştırılmasında en iyi sprint zamanı, ortalama sprint zamanı ve performans düşüş yüzdesi değerlerinin arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$) (Çizelge 4.14.).

Çizelge 4.14. Tekrarlı sprint testi sırasında ölçülen değişkenler (Ortalama \pm standart sapma)

	U11	U12	U13	U14
	n= 10	n= 10	n= 10	n= 10
En iyi sprint zamanı (sn)	3,609 \pm 0,23	3,374 \pm 0,26	3,319 \pm 0,23*	3,129 \pm 0,16*
Ortalama sprint zamanı (sn)	3,860 \pm 0,18	3,460 \pm 0,27*	3,405 \pm 0,24*	3,235 \pm 0,13*
Performans düşüş yüzdesi	7,081 \pm 2,66	2,542 \pm 1,06*	2,587 \pm 1,81*	3,441 \pm 1,37*

* U11'e göre göre istatistiksel anlamlı farklılığı ifade eder ($p < 0.05$).

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada 11, 12, 13 ve 14 yaşlarında sırasıyla U11, U12, U13 ve U14 futbol liglerinde top oynayan çocuklarda bacak sertliği ve koşu ekonomisine ait değişkenler incelenerek, bu değişkenlerin birbirleriyle ilişkisi olup olmadığı araştırılmıştır. Futbolcu çocukların bacak sertliği değerleri ile koşu ekonomilerinin ilişkili olduğu görülmüştür. Çalışma bulgularımız sporcu çocuklarda hem düşük şiddetli koşu sırasında hem de sıçrama sırasında bacak sertlik özelliklerinin, koşu ekonomisini etkileyebilecek fizyolojik faktörlerden birisi olabileceğini göstermiştir. Ayrıca bulgularımız çocuklarda yüksek düzeyde dikey bacak sertlik özelliklerinin, tekrarlı sprintlerin yanı sıra sürat performansını da olumlu yönde etkileyebileceğini göstermiştir. Sabit hızda submaksimal koşu sırasında çocukların adım uzunluğunun bacak uzunluklarına oranının yüksek olması, koşu ekonomisinde dezavantaj sağlayabilir. Bunun yanı sıra çocuklarda sabit hızda submaksimal koşu sırasında $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanım değerlerinin düşük olması, aerobik kapasitelerinin yüksek olduğunu işaret edebilir.

5.1. Bacak Sertliği ile Koşu Ekonomisi İlişkisi

Gerilme-kısalma döngüsü olarak adlandırılan, koşma, sıçrama gibi kasların eksantrik kasılmaları konsantrik kasılmaların döngüsel olarak takip ettiği tekrarlı hareketlerde performansı belirleyen özelliklerden bir tanesi bacak sertliğidir ^(14, 240, 241). Bacak sertliğini etkili bir şekilde kullanabilen bir sporcunun eksantrik kasılmada daha fazla elastik potansiyel enerji depolayacağı ve konsantrik kasılmanın gerçekleştiği itme fazı sırasında daha fazla kuvvet üretebileceği belirtilmektedir ⁽¹⁹⁾. Futbolcuların, tekrarlayan kasılmalarda güç üretiminin verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için bacak sertliklerinin iyi düzeyde olması gerektiği düşünülmektedir ⁽¹²⁾. Öte yandan futbolda, aerobik dayanıklılık önemli bir performans göstergesi olarak kabul edilir. Futbol, 90 dakika boyunca kısa süreli maksimal veya maksimale yakın şiddette yapılan aktivitelerin kısa toparlanma periyotları ile ardışık olarak tekrarlamasını gerektiren interval bir spordur. Koşu ekonomisi, profesyonel futbolcularda maçın maksimal şiddetli aktivite periyotlarından sonra gerçekleştirilen düşük şiddetli aktivite periyotları sırasında toparlanmayı sağlayan önemli bir fizyolojik parametre olarak kabul edilir ^(5, 6).

Koşu ekonomisi iyi olan bir sporcunun iş yapmak için daha az enerji harcayacak olması, kendisinin daha az yorulmasına ve dolayısıyla da daha çabuk toparlamasına imkan tanıyacaktır. Koşu sırasında harekete katılan kaslarda elastik enerjinin depolanması ve serbestleşmesi, koşu ekonomisine önemli katkılar sağladığı ve koşu ekonomisindeki bireyler arası farklılıkların önemli bir bölümünü açıklama potansiyeli taşıdığı düşünülmektedir⁽³⁰⁾. Yapılan araştırmalarda bacak sertliğinin, koşu ekonomisi ile yakından ilişkili olduğu belirtilmektedir^(153, 154). Literatürde sporcu çocuklarda bacak sertliği ile koşu ekonomisi ilişkisini inceleyen çalışmaya rastlanmamıştır.

Futbolcu çocuklarda bacak sertliği ve koşu ekonomisi arasındaki ilişkiyi değerlendirmek amacıyla, toplam 40 çocuğun verileri ortak havuzda toplanarak korelasyon analizleri yapılmıştır (Çizelge 4.2). 5 tekrarlı maksimal ve 20 tekrarlı submaksimal dikey sıçrama testlerinden hesaplanan dikey bacak sertliği değerleri ile 8 km/saat ve %1 eğimde 8 km/saat sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen görece oksijen alım değerleri arasında orta düzeyde negatif yönde anlamlı bir ilişki bulundu. Bunun yanı sıra 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testi sırasında ölçülen bacak sertliği ve dikey bacak sertliği değerleri ile üç koşu testinde de ölçülen oksijen alım değerleri arasında orta düzeyde negatif yönde korelasyon olduğu tespit edildi.

Hem koşu bandında hem de dikey sıçramada ölçülen bacak sertliği ile oksijen alım değerleri arasında negatif korelasyonun bulunması, bacak sertlik özellikleri yüksek olan çocukların koşu ekonomilerinin de yüksek olduğu anlamına gelmektedir (Çizelge 4.2). Koşu ekonomisini değerlendirmek için yapılan test protokollerinde bireylerin test sırasında solunum değişim oranlarının (R) 1'in üzerine çıkmaması istenir. Bu sayede anaerobik enerji sisteminden kaynaklanan bileşenlerin test sırasında oksijen alımını mümkün olduğu kadar sınırlı oranda etkilemesi sağlanır. Anaerobik eşiğin altında sabit hızda yapılan koşular sırasında oksijen alım değerleri ne kadar düşük olursa o kadar ekonomik olduğu ifade edilir⁽²⁴²⁾. Koşu ekonomisi iyi olan sporcunun, submaksimal egzersiz şiddetinde daha az oksijen tüketerek egzersizi daha uzun süre sürdürebileceği belirtilmektedir⁽⁹⁾. Alt ekstremitte sertlik düzeyinin arttırılmasının dayanıklılık koşu performansının gelişmesinde önemli bir etken olduğu gösterilmiştir⁽²¹⁾. Araştırmacılar, koşu ekonomisinde bireyler arası varyasyonlar için çeşitli açıklamalar ileri sürmüşlerdir.

Yaş, cinsiyet⁽²³⁾, antrenman durumu⁽²⁴⁾, mekanik değişkenler (örneğin adım uzunluğu ve sıklığı, bacak uzunluğu, segmental kitlelerin dağılımı), substrat kullanımı

(192), kas fibril tiplerinin dağılımı, kalp atım hızı, dakika ventilasyon hacmi, dinlenme enerji metabolizması (26), kasın elastik enerjiyi depolayabilme ve serbest bırakabilme yeteneği olmak üzere koşu ekonomisi ile ilişkili olabilecek bir dizi faktör belirtilmektedir (27, 28). Koşu sırasında, bacağın sertlik özelliklerini etkileyen tendonlar ve ligamentler elastik enerji depoları olarak yapılan işe katkı sağlar. Kerdok ve arkadaşları (153), yüksek bacak sertliğine sahip olan bireylerin koşu sırasında enerji maliyetinin düşük olduğunu göstermişlerdir.

Çalışma bulgularımızla uyumlu olarak Heise ve Martin rekreasyonel koşucularında, sabit hızda submaksimal koşu sırasında ölçülen oksijen alım değerleri ile dikey bacak sertlik değerleri arasında negatif korelasyon ($r = -0.48$) olduğunu göstermişlerdir(243). Dalleau ve arkadaşları(238) orta mesafe koşucularında yaptıkları çalışmalarında, $\dot{V}O_{2max}$ 'a karşılık gelen koşu hızının %90'unda 4 dakikalık koşu sırasında koşucuların enerji maliyetleri ile dikey bacak sertliği değerleri arasında yüksek korelasyon olduğunu göstermişlerdir(238). Bacak sertliğinin iyi düzeyde olmasının, koşu esnasında depolanan elastik enerjinin kinetik enerjiye aktarılmasında avantaj sağladığı düşünülmektedir(22).

Çalışmamızda 5 tekrarlı maksimal ve 20 tekrarlı submaksimal dikey sıçrama testleri sırasında diz ekleminin hareket açıklığı gonyometre ile değerlendirildi. Hem maksimal hem de submaksimal dikey sıçrama testleri sırasında diz ekleme açısı ile bacak sertliği değerleri arasında negatif yönde korelasyon olduğu bulundu. Bu bulgu tekrarlı sıçramalarda diz fleksiyonu arttıkça dikey bacak sertliğinin azaldığını göstermektedir. Diz ekleme açısı koşu sırasında da dikey bacak sertliğini etkilemektedir. McMahon ve arkadaşları koşu sırasında bilerek kalça ve diz fleksiyonu abartıldığında, dikey sertliğin % 82 azalırken oksijen tüketiminin % 50 arttığını göstermişlerdir(244).

Gerek literatür bilgisinden gerekse çalışma bulgularımızdan yola çıkarak çocuklarda bacak sertliğinin koşu ekonomisini etkileyebilecek fizyolojik faktörlerden birisi olduğunu söyleyebiliriz.

5.2. Sabit Hızda Koşu Testleri Sırasında Ölçülen Mutlak ve Görece Adım Uzunluğu Değerleri ile Koşu Ekonomisi İlişkisi

8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen adım uzunluğu ve adım frekansı değerleri ile koşu ekonomisi değerleri arasında

anlamli iliŒki olmadığı tespit edildi. Öte yandan adım uzunluğu bacak uzunluğuna bölünerek normalize edildiğinde, elde edilen görece değerler ile koŒu ekonomisi arasında (üç test protokolünde de) pozitif korelasyon olduğu görüldü.

ÇalıŒmamızdan farklı olarak Rowland ve arkadaşları yaŒları 9 ile 14 arasında deęiŒen erkek çocuklarda yaptıkları çalıŒmalarında, submaksimal koŒu sırasında koŒu ekonomisi ($\dot{V}O_2$) değerleri ile adım frekansı ve görece adım uzunluğu (adım uzunluğu/bacak uzunluğu) arasında istatistiksel olarak anlamli iliŒki olmadığını göstermiŒlerdir ⁽³³⁾. Tartaruga ve arkadaşları profesyonel uzun mesafe koŒucularında koŒu ekonomisi ($ml\ kg^{-1}\ dak^{-1}$) ile adım uzunluğu ve görece adım uzunluğu arasında pozitif korelasyon olduğunu göstermiŒtir ⁽¹⁴²⁾. İyi antrenmanlı koŒucular optimum adım sıklığını ve adım uzunluğunu seçmede oldukça beceriklidirler. Kendi seçtikleri adım frekanslarının ve adım uzunluğunun % 3'ünden daha fazla deęiŒikliklerin, koŒu ekonomisini olumsuz etkilediği gösterilmiŒtir ^(120, 131). Öte yandan koŒu sırasında optimum adım uzunluğu ve sıklığının ayarlanması, antrenmansız kiŒilerde ve çocuklarda mümkün olmayabilir.

AraŒtırma bulgularımız sabit hızda koŒu sırasında çocukların adım uzunluğunun bacak uzunluklarına oranı azaldıkça daha ekonomik olduklarını göstermektedir. Çocukların koŒarken bacak boylarına oranla daha uzun adım atmaları daha fazla oksijen tüketmelerine neden oluyor olabilir. Cavanagh ve arkadaşları elit endurans koŒucuların diğer koŒuculara göre daha az dikey salınım gösterdiğini ve daha iyi koŒu ekonomisine sahip olduğunu bildirdi ⁽¹⁵⁵⁾. KoŒu sırasında adımların çok uzun olmasının, kütle merkezinin aŒırı dikey salınımına neden olacağı, ayağın yerle teması sırasında yerçekimine karŒı daha fazla frenleme kuvveti ve itme sırasında daha fazla güç gerektireceği düşünölmektedir ^(30, 70). ÇalıŒmamızda çocukların bacak uzunlukları ile üç koŒu testinde de oksijen alım değerleri arasında negatif korelasyon olduğu tespit edildi (Çizelge 4.5). Bu bulgu çocuklarda bacak boyunun uzun olmasının koŒu ekonomisinde avantaj sağladığını göstermektedir.

5.3. $\dot{V}O_{2max}$ 'ın Fraksiyonel Kullanımı ile Maksimal Kademeli Artan Koşu Testi Sırasında Ölçülen Değişkenlerin İlişkisi

Yapılan çalışmalarda koşu ekonomisinin, dayanıklılık koşu performansını belirleyen fizyolojik değişkenlerden bir tanesi olduğu gösterilmiştir^(7, 11, 69). Vücut kütlesi dikkate alındığında belirli bir hızda, koşu ekonomisi iyi olan koşucular koşu ekonomisi düşük olan koşuculardan daha az enerji ve dolayısıyla daha az oksijen kullanırlar⁽⁸⁾.

Koşu ekonomisi ve uzun mesafe koşu performansı arasında güçlü bir ilişki vardır^(245, 246). Benzer $\dot{V}O_{2max}$ değerlerine sahip elit koşucularda, koşu ekonomisinin $\dot{V}O_{2max}$ 'dan daha iyi bir performans göstergesi olduğu belirtilmektedir^(8, 11, 246). Yapılan araştırmalarda, antrenmanlı bireylerin antrenmansız veya daha az antrenmanlı bireylerden ve uzun mesafe koşucularının orta mesafe koşucularından daha ekonomik olduğu gösterilmiştir^(69, 247, 248). Endurans antrenmanlarıyla iskelet kasının aerobik kapasitesinde meydana gelebilecek artış, submaksimal koşu hızında mitokondriyal solunum zinciri başına daha az oksijen kullanılmasına imkan tanır⁽⁸⁾. Bu cevaplar koşu ekonomisinde gelişmelere neden olur^(8, 249).

Koşu ekonomisi ile aerobik dayanıklılık performansı arasındaki ilişkiyi değerlendirmek amacı ile 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri olmak üzere üç farklı protokoldeki oksijen alım değerleri $\dot{V}O_{2max}$ 'ın yüzdesi cinsinden hesaplanarak, elde edilen veri $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı ($\% \dot{V}O_{2max}$) olarak ifade edildi. Daha sonra $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı ile maksimal kademeli artan koşu testi sırasında ölçülen değişkenler arasında korelasyon analizi yapıldı. Yapılan analizler sonucunda, üç protokolde de $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı değerleri ile $\dot{V}O_{2max}$ arasında negatif yönde bir ilişkinin olduğu görüldü. Bu bulgu 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda 6 dakika süre ile koşu sırasında $\dot{V}O_{2max}$ 'ın ne kadar düşük yüzdesinde oksijen alımı gerçekleştiriliyorsa, çocukların o kadar yüksek $\dot{V}O_{2max}$ değerlerine sahip olduğunu işaret etmektedir. $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı ile maksimal kademeli artan koşu test performansı arasında negatif yönde bir ilişkinin görülmesi bu bulguyu desteklemektedir. Nitekim üç protokolde de $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı değerleri ile test sırasında ulaşılan maksimal koşu hızı ve test süresi arasında orta düzeyde negatif yönde bir ilişkinin olduğu görüldü.

Çalışmamızla uyumlu olarak literatürde prepubertal erkek çocuklarda koşu ekonomisi $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı olarak ifade edildiğinde, şiddeti kademeli

artan koşu bandı test süresi ile arasında güçlü negatif yönde ilişki ($r = 0.95$) olduğu gösterilmiştir⁽³³⁾.

Çalışma bulgularımızdan yola çıkarak 11 ila 14 yaş arası futbolcu çocukların koşu ekonomilerinin aerobik dayanıklılık performansları ile ilişkili olduğunu ifade edebiliriz. Cunningham, koşu ekonomisi (submaksimal $\dot{V}O_2$) ve $\dot{V}O_{2max}$ arasındaki pozitif korelasyon olduğunu ($r = 0,45$), yüksek $\dot{V}O_{2max}$ değerine sahip sporcuların daha az ekonomik olma eğiliminde olduklarını bildirmiştir. Öte yandan koşu ekonomisi $\dot{V}O_{2max}$ 'ın yüzdesi cinsinden ifade edildiğinde, koşu ekonomisi ile $\dot{V}O_{2max}$ arasında negatif korelasyon olduğu ($r=0,80$) gösterilmiştir⁽²⁵⁰⁾. Bizim çalışmamızda da benzer bulgularla, submaksimal $\dot{V}O_2$ değerleri ile $\dot{V}O_{2max}$ arasında pozitif yönde bir korelasyon olduğu, ancak koşu ekonomisi $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı olarak değerlendirildiğinde korelasyonun daha güçlü ve negatif yönde olduğu görülmüştür. Rowland ve arkadaşları yaşları 9 ile 14 arasında değişen erkek çocuklarda yaptıkları çalışmalarında, koşu ekonomisi (submaksimal $\dot{V}O_2$) ile $\dot{V}O_{2max}$ arasında anlamlı bir ilişki olmadığını bildirmişlerdir⁽³³⁾. Yapılan çalışmalarda benzer performansta ancak farklı $\dot{V}O_{2max}$ değerlerine sahip olan sporcular incelendiğinde, yüksek $\dot{V}O_{2max}$ değerleri olan koşucular zayıf koşu ekonomisi ile ilişkilendirilirken, daha düşük $\dot{V}O_{2max}$ sergileyen koşucular koşu sırasında oksijen tüketimini düşürerek yarıştıkları gösterilmiştir^(11, 69, 250, 251). Heise ve arkadaşları $\dot{V}O_{2pik}$ değerleri bakımından homojen olan rekreasyonel koşuculara yaptıkları çalışmalarında, sabit hızda submaksimal koşu sırasında koşu ekonomisi iyi olan koşucuların oksijenin fraksiyonel kullanım değerlerinin ($\dot{V}O_{2pik}$ 'in % 59) koşu ekonomisi kötü olan koşuculara kıyasla ($\dot{V}O_{2pik}$ 'in % 83) daha düşük olduğunu bildirmiştir⁽²⁴³⁾. Belirli şiddette yapılan egzersizler sırasında ölçülen oksijen alım değerlerini $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı cinsinden ifade ederek karşılaştırma yapılması, bireysel varyasyonların ortadan kaldırılarak yorumlama yapılmasında kolaylık tanıyabilir.

5.4. Bacak Sertliği ile Tekrarlı Sprint Performansı İlişkisi

Bacak sertliğinin, gerilme-kısalma döngüsü olarak ifade edilen dinamik tekrarlayan egzersizlerde performans ile yakından ilişkili olduğu gösterilmiştir⁽¹⁵²⁾. Sunulan çalışmada futbolcu çocukların bacak sertlikleri ile tekrarlı sprint yetenekleri

arasında ilişki olduğu görüldü. Sporcuların tekrarlı sprint yeteneğini değerlendirmek için kısa dinlenme aralıklarıyla (< 30 sn) kısa süreli (< 5 sn) sprintlerin maksimal hızda tekrarını içeren test protokolleri uygulanır⁽²⁵²⁾. Bu test protokollerinden tüm sprintlerin ortalaması, tekrarlı sprint yeteneğini değerlendirmek için kullanılır.

Performans düşüş yüzdesi ise ilk sprinte göre testin tamamını dikkate alınarak sprint performansının ne kadar düştüğünü değerlendirmek için hesaplanır. Çalışmamızda 20 saniye aktif dinlenme aralıklarıyla 20 metrelik maksimal sprintlerin 10 kez tekrarlandığı bir test protokolü uyguladık. Yapılan korelasyon analizleri sonucunda hem maksimal hem de submaksimal dikey sıçrama sırasında ölçülen dikey bacak sertliği değerlerinin ortalama sprint zamanı ile negatif yönde ilişkisi olduğu görüldü. Dolayısıyla dikey bacak sertlik özellikleri yüksek olan futbolcu çocukların tekrarlı sprint performanslarının da yüksek olduğunu söyleyebiliriz. Bunun yanı sıra 8 km/saat koşu testi bacak sertliği ve dikey bacak sertliği değerleri ile ortalama sprint zamanı arasında negatif ilişki olduğu bulunmuştur.

Sıçrama testleri sırasında dikey bacak sertliği değerleri ile performans düşüş yüzdesi değerleri arasında anlamlı bir ilişki bulunamadı. Öte yandan 8 km/saat ve %1 eğimde 8 km/saat koşu testleri sırasında bacak sertliği ve dikey bacak sertliği değerleri ile performans düşüş yüzdesi değerleri arasında negatif korelasyon bulundu. Literatürde tekrarlı sprint performansı ile bacak sertlik özelliklerini araştıran çalışmaya rastlanmamıştır.

Tekrarlı sprint testi sırasında ölçülen en iyi 20 metrelik sprint zamanı ile maksimal dikey sıçrama testi bacak sertliği değerleri arasında negatif korelasyon olduğu görülmüştür. Bu bulgu maksimal dikey bacak sertlik özelliklerinin maksimal hızı da etkileyebileceğini düşündürmektedir. Literatürde bu düşüncüyü destekleyen araştırmacılar bulunmaktadır⁽²⁵³⁾. Meyers ve arkadaşlarının⁽²⁵³⁾ 11 ila 16 yaş arası erkek çocuklarda yaptıkları çalışmalarında, 30 m sprint koşusu sırasında ölçülen dikey bacak sertliği değerleri ile 30 m maksimal sprint hızı arasında yüksek korelasyon olduğunu göstermişlerdir. Benzer şekilde Chelly ve Denis⁽¹⁵¹⁾, 16 yaşında erkek hentbolcularda submaksimal dikey sıçrama bacak sertliği değerleri ile 40 m maksimal sprint hızı arasında yüksek korelasyon olduğunu bulmuşlardır. Araştırmacılar koşu hızı arttıkça dikey bacak sertliğinin de arttığını bildirmişlerdir^(151, 198, 240, 241). Daha fazla sertliğe sahip olan kişilerin, eklem açısı değişiminin en az olduğu sprint gibi hızlı gerilme-kısalma döngüsü

aktiviteler sırasında, elastik enerjinin daha hızlı salındığı düşünülmektedir⁽²⁴⁰⁾. Diz fleksiyonu arttıkça bacak yayının sertliği azalır⁽²⁴⁴⁾. Yüksek düzeyde dikey sertliğe sahip olmanın, alt ekstremitenin zeminle temas ettiği eksantrik fazı sırasında kütle merkezinin fazla yer değiştirmesine direnmesine yardımcı olurken, itme (konsantrik faz) sırasındaki kuvvet üretimini artırarak koşu performansını yükselttiği düşünülmektedir⁽²⁴⁰⁾.

Bacak sertliğinin yanı sıra gerilme-kısalma döngüsü aktiviteleri değerlendirmenin bir başka yöntemi, reaktif kuvvet indeksidir^(15, 209, 240). Reaktif kuvvet indeksi, sıçrama yüksekliği ile yerle temas süresi arasındaki oranı ifade eder⁽¹⁶¹⁾ ve bireyin eksantrik kasılmadan konsantrik kasılmaya hızla geçebilme yeteneğini temsil eder^(163, 240). Sunulan çalışmada maksimal dikey bacak sertliğinin yanı sıra maksimal dikey sıçrama testi verilerinden hesaplanan reaktif kuvvet indeksi değerleri ile en iyi sprint zamanı ve ortalama sprint zamanı arasında negatif yönde yüksek düzeyde korelasyon bulundu. Çocuklarda dikey sertlik özelliklerinin yüksek olması, maksimal sprint sırasında elastik enerjinin daha hızlı salınmasında avantaj sağlayarak maksimal hızı olumlu etkileyebilir.

5.5. Maksimal Kademeli Artan Koşu Testi Sırasında Ölçülen Değişkenlerin Gruplar Arası Karşılaştırılması

Sunulan çalışmada, düzenli olarak antrenman yapan müsabık farklı yaş gruplarındaki futbolcu çocuklara maksimal kademeli artan koşu testi yapılarak, sporcuların aerobik kapasitelerinin düzeyinin kronolojik yaşla birlikte farklılık gösterip göstermediği sorusuna cevap aranmıştır. $\dot{V}O_{2max}$ 'ın mutlak değerinin yaşla birlikte arttığı, öte yandan $\dot{V}O_{2max}$ değerleri vücut ağılığına normalize edildiğinde bu farkın ortadan kaybolduğu görülmüştür. U12, U13 ve U14 gruplarının maksimal kademeli artan koşu testi sırasında ulaştıkları maksimal koşu hızı ve test süreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farkın bulunmamış olması, grupların aerobik dayanıklılık kapasitelerinin düzeyinin benzer olduğunu düşündürmektedir. Maksimal kalp atım hızı ve maksimal solunum değişim oranı değerlerinin gruplar arasında anlamlı farklılığın olmaması, şiddeti kademeli olarak artan egzersiz testi sırasında tüm sporcuların sınırlarını zorlayarak kendilerini tükettiklerini işaret emektedir. Çalışmamıza katılan çocukların spor (futbol) geçmişlerinin en az bir yıl olduğu ve liglerinin gereği antrenmanlarının yanı sıra her hafta maç yapıyor olmaları göz önünde bulundurulduğunda, aerobik kapasitenin düzeyinin

belirlenmesinde sadece kronolojik yaşın değil antrenman düzeyinin de önemli olabileceği düşünülebilir. Nitekim U11, U12, U13 ve U14 ligleri yaklaşık olarak 6 aylık bir süreyi kapsamaktadır.

5.6. Sabit Hızda Koşu Testleri Sırasında llen Değişkenlerin Gruplar Arası Karşılaştırılması

Sporcuların koşu ekonomilerini değerlendirmek amacıyla 6 dakika süre ile 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu olmak üzere üç farklı test protokolü uygulanmıştır. U11, U12, U13 ve U14 gruplarının 8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat sabit hızda koşu testleri sırasında llen görece oksijen alım değerleri arasında anlamlı farklılık bulunmamış olması, farklı yaşlardaki dört grubunda koşu ekonomilerinin benzer düzeyde olduğunu göstermiştir.

$\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımının, üç farklı protokolde de gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olmadığının tespit edilmiş olması, çalışmamıza katılan farklı yaş gruplarındaki futbolcu çocukların aerobik dayanıklılık düzeylerinin benzer düzeyde olduğunu desteklemektedir. Birçok çalışmada çocukların yetişkinlere kıyasla daha kötü koşu ekonomisine sahip olduğu gsterilmiştir^(31, 32, 34). Çocuklarda büyümeyle birlikte dayanıklılık performansının sürekli olarak geliştiği, bu gelişim kısmen koşu ekonomisinin de gelişimini olumlu yönde etkilediği dşnlmektedir^(10, 11, 24, 32). Öte yandan⁽¹¹⁵⁾ çocuklarda gözlenen yüksek submaksimal oksijen alımının vücut byklğindeki farklılıklarla ilgili olduğu, sadece yaş ilerledikçe büyüme ve olgunlaşma ile ilgili olmadığını belirtilmektedir.

Araştırmacılar ocukların oksijen alımının vücut ağırlığına bölünerek yetişkinlerle karşılaştırma yapılmasının, çocuklarda dezavantaj oluşturduğunu belirtmektedirler^(114, 115, 237). Bu neden koşu ekonomisini beden ölüsünün etkilerinden arındırılmış olarak belirlemek için, beden ölüsünün etkisini alometrik yöntemle araştıran çalışmalar bulunmaktadır^(114, 115, 237, 254). Allometrik modellemeler fizyolojik değişken ile vücut büyüklüğü değişkeni arasındaki ilişkiyi açıklamak için kullanılmaktadır.

Yapılan allometrik incelemeler sonucu çocuklarda oksijen alımının vücut ağırlığının 0,75'ne bölünerek ($ml\ kg^{-0.75}\ dak^{-1}$) normalize edilmesinin daha doğru sonuçlar verdiği gsterilmiştir^(115, 116, 255, 256). Futbolcu ocukların oksijen alımlarını

allometrik skala sonuçlarına göre vücut ağırlığının 0,75 ile normalize ettiğimizde sonuçların değişmediği görüldü. Çalışmamızda çocukların pubertal dönemlerini değerlendirmedeğimiz için, bulgularımız kronolojik yaşa göre veriyoruz ve ölçülen değişkenlerin puberteden etkilenip etkilenmediğine dair yorum yapamıyoruz.

Öte yandan çalışmamızda olgunlaşma ölçüsünü, antropometrik değişkenler kullanılarak pik uzama hızından yılların tahmin edilmesine yönelik noninvaziv bir yöntemle değerlendirdik^(257, 258, 259). Somatik büyümenin yaygın ölçütleri arasında boylamsal büyüme eğrilerinin değerlendirilmesi ve pik boy uzama hızında yaş tahmini yer alır⁽²²⁸⁾. Boy uzunluğunda ergenlik sırasındaki maksimum büyüme hızına “pik uzama hızı” ve bu hıza ulaşılan yaşa da “pik uzama hızı yaşı ” denilmektedir. Pik uzama hızı yaşı, ergenlik dönemindeki büyüme hızının zamanlaması hakkında bilgi verir ve olgunlaşmanın belirtisi olarak kabul edilir^(182, 228).

Çalışmamızda yapılan hesaplamalar sonucunda U14 yaş grubunda 7 çocuğun pik uzama hızının ilerisinde olduğu, geriye kalan bütün çocukların olması gereken pik uzama hızlarının gerisinde olduğu tespit edildi. 5.2–9.3 yaş⁽²⁶⁰⁾, 9.9–16.8 yaş⁽¹⁸⁷⁾ ve 13–27 yaş⁽²³⁾ arası bireylerle ilgili boylamsal (longitudinal) araştırmalarda, yaşla birlikte koşu ekonomisinin arttığı gösterilmiştir. Bu nedenle genellikle yetişkinlerin çocuklardan daha yüksek koşu ekonomisine sahip oldukları kabul edilir^(10, 23, 25, 31, 190, 261). Bununla birlikte literatürde ölçtüğümüz değişkenlerin puberteden etkilenmediğini gösteren çalışmalar bulunmaktadır^(262, 263, 264). Segers ve arkadaşları⁽²⁶³⁾, 14,3 yaş futbolcu çocuklarda yaptıkları çalışmalarında, puberteye giren ve girmeyen çocukların koşu ekonomileri, $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı ve $\dot{V}O_{2max}$ değerleri arasında anlamlı fark olmadığını bulmuşlardır. Armstrong ve arkadaşları 12,2 ± 0,4 yaş 97 erkek ve 97 kız çocuklarında, oksijen alımı vücut kütlelerine ya da allometrik bir oran kullanılarak normalize edildiğinde olgunlaşmanın sabit şiddette submaksimal egzersize $\dot{V}O_2$ yanıtı üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını göstermiştir⁽¹⁹⁶⁾. Çalışma bulgularımız 11 ila 14 yaş aralığının, çocukların büyüme ve gelişmelerinin performansta belirgin farklılıklar sağlayacak kadar geniş olmadığını düşündürmektedir.

8 km/saat, %1 eğimde 8 km/saat ve 9 km/saat olmak üzere üç farklı test protokolünde de U11 grubunun U14 grubuna kıyasla adım frekanslarının daha yüksek adım uzunluklarının istatistiksel olarak daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Çocukların yaş farklarına bağlı olarak boy ve bacak uzunluklarındaki farklılıklar göz önünde

bulundurulduğunda bu beklenen bir bulgudur. Nitekim çocukların adım uzunlukları bacak uzunluklarına normalize edildiğinde, üç test protokolünde de bu farkın ortadan kalktığı görülmektedir. Segers ve arkadaşları erken ve geç olgunlaşan futbolcu çocuklarda yaptıkları çalışmalarında, 8, 9,5 ve 11 km/saat sabit hızda koşu esnasında iki grubun adım uzunlukları ve adım frekansları arasında anlamlı fark olmadığını tespit etmişlerdir. Öte yandan adım uzunluğu bacak uzunluğunun yüzdesi olarak hesaplandığında, geç olgunlaşanların erken olgunlaşanlara kıyasla bacak uzunluklarının daha kısa olması nedeni ile görece daha uzun adım attıklarını bildirmişlerdir^(262, 263, 264). Bizim çalışmamızda ise futbolcu çocukların bacak uzunluklarındaki farklılığı adım frekansını arttırarak telafi ettiği görülmektedir. Bulgularımızı destekler şekilde Unnithan ve arkadaşları çocuklarda bacak boyunun kısa olmasından dolayı koşu hızı arttıkça adım uzunluğundan ziyade adım sıklığının arttığını göstermişlerdir⁽²⁵⁾. Sabit hızda yapılan koşular sırasında adım frekansı ve adım uzunluğunun ters orantılı olması beklenir. Nitekim bulgularımızda da bu ters orantı görülmüştür. Öte yandan koşu hızı arttırılırken adım frekansı yerine adım uzunluğunun arttırılmasının daha ekonomik olduğu bildirilmiştir^(11, 25, 131). Sabit koşu hızında daha yüksek adım frekansının daha yüksek oksijen alımı ile orantılı olduğu ifade edilmektedir⁽²⁵⁾.

Çalışmamızda adım başına tüketilen oksijen miktarını değerlendirmek için, sabit hızda koşu testleri sırasında ölçülen oksijen alım değerleri adım frekansına ($\text{ml kg}^{-1} \text{ adım}^{-1}$) bölünerek normalize ettik. Adım başına oksijen alım değerleri karşılaştırıldığında, üç test protokolünde de gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olmadığı görüldü. Adım başına oksijen alımı yetişkinlerle çocuklar arasındaki antropometrik farklılıkların ortadan kaldırılarak karşılaştırma yapılmasına imkan tanıyabilir. Unnithan ve Eston çalışmalarında, submaksimal koşu sırasında (7,2 – 8 – 8,8 ve 9,6 km/saat) oksijen alımı ve $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 'ın fraksiyonel kullanımının çocuklarda (9-10 yaş) yetişkinlere (18-25 yaş) kıyasla daha yüksek olduğunu, adım başına oksijen alım değerleri ($\text{ml kg}^{-1} \text{ adım}^{-1}$) karşılaştırıldığında ise aralarında anlamlı fark olmadığını göstermişlerdir⁽²⁵⁾. Çalışmalarında çocukların yetişkinlere kıyasla adım frekanslarının daha yüksek, adım uzunluklarının daha düşük olduğunu bildirmişlerdir⁽²⁵⁾.

5.7. Bacak Sertliği ve Tekrarlı Sprint Performansının Gruplar Arası Karşılaştırılması

Futbolcu çocukların dikey bacak sertliğini değerlendirmek amacıyla 5 tekrarlı maksimal dikey sıçrama testi ve 20 tekrarlı submaksimal dikey sıçrama testi olmak üzere iki farklı test protokolü uygulanmıştır. Maksimal dikey sıçrama testi bacak sertliği değerlerinin gruplar arasında anlamlı farklılık olmadığı görülmüştür.

Submaksimal dikey sıçrama testi bacak sertliği değerlerinde ise U14 grubunun U11'den anlamlı olarak yüksek olduğu, diğer gruplar arasında anlamlı farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Maksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen yerle temas süresi değerleri ile submaksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen havada kalış süresi ve yerle temas süresi değerlerinin gruplar arası karşılaştırmasında aralarında anlamlı farklılık görülmemiştir. Ayrıca maksimal ve submaksimal dikey sıçrama testleri sırasında diz eklem açısı değerlerinin gruplar arasında anlamlı farklılık göstermediği tespit edildi. Çalışmamızda 5 tekrarlı maksimal dikey sıçrama testi verilerinden hesaplanan reaktif kuvvet indeksi değerlerinin, gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olmadığı görülmüştür. Bu bulgular futbolcu çocukların dikey sıçrama sırasında bacak sertlik özelliklerinin 11 ila 14 yaş aralığında, yaşla birlikte önemli ölçüde değişmediğini düşündürmektedir.

Futbolcu çocukların bacak sertliği, sabit hızda koşu testleri sırasında da değerlendirildi. Bacak sertliği ve dikey bacak sertliği değerlerinin, 8 km/saat sabit hızda koşu testinde U12 ve U14 gruplarının U11 grubuna göre yüksek olduğu, %1 eğimde 8 km/saat sabit hızda koşu testinde U14 grubunun U11 göre yüksek olduğu ve 9 km/saat sabit hızda koşu testinde U14 grubunun U11 ve U13 gruplarına göre istatistiksel olarak yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bacak sertliğine katkıda bulunan nörofizyolojik mekanizmalar arasında elastik enerjinin depolanması ve tekrar kullanılması⁽²¹⁰⁾, nöral aktivasyonun artması (kuvvetlendirme)⁽²⁶⁵⁾ ve gerim refleksi katkısı bulunmaktadır⁽¹⁷⁾. Çocuklarda intrafusal lif gelişimi ve refleksi kontrol mekanizmaları gibi faktörlerin büyümeden etkilendiği düşünölmektedir^(208, 266).

Gerim refleksi⁽²⁶⁷⁾ ve elastik enerji⁽²⁶⁸⁾ kullanımının ergenlik öncesi çocuklarda daha büyük çocuklara kıyasla daha az etkili olduğu düşünölmektedir. Literatür incelendiğinde farklı sonuçlar bulan çalışmalar olduğu görölmektedir. Yapılan araştırmalarda test protokollerinin farklılığının sonuçları etkileyebileceğini

söyleyebiliriz. Bazı araştırmalarda bacak sertliği, sprint tarzı yüksek hızlarda koşu sırasında değerlendirilmiştir. Öte yandan literatürde hem submaksimal koşu sırasında hem de dikey sıçrama sırasında bacak sertlik özelliklerini araştıran çalışmaya rastlanmamıştır. Meyers ve arkadaşları⁽²⁵³⁾ erkek çocuklarda yaptıkları çalışmalarında, maksimal sprint koşusu sırasında ölçülen dikey bacak sertliği değerlerinin 12 ve 13 yaşları arasında anlamlı farklılık olmadığını, 14 yaş grubunun 12 yaş grubundan anlamlı olarak yüksek olduğunu göstermişlerdir. Lloyd ve arkadaşları⁽¹⁸⁾, bizim çalışmamıza benzer submaksimal dikey sıçrama testi protokolü yaptıkları çalışmalarında, 9 yaş ile 12 yaş gruplarının bacak sertliği değerleri arası anlamlı farklılık olmadığını, 15 yaş grubunun istatistiksel olarak en yüksek değerlere sahip olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca çalışmalarında 5 tekrarlı maksimal dikey sıçrama testi sırasında ölçülen reaktif kuvvet indeksi değerlerinin, 12 ve 15 yaş grubu çocuklarda 9 yaş grubu çocuklara kıyasla daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir⁽¹²²⁾. Rumpf ve arkadaşları erkek çocuklarını pik uzama hızı öncesi (10.6 ± 1.63 yaş), pik uzama hızı ortası (14.9 ± 0.32 yaş) ve pik uzama hızı sonrası (15.1 ± 0.33 yaş) olarak sınıflandırdıkları çalışmalarında, koşu bandında sprint koşusu sırasında ölçülen dikey bacak sertliğinin olgunlaşma ile arttığını bildirmişlerdir⁽¹⁹⁶⁾. Öte yandan bu çalışmalarda yaş aralığının çok geniş olduğu ve denek grubunu oluşturan çocukların sporculardan oluşmadığı dikkati çekmektedir. Bizim çalışmamızda çalışmaya katılan futbolcu çocukların yaşları arasında yukarıda bahsi geçen çalışmalar kadar geniş bir aralık bulunmamaktadır. Ancak çalışmamızda yaş aralığının submaksimal sıçramalar sırasında ve sabit hızda submaksimal koşular sırasında bacak sertliği değerlerini etkilediği görülmektedir.

Sporcuların tekrarlı sprint yeteneklerini değerlendirmek amacıyla, 20 saniye aktif dinlenme aralıklarıyla 20 metrelik maksimal sprintlerin 10 tekrarından oluşan bir test protokolü uygulanmıştır. Performans düşüş yüzdesi ve ortalama sprint zamanı ile değerlendirilen tekrarlı sprint performansının ve en iyi sprint zamanı ile değerlendirilen maksimal sprint performansının U12, U13 ve U14 grupları arasında istatistiksel olarak benzer düzeyde olduğu görülmüştür.

Öte yandan tekrarlı sprint performansının ve performans düşüş yüzdesinin U11 grubunda diğer gruplara göre daha düşük olduğu, 20 m maksimal sprint performansının ise U13 ve U14 gruplarından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Meyers ve arkadaşları⁽²⁵³⁾ 30 m sprint performansının 12 ve 13 yaş arasında benzer olduğu, 14 yaş

grubunun 12 yaş grubundan daha iyi olduğunu bildirmişlerdir. Rumpf ve arkadaşları maksimum hızın olgunlaşma ile birlikte arttığını bildirmiştir⁽¹⁹⁶⁾. Sprint performansının büyüme ve gelişme ile artması beklenen bir sonuçtur, yaş aralığı arttıkça performanstaki fark artabilir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sonuç olarak çalışmamızda U11, U12, U13 ve U14 futbol liglerinde top oynayan çocukların hem dikey sıçrama sırasında hem de düşük hızda koşu sırasında bacak sertliği ile koşu ekonomisinin ilişkili olduğu görülmüştür. Bulgularımız bacak sertlik düzeyi iyi olan futbolcu çocukların koşu ekonomilerinin de iyi düzeyde olacağını işaret etmektedir. Ayrıca bulgularımız yüksek düzeyde dikey bacak sertlik özelliklerinin, tekrarlı sprintlerin yanı sıra sürat performansını da olumlu yönde etkileyebileceğini göstermektedir. Çocuklarda dikey sertlik özelliklerinin yüksek olması, elastik enerjinin daha hızlı salınmasında avantaj sağlayarak; düşük şiddetli koşu sırasında enerji maliyetinin düşük olmasına neden olabilir, sprint sırasında maksimal hızı olumlu etkileyebilir.

Sabit hızda submaksimal koşu sırasında adım uzunluğu bacak uzunluğu ile normalize edildiğinde, elde edilen görece değerler ile oksijen alım değerleri arasında pozitif korelasyon olduğu görüldü. Bu sonuçlar submaksimal koşu sırasında çocukların adım uzunluğunun bacak uzunluklarına oranının yüksek olması, koşu ekonomisinde dezavantaj sağladığını göstermektedir.

Futbolcu çocukların, koşu ekonomisini değerlendirmek amacıyla yapılan 6 dakikalık submaksimal koşu testlerinde $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımı değerleri ile VO_{2max} ve maksimal kademeli artan koşu test performansı arasında negatif yönde bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Çocuklarda solunum değişim oranının birin altında olduğu düşük şiddetli koşu sırasında $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanımının düşük olması, aerobik kapasitelerinin yüksek olduğunu işaret edebilir. Çocuk sporcularda, submaksimal koşu testlerinde ölçülen $\dot{V}O_{2max}$ 'ın fraksiyonel kullanım değerleri, aerobik dayanıklılığın değerlendirilmesinde kullanılabilir.

$\dot{V}O_{2max}$, koşu ekonomisi, adım başına oksijen alım değerleri ve VO_{2max} 'ın fraksiyonel kullanımı değerlerinin, dört yaş grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığın görülmemiş olması, çalışmamıza katılan 11, 12, 13 ve 14 yaş gruplarındaki futbolcu çocukların aerobik kapasitelerinin benzer düzeyde olduğunu işaret etmektedir. Değişkenler vücut ağırlığı ile normalize edildiğinde, sporcu çocuklarda 11 ila 14 yaş aralığının, büyüme ve gelişimin aerobik dayanıklılık düzeylerinde belirgin artışlar sağlayacak kadar geniş olmadığını düşündürmektedir.

Çocukların koşu ekonomisi ve bacak sertlik özelliklerinin değerlendirilmesi, alt yapı antrenörlerine yetenek seçiminin yanı sıra yaş gruplarına göre performans beklentilerinin anlaşılmasında ve sonrasında bu beklentilerin karşılanmasına yönelik antrenman programlarının hazırlanmasında önemli katkılar sağlayabilir. Koşu sırasında alt ekstremiteye ilave olarak üst ekstremitenin de hareket örüntüsü analiz edilerek koşu ekonomisine etkisinin araştırılması gerekmektedir. Çalışmamızın sonuçlarından yola çıkarak sporcu çocuklarda antrenmanların bacak sertliği ve koşu ekonomisi ilişkisine etkisinin araştırıldığı ayrıntılı çalışmaların yapılması gerektiğini düşünmekteyiz.

7. KAYNAKLAR

1. Bangsbo, J., *The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise*. Acta Physiol Scand Suppl, 1994. **619**: p. 1-155.
2. Stolen, T., et al., *Physiology of soccer: an update*. Sports Med, 2005. **35**(6): p. 501-36.
3. Bangsbo, J., *Physiological demands of football*. Sports Science Exchange, 2014. **27**: p. 1-6.
4. Bangsbo, J., F.M. Iaia, and P. Krstrup, *Metabolic response and fatigue in soccer*. Int J Sports Physiol Perform, 2007. **2**(2): p. 111-27.
5. Drust, B., T. Reilly, and N.T. Cable, *Physiological responses to laboratory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise*. J Sports Sci, 2000. **18**(11): p. 885-92.
6. Segers, V., et al., *Running economy in early and late maturing youth soccer players does not differ*. Br J Sports Med, 2008. **42**(4): p. 289-94.
7. Conley, D.L. and G.S. Krahenbuhl, *Running economy and distance running performance of highly trained athletes*. Med Sci Sports Exerc, 1980. **12**(5): p. 357-60.
8. Saunders, P.U., et al., *Factors affecting running economy in trained distance runners*. Sports Med, 2004. **34**(7): p. 465-85.
9. Petray, C.K. and G.S. Krahenbuhl, *Running Training, Instruction on Running Technique, and Running Economy in 10-Year-Old Males*. Research Quarterly for Exercise and Sport, 1985. **56**(3): p. 251-255.
10. Daniels, J. and N. Oldridge, *Changes in oxygen consumption of young boys during growth and running training*. Med Sci Sports, 1971. **3**(4): p. 161-5.
11. Morgan, D.W., P.E. Martin, and G.S. Krahenbuhl, *Factors affecting running economy*. Sports Med, 1989. **7**(5): p. 310-30.
12. Oliver, J.L., et al., *Altered neuromuscular control of leg stiffness following soccer-specific exercise*. Eur J Appl Physiol, 2014. **114**(11): p. 2241-9.
13. Mohr, M., P. Krstrup, and J. Bangsbo, *Fatigue in soccer: A brief review*. Journal of sports sciences, 2005. **23**: p. 593-9.
14. Komi, P.V., *Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle*. J Biomech, 2000. **33**(10): p. 1197-206.
15. Lloyd, R.S., et al., *Reliability and validity of field-based measures of leg stiffness and reactive strength index in youths*. J Sports Sci, 2009. **27**(14): p. 1565-73.
16. Jan van Ingen Schenau, G., M. Bobbert, and A. Haan, *Mechanics and Energetics of the Stretch-Shortening Cycle: A Stimulating Discussion*. Vol. 13. 1997. 484-496.
17. Komi, P.V. and A.J.J.o.a.b. Gollhofer, *Stretch reflexes can have an important role in force enhancement during SSC exercise*. 1997. **13**(4): p. 451-460.
18. Lloyd, R.S., et al., *Age-related differences in the neural regulation of stretch-shortening cycle activities in male youths during maximal and sub-maximal hopping*. J Electromyogr Kinesiol, 2012. **22**(1): p. 37-43.
19. Wilson, J.M. and E.P. Flanagan, *The Role of Elastic Energy in Activities with High Force and Power Requirements: A Brief Review*. Journal of Strength and Conditioning Research, 2008. **22**(5): p. 1705-1715.
20. Dalleau, G., et al., *A simple method for field measurements of leg stiffness in hopping*. International Journal of Sports Medicine, 2004. **25**(3): p. 170-176.
21. Brazier, J., et al., *Lower Extremity Stiffness: Effects on Performance and Injury and Implications for Training*. Strength and Conditioning Journal, 2014. **36**(5): p. 103-112.
22. L. Latash, M. and V. Zatsiorsky, *Joint stiffness: Myth or reality?* Vol. 12. 1993. 653-692.
23. Ariëns, G.A.M., et al., *The longitudinal development of running economy in males and females aged between 13 and 27 years: The Amsterdam Growth and Health Study*. 1997. **76**(3): p. 214-220.
24. Daniels, J., et al., *Differences and changes in VO₂ among young runners 10 to 18 years of age*. Med Sci Sports, 1978. **10**(3): p. 200-3.
25. Unnithan, V.B. and R.G.J.P.E.S. Eston, *Stride frequency and submaximal treadmill running economy in adults and children*. 1990. **2**(2): p. 149-155.
26. Frost, G., et al., *Explaining differences in the metabolic cost and efficiency of treadmill locomotion in children*. J Sports Sci, 2002. **20**(6): p. 451-61.

27. Bailey, S.P. and R.R. Pate, *Feasibility of improving running economy*. Sports Med, 1991. **12**(4): p. 228-36.
28. M Turner, A., M. Owings, and J. A Schwane, *Improvement in Running Economy After 6 Weeks of Plyometric Training*. Vol. 17. 2003. 60-7.
29. Fletcher, J.R., S.P. Esau, and B.R. MacIntosh, *Changes in tendon stiffness and running economy in highly trained distance runners*. Eur J Appl Physiol, 2010. **110**(5): p. 1037-46.
30. Anderson, T., *Biomechanics and running economy*. Sports Med, 1996. **22**(2): p. 76-89.
31. Maliszewski, A.F. and P.S. Freedson, *Is Running Economy Different between Adults and Children?* 1996. **8**(4): p. 351-360.
32. Rowland, T.W. and G.M. Green, *Physiological responses to treadmill exercise in females: adult-child differences*. Med Sci Sports Exerc, 1988. **20**(5): p. 474-8.
33. Rowland, T.W., et al., *Submaximal aerobic running economy and treadmill performance in prepubertal boys*. Int J Sports Med, 1988. **9**(3): p. 201-4.
34. Krahenbuhl, G.S. and T.J. Williams, *Running Economy - Changes with Age during Childhood and Adolescence*. Medicine and Science in Sports and Exercise, 1992. **24**(4): p. 462-466.
35. Bloomfield, J., R. Polman, and P. O'Donoghue, *Physical Demands of Different Positions in FA Premier League Soccer*. Journal of sports science & medicine, 2007. **6**: p. 63-70.
36. Bangsbo, J., M. Mohr, and P. Krusturup, *Bangsbo J, Mohr M, Krusturup P. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player*. J Sports Sci.24(7):665-74. Journal of sports sciences, 2006. **24**: p. 665-74.
37. Aslan, A., et al., *Metabolic demands of match performance in young soccer players*. Journal of sports science & medicine, 2012. **11**(1): p. 170-179.
38. Ali, A. and M. Farrally, *Recording soccer players' heart rates during matches*. J Sports Sci, 1991. **9**(2): p. 183-9.
39. Condessa, L., et al., *Analysis and comparison of intensity in specific soccer training sessions*. Motriz. Revista de Educação Física, 2015. **21**: p. 54.
40. Eniseler, N., *Heart rate and blood lactate concentrations as predictors of physiological load on elite soccer players during various soccer training activities*. J Strength Cond Res, 2005. **19**(4): p. 799-804.
41. Helgerud, J., et al., *Aerobic endurance training improves soccer performance*. Med Sci Sports Exerc, 2001. **33**(11): p. 1925-31.
42. Krusturup, P., et al., *Physical demands during an elite female soccer game: importance of training status*. Med Sci Sports Exerc, 2005. **37**(7): p. 1242-8.
43. Krusturup, P., et al., *Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance*. Med Sci Sports Exerc, 2006. **38**(6): p. 1165-74.
44. Mohr, M., et al., *Muscle temperature and sprint performance during soccer matches--beneficial effect of re-warm-up at half-time*. Scand J Med Sci Sports, 2004. **14**(3): p. 156-62.
45. Andrzejewski, M., et al., *Sprinting Activities and Distance Covered by Top Level Europa League Soccer Players*. International Journal of Sports Science and Coaching, 2015. **10**: p. 39-50.
46. Reilly, T., J. Bangsbo, and A. Franks, *Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer*. J Sports Sci, 2000. **18**(9): p. 669-83.
47. Di Salvo, V., et al., *Performance characteristics according to playing position in elite soccer*. Int J Sports Med, 2007. **28**(3): p. 222-7.
48. Mohr, M., P. Krusturup, and J. Bangsbo, *Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue*. J Sports Sci, 2003. **21**(7): p. 519-28.
49. Bradley, P.S., et al., *High-intensity activity profiles of elite soccer players at different performance levels*. J Strength Cond Res, 2010. **24**(9): p. 2343-51.
50. Rienzi, E., et al., *Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players*. J Sports Med Phys Fitness, 2000. **40**(2): p. 162-9.
51. Vigne, G., et al., *Activity profile in elite Italian soccer team*. Int J Sports Med, 2010. **31**(5): p. 304-10.
52. Haugen, T., et al., *The role and development of sprinting speed in soccer*. Int J Sports Physiol Perform, 2014. **9**(3): p. 432-41.
53. Hoff, J. and J. Helgerud, *Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations*. Sports Med, 2004. **34**(3): p. 165-80.
54. Faude, O., T. Koch, and T. Meyer, *Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football*. J Sports Sci, 2012. **30**(7): p. 625-31.

55. Mero, A., P.V. Komi, and R.J. Gregor, *Biomechanics of sprint running. A review*. Sports Med, 1992. **13**(6): p. 376-92.
56. Rampinini, E., et al., *Variation in top level soccer match performance*. Int J Sports Med, 2007. **28**(12): p. 1018-24.
57. Turner, A. and P. Stewart, *Repeat Sprint Ability*. STRENGTH AND CONDITIONING JOURNAL, 2013. **35**: p. 37-41.
58. Trapattoni, G. and S. Polimanti, *Coaching high performance soccer*. 1999, Spring city; Città di Castello: Reedswain ; Nuova Prhomos.
59. Paton, C.D., W.G. Hopkins, and L. Vollebregt, *Little effect of caffeine ingestion on repeated sprints in team-sport athletes*. Med Sci Sports Exerc, 2001. **33**(5): p. 822-5.
60. Iaia, F., E. Rampinini, and J. Bangsbo, *High-Intensity Training in Football*. International journal of sports physiology and performance, 2009. **4**: p. 291-306.
61. Bangsbo, J. and F. Lindquist, *Comparison of various exercise tests with endurance performance during soccer in professional players*. Int J Sports Med, 1992. **13**(2): p. 125-32.
62. Krustup, P., et al., *The yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity*. Med Sci Sports Exerc, 2003. **35**(4): p. 697-705.
63. Wisloff, U., J. Helgerud, and J. Hoff, *Strength and endurance of elite soccer players*. Med Sci Sports Exerc, 1998. **30**(3): p. 462-7.
64. Ogushi, T., et al., *Work Intensity during Soccer Match Play (a Case-Study)*. Science and Football II, 1993: p. 121-123.
65. Stroyer, J., L. Hansen, and K. Klausen, *Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play*. Med Sci Sports Exerc, 2004. **36**(1): p. 168-74.
66. Åstrand, P.-O. and P.-O. Åstrand, *Textbook of work physiology : physiological bases of exercise*. 4th ed. 2003, Champaign, IL: Human Kinetics. v, 649 p.
67. THOMAS, D.Q., B. FERNHALL, and H. GRANAT, *Changes in Running Economy During a 5-km Run in Trained Men and Women Runners*. 1999. **13**(2): p. 162-167.
68. Pollock, M.L., *Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. Part I: Cardiorespiratory aspects*. Ann N Y Acad Sci, 1977. **301**: p. 310-22.
69. Daniels, J.T., *A physiologist's view of running economy*. Med Sci Sports Exerc, 1985. **17**(3): p. 332-8.
70. Barnes, K.R., A.E. Kilding, and K.R. Barnes, *Running economy: measurement, norms, and determining factors*. Sports Med. - Open Sports Medicine - Open, 2015. **1**(1).
71. Hoff, J., *Maximal Strength Training Enhances Running Economy and Aerobic Endurance Performance*. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2001. **33**: p. S270.
72. Kalapotharakos, V.I., et al., *Physiological characteristics of elite professional soccer teams of different ranking*. J Sports Med Phys Fitness, 2006. **46**(4): p. 515-9.
73. Bonacci, J., et al., *Neuromuscular adaptations to training, injury and passive interventions: implications for running economy*. Sports Med, 2009. **39**(11): p. 903-21.
74. Pate, R.R., et al., *Physiological, anthropometric, and training correlates of running economy*. 1992. **24**(10): p. 1128-1133.
75. Bailey, S.P. and R.R.J.S.M. Pate, *Feasibility of improving running economy*. 1991. **12**(4): p. 228-236.
76. Saunders, P.U., et al., *Factors affecting running economy in trained distance runners*. 2004. **34**(7): p. 465-485.
77. THOMAS, D.Q., et al., *Changes in running economy during a 5-km run in trained men and women runners*. 1999. **13**(2): p. 162-167.
78. Pate, R., et al., *physiological And Anatomical Correlates Of Running Economy In Habitual Runners: 155*. 1980. **21**(2): p. S26.
79. Kitamura, K., et al., *Hemodynamic correlates of myocardial oxygen consumption during upright exercise*. 1972. **32**(4): p. 516-522.
80. Coast, J.R., et al., *Relationship of oxygen consumption and cardiac output to work of breathing*. 1993. **25**(3): p. 335-340.
81. Morgan, D.W., et al., *Effects of a prolonged maximal run on running economy and running mechanics*. 1990. **22**(6): p. 834-840.
82. MAcDOUGALL, J.D., et al., *Effects of metabolic hyperthermia on performance during heavy prolonged exercise*. 1974. **36**(5): p. 538-544.
83. Saltin, B.J.J.o.A.P., *Circulatory response to submaximal and maximal exercise after thermal dehydration*. 1964. **19**(6): p. 1125-1132.

84. Grimby, G.J.S.j.o.c. and I. investigation, *Exercise in man during pyrogen-induced fever*. 1962. **14**: p. 1.
85. Maron, M.B., et al., *Oxygen uptake measurements during competitive marathon running*. 1976. **40**(5): p. 836-838.
86. Rowell, L.B., et al., *Human metabolic responses to hyperthermia during mild to maximal exercise*. 1969. **26**(4): p. 395-402.
87. Williams, K.R. and P.R.J.J.o.A.P. Cavanagh, *Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance*. 1987. **63**(3): p. 1236-1245.
88. Bosco, C., et al., *Relationship between the efficiency of muscular work during jumping and the energetics of running*. 1987. **56**(2): p. 138-143.
89. Kaneko, M.J.J.o.b., *Mechanics and energetics in running with special reference to efficiency*. 1990. **23**: p. 57-63.
90. KYRÖLÄINEN, H., et al., *Interrelationships between muscle structure, muscle strength, and running economy*. 2003. **35**(1): p. 45-49.
91. Johnston, R.E., et al., *Strength training in female distance runners: impact on running economy*. 1997. **11**(4): p. 224-229.
92. Reggiani, C., R. Bottinelli, and G.J.J.P. Stienen, *Sarcomeric myosin isoforms: fine tuning of a molecular motor*. 2000. **15**(1): p. 26-33.
93. Tucker, R., J. Santos-Concejero, and M.J.B.J.S.M. Collins, *The genetic basis for elite running performance*. 2013. **47**(9): p. 545-549.
94. Häkkinen, K., et al., *Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people*. 2000. **83**(1): p. 51-62.
95. Paavolainen, L., et al., *Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power*. 1999. **86**(5): p. 1527-1533.
96. Houmard, J., et al., *The role of anaerobic ability in middle distance running performance*. 1991. **62**(1): p. 40-43.
97. Bulbulian, R., et al., *Anaerobic contribution to distance running performance of trained cross-country athletes*. 1986. **18**(1): p. 107-113.
98. Millet, G.P., et al., *Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO₂ kinetics*. 2002. **34**(8): p. 1351-1359.
99. Sale, D.G.J.S. and p.i. sport, *Neural adaptation to strength training*. 2003: p. 281-314.
100. Hakkinen, K., P. Komi, and M.J.A.P.S. Alen, *Effect of explosive type strength training on isometric force-and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles*. 1985. **125**(4): p. 587-600.
101. Turner, A.M., et al., *Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training*. 2003. **17**(1): p. 60-67.
102. Spurrs, R.W., A.J. Murphy, and M.L.J.E.j.o.a.p. Watsford, *The effect of plyometric training on distance running performance*. 2003. **89**(1): p. 1-7.
103. Barnes, K.R. and A.E. Kilding, *Running economy: measurement, norms, and determining factors*. Sports medicine - open, 2015. **1**(1): p. 8-8.
104. Ghosh, A.K., *Anaerobic threshold: its concept and role in endurance sport*. Malays J Med Sci, 2004. **11**(1): p. 24-36.
105. Krahenbuhl, G.S. and R.P. Pangrazi, *Characteristics associated with running performance in young boys*. Med Sci Sports Exerc, 1983. **15**(6): p. 486-90.
106. Krahenbuhl, G.S., R.P. Pangrazi, and E.A. Chomokos, *Aerobic responses of young boys to submaximal running*. Res Q, 1979. **50**(3): p. 413-21.
107. MacDougall, J.D., et al., *Maximal aerobic capacity of Canadian schoolchildren: prediction based on age-related oxygen cost of running*. Int J Sports Med, 1983. **4**(3): p. 194-8.
108. Rowland, T., et al., *Gender effects on submaximal energy expenditure in children*. Int J Sports Med, 1997. **18**(6): p. 420-5.
109. Silverman, M. and S.D. Anderson, *Metabolic cost of treadmill exercise in children*. J Appl Physiol, 1972. **33**(5): p. 696-8.
110. Thorstensson, A., *Effects of moderate external loading on the aerobic demand of submaximal running in men and 10 year-old boys*. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1986. **55**(6): p. 569-74.
111. Unnithan, V.B., et al., *Submaximal running economy in run-trained pre-pubertal boys*. J Sports Med Phys Fitness, 1996. **36**(1): p. 16-23.
112. Abe, D., et al., *Effects of load and gradient on energy cost of running*. J Physiol Anthropol, 2011. **30**(4): p. 153-60.

113. Cooke, C.B., et al., *Effects of load on oxygen intake in trained boys and men during treadmill running*. J Appl Physiol (1985), 1991. **71**(4): p. 1237-44.
114. Davies, C.T., *Metabolic cost of exercise and physical performance in children with some observations on external loading*. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1980. **45**(2-3): p. 95-102.
115. Bergh, U., et al., *The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans*. Med Sci Sports Exerc, 1991. **23**(2): p. 205-11.
116. Sjodin, B. and J. Svedenhag, *Oxygen uptake during running as related to body mass in circumpubertal boys: a longitudinal study*. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1992. **65**(2): p. 150-7.
117. Bourdin, M., et al., *Influence of training, sex, age and body mass on the energy cost of running*. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1993. **66**(5): p. 439-44.
118. Pate, R.R., et al., *Physiological, anthropometric, and training correlates of running economy*. Med Sci Sports Exerc, 1992. **24**(10): p. 1128-33.
119. Williams, K.R. and P.R. Cavanagh, *Biomechanical correlates with running economy in elite distance runners*. Proceedings of the North American Congress on Biomechanics, 1986: p. 287-288.
120. Williams, K.R. and P.R. Cavanagh, *Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance*. J Appl Physiol (1985), 1987. **63**(3): p. 1236-45.
121. Cavanagh, P.R., et al., *Mechanical and muscular factors affecting the efficiency of human movement*. 1985. **17**(3): p. 326-331.
122. Foster, C. and A.J.S.m. Lucia, *Running economy*. 2007. **37**(4-5): p. 316-319.
123. Larsen, H.B.J.C.B., P.P.A. Molecular, and I. Physiology, *Kenyan dominance in distance running*. 2003. **136**(1): p. 161-170.
124. Lucia, A., et al., *Physiological characteristics of the best Eritrean runners—exceptional running economy*. 2006. **31**(5): p. 530-540.
125. Wilber, R.L., Y.P.J.I.j.o.s.p. Pitsiladis, and performance, *Kenyan and Ethiopian distance runners: what makes them so good?* 2012. **7**(2): p. 92-102.
126. Myers, M.J. and K. Steudel, *Effect of limb mass and its distribution on the energetic cost of running*. J Exp Biol, 1985. **116**: p. 363-73.
127. Elliott, B.C. and B.A. Blanksby, *Optimal stride length considerations for male and female recreational runners*. Br J Sports Med, 1979. **13**(1): p. 15-8.
128. Malina, R.M., et al., *Physique of female track and field athletes*. Med Sci Sports, 1971. **3**(1): p. 32-8.
129. Daniels, J. and N. Daniels, *Running economy of elite male and elite female runners*. Med Sci Sports Exerc, 1992. **24**(4): p. 483-9.
130. Kaneko, M., *Mechanics and energetics in running with special reference to efficiency*. J Biomech, 1990. **23 Suppl 1**: p. 57-63.
131. Cavanagh, P.R. and K.R. Williams, *The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running*. Med Sci Sports Exerc, 1982. **14**(1): p. 30-5.
132. Högborg, P., *How do stride length and stride frequency influence the energy-output during running?* Arbeitsphysiologie, 1952. **14**(6): p. 437-441.
133. Kaneko, M., et al., *Optimum step frequency in constant speed running*. Biomechanics X-B, 1987: p. 803-807.
134. Knuttgen, H., *Oxygen Uptake and Pulse Rate while Running with Undetermined and Determined Stride Lengths at Different Speeds*. Acta Physiologica Scandinavica, 1961. **52**: p. 366-371.
135. Powers, S., P. Hopkins, and M. Ragsdale, *Oxygen uptake and ventilatory responses to various stride lengths in trained women*. American corrective therapy journal, 1982. **36**: p. 5-8.
136. Moore, I., A. Jones, and S. Dixon, *Mechanisms for Improved Running Economy in Beginner Runners*. Medicine and science in sports and exercise, 2012. **44**: p. 1756-63.
137. Nelson, R. and R. Gregor, *Biomechanics of distance running: A longitudinal study*. Research quarterly, 1976. **47**: p. 417-28.
138. Morgan, D., et al., *Variation in the aerobic demand of running among trained and untrained subjects*. Medicine and science in sports and exercise, 1995. **27**: p. 404-9.
139. Morgan, D. and P.J.C.j.o.a.s.s.J.c.d.s.a.a.s. Martin, *Effects of stride length alteration on racewalking economy*. 1986. **11**(4): p. 211-217.
140. McCann, D.J. and B.K.J.C.s.m.r. Higginson, *Training to maximize economy of motion in running gait*. 2008. **7**(3): p. 158-162.

141. Nummela, A., T. Keränen, and L.J.I.j.o.s.m. Mikkelsen, *Factors related to top running speed and economy*. 2007. **28**(08): p. 655-661.
142. Tartaruga, M.P., et al., *The relationship between running economy and biomechanical variables in distance runners*. 2012. **83**(3): p. 367-375.
143. Dicharry, J.J.C.i.s.m., *Kinematics and kinetics of gait: from lab to clinic*. 2010. **29**(3): p. 347-364.
144. Green, H.J. and A.E. Patla, *Maximal aerobic power: neuromuscular and metabolic considerations*. *Med Sci Sports Exerc*, 1992. **24**(1): p. 38-46.
145. Ak, M., et al., *The evaluation of primary idiopathic focal hyperhidrosis patients in terms of alexithymia*. *Journal of Health Psychology*, 2013. **18**(5): p. 704-710.
146. Oliver, J.L. and P.M. Smith, *Neural control of leg stiffness during hopping in boys and men*. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2010. **20**(5): p. 973-979.
147. Cavagna, G.A., N.C. Heglund, and C.R. Taylor, *Mechanical work in terrestrial locomotion: two basic mechanisms for minimizing energy expenditure*. *Am J Physiol*, 1977. **233**(5): p. R243-61.
148. McMahon, J.J., P. Comfort, and S. Pearson, *Lower Limb Stiffness: Effect on Performance and Training Considerations*. *Strength and Conditioning Journal*, 2012. **34**(6): p. 94-101.
149. Serpell, B., et al., *A review of models of vertical, leg, and knee stiffness in adults for running, jumping or hopping tasks*. *Journal of sports sciences*, 2012. **30**: p. 1347-63.
150. V. Komi, P. and A. Gollhofer, *Stretch Reflexes Can Have an Important Role in Force Enhancement during SSC Exercise*. Vol. 13. 1997. 451-460.
151. Chelly, S.M. and C. Denis, *Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance*. *Med Sci Sports Exerc*, 2001. **33**(2): p. 326-33.
152. Hobara, H., et al., *Determinants of difference in leg stiffness between endurance- and power-trained athletes*. *J Biomech*, 2008. **41**(3): p. 506-14.
153. Kerdok, A.E., et al., *Energetics and mechanics of human running on surfaces of different stiffnesses*. *J Appl Physiol* (1985), 2002. **92**(2): p. 469-78.
154. Kram, R., *Muscular force or work: What determines the metabolic energy cost of running?* Vol. 28. 2000. 138-43.
155. Cavagna, G. and M.J.T.J.o.p. Kaneko, *Mechanical work and efficiency in level walking and running*. 1977. **268**(2): p. 467-481.
156. He, J.P., R. Kram, and T.A. McMahon, *Mechanics of running under simulated low gravity*. *J Appl Physiol* (1985), 1991. **71**(3): p. 863-70.
157. Malina, R.M., *Physical growth and biological maturation of young athletes*. *Exerc Sport Sci Rev*, 1994. **22**: p. 389-433.
158. Williams, A.M. and T. Reilly, *Talent identification and development in soccer*. *J Sports Sci*, 2000. **18**(9): p. 657-67.
159. Rowland, T.W., *Exercise and children's health*. 1990: Human Kinetics Publishers.
160. Beunen, G. and R. M. Malina, *Growth and Biologic Maturation: Relevance to Athletic Performance*. 2008. 3-17.
161. Flanagan, E.P. and T.M. Comyns, *The Use of Contact Time and the Reactive Strength Index to Optimize Fast Stretch-Shortening Cycle Training*. *Strength and Conditioning Journal*, 2008. **30**(5): p. 32-38.
162. McClymont, D. *Use of the reactive strength index (RSI) as an indicator of plyometric training conditions*. in *Science and Football V: The proceedings of the fifth World Congress on Sports Science and Football, Lisbon, Portugal*. 2003.
163. W., Y., *Laboratory strength assessment of athletes*. *New Stud Athlete* 1995. **10**: p. 88-96.
164. Lloyd, R.S., et al., *The effects of 4-weeks of plyometric training on reactive strength index and leg stiffness in male youths*. 2012. **26**(10): p. 2812-2819.
165. Zatsiorsky, V.M., *Science and practice of strength training*. 1995, Human Kinetics: Champaign, IL.
166. Manna, I.J.A.J.o.S.S. and Medicine, *Growth development and maturity in children and adolescent: relation to sports and physical activity*. 2014. **2**(5A): p. 48-50.
167. Wheeler, M.D., *Physical changes of puberty*. *Endocrinol Metab Clin North Am*, 1991. **20**(1): p. 1-14.
168. Sperling, M., *Pediatric endocrinology*. 2008.
169. Hatipoğlu, N., *Pubertal period and its problems*. *Türkiye Aile Hekimliği Dergisi*, 2012. **16**: p. S1-S13.
170. Tanner, J.M., *Growth at adolescence*. 1962.

171. Georgopoulos, N.A., et al., *Growth, pubertal development, skeletal maturation and bone mass acquisition in athletes*. 2004. **3**: p. 233-243.
172. Malina, R.M., C. Bouchard, and O. Bar-Or, *Growth, maturation, and physical activity*. 2004: Human kinetics.
173. Byrne, N.M. and A.P. Hills, *The importance of physical activity in the growth and development of children*, in *Children, Obesity and Exercise*. 2007, Routledge. p. 62-72.
174. D'ercole, A.A., et al., *Technical, perceptual and motor skills in novice-expert water polo players: an individual discriminant analysis for talent development*. 2013. **27**(12): p. 3436-3444.
175. Hewett, T.E., et al., *Preparticipation physical examination using a box drop vertical jump test in young athletes: the effects of puberty and sex*. 2006. **16**(4): p. 298-304.
176. Myer, G.D., et al., *Longitudinal assessment of noncontact anterior cruciate ligament injury risk factors during maturation in a female athlete: a case report*. 2009. **44**(1): p. 101-109.
177. Witvrouw, E., et al., *Intrinsic risk factors for the development of anterior knee pain in an athletic population: a two-year prospective study*. 2000. **28**(4): p. 480-489.
178. Faigenbaum, A.D., R.S. Lloyd, and G.D.J.P.e.s. Myer, *Youth resistance training: past practices, new perspectives, and future directions*. 2013. **25**(4): p. 591-604.
179. Lloyd, R.S., et al., *Position statement on youth resistance training: the 2014 International Consensus*. 2014. **48**(7): p. 498-505.
180. Quatman-Yates, C.C., et al., *A systematic review of sensorimotor function during adolescence: a developmental stage of increased motor awkwardness?* 2012. **46**(9): p. 649-655.
181. Lloyd, R.S., et al., *Relationships between functional movement screen scores, maturation and physical performance in young soccer players*. 2015. **33**(1): p. 11-19.
182. Mirwald, R.L., et al., *An assessment of maturity from anthropometric measurements*. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2002. **34**(4): p. 689-694.
183. Balyi, I. and A.J.O.C. Hamilton, *Long-term athlete development: trainability in childhood and adolescence*. 2004. **16**(1): p. 4-9.
184. Lloyd, R. and J. Oliver, *The Youth Physical Development Model*. *Strength and Conditioning Journal*, 2012. **34**: p. 61-72.
185. Viru, A., et al., *Critical periods in the development of performance capacity during childhood and adolescence*. 1999. **4**(1): p. 75-119.
186. Gabbett, T.J., J. Johns, and M. Riemann, *Performance changes following training in junior rugby league players*. *J Strength Cond Res*, 2008. **22**(3): p. 910-7.
187. Krahenbuhl, G., D. Morgan, and R.J.I.J.o.S.M. Pangrazi, *Longitudinal changes in distance-running performance of young males*. 1989. **10**(02): p. 92-96.
188. Léger, L. and D.J.S.m. Mercier, *Gross energy cost of horizontal treadmill and track running*. 1984. **1**(4): p. 270-277.
189. MacDougall, J., et al., *Maximal aerobic capacity of Canadian schoolchildren: prediction based on age-related oxygen cost of running*. 1983. **4**(03): p. 194-198.
190. Rowland, T.W., et al., *Physiologic responses to treadmill running in adult and prepubertal males*. *Int J Sports Med*, 1987. **8**(4): p. 292-7.
191. Rowland, T.W.J.P.E.S., *Oxygen uptake and endurance fitness in children: a developmental perspective*. 1989. **1**(4): p. 313-328.
192. Viswanath B. Unnithan, R.G.E., *Stride Frequency and Submaximal Treadmill Running Economy in Adults and Children*. *Pediatric Exercise Science*, 1990. **2**: p. 149-155.
193. Seger, J.Y. and A.J.E.j.o.a.p. Thorstensson, *Muscle strength and electromyogram in boys and girls followed through puberty*. 2000. **81**(1-2): p. 54-61.
194. Grosset, J.-F., et al., *Age-related changes in twitch properties of plantar flexor muscles in prepubertal children*. 2005. **58**(5): p. 966.
195. Belanger, A., A.J.E.j.o.a.p. McComas, and o. physiology, *Contractile properties of human skeletal muscle in childhood and adolescence*. 1989. **58**(6): p. 563-567.
196. Rumpf, M.C., et al., *Vertical and leg stiffness and stretch-shortening cycle changes across maturation during maximal sprint running*. 2013. **32**(4): p. 668-676.
197. Heise, G. and G. Bachman. *Leg spring model properties of children*. in *Proceedings of the 24th Annual Meeting of the American Society of Biomechanics, Illinois. University of Illinois at Chicago*. 2000.
198. Brughelli, M. and J.J.S.M. Cronin, *Influence of running velocity on vertical, leg and joint stiffness*. 2008. **38**(8): p. 647-657.

199. Viru, A., et al., *Critical Periods in the Development of Performance Capacity During Childhood and Adolescence*. European Journal of Physical Education, 1999. **4**(1): p. 75-119.
200. Meyers, R.W., et al., *Maximal sprint speed in boys of increasing maturity*. 2015. **27**(1): p. 85-94.
201. Philippaerts, R.M., et al., *The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players*. J Sports Sci, 2006. **24**(3): p. 221-30.
202. Ford, P., et al., *The Long-Term Athlete Development model: Physiological evidence and application*. Journal of sports sciences, 2011. **29**: p. 389-402.
203. Armstrong, N., J. Welsman, and M.J.B.J.o.S.M. Chia, *Short term power output in relation to growth and maturation*. 2001. **35**(2): p. 118-124.
204. Mero, A., et al., *Physiological performance capacity in different prepubescent athletic groups*. 1990. **30**(1): p. 57-66.
205. Kraemer, W.J., *Endocrine responses to resistance exercise*. 1987, ARMY RESEARCH INST OF ENVIRONMENTAL MEDICINE NATICK MA.
206. FRASIER, S.D., et al., *Plasma androgens in childhood and adolescence*. 1969. **29**(11): p. 1404-1408.
207. Forbes, H., et al., *Relative Torque Profiles of Elite Male Youth Footballers: Effects of Age and Pubertal Development*. Int J Sports Med, 2009. **30**(08): p. 592-597.
208. Grosset, J.-F., et al., *Changes in stretch reflexes and muscle stiffness with age in prepubescent children*. 2007. **102**(6): p. 2352-2360.
209. Lloyd, R.S., et al., *The influence of chronological age on periods of accelerated adaptation of stretch-shortening cycle performance in pre and postpubescent boys*. 2011. **25**(7): p. 1889-1897.
210. Komi, P. and C.J.B.V. Bosco, *Utilization of elastic energy in jumping and its relation to skeletal muscle fiber composition in man*. 1978: p. 79-85.
211. Grosset, J.-F., et al., *Age-Related Changes in Twitch Properties of Plantar Flexor Muscles in Prepubertal Children*. Pediatric Research, 2005. **58**(5): p. 966-970.
212. Radnor, J.M., et al., *The Influence of Growth and Maturation on Stretch-Shortening Cycle Function in Youth*. Sports Med Sports Medicine, 2018. **48**(1): p. 57-71.
213. Lin, J.P., J.K. Brown, and E.G. Walsh, *Soleus muscle length, stretch reflex excitability, and the contractile properties of muscle in children and adults: a study of the functional joint angle*. Developmental medicine and child neurology, 1997. **39**(7): p. 469-80.
214. Berne, M., et al., *Fizyoloji. 5. baskı*. 2008.
215. Guyton, A.C., et al., *Tıbbi fizyoloji*. 2007: Nobel Tıp Kitabevleri.
216. McArdle, W.D., F.I. Katch, and V.L. Katch, *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*. 2010: Lippincott Williams & Wilkins.
217. Nelson, A.G., et al., *Acute effects of passive muscle stretching on sprint performance*. 2005. **23**(5): p. 449-454.
218. Plowman, S.A. and D.L. Smith, *Exercise physiology for health fitness and performance*. 2013: Lippincott Williams & Wilkins.
219. WF, G.J.N.T.K., İstanbul, *Tıbbi fizyoloji*. 2002: p. 249-268.
220. Wilmore, J.H., D.L. Costill, and W.L. Kenney, *Physiology of sport and exercise*. Vol. 524. 1994: Human kinetics Champaign, IL.
221. Bobbert, M.F., et al., *Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping*. 1987. **19**(4): p. 332-338.
222. Flanagan, E. *An examination of the slow and fast stretch shortening cycle in cross country runners and skiers*. in *ISBS-Conference Proceedings Archive*. 2007.
223. Wilson, G.J., G.A. Wood, and B.C.J.J.o.a.p. Elliott, *Optimal stiffness of series elastic component in a stretch-shorten cycle activity*. 1991. **70**(2): p. 825-833.
224. Riemann, B.L., J.B. Myers, and S.M.J.J.o.a.t. Lephart, *Sensorimotor system measurement techniques*. 2002. **37**(1): p. 85.
225. Lephart, S.M., et al., *The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries*. 1997. **25**(1): p. 130-137.
226. Brooks, G.A., T.D. Fahey, and T.P. White, *Exercise physiology: Human bioenergetics and its applications*. 1996: Mayfield publishing company.
227. Bobbert, M.F., et al., *Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping*. 1987. **19**(4): p. 339-346.
228. Lloyd, R.S., et al., *Chronological age vs. biological maturation: implications for exercise programming in youth*. J Strength Cond Res, 2014. **28**(5): p. 1454-64.

229. Baxter-Jones, A.D., J.C. Eisenmann, and L.B.J.P.E.S. Sherar, *Controlling for maturation in pediatric exercise science*. 2005. **17**(1): p. 18-30.
230. Kemper, H. and R.J.I.j.o.s.m. Verschuur, *Maximal aerobic power in 13-and 14-year-old teenagers in relation to biologic age*. 1981. **2**(02): p. 97-100.
231. Rowland, T.W., *Children's exercise physiology*. 2005: Human Kinetics Champaign, IL.
232. Stratton, G., et al., *The impact of growth and maturation on physical performance*. 2013: p. 3-18.
233. Abbassi, V.J.P., *Growth and normal puberty*. 1998. **102**(Supplement 3): p. 507-511.
234. Tanner, J.M., *Growth at adolescence, 2nd ed.* Growth at adolescence, 2nd ed. 1962, Thomas: Springfield, Ill.
235. Sabharwal, S., A.J.C.o. Kumar, and r. research, *Methods for assessing leg length discrepancy*. 2008. **466**(12): p. 2910-2922.
236. Varela-Silva, M.I. and B. Bogin, *Leg Length and Anthropometric Applications: Effects on Health and Disease*. 2012. p. 769-783.
237. Fitzsimons, M., et al., *Cycling and running tests of repeated sprint ability*. Vol. 25. 1993. 82-87.
238. Dalleau, G., et al., *The spring-mass model and the energy cost of treadmill running*. European journal of applied physiology and occupational physiology, 1998. **77**: p. 257-63.
239. Hopkins, W., *A scale of magnitudes for effect statistics. A New View of Statistics [Internet]*. 2002.
240. Bret, C., et al., *Leg strength and stiffness as ability factors in 100 m sprint running*. J Sports Med Phys Fitness, 2002. **42**(3): p. 274-81.
241. Morin, J.B., et al., *A simple method for measuring stiffness during running*. J Appl Biomech, 2005. **21**(2): p. 167-80.
242. Thomas, V. and T. Reilly, *Fitness assessment of English league soccer players through the competitive season*. British journal of sports medicine, 1979. **13**(3): p. 103-109.
243. Heise, G.D. and P.E.J.E.J.o.A.P. Martin, *Are variations in running economy in humans associated with ground reaction force characteristics?* 2001. **84**(5): p. 438-442.
244. McMahan, T.A., G. Valiant, and E.C.J.J.o.A.P. Frederick, *Groucho running*. 1987. **62**(6): p. 2326-2337.
245. Di Prampero, P., et al., *Energetics of best performances in middle-distance running*. 1993. **74**(5): p. 2318-2324.
246. COSTILL, D., et al., *Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running*. 1973. **5**(4): p. 248-252.
247. Dolgener, F., *Oxygen cost of walking and running in untrained, sprint trained, and endurance trained females*. 1982.
248. Pollock, M.L., et al., *Discriminant analysis of physiological differences between good and elite distance runners*. 1980. **51**(3): p. 521-532.
249. Holloszy, J., et al., *Physiological consequences of the biochemical adaptations to endurance exercise*. 1977. **301**(1): p. 440-450.
250. Cunningham, L.N.J.R.q.f.e. and sport, *Relationship of running economy, ventilatory threshold, and maximal oxygen consumption to running performance in high school females*. 1990. **61**(4): p. 369-374.
251. Noakes, T.D.J.M., S.i. Sports, and Exercise, *Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective*. 1988. **20**(4): p. 319-330.
252. Bishop, D., J. Edge, and C. Goodman, *Muscle buffer capacity and aerobic fitness are associated with repeated-sprint ability in women*. Eur J Appl Physiol, 2004. **92**(4-5): p. 540-7.
253. Meyers, R.W., et al., *Lower-Limb Stiffness and Maximal Sprint Speed in 11–16-Year-Old Boys*. 2019. **33**(7): p. 1987-1995.
254. Lundstrom, C.J., et al., *Allometric scaling of body mass in running economy data: An important consideration in modeling marathon performance*. 2017.
255. Rogers, D.M., B.L. Olson, and J.H.J.J.o.A.P. Wilmore, *Scaling for the VO₂-to-body size relationship among children and adults*. 1995. **79**(3): p. 958-967.
256. Svedenhag, J.J.S.j.o.m. and s.i. sports, *Maximal and submaximal oxygen uptake during running: how should body mass be accounted for?* 1995. **5**(4): p. 175-180.
257. Malina, R.M. and S.M.J.J.o.S.S. Koziel, *Validation of maturity offset in a longitudinal sample of Polish boys*. 2014. **32**(5): p. 424-437.
258. Mirwald, R.L., et al., *An assessment of maturity from anthropometric measurements*. 2002. **34**(4): p. 689-694.
259. Sherar, L.B., et al., *Prediction of adult height using maturity-based cumulative height velocity curves*. 2005. **147**(4): p. 508-514.

260. Forster, M.A., et al., *Aerobic capacity and grade-walking economy of children 5–9 years old: a longitudinal study*. 1994. **6**(1): p. 31-38.
261. Montoye, H.J.J.o.G., *Age and oxygen utilization during submaximal treadmill exercise in males*. 1982. **37**(4): p. 396-402.
262. Armstrong, N.J.J.o.S.S., *Submaximal exercise and maturation in 12-year-olds*. 1999. **17**(2): p. 107-114.
263. Segers, V., et al., *Running economy in early and late mature youth soccer players*, in *Topics in functional and ecological vertebrate morphology*. 2002, Shaker. p. 125-138.
264. Welsman, J.R. and N.J.J.o.s.s. Armstrong, *Longitudinal changes in submaximal oxygen uptake in 11-to 13-year-olds*. 2000. **18**(3): p. 183-189.
265. Schenau, G.J.v.I., M.F. Bobbert, and A.d. Haan, *Does Elastic Energy Enhance Work and Efficiency in the Stretch-Shortening Cycle?* 1997. **13**(4): p. 389-415.
266. Lambertz, D., et al., *Evaluation of musculotendinous stiffness in prepubertal children and adults, taking into account muscle activity*. 2003. **95**(1): p. 64-72.
267. Lazaridis, S., et al., *Neuromuscular differences between prepubescent boys and adult men during drop jump*. 2010. **110**(1): p. 67-74.
268. Korff, T., et al., *Development of lower limb stiffness and its contribution to maximum vertical jumping power during adolescence*. 2009. **212**(22): p. 3737-3742.

ÖZGEÇMİŞ

Çağatay Selçuk KARAKAŞ, 12.02.1990 tarihinde Adana'da doğdu. İlk ve orta eğitimini Adana'da tamamladı. İlkokul yıllarında başladığı voleybolu devam ettirme isteği ile 2004 yılında Ankara'ya transfer oldu.

Yaşamını Ankara'da sürdürmesi nedeniyle lise eğitimini Ankara'da tamamladı. 2014 yılında Ankara Gazi Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu Antrenörlük Eğitimi Bölümü'nden mezun oldu.

08.02.2017 yılında Adana Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

20.08.2019 yılında İstanbul Gedik Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Egzersiz ve Spor Bilimleri Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı.

EKLER

EK-1. AYDINLATILMIŞ ONAM(RIZA) FORMU

Çukurova Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu bünyesinde “Farklı Yaş Gruplarındaki Futbolcu Çocuklarda Bacak Sertliği ve Koşu Ekonomisinin İncelenmesi” amacıyla bir çalışma yapılacaktır. Çalışmada sporcuların boy ve vücut ağırlığı ölçümleri, maksimum oksijen tüketim miktarları, koşu ekonomileri, sıçrama ve sprint performanslarının belirlenmesine yönelik testler yapılacaktır. Yapılacak tüm testler sporcuların uğraşmakta olduğu spor branşının müsabakalarında uygulanan hareketlere benzer nitelikleri taşımaktadır. Tüm ölçümler Çukurova Üniversitesi Sağlıklı Yaşam Merkezi Spor Fizyolojisi Performans Laboratuvarı’nda uygulanacaktır. Bu süre zarfında katılımcı sporcular, müsabakası esnasında yaşayabilecekleri sakatlıklarla karşılaşma ihtimalleri bulunmaktadır. Bu yüzden yaşanabilecek herhangi bir sakatlıktan kurumumuz mesul değildir.

Yapılacak olan testler için katılımcılara herhangi bir ücret ödenmeyecek, aynı zamanda katılımcılardan ücret talep edilmeyecektir.

SÖZ KONUSU ARAŞTIRMAYA, YUKARIDA BELİRTİLEN KOŞULLAR ÇERÇEVESİNDE HİÇBİR BASKI VE ZORLAMA OLMAKSIZIN KENDİ RIZAMLA KATILMAYI VE BİLGİLERİMİN KİŞİSELLİĞİ SAKLI TUTULARAK BİLİMSEL ÇALIŞMALARDA KULLANILMASINI KABUL EDİYORUM.

Katılımcı/Vasisi Adı, Soyadı

Tanık Adı, Soyadı

İmza

İmza


Tarih:...../...../20..

EK-2. ETİK KURUL ONAY FORMU

T.C. ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU

Toplantı Sayısı	Tarih
83	7 Aralık 2018

KARAR NO 22- Çukurova Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı'nda, Doktor Öğretim Üyesi Selcen G. Korkmaz Eryılmaz yönetiminde, Prof. Dr. Sanlı Sadi Kurdak'ın katkılarıyla, Selçuk Karakaş tarafından yürütülmesi öngörülen, "Farklı Yaş Gruplarındaki Futbolcu Çocuklarda Bacak Sertliği ve Koşu Ekonomisinin İncelenmesi (Investigation of the Leg Stiffness and Running Economy in Football Players Children of Different Age Groups)" başlıklı yüksek lisans tez projesi araştırma etiği yönünden değerlendirildi. Toplantıya katılan üyelerin oybirliğiyle uygun olduğuna karar verildi.

BAŞKAN	Prof Dr Selim Kadioğlu Tıp Tarihi ve Etik Anabilim Dalı	
ÜYELER	Prof Dr Davut Alptekin Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı	
	Prof Dr Dinçer Yıldızdaş Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı	
	Prof Dr Gülşah Seydaoğlu Biyostatistik Anabilim Dalı	Toplantıya Katılmadı
	Prof Dr Gürhan Sakman Genel Cerrahi Anabilim Dalı	Toplantıya Katılmadı
	Prof Dr Murat Gündüz Anesteziyoloji ve Reanimasyon Anabilim Dalı	
	Doç Dr Ezgi Özyılmaz Saraç Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı	Toplantıya Katılmadı
	Av. Zehra Bulut Hukukçu Üye	
	Dr Neşe Kayrın Kurum Dışı Üye	

Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi Dekanlık Binası, Balcalı 01330 Adana
Telefon: 0322 338 60 60 dahili 3465, Faks: 0322 338 67 22

EK-3. ANTROPOMETRİ DEĞERLENDİRME FORMU

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ SPOR FİZYOLOJİSİ LABORATUVARI

ANTROPOMETRİ DEĞERLENDİRME FORMU

Adı: **Soyadı:** **Yaş:** **Spor Yaşı:**
Boy: **Kilo:** **Tarih:** **Ölçüm yapılan yer: Ç.Ü.**

Çap - Çevre Ölçümleri		
Biceps çevre		cm
Biceps Fleks. Çevre		cm
Ön kol çevresi		cm
Üst bacak çevre		cm
Uyluk Çevre		cm
Baldır çevre		cm
Omuz çapı		cm
Pelvis çapı		cm
Dirsek çapı		cm
El bileği çapı		cm
Diz çapı		cm
Ayak bileği Çapı		cm
Ayak uzunluğu		cm
Vertec sıçrama		cm
Esneklik		cm
Maksimum mekik sayısı 1.dak	30sn: 1.dak:	
Maksimum şınav sayısı 1.dak	30sn: 1.dak:	

Derialtı Yağ Ölçümleri		
Subskapular skinfold		mm
Triseps skinfold		mm
Biseps skinfold		mm
Önkol skinfold		mm
Abdominal skinfold		mm
Pektoral skinfold		mm
Suprailiak skinfold		mm
Uyluk skinfold		mm
Baldır skinfold		mm

EK 4. TEST BİLGİ FORMU

Ad Soyad	Yaş	Ağırlık	Spor Yaşı	NO #						
1maks	Flight Time_1 Deneme	Contact Time_1 Deneme	Height_1 Deneme	Flight Time_Ölçü m_2	Contact Time_Ölçü m_2	Height_Ölç üm_2				
5maks 1. Deneme:	1.sıçrama	2.sıçrama	3.sıçrama	4.sıçrama	5. sıçrama					
Flight T.										
Kontak T.										
Yükseklik										
5maks 2. Deneme:	1.sıçrama	2.sıçrama	3.sıçrama	4.sıçrama	5. sıçrama					
Flight T.										
Kontak T.										
Yükseklik										
20maks 1.Deneme:	6.sıçrama	7.sıçrama	8.sıçrama	9.sıçrama	10.sıçrama	11.sıçrama	12.sıçrama	13.sıçrama	14.sıçrama	15.sıçrama
Flight T.										
Kontak T.										
Yükseklik										
20maks 1.Deneme:	6.sıçrama	7.sıçrama	8.sıçrama	9.sıçrama	10.sıçrama	11.sıçrama	12.sıçrama	13.sıçrama	14.sıçrama	15.sıçrama
Flight T.										
Kontak T.										
Yükseklik										
20 metre Sprint	1.deneme	2.deneme	3.deneme							
Tekrarlı Sprint	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.