

**T.C.  
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DERİNLİK SIÇRAMASI SIRASINDA GERİLME KISALMA  
DÖNGÜSÜNÜ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

**Evrin Ünver**

**Spor Bilimleri ve Teknolojisi Programı  
DOKTORA TEZİ**

**ANKARA  
2022**



**T.C.  
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DERİNLİK ŞİÇRAMASI SIRASINDA GERİLME KISALMA  
DÖNÜSÜNÜ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

**Evrin Ünver**

**Spor Bilimleri ve Teknolojisi Programı  
DOKTORA TEZİ**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Ş. Alpan Cinemre**

**İkinci Danışman  
Dr. Hande Konşuk Ünlü**

**ANKARA**

**2022**

**ONAY SAYFASI****DERİNLİK ŞIÇRAMASI SIRASINDA GERİLME KISALMA DÖNÜSÜNÜ  
ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ****Öğrenci Adı: Evrim Ünver****Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ş. Alpan Cinemre****2. Tez Danışmanı: Dr. Hande Konşuk Ünlü**

Bu tez çalışması 07.10.2022 tarihinde jürimiz tarafından "Spor Bilimleri ve Teknolojisi Programı" nda doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Başkanı:***Prof. Dr. Tahir HAZIR**Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi***Üye:***Prof. Dr. Bilal Utku ALEMDAROĞLU**Pamukkale Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi***Üye:***Prof. Dr. Ayşe KİN İŞLER**Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi***Üye:***Prof. Dr. Mitat KOZ**Doğu Akdeniz Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi***Üye:***Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin ÇELİK**Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi*

Bu tez, Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri tarafından uygun bulunmuştur. 21 Ekim 2022

*Prof. Dr. Müge YEMİŞÇİ ÖZKAN***Enstitü Müdürü**

## YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan **“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H.Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir. <sup>(1)</sup>
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren ... ay ertelenmiştir. <sup>(2)</sup>
- Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir. <sup>(3)</sup>

07/10/2022

(İmza)

Evrin Ünver

i

<sup>i</sup>“Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge”

- (1) Madde 6. 1. Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.
- (2) Madde 6. 2. Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internette paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkanı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulunun** gerekçeli kararı ile altı ayı aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.
- (3) Madde 7. 1. Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, **tezin yapıldığı kurum** tarafından verilir \*. Kurum ve kuruluşlarla yapılan işbirliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlerle ilişkin gizlilik kararı ise, **ilgili kurum ve kuruluşun önerisi** ile **enstitü** veya **fakültenin** uygun görüşü üzerine **üniversite yönetim kurulu** tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.  
Madde 7.2. Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir

\* Tez **danışmanın** önerisi ve **enstitü anabilim dalının** uygun görüşü üzerine **enstitü** veya **fakülte yönetim kurulu** tarafından karar verilir.

## ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında zgn olduğunu, Doç. Dr. Alpan Cinemre ve Dr. Hande Koņuk nl danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.

Evrım nver

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesi sürecinde ve lisansüstü eğitim hayatım boyunca yüksek hoşgörü ve sabır göstererek yönlendirmeleri ile destek vermiş olan ve akademik hayatıma farklı bakış açıları göstererek katkı sunan çok değerli tez danışmanım sayın Doç. Dr. Alpan CİNEMRE'ye,

Tez sürecinin her aşaması boyunca gece gündüz demeden büyük bir sabır ve hoşgörü ile destek veren ve özellikle verilerin analizinde değerli bilgilerini ve deneyimlerini esirgmeden katkı sunan çok değerli ikinci tez danışmanım ve aile dostum sayın Dr. Hande KONŞUK ÜNLÜ'ye,

Elastografi ölçümleri sırasında değerli zamanından fedakarlık göstererek ölçümleri gerçekleştiren ve tez sürecine katkı sunan değerli hocam sayın Doç. Dr. Adalet Elçin YILDIZ'a,

Tezin gerçekleşmesine 219S813 no'lu TÜBİTAK 1001 projesi ile destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na,

Radyoloji anabilim dalında elastografi ölçümlerini gerçekleştirmemize izin veren anabilim dalı başkanı sayın Prof. Dr. Deniz AKATA'ya,

Hem lisansüstü eğitim hayatım boyunca hem de tez sürecinde desteklerini esirgemeyen fakültemizdeki değerli hocalarıma,

Zorluklarla karşılaştığım her durumda ve tez sürecinde sabırla yanımda olan ve güç veren kardeş kadar yakın gördüğüm Necip DEMİRCİ, Tolga ATALAR ve Selin KARAKUŞ başta olmak üzere tüm değerli dostlarıma ve arkadaşlarıma,

Hayatımın her döneminde olduğu gibi tez sürecinde de her zaman yanımda olan ve varlığı ile güç veren sevgili babam Prof. Dr. Osman Can ÜNVER'e

Tez süreci boyunca maddi ve manevi desteklerini hissettiğim tüm aile fertlerime,

Teşekkür ederim.

## ÖZET

**Ünver, E. Derinlik sıçraması sırasında gerilme kısıalma döngüsünü etkileyen faktörlerin incelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Spor Bilimleri ve Teknolojisi Programı, Doktora Tezi, Ankara, 2022.** Gerilme kısıalma döngüsü, derinlik sıçraması testi sırasında elde edilen yerde kalış süresi eşik değerine göre; hızlı (<250ms) ve yavaş (>250 ms) gerilme kısıalma döngüsü olmak üzere, ikiye ayrılarak incelenmektedir. Ancak literatürde, yerde kalış süresi üzerinden yapılan bu sınıflamada, 250 ms olarak ifade edilen bu norm değerinin nasıl elde edildiği ve bu norm değerini hangi değişkenlerin nasıl etkilediği ile ilgili sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, yerde kalış süresinin; (1) kuvvet, zaman, güç ve kuvvet-zaman etkileşimi değişkenleri ile kas-tendon mekanik özellikleri değişkenlerinden hangileri ile etkileşimde olduğunu belirlemek ve (2) elde edilen bulgulardan yola çıkarak, 250ms'den farklı yerde kalış süresi eşik değerleri elde edilip edilemeyeceğini araştırmaktır. Kuvvet, zaman, güç ve kuvvet-zaman etkileşimi olan değişkenler optimal düşüş yüksekliğinden gerçekleştirilen derinlik sıçraması (KİSTLER 9260AA6 model, İsviçre) sırasında elde edilmiştir. Yerde kalış süresini etkilediği düşünülen kas-tendon mekanik özelliklerine ilişkin değişkenler ise elastografi (Siemens Acuson S3000) yöntemi ile değerlendirilmiştir. Antrenmanlılığın çalışma sonuçlarını etkilememesi için, çalışmaya, en az 1 yıldır antrenmansız ve/veya haftada en fazla 6 saat egzersiz yapan 46 erkek (yaş: 22,02±1,41 yıl; boy: 179,93±7,04 cm; vücut ağırlığı: 76,39±1,11 kg), gönüllü olarak katılmıştır. Değişkenler ile yerde kalış süresi değerleri arasındaki ilişki düzeylerine Pearson (r) ve Spearman korelasyon testi (rho) ile bakılmıştır. Yerde kalış süresi ile etkileşimde olduğu düşünülen değişkenler kullanılarak belirlenen sınıflandırma için, regresyon ağacı yöntemi ile analiz yapılmış ve en düşük RMSEA değerinin olduğu yerde kalış süresi eşik değerleri gruplandırmalar için baz alınmıştır. Araştırma grubu belirlenen eşik değerlerine göre yeniden gruplandırılmıştır. Değişkenler ile gruplar arası farklarının değerlendirmesinde tek yönlü ANOVA, Welch ANOVA ve Kruskal-Wallis testi uygulanmıştır. Bu çalışmada güven aralığı %95 kabul edilmiştir. Çalışma bulgularına göre, yerde kalış süresi ile kuvvet, zaman, güç ve kuvvet-zaman etkileşimi olan değişkenler ve kas-tendon mekanik özellikleri değişkenleri arasında anlamlı korelasyon düzeyleri bulunmuştur ( $p<0.05$ ). RStudio ile sınıflandırma ve regresyon ağacı yöntemine göre yapılan analiz sonucunda en düşük RMSEA değerine sahip, reaktif kuvvet indeksi değeri dikkate alınmış ve analiz sonucunda karşılık gelen yerde kalış süresini eşik değeri belirlenmiştir ( $YKS<188$  ms,  $188\leq YKS<222$  ve  $YKS\geq 222$  ms). YKS grupları arası karşılaştırmalara göre, kuvvet, zaman, güç değişkenleri ile Aşil Tendonu uzunluğunun en az iki grupta farklı olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, GKD'nin 250 ms'nin tek başına bir eşik olarak kullanılması yerine birden fazla eşik değer ile incelenebilir olduğu ortaya çıkmıştır. Farklı popülasyonlarda uygun eşik değerlerin belirlenerek incelenmesi önerilmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Aşil Tendonu, Elastografi, kuvvet platformu, kas

Bu tez, 219S813 no'lu TÜBİTAK 1001 projesi tarafından desteklenmiştir.



## ABSTRACT

**Ünver, E. Investigation of the factors affecting stretch shortening cycle during drop jump. Hacettepe University, Graduate School of Health Sciences, Philosophy of Doctor Thesis in Sport Sciences and Technology, Ankara, 2022.** Stretch shortening cycle is analyzed in two categories as fast (<250ms) and slow (>250ms) stretch shortening cycle according to the threshold value of ground contact time obtained during the drop jump test. However, in the literature, there are a limited number of studies on how this norm value, which is expressed as 250 ms, is obtained and which variables affect this norm value. The aim of this study was to (1) determine which variables of force, time, power and force-time interaction variables and muscle-tendon mechanical properties interact with the ground contact time and (2) to investigate whether threshold values of ground contact time differs from 250ms can be obtained based on the findings obtained. Force, time, power and force-time interaction variables were obtained during the drop jump (KISTLER 9260AA6 model, Switzerland) performed from the optimal drop height. The variables related to muscle-tendon mechanical properties, which are thought to affect the ground contact time, were evaluated by elastography (Siemens Acuson S3000). Forty-six men (age: 22.02±1.41 years; height: 179.93±7.04 cm; body weight: 76.39±1.11 kg), who had not trained for at least 2 years and/or exercised for at most 6 hours per week, voluntarily participated in the study. Pearson (r) and Spearman (rho) correlation test were used to analyze the relationship between the variables and length of ground contact time. For the classification determined by using the variables thought to be in interaction with the ground contact time, the regression tree method was analyzed and the threshold values of the ground contact time with the lowest RMSEA value were taken as the basis for groupings. The research group was regrouped according to the determined threshold values. One-way ANOVA, Welch ANOVA, and Kruskal-Wallis test were applied to evaluate the differences between variables and groups. In this study, 95% confidence interval was accepted. According to the findings of the study, significant correlation levels were found between the ground contact time and the variables of force, time, power and force-time interaction and muscle-tendon mechanical properties (p<0.05). As a result of the analysis performed according to the classification and regression tree method with RStudio, the reactive strength index value with the lowest RMSEA value was taken into consideration and the threshold value of the corresponding residence time was determined as a result of the analysis (GCT<188 ms, 188≤GCT<222 and GCT≥222 ms). According to intergroup comparisons between GCT groups, it was observed that force, time, power variables and Achilles tendon length were different in at least two groups. As a conclusion, it was found that 250 ms can be analysed with more than one threshold value instead of using 250 ms as a single threshold. It is recommended that appropriate thresholds be determined and analyzed in different populations.

**Keywords:** Achilles tendon, elastography force plate, muscle

This thesis was supported by TUBITAK 1001 project number 219S813.

## İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI	iii
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	iv
ETİK BEYAN	v
TEŞEKKÜR	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGE VE KISALTMALAR	xii
ŞEKİLLER	xiv
TABLolar	xv
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1. Araştırmanın Amaçları	3
1.2. Araştırmanın Problemleri	3
1.3. Araştırmanın Hipotezleri	4
<b>2. GENEL BİLGİLER</b>	<b>6</b>
2.1. Gerilme Kısılma Döngüsü	6
2.1.1. Hill ve Huxley modelleri	8
2.1.2. Çapraz Köprüler Döngüsü	9
2.1.3. Ön Aktivasyon ve Rezidüel kuvvet artışı	13
2.1.4. Tendon Uzaması	14
2.2. Kuvvet- Hız ilişkisi	14
2.3. Kuvvet-Uzunluk İlişkisi	17
2.4. Kas-Tendon Mimarisi ve Gerilme Kısılma Döngüsü	18
2.4.1. Kas Kesit Alanı ve Boyu	18
2.4.2. Kas ve Tendon Sertliği	19
2.4.3. Fasikül Uzunluğu	20
2.4.4. Pennasyon Açısı	20
2.4.5. Aşil Tendonu	22
2.4.6. Aşil Tendonunun Anatomisi	22
2.4.7. Aşil Tendonu Kesit Alanı ve Boyu	23
2.5. GKD'nin Nörofizyolojik Faktörleri	24
2.5.1. GKD'nin Spinal Mekanizmaları ve Gerilme Refleksi	25

2.5.2.	GKD'nin Farklı Fazlarında Ia afferent İletiminin Modülasyonu	26
2.5.3.	GKD'nin Supraspinal Mekanizması	27
2.6.	Derinlik Sıçraması	28
2.6.1.	Derinlik Sıçramasının Türleri	28
2.6.2.	Derinlik Sıçraması, Optimal Düşüş Yüksekliği ve Reaktif Kuvvet İndeksi	29
2.6.3.	Yerde Kalış Süresi (YKS)	32
2.6.4.	YKS'yi Etkilediği düşünölen faktörler	32
<b>3.</b>	<b>YÖNTEM</b>	<b>34</b>
3.1.	Araştırma Grubu	34
3.2.	Veri Toplama Araçları	35
3.2.1.	Antropometrik Ölçümler	35
3.2.2.	Derinlik Sıçraması Ölçümleri	36
3.2.3.	Kas Pennasyon Açısı ve Tendon Sertlik Değerinin Belirlenmesi	37
3.3.	Verilerin Toplanması	38
3.3.1.	Antropometrik ölçümler	38
3.3.2.	Optimal Düşüş yüksekliğinin belirlenmesi	38
3.3.3.	Kas-Tendon Mekanik Özelliklerine Yönelik Elastografi Ölçümleri	40
3.5.	Verilerin Analizi	42
3.5.1.	Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları	44
<b>4.</b>	<b>BULGULAR</b>	<b>46</b>
4.1.	Derinlik Sıçraması Ölçümleri ile İlgili Tanımlayıcı Bulgular	46
4.2.	Kas-Tendon Mekanik Özellikleri ile İlgili Tanımlayıcı Bulgular	48
4.3.	DS ve Kas-tendon mekanik değişkenlerinin YYS ile ilişki düzeyleri	52
4.4.	Sınıflandırma ve Regresyon ağacı yöntemi ile YYS değişkenine ilişkin eşik değerlerinin belirlenmesi	55
4.5.	DS ve kas-tendon özelliklerinin YYS gruplarına göre karşılaştırması	58
4.5.1.	DS değişkenlerinin YYS gruplarına göre karşılaştırması	58
4.5.2.	DS kuvvet ve güç değişkenlerinin YYS gruplarına göre karşılaştırması	61
4.5.3.	DS zaman değişkenlerinin YYS gruplarına göre karşılaştırması	68
4.5.4.	DS kuvvet-zaman etkileşimi değişkenlerinin YYS gruplarına göre karşılaştırması	70

4.5.5.	Kas-tendon mekanik özelliklerinin YKS gruplarına göre karşılaştırılması	72
<b>5.</b>	<b>TARTIŞMA</b>	<b>74</b>
5.1.	Derinlik sıçraması sırasında elde edilen değişkenlerin YKS ile ilişkisi ve YKS grupları ile karşılaştırması	74
5.1.1.	YKS değerlerinin literatür ile karşılaştırması	74
5.1.2.	DS değişkenlerinin YKS ile ilişkisi ve YKS gruplarına göre karşılaştırması	75
5.2.	Derinlik sıçraması kuvvet, güç, zaman ve kuvvet-zaman etkileşimi değişkenlerinin literatür ile karşılaştırması	78
5.2.1.	Derinlik Sıçraması kuvvet ve güç değişkenlerinin YKS ile ilişkisi ve YKS gruplarına göre karşılaştırması	78
5.2.2.	DS zaman değişkenlerinin YKS ile ilişkisi ve YKS gruplarına göre karşılaştırması	81
5.2.3.	DS kuvvet-zaman etkileşimi değişkenlerinin YKS ile ilişkisi ve YKS gruplarına göre karşılaştırması	83
5.3.	Kas-tendon mekanik özelliklerine ilişkin verilerin literatür ile karşılaştırması	83
5.3.1.	AT uzunluğunun YKS ile ilişkisi ve YKS gruplarına göre karşılaştırması	83
5.3.2.	Kas-tendon sertliği değişkenlerinin YKS ile ilişkisi ve YKS gruplarına göre karşılaştırması	85
5.3.3.	Pennasyon açılarının YKS ile ilişkisi ve YKS gruplarına göre karşılaştırması	85
<b>6.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER</b>	<b>87</b>
6.1.	Sonuçlar	87
6.2.	Öneriler	88
<b>7.</b>	<b>KAYNAKLAR</b>	<b>89</b>
<b>8.</b>	<b>EKLER</b>	<b>101</b>
EK-1.	Aydınlatılmış Onam Formu	
EK-2.	Katılımcı Formu	
EK-3.	Elastografi Ölçüm Formu	
EK-4.	Etik Kurul Karar Dosyası	
EK-5.	Turnitin Orjinallik Raporu Ekran Görüntüsü	
EK-6.	Dijital Makbuz	
<b>9.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>110</b>

**SİMGE VE KISALTMALAR**

<b>ADP</b>	Adenozin Difosfat
<b>AS</b>	Aktif Sıçrama
<b>AT</b>	Aşıl Tendonu
<b>ATP</b>	Adenozin Trifosfat
<b>BKİ</b>	Beden Kütle İndeksi
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	Kalsiyum İyonları
<b>CART</b>	Sınıflandırma ve Regresyon ağacı
<b>DS</b>	Derinlik Sıçraması
<b>E</b>	Eksantrik
<b>GKD</b>	Gerilme Kısılma Döngüsü
<b>H-refleksi</b>	Hoffmann Refleksi
<b>K</b>	Konsantrik
<b>KAP</b>	Kas Aksiyon Potansiyeli
<b>KE</b>	Kasılğan Elementler
<b>KK</b>	Kas Kuvveti
<b>kPA</b>	Kilopaskal
<b>Kvert</b>	Dikey Bacak Sertliği
<b>LLR</b>	Uzun Gecikmeli Tepki
<b>MG</b>	Maksimum Güç
<b>MK</b>	Maksimum Kuvvet
<b>MLR</b>	Orta Gecikmeli Tepki
<b>MSS</b>	Merkezi Sinir sistemi

<b>N</b>	Newton
<b>NVA</b>	Newton Vücut Ağırlığı
<b>ODY</b>	Optimal Düşüş Yüksekliği
<b>Pi</b>	İnorganik Fosfat
<b>PEB</b>	Paralel Elastik Bileşenler
<b>RMSEA</b>	Tahmin Hatalarının Ortalamasının Karekökü
<b>RKİ</b>	Reaktif Kuvvet İndeksi
<b>SEB</b>	Seri Elastik Bileşenler
<b>SLR</b>	Kısa Gecikmeli tepki
<b>SR</b>	Sarkoplazmik Retikulum
<b>SS</b>	Skuat Sıçrama
<b>SY</b>	Sıçrama Yüksekliği
<b>YK</b>	Yerden Kopma
<b>YKS</b>	Yerde Kalış Süresi
<b>YRK</b>	Yer Reaksiyon Kuvveti
<b>W</b>	Watt

## ŞEKİLLER

Şekil	Sayfa	
2.1.	Gerilme kısalma döngüsü	6
2.2.	Hill modeli	8
2.3.	Aktin ve Myozin Filamentlerin	11
2.4.	Kuvvet-Hız İlişkisi	15
2.5.	Kuvvet-Uzunluk Eğrisi	18
2.6.	Aşıl Tendonu	23
2.7.	Derinlik Sıçraması	28
2.8.	Reaktif Kuvvet İndeksi	31
3.1.	Araştırma grubunun belirlenmesine ilişkin akış şeması	34
3.2.	DS sırasında kullanılan ahşap kutular	36
3.3.	Kuvvet Platformu	37
3.4.	Siemens Acuson S3000	38
3.5.	Derinlik Sıçraması	40
3.6.	Kas sertliği ve pennasyon açıları ölçümü	41
3.7.	AT uzunluğu ölçümü	42
3.8.	AT uzunluğu	42
4.1.	Sınıflandırma ve regresyon ağacı	57
4.2.	ODY değerlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırılması	60
4.3.	RKİ değerlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırılması	61
4.4.	YRK değerlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırılması	64
4.5.	Relatif YRK değerlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırılması	64
4.6.	Relatif MG değerlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırılması	66
4.7.	E ve K faz zamanlarının YKS gruplarına göre karşılaştırılması	68
4.8.	MK-YK arasındaki zamanın YKS gruplarına göre karşılaştırılması	70
4.9.	AT uzunluğunun YKS gruplarına göre karşılaştırılması	72

## TABLOLAR

<b>Tablo</b>	<b>Sayfa</b>
<b>3.1.</b> Araştırma grubunun tanımlayıcı istatistikleri	35
<b>4.1.</b> Derinlik sıçraması (A), derinlik sıçraması kuvvet ve güç (B), derinlik sıçraması zaman (C) ve derinlik sıçraması kuvvet-zaman etkileşimi değişkenleri (D)	47
<b>4.2.</b> Kas-tendon mekanik özelliklerine ilişkin ölçüm tutarlılığı sonuçları	49
<b>4.3.</b> MGK, LGK, Soleus kas sertliği ve pennasyon açıları (A) ile Aşil Tendonu kalınlığı, uzunluğu ve sertliği (B) tanımlayıcı istatistikleri	51
<b>4.4.</b> DS (A), derinlik sıçraması kuvvet ve güç (B), DS zaman (C) ve DS kuvvet-zaman etkileşimi değişkenlerinin (D) YKS ile ilişki durumunu gösteren Pearson korelasyon (r) istatistiği değerleri	52
<b>4.5.</b> DS (A), derinlik sıçraması kuvvet ve güç (B) ve DS zaman (C) YKS ile ilişki durumunu gösteren Spearman korelasyon ( $\rho$ ) istatistiği değerleri	53
<b>4.6.</b> Kas-tendon mekanik değişkenlerinin (D) YKS ile ilişki durumunu gösteren Pearson korelasyon (r) istatistiği değerleri	55
<b>4.7.</b> Kas-tendon mekanik değişkenlerinin (D) YKS ile ilişki durumunu gösteren Spearman korelasyon ( $\rho$ ) istatistiği değerleri	55
<b>4.8.</b> Derinlik sıçraması değişkenlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırması	59
<b>4.9.</b> Derinlik sıçraması kuvvet ve güç değişkenlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırması	63
<b>4.10.</b> Derinlik sıçraması zaman değişkenlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırması	67
<b>4.11.</b> Derinlik sıçraması kuvvet-zaman etkileşimi değişkenlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırması	71
<b>4.12.</b> Kas-tendon özellikleri ile ilgili değişkenlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırması	73



## 1. GİRİŞ

Günlük yaşam ve atletik çalışmalar sırasında, başta yürüme olmak üzere, koşma, sıçrama, hızlanma, yavaşlama, ani yön değiştirme ve benzeri birçok sportif hareket gerçekleştirilmektedir. Bu hareketler temelde iki farklı kasılma çeşidinin içinde olduğu bir kas kasılması döngüsünü içermektedir. Eksantrik ve konsantrik kas kasılmalarının peşi sıra birbirini takip ederek lokomotor hareketlerin oluşmasını sağlayan bu döngüye gerilme kısalma döngüsü (GKD) adı verilmektedir (1, 2). GKD, eksantrik bir kas hareketini takiben konsantrik bir kas hareketinin hızlı bir şekilde gerçekleştiği kassal bir hareket kombinasyonudur (3). Bir başka ifade ile GKD, kas-tendon ünitesinin boyunun uzadığı eksantrik fazı takiben, kas tendon ünitesinin boyunun hızla kısaldığı konsantrik fazın izlediği bir süreçtir ve bu kompleks süreçte elastik enerji önce depolanır sonra da kullanılmak üzere serbest bırakılır (4, 5).

Pliometrik çalışmalar adı verilen egzersizler, GKD içeren, kuvvet ve hızın etkili olduğu lokomotor hareketlerin verimli yapılmasını amaçlayan ve uzun yıllardır etkili bir şekilde kullanılan bir antrenman yöntemidir (6). Yerinde dikey sıçramalar, yatay sıçramalar, engel, huni gibi nesnelere üzerinden geçerek yapılan sıçramalar veya kutu sıçramaları pliometrik çalışmalara örnek oluşturmaktadır. Pliometrik çalışmalar zorluk düzeyi ve şiddetine göre piramidal bir yapı içinde incelendiğinde piramidin en alt basamağını yerinde yapılan sıçramalar oluştururken en üst basamağında derinlik sıçramaları (DS) bulunmaktadır (7).

DS bir pliometrik çalışma egzersizi olmasının yanı sıra pliometrik antrenman düzeyini yansıtan bir test aracı olarak da kullanılmaktadır (8-11). DS testi, belirli bir yüksekliğe sahip bir kutu üzerinde, sabit durma pozisyonundan, adım alarak yere konmayı (eksantrik germe aşaması) takiben çabuk ve hızlı bir şekilde bir dikey sıçramayı (konsantrik kısalma) içerir (12).

DS sırasında optimal düşüş yüksekliği (ODY)'nin belirlenmesi, verimli pliometrik antrenman düzeyinin belirlenmesinde önemli bir araç olarak değerlendirilmiştir (13, 14). DS, sıçrama performansının yanı sıra, alt ekstremite kassal güç düzeyinin de bir göstergesi konumundadır (11). Reaktif kuvvet indeksinin (RKİ) hesaplanması aracılığı ile DS, ODY ve pliometrik antrenman düzeyi hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir (8).

RKİ'nin hesaplanmasında diğer önemli bir parametre, yerde kalış süresidir (YKS). DS sırasındaki uçuş zamanı veya sıçrama yüksekliği, YYS'ye bölünerek RKİ değeri elde edilmektedir (13, 15-17) (Eşitlik 1.1). RKİ değerinin azalmaya başladığı düşüş yüksekliği ODY olarak ifade edilmektedir (8).

$$RKİ = \text{Sıçrama Yüksekliği (mm)} / \text{Yerde Kalış Süresi (ms)} \quad (1.1)$$

YKS, yalnızca DS'nin değil, aynı zamanda GKD'nin de düzeyini gösteren önemli bir parametredir (15). Zira, YYS, GKD süresi olarak da ifade edilmektedir (18). GKD, literatürde 250 ms YYS eşik noktası baz alınarak iki sınıfta değerlendirilmiştir (13, 14, 19). YYS veya GKD süresine göre egzersizler hızlı GKD (< 250 ms YYS) ve yavaş GKD (> 250 ms YYS) şeklinde sınıflandırılarak değerlendirilmektedir (13, 16). Buna göre, yürüme sırasındaki GKD, yavaş (270-300 ms), sprint koşusu sırasındaki GKD ise hızlı (70-90 ms) olarak belirtilmektedir. Artan düşüş yüksekliğine bağlı olarak hem hızlı hem de yavaş GKD olarak değerlendirilen lokomotor hareket DS'dir (13).

Teknolojideki son gelişmeler aracılığı ile, sporcular, özellikle sıçrama testlerinin sonuçlarına göre detaylı olarak takip edilebilmektedirler. Sporcuların kuvvet düzeyleri belirlenebilmekte, gelişimleri gözlemlenebilmekte, yaralanma sonrası antrenmana dönüş kriterleri gibi farklı konularda detaylı bilgi elde edilebilmektedir (20). Örneğin altın standart olan kuvvet platformunun kullanımı özellikle dikey sıçrama yüksekliği olmak üzere sınırlı sayıda değişkenin ölçülebildiği sıçrama matlarının yerini hızla almaktadır. Kuvvet platformu ile birlikte üç farklı eksen (x, y, z) kuvvet-zaman eğrisi kapsamında birçok değişken incelenebilmektedir. Bu değişkenlerin başında kuvvet platformlarının temel değişkenleri olan yer reaksiyon kuvveti (YRK) ve hareketin gerçekleştiği zaman (ms) gelmektedir (21)..

Literatürde dinlenik durumdaki kas-tendon mekanik özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan elastografi yöntemi giderek yaygınlaşmakta olan bir diğer yöntemdir (22). Ölçümün hareket esnasında yapıldığı az sayıdaki çalışmanın yanı sıra, dinlenik durumda gerçekleştirilen çalışmalar literatürde sıkça gözlenmektedir (23). Özellikle kas sertliği değerlerinin ölçüldüğü gözlemlenen çalışmalar literatürde daha sık yer almaktadır (24). Bununla birlikte Aşil Tendonunun (AT) boyutsal

incelemesinin yapıldığı çalışmalar da yer almaktadır (25, 26). AT ve AT'ye bağlı kasların incelendiği ve Aktif sıçrama (AS) başta olmak üzere DS ile ilgili bazı özelliklerin de incelendiği çalışmalar (27) bulunuyor olsa da YKS'nin temel değişken olarak kabul edilip GKD'yi etkileyen faktörler kapsamında yapılan bir inceleme literatürde yer almamaktadır.

Eksantrik ve konsantrik kasılmaların nasıl bir fizyolojik süreç içerisinde meydana geldiği ve bu süreçlerin GKD'nin çıktıları olarak düşünülen YKS ile sıçrama yüksekliğini nasıl etkiledikleri literatürde yoğun olarak çalışılmaktadır. Bu çalışmada ise, özellikle YKS'nin hangi faktörler tarafından nasıl etkilendiği sorusuna yanıt aranmaktadır. Bu amaçla, GKD verimliliğinin test edilmesinde son yıllarda daha çok kullanılan DS testinin yer ile temas, YKS dikkate alınmıştır. Bu çalışmada DS tek lokomotor hareket olarak uygulanmış ve etkilediği düşünülen faktörlerin incelenmesinin yanı sıra 250 ms YKS'den farklı bir eşik noktasının varlığı sorgulanmış ve literatürden farklı olarak bireyler YKS'ye göre sınıflandırılarak değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda bu tez çalışmasının amaçları, araştırma problemleri ve hipotezleri aşağıda sunulmuştur.

### **Araştırmanın Amaçları**

YKS'nin; (1) kuvvet, güç, zaman ve kuvvet-zaman etkileşimi değişkenleri ile kas-tendon mekanik özellikleri değişkenlerinden hangileri ile etkileşimde olduğunu belirlemek ve (2) elde edilen bulgulardan yola çıkarak, 250 ms'den farklı YKS eşik değerleri elde edilip edilemeyeceğini araştırarak GKD'yi belirlenecek eşik değerlerine göre gruplayarak incelemektir.

### **Araştırmanın Problemleri**

1. Tek bir eşik değerinin (250 ms) kullanıldığı iki farklı sınıflama (hızlı-yavaş GKD) yerine farklı eşik değerlerinin kullanıldığı, farklı sınıflandırmalar var mıdır?
2. DS sırasında elde edilen değişkenler ile kuvvet, güç, zaman ve kuvvet-zaman etkileşimi değişkenlerinin YKS ile ilişkisi var mıdır?
  - 2.1. DS değişkenlerinin (ODY, RKİ ve SY) YKS ile ilişkisi var mıdır?
  - 2.2. DS kuvvet değişkenlerinin (YRK, Relatif YRK, E-Relatif YRK, K-Relatif YRK) YKS ile ilişkisi var mıdır?

- 2.3. DS güç değişkenlerinin (Relatif MG, E-relatif MG, K-relatif MG) YKS ile ilişkisi var mıdır?
- 2.4. DS zaman değişkenlerinin (E-zaman, K-zaman, MK ulaşma zamanı, MK-YK anı arasındaki zaman) YKS ile ilişkisi var mıdır?
- 2.5. DS kuvvet-zaman etkileşimi değişkenlerin (Maksimum hız, Toplam KÜH, E-KÜH, K-KÜH) YKS ile ilişkisi var mıdır?
3. Kas-tendon mekanik özelliklerine ilişkin değişkenlerin YKS ile ilişkisi var mıdır?
- 3.1. Pennasyon açılarının (MGK, LGK, Soleus kası) YKS ile ilişkisi var mıdır?
- 3.2. Kas sertlik düzeylerinin (MGK, LGK, Soleus kası) YKS ile ilişkisi var mıdır?
- 3.3. AT değişkenlerinin YKS (AT uzunluğu, AT kalınlığı ve AT sertliği) YKS ile ilişkisi var mıdır?
4. DS sırasında elde edilen değişkenlerin YKS grupları arasında fark var mıdır?
- 4.1. DS değişkenleri (ODY, RKİ ve SY) YKS gruplarına göre farklı mıdır?
- 4.2. DS kuvvet değişkenleri (YRK, Relatif YRK, E-Relatif YRK, K-Relatif YRK) YKS gruplarına göre farklı mıdır?
- 4.3. DS güç değişkenleri (Relatif MG, E-relatif MG, K-relatif MG) YKS gruplarına göre farklı mıdır?
- 4.4. DS zaman değişkenleri (E-zaman, K-zaman, MK ulaşma zamanı, MK-YK anı arasındaki zaman) YKS gruplarına göre farklı mıdır?
- 4.5. DS kuvvet-zaman etkileşimi değişkenleri (Maksimum hız, Toplam KÜH, E-KÜH, K-KÜH) YKS gruplarına göre farklı mıdır?
5. Kas-tendon mekanik özellikleri YKS gruplarına göre farklı mıdır?
- 5.1. Pennasyon açıları YKS gruplarına göre farklı mıdır?
- 5.2. Kas sertlik düzeylerinin YKS gruplarına göre farkı var mıdır?
- 5.3. AT değişkenleri YKS gruplarına göre farklı mıdır?

### **Araştırmanın Hipotezleri**

1. Tek bir eşik değerinin (250 ms) kullanıldığı iki farklı sınıflama (hızlı-yavaş GKD) yerine farklı eşik değerlerinin kullanıldığı, farklı sınıflandırmalar vardır.
2. DS sırasında elde edilen değişkenlerinin YKS ile ilişkisi vardır.

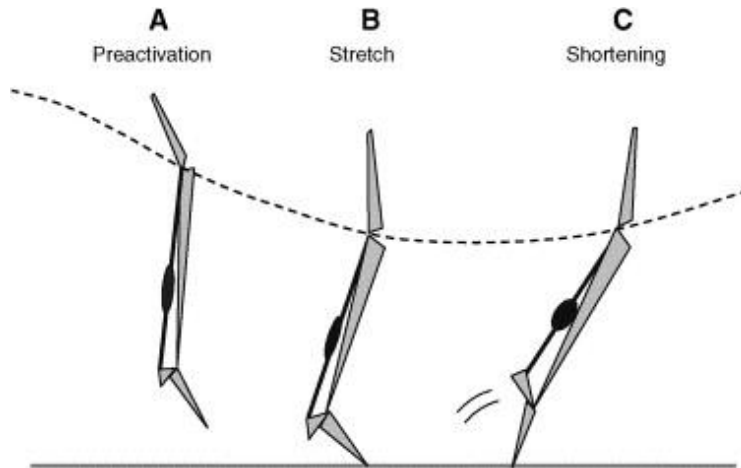
- 2.1. DS değişkenlerinin YKS ile ilişkisi vardır.
  - 2.2. DS kuvvet değişkenlerinin YKS ile ilişkisi vardır.
  - 2.3. DS güç değişkenlerinin YKS ile ilişkisi vardır.
  - 2.4. DS zaman değişkenlerinin YKS ile ilişkisi vardır.
  - 2.5. DS kuvvet-zaman etkileşimi değişkenlerin YKS ile ilişkisi vardır.
3. Kas-tendon mekanik özelliklerine ilişkin değişkenlerin YKS ile ilişkisi vardır.
- 3.1. Pennasyon açılarının YKS ile ilişkisi vardır.
  - 3.2. Kas sertlik düzeylerinin YKS ile ilişkisi vardır.
  - 3.3. AT değişkenlerinin YKS ile ilişkisi vardır.
4. DS sırasında elde edilen değişkenlerin YKS grupları arasında en az iki grupta fark olacaktır.
- 4.1. DS kuvvet değişkenleri YKS gruplarına göre fark vardır.
  - 4.2. DS güç değerleri YKS gruplarına göre fark vardır.
  - 4.3. DS zaman değişkenleri YKS gruplarına göre fark vardır.
  - 4.3. DS kuvvet-zaman etkileşimi değişkenleri YKS gruplarına göre fark vardır.
5. Kas-tendon mekanik özellikleri YKS gruplarına göre fark vardır.
- 5.1. Pennasyon açıları YKS gruplarına göre fark vardır.
  - 5.2. Kas sertlik düzeylerinin YKS gruplarına göre farkı vardır.
  - 5.3. AT değişkenleri YKS gruplarına göre fark vardır.

## 2. GENEL BİLGİLER

Tez çalışmasının literatür özetine ilişkin bu bölümünde öncelikle GKD hakkında genel bilgilendirme yapılmış ve GKD mekanizmasını oluşturan unsurlar anlatılmıştır.

### 2.1. Gerilme Kısılma Döngüsü

Gerilme Kısılma Döngüsü (GKD), kas hareketinin en doğal formudur. İçerisinde kas fonksiyonunun konsantrik, izometrik ve eksantrik kasılma durumunu bulundurmaktadır (28). Bu kas kasılma kombinasyonunu yürüme, koşma, sıçrama gibi lokomotor hareketlerde görmek mümkündür (29). GKD kendi içinde üç farklı durumu içermektedir. Bunlar; a) eksantrik faz öncesi zamanlaması iyi olan bir ön aktivasyon fazı; b) hızlı ve kısa eksantrik fazı ve c) eksantrik ile konsantrik fazlar arası hızlıca gerçekleşen bir aktarım fazından (izometrik faz veya amortizasyon fazı) oluşmaktadır (2).

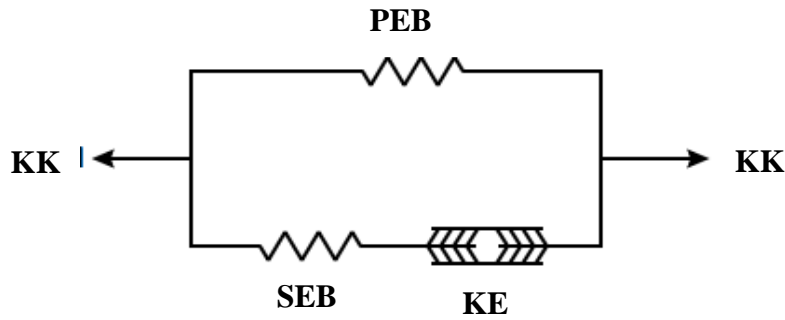


**Şekil 2.1.** Gerilme kısılma döngüsü (12).

GKD'yi iki bakış açısı ile değerlendirmek mümkündür. Birincisi, ön aktivasyon süreci, diğeri ise yapılmak istenen hareketin fonksiyonel fazıdır. Buna örnek olarak koşu esnasında bacak ekstansör kaslarının yerle teması verilebilir. Koşu esnasında yerle temas öncesinde bir ön aktivasyon meydana gelmektedir. Yerle temasın devamında ise bir konsantrik kasılma ile bir sıçrama gerçekleştirilmektedir. Yani bir başka ifade ile koşu hareketini dikkate aldığımızda yerle temas öncesi, ön

aktivasyon ve konsantrik kasılmanın meydana geldiği sıçrama fazında ise koşu hareketinin fonksiyonel fazı gerçekleştirilmektedir. Ön aktivasyon süreci aynı zamanda eksantrik bir kas kasılmasını yani kastaki eksantrik gerilmeyi içermektedir. Bu örneğe ilişkin görsel Şekil 1.1’de paylaşılmıştır (12, 30). Aktif kısılmadaki kas kuvveti aktif bir gerilmeye yani eksantrik kasılmaya bağlıdır. Bu iskelet kas özelliğine GKD etkisi adı verilmektedir (1). GKD etkisinin değerlendirilmesindeki diğer önemli unsurlar, yerle temas sırasında kas ve tendondaki uzunluk değişimleri ve gerilim refleksinin rolüdür. Bir başka deyişle, GKD’yi sırasıyla gerilme refleksi, tendon uzaması, ön aktivasyon ve rezidüel kuvvet artışı faktörleri meydana getirmektedir (31, 32).

Konsantrik fazdaki performans artışı, elastik veya reaktif potansiyelin kapasitesi ile ilişkilidir. Sıçrama ve sprint gibi aktivitelerde elastik kuvvet potansiyelinin mekanik enerjiye dönüşümü neticesinde konsantrik fazda beklenen performans gerçekleştirilebilmektedir (33). Performans artışını sağlayan unsur ise yukarıda da ifade edildiği gibi eksantrik faz öncesinde meydana gelen ön aktivasyon ile başlayan ve konsantrik faz ile sonuçlanan süreçtir. Bu süreçte konsantrik faz sonunda elde edilen çıktıyı etkileyen önemli fazlardan biri eksantrik faz ile konsantrik faz arasında kalan ve birçok kaynaktan izometrik faz olarak da belirtilen bir başka ifade ile eksantrik kasılmanın konsantrik kasılmaya geçiş fazıdır (33, 12, 34). Bu duruma en iyi örneklerden biri AS ile SS arasındaki sıçrama yüksekliği performansı olarak kabul edilir. Buna göre, AS yüksekliğinin SS’ye göre %20-30 arasında daha fazla olduğu belirtilmektedir (35). Bunun nedeni elastik enerjinin AS’de kullanılmasıdır (36). Bir başka ifade ile GKD mekanizmasında önemli rol oynayan seri elastik bileşenlerde (SEB) elastik enerjinin toplanması ve kasılған elementlerde biriken enerjinin bir anlamda kuvvete dönüştürülmesidir. Elastik enerjinin GKD performansındaki rolünü daha iyi anlayabilmek için Hill’in geliştirdiği yay modeline göz atmak gerekir (35).



KE: Kasılğan elementler; KK: Kas kuvveti; PEB: Paralel elastik bileşenler; SEB: Seri elastik bileşenler

**Şekil 2.2.** Hill modeli (37).

### 2.1.1. Hill ve Huxley modelleri

Kas kasılması mekaniği Hill tarafından ilk olarak 1938 yılında modellenmiştir. Modelde mekanik yapı üç unsuru içermektedir. Bunlar; aktin ve myozinin oluşturduğu kasılğan bileşenler, sarkolema ve kas fasyası gibi paralel elastik bileşenler (PEB) ve çapraz köprüler, yapısal proteinler ve tendondan oluşan seri elastik bileşenlerden oluşmaktadır (35). Bu modelde PEB'ler kasılabilen miyofibril yapıya paralel, SEB'ler ise seri bağlanmıştır. Kasın kasılması ile birlikte PEB ve SEB'lerde enerji depolanır ve gevşeme ile birlikte depolanan enerji açığa çıkar (38). Bu modelde kasılğan bileşenlerin ürettiği kuvvet miktarı paralel ve seri elastik bileşenlerin ürettiği kuvvet miktarına eşittir. Bir başka ifade ile, kasılğan bileşenler tarafından üretilen kuvvet miktarı kasın kasılma hızı, uzunluğu ve kasın aktivasyonuna bağlıdır (39, 40).

Bu modelin, kasın kasılğan bileşenlerinin kuvvet-hız özelliklerine duyarlı olduğu yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur (39, 41). Örneğin; yapılan bir çalışmada gastroknemius medyal ve gastroknemius lateral kaslarının farklı zaman ölçülerinde ürettikleri kuvvet miktarının izometrik kasılma sırasında elde edilen kuvvet miktarından %15 ile %28 oranında daha fazla olduğu tespit edilmiştir (42). Ancak, Hill modeli ile ilgili yapılan eleştiri modelin kas kasılması metabolizi ve mekaniği ile ilgili doğrudan bir ilişki düzeyinin eksikliğidir. Bu nedenle model fenomen olarak kalmaya devam etmiş ve 1957 yılında Huxley modeli ortaya çıkmıştır (43).

Huxley modeli üzerinde yapılan çalışmalar Hill modelinin açıklayamadığı kas fibrilinin hızlı zaman – büyüklük fenomenini konu almışlardır. Bununla birlikte seri



elastik veya submaksimum aktivasyon bu yapıda modellenmemiştir (43). Huxley modeli ile birlikte kayan filamentler ile çapraz köprüler teorileri ortaya çıkmıştır. Çapraz köprüler teorisi ilk olarak Huxley tarafından tanımlanmıştır. Huxley'in bu konudaki ilk görüşlerine göre kasın uzama evresindeki maksimum kuvveti izometrik kuvvete göre 5.33 kat daha fazladır. Bununla birlikte ortaya çıkan ısı da eksantrik faz sırasında oldukça büyük miktardadır. Bu ortaya çıkan ısı ise kimyasal reaksiyonlardan değil eksantrik faz sonunda harekete verilen kısa aradan kaynaklanmaktadır (44).

### 2.1.2. Çapraz Köprüler Döngüsü

Ön aktivasyon veya rezidüel kuvvet artışı gibi GKD verimliliğini etkileyen faktörlerden biri de çapraz köprüler kinetiği olarak ifade edilmektedir (45). Literatürde çapraz köprüler döngüsü adı verilen bu mekanizma sırasında çizgili kasların temel kasılabilir yapısı olan sarkomerin içerisinde bulunan ince filamentlerin (aktin filamentleri) kalın filamentlere (myozin filamentleri) bağlanması sonucu sarkomer boyunun kısılması ile kas kasılması gerçekleşmektedir (46).

Sarkomer, iki Z- bandı arasında yer alan birkaç mikrometre uzunluğunda olan bölümdür (47). Sarkomer içerisinde A bandı olarak da ifade edilen ve iki yanında aktin filamentlerinden oluşan myozin filamentlerini bulundurmaktadır. A bandı, sarkomerin ortasında yer almaktadır ve çoğunlukla kuvvet üretiminde motor protein olarak da ifade edilen myozin filamentlerinden oluşmaktadır(46). Aktin ve myozin proteinlerinin birbiri ile bağlanması sonucunda kas kasılması meydana gelmektedir (48, 46).

Bu fizyolojik süreç, Merkezi sinir sistemi (MSS)'de oluşan aksiyon potansiyelinin t-tübüller aracılığı ile kas boyunca ilerlemesi ile başlamaktadır. Çapraz köprüler döngüsünü başlatan, gerektiğinde sonlandıran ve bu döngüyü kontrol eden kalsiyum iyonlarıdır ( $Ca^{2+}$ ).  $Ca^{2+}$  aktin ve myozin filamentlerinde yüksek konsantrasyona sahip ise çapraz köprü döngüsü meydana gelmektedir.  $Ca^{2+}$  iyonları uzaklaştığında çapraz köprü döngüsü sonlanır (49, 50, 48).

İnce myofilament ağırlıklı olarak aktin proteininden oluşur. Bununla beraber düzenleyici proteinlerden tropomyozin ve troponini de içermektedir (47). Kalsiyum iyonlarının görevi, troponin'e bağlanarak tropomyozinin kaymasını sağlayarak aktin

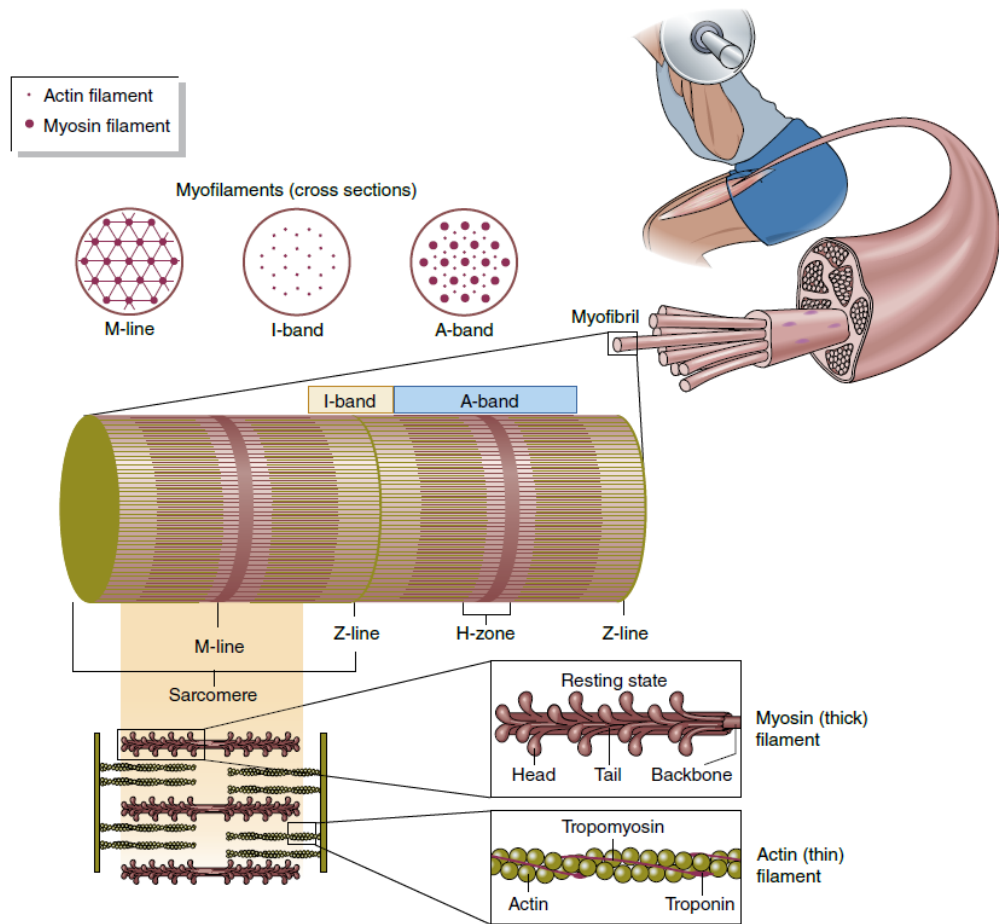
üzerindeki bağlantı noktalarını myozinin çapraz köprüleri için görünür kılmaktır (48, 47).

$Ca^{2+}$  etkisi, kas fibril membranında, yani sarkolemada kas aksiyon potansiyelinin başlaması ile başlar (49). Bu süreç bir motor sinirin aksonlar boyunca ilerlemesi ve sinir hücresi ile kasın bağlantı yaptığı kavşak arasına ve motor son plak adı verilen bölgeye ulaşması ile devam etmektedir. Sarkolema üzerindeki motor son plağa ulaşan sinir uyarımı sonucunda asetilkolin salgılanır. Bu sürece nöromusküler iletim adı verilir. Kas aksiyon potansiyeli (KAP) kas fibrilinin her iki uç noktasına kadar yolculuğuna devam eder. Sarkolemanın önemli özelliklerinden biri üzerinde T-tübülleri olarak adlandırılan enine tüplerin olmasıdır. Bu tüpler KAP'ın kas fibrilinin içine girmesini sağlamaktadır (51). T-tübüller sarkoplazmik retikulum (SR) adı verilen bölünmüş tübüler ağa bağlıdır. SR'nin görevi  $Ca^{2+}$  iyonlarının kas gevşek iken depolanmasını sağlamak ve KAP'a cevap kasılma gerçekleşeceği zaman ise salınımını sağlamaktır (49, 50).

Uyarıyı alan t-tübüller her bir myofibrili çevreleyen ve kalsiyumun depolandığı sarkoplazmik retikulumu uyararak kalsiyumun salınmasını sağlar (51). Bu durumun devamında salınan kalsiyum iyonları aktin filamentlerini çevreleyen tropomiyozin proteinine bağlı troponin proteini ile etkileşime geçer. Tropomiyozin iki zincirli helikal düzenleyici proteindir ve kas kasılması olmadığı zamanlarda aktinin bağlanma alanlarını kapatmaktadır. Bu etkileşim aktine bağlı tropomiyozinleri çıkararak aktin filamentleri üzerinde yer alan myozin bağlanma alanlarını ortaya çıkarır ve myozinin bağlanacağı şekilde bağlanma alanlarını hizalar (51). Bu süreç aktin filamentlerinin myozin başı aracılığı ile myozin filamentlerine bağlanması ile sonuçlanır ve ince filamentler sarkomerin merkezine doğru çekilerek sarkomerin boyunun kısalması sağlanmış olur (51, 48).

$Ca^{2+}$  iyonlarının depolanması iki yolla meydana gelir. Birincisi, SR membranı aktif iletim sistemine sahiptir. Buna göre,  $Ca^{2+}$  iyonları pompalandığında SR içindeki  $Ca^{2+}$  iyonlarının konsantrasyonu yüksek, sarkoplazma dışında çok düşüktür. İkincisi, kas dinlenik durumdayken SR'deki  $Ca^{2+}$  kanalları etkili bir şekilde kapalıdır.  $Ca^{2+}$  pompalandığında SR içine sızması kolay değildir (52).  $Ca^{2+}$  iyonunun salgılanması fonksiyonu KAP'a cevap niteliğindedir. KAP'ı T-tübüllerin içine geçtiğinde SR ve T-

tübüllerin bağlantı yerleri değişir. SR, T-tübüllere göre pozisyonlanır ve SR'nin,  $Ca^{2+}$  salınım kanalları açılır. Bu durum öncesinde  $Ca^{2+}$  iyonları troponin'e bağlanır. Bu bağlanma ise, çapraz köprüler döngüsüne yani kas kasılmasını başlatır.  $Ca^{2+}$  iyonlarının geri alınması  $Ca^{2+}$  SR dışındaki konsantrasyonun artması sonucu gerçekleşir.  $Ca^{2+}$  iyonlarının geri alınmasına KAP'ın etkisinin  $Ca^{2+}$  salınım kanallarında yitirilmesine yardımcı olur. Bu durum,  $Ca^{2+}$  iyonlarının SR'den akışını kısıtlar ve geri pompalanır. KAP'ın çapraz köprüler döngüsünün tetiklediği süreç uyarma-kasılma eşleşmesi adı verilir (48).



**Şekil 2.3.** Aktin ve Myozin Filamentlerin (7).

Çapraz köprüler döngüsü sırasında ATP'nin iki önemli rolü vardır. Bunlar; 1) ATP'nin çapraz döngüye bağlanması ve çapraz köprünün güç stroku sonunda aktinden ayrılmasını sağlar. 2) ATP'den enerji ADP ve inorganik fosfata (Pi) geçer ve çapraz köprünün diğer ürünleri serbest kalır. Aktin filamentlerinin myozin filamentlerinden

ayrılması sırasında ATP myozin başına bağlanır. Ayrılma işlemi öncesinde ATP, ADP'ye dönüşür ve inorganik fosfat ortaya çıkar ve kas eski boyuna ulaşır (51, 48, 46).

Çapraz köprü kinetiği kadar çapraz köprü içermeyen titin ve nebulin gibi yapılar da GKD etkinliğini etkilemektedir. Tomalka ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada GKD etkisinin GKD hızına bağlı olarak arttığı belirtilmiştir (53, 54). Bu bulgu aynı zamanda çapraz köprü içermeyen titin proteini gibi viskoelastik yapıların, GKD etkinliğini nasıl etkilediğini ortaya koymaktadır (53). Çapraz köprü döngüsü sırasında konsantrik kasılmanın potansiyelini artıran elastik enerjinin depolanması da gerçekleşmektedir. Bu depolanma, myozin başının aktine bağlandığı en uzak anda yani kasın en uzun olduğu sırada gerçekleşmektedir (1). Bir başka ifade ile kasın gerilimi sırasında çapraz köprülerin uzadığı anda elastik enerji depolanması meydana gelmektedir ve bu kasın kısılması sırasında GKD etkinliğini de etkilemektedir (54).

Çapraz köprüler GKD sırasında kuvvet artışında rol oynarken, titin proteini elastik enerjinin depolanması ve boşaltılması gibi GKD etkinliğini etkileyen hıza bağlı viskoelastik bir davranış sergilemektedir (55, 54). Kasta meydana gelen gerilmenin veya uzamanın baş oyuncusu titin proteindir (56). Titin proteini kas fibrilinde bulunan aktin ve myozin proteinlerinin dışında keşfedilmiş üçüncü yapısal proteindir. Titin proteini düzenleyici mekanizma içerisinde kuvvet üreten kas proteini özelliği taşımaktadır (55).

Titin proteini, sarkomerde z-çizgisinden M-bandına kadar uzanır ve bilinen en büyük protein olma özelliğini taşır (56). Her bir titin proteini A bandında kalın filament ve I bandında ince filament ile bağlantılıdır. Her yarı sarkomer içerisinde bir kalın filament, 6 titin proteinini sarmalamaktadır. Her bir ince filament ise komşu kalın filamentlerden yayılan 3 titin proteinine etki etmektedir (57). Nishikawa kayan filamentler teorisine ilave olarak ince filamentlerin myozin proteini üzerindeki kayma hareketinin devamında ince filamentlerin rotasyon yaptıkları varsayımı üzerine kurulan winding filament teorisini ortaya koymuşlardır. Bu teoriye göre, ince filamentlerin rotasyona uğraması ile birlikte A bandında kalın, Z bandında ince filamentlere bağlı olan titin, ince filamentleri sarmaktadır. Titinin ince filamentleri sarması PEVK uzunluk ve sertliğini değiştirmesine ve izometrik kas kasılması ile aktif

gerilme sırasında elastik enerjiyi depolamasını sağlamaktadır (57). Titin'in elastik yapısı sarkomer içerisinde 2.7-3.1  $\mu\text{m}$  uzunluğa sahiptir (58).

Titin proteini aynı zamanda kasın gerilmesi sırasında ve sonrasındaki kuvvet artışını da etkilemektedir (54). Bir başka deyişle titin proteini kas kuvvet üretiminde aktif rol oynamaktadır (59).

### **2.1.3. Ön Aktivasyon ve Rezidüel kuvvet artışı**

GKD sırasında aktif kas kısılması öncesinde aktif kas gerilmesi meydana gelmektedir. Böylece kas, aktif kısılmanın başlangıcında aktif hale gelmektedir. Skuat sıçramada (SS) olduğu gibi yalnızca konsantrik kasılmanın meydana geldiği hareketlerde ön aktivasyon adı verilen bu durum söz konusu olmamaktadır (45). Ön aktivasyon olgusu ilk olarak 1965'te Cavanagh ve diğerleri tarafından ortaya atılmış ve konsantrik fazdaki performansın elastik enerjinin depolanmasına bağlı olduğu belirtilmiştir. Zaman içerisinde birçok farklı görüş de ortaya konmuş olsa da elastik enerjinin etkisinin geçersiz kılındığı farklı bir görüş ortaya çıkmamıştır (29). Ön aktivasyon sayesinde ortaya çıkan bu kuvvet potansiyasyonunun temel faktörünün tendon gerimi olduğu belirtilmektedir (32, 60). Bu görüş, Cavanagh ve diğerlerinin görüşünü destekler niteliktedir. Zira, elastik enerji tendon gibi seri elastik elementlerin geriminin bir sonucu olarak meydana gelmektedir (2). Gerilim refleksi ve rezidüel kuvvet artışı konsantrik fazın ön aktivasyonunun diğer önemli faktörlerini oluşturmaktadır (32).

Eksantrik kasılma aktif kasın gerilmesidir. Eksantrik kasılma, kasın karşılaştığı dışsal kuvvet, kasın kendisinin ürettiği kuvvetten fazla ise meydana gelmektedir. Örneğin, merdivenden iniş sırasında hareketin kontrolü diz ekstansör kasları aracılığı ile sağlanmaktadır ancak merdiven inişi sırasında yerçekimi kuvveti hareket sırasında üretilen kuvvetten fazladır (56, 61). Eksantrik kasılma sırasında izometrik ve konsantrik kasılmalara göre kuvvet daha fazladır. Buna karşın enerji içeriği düşer ve eksantrik kasılma sonrası kasılma kuvveti artar (56, 61). Kuvvet artışı kasın uzama büyüklüğüne bağlı olarak gerçekleşir. Bununla birlikte, kasın uzaması durduğunda veya aktif olarak kısılma başladığında meydana gelen kuvvet artışı azalır. Eğer eksantrik fazın sonunda ulaşılan kuvvet miktarı kasılmanın başlangıcındaki kuvvet

miktarından fazla ise bu kuvvet miktarı rezidüel kuvvet olarak tanımlanmaktadır (44). Rezidüel kuvvet artışına, belirli bir eşik düzeyini aşması durumunda kasın gerilme hızı da etkide bulunabilmektedir. Fukutani ve diğerlerinin (62) yaptıkları çalışmada, yavaş ve orta hızlarda meydana gelen gerilme hızlarının (2, 4, 8, 16 mm/sn) rezidüel kuvvet artışı büyüklüğüne etkisinin benzer olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada rezidüel kuvvet artışının daha yüksek gerilme hızlarından (32 ve 64 mm/sn) etkilendiği belirtilmiştir. Bir başka ifade ile rezidüel kuvvet artışı küçük ve orta düzey gerilme hızlarından etkilenmediği ancak yüksek gerilme hızlarından etkilenebileceği ifade edilmiştir.

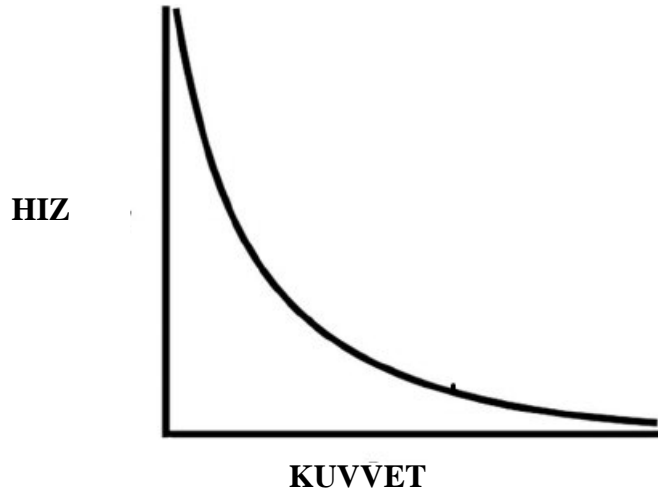
#### **2.1.4. Tendon Uzaması**

Tendon uzaması, gerilme kısılma döngüsü içerisinde meydana gelen aşamalardan biri olarak ifade edilmektedir (32). Tendon uzaması, GKD sırasında eksantrik kasılma esnasında tendonun gerilmesi anlamına gelmektedir. Elastik tendonlar kuvvet düzeyi arttığında dinamik hareketlerin mekaniğini artması amacıyla elastik enerjinin depolanması ve salınması için uzarlar (63). Pasif bir dorsifleksiyon hareketi sırasında hem kas fibrillerinin hem de tendonun uzadığına ilişkin bulgular olduğu belirtilmektedir (64). Tendon uzunluğundaki değişim, kasların kuvvet üretme becerisini optimize etmesi için meydana gelen farklı bir mekanizmadır. Bu mekanizmaya kas-tendon etkileşimi (Tendon Elongation) adı verilmektedir (63). Tendon uzunluğundaki değişim kasın kuvvet üretme kapasitesini belirlemekte etkilidir. Bu durum kuvvet-uzunluk ve kuvvet-hız ilişkileri sırasında kuvvet üretimini de etkilemektedir. Ancak GKD etkisi açısından değerlendirildiğinde ön aktivasyon ve rezidüel kuvvet artışının yanında tendon uzamasının önemli olmadığı da belirtilmektedir (63).

#### **2.2. Kuvvet- Hız ilişkisi**

Kuvvet-hız ilişkisi; kuvvet'in artışına bağlı olarak konsantrik bir kasılma sırasında hızın düşüşünü, eksantrik bir kasılma sırasında da hızın artışı ifade etmektedir (65). Konsantrik kasılma sırasında kuvvetin azalmasına karşılık her kas kısılması sırasında meydana gelen hız artışının nedeni, bağlı olan çapraz köprü sayılarının azalması ve bu durumun yavaşlatma etkisini azaltmasıdır (48). Kuvvet-hız

ilişkisi yaygın olarak tek ve çok eklemlili kompleks hareketlerde (dikey sıçrama, sprint veya kürek gibi) kassal fonksiyonu değerlendirmek için kullanılmaktadır (65, 66). Bu ilişki, genel olarak antrenman takibi, yaralanma yönetimi, yorgunluk takibi veya kuvvet asimetrisi değerlendirmesinde kullanılmaktadır (66).



**Şekil 2.4.** Kuvvet-Hız İlişkisi (67).

Kuvvet-hız ilişkisi Hill'in 1938'de kurbağa kaslarını izole ederek kas kasılması üzerine yaptığı çalışmaların sonucunda ortaya çıkan teori ile Huxley'in kas kasılması mekanizması hakkında teorisi temel alınarak ortaya çıkmıştır (65). Kuvvet-hız ilişkisi moleküler ve tek hücreli seviyeden tek ve çok eklemlili hareketlere kadar birçok çalışmada incelenmiştir. Yapılan ilk dönem çalışmalarında izole kaslarda kuvvet üretimi ve fasiküllerdeki kısalma hızı özelinde kuvvet-hız ilişkisi değerlendirilmiştir. Bu çalışmalarda hareket hızı dikkate alınmamıştır. Ancak, daha sonraki çalışmalarda ek yük gibi dışsal kuvvet üretimi ile hareket hızı birlikte gözlenmeye başlanmıştır (66). Bu süreçle birlikte, tek ve çok eklemlili kompleks hareketlerde kuvvet-hız ilişkisi çalışılmaya devam edilmektedir (65).

Kuvvet-hız ilişkisi negatif yönlü doğrusal bir ilişki olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna göre, kuvvet veya hız parametrelerinden biri arttıkça diğer parametrede azalma gözlenmektedir (66). Örneğin, konsantrik kas kasılma hızı arttığında kasılma sırasında üretilen kuvvet miktarı daha az olacaktır. Bu süreç, kasılma sırasında çapraz köprülerin bağlanma ve ayrılmaları için gerekli sürenin yeterince olmaması ve artan kas kısalma hızına bağlı olarak toplam bağlanan çapraz köprü sayısının azalması, bu durumun sonunda ise kuvvet üretiminde azalma meydana gelmesi olarak açıklanabilmektedir (68). Bununla birlikte yukarıda anlatılan sürecin

tersi de mümkündür. Bir başka ifade ile konsantrik kasılmanın baskın olduğu hareketlerin incelendiği çok çalışma yer almaktadır (69). Örneğin, SS gibi konsantrik kasılmanın baskın olduğu dikey sıçrama türünde ek ağırlıklar yüklenerek yapıldığında, negatif yönlü kuvvet-hız eğrisi olduğu, bir başka ifade ile, yük artışına bağlı olarak kuvvetin arttığı fakat hızın azaldığı belirtilmektedir (69).

Eksantrik kuvvet-hız ilişkisinin incelendiği çalışmalar ne yazık ki az sayıdadır. Günlük yaşantı içerisinde bir yükseklikten düşüldüğünde veya vücut ağırlığının aşağı yönlü bir hareketinde kullanılan eksantrik kas kasılmalarında kuvvet – hız ilişkisi konsantrik karakteristikten farklı gözükmemektedir (65). Buna göre; eksantrik kasılmalarda izometrik kasılma noktasına kadar kuvvetin hız ile dışbükey bir eğilim gösterdiği ve hızdaki azalma ile birlikte kuvvette de bir azalmanın olduğu gözlenmektedir. Bir başka ifade ile eksantrik kas kasılması sırasında yüksek kuvvete karşın yüksek hız söz konusudur. Bu açıdan bakıldığında konsantrik kuvvet-hız ilişkisinden farklı olarak eksantrik kuvvet-hız ilişkisi doğrusal ancak pozitif bir ilişki eğimi göstermektedir (65, 70).

Kuvvet-hız ilişkisi aslında kasın güç üretme kapasitesini dikte etme özelliğine sahiptir. Bu ilişki, iskelet kasının maksimum güç çıktısı ile ilişkilidir (65). Bir başka ifade ile maksimum güç çıktısının belirlenmesinde kuvvet-hız ilişkisi dikkate alınmaktadır (68). Bu açıdan bakıldığında genellikle kuvvet-hız ilişkisi güç çıktısının geliştirilmesi amacıyla içerisinde ağırlık ve pliometrik egzersizlerin olduğu antrenman programlarında optimal yükün belirlenmesinde kullanılmaktadır (71).

Dikey sıçrama kuvvet-hız ilişkisinin değerlendirilmesinde kullanılan önemli bir araçtır (69). Ancak, sıçrama testlerinin standardizasyonu açısından sorunlar ortaya çıkmaktadır. Hangi sıçrama testinin kullanılacağı veya sıçrama testleri sırasında nasıl bir ek yük uygulanacağı konusunda belirsizlikler bulunmaktadır. Bu belirsizliklere rağmen, literatürde en sık kullanılan sıçrama testleri SS ve AS'dir (72, 73). Bu testlerin kullanılmasının bir diğer nedeni SS ve AS'lerde konsantrik kuvvet-hız karakteristiğinin daha belirgin bir şekilde ortaya konmasıdır (69). Moir ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada AS ve farklı yükseklikten yapılan DS'lerde (40, 60 ve 80 cm) eksantrik ve konsantrik kuvvet-hız ilişkisi incelenmiştir. Çalışmanın ana bulgusunda DS düşüş yüksekliğindeki artışla birlikte ortalama kuvvet ve hızın hareketin eksantrik

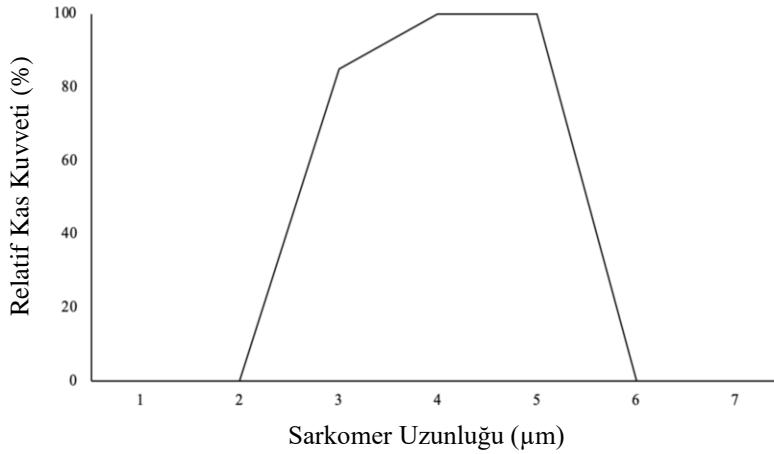


fazında birlikte arttığı görülmektedir. Çalışmada iki nokta arasındaki değerler incelendiğinde, AS (0 cm düşüş yüksekliği) - DS 60 cm arasında eksantrik fazda kuvvetin arttığını, 80 cm yükseklikten yapılan DS'de ise hızın artmaya devam ettiği gözlenmiştir. Gözlenen kuvvet artışının nedeni DS'lerde yükseklik artışıyla birlikte YRK'nin de arttığı gösterilmiştir (69). Bu konuda daha önce yapılan çalışmalar da bu bulguyu destekler niteliktedir. Örneğin Makaruk ve Sacewics'in yaptıkları çalışmada üç farklı yükseklikten yapılan DS'lerde YRK'nin arttığı gözlenmiştir (74). Eksantrik kuvvet-hız ilişkisindeki bu durumun nedeninin, eksantrik kas kuvvetinin kasılma hızına bağlı olduğu şeklinde açıklanmaktadır (70).

### 2.3. Kuvvet-Uzunluk İlişkisi

İskelet kasının kuvvet üretimi sarkomer uzunluğuna bağlıdır (68). Sarkomer iskelet kasının en küçük kasılabilir yapısıdır. Sarkomerdeki kuvvet-uzunluk ilişkisi ilk olarak Gordon ve diğerleri tarafından 1966'da tanımlanmıştır. Yapılan tanımlama, sakormerdeki kuvvet-uzunluk ilişkisi, kayan filamentler teorisi temel alınarak yapılmıştır (75, 76).

Kuvvet üretimi arttıkça sarkomer uzunluğunda da bir artış gözlenmektedir. Ancak, çapraz köprüler döngüsü sırasında en yüksek kuvvet üretimi sarkomer uzunluğunun aktin ve myozin filamentlerinin örtüştüğü optimal uzunluğa sahip olduğunda gerçekleşmektedir. Bu uzunluğa optimal uzunluk adı verilmektedir. Bu uzunluk sırasında çapraz köprü etkileşimi en üst düzeye çıkmakta olup aktif gerimi en büyük seviyeye ulaşmasını sağlamaktadır (68, 75).



**Şekil 2.5.** Kuvvet-Uzunluk Eğrisi.

## **2.4. Kas-Tendon Mimarisi ve Gerilme Kısılma Döngüsü**

### **2.4.1. Kas Kesit Alanı ve Boyu**

Sıçrama veya sprint koşusu gibi performans beklentisinin yüksek olduğu GKD kas kombinasyonu içeren lokomotor hareketlerde iki temel bileşen ön plana çıkmaktadır. Bunlar; kuvvet ve hız özellikleridir. Bu özelliklerin etkin kullanımında kasın fibril tipi gibi biyolojik özelliklerinin yanı sıra boyutu da büyük önem taşımaktadır. Yapılan çalışmalar, kas kesit alanı daha geniş olan bireylerin özellikle kuvvet ve güç özelliklerini GKD içerikli lokomotor hareketlerde daha etkin ortaya koyduğunu belirtmiştir (77). Artış gösteren kas kesit alanı özellikle hareket sırasındaki kuvvet üretimini bir başka ifade ile konsantrik kasılmanın büyüklüğünü etkilerken, aynı zamanda kuvvet üretim oranı, çapraz köprüler ve elastik enerjinin depolanma miktarındaki artışı da sağlamaktadır (78-80).

Yapılan çalışmalar, kas boyunun GKD etkinliğini arttırdığını ortaya koymaktadır. Kas kasılması meydana geldiğinde üretilen kuvvet kasılma sırasındaki kas uzunluğundan etkilenmektedir. Bu durum kuvvet-uzunluk ilişkisi olarak ifade edilmektedir (48). Fukutani ve İsaka (81) yaptıkları çalışmada GKD etkinliğinin rezidüel kuvvet miktarındaki artışa bağlı olarak daha uzun kaslarda büyük olduğunu belirtmişlerdir. Bir başka ifade ile rezidüel kuvvet artışı daha uzun kaslarda daha büyük miktarda olmaktadır ve bu durum eksantrik kasılmayı takiben meydana gelen konsantrik kasılmadaki kuvvet miktarının da fazla olmasını beraberinde getirmektedir (81). Bu bulgu rezidüel kuvvet artışının kastaki uzamaya bağlı olduğunu da ortaya

koymaktadır (45) Hatta, rezidüel kuvvet artışı yalnızca kas boyunun uzunluğuna değil bir bütün halinde kas-tendon ünitesinin toplam boyuna bağlı olarak artış gösterebilmektedir (82). Literatürde belirtilen bu bulgular çapraz köprüler teorisi veya kuvvet-hız ve kuvvet-uzunluk ilişkisi içerisinde açıklanamamaktadır (45).

#### **2.4.2. Kas ve Tendon Sertliği**

Kas tendon ünitesinin elastik bileşenleri hareket için önemli bir faktördür. Bu duruma en iyi örneklerden biri seri elastik bileşenlerinden olan AT sertliğidir. AT sertliği, izometrik kasılma sırasında diz ekstansör ve plantar fleksör kaslarındaki kuvvet üretim oranı ile yakın ilişkilidir (23). Yapılan çalışmalar AT sertliğinin YKS ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Buna göre yüksek AT sertliği daha kısa YKS ile yüksek korelasyon göstermektedir (27). Bununla birlikte tendon sertliğinin daha düşük olduğu durumlarda daha yüksek tendon gerimi ve yüksek miktarda elastik enerji depolanması görülmektedir (83).

Kas sertliğinin özellikle hızlı GKD ile ilişkisi bilinmektedir. Buna karşın yavaş GKD ile olan ilişki düzeyi de henüz netlik kazanmamıştır. Yapılan araştırmalar kas sertliği ile yüksek sıçrama düzeyi gerektiren kuvvet veya güç içerikli aktivitelerde performansı etkileyen faktörlerden biri olduğunu belirtmişlerdir. Her ne kadar AS gibi yavaş GKD içeren aktiviteler kas sertliği ile ilişkili olsa da kas sertliği, kuvvet üretim oranının gerçekleşmesinde ve elastik enerjinin depolanması ve serbest bırakılmasında kas içinde önemli bir role sahiptir (84).

Gastroknemiyus kasının sertlik düzeyi her ne kadar DS yüksekliği ile ilişkili bulunsa da YKS ile anlamlı bir ilişki düzeyini sağlamadığı bulunmuştur (23). Bu bulguya rağmen gastroknemiyus kas sertliğinin DS performansını olumlu yönde etkilediği belirtilmektedir. Ayrıca, dinlenik olarak ölçülen kas sertliği düzeyinin arttırılması neticesinde patlayıcı kuvvet içeren aktivitelerdeki performansı arttıracığı düşünülmektedir (23). Bu duruma bir diğer örnek vastus lateral kasının sertlik düzeyi ile ilgilidir. Buna göre, vastus lateral kasının sertlik düzeyi 100 m sprint performansı ile negatif bir korelasyon içindeyken, 5000 m koşu yarışı zamanı ile pozitif bir korelasyon düzeyi göstermektedir (23). Aslında bu bulgu DS üzerinde araştırma yapan araştırmacılar için de değerli bir bulgudur. Zira, DS performansı sprint performansının takibinde kullanılan önemli araçlardan biri olarak ifade edilmektedir (85).

### 2.4.3. Fasikül Uzunluğu

Fasikül uzunluğu pennasyon açısı gibi kas fonksiyonunu etkileyen kas yapısıdır. Fasikül uzunluğu sarkomerin yüzeyinden derin apronörosise kadar ölçülmektedir ve uzunluğu sarkomer'deki serilerin miktarına bağlıdır. Hem pennasyon açısı hem de fasikül uzunluğu spesifik kas fonksiyonu ile ilişkilidir. Geniş pennasyon açıları kuvvetin tendona aktarımını artırırken, uzun fasiküller kasın kasılma hızını arttırmaktadır (86). Kas fasikül uzunluğu aynı zamanda kuvvet-hız ilişkisi ile bağlantılıdır (87). Bu nedenle kas fasikül uzunluğu kas gücünü etkileyen elementlerden birisidir. Örneğin, dayanıklılık sporcuları veya daha az kas gücüne sahip bireyler ile karşılaştırıldığında güç performansı artan sedanter bireyler ile sprinterlerin uzun kas fasikülleri ile birlikte daha geniş tip II özellikle de tip IIX kas fibril alanına sahip oldukları söylenebilir (88).

Kas fasikül uzunluğu kas fibril tipi kompozisyonunda olduğu gibi özellikle patlayıcı kuvvet çalışmaları sonucunda değişebilmektedir. Örneğin, yapılan çalışmalar sıçanlarda yapılan antrenman sonucunda serideki sarkomer sayısında artış olduğunu bulmuşlardır. Bu bulgudan yola çıkarak kuvvet antrenmanı sonucunda insan kasında fasikül uzunluğunda artış olabileceğini belirtmişlerdir (87). Bununla birlikte fasikül uzunluğunu etkileyenin konsantrik kuvvet egzersizlerinden ziyade eksantrik kuvvet egzersizleri olduğu vurgulanmıştır. Konsantrik ve eksantrik egzersizlerin birlikte yapıldığı kuvvet antrenmanları sonucunda en yüksek fasikül uzunluğu artışı gözlenmiştir (89).

Bir kas kasılması olmaksızın diz eklem açısına göre kas fasikül uzunluğu değişebilmektedir. Buna göre; diz eklem açısı düştükçe fasikül uzunluğunda da artış meydana gelmektedir. Ancak, istemli konsantrik bir kasılmada ise fasikül uzunluğu azalmaktadır (90).

### 2.4.4. Pennasyon Açısı

Pennasyon açısı, fasikül ile derin aponörosis arasındaki açı olarak tanımlanmaktadır (91). Pennasyon açısının kuvvet-hız ilişkisi ve maksimum güç açısından önemli fizyolojik etkisi bulunmaktadır (68). Belirli bir kas hacmi için, daha büyük bir pennasyon açısı, kas kesit alanını artıracaktır. Bu durum ise daha fazla kuvvet transferi için aponörosis veya tendona bağlanan daha fazla sayıda kontraktıl

element ile sonuçlanacaktır (92). Bir başka ifade ile, pennasyon açısı büyüdükçe daha fazla sarkomer kuvvet üretimi için devreye girecektir (68). Yapılan çalışmalar daha kuvvetli bireylerin pennasyon açılarının antrenmansız veya daha az kuvvetli olan bireylere göre daha büyük olduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin direnç antrenmanı yapan bireyler, antrenmansız bireylere göre daha geniş pennasyon açılarına sahiptir. Bu durum pennasyon açısı ile kas kesit alanı arasındaki ilişki düzeyini de ortaya koymaktadır (93). Pennat kaslarda fasikül uzunluğu kısa, pennasyon açısı geniş olmaktadır. Fasikül kısalmasına pennasyon açısı ve kas kalınlığı eşlik etmektedir. Hareket sırasında kasın şeklindeki değişim ve kas fasikülünün kısalması hızdan ziyade kuvvetten etkilenmektedir (94).

Pennasyon açısındaki büyümenin kuvvet üretimine olan pozitif etkisine karşın hıza olan etkisi negatiftir (95, 68). Pennasyon açısı daha çok yavaş kas kasılmasıyla ilişkilidir (68). Pennasyon açısı büyük olan kaslar kısa kas fibrillerine sahiptirler. Kas kısalma hızı ise kısa kas fibrilleri ile ilişkilidir (96). Buna göre, daha kısa kas lifleriyle ilişkili toplam kısalma hızındaki azalma, kısmen bir pennat kasta lif kısalmasının dinamik etkileriyle dengelenir. Bir pennat kastaki lifler kısalduğunda, daha büyük pennasyon açılarına dönerler. Kasın hareket çizgisi boyunca hızı, kasılan liflerin hızını aşabilir. Bu hız amplifikasyonu, bir kasın mimari vites oranını tanımlayan bir ilişki olan kas lifi hızının tüm kas hızına oranı olarak ölçülebilir. Mimari vites oranı kuvvetin düşük, hızın ise yüksek olduğu kasılmalarda büyük; kuvvetin yüksek, hızın düşük olduğu kasılmalarda ise küçüktür (95).

Pennasyon açısının incelendiği farklı gruplarda yapılan çalışmalar literatürde çokça yer almaktadır. Buna göre, yukarıdaki örnekte de belirtildiği gibi kuvvet düzeyi yüksek olan bireylerin antrenmansız bireylere göre daha geniş pennasyon açıları bulunmaktadır. Kuvvet düzeyi yüksek bireylerin sprinterler ile karşılaştırmasında da benzer bir sonuç bulunmuştur. Hatta elit düzeyde olan sprinterlerin elit olmayan sprinterlere göre daha küçük pennasyon açısına sahip oldukları belirtilmiştir (68). Kubo ve diğerlerinin (97) yaptıkları bir çalışmada sprinterlerin MGK pennasyon açılarının antrenmansız bireylere göre daha geniş olduğu gözlenmiştir (sprinterler:  $19.7^{\circ} \pm 2.2^{\circ}$ ; antrenmansız bireyler  $18.8^{\circ} \pm 1.7^{\circ}$ ). Antrenman etkisini inceleyen çalışmalarda ise pennasyon açısının kuvvet antrenmanı sonucunda büyüdüğü, sprint antrenmanları sonucunda ise küçüldüğü belirtilmektedir (68). Son yıllarda gitgide

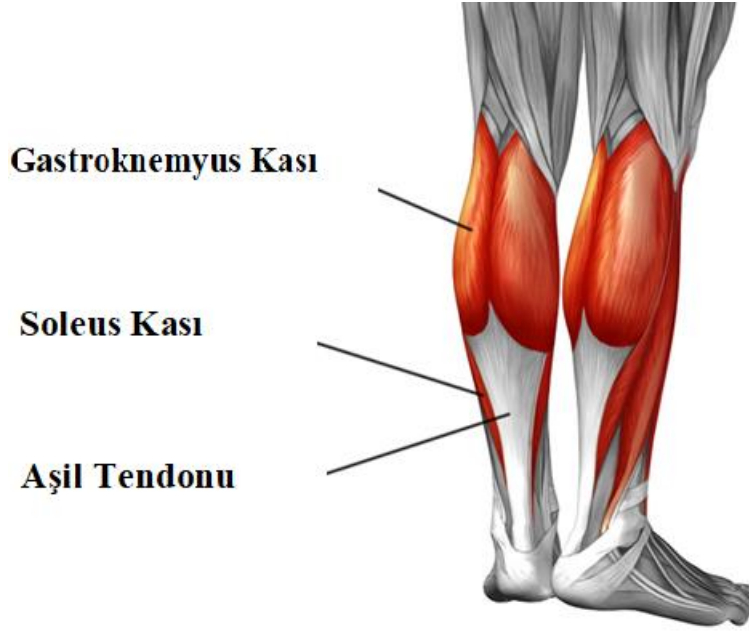
popülerliğini arttıran eksantrik kuvvet antrenmanlarının etkisini inceleyen bir çalışmada ise 7 haftalık antrenman programı sonucunda sprinterlerde pennasyon açısında anlamlı bir değişimin olmadığı görülmüştür (98).

#### **2.4.5.Aşil Tendonu**

AT vücuttaki en dirençli ve en kalın tendondur (99, 100). Adının kökeni Truva savaşına kadar uzanan AT alt ekstremitenin biyomekaniğinde önemli bir rol oynamaktadır (100). AT insan vücudundaki en önemli multifonksiyonel tendondur (101). Bu özelliklere rağmen en çok yıpranma ve yaralanmanın gözlendiği tendon olma özelliğine sahiptir (102). AT fazla kullanıma (103), mekanik etkilere, bazı hastalıklara ve yaşa bağlı olarak yırtılabilir (104, 101). Bu nedenlerden dolayı literatürde en sık hasarlanan tendon olarak belirtilmektedir (99).

#### **2.4.6. Aşil Tendonunun Anatomisi**

AT, proksimalde gastroknemius kasına yapışık bir şekilde başlar ve kalkaneus'da sonlanır. Tendonun sonlandığı yerin yaklaşık 12-15 cm proksimalinde, gastroknemius kasının her iki başı soleus kası ile kaynaşır ve alt ucuna kadar soleus kasından lifler alır. Kalkaneus'un yaklaşık 5-6 cm proksimalinde gastroknemius ve soleus kaslarından kaynaklanan tendonlar birleşir ve tek tendon halini alır (102, 101).



**Şekil 2.6.** Aşıl Tendonu (105).

#### **2.4.7. Aşıl Tendonu Kesit Alanı ve Boyu**

AT elastik özellikleri sayesinde elastik enerjinin depolanmasında, serbest bırakılmasında ve lokomotor bir hareketin ekonomik şekilde uygulanmasında önemli bir rol oynamaktadır (83). AT bu özellikleriyle beraber, ayak bileğinin plantar fleksiyonu ile en düşük enerji harcamasına karşılık en yüksek güç değerine ulaşmayı sağlayan tendon olma özelliğine sahiptir (106).

AT uzun bir tendon olup kısa pennasyon açısına sahip kaslar ile bağlantılı bir tendondur. Bunun yanı sıra AT diğer tendonlar ile karşılaştırıldığında en kuvvetli ve en kalın tendon olarak bilinmektedir (100). AT soleus kasının sonlandığı, gastroknemiyus kasını oluşturan lateral ve medyal yerden başlar ve kalkaneusun uç çıkıntısına kadar uzanır (107). GKD sırasında AT gibi büyük bir tendonun gerilme sırasında bir başka ifade ile eksantrik fazda, elastik enerji birikimi yüksek olabilmektedir. Etkili eksantrik fazın devamında ise kuvvet miktarı açısından yüksek bir konsantrik kasılma gelmektedir. GKD potansiyasyonu olarak da ifade edilen bu durumun yürüme, koşma veya sıçramalarda etkinliğini belirleyen öğelerden biri ATdur (108).

AT uzunluğu üç farklı kasın (MGK, LGK ve soleus) sonlandığı noktadan kalkaneusa kadar olan mesafedir. Gastroknemiyus'tan ölçüldüğünde AT uzunluğu, ortalama 15 cm'dir ve 11 ile 26 cm arasında uzunluğu değişmektedir. Literatürde farklı uzunluk ölçüm yöntemleri olsa da son dönemlerde en sık kullanılan yöntem ultrasonografi/elastografi yöntemidir (109). Bununla birlikte ortalama genişliği (kalınlığı) 6,8 cm olarak ifade edilmektedir. AT'nin bağlantı noktasındaki ortalama kalınlığı 1,2 ile 2,6 cm arasında değişmektedir (110).

AT uzunluğunun da yer aldığı bir çalışmada dinlenik durumda ölçülen AT uzunluğunun 8 haftalık pliometrik antrenman sonucunda anlamlı olarak değişmediği, ancak 505 yön değiştirme testi ile orta düzey korelasyonu olduğu ( $r=0.577$ ;  $p=0.004$ ) belirtilmiştir (111). AT morfolojisinin incelendiği bir başka çalışmada AT uzunluğunun ortalama 6,7 cm aktif olan yüksek ve uzun atlayıcılarda, kontrol grubuna göre daha uzun olduğu ancak aradaki farkın anlamlı olmadığı gözlenmiştir (112). Bu veriler ile birlikte AT uzunluğunun GKD içeren sıçrama gibi bir egzersiz tipinde GKD'nin hızı ile orta düzey pozitif korelasyon ( $r=0.52$ ,  $p < 0.05$ ) içinde olduğu aynı zamanda aşıl tendon uzunluğunun tip IIx fibrilleri ile negatif yönlü benzer bir korelasyon düzeyine ( $r=-0.56$ ;  $p < 0.05$ ) sahip olduğu belirtilmiştir (113). Hunter ve diğerlerinin yaptıkları bu çalışmada AT uzunluğunun birbirinden bağımsız olarak kuvvet ile birlikte, GKD sırasındaki gerilme potansiyelini ve kısalma hızını arttırdığı ve bunun sonucunda ise koşu ekonomisinin olumlu etkilendiği belirtilmiştir (113).

## 2.5. GKD'nin Nörofizyolojik Faktörleri

GKD'nin etkinliğini belirleyen faktörlerden biri kas tendon ünitesinin MSS aracılığı ile uyarılmasıdır. GKD'nin nöral kontrolü çok karmaşık bir süreçtir. Bu süre, hareket öncesinde bir ön programlama veya ileri besleme ile geri bildirim (refleks) mekanizmalarının güç üretimi ve olası yaralanmaları önlemek amacıyla dengede çalışmasını gerektirmektedir (114). Yapılmış çalışmalar GKD sırasında ön aktivasyon fazındaki nöromusküler aktivitenin kas sertliğini artırarak elastik enerji depolanmasını ve salınımını etkilediğini belirtilmiştir.  $\alpha$ - $\gamma$  motor nöronlarının ortak aktivitesine bağlı olarak kas içciklerinin hem ön aktivasyonu hem de harekete duyarlılığı, hareketin eksantrik fazı sırasında meydana gelen gelişmiş refleks aktiviteleri için ön koşullardır (115).



### 2.5.1. GKD'nin Spinal Mekanizmaları ve Gerilme Refleksi

Spinal reflekslerden biri olan gerilme refleksi, kas iğciklerinin uyarılmasına karşı ortaya çıkan nörofizyolojik bir tepkidir (116). Gerilme refleksi, GKD sırasındaki kassal aktivitenin oluşmasında önemli bir rol oynamaktadır (114). Gerilme refleksi koşu veya DS gibi hareketlerde GKD'nin başlangıcında kasın uzama yani eksantrik kasılma evresinde uyarılır (117). Bir başka ifade ile kastaki uzamayı algılayan kas iğciği, sensör nöronu (afferent uyarı) omuriliğe gönderir ve omurilikten gelen motor nöron (efferent uyarı) kasa iletilir ve kasın kısalması sağlanmış olur. Kastaki uzamaya bağlı refleks aktivitesi kas fibrilerindeki sertlik düzeyini düzenlemede önemli bir rol oynamaktadır (117).

Gerilme refleksi, başlangıcındaki gecikmelerine göre üç bileşen ile açıklanabilmektedir. En erken tepki kısa gecikmeli tepkidir (SLR) (116). SLR, kas iğciklerindeki Ia aferentlerinin hız duyarlı proprioseptif bilgi ile gerçekleşir (116). Kas iğcikleri kastaki uzunluk değişimlerini algılar. Ia aferent fibrillerindeki ateşleme frekansı kastaki uzunluk değişim hızı ile doğru orantılıdır. Kasın uzaması ile birlikte aktivite düzeyi artan Ia aferentleri,  $\alpha$ -motonöronları spinal seviyede depolarize eder. Bu sürecin adına gerilme refleksinin kısa gecikmeli tepkisi (SLR) adı verilir (114). SLR, yalnızca proprioseptif sensörlerden değil aynı zamanda diğer sensörlerden olduğu gibi motor korteksten de bilgi alır (116). SLR; DS'lerde ve çeşitli sıçramalar veya koşu gibi GKD içerikli lokomotor hareketlerde olduğu gibi performansı etkileyen başlıca faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir (118). Eğer kas uzamasından önce bir ön aktivasyon söz konusu ise yalnızca kısa gecikmeli tepki değil orta ve uzun gecikmeli (MLR, LLR) tepki de devreye girmektedir (114). Yapılan çalışmalar hareket hızı ne olursa olsun gerilme refleksinin ortaya çıktığını belirtmektedirler (117). Yürüme sırasında SLR doğal olarak ortaya çıkmamaktadır ancak koşu gibi daha hızlı aktivitelerde özellikle gastroknemiyus ve soleus kaslarında belirgin olarak gözlenmektedir (116).

Yapılan çalışmalar, alt ekstremitte kaslarının ön aktivasyon fazı öncesinde ön programlandığını ve bu programlanmanın yerle temas sırasındaki etki yükünden etkilendiği ortaya konmuştur. Bununla birlikte DS yerle teması sırasındaki spinal gerilme refleksi büyüklüğü, kas ön aktivasyonu ile ilişkilidir. Aslında, artan düşüş

yüksekliği ile ön aktivasyon ve gerilme refleksi aktivitesinde de bir artış olduğu belirtilmektedir (119). Bu artış yapılan çalışmalara göre 80 cm yüksekliğe kadar devam etmektedir. 80 cm'den sonra ise SLR'de bir azalma olduğu gözlenmektedir. Ayrıca, yüksek etki yüklerine ve yüksek gerilme hızına rağmen genel olarak nöromusküler aktivitede azalma olduğu belirtilmektedir. Bunun nedeninin kas-tendon sistemi üzerinde artan eksantrik stresin bir koruma inhibisyonu olarak azaltılması olduğu ifade edilmiştir (118).

Daha önce anlatıldığı gibi GKD etkinliği ön aktivasyon düzeyine bağlı olarak eksantrik faz sırasında depolanan elastik enerjinin konsantrik kasılma sırasında aktarılmasına bağlıdır. Gerilme refleksi bu süreç içerisinde bacak sertliği düzeyinin ayarlanmasında önemli rol oynamaktadır (114). Bacak sertliği, bir başka ifade ile yay modeli sertliği veya mekanik sertlik olarak da belirtilmektedir. Bu ifadeye göre bacak sertliği, sıçrama frekansının yüksek veya YKS'nin düşük olduğu durumlarda artış göstermektedir. Bacak sertliği düzeyi ayak bileği sertliğinden de etkilenmektedir. Yapılan çalışmalara daha güç içerikli lokomotor hareketlerdeki ayak bileği sertliğinin yürüme gibi daha az güç içerikli hareketlere göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir (120). Gerilme refleksi, yalnızca konsantrik faz içeren aktiviteler ile kıyaslandığında eksantrik faz sırasında kas sertliğinin artışında rol oynayarak, konsantrik fazdaki performans artışının gerçekleşmesini sağlamaktadır (84). Literatürde yer alan çalışmalar gerilme refleksinin DS düşüş yüksekliği ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Yukarıda da belirtildiği gibi 80 cm ve üstündeki yüksekliklerde SLR sırasındaki kassal aktivitenin düşük, buna karşın 30 cm'den daha alçak yüksekliklerde ise daha yüksek olduğu belirtilmiştir (114).

### **2.5.2. GKD'nin Farklı Fazlarında Ia afferent İletiminin Modülasyonu**

DS ve diğer sıçramalar sırasındaki Ia afferent iletimi yani periferal sinir uyarımı H-refleksinin hareket fazına bağlı modülasyonu olarak tanımlanmaktadır. H-refleksi, yerle temas fazı sırasında yüksek iken yerle temasın kesildiği andan hemen önce ve uçuş fazında ise düşüş göstermektedir. Yerle temas fazının başındaki Ia afferent iletimindeki artışın motonöron aktivitesinin artışına neden olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte afferent geri bildirim bir zirve impuls ortaya çıkararak yerle temas sırasında aktif soleus kasının  $\alpha$ -motonöronlarını senkronize

edebileceği belirtilmektedir (114). DS sırasında düşüş yüksekliği arttıkça ani gerilme refleksi sırasında soleus kasında H-refleksinin büyüklüğünün azaldığı yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur (121, 118). Yükseklik arttıkça H-refleks ve kassal aktivitede meydana gelen azalmanın artan düşüş yüksekliği ile birlikte ortaya çıkan yüksek şiddete karşın, kas-tendon ünitesinde artan stresi azaltmak amacıyla gelişen bir koruma mekanizması olduğu düşünülmektedir (122).

YKS'nin uzaması ile birlikte düşüş meydana gelen H-refleks büyüklüğü yerle temasın geç fazının erken fazında olduğu gibi Ia afferent uyarımına bağlı olmadığı ifade edilmektedir. Kas uzunluğu H-refleks büyüklüğünü özellikle üst bacak kaslarında etkilemektedir. Bununla birlikte kutanöz afferent uyarımı ortaya çıkan H-refleksin büyüklüğünü değiştirebilir. Çalışmalar her ne kadar GKD sırasında H-refleksi modülasyonunun içinde olduğu mekanizmaları açıklamakta yetersiz kalsa da spinal reflekslerin yerle temas sırasında arttığı ve sıçrama sırasında azaldığı bilinmektedir (114).

### **2.5.3. GKD'nin Supraspinal Mekanizması**

Ani ve beklenmeyen hareketlerde olduğundan farklı olarak DS ve diğer sıçramalar sırasında YKS'nin ve kas uzamasının büyüklüğünün belirlenmesi amacıyla supraspinal merkezlere izin vermektedir. Bu durum bir ön aktivasyona sahip olan GKD hareketlerinde supraspinal yapılar aracılığı ile yapılan hareketin herhangi bir anında kassal aktivitenin önceden programlandığını açıkça göstermektedir. Böyle bir ön programlama kassal aktivitenin ön aktivasyonu, refleks modülasyonu, kas sertliğinin düzenlenmesi ve konma sırasında önem taşımaktadır. Bir başka ifade ile supraspinal merkezler yalnızca sıçrama ve konma hareketini değil aynı zamanda eksantrik faz sonrasındaki kas aktivitesinin ön programlanmasının başlatılmasından da sorumludur. Bu aktivasyonun kaynağı henüz belirsiz ve DS sorasındaki kortikospinal aktivite ile ilgili çalışma sayısı çok az düzeydedir. O çalışmalarda ise uyarılmış motor potansiyelin DS'nin yerle temas fazı sonrasında küçük ve artış göstermediği tespit edilmiştir.

## 2.6. Derinlik Sıçraması

Pliometrik egzersizlerin uygulanışı sırasında antrenörlerin sıkça kullandıkları egzersizlerden biri DS'dir (123, 18). Antrenman programları içerisinde farklı uygulanış biçimleri olan DS'lerin en yaygın kullanımı dikey sıçrama içeren ve eksantrik kasılma sırasında biriken reaktif kuvvetin, hızla konsantrik faza aktarımının beklendiği yöntemdir (124, 125). DS'leri uygulayan kişinin belirli bir sıçrama kutusundan serbest bir şekilde kendini aşağıya bırakması ve dikey yönlü sıçramasından oluşan bir egzersiz veya test aracıdır (11, 125). GKD'nin bütün fazlarını (eksantrik faz, amortizasyon fazı bir başka ifade ile izometrik faz ve konsantrik faz) içerisinde bulunduran DS özellikle reaktif kuvvetin düzeyinin belirlenmesinde kullanılmaktadır (126).



Şekil 2.7. Derinlik Sıçraması (7).

### 2.6.1. Derinlik Sıçramasının Türleri

DS'ler, yukarıda belirtildiği gibi farklı uygulanış biçimleri ile kullanılan bir antrenman ve test aracıdır. Dikey yönlü DS'ler iki şekilde uygulanmaktadır. Bunlardan biri daha yüksek bir sıçrama yüksekliğini amaçlayan ancak YKS göz ardı eden yöntemdir (127, 123). Bu yöntemde daha uzun eksantrik faz bulunmaktadır. DS'nin bu çeşidinin antrenmanda uygulanması durumunda konma sırasındaki etki sayesinde MSS uyarılarak patlayıcı ve maksimum kuvvetin artırılması amaçlanmaktadır (18).

Diğer yöntem ise, test aracı olarak da kullanılan yine yüksek sıçrama yüksekliğini amaçlayan ama aynı zamanda en az YKS gerektiren yöntemdir. Bu DS yönteminde YKS'nin kısa olması amaçlanmaktadır. Bu nedenle eksantrik faz sırasında diz ve kalça açısının diğer yöneme göre daha geniş olması beklenmektedir. Bu yöntemde eksantrik faz sırasında biriken reaktif kuvvetin hızla konsantrik faza aktarılması istenmektedir (18, 125).

### **2.6.2. Derinlik Sıçraması, Optimal Düşüş Yüksekliği ve Reaktif Kuvvet İndeksi**

Pliometrik egzersizler güç çıktısında artışın sağlanması amacıyla uygulanan egzersizlerdir. DS'ler sıkça kullanılan pliometrik egzersizlerden biridir (14). Ancak, DS'nin hangi yükseklikten yapıldığında verimin artacağı konusunda literatürde yapılan tartışmalar süre gelmiştir. Bu tartışmalar doğrultusunda farklı bulguları sunan çeşitli araştırmaların gerçekleştirildiği gözlenmektedir. Yapılan araştırmalarda farklı düşüş yüksekliklerinin kullanıldığı görülmektedir. Örneğin Walsh ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada 20, 40 ve 60 cm kutu yükseklikleri iki farklı DS yöntemi ile YKS'ye göre karşılaştırılmış ve farklı tekniklerle uygulanan DS'lerin farklı sonuçlar ortaya koyduğu belirtilmiştir (128). Daha önce Newton ve diğerlerinin yaptıkları bir çalışmada 30, 45, 60 ve 75 cm kutu yüksekliklerinden iki farklı yöntemin kullanıldığı DS'ler; YRK ve yük oranı açısından karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda her yükseklikte, YKS'nin kısa olması istenen yöntemde YRK ve kuvvet üretim oranının diğer yöneme göre daha yüksek çıktığı gözlenmiştir (129). Aynı çalışmada yüksek düşüş yüksekliklerinin (ortalama 55 cm) spor yaralanmalarına neden olabileceği de belirtilmiştir.

ODY kavramı 1968 yılında Verkoshansky'nin yaptığı çalışmada tanımladığı 75 cm düşüş yüksekliği ile ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışmada 75 cm yüksekliğin antrenmanda kullanılması durumunda alt ekstremite patlayıcı kuvvetinin geliştirilmesinde etkili olduğu belirtilmiştir (130). Aynı çalışmada kuvvetin geliştirilmesi amacıyla DS'nin kullanılması durumunda, 110 cm yüksekliğin tercih edilmesi gerektiği anlatılmıştır. Bu yöntem aynı zamanda şok yöntemi olarak da adlandırılmıştır (131). Daha sonraki yıllarda Robber ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada, ortalama güç çıktısının en fazla 20 ile 40 cm düşüş yüksekliklerinde olduğu

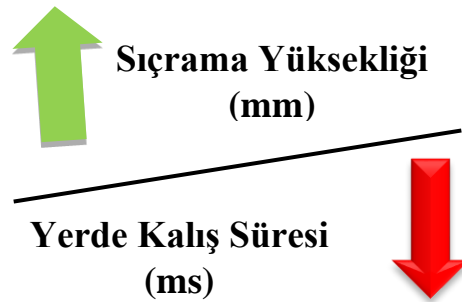
belirtilmiştir. Daha sonra 60 cm yüksekliğe çıkıldığında alt ekstremitenin gerilmesi sırasında en yüksek dikey etki kuvvetine ulaşıldığı gözlenmiştir (130).

1970'li yıllarda Asmussen ve Bonde-Petersen (1974) ile Bosco'nun (1978) tarafından yapılan çalışmalarda en yüksek SY'nin sağlandığı düşüş yüksekliği optimal yükseklik olarak ifade edilmiştir ve ODY'nin 12 cm olabileceği üzerinde durulmuştur (132). Bununla birlikte yapılan araştırmalar sonucunda Lee ve diğerleri 36 cm yükseklikte dikey etki kuvvetinin maksimuma ulaştığı ancak 12 cm düşüş yüksekliğinde maksimum ortalama güç çıktısının zirveye ulaştığı yorumunda bulunmuşlardır (132, 130). Buna karşın Bobbert ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada 20 cm ile 60 cm arasındaki yüksekliklerin optimal olamayacağı belirtilmiştir. Aynı çalışmada ayrıca YKS'nin kısa olduğu DS yönteminde düşüş yüksekliği arttıkça maksimum dikey etki kuvvetine ulaşılacağı ve ortalama güç çıktısının artacağını söylemişlerdir. Yükseklik arttıkça negatif hareketin daha büyük olduğu ve sıçramanın daha çok aktif sıçramaya dönüştüğü anlatılmıştır (127). Matic ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada kuvvetli bireylerin düşüş yüksekliklerinin daha düşük kuvvete sahip olanlara göre daha yüksek olduğunu belirtmiştir (62 cm – 32 cm). Buna göre, ODY'nin bireylerin maksimum kuvvetin üretimi için nöromusküler kapasitesinin dikkate alınarak belirlenmesi gerektiği ifade edilmiştir (11). Gimianini ve Petricola, kadın ve erkeklerin 30 ile 60 cm DS'lerde ortalama güç çıktısını maksimize etmek için farklı teknikler uyguladıklarını belirtmiştir. Buna göre DS'yi erkeklerin kadınlara göre daha yavaş uyguladıklarını gözlediklerini ifade etmişlerdir. Aynı çalışmada ODY'lerin 20 cm ile 60 cm arasında değişen grupta ortalama düşüş yüksekliğinin 40 cm olduğu ve bu yüksekliğin maksimum ortalama güç çıktısına ulaşmada uygun yükseklik olduğu bulunmuştur (133).

1968 yılından itibaren ODY'nin belirlenmesinde alınan maksimum ortalama güç çıktısı dikkate alınmıştır. Yapılan çalışmalar ile zaman içinde ortalama güç çıktısının maksimize olduğu düşüş yüksekliklerinin 75 cm gibi yüksek düşüş yüksekliklerinde meydana geldiği kayıtlara geçirilmiştir. Yüksek düşüş yüksekliklerinin performans açısından beklenen verimin yanı sıra spor yaralanmalarına neden olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle zaman içinde uygulanan düşüş yüksekliklerinde bir azalma olduğu ve düşüş yüksekliklerinin 12-60 cm arasında uygulandığı bununla birlikte ortalama güç çıktısının da düştüğü gözlenmiştir.

Verkoshansky'nin ortaya çıkardığı reaktif kuvvet kavramı bir çok araştırmacıya da ilham kaynağı olmuştur (130). Reaktif kuvvet, hızlı GKD becerisinin ortaya konduğu bir kuvvet-zaman parametresi olarak tanımlanmaktadır (14, 134). Reaktif kuvvet aynı zamanda DS'nin ve dolayısıyla pliometrik egzersizlerin bireyselleştirilmesi açısından önemli bir parametre olmuştur (135).

RKİ kavramı DS gibi egzersizlerde kas-tendon ünitesinde oluşan yüksek stres düzeyinin takibinde kullanılmak üzere ortaya çıkmıştır (136). Bir başka ifade ile RKİ'nin kullanım alanı, DS ODY'nin ve bununla birlikte antrenman düzeyinin belirlenmesidir (137). Bu nedenle RKİ kavramı önceki yıllarda yüksek düşüş yüksekliklerinin spor yaralanmaları açısından yol açtığı tedirginliği de ortadan kaldırmıştır. Öyle ki, artan düşüş yüksekliği ile RKİ'de de bir artış gözlenmiş ve RKİ değerinin zirve yaptığı yükseklik bireyin antrenman yüksekliği olarak tanımlanmıştır. Bu yüksekliğin aşılması durumunda yaralanma riskinin artabileceği ifade edilmiştir (136). RKİ yalnızca spor yaralanmasından korunmak amacıyla değil performans takibi açısından da önemli bir gösterge ve dolayısıyla takip aracı olmuştur (138, 134).



**Şekil 2.8.** Reaktif Kuvvet İndeksi (139).

RKİ, sıçrama yüksekliğinin YKS'ye bölümü ile elde edilmektedir. RKİ, bireyin eksantrik kas kasılmasından konsantrik kas kasılmasına hızlıca geçiş becerisini göstermektedir (14). Bir başka ifade ile RKİ kuvvet ile zamanın bir ölçütüdür (137). RKİ, DS sırasında SY'nin YKS'ye bölümü ile elde edilen bir kuvvet ile zaman ölçütü olarak tanımlanmaktadır (Flanagan et al., 2008). Yapılan çalışmalar RKİ değerini etkileyen parametrenin zaman yani YKS değişkeni olduğunu ortaya koymuştur (134).

### 2.6.3. Yerde Kalış Süresi (YKS)

GKD literatürde YKS temel değişken olarak kabul edilip 250 ms eşik noktasına göre hızlı ve yavaş GKD şeklinde ikiye ayrılmıştır. Bu ayırım ilk olarak Schmidtbleicher tarafından 1992 yılında ifade edilmiştir (13, 19, 35). GKD'nin hızlı ve yavaş şeklinde değerlendirilmesinde kullanılan kriter kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinin hareket sırasındaki açısal değişimleri olmuştur. Buna göre, 250 ms ve altında (Hızlı GKD) YKS içeren hareketlerde küçük açısal değişimlerin olduğu buna karşın 250 ms üstündeki (Yavaş GKD) YKS sürelerini içeren hareketlerde büyük açısal değişimlerin olduğu gözlenmiştir (13). Yapılan gözlemlere göre basketbol, futbol gibi branşlarda yer alan hareketlerde büyük açısal değişimin olduğu; sprint gibi branşlarda ise küçük açısal değişimin olduğu belirtilmiştir (19). Literatürde, egzersizlerin YKS'ye göre sınıflandırıldığı görülmektedir. Örneğin, yürüyüş sırasındaki adımın YKS'si 270-300 ms iken sprint adımının YKS'si 80-90 ms'dir. Yine AS'nin YKS'si 500-1000 ms iken uzun atlama sırasındaki YKS 140-170 ms'dir. Görüldüğü gibi bu hareketler hızlı ve yavaş şeklinde YKS'lerine göre sınıflandırılmaktadır. DS'ler ise bu sınıflamalardan farklı görülmektedir. Uygulama tekniğine de bağlı olarak DS'lerde 250 ms'nin altında ve üstünde YKS'ler gözlenmektedir. Bu nedenle DS hem hızlı hem de yavaş GKD sınıflandırması içinde bulunmaktadır (13, 140).

### 2.6.4. YKS'yi Etkilediği düşünülen faktörler

Değişkenlerin YKS ile doğrudan ilişkisini inceleyen çalışma sayısı literatürde sınırlıdır. Bununla birlikte, Schmidtbleicher'in sınıflamasına göre değişkenlerin farkını araştıran çalışma da bilinene göre bulunmamaktadır. YKS'yi etkilediği düşünülen değişkenler çeşitli başlıklar altında değerlendirilmelidir. Bu başlıklar DS sırasında elde edilen değişkenler, kuvvet ve güç değişkenleri, zaman değişkenleri, kuvvet-zaman değişkenleri ve kas-tendon mekanik özelliklerine ilişkin değişkenler. Genel bilgiler kapsamında literatürde yer alan ve doğrudan YKS üzerine yapılan çalışmaların derlenmesinin uygun olacağı düşünülmüştür.

Yukarıda da belirtildiği gibi YKS RKİ'nin hesaplanmasında kullanılan iki parametreden biri olmasının yanında RKİ'yi etkileyen parametre olarak ifade



edilmektedir (134). Literatürde özellikle RKİ'yi ancak dolaylı olarak da YKS'yi etkileyen faktörleri inceleyen çalışmalar yer almaktadır.

DS sırasında YKS'nin ilişkili olduğu değişkenlerden biri YRK'dır. Kısa YKS'lerde yüksek YRK olduğu gözlenmektedir. Yüksek YRK'nın ise RKİ'yi etkilediği belirtilmektedir. Bu durumun sabit yükseklikten yapılan DS'lerde de gözlemlendiği ifade edilmiştir (134).

Healy ve diğerlerinin (141) yaptıkları çalışmada RKİ dikey bacak sertliği (Kvert) ile pozitif ilişkili bulunmuştur. Bununla birlikte Kvert YKS ile negatif yönlü ilişkilidir. DS sırasında yüksek düzeydeki Kvert değeri kısa YKS'lerde görülmektedir (141). Morin ve diğerlerinin yaptıkları bir çalışmada bacak sertliğinde %20 oranında bir artışın YKS'de %10 oranında bir düşüşü sağlamaktadır (142).

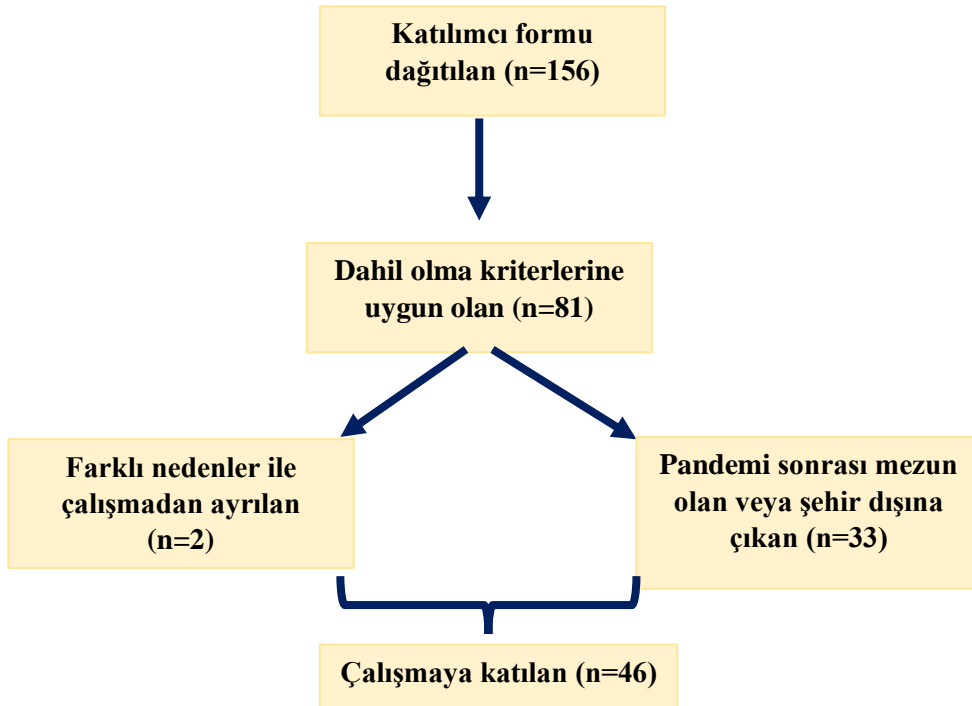
Abdelsattar ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada AT sertliğinin YKS ile negatif yönlü ilişkili olduğu bulunmuştur ( $r = -0.50$ ) (27). Bununla birlikte yalnızca AT ile değil bacak ve ayak bileği düşünüldüğünde AT'ye bağlı kasların sertliklerinin de YKS ile negatif yönlü ilişkili oldukları belirlenmiştir. (120). Bununla birlikte Ando ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada LGK sertliği her ne kadar DS performansını olumlu yönde etkileyecek bir niteliğe sahip olsa da YKS ile anlamlı bir ilişki düzeyi belirlenmemiştir (23).

Yukarıda sözü edilen çalışmalar YKS ile doğrudan ilişkisi ve etkisi araştırılan sınırlı sayıdaki çalışmalardandır. Bu çalışmanın amacı, DS sırasında YKS üzerinden GKD'yi etkileyen faktörlerin incelenmesidir.

### 3. YÖNTEM

#### 3.1. Araştırma Grubu

Araştırmaya haftada en fazla 6 saat fiziksel aktivite yapan ve en az 1 yıldır antrenman yapmayan 46 erkek katılımcı, gönüllü olarak dahil olmuştur. Araştırma grubunun tanımlayıcı istatistikleri Tablo 3.1.'de sunulmuştur. Araştırmaya dahil olan gönüllülerin haftada yaptıkları maksimum fiziksel aktivite saatinin yanı sıra özellikle alt ekstremita ile ilgili herhangi bir sağlık probleminin bulunmaması, pliometrik çalışma ve kuvvet egzersizi geçmişi olması, beden kütle indeksi'nin (BKİ) 18-30 ( $\text{kg/m}^2$ ) aralığında bulunması dahil olma kriterleri arasında yer almıştır. Bireylerin çalışmaya uygunluğu çalışma ilgili detaylı bilgi aktarılarak Katılımcı Uygunluk Formu (Ek.1) doldurtularak değerlendirilmiştir. Araştırmaya katılımı uygun olan gönüllüler çalışmaya davet edilmişlerdir. Davetimize olumlu yanıt veren katılımcılara çalışma ile ilgili detaylı bilgi aktarılmış ve Aydınlatılmış Onam Formu okutularak imzalatılmıştır (Ek.2).



Şekil 3.1. Araştırma grubunun belirlenmesine ilişkin akış şeması.

**Tablo 3.1.** Araştırma grubunun tanımlayıcı istatistikleri (46)

<b>Değişkenler</b>	<b>En Küçük</b>	<b>En Büyük</b>	<b>Ortalama</b>	<b>SS</b>
<b>Yaş (Yıl)</b>	19,00	25,00	22,02	1,41
<b>Boy Uzunluğu (cm)</b>	164,00	196,00	179,93	7,04
<b>Vücut Ağırlığı (kg)</b>	56,75	94,83	76,39	11,11
<b>BKİ (kg/m<sup>2</sup>)</b>	17,80	29,31	23,55	2,87
<b>Antrenman Saati (saat/hafta)</b>	0	6	1.56	2.26

SS; Standart Sapma, BKİ; Beden Kütle İndeksi

### **Araştırmaya Dahil Edilme Kriterleri**

1. 18-25 yaş altı erkek olması,
2. Haftada en çok 6 saat antrenman veya fiziksel aktivite yapmak,
3. Geçmişinde alt ekstremite ile ilgili herhangi bir sağlık problemi yaşamamış olmak,
4. Kuvvet ve/veya sıçrama egzersizi tecrübesi bulunmak.
5. Daha önce antrenman yapmış bireyler ise en az 1 yıldır düzenli antrenman yapmıyor olmak.

### **Araştırmaya Dışlanma Kriterleri**

1. Derinlik sıçraması performansını olumsuz yönde etkileyecek herhangi bir sağlık problemi yaşıyor olmak,
2. Aşırı kilolu veya obez olmak,
3. Sıçrama tekniğini bilmiyor olmak.

## **3.2. Veri Toplama Araçları**

### **3.2.1. Antropometrik Ölçümler**

Katılımcıların boy uzunlukları  $\pm 0.1$ mm hata payı ile ölçüm yapan Holtain marka (Britanya) duvara sabitlenmiş stadiometre ile ölçülmüştür. Vücut ağırlıkları kuvvet platformu üzerinde en hafif test kıyafeti ile ayakta olarak ölçülmüştür.

Bunun nedeni kuvvet platformunun yazılımının (MARS Software, Slovenya) değişkenlerin hesaplamasında vücut ağırlığını kullanmasıdır.

### 3.2.2. Derinlik Sıçraması Ölçümleri

Çalışmanın ana ölçüm parametresini oluşturan DS, bireyin belirli bir yükseklikten iki ayağının üzerine serbest düşüş yapmasını takiben düştüğü noktadan çok hızlı bir şekilde dikey yönde sıçramasını ifade etmektedir (14). DS sırasında kutu üzerine çıkan katılımcının kutunun genişliğine de bağlı olarak bacaklarını omuz genişliğinde açık tutması ve hareketin tamamı sonlanıncaya kadar ellerini belinden ayırmaması istenmiştir. Bu ölçümler sırasında düşüş yükseklikleri 5, 20, 30, 40 ve 50 cm yükseklikte bulunan ahşap kutular aracılığı ile sağlanmıştır (Şekil 3.2).

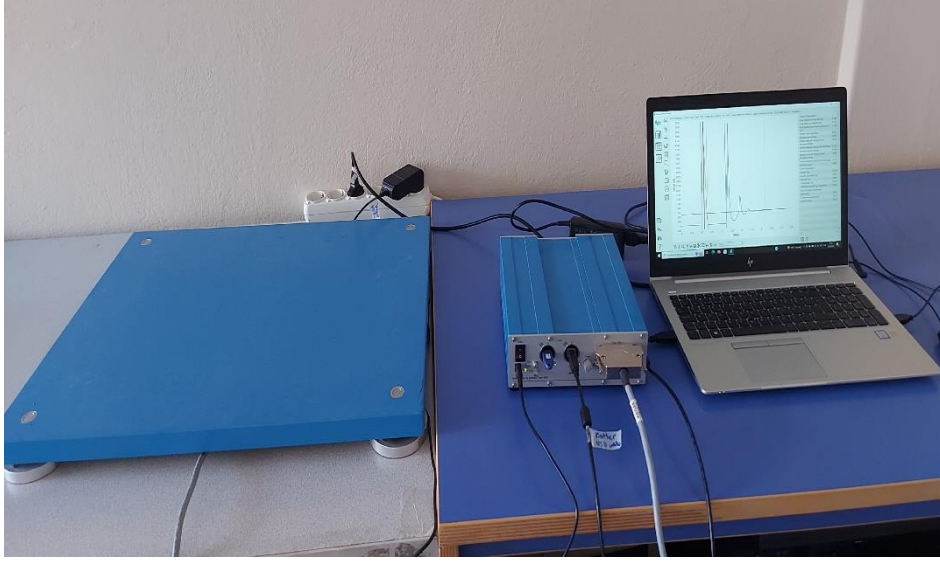


**Şekil 3.2.** DS sırasında kullanılan ahşap kutular.

DS sırasında 2000 Hz'de veri toplayan modeli 9260AA6 olan Kistler (Winterthur, İsviçre) marka 600x500x50 mm boyutlarındaki kuvvet platformu kullanılmıştır (143). Elde edilen değişkenler kuvvet platformuna bağlı diz üstü bilgisayara yüklü olan MARS ölçüm, analiz ve raporlama yazılımı (Slovenya) aracılığı ile elde edilmiştir

Bu ölçümler sırasında ODY'nin belirlenmesi için SY'nin YKS'ye bölümünden hesaplanan RKİ kullanılmıştır. Ölçümler sırasında RKİ ve RKİ'yi oluşturan SY ve YKS değişkenlerinin yanı sıra kuvvet ve zaman değişkenleri elde edilmiştir. Kuvvet değişkenleri olarak YRK, VA'nın Newton cinsinden hesaplandığı relatif YRK (N/NVA), E-relatif YRK (N/NVA), K-relatif YRK (N/NVA), relatif MG (W/kg), E-relatif MG (W/kg), K-relatif MG (W/kg) değişkenleri ölçülmüştür. Zaman

değişkenleri olarak E-zaman (ms), K-zaman (ms), MY ulaşma zamanı (ms), MK-YK anı arasındaki zaman (ms) elde edilmiştir. Bunların yanı sıra maksimum hız (m/sn), toplam KÜH (Ns), E-KÜH (Ns) ve K-KÜH (Ns) değişkenleri elde edilmiştir.



**Şekil 3.3.** Kuvvet Platformu.

### **3.2.3. Kas Pennasyon Açısı ve Tendon Sertlik Değerinin Belirlenmesi**

AT sertliği, kalınlığı ve boyu ile tendona bağlı olan gastroknemiyus ve soleus kaslarının pennasyon açısı ve kas sertliği ölçümleri ACUSON S3000 (Siemens Medical Solution, Mountain View, CA, USA) cihazı ile Shear Wave Elastography (SWE) yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir (Şekil3.4). Değerlendirmeler, 9L4 (4-9 MHz) ultrason başlığı kullanılarak yapılmıştır.



**Şekil 3.4.** Siemens Acuson S3000 (Siemens Medical Solution, Mountain View, CA, USA) (139).

### 3.3.Verilerin Toplanması

#### 3.3.1. Antropometrik ölçümler

Katılımcıların boy uzunlukları, ayakkabısız olacak şekilde Frankfort düzleminde iki kez tekrar ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir. En kısa boy uzunluğu (cm) değerlendirmeye alınmıştır (144).

Vücut ağırlığı ölçümleri test kıyafeti ile kuvvet platformu üzerinde alınmıştır. Ölçüm bir kez alınmıştır. Vücut ağırlığı değerleri kg cinsinden elde edilmiş ve kuvvet platformunun bağlı olduğu analiz programı olan MARS yazılımı aracılığı ile N cinsine dönüştürülmüştür (145).

#### 3.3.2. Optimal Düşüş yüksekliğinin belirlenmesi

Ölçüm öncesinde katılımcılar 5 dk süresince 60-70 rpm arası hızda bisiklet ergometresinde pedal çevirmişlerdir. Isınmanın ilk aşamasını takiben alt ekstremiteye yönelik 6 egzersizden oluşan dinamik ısınma 10 m'lik bir alanda (gidiş-geliş toplam 20 m) birer kez gerçekleştirmişlerdir. Isınmanın devamında katılımcıların DS tekniklerinin gözlenmesi ve teknik standardın sağlanması ve test öncesinde uygulanan alışma testleri (ölçümden en az 2 gün önce) sırasında gözlenen teknik hataların giderilmesi amacıyla 3 farklı yükseklikten (20 cm, 30 cm ve 40 cm) en az birer kez DS yaptırılmıştır.

Isınmayı takiben 5 dk sonra 20 cm yükseklikten başlayarak 30 cm yükseklikten itibaren 5'er cm yükseklik artışı sağlanmıştır. RKİ'nin zirve yaptığı ODY belirleninceye kadar test devam ettirilmiştir. DS'ler sırasında YKS (ms), sıçrama yüksekliği ve bu iki parametrenin formülünü oluşturduğu RKİ (mm/ms) değeri elde edilmiştir. RKİ değerinin zirveye ulaşıp azalma eğilimi gösterdiği yükseklik katılımcının ODY (cm) olarak belirlenmiştir (14).

DS sırasında katılımcının ellerinin bellerinde olmasına dikkat edilmiş, katılımcıdan en az sürede yerde kalması ve en yüksek sıçramayı gerçekleştirmesi istenmiştir. Her yükseklikte katılımcılara 2 hak verilmiştir. RKİ'nin, zirve değerine yakın olduğu halde zirvenin altında kaldığı durumlarda 3. hak verilmiştir. 3. hakkın sonunda RKİ değerinde bir gelişme görülmediğinde test sonlandırılmış ve RKİ'nin zirve yaptığı düşüş yüksekliği ODY olarak kaydedilmiştir. Ölçüm sırasında katılımcılara DS tekrar aralarında 1 dk, yükseklik aralarında ise 3 dk dinlenme verilmiştir.

Katılımcılardan DS sırasında test tekniğine aykırı kabul edilen diz çekme, ayak çekme vb. bazı hareketleri yapmamaları özellikle istenmiştir. Böyle bir durumda DS aynı yükseklikten tekrarlanmıştır. DS ölçümleri öğleden sonra gerçekleştirilmiştir (146).

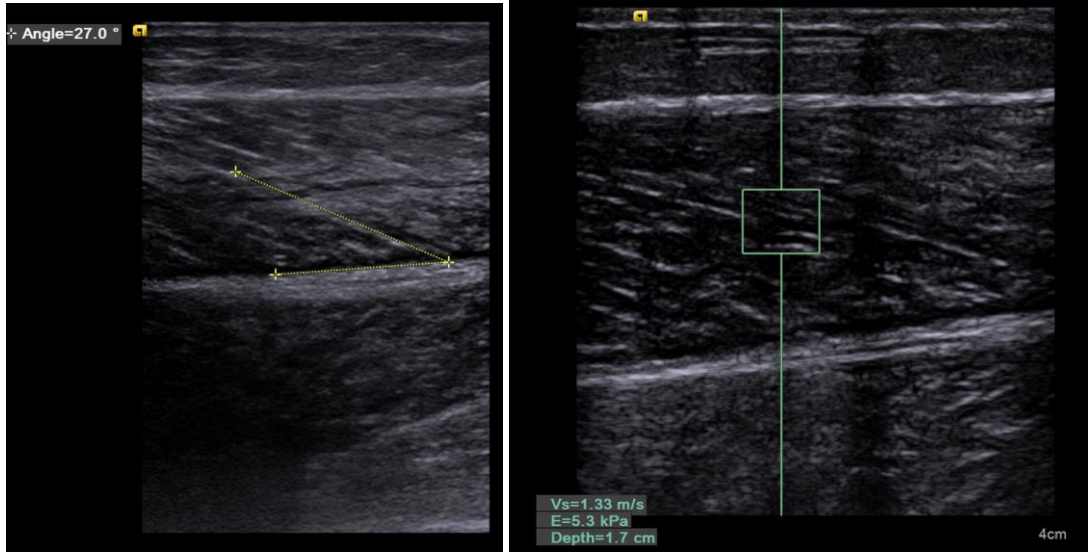


**Şekil 3.5.** Derinlik Sıçraması.

### **3.3.3. Kas-Tendon Mekanik Özelliklerine Yönelik Elastografi Ölçümleri**

Ölçüm öncesinde katılımcılar oda sıcaklığında 15 dk kadar oturur pozisyonda dinlendirilmişlerdir. Ölçümler de oda sıcaklığında dinlenik olarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler katılımcılar yüzüstü yatar pozisyonunda iken yapılmıştır. Kas ve tendon sertliği ile pennasyon açıları ölçümleri ayağın nötral pozisyonunda gerçekleştirilmiştir. MGK, LGK ve soleus kas sertlikleri ölçümleri 3'er kez tekrarlanmış ve m/sn ile kPA cinsinden ölçülmüştür. Değerlendirme sırasında 3 ölçümün ortalaması dikkate alınmıştır. Radyo frekans verilerinden elde edilen ortalama kas sertliği ölçümü, özelleştirilmiş bir yazılım (Virtual Touch Imaging and Quantification, Siemens Medical Systems) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MGK, LGK ve soleus kasının pennasyon açıları da 3 kez ölçülmüş ve ortalamaları değerlendirmeye alınmıştır (Şekil 3.6).





a) MGK pennasyon açısı

b) MGK sertlik düzeyi

**Şekil 3.6.** Kas sertliği ve pennasyon açıları ölçümü.

Benzer şekilde AT üç farklı bölgesinden sertlik değerleri elde edilmiş ve bu değerlerin ortalamaları sertlik değeri olarak m/sn ve kPA cinsinden sunulmuştur. AT kalınlığı gri skala görüntülerden prob tendona dik iken elde olunan transvers görüntülerden tendonun medyal malleol seviyesinden maksimum ön-arka çap olarak ölçülmüştür. AT uzunluğu yine gri skalada midsagital hatta longitudinal genişletilmiş alan görüntüleri (extended-field of view) oluşturularak tendonun kemiğe yapıştığı düzeyden myo-tendinöz bileşkeye kadar ölçülmüştür AT kalınlığı ve uzunluğu ile ilgili değerler mm cinsinden elde edilmiştir (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8).



Şekil 3.7. AT uzunluğu ölçümü.



Şekil 3.8. AT uzunluğu.

### 3.5. Verilerin Analizi

Bu çalışmada elde edilen veriler; araştırma grubunun yaş, boy uzunluğu, vücut ağırlığı ve BKİ değerlerinden oluşan genel özellikleri ile DS değişkenleri, DS kuvvet değişkenleri, DS zaman değişkenleri ile DS kuvvet-zaman etkileşimi değişkenleri ve elastografi yöntemi ile elde edilen kas-tendon değişkenlerine ilişkin en küçük, en büyük, ortalama ve standart sapma değerlerinden oluşan tanımlayıcı istatistikleri şeklinde gösterilmiştir. Ölçülen değişkenlerin dağılımlarının normalliği belirlenen

YKS gruplarına göre Shapiro-Wilk testi ile test edilmiştir. Varyansların homojenliği Levene Testi ile sınanmıştır.

Kas-tendon değişkenlerine ilişkin ölçüm tutarlılığı intra-observer korelasyon katsayısı (ICC) ile araştırılmıştır. Matheson (147) tarafından yapılan bir çalışmada ölçüm tutarlılığının araştırılmasında kullanılan ICC değerleri için alınan eşik değerlerinin daha esnek limitlere sahip olduğu vurgulanmıştır. Yine aynı çalışmada 0,40-0,75 arasında elde edilen ICC değerlerinin iyi; 0,75'in üstündeki ICC değerlerinin ise mükemmel olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca hesaplanan ICC değerleri için post-hoc güç analizi de yapılmıştır. ICC değerleri ve bu değerlere ilişkin post-hoc güç değerleri R programlama dilindeki (ver. 4.0.0) "irr" ve "ICC.Sample.Size" kütüphaneleri kullanılarak elde edilmiştir.

Sınıflandırma ve regresyon ağacı (Classification and Regression Trees, CART) analizi öncesinde GKD'yi etkileyen faktörlerin incelenmesi için GKD'nin ana değişkeni olarak değerlendirilen YKS ile etkileşimi olan değişkenleri belirleyebilmek amacıyla değişkenlerin YKS ile korelasyonuna bakılmıştır. Shapiro-Wilk testine göre dağılımı normal olan değişkenler Pearson korelasyon katsayısı (r), dağılımı normal olmayan değişkenler için ise Spearman korelasyon testi kullanılmıştır.

YKS'nin etkilediği düşünülen ve ölçümle elde edilen tüm değişkenler makine öğrenmesi algoritmalarından biri olan CART yöntemi ile incelenmiştir. Bu yöntemin uygulanmasında rasgele olarak verinin %70'i eğitim verisi %30'u ise test verisi olarak ayrılmıştır. Modelin geliştirildiği eğitim aşamasında CART modelinin optimum hiperparametre değerlerinin neler olduğu 10 katlı çapraz geçerlilik kullanılarak araştırılmıştır. Geliştirilen modelin performansı tahmin hatalarının ortalamasının karekökü (Root Mean Square Error of Approximation, RMSEA) ile değerlendirilmiştir. Regresyon ve karar ağacı modeli R dili için entegre bir geliştirme ortamı olan Rstudio ile gerçekleştirilmiş ve "rpart" kütüphanesi kullanılmıştır (148).

Sınıflandırma ve regresyon ağacı analizi ile belirlenen eşik değerlere göre YKS değişkeni gruplara ayrılmış ve gruplar arasında değişkenlerin oluşturduğu benzerlik ve farkların incelenmesi amacıyla varyans analizi yapılmıştır. Buna göre, normal dağılım ve varyansların homojenliği varsayımları sağlanan değişkenler için tek yönlü ANOVA testi uygulanmıştır. Normal dağılım varsayımı sağlanan ancak Levene testi sonucuna göre varyansların homojenliği varsayımı sağlanmayan değişkenler için

Welch ANOVA testi kullanılmıştır. Normallik dağılımı varsayımını sağlamayan değişkenler için parametrik olmayan testlerden Kruskal Wallis testi uygulanmıştır. Gruplar arasında farkın anlamlı olduğu değişkenlerde farkın hangi gruplardan kaynaklandığı normallik ve varyansların homojenliği varsayımının sağlandığı değişkenler için Tukey post-hoc testi ile, normallik varsayımının sağlandığı fakat varyansların homojenliğinin sağlanmadığı değişkenler için Games-Howell testi ile normallik varsayımının sağlanmadığı değişkenler için ise Dunn testi ile araştırılmıştır. Bu çalışmada güven aralığı %95 kabul edilmiştir. Çalışmada sınıflandırma ve regresyon ağacı analizi dışındaki testler SPSS v.21 istatistiksel analiz paket programında (IBM, ABD) gerçekleştirilmiştir.

### **3.5.1. Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları**

Breiman ve diğerleri tarafından 1984 yılında geliştirilen sınıflandırma ve regresyon ağaçları (CART veya C&RT) denetimli makine öğrenimi yöntemlerinden biridir (149). CART yöntemi sıklıkla verilerden tahmin oluşturmak için kullanılmaktadır. Bu işlem için bağımlı değişkenin kategorik veya sürekli olması gerekmektedir. Ağaç; bağımlı değişken sürekli ise regresyon ağacı, bağımlı değişken kategorik ise sınıflandırma ağacı olarak adlandırılmaktadır. CART ham verilerle çalışır bir başka ifade ile ön işlem gerektirmez ve değişkenleri aynı karar ağacının farklı düğümlerinde yeniden kullanabilir. Böylece değişken grupları arasındaki karmaşık etkileşimleri ortaya çıkmasına olanak vermektedir. Bu yöntem, analiz edilen veri seti hakkında hiçbir varsayımda bulunmadığı için doğrusal regresyon gibi parametrik yaklaşımlara güçlü bir alternatif durumundadır (150, 149).

CART grafiksel olarak sunulmaktadır. Bu durum CART'ın anlaşılmasını kolay hale getirmektedir. Bir ağaç, genellikle en tepedeki kökünden ve altındaki dallar ile yapraklardan geriye doğru büyürken tasvir edilir. Kök düğüm veri setinin tamamını temsil etmektedir ve aynı zamanda en önemli açıklayıcı değişkeni gösterir. Kalan düğümler diğer açıklayıcı değişkenleri yansıtırken son düğüm (yapraklar) sonuç kategorilerini temsil etmektedir. Bir dizi sınıflandırma kuralı karar ağacı boyunca kök düğümünden yapraklara giden yollarla temsil edilmektedir (150, 149).

Ağaçların oluşturulması sırasında genellikle ardışık ikili ayırma yöntemi kullanılmaktadır. İkili ifadesi ana düğümün her zaman iki düğüme bölünmesini ifade etmektedir. Terminal düğüm olmadığı sürece ardışık terimi ile her yeni düğümün eninde sonunda ana düğüm haline geleceği gerçeğini ifade etmektedir. Açıklayıcı değişkenler nicel olduğunda, model algoritmanın önerdiği kesme noktasına göre bölmeler yaparken açıklayıcı değişkenler kategorik olduğunda model, kategoriler arasında bölmeler yaparak seçim yapmaktadır.

Makine öğrenmesi algoritmaları iki adımda uygulanmaktadır. Veriler eğitim ve test verileri şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Öğrenme aşamasında, sınıflandırma ya da regresyon modelini geliştirmek için bir eğitim veri kümesi kullanılmaktadır. İkinci adımda ise; eğitim seti kullanılarak eğitildikten sonra sınıflandırma ya da regresyon modelinin performansını değerlendirmek için test seti kullanılmaktadır. Eğitim ve test genellikle %70-30 veya %80-20 olacak şekilde ayarlanmaktadır (151). Ağaç sınıflandırma ağacı ise doğru sınıflama oranı, regresyon ağacı ise de RMSEA değeri model performansını değerlendirmek için kullanılan yaygın ölçütlerdendir.

Hiper parametreler ağaç tabanlı modeller için önemlidir. Regresyon ağaçları tek bir örnek tek bir düğüme ait olana kadar inebilmektedir. Yüksek varyanslı bir modele yol açabilecek böyle bir ağacın oluşumunu kontrol etmek için hiper parametrelerden destek alınmaktadır. Oluşturulan ağaçlar aşırı öğrenme (overfitting) eğiliminde olduğundan dolayı eğitim sürecini kontrol etmek için modelin optimum hiper parametre değerleri araştırılır. Araştırılan hiper parametreler şunlardır:

- Max depth, ağacın maksimum derinliğini yani seviye sayısını ifade etmektedir
- Minimum samples split, bir bölme işleminin denenebilmesi için bir düğüme bulunması gereken en az gözlem sayısını
- Cp, veya diğer ifade ile karmaşıklık parametresi düğümün etkili olabilmesi için katkıda bulunması gereken en az hata payını ifade etmektedir. Temel olarak, ağacın genel doğruluğunu küçük bir miktar artıran bölmeler gerçekleştirilemeyecek ve bölünme burada duracaktır (152).

## 4. BULGULAR

Bu tez çalışmasının öncelikli amacı DS sırasında GKD'yi etkileyen faktörlerden YKS değişkeninin temel değişken alınarak incelenmesi ve literatürde yer alan YKS eşik noktasından farklı bir eşik noktasının varlığının test edilmesidir. Bu amaç doğrultusunda DS sırasında kuvvet-zaman değişkenleri; elastografi ölçümleri sırasında ise AT ve AT'ye bağlı olan MGK, LGK ve soleus kası ile ilgili değişkenler elde edilmiştir.

Bulgular bölümünde ilk olarak DS sırasında elde edilen kuvvet-zaman değişkenlerine ilişkin tanımlayıcı istatistik bilgileri Tablo 4.1'de sunulmuştur. Daha sonra, elastografi ile ölçülen değişkenlere ilişkin tanımlayıcı istatistik bilgileri Tablo 4.2'de sunulmuştur.

### 4.1. Derinlik Sıçraması Ölçümleri ile İlgili Tanımlayıcı Bulgular

DS ölçümleri çalışmanın en önemli bölümünü oluşturmaktadır. Bu ölçümlerden elde edilen YKS temel değişken olarak değerlendirilmiş ve diğer değişkenler ile analiz edilmiştir. Değerlendirmeye alınan YKS, yöntem bölümünde de anlatıldığı gibi RKİ'nin zirve yaptığı düşüş yüksekliğindeki değerdir. DS ölçümlerinde kuvvet, zaman ve bu iki unsurun etkileşiminden oluşan değişkenler elde edilmiştir. DS, DS kuvvet, DS zaman ve DS kuvvet-zaman etkileşimi değişkenlerine ait tanımlayıcı bulgular Tablo 4.1'de sunulmuştur

**Tablo 4.1.** Derinlik sıçraması (A), derinlik sıçraması kuvvet ve güç (B), derinlik sıçraması zaman (C) ve derinlik sıçraması kuvvet-zaman etkileşimi değişkenleri (D) (n=46).

Değişkenler	En küçük	En büyük	Ortalama	SS
<b>Derinlik sıçraması değişkenleri (A)</b>				
ODY (cm)	20.0	65.0	40.1	9.6
SY (mm)	208.0	438.0	303.8	52.7
YKS (ms)	160.0	363.0	220.5	46.0
RKİ (mm/ms)	0.72	2.18	1.4	0.4
<b>Derinlik sıçraması kuvvet ve güç değişkenleri (B)</b>				
YRK (N)	2606.0	7334.0	4775.2	1293.7
Relatif YRK (N/NVA)	3.59	11.00	6.39	1.53
E- Relatif YRK (N/NVA)	3.59	11.00	6.37	1.55
K- Relatif YRK (N/NVA)	2.79	8.54	5.35	1.20
Relatif MG (W/kg)	46.74	104.80	74.7	12.7
E- Relatif MG (W/kg)	94.47	287.80	176.8	39.9
K- Relatif MG (W/kg)	60.17	126.70	94.7	13.0
<b>Derinlik sıçraması zaman değişkenleri (C)</b>				
Eksantrik faz zamanı (ms)	70.0	167.0	100.56	23.32
Konsantrik faz zamanı (ms)	87.0	197.0	120.02	23.83
MK ulaşma zamanı (ms)	23.0	139.0	73.04	26.41
MK-YK anı arasındaki zaman (ms)	96.0	291.0	147.63	50.58
<b>Derinlik sıçraması kuvvet-zaman etkileşimi değişkenleri (D)</b>				
Maksimum Hız (m/sn)	4.1	5.9	5.0	0.4
Toplam KÜH (N/sn)	271.4	481.8	373.6	61.9
Konsantrik KÜH (N/sn)	122.7	239.3	182.2	31.7
Eksantrik KÜH (N/sn)	121.8	252.4	190.5	34.7

ODY: Optimal düşüş yüksekliği; SY: Sıçrama yüksekliği; YKS: Yerde kalış süresi; RKİ: Reaktif kuvvet indeksi; SS: Standart sapma, YRK: Yer Reaksiyon Kuvveti; N: Newton; W/kg: Watt/kilogram, MK-YK: Maksimum Kuvvet-Yerden Kopuş; MK: Maksimum Kuvvet; KÜH: Kuvvet Üretme Hızı; E: Eksantrik; K: Konsantrik; MG: Maksimum güç.

Bu çalışma, yaş ortalaması  $22.02 \pm 1.41$  yıl olan 46 erkek gönüllü katılımcı ile gerçekleştirilmiştir. Gönüllü katılımcıların ortak özelliği en çok 6 saat/hafta aktif olmalarıdır. Tablo 4.1’de yer alan bir diğer dikkate değer olduğu düşünülen unsur DS değişkenlerinin en küçük ve en büyük değerlerinin başta YRK olmak üzere kuvvet değişkenleri ve zaman değişkenleri ile uyumlu olmasıdır. Örneğin ODY en büyük değeri 65 cm iken en yüksek YRK değeri 7334 N’dir. En küçük ODY 20 cm iken en küçük YRK değeri ise 2606 N’dir. Benzer bir uyum diğer değişkenler arasında da gözlenmektedir (Tablo 4.1).

Bu çalışmanın temel değişkeni olan YKS ortalama  $220.5 \pm 46$  ms çıkmıştır. DS için en düşük YKS 160 ms en yüksek YKS ise 363 ms değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte ODY ortalama  $40.1 \pm 9.6$  cm bulunmuştur (Tablo 4.1).

Tablo 4.1’de dikkate değer bir diğer bulgu eksantrik ve konsantrik fazlardaki relatif YRK, relatif güç ve sürelerdir. Özellikle eksantrik faz sırasındaki relatif YRK değeri, relatif YRK değeri ile benzer düzeyde ve konsantrik faz relatif YRK düzeyinden fazladır. Bununla birlikte eksantrik faz ile konsantrik faz karşılaştırıldığında eksantrik faz relatif güç değeri ( $176.8 \pm 39.9$  W/kg) konsantrik faz relatif güç değerinin ( $94.7 \pm 13.0$  (w/kg)) çok üzerindedir. Zaman parametreleri açısından bu iki fazı karşılaştırdığımızda süreler birbirlerine benzer düzeyde olsa da eksantrik fazın konsantrik fazdan daha kısa sürede gerçekleştiği gözlenmektedir. Buna göre, iki faz kuvvet ve zaman değişkenleri açısından karşılaştırıldığında eksantrik faz sırasında katılımcıların daha kısa sürede daha yüksek kuvvet düzeyine ulaştıkları ve buna bağlı olarak daha yüksek güç değerlerine sahip oldukları söylenebilmektedir (Tablo 4.1).

#### **4.2. Kas-Tendon Mekanik Özellikleri ile İlgili Tanımlayıcı Bulgular**

Kas-tendon mekanik özellikleri ölçümleri çalışmanın ikinci bölümünü oluşturmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde AT’ye bağlı MGK, LGK ve soleus kaslarının pennasyon açıları, kas sertlikleri ile AT kalınlığı, uzunluğu ve sertliği elastografi yöntemi ile ölçülmüştür.

Öncelikle kas-tendon mekanik özelliklerine ilişkin ölçümlerinin tutarlılığının gösterilmesi için sınıf içi korelasyon katsayısı (ICC) ve bu değerlere ilişkin güç



değerleri (post-hoc power) hesaplanmıştır. Kas-tendon mekanik özelliklerine ilişkin ICC sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir.

**Tablo 4.2.** Kas-tendon mekanik özelliklerine ilişkin ölçüm tutarlılığı sonuçları (n=13).

Değişkenler	ICC	Güven Aralığı	Post-hoc Power
MGK Pennasyon Açısı (°)	0.87	0.56 - 0.96	0.99
LGK Pennasyon Açısı (°)	0.87	0.59 - 0.96	0.99
Soleus Kası Pennasyon Açısı (°)	0.90	0.67 - 0.97	0.99
MGK Sertliği (kPA)	0.81	0.36 - 0.94	0.97
LGK Sertliği (kPA)	0.53	0.47 -0.86	0.53
Soleus Kas Sertliği (kPA)	0.70	0.07 -0.91	0.85
AT Uzunluğu (cm)	0.90	0.68 - 0.97	0.99
AT Kalınlığı (mm)	0.91	0.64 -0.97	0.99
AT Sertliği (kPA)	0.93	0.77 -0.98	0.99

Hesaplanan ICC değerleri incelendiğinde lateral gastroknemiyus sertliği (kPA) parametresi dışındaki tüm parametreler için hesaplanan sınıf içi korelasyon katsayısı (ICC) değerleri 0.70’in üzerinde bulunmuştur. Matheson (2019) tarafından yapılan çalışmada ICC değerleri için belirtilen eşik değerleri temel alındığında LGK Sertliği (kPA) parametresi için elde edilen ICC değeri ‘‘iyi’’ düzeydedir. Bu parametre dışındaki tüm parametreler için hesaplanan ICC değerleri ise ‘‘mükemmel’’ düzeyde elde edilmiştir (sırasıyla MGK pennasyon açısı = 0.87, LGK pennasyon açısı = 0.87, soleus pennasyon açısı = 0.90, MGK sertliği (kPA) = 0.81, LGK sertliği (kPA) = 0.53, soleus kas sertliği (kPA) = 0.70, AT uzunluğu = 0.90, AT kalınlığı = 0.91 ve AT sertliği (kPA) = 0.93 (Tablo 4.2). Ayrıca ICC değerlerine ilişkin elde edilen güç değerlerinin (post-hoc power) de yüksek olması ölçüm tutarlılığın bir başka kanıtıdır.

Tablo 4.3’de araştırma grubunun kas tendon mekanik özellikleri ile ilgili tanımlayıcı istatistik bulguları sunulmuştur. Tablo 4.3’de MGK pennasyon açısı ve sertliğinin diğer kaslarınkinden daha büyük olduğu gözlenmektedir. Soleus kasının pennasyon açısı MGK pennasyon açısına benzer düzeyde olsa da soleus kas sertliğinin diğer iki kasa göre daha az olduğu görülmektedir (Tablo 4.3).

AT sertliğinin ortalama  $86.8 \pm 47.5$  (kPA) bulunmuş olması bu tendonun ne kadar dirençli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte soleus kasının sonlandığı noktadan ölçülen tendon uzunluğu ortalama  $7.8 \pm 2.1$  cm bulunmuştur (Tablo 4.3).

**Tablo 4.3.** MGK, LGK, Soleus kas sertliği ve pennasyon açıları (A) ile AT kalınlığı, uzunluğu ve sertliği (B) tanımlayıcı istatistikleri (n=46).

Değişkenler	En küçük	En büyük	Ortalama	SS
<b>MGK, LGK, Soleus kas sertliği ve pennasyon açıları (A)</b>				
MGK pennasyon açısı (°)	19.0	34.0	25.5	4.1
LGK pennasyon açısı (°)	12.0	31.4	19.7	4.1
Soleus pennasyon açısı (°)	13.0	35.3	25.3	5.0
MGK sertliği (kPA)	2.5	36.9	14.2	6.4
LGK sertliği (kPA)	3.2	22.7	11.2	4.4
Soleus sertliği (kPA)	2.2	29.0	10.8	6.6
<b>AT kalınlığı, uzunluğu ve sertliği (B)</b>				
Aşıl tendon uzunluğu (cm)	4.8	14.8	7.8	2.1
Aşıl tendon kalınlığı (mm)	3.5	5.8	4.5	0.5
Aşıl Tendon Sertliği (kPA)	16.8	199.7	86.8	47.5

kPA: Kilopskal; MGK: Gastroknemyus medyal kası; LGK: Gastroknemyus lateral kası; SS: Standart Sapma.

### 4.3. DS ve Kas-tendon mekanik değişkenlerinin YKS ile ilişki düzeyleri

YKS eşik değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla yapılan sınıflama ve regresyon ağacı yönteminin oluşturulması için YKS ile etkileşimde olan değişkenler korelasyon testleri ile belirlenmiştir. Korelasyon testleri ile ilgili bulgular Tablo 4.4, Tablo 4.5, Tablo 4.6 ve Tablo 4.7’de sunulmuştur.

**Tablo 4.4.** DS (A), derinlik sıçraması kuvvet ve güç (B), DS zaman (C) ve DS kuvvet-zaman etkileşimi değişkenlerinin (D) YKS ile ilişki durumunu gösteren Pearson korelasyon (r) istatistiği değerleri.

Değişkenler	YKS	
	r	p
<b>Derinlik sıçraması değişkenleri (A)</b>		
SY (mm)	0.002	0.867
RKİ (mm/ms)	-0.682	<b>0.0001</b>
<b>Derinlik sıçraması kuvvet ve güç değişkenleri (B)</b>		
YRK (N)	-0.883	<b>0.005</b>
K-Relatif YRK (N/NVA)	-0.810	<b>0.0001</b>
E- Relatif MG (W/kg)	-0.368	<b>0.0001</b>
<b>Derinlik sıçraması zaman değişkenleri (C)</b>		
Konsentrik faz zamanı (ms)	0.979	<b>0.0001</b>
MK ulaşma zamanı (ms)	0.107	0.480
MK-YK anı arasındaki zaman (ms)	0.855	<b>&lt;0.0001</b>
<b>Derinlik sıçraması kuvvet-zaman etkileşimi değişkenleri (D)</b>		
Maksimum hız (m/sn)	-0.368	<b>0.012</b>
Toplam KÜH (N/sn)	0.058	0.704
Konsentrik KÜH (N/sn)	0.008	0.959
Eksentrik KÜH (N/sn)	0.104	0.492

SY: Sıçrama yüksekliği, RKİ: Reaktif kuvvet indeksi, YRK: Yer reaksiyon kuvveti, E: Eksantrik, K: Konsantrik, MG: Maksimum güç, MK: Maksimum kuvvet, YK: Yerden kopma, KÜH: Kuvvet üretme hızı, N: Newton, NVA: Newton vücut ağırlığı.

**Tablo 4.5.** DS (A), derinlik sıçraması kuvvet ve güç (B) ve DS zaman (C) YKS ile ilişki durumunu gösteren Spearman korelasyon ( $\rho$ ) istatistiği değerleri.

Değişkenler	YKS	
	$\rho$	p
<b>Derinlik sıçraması değişkenleri (A)</b>		
<b>ODY (cm)</b>	-0.437	<b>0.002</b>
<b>Derinlik sıçraması kuvvet ve güç değişkenleri (B)</b>		
<b>Relatif YRK (N/NVA)</b>	-0.747	<b>0.0001</b>
<b>E- Relatif YRK (N/NVA)</b>	-0.747	<b>0.0001</b>
<b>Relatif MG (W/kg)</b>	-0.604	<b>0.0001</b>
<b>K- Relatif MG (W/kg)</b>	-0.456	<b>0.001</b>
<b>Derinlik sıçraması zaman değişkenleri (C)</b>		
<b>Eksantrik faz zamanı (ms)</b>	0.975	<b>0.0001</b>

ODY: Optimal düşüş yüksekliği, YRK: Yer reaksiyon kuvveti, N: Newton, NVA: Newton vücut ağırlığı, MG: Maksimum güç, E: Eksantrik, K: Konsantrik.

Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'te yer alan değişkenler dağılımının normalliğinin test edildiği Shapiro-Wilk testi sonuçlarına göre hazırlanmıştır ( $p>0.05$ ). Tablolarda yer alan bulgulara göre, YKS'ile olan en yüksek ilişki düzeyleri eksantrik ve konsantrik faz zamanlarında (sırasıyla;  $\rho=0.975$ ;  $p=0.0001$ ,  $r=0.979$ ;  $p=0.0001$ ) olduğu görülmektedir (Tablo 4.4, Tablo 4.5).

Bu çalışmada ODY'deki RKİ ve YKS değerlendirmeye alınmıştır. YKS'nin DS değişkenleri ile ilişki düzeyleri incelendiğinde yalnız SY ile anlamlı bir ilişki düzeyinin olmadığı görülmektedir ( $p>0.05$ ). Buna karşın ODY ve RKİ ile negatif yönlü anlamlı ilişki düzeyleri gözlenmektedir (sırasıyla;  $\rho= -0.437$ ,  $p=0.002$ ;  $r= -0.682$ ;  $p=0.0001$ ). Bu bulguya göre, YKS'nin düşüş yüksekliğindeki artışa bağlı olarak uzadığı görülmektedir. Bir başka ifade ile düşüş yüksekliğindeki artış ile bireylerde eksantrik faz süresinin uzamasına neden olmaktadır. Eksantrik fazdaki süre uzaması kişinin düşüş yüksekliği ile artan eksantrik yükü tolere edememesine yol açmaktadır. Bununla birlikte YKS'nin kısa olması DS sırasında ortaya çıkan reaktif kuvvetin yüksek olmasını sağlamaktadır. Bu durum, YKS'nin RKİ'nin hesaplanmasındaki önemini ortaya koyan bir bulgu olarak değerlendirilebilir (Tablo 4.4, Tablo 4.5).

YKS'nin anlamlı ilişki içinde olduğu diğer değişkenler kuvvet değişkenleridir. Buna göre, kısa süreli YKS'lerde yüksek YRK değerlerinin olduğu görülmektedir. Bir başka ifade ile YKS ve YRK değişkenleri negatif yönlü anlamlı ilişki düzeyine sahiptir ( $r=-0.833$ ,  $p=0.005$ ). Benzer bir durum kuvvet değişkenlerinin de doğal etkileyicisi olduğu güç değişkenlerinde gözlenmiştir (Tablo 4.4).

YKS'nin relatif maksimum güç, eksantrik faz relatif maksimum güç, konsantrik faz relatif maksimum güç değerleri ile negatif yönlü anlamlı ilişki düzeylerine sahip olduğu görülmektedir (sırasıyla:  $\rho=-0.604$ ,  $p=0.0001$ ;  $r=-0.368$ ,  $p=0.0001$ ;  $\rho=-0.456$ ;  $p=0.001$ ). Buna göre, uzun YKS'lerde relatif MG değerlerinde bir düşüş olacağı söylenebilir. Korelasyon düzeylerine göre DS fazlarındaki durum değerlendirildiğinde K-relatif MG değerlerinin YKS ile korelasyonunun ( $\rho= -0.456$ ,  $p=0.001$ ) E-relatif MG'ye göre daha yüksek olduğu gözlenmektedir ( $r=-0.368$ ,  $p=0.0001$ ). Bu bulgu daha uzun YKS değerlerinde konsantrik fazın eksantrik faza göre MG'nin daha olumsuz etkilendiği söylenebilir (Tablo 4.4, Tablo 4.5).

E-zaman ve K-zaman değişkenlerinin YKS ile anlamlı korelasyonu yanı sıra MK-YK anı arasındaki zamanın YKS ile anlamlı ilişkisi de söz konusudur ( $r=0.855$ ,  $p=0.0001$ ). Bu zaman dilimi konsantrik fazın ağırlıkta olduğu zaman dilimidir (Tablo 4.5).

YKS'nin hızı olarak alınan maksimum hız değerinin YKS ile negatif yönlü anlamlı korelasyon içinde olduğu gözükmemektedir ( $r=-0.368$ ,  $p= 0.012$ ). Buna göre YKS'de uzama durumu olduğunda hızın da düştüğü görülmektedir. Maksimum hız değeri kuvvet-zaman etkileşimi değişkenleri arasında olan ve anlamlı korelasyon düzeyi belirlenen tek değişken olma özelliğine sahiptir (Tablo 4.4).

Kas-tendon mekanik özelliklerine ilişkin elastografi yöntemi ile dinlenik olarak ölçülen değişkenlerin YKS ile ilişki düzeyleri incelendiğinde yalnızca AT uzunluğunun anlamlı korelasyon içinde olduğu görülmektedir ( $\rho= 0.411$ ;  $p=0.005$ ). Bir başka ifade ile YKS ile AT uzunluğu pozitif ancak anlamlı doğrusal ilişki düzeyine sahiptir. Bu bulgu AT'si uzun olan bireylerin YKS'lerinin de daha uzun olacağı anlamını taşımaktadır (Tablo 4.7).

**Tablo 4.6.** Kas-tendon mekanik değişkenlerinin (D) YKS ile ilişki durumunu gösteren Pearson korelasyon (r) istatistiği değerleri.

Değişkenler	YKS	
	r	p
<b>MGK, LGK, Soleus kas sertliği ve pennasyon açıları (A)</b>		
MGK Pennasyon Açısı (°)	0.029	0.848
Soleus Pennasyon Açısı (°)	0.072	0.636
LGK sertliği (kPA)	-0.052	0.731
<b>AT kalınlığı, uzunluğu ve sertliği (B)</b>		
Aşil Tendon Kalınlığı (mm)	0.002	0.991
Aşil Tendon Sertliği (kPA)	-0.034	0.825

kPA: Kilopskal; LGK: Gastroknemyus lateral kası; MGK: Gastroknemyus medyal kası.

Diğer kas-tendon değişkenleri açısından değerlendirildiğinde YKS ile anlamlı bir ilişki düzeyinden söz edilememektedir (Tablo 4.6, Tablo 4.7).

**Tablo 4.7.** Kas-tendon mekanik değişkenlerinin (D) YKS ile ilişki durumunu gösteren Spearman korelasyon (rho) istatistiği değerleri.

Değişkenler	YKS	
	rho	p
<b>MGK, LGK, Soleus kas sertliği ve pennasyon açıları (A)</b>		
LGK Pennasyon Açısı (°)	-0,141	0.351
MGK sertliği (kPA)	-0,170	0.258
Soleus sertliği (kPA)	-0,137	0.364
<b>AT kalınlığı, uzunluğu ve sertliği (B)</b>		
Aşil Tendon Uzunluğu (cm)	0,411	<b>0.005</b>

kPA: Kilopskal; LGK: Gastroknemyus lateral kası; MGK: Gastroknemyus medyal kası.

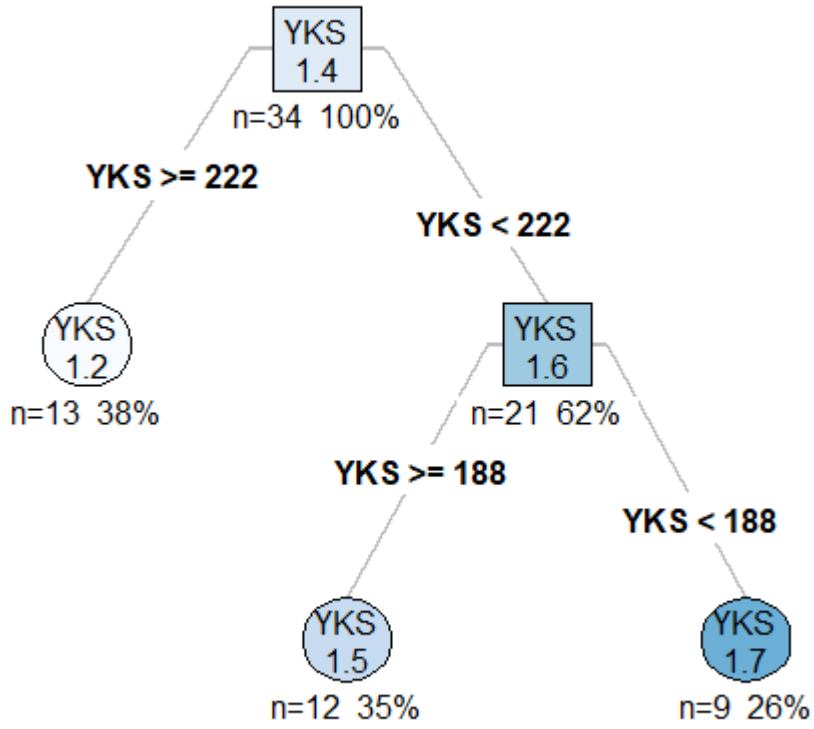
Buna göre, YKS ile ilişki düzeyi anlamlı olan toplam 14 değişken belirlenmiştir ( $p < 0.05$ ).

#### 4.4. Sınıflandırma ve Regresyon ağacı yöntemi ile YKS değişkenine ilişkin eşik değerlerinin belirlenmesi

Ölçülen değişkenlerin YKS ile ilişki düzeyi anlamlı bulunan toplam 14 değişken (ODY, RKİ, YRK, relatif YRK, E-relatif YRK, K-relatif YRK, relatif MG, E-relatif MG, K-relatif MG, E-zaman, K-zaman, MK-YK anı arasındaki zaman,

maksimum hız ve AT uzunluğu) sınıflandırma ve regresyon ağacı yöntemi ile YKS değişkeninin eşik değerlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bunun için veri seti, %70 ve %30 oranında olacak şekilde rasgele olarak eğitim ve test kümesine ayrılmıştır. YKS ile anlamlı ilişkili bulunan her bir değişken için eğitim verisi kullanılarak regresyon ağacı oluşturulmuştur. Kurulan her bir regresyon ağacı için en uygun olan hiper parametrelerin neler olduğu 10 katlı çapraz geçerlilik kullanılarak araştırılmış ve bulunan hiper parametre değerleri kullanılarak ağacın eğitim süreci tamamlanmıştır. Daha sonra oluşturulan regresyon ağacı modelinin, test verisi kullanılarak performansı değerlendirilmiştir. Performans ölçütü olarak RMSEA değeri kullanılmıştır. YKS ile ilişkili bulunan 14 değişken için yapılan bu modelleme sonucunda en iyi performansı veren model RKİ ile YKS arasında kurulan regresyon ağacı olmuştur. Bulunan bu sonuç % 70 ve %30 oranında olacak şekilde rasgele olarak bir kez ayrılan eğitim ve test verisinden elde edilmiştir. Elde edilen bu sonucun tesadüfi olarak ortaya çıkıp çıkmadığından emin olmak için yukarıda yapılan işlemler 1000 kez tekrarlanmış ve bu işlem yaklaşık 15 saat sürmüştür. Sonuçlar incelendiğinde 0.1985 RMSEA değeri ile en iyi performansı veren regresyon ağacının RKİ ile YKS arasında kurulan ağaç olduğu gözlenmiştir. Kurulan bu regresyon ağacına göre YKS'nin 3 gruba ayrıldığı görülmüştür. Buna göre gruplar;  $YKS < 188$  ms,  $188 \leq YKS < 222$  ms ve  $YKS \geq 222$  ms eşik değerlerinden bölünmüşlerdir. Gruplar eşik değerlere göre kısa YKS ( $YKS < 188$  ms), orta YKS ( $188 \leq YKS < 222$  ms) ve uzun YKS ( $YKS \geq 222$  ms) şeklinde adlandırılmıştır. Sınıflandırma ve regresyon ağacı Şekil 4.1'de gösterilmiştir.





**Şekil 4.1.** Sınıflandırma ve regresyon ağacı.

Şekil 4.1’de verilen regresyon ağacının eğitim aşamasında elde edilen optimum hiper parametre değerleri şunlardır:

Min samples split: 2

Max depth:2

Cp=0

#### **4.5. DS ve kas-tendon özelliklerinin YKS gruplarına göre karşılaştırması**

##### **4.5.1. DS değişkenlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırması**

Ölçülen değişkenlerin regresyon ağacı ile belirlenen eşik değerlere göre oluşturulan YKS grupları arasındaki benzerlik ve farklar değişkenlerin dağılımının normalliği ve varyanslarının homojenliğine göre farklı varyans analizi ile incelenmiştir. Bulgular sırasıyla DS ölçümleri sırasında elde edilen değişkenler ve elastografi yöntemi ile ölçülen değişkenler şeklinde tablo ve şekiller ile sunulmuştur.

Öncelikle DS ölçümleri sırasında ölçülen değişkenlerin YKS gruplarına göre farkları incelenmiştir. Değişkenler özelliklerine göre gruplandırılmıştır. Buna göre; ODY, SY ve RKİ Tablo 4.8'de; DS kuvvet ve güç değişkenleri Tablo 4.9'da; DS zaman değişkenleri Tablo 4.10'de, DS kuvvet-hız etkileşimi değişkenleri Tablo 4.11'de ve kas-tendon özellikleri ile ilgili değişkenler tablo 4.12'de gösterilmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı fark bulunan değişkenler şekillerle sunulmuştur.

**Tablo 4.8.** Derinlik sıçraması değişkenlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırması (n=46).

Değişkenler	Kısa YKS (YKS≤188 ms)				Orta YKS (188≤YKS<222 ms)				Uzun YKS (YKS≥222 ms)				p
	En küçük	En büyük	Ortalama	SS	En küçük	En büyük	Ortalama	SS	En küçük	En büyük	Ortalama	SS	
<b>ODY (cm)</b>	30.00	60.00	42.92	8.11	30.00	65.00	43.33	9.57	20.00	65.00	35.79	9.17	0.012 <sup>*b,1</sup>
<b>SY (mm)</b>	208.00	384.00	297.50	57.53	247.00	424.00	305.87	47.80	238.00	438.00	306.11	55.81	0.895 <sup>a</sup>
<b>RKİ (mm/ms)</b>	1.27	2.18	1.70	0.31	1.10	2.16	1.49	0.25	0.72	1.73	1.18	0.27	0.0001 <sup>*a,2</sup>

SS: Standart sapma; ODY: Optimal düşüş yüksekliği; SY: Sıçrama yüksekliği; RKİ: Reaktif kuvvet indeksi.

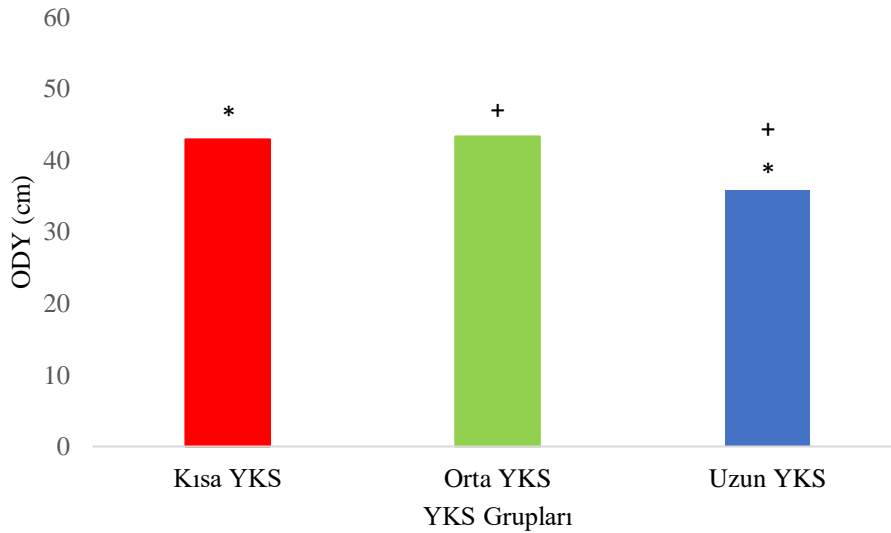
\* p<0.05

<sup>a</sup> Tek Yönlü ANOVA ile analiz edilmiştir

<sup>b</sup> Kruskal Wallis testi ile analiz edilmiştir

<sup>1</sup>Dunn testi sonucuna göre; Kısa YKS ile Uzun YKS grupları (p=0.038); Orta YKS ile Uzun YKS grupları(p=0.039); Kısa YKS ile Orta YKS (p=1.00).

<sup>2</sup>Tukey testi sonucuna göre; Kısa YKS ile Uzun YKS grupları (p=0.0001); Orta YKS ile Uzun YKS grupları (p=0.006); Kısa YKS ile Orta YKS (p=0.143).

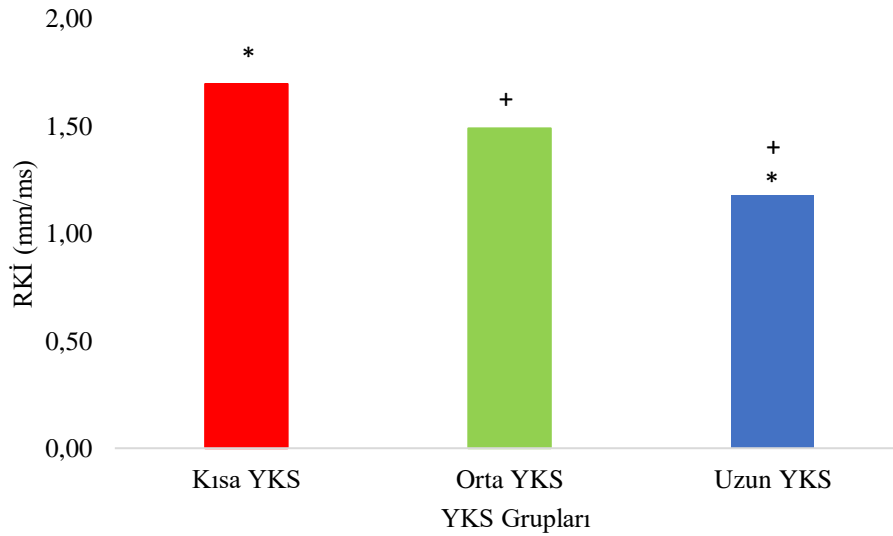


**Şekil 4.2.** ODY değerlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırılması (\*Kısa YKS – Uzun YKS grupları, +Orta YKS – Uzun YKS grupları;  $p < 0.05$ ).

DS değişkenlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırması sonucunda, SY dışındaki diğer değişkenlerin gruplar arasında anlamlı olarak farklı olduğu görülmüştür. Buna göre; Kruskal-Wallis test sonucuna göre ODY'nin gruplar arasında anlamlı olarak farklı olduğu bulgusuna ulaşılmıştır ( $p=0.012$ ). Yapılan Dunn post-hoc testine göre, Kısa YKS grubu ile Uzun YKS grubu arasında ( $p=0.039$ ) ve Orta YKS grubu ile Uzun YKS grubu ile anlamlı fark oluşturduğu gözlenmiştir ( $p=0.038$ ). Buna göre; Uzun YKS grubunun ODY'lerinin diğer gruplara göre anlamlı olarak daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bir başka ifade ile  $\geq 222$  ms ve üstünde YKS'ye sahip olan bireylerin ODY'leri YKS'leri daha kısa olan bireylere göre daha az olacağı söylenebilir (Tablo 4.8).

RKİ değerleri incelendiğinde YKS grupları arasındaki farkının anlamlılığının ODY ile karşılaştırıldığında çok daha yüksek olduğu görülmektedir ( $p < 0.0001$ ). RKİ'nin üç gruptaki ortalamaları incelendiğinde klinik açıdan da önemli bir fark olduğu görülmektedir (Tablo 4.7.). Daha kısa YKS gruplarında RKİ değerinin daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Buna karşın Kısa YKS ve Orta YKS ms grubunun ortalama RKİ değerlerinin istatistiksel olarak benzer oldukları bulgusuna ulaşılmıştır ( $p > 0.05$ ). Tukey post-hoc testine göre, Uzun YKS grubu RKİ değeri Kısa YKS grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı düşüktür ( $p=0.0001$ ). Uzun YKS grubu RKİ değerlerinin Orta YKS grubuna göre anlamlı olarak daha düşük olduğu gözlenmiştir

( $p=0.006$ ) (Tablo 4.8). Bu bulgulara göre Uzun YKS grubunun diğer gruplardan farklı özelliklere sahip olduğu düşünülebilir (Şekil 4.3).



**Şekil 4.3.** RKİ değerlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırılması (\*Kısa YKS – Uzun YKS grupları, +Orta YKS – Uzun YKS grupları;  $p<0.01$ ).

SY açısından bakıldığında YKS gruplarının istatistiksel olarak benzer oldukları görülmektedir ( $p>0.05$ ). Bununla birlikte, yukarıda anlatılan diğer iki değişkenden farklı olarak SY, YKS gruplarındaki süre uzamasına karşın artış göstermektedir (Tablo 4.8).

#### 4.5.2. DS kuvvet ve güç değişkenlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırması

DS kuvvet değişkenlerinin temel değişkeni kuvvet platformu sırasında yere uygulanan kuvveti ifade eden YRK'dır. Bu incelemede yere uygulanan kuvvet DS veya YKS fazlarına (eksantrik ve konsantrik faz) göre relatif olarak değerlendirilmiştir. YRK'nın relatif değeri yere uygulanan N cinsinden kuvvetin N cinsinden vücut ağırlığına bölümü ile elde edilmiştir (N/NVA).

YKS grupları incelendiğinde YRK değerlerinin belirgin şekilde azaldığı görülmektedir. Tek yönlü ANOVA testi sonucuna göre YRK'nın YKS grupları arasında anlamlı olarak farklı olduğu görülmektedir ( $p=0.018$ ). Bu durum YKS'de uzama meydana geldikçe YRK'nın da azaldığı anlamına gelmektedir. YRK'nın YKS ile ilişki düzeyi ilgili bölümde incelenmiştir. Gözlenen farkın hangi gruplardan

kaynaklandığı Tukey post-hoc testi ile incelenmiştir. Tukey testi sonucuna göre; Kısa YKS ve Uzun YKS grupları arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir ( $p=0.016$ ). Bu bulguya göre, Uzun YKS grubunun YRK değeri Kısa YKS grubuna göre anlamlı olarak daha düşük olduğu gözlenmektedir (Tablo 4.9).

**Tablo 4.9.** Derinlik sıçraması kuvvet ve güç değişkenlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırması (n=46).

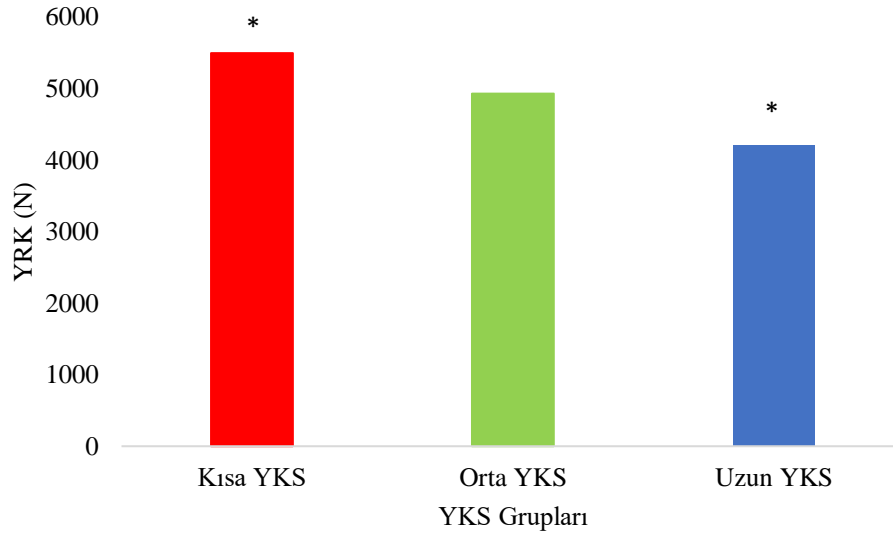
Değişkenler	Kısa YKS (YKS≤188 ms)				Orta YKS (188≤YKS<222 ms)				Uzun YKS (YKS≥222ms)				p
	En küçük	En büyük	Ortalama	SS	En küçük	En büyük	Ortalama	SS	En küçük	En büyük	Ortalama	SS	
<b>YRK (N)</b>	3711.00	7235.00	5493.67	1029.48	3458.00	6674.00	4927.87	1110.23	2606.00	7334.00	4201.00	1366.02	0.018 <sup>*a,1</sup>
<b>Relatif YRK (N/NVA)</b>	6.67	9.09	7.66	0.74	4.89	8.25	6.63	0.89	3.59	11.00	5.39	1.66	0.0001 <sup>*b,2</sup>
<b>E- Relatif YRK (N/NVA)</b>	6.67	9.09	7.66	0.74	4.84	8.25	6.62	0.90	3.59	11.00	5.36	1.67	0.0001 <sup>*b,3</sup>
<b>K- Relatif YRK (N/NVA)</b>	5.24	8.54	6.68	0.87	4.89	6.46	5.62	0.51	2.79	5.56	4.30	0.71	0.0001 <sup>*a,4</sup>
<b>Relatif MG (W/kg)</b>	64.65	97.58	83.97	11.83	67.98	104.80	78.64	9.34	46.74	80.62	65.76	9.90	0.0001 <sup>*b,5</sup>
<b>E- Relatif MG (W/kg)</b>	146.50	287.80	216.36	35.97	138.10	220.70	186.99	20.24	94.47	192.70	143.86	24.34	0.0001 <sup>*a,6</sup>
<b>K- Relatif MG (W/kg)</b>	81.10	117.80	101.80	13.18	86.12	126.70	98.30	10.27	60.17	107.60	87.30	11.60	0.006 <sup>*b,7</sup>

SS: Standart sapma; YRK: Yer reaksiyon kuvveti; E: Eksantrik faz; K: Konsantrik faz; MG: Maksimum güç; N: Newton; NVA: Newton vücut ağırlığı; W: Watt;

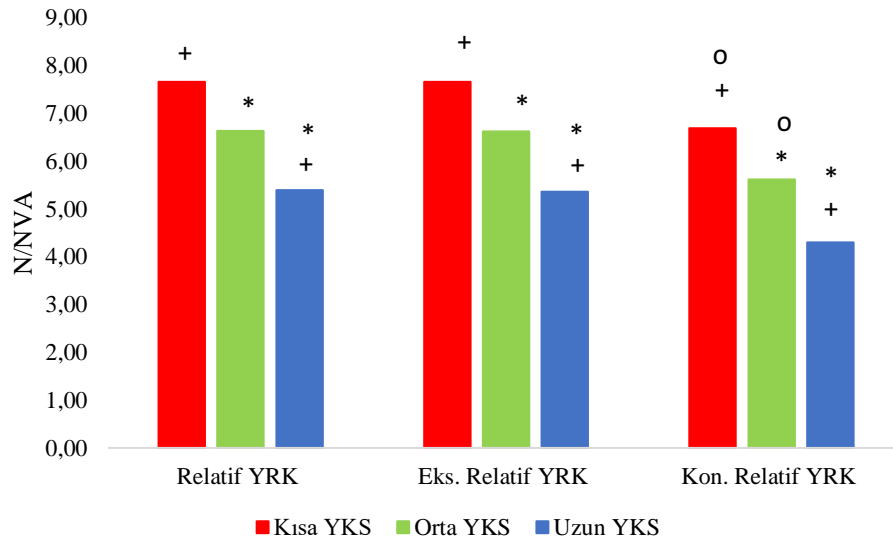
\*p<0.05

<sup>a</sup> Tek yönlü ANOVA testi ile analiz edilmiştir. <sup>b</sup> Kruskal Wallis testi ile analiz edilmiştir.

<sup>1</sup>Tukey testi; Kısa YKS ve Uzun YKS (p=0.016); Kısa YKS ve Orta YKS (p=0.453); Orta YKS ve Uzun YKS (p=0.200). <sup>2</sup>Dunn testi; Kısa YKS ve Uzun YKS (p=0.0001); Orta YKS ve Uzun YKS(p=0.023); Kısa YKS ve Orta YKS (p=0.123). <sup>3</sup>Dunn testi; Kısa YKS ve Uzun YKS (p=0.0001); Orta YKS ve Uzun YKS (p=0.015); Kısa YKS ve Orta YKS (p=0.123). <sup>4</sup>Tukey testi; Kısa YKS ve Uzun YKS (p=0.0001); Orta YKS ve Uzun YKS (p=0.0001); Kısa YKS ve Orta YKS (p=0.001). <sup>5</sup>Dunn testi; Kısa YKS ve Uzun YKS (p=0.0001); Orta YKS ve Uzun YKS (p=0.014); Kısa YKS ve Orta YKS (p= 0.901). <sup>6</sup>Tukey testi; Kısa YKS ve Uzun YKS (p=0.0001); Orta YKS ve Uzun YKS(p=0.0001); Kısa YKS ve Orta YKS (p=0.018). <sup>7</sup>Dunn testi; Kısa YKS ve Uzun YKS (p=0.012); Orta YKS ve Uzun YKS (p=0.038); Kısa YKS ile Orta YKS (p=1.00).



**Şekil 4.4.** YRK değerlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırılması (\* Kısa YKS – Uzun YKS grupları;  $p < 0.05$ ).



**Şekil 4.5.** Relatif YRK değerlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırılması (+Kısa YKS – Uzun YKS grupları, \*Orta YKS – Uzun YKS grupları, °Kısa YKS – Orta YKS grupları;  $p < 0.05$ ).

Relatif YRK'nın YKS gruplarına göre karşılaştırması sonucunda Uzun YKS grubunun diğer gruplara göre anlamlı olarak daha düşük değere sahip olduğu söylenebilmektedir. Bir başka ifade ile, relatif YRK açısından  $\geq$ Uzun YKS grubu diğer



gruplardan anlamlı olarak farklıdır. Yapılan Dunn post-hoc testine göre, Relatif YRK değeri bakımından, Uzun YKS grubu ile Kısa YKS grubu arasında anlamlı olarak fark bulunmuştur ( $p=0.0001$ ). Aynı testin bir diğer bulgusuna göre; Uzun YKS grubunun relatif YRK değeri Orta YKS ms grubundan daha düşük bulunmuştur ve bu fark istatistiksel olarak anlamlıdır ( $p=0.023$ ). Bununla birlikte; Kısa YKS ile Orta YKS grupları her ne kadar klinik olarak relatif YRK değerinde anlamlı bir azalış gözlene de istatistiksel olarak benzerdir (Tablo 4.9).

En yüksek YRK değerleri eksantrik fazda gözlenmektedir. Buna göre; DS'nin eksantrik fazı sırasında yere uygulanan kuvvet miktarı konsantrik faza göre daha yüksektir. Kruskal-Wallis testi bulgusuna göre E-relatif YRK değerinin gruplar arasında anlamlı olarak farklı olduğu görülmektedir ( $p= 0.0001$ ). Yapılan Dunn post-hoc testine göre ise; E-relatif YRK değeri de relatif YRK'da olduğu gibi Uzun YKS diğer gruplardan anlamlı olarak farklı çıkmıştır. Uzun YKS grubu Kısa YKS grubundan istatistiksel olarak anlamlı fark ortaya koymaktadır ( $p=0.0001$ ) (Tablo 4.9). Bununla birlikte; Uzun YKS grubunun eksantrik faz sırasındaki relatif YRK değerinin Orta YKS grubuna göre anlamlı olarak fazla olduğu görülmektedir ( $p=0.015$ ) (Şekil 4.5).

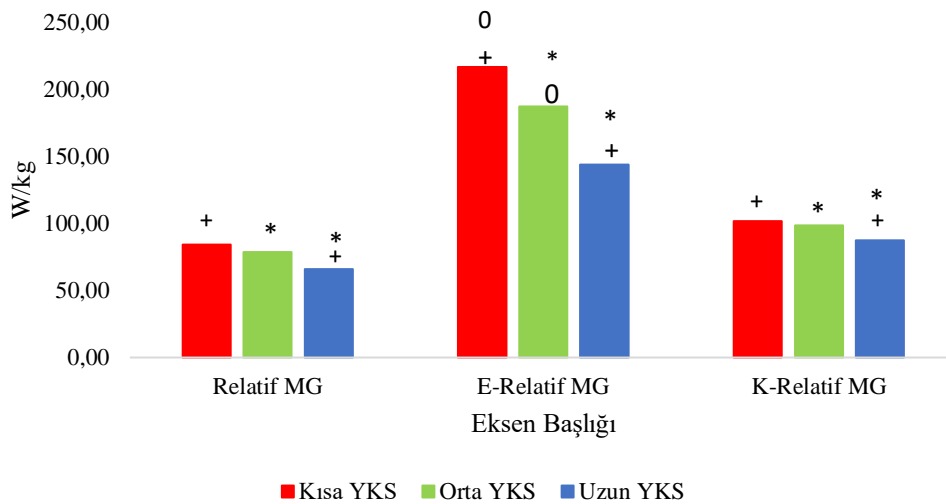
Konsantrik faz sırasındaki relatif YRK değerleri açısından YKS gruplarının birbirlerinden anlamlı olarak farklı olduğu bulgusuna ulaşılmıştır (Tablo 4.9) ( $p<0.001$ ). Bir başka ifade ile, K-relatif YRK değerleri YKS için belirlenen eşik değerler arasında belirgin olarak ayrılmaktadır (Şekil 4.5). Yapılan Tukey post-hoc testine göre, Kısa YKS grubunun K-relatif YRK değeri Orta YKS grubu ve Uzun YKS grubundan anlamlı olarak farklıdır (sırasıyla;  $p= 0.001$ ,  $p=0.0001$ ). Bir diğer bulguya göre, Uzun YKS grubunun K-relatif YRK değeri Orta YKS grubuna göre düşüktür ve bu fark istatistiksel olarak anlamlıdır ( $p=0.0001$ ).

DS sırasındaki relatif MG değerlerinin YKS grupları arasında karşılaştırması bulgularına göre, gruplar arasında anlamlı fark olduğu görülmektedir ( $p<0.0001$ ). Yapılan Dunn post-hoc testine göre, relatif MG değerleri Uzun YKS grubunda Kısa YKS grubuna göre daha düşüktür ve bu sonuç istatistiksel olarak anlamlıdır ( $p<0.001$ ). Bununla birlikte; Orta YKS grubunda relatif MG değerlerinin Uzun YKS grubuna göre daha yüksek olarak bulunmuştur ve bu sonuç istatistiksel olarak anlamlıdır ( $p<0.014$ ). Elde edilen bu bulgulara göre, Uzun YKS grubunun diğer gruplardan ayrıştığı

görülmektedir. Zira, diğer iki grup istatistiksel olarak benzer olmasının yanı sıra Uzun YKS grubunun relatif MG değeri anlamlı olarak diğer iki gruptan farklıdır (Tablo 4.9).

E-relatif MG değerleri incelendiğinde tek yönlü ANOVA test sonucuna göre bütün gruplarda değerlerin istatistiksel olarak anlamlı azaldığı görülmektedir ( $p < 0.01$ ) (Tablo 4.10). Yapılan Tukey post-hoc testine göre; Kısa YKS grubu ile Uzun YKS grubu arasında ( $p = 0.0001$ ); Orta YKS grubu ile Uzun YKS arasında ( $p = 0.0001$ ) ve Kısa YKS grubu ile Orta YKS grubu arasında ( $p = 0.018$ ) anlamlı fark olduğu bulunmuştur. E-relatif MG değerleri de diğer değişkenlerde olduğu gibi gruplar arasında doğrusal bir azalma gözlenmektedir. Bununla birlikte, E-relatif MG değerlerinin K-relatif MG değerlerine göre daha yüksektir (Şekil 4.6).

Yapılan Kruskal-Wallis testi sonucuna göre, K-relatif MG değerlerinin gruplar arası farkının anlamlı olduğu görülmektedir ( $p = 0.006$ ). Farkın hangi gruptan kaynaklandığı sorusunun cevabı yapılan Dunn testi ile aranmıştır. Dunn testi sonuçları açısından bakıldığında en yüksek relatif MG değeri Kısa YKS grubundadır. Bununla birlikte diğer değişkenlerde olduğu gibi K-relatif MG değerleri en düşük Uzun YKS grubunda görülmektedir. Kısa YKS grubu ile Uzun YKS grubu arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır ( $p = 0.012$ ). Bununla birlikte, Uzun YKS grubundaki K-relatif MG değerleri Orta YKS grubuna göre de anlamlı olarak daha düşüktür ( $p = 0.038$ ) (Tablo 4.9) (Şekil 4.6).



**Şekil 4.6.** Relatif MG değerlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırılması (+Kısa YKS – Uzun YKS grupları, \*Orta YKS – Uzun YKS grupları, <sup>0</sup> Kısa YKS- Orta YKS grupları;  $p < 0.01$ ).

**Tablo 4.10.** Derinlik sıçraması zaman değişkenlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırması (n=46).

Değişkenler	Kısa YKS (YKS<188 ms)				Orta YKS (188≤YKS<222 ms)				Uzun YKS (YKS≥222 m)				p
	En küçük	En büyük	Ortalama	SS	En küçük	En büyük	Ortalama	SS	En küçük	En büyük	Ortalama	SS	
<b>E-zamanı (ms)</b>	70.00	86.00	77.17	5.52	81.00	106.00	90.20	7.25	99.00	167.00	123.53	17.02	0.0001 <sup>*a,1</sup>
<b>K- zamanı (ms)</b>	87.00	110.00	97.92	6.60	104.00	121.00	110.33	4.92	122.00	197.00	141.63	21.86	0.0001 <sup>*b,2</sup>
<b>MK ulaşma zamanı (ms)</b>	41.00	77.00	61.33	9.73	50.00	118.00	71.47	17.94	23.00	139.00	81.68	35.55	0.064 <sup>*b</sup>
<b>MK-YK arasındaki zaman (ms)</b>	96.00	142.00	113.83	13.45	99.00	149.00	129.27	16.02	100.00	291.00	183.47	60.73	0.0001 <sup>*b,3</sup>

SS: Standart sapma; E: Eksantrik faz; K: Konsantrik faz; MK: Maksimum kuvvet; YK: Yerden kopma anı.

\* p < 0.05

<sup>a</sup> Kruskal Wallis testi ile analiz edilmiştir.

<sup>b</sup> Welch ANOVA testi ile analiz edilmiştir.

<sup>1</sup>Dunn testi; Kısa YKS ile Uzun YKS (p=0.0001); Orta YKS ile Uzun YKS (p=0.0001); Kısa YKS ve Orta YKS (p=0.073).

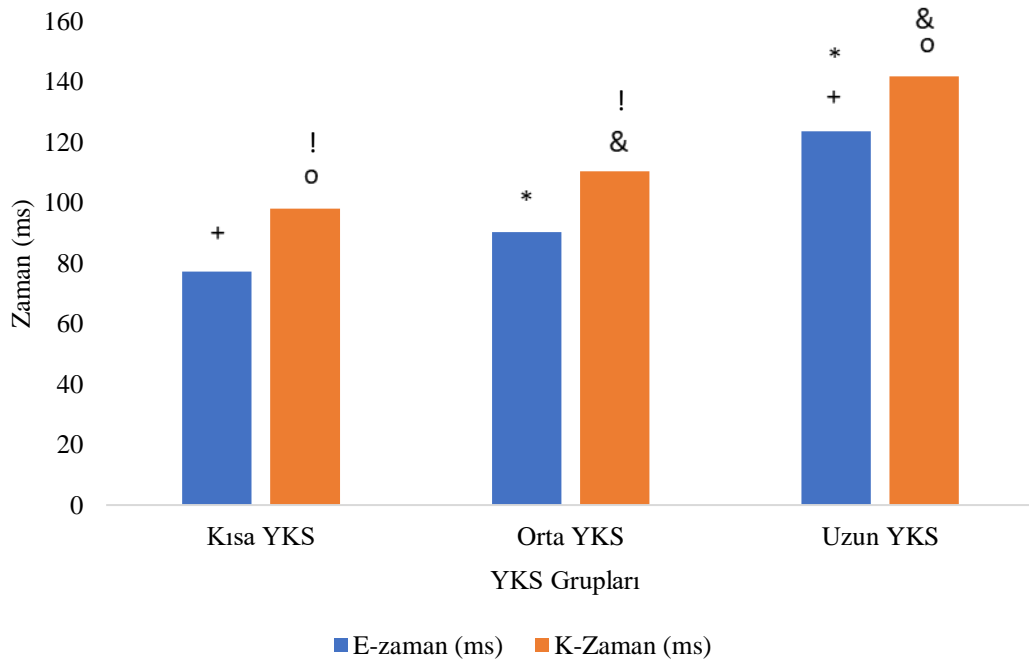
<sup>2</sup>Games-Howell testi; Kısa YKS ile Uzun YKS (p=0.0001); Kısa YKS ile Orta YKS (p=0.0001); Orta YKS ile Uzun YKS (p=0.0001).

<sup>3</sup>Games-Howell testi; Kısa YKS ile Uzun YKS (p=0.030); Kısa YKS ile Orta YKS (p=0.0001); Orta YKS ile Uzun YKS (p=0.003).

### 4.5.3. DS zaman değişkenlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırması

Eksantrik ve konsantrik faz zamanları YKS'yi oluşturan zaman dilimleridir. Doğal olarak bu iki değişkendeki süre uzunluğu daha uzun YKS'ye sahip katılımcıların yer aldığı Uzun YKS grubunda bulunmaktadır. Eksantrik ve konsantrik fazların YKS grupları arasındaki karşılaştırmaları sonucunda üç grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olduğu görülmektedir ( $p=0.0001$ ) (Tablo 4.10).

Gruplar arası farkın hangi gruptan kaynaklandığı sorusuna yanıt aramak amacıyla yapılan Dunn post hoc testine göre E-zaman değerleri farkının Uzun YKS grubunda görülen süre uzunluğundan kaynaklandığı görülmektedir. Uzun YKS grubunun Orta YKS ve Kısa YKS grubuna göre E-zamanın anlamlı olarak daha uzun olduğu gözlenmektedir (sırasıyla;  $p=0.0001$ ,  $p=0.0001$ ) (Şekil 4.7). Buna karşın Kısa YKS grubu ile Orta YKS ms grubunun E-zamanlarının benzer olduğu bulunmuştur ( $p>0.05$ ).



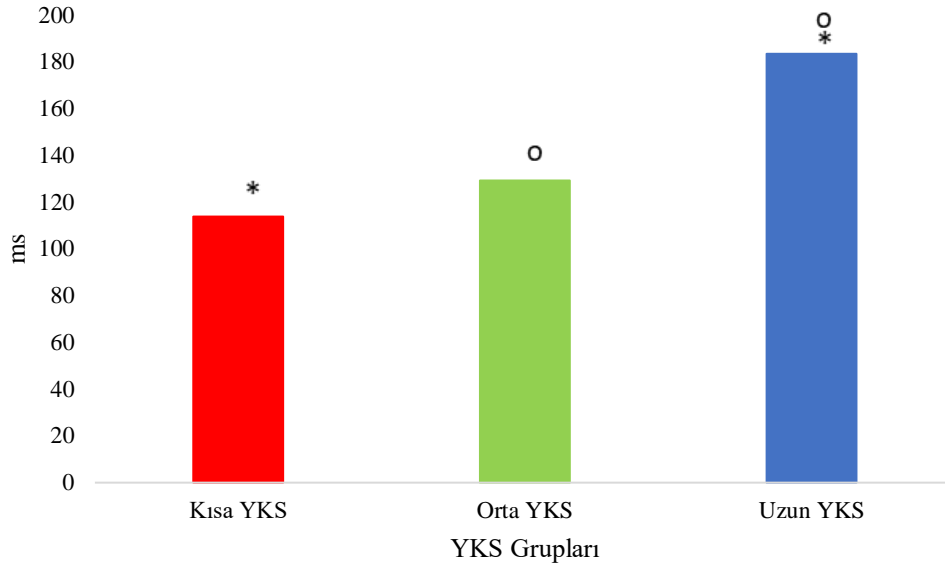
**Şekil 4.7.** Eksantrik ve Konsantrik faz zamanlarının YKS gruplarına göre karşılaştırılması (+ Kısa YKS – Uzun YKS grupları, \*Orta YKS – Uzun YKS grupları; °Kısa YKS – Uzun YKS grupları, ! Kısa YKS – Orta YKS grupları, &Orta YKS – Uzun YKS grupları;  $p<0.01$ ).

Welch ANOVA testi bulgularına göre K-zamanın gruplar arasındaki farkının anlamlı olduğu görülmektedir ( $p=0.0001$ ). Farkın hangi grup veya gruplardan kaynaklandığı Game-Howell post-hoc testi ile incelenmiştir. Buna göre, üç grupta da K-zamanın kısa YKS'den uzun YKS'ye kadar anlamlı olarak uzamakta olduğu görülmektedir. Yapılan inceleme sonucunda Uzun YKS grubunun Kısa YKS grubuna göre daha yüksek olarak bulunmuştur ve bu sonuç istatistiksel olarak anlamlıdır ( $p=0.0001$ ). Bununla birlikte, Uzun YKS grubunun Orta YKS grubundan da yüksek olduğu gözlenmektedir ( $p=0.0001$ ). K-zaman açısından diğer bulgu ise Kısa YKS grubu ile Orta YKS arasındaki anlamlı farktır ( $p=0.0001$ )(Tablo 4.10).

DS sırasında faz zamanlar karşılaştırıldığında E-zamanın K-zamana göre daha kısa olduğu görülmektedir. Her iki fazda gruplar arasında süre uzaması olduğu gözlenmektedir (Tablo 4.10).

MK ile YK arasındaki zaman eksantrik faz sırasında ulaşılan MK ile uçuş fazının başladığı YK arasındaki zaman dilimini ifade etmektedir. Yapılan inceleme sonucunda bu zaman diliminin en uzun olduğu YKS grubunun Uzun YKS grubunda, en kısa zaman diliminin ise Kısa YKS grubunda olduğu görülmektedir. Welch ANOVA testi bulgularına göre bu grup diğer iki grubun anlamlı olarak farklı olduğu bulgusuna ulaşılmıştır ( $p=0.0001$ ). Buna göre, Uzun YKS grubunda MK-YK anı arasındaki zamanın daha uzun olduğu görülmektedir. Games-Howell post-hoc testi sonucuna göre, Orta YKS ile Uzun YKS grubu anlamlı olarak farklıdır ( $p= 0.003$ ). Bununla birlikte, Kısa YKS grubu ile Orta YKS gruplarının da anlamlı olarak farklı olduğu gözlenmektedir ( $p=0.030$ ) (Tablo 4.11) (Şekil 4.8).

Değerlendirmeye alınan bir diğer değişken MK'ya ulaşma zamanıdır. Bu değişkende gruplar arası anlamlı bir fark bulunmamıştır ( $p>0.05$ ) (Tablo 4.10).



**Şekil 4.8.** MK-YK arasındaki zamanın YKS gruplarına göre karşılaştırılması (\* Kısa YKS – Uzun YKS grupları, °Orta YKS – Uzun YKS grupları;  $p < 0.01$ ).

#### 4.5.4. DS kuvvet-zaman etkileşimi değişkenlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırması

DS kuvvet-zaman etkileşimi sonucu meydana gelen değişkenler ile YKS'nin hızı olarak tanımlanan maksimum hız değişkenininin YKS grupları arasında benzer değerlere sahip oldukları gözlenmektedir ( $p > 0.05$ ). Bu değişkenler incelendiğinde K-KÜH değişkeni dışında diğer değişkenlerin yukarıda anlatılan bulgulardan farklı olarak gruplar arası doğrusal bir değişimden farklı olarak dalgalı bir değişim göstermektedir (Tablo 4.11). Gruplar arası farkın incelendiği diğer değişkenlerin YKS ile korelasyonu dikkate alındığında Tablo 4.11'de sunulan değişkenlerin YKS ile anlamlı bir korelasyon içerisinde olmadığı da dikkate alındığında bu değişkenlerin YKS'den bağımsız değişkenler olduğu söylenebilir.

**Tablo 4.11.** Derinlik sıçraması kuvvet-zaman etkileşimi değişkenlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırması (n=46).

Değişkenler	Kısa YKS (YKS<188 ms)				Orta YKS (188≤ YKS<222 ms)				Uzun YKS (≥222 ms)				p
	En Küçük	En Büyük	Ortalama	SS	En Küçük	En Büyük	Ortalama	SS	En Küçük	En Büyük	Ortalama	SS	
<b>Maksimum Hız (m/sn)</b>	4.34	5.90	5.11	0.40	4.77	5.68	5.14	0.29	4.11	5.68	4.89	0.40	0.112 <sup>a</sup>
<b>Toplam KÜH (N/sn)</b>	271.40	470.30	364.04	63.94	271.60	476.40	378.87	61.02	276.10	481.80	375.45	63.91	0.820 <sup>a</sup>
<b>E- KÜH (N/sn)</b>	121.80	252.40	182.18	36.27	141.30	242.10	194.65	31.25	139.20	249.20	192.42	37.20	0.950 <sup>a</sup>
<b>K- KÜH (N/sn)</b>	145.10	237.60	179.78	31.84	129.00	239.30	182.53	34.07	122.70	233.40	183.57	31.25	0.628 <sup>a</sup>

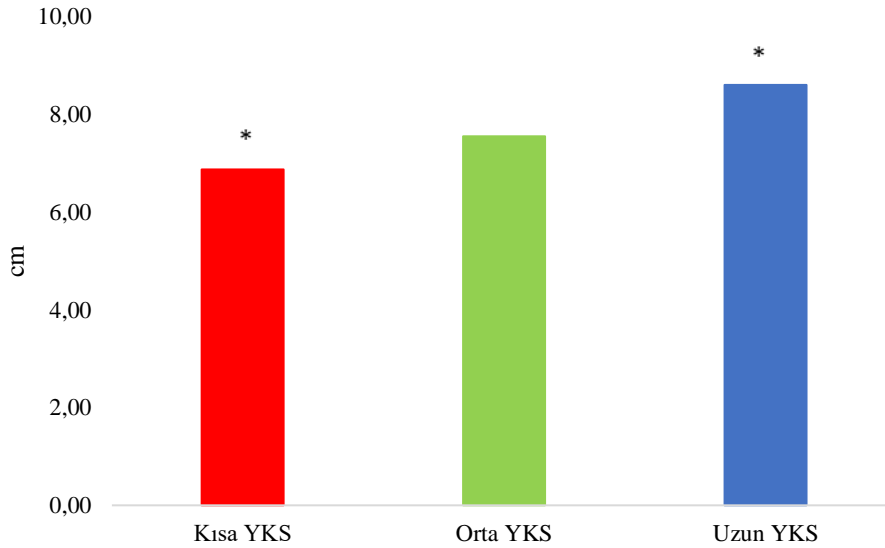
SS: Standart sapma; KÜH: Kuvvet üretme hızı; K: Konsantrik faz; E: Eksantrik faz. \*p>0.05

<sup>a</sup> Tek yönlü ANOVA testi ile analiz edilmiştir.

#### 4.5.5. Kas-tendon mekanik özelliklerinin YKS gruplarına göre karşılaştırılması

Elastografi yöntemi ile elde edilen kas-tendon mekanik özelliklerine ilişkin değişkenler arasında AT uzunluğu gruplar arası anlamlı olarak farklı olması nedeniyle ön plana çıkmaktadır ( $p=0.018$ ) (Tablo 4.12). AT uzunluğunun YKS gruplarını oluşturan eşik değerler arttıkça uzadığı gözlenmektedir ( $6.88\pm 1.00$  cm;  $7.55\pm 2.55$  cm;  $8.61\pm 2.03$  cm). Gruplar arası farkın hangi gruptan kaynaklandığı Dunn testi ile incelenmiştir. Buna göre, anlamlı farkın Kısa YKS ile Uzun YKS grupları arasında olduğu belirlenmiştir ( $p=0.039$ ) (Şekil 4.9).

Gruplar arası fark bulunmayan diğer değişkenlerin YKS grupları arasında anlamlı bir artış veya azalış göstermediği gözlenmektedir ( $p>0.05$ ) (Tablo 4.12).



**Şekil 4.9.** AT uzunluğunun YKS gruplarına göre karşılaştırılması (\*Kısa YKS – Uzun YKS grupları;  $p=0.039$ ).



**Tablo 4.12.** Kas-tendon özellikleri ile ilgili değişkenlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırması (n=46).

Değişkenler	Kısa YKS (YKS<188 ms)				Orta YKS (188≤ YKS<222 ms)				Uzun YKS (YKS≥222)				p
	En Küçük	En Büyük	Ortalama	SS	En Küçük	En Büyük	Ortalama	SS	En Küçük	En Büyük	Ortalama	SS	
<b>MGK PA (°)</b>	21.00	34.00	26.58	4.25	19.00	31.00	24.67	3.56	19.00	34.00	25.43	4.48	0.494 <sup>a</sup>
<b>LGK PA (°)</b>	14.00	25.00	19.58	3.85	12.00	30.10	20.01	4.19	12.00	31.40	19.46	4.28	0.823 <sup>b</sup>
<b>Soleus PA (°)</b>	16.00	32.00	24.33	4.56	15.00	32.00	26.31	5.40	13.00	35.30	25.20	5.10	0.6 <sup>a</sup>
<b>MGK sertliği (kPA)</b>	9.67	36.23	15.01	7.22	7.37	23.43	15.30	4.46	2.60	27.80	13.62	6.97	0.375 <sup>b</sup>
<b>LGK sertliği (kPA)</b>	4.53	22.67	12.54	5.18	5.70	16.33	10.64	2.78	3.17	22.00	10.85	4.90	0.485 <sup>a</sup>
<b>Soleus sertliği (kPA)</b>	6.33	26.67	12.71	6.70	4.00	22.00	10.04	4.62	2.17	29.00	10.27	7.86	0.371 <sup>b</sup>
<b>AT Uzunluğu (cm)</b>	4.80	8.10	6.88	1.00	5.20	14.80	7.55	2.45	5.40	13.20	8.61	2.03	0.018 <sup>*b,1</sup>
<b>AT Kalınlığı (mm)</b>	3.50	5.50	4.45	0.49	4.00	5.80	4.69	0.56	3.60	5.60	4.46	0.55	0.411 <sup>a</sup>
<b>AT Sertliği (kPA)</b>	16.83	162.17	88.77	41.47	22.57	177.33	77.26	46.57	20.77	199.67	93.50	52.97	0,481 <sup>a</sup>

SS: Standart sapma; MGK: Gastroknemiyus medyal; LGK: Gastroknemiyus lateral; AT: Aşil Tendonu; PA: Pennasyon açısı; kPA: kilopaskal.

\*p<0.05

<sup>a</sup> Tek yönlü ANOVA testi ile analiz edilmiştir.

<sup>b</sup> Kruskal Wallis testi ile analiz edilmiştir.

<sup>1</sup>Dunn testi; Kısa YKS ile Uzun YKS (p=0.039); Kısa YKS ile Orta YKS (p=1.00); Orta YKS ile Uzun YKS (p=0.070).

## 5. TARTIŞMA

GKD sınıflaması, hızlı ve yavaş GKD olarak, 30 yıldan fazla bir süre boyunca, 250 ms YKS eşik değeri baz alınarak değerlendirilmektedir (13, 14, 141, 19). Bu çalışmada, literatürden farklı olarak birden fazla eşik değerinin olduğu ve belirlenen eşik değerlerine göre GKD'nin üç grupta değerlendirilebileceği bulgusuna ulaşılmıştır. Buna göre; çalışmamızda YKS süresinin kısa ( $YKS \leq 188$  ms), orta ( $188 < YKS < 222$  ms) ve uzun ( $YKS \geq 222$  ms) şeklinde 3 gruptan oluştuğu gözlenmiştir. Bu çalışmada yukarıda belirtildiği gibi üç farklı YKS grubu olduğu bulunmuştur. Bu bulgu, Schmidtbleicher'in (19) 250 ms eşik değere göre hızlı ve yavaş GKD olarak ayırmış olduğu YKS'den farklı bir bakış açısını ortaya koymaktadır. Literatürde 250 ms eşik değerinin hangi parametrelere göre ifade edildiğini anlatan çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın ana probleminin ve hipotezinin ortaya çıkış nedeni olan bu durumun günümüze kadar literatürde de sorgulanmamış olması şaşırtıcı olmuştur. Nitekim güncel literatürde dahi 250 ms YKS eşik değerlerine atıf yapılmaktadır. Hatta bazı çalışmalarda hızlı GKD olarak 250 ms eşik değeri çalışmalara katılım kriteri olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte literatürde bireylerin sahip oldukları GKD hızına göre ayrılmasından çok uygulanan egzersizlerin 250 ms eşik değere göre ayrıldığı görülmüştür (13, 8, 19). Bu çalışmanın devamı olarak, egzersizlerin bu çalışmada ortaya konan eşik değerlere göre ayrılmasının yanı sıra bireylerin de ayrılabilmesi konusunda farklı çalışmaların yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Tartışma bölümünde bu çalışmada yer alan değişkenlerin YKS ile ilişki düzeyleri ve eşik değerlere göre oluşturulan YKS grupları arası farkları sistematik bir sıralama ile tartışılmıştır.

### 5.1. Derinlik sıçraması sırasında elde edilen değişkenlerin YKS ile ilişkisi ve YKS grupları ile karşılaştırması

#### 5.1.1. YKS değerlerinin literatür ile karşılaştırması

Bu çalışmada belirlenen eşik değerlerin dışında araştırma grubu bir bütün olarak düşünüldüğünde ortalama YKS değeri  $220.5 \pm 46$  ms bulunmuştur. Elde edilen bu ortalama değer literatürde DS için öngörülen YKS aralık değerleri içinde olduğu görülmektedir. (130-300 ms) (153, 128). Hatta, en küçük ve en büyük YKS değerleri

dikkate alındığında değerlerin literatüre uyumlu olduğu görülmektedir (160-363 ms). Çalışmalarda 250 ms ve altındaki YKS'lerin ancak 15 ve 30 cm düşüş yüksekliklerinde olabileceği belirtilmiştir (134). Ancak, bu çalışmada ODY'si 65 cm olduğu halde YKS değerlerinin 203 ve 226 ms olduğu katılımcı örnekleri bulunmaktadır. Katılımcıların tamamı dikkate alındığında  $40.1 \pm 9.6$  cm ODY ortalamasına karşılık gelen YKS ortalaması  $220.5 \pm 46$  ms olduğu görülmektedir.

YKS'nin olduğu çalışmalarda araştırma gruplarının yapısına bağlı olarak farklı YKS ortalamaları olduğu gözlenmektedir. Örneğin Walsh ve diğerlerinin (128) 15 dekatloncunun yer aldığı çalışmalarında 20, 40 ve 60 cm DS'lerde 136- 222 ms arasında YKS değerleri görülmüştür. Addie ve diğerlerinin (143) yaptıkları çalışmada ise yine farklı yüksekliklerden yapılan DS'lerde erkeklerde ortalama  $340 \pm 0.3$  ms, kadınlarda ise ortalama  $450 \pm 0.4$  ms YKS değerleri bulunmuştur. Yaş ortalaması  $22.80 \pm 2.69$  yıl olan bu çalışmada katılımcıların pliometrik antrenman geçmişi olması dahil etme kriteri olarak benimsenmiştir. Bir başka çalışmada ise Laurent ve diğerleri (154) farklı yükseklikten yapılan DS'lerde (20, 40, 60 cm) 199-223 ms arasında YKS değerleri elde etmişlerdir. Sözü edilen çalışmada 19-26 yaş arası kadın ve erkekler çalışmaya dahil edilirken katılımcıların düzenli antrenman yapmayan aktif bireyler olduğu belirtilmiştir.

Çalışmamızda antrenman etkisinin ortadan kalkması amacıyla haftada en çok 6 saat egzersiz ( $1.56 \pm 2.26$  saat/hafta en küçük 0 saat/hafta, en büyük 6 saat/hafta) yapan bireylerin dahil edilmesine azami dikkat edilmiştir. Buna rağmen katılımcıların büyük bölümünün (% 78.26) YKS değerlerinin 250 ms'nin altında çıktığı görülmüştür. Bu ve yukarıda sözü edilen bulgulardan bazıları bazı çalışmalarda yer alan ve ancak antrenmanlı bireylerin hızlı GKD uygulayabileceği düşüncesinden farklı olduğunu ortaya koymaktadır.

### **5.1.2. DS değişkenlerinin YKS ile ilişkisi ve YKS gruplarına göre karşılaştırması**

ODY, RKİ ve SY'nin YKS ile ilişkisi ve YKS gruplarına göre farklarının literatür ile tartışılması aynı başlık altında toplanmıştır.

Bu çalışmada DS ODY değeri ortalama  $40.1 \pm 9.6$  cm bulunmuştur. DS ODY'leri ile ilgili tarihsel süreci genel bilgiler başlığı altında (s.31) anlatılmıştı. Buna göre, başlangıçta uygun yükseklik 12 cm olarak değerlendirilirken daha sonra 20 ile 60 cm arasında yüksekliğin uygun olduğu belirtilmiştir. Daha sonra ise, 40 cm ODY'nin maksimum ortalama güç çıkışına ulaşmada uygun yükseklik olduğu ifade edilmiştir (133). Bu değerlendirmenin çoğunlukla düzenli antrenman yapan bireyler için yapıldığı literatürde gözlenmektedir. Örneğin, Flanagan ve Comnys (8) antrenmansız bireylerin ODY'lerinin daha düşük yüksekliklerde olacağını belirtmiştir. Çalışmamızda DS ODY en küçük ve en büyük değerleri dikkate alındığında bu değerlerin literatüre uygun olduğu gözlenmektedir (en küçük 20 cm; en büyük 65 cm).

Bu çalışmada, ODY ile YKS arasındaki negatif yönlü anlamlı bir ilişki düzeyi bulunmuştur ( $\rho=-0.437$ ;  $p<0.01$ ). Bu bulgu, literatürde yer alan ODY yükseldikçe YKS'de uzama olacağı bilgisi ile uyumaktadır (85). Buna göre; DS düşüş yüksekliği arttıkça YKS'de bir uzama olduğu yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (128). Farklı yüksekliklerden elde edilen RKİ ve RKİ'yi oluşturan SY ve YKS'nin incelendiği çalışmalarda benzer bulgulara rastlamak mümkündür. Örneğin; Peng ve diğerlerinin 2011'de yaptıkları çalışmada farklı yüksekliklerden gerçekleştirilen DS'lerde en uzun YKS'nin en yüksek 60 cm düşüş yüksekliğinde elde edildiğini belirtmiştir. Bu durumun nedeni olarak yüksek mesafelerden düşüşü takiben konuş sırasında meydana gelen yüksek etki büyüklüğünü hafifletmek amacıyla diz ekleminin daha fazla bükülmesi ve kuadriseps kaslarının bu etkiyi absorbe etmesi gösterilmektedir. Bu strateji nedeniyle YKS'de bir uzamanın meydana geldiği belirtilmektedir (155).

ODY'nin YKS grupları arasındaki karşılaştırmaya göre, Uzun YKS grubunun diğer iki gruptan anlamlı olarak farklı olduğu görülmektedir. Ortalamalar incelendiğinde Kısa YKS grubundan Orta YKS grubuna geçişte bir artışın olduğu gözlenmektedir. Ancak, Uzun YKS grubundaki ODY diğer iki gruptan anlamlı olarak daha azdır. ODY yukarıda da belirtildiği gibi RKİ değerinin zirve yaptığı düşüş yüksekliği olarak belirlenmiştir. Bir diğer ifade ile ODY RKİ'nin bir sonucudur. Her ne kadar RKİ için belirleyici değişkenin YKS olduğu belirtilse de (134) YKS dışında SY de önemli bir etkidir (14). Gruplar karşılaştırıldığında SY değerlerinin gruplar arasında istatistiksel benzerliğinin yanı sıra Kısa YKS grubundan Uzun YKS grubuna doğru bir artış olduğu gözlenmektedir. Bu gruplardan Kısa YKS grubunda SY diğer

gruplara göre klinik olarak belirgin şekilde daha azdır. Sonuç olarak; Kısa YKS grubu ile Orta YKS grubunun istatistiksel benzerliğinin SY'deki klinik farkın neden olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte ODY açısından Uzun YKS grubunun diğer gruplardan farklı olmasının nedeni benzer iki grubun YKS değerlerinin RKİ'ye olan etkisinin bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada RKİ ile YKS arasında da negatif yönlü anlamlı bir ilişki düzeyi belirlenmiştir ( $r=-0.682$ ;  $p<0.01$ ). RKİ; SY'ye göre YKS'ye daha bağımlı bir değişkendir (85). Yukarıda belirtildiği gibi ODY'deki yükselme aynı zamanda YKS'de uzamaya neden olmaktadır. Bu durum her ne kadar SY'de ODY'deki yükselişe paralel bir artış gözükse de YKS'deki uzama RKİ'nin düşük olmasına yol açmaktadır (8). Benzer bir bulgu Addie ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada da görülmektedir. Bu çalışmada, düşüş yüksekliği arttıkça SY'den bağımsız olarak YKS'de meydana gelen uzamaya bağlı RKİ'de bir azalmanın gerçekleştiği ifade edilmektedir (143). YKS'deki bu uzamanın nedeni yine yukarıda da belirtildiği gibi yüksek düşüşlerin konuş esnasındaki eksantrik yükün tolere edilmesi amacıyla eklemesel bir stratejinin izlenmesi olduğu düşünülmektedir.

Reaktif kuvvet düzeyinin göstergesi olan RKİ'nin bu çalışmadaki ortalaması  $1.4 \pm 0.4$  mm/ms bulunmuştur. Bu ortalama değer literatür ile karşılaştırıldığında, 1.5 mm/ms'den küçük değerlerin düşük reaktif kuvvet düzeyine sahip bireylere ait olduğu görülmektedir (13). Antrenmanlı bireylerin belirli yükseklikten yapılan DS sırasında absorbe ettiği yüksek eksantrik hız ve hemen arkasından yüksek gücün üretildiği konsantrik kasılma düzeyi antrenmansız bireylere göre daha etkindir (156). Bu nedenle antrenmansız bireylerin RKİ değerleri antrenmanlı bireylere göre daha düşük düzeylerde kalmaktadır. Bir başka örneğe göre aynı düşüş yüksekliği arttıkça maksimum SY'ye ulaşan iki kişiden birinin YKS değerinin diğer kişiye göre daha uzun olması yani yukarıda bahsedilen eksantrik fazdan konsantrik faza geçiş süresinin uzaması RKİ değerinin de diğer kişiye göre daha düşük kalmasına neden olacaktır (143). Bir başka ifade ile RKİ düzeyinin belirleyicisinin SY'den çok YKS olduğu belirtilmektedir (134). Benzer şekilde ODY'leri eşit yükseklikte olan ancak antrenman düzeyleri farklı iki kişinin RKİ değerleri de farklı düzeylerde olacaktır (8).

RKİ ortalamalarının gruplar arası karşılaştırmaları incelendiğinde en yüksek ortalamanın olduğu Kısa YKS grubundan en düşük ortalamanın görüldüğü Uzun YKS grubuna kadar anlamlı olarak azaldığı gözlenmektedir. RKİ'nin hesaplanmasında kritik bir rol oynayan YKS'nin bu duruma olan etkisi çok büyüktür. RKİ'ye göre gruplar arası anlamlı azalışın bir diğer önemli göstergesi yukarıda belirtildiği gibi literatürde DS'lerde RKİ'nin hesaplanmasında YKS'nin, SY'den daha önemli bir değişken olduğu bilgisinin çalışmamızda da ortaya çıkmış olmasıdır.

## **5.2. Derinlik sıçraması kuvvet, güç, zaman ve kuvvet-zaman etkileşimi değişkenlerinin literatür ile karşılaştırması**

### **5.2.1 Derinlik Sıçraması kuvvet ve güç değişkenlerinin YKS ile ilişkisi ve YKS gruplarına göre karşılaştırması**

GKD'yi etkilediği düşünülen faktörler arasında kuvvet değişkenleri önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmada YRK ile YKS arasında negatif orta düzey bir korelasyon bulunmuştur ( $r=-0.410$ ;  $p<0.01$ ). Bunun yanı sıra, relatif YRK değerinin YKS ile daha kuvvetli bir ilişki düzeyine sahip olduğu görülmektedir ( $\rho=-0.747$ ;  $p<0.01$ ). Literatürde, YRK'nın YKS ile ilişki düzeyinin yüksek olduğu belirtilmektedir. Buna göre; YRK yüksek olduğunda YKS kısa çıkmaktadır (134).

YRK'nın YKS grupları arasındaki karşılaştırmasına göre Kısa YKS grubu ile Uzun YKS grubu arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir. Hem mutlak YRK değeri hem de relatif YRK değerlerinin YKS grupları arasında bir azalma gözlenmektedir. Relatif YRK'da Kısa YKS grubu ile Uzun YKS grubu arasındaki anlamlı farkın yanı sıra Orta YKS grubu ile Uzun YKS grubu arasında da anlamlı fark görülmektedir. YRK ve relatif YRK değerlerinin YKS gruplarında azalması yukarıda sözü edilen korelasyon düzeylerini destekler niteliktedir. Walsh ve diğerlerinin (128) yaptıkları çalışmada YKS değerlerindeki azalışa bağlı olarak artan YRK değerlerinin Kısa YKS ile Uzun YKS grupları arasında anlamlı farklar oluşturduğu görülmektedir. Bu açıdan çalışmamızdaki bulgular Walsh ve diğerlerinin çalışmasındaki bulgulara benzer nitelikte çıkmıştır. Her ne kadar yöntem ve amaçlar arasında fark bulunsa da değişkenlerin genellenebilir uyumunun bu çalışma için önemli bir bulgu olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada, YRK değeri yalnızca tek bir değer olarak değil GKD'nin veya diğer ifade ile YKS'nin fazlarına göre değerlendirmeye alınmıştır. Temel iki faz olan eksantrik ve konsantrik fazlar sırasındaki relatif YRK değerlerinin de YKS ile negatif yönlü ancak kuvvetli ilişki düzeyine sahip oldukları görülmektedir (sırasıyla;  $\rho = -0.747$ ;  $p = 0.0001$ ;  $r = -0.810$ ;  $p = 0.0001$ ). Özellikle K-relatif YRK'nın YKS ile korelasyon düzeyi E-relatif YRK'ya göre daha yüksek bulunmuştur. Fazlara göre relatif YRK ortalamaları karşılaştırıldığında eksantrik fazın daha yüksek kuvvet değerine sahip olduğu görülmektedir. Merrigan ve diğerlerinin (157) yaptıkları çalışmada eksantrik faz YRK değerinin konsantrik faz YRK değerine göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Hatta düşüş yüksekliği arttıkça YRK değerlerinde artış olduğu izlenmektedir (157, 69). Çalışmada elde edilen bulgunun eksantrik kuvvetin diz açısı ile ilişkili olduğu da belirtilmiştir. Benzer bulgu, Harper ve diğerlerinin (158) 20 ve 40 cm düşüş yüksekliğinden yapılan DS'lerin karşılaştırıldığı çalışmalarında 20 cm'den farklı olarak 40 cm yükseklikte eksantrik relatif kuvvet değerinin konsantrik relatif kuvvet değerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. 20 cm yükseklikte ise kuvvet değerleri benzer bulunmuştur. Bu durum yukarıda da belirtilen düşüş yüksekliğindeki artış ile YRK'nın da arttığına ilişkin yorumu desteklemektedir. Aynı çalışmada dikkati çeken ise, düşüş yüksekliği arttığı halde konsantrik YRK'nın benzer düzeyde kalması ve buna karşın eksantrik YRK'nın önemli ölçüde artması olmuştur (20 cm: relatif eksantrik YRK:  $27.44 \pm 3.55$  n/kg, relatif konsantrik YRK  $26.33 \pm 2.65$  n/kg; 40 cm: relatif eksantrik YRK:  $32.69 \pm 3.74$  n/kg, relatif konsantrik YRK:  $27.06 \pm 3.27$  n/kg). Taube ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada farklı düşüş yüksekliğinden yapılan DS'lerde eksantrik kuvvet düzeyinin yükseklik artışına bağlı olarak arttığı ortaya konmuştur (159). Düşüş yüksekliğine bağlı olarak artan eksantrik kuvvet miktarına karşın kısalan YKS'nin çalışmamızda elde edilen korelasyon düzeylerini de açıkladığı düşünülmektedir.

E-relatif YRK ve K-relatif YRK değerlerinin YKS gruplarına göre karşılaştırılması sonucunda en yüksek değerlerin Kısa YKS grubunda olduğu görülmektedir (E-relatif YRK: Kısa YKS  $7.66 \pm 0.74$  N/NVA; Orta YKS  $6.62 \pm 0.90$  N/NVA; Uzun YKS  $5.36 \pm 1.67$  N/NVA; K-relatif YRK: Kısa YKS  $6.68 \pm 0.87$  N/NVA; Orta YKS  $5.62 \pm 0.51$  N/NVA; Uzun YKS  $4.30 \pm 0.71$  N/NVA). E-relatif YRK'nın Kısa YKS ve Orta YKS grubunda benzerlik olduğu görülmektedir ( $p > 0.05$ ).

Buna karşın, Uzun YKS grubunda E-relatif YRK değerinin diğer gruplara göre anlamlı olarak daha az olduğu görülmektedir ( $p=0.0001$ ). Bu bulguyu etkileyen faktörlerden birinin ODY'nin Uzun YKS grubunda diğer iki gruba göre anlamlı olarak daha düşük olduğu düşünülmektedir ( $p=0.012$ ). Bu bulgu yukarıda sözü edilen Taube ve diğerlerinin eksantrik YRK ile ilgili bulgularını destekler niteliktedir (159). E-relatif YRK'nın, Kısa YKS ve Orta YKS grubunda Uzun YKS grubuna göre anlamlı olarak daha yüksek çıkmasının bir diğer nedeni yüksek ODY'den yapılan düşüşün etkisinin de büyük olmasıdır. Bir başka ifade ile eksantrik faz sırasında GKD etkisinin ortaya konabilmesi için kas tendon ünitesindeki gerilmenin bir sonucu olarak hızlı gerilme ve kısa kuvvet aktarım fazına ihtiyaç duyulmaktadır (160). Eksantrik faz sırasında YRK değerinin yüksek olmasının nedeni olarak; yüksek düşüş yüksekliklerinden konuş sırasında yerçekimsel potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ve nöromüsküler adaptasyonun nedeni olduğu eksantrik eklem gücünün düşüş yükseklik artışına paralel olarak artması gösterilmektedir (126).

K-relatif YRK değerleri incelendiğinde YKS gruplarının tümünün birbirinden anlamlı olarak farklı olduğu görülmektedir ( $p=0.0001$ ). Bir başka deyişle, K-relatif YRK değeri Kısa YKS grubundan Uzun YKS grubuna kadar azalma göstermektedir. Bu bulgu konsantrik faz sırasında yere uygulanan kuvvetin YKS eşik değerlerinin ayrışmasında kritik öneme sahip değişkenlerden biri olduğunu düşündürmektedir. Bunun nedeni olarak eksantrik faz sırasında artan rezidüel kuvvet artışının Orta YKS ve Uzun YKS grubunda Kısa YKS grubuna göre konsantrik faza daha sınırlı düzeyde aktarılması düşünülmektedir. Seiberl ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada (34) kas-tendon uzamasının sonundaki izometrik fazın uzaması sonucunda kas-tendon kısalması öncesi (konsantrik faz) eksantrik faz ile artan kuvvet miktarının azalacağı belirtilmiştir. Bununla birlikte gerilme hızının yüksek olması çapraz köprülerdeki elastik enerji birikiminin etkisini de artırmaktadır. Bir başka ifade ile aktif bir gerilmenin GKD etkisinin artışı çapraz köprülerde artan elastik enerji ve rezidüel kuvvet artışına bağlıdır (31).

Bu çalışmada, relatif MG'nin eksantrik fazda konsantrik faza göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir (E-relatif MG  $176 \pm 39.9$  W/kg; K-relatif MG  $94.7 \pm 13.0$  W/kg;) (Tablo 4.1). İki fazda da relatif MG değerlerinin YKS ile anlamlı korelasyon düzeyine sahip oldukları görülmektedir (E-relatif MG:  $r= -0.368$ ;  $p=$



0.0001; K-relatif MG:  $\rho = -0.456$ ;  $p = 0.01$ ). Bununla birlikte E-relatif MG değerinin gruplar arası karşılaştırmaları sonucunda üç grupta azaldığı ve bu bulgunun istatistiksel olarak anlamlı olduğu gözlenmektedir ( $p = 0.0001$ ). K-relatif MG açısından diğer birçok değişkende olduğu gibi Uzun YKS grubunun diğer gruplara göre anlamlı olarak daha az MG değerine sahip olduğu görülmektedir. Matic ve diğerlerinin yaptıkları çalışma, düşüş yükseklikleri arttıkça E-relatif MG'nin de arttığını buna karşın K-relatif MG'de düşüş olduğunu göstermektedir. Eksantrik faz, daha kısa süren ve YRK değeri yüksek fazdır. Bu özelliklerin MG'ye yansımaları doğal bir sonuç olarak değerlendirilmektedir. Eksantrik fazdaki YKS'nin de konsantrik faza göre daha uzun olduğu belirtilmektedir (11). YKS grupları arasındaki karşılaştırmalara göre kısa YKS değerine sahip grupta yüksek E-relatif MG'nin olması da Matic ve diğerlerinin bulgularına destekleyici ancak farklı bir bakış açısı sunmaktadır. Sözü edilen çalışmada bu çalışmaya benzer olarak ODY üzerinden yorum yapılmıştır. Ancak bizim çalışmamızda ODY değil YKS üzerinden bir inceleme gerçekleştirilmiştir.

### **5.2.2. DS zaman değişkenlerinin YKS ile ilişkisi ve YKS gruplarına göre karşılaştırması**

DS sırasında GKD'yi etkileyen iki faz YKS'nin de kapsandığı eksantrik ve konsantrik fazlardır (134). Bu fazlar arasında üretilen kuvvet ve güç farkları yanı sıra süre farkının da olduğu görülmektedir (161). Bu çalışmada elde edilen bulgulara göre eksantrik faz zamanı konsantrik faz zamanına göre daha kısadır E-zaman:  $100.56 \pm 23.32$  ms; K-zaman:  $120.02 \pm 23.83$  ms). Elde edilen bulgular literatürdeki bulguları destekler niteliktedir. Örneğin, Coh ve Zvan'ın yaptıkları çalışmada (161) eksantrik faz zamanı konsantrik faz zamanına göre daha kısa çıkmıştır ( $73 \pm 2$ ;  $92 \pm 2$  ms). Eksantrik faz sırasındaki zamanın kısa oluşu aynı zamanda bu faz sırasında hareket hızının yüksek olduğunu göstermektedir. Eksantrik fazdaki dikey hızın ise DS düşüş yüksekliği arttıkça artış gösterdiği ifade edilmektedir (69). Eksantrik fazın konsantrik faza göre daha kısa sürede ve daha yüksek güç değerleri ile gerçekleşmesinde eksantrik faz öncesindeki ön aktivasyon ve bu sürece bağlı olarak meydana gelen rezidüel kuvvet artışı düşünülebilir (162). Bu çalışmada da literatür ile uyumlu bulgular elde edilmektedir. Yukarıda anlatıldığı gibi, eksantrik faz zamanı konsantrik faz zamanına göre daha kısadır. Ancak, her iki değişkenin YKS ile korelasyon düzeyleri oldukça

kuvvetli düzeydedir (E-zaman:  $\rho=0.975$ ;  $p<0.01$ ; K-zaman:  $r=0.979$ ;  $p<0.01$ ). Zira, eksantrik ve konsantrik zamanlar YKS'nin fazlara bölümüdür. Bir başka ifade ile toplamı YKS'yi oluşturan zaman dilimleridir.

E-zaman ve K-zamanın YKS grupları arasındaki karşılaştırmaları incelendiğinde zamanların gruplar arasında arttığı gözlenmektedir. Kısa YKS ile Orta YKS gruplarının her iki fazdaki süreleri benzer olsa da Uzun YKS grubunda anlamlı bir süre artışı olduğu görülmektedir. Bu bulgular, eksantrik ve konsantrik fazdaki kuvvet düzeyleri ile birlikte değerlendirildiğinde düşüş yüksekliklerine bağlı olarak artan eksantrik yükün çok hızlı bir şekilde Kısa YKS ile Orta YKS gruplarında absorbe edildiği ve kuvvetin konsantrik faza aktarılabildiği söylenebilir. Buna karşın Uzun YKS grubunda katılımcıların E-zaman ve K-zamanları diğer iki gruptan anlamlı olarak daha yüksektir. Bu durum Uzun YKS grubunda yer alan katılımcıların eksantrik-konsantrik faz geçişlerinin diğer iki gruptan daha uzun olduğunu göstermektedir. Bir başka ifade ile, yukarıda belirtilen düşüş yüksekliklerine bağlı artan eksantrik yük bir başka ifade ile yerçekimsel potansiyel kuvvet bu grupta yeterli düzeyde absorbe edilememektedir. Bir bakıma, Uzun YKS grubu diğer iki gruba göre yavaş kalmakta ve potansiyel kuvvet tam olarak kinetiğe dönüşmemektedir. Bu bulgular, Fortuna ve diğerlerinin (162, 163) yaptıkları çalışmalarda ifade ettikleri eksantrik faz sonunda artan rezidüel kuvvet artışının hızlı şekilde konsantrik faza aktarımının GKD performansına olumlu etkisine bir örnek göstermektedir. MK-YK anı arasındaki zamanın yine bu grupta diğer gruplara göre anlamlı olarak daha uzun olması da bu durumu açıklar nitelikte olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada değerlendirmeye alınan bir diğer zaman değişkeni ulaşılan maksimum YRK değeri ile yerden kopuş anına (MK-YK anı arasındaki zaman) kadar geçen süreyi ifade edilen zaman dilimidir. Sözü edilen zaman diliminin de YKS ile kuvvetli bir korelasyon içinde olduğu görülmektedir ( $r= 0.855$ ;  $p<0.01$ ). Bu değişkenin diğer zaman dilimleri olan E-zaman ve K-zaman değişkenleri ile de yüksek korelasyon içerisinde olduğu bilinmektedir. Maksimum YRK değerine eksantrik faz sırasında ulaşılmaktadır (134). Ulaşılan maksimum YRK anı ile yerden kopma anına kadar geçen süre aslında daha çok konsantrik faz içerisinde yer almaktadır. Bu nedenle MK-YK anı arasındaki zaman K-zaman ile yüksek korelasyon düzeyine sahip olması beklenmektedir. Bu özelliği ile MK-YK anı arasındaki zamanı YKS'yi etkileyen

değişkenlerden biri olarak değerlendirmek mümkündür. Buna karşın diğer benzer bir değişken olan MK'ya ulaşma zamanının YKS ile anlamlı bir korelasyon içinde olmadığı görülmektedir ( $p>0.05$ ).

### **5.2.3. DS kuvvet-zaman etkileşimi değişkenlerinin YKS ile ilişkisi ve YKS gruplarına göre karşılaştırması**

Çalışmamızda, YKS'nin hızı olarak ifade edilen maksimum hız değeri YKS ile belirlenen anlamlı korelasyonuna ( $r=-0.368$ ,  $p=0.012$ ) karşın üç grupta da benzer değerlere sahip olduğu bulunmuştur ( $p>0.05$ ). Klinik olarak değerlendirildiğinde Uzun YKS grubunun diğer iki gruptan daha yavaş olduğu söylenebilir. Bu durumun da yukarıda yapılan yorumları desteklediği düşünülmektedir. Korelasyon ile grup ortalamaları birlikte değerlendirildiğinde, her ne kadar istatistiksel olarak grupların benzer olduğu bulunsu da maksimum hız değerinin en düşük Uzun YKS grubunda olması bu bulgunun Schmidtbleicher'in YKS'yi değerlendirirken 250 ms eşik noktasına göre hızlı ve yavaş olarak ayırmasını desteklediği söylenebilmektedir (13, 8, 19). Ancak, bu çalışmada gruplar arası anlamlı bir farkın ortaya konmamış olması bu çalışma kapsamında elde edilen YKS eşik değerlerinin hız ile ifade edilmelerinin mümkün olmayacağı düşünülmektedir. Bu konunun incelenmesi için farklı çalışmaların yapılması gereklidir.

Bu çalışmada KÜH (impulse) değişkenleri açısından hem korelasyon düzeyleri hem de gruplar arası karşılaştırmalar istatistiksel olarak anlamlı bir bulguyu ortaya koymamıştır. Literatürde E-KÜH ve K-KÜH değişkenlerinin düşüş yüksekliği arttıkça anlamlı olarak arttıkları görülmektedir (164, 165). Ancak, çalışmamızda olduğu gibi YKS grupları açısından bu değişkenlerin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır.

### **5.3. Kas-tendon mekanik özelliklerine ilişkin verilerin literatür ile karşılaştırması**

#### **5.3.1. AT uzunluğunun YKS ile ilişkisi ve YKS gruplarına göre karşılaştırması**

Bu çalışmada elastografi yöntemi ile elde edilen kas-tendon mekanik özelliklerine ilişkin değişkenlerden yalnızca AT uzunluğunun YKS ile anlamlı

korelasyon düzeyine sahip olduğu görülmektedir ( $\rho= 0.411$ ;  $p<0.01$ ). AT uzunluğu dışındaki diğer değişkenlerin YKS ile anlamlı bir ilişki düzeyi bulunmamıştır.

AT, yürüme, sıçrama gibi GKD içeren dinamik hareketlerde elastik enerjinin depolanması ve salınımı için önemli rol oynamaktadır. AT, dinamik hareketlerde kuvvet üretimi ve kassal davranışı düzenleme özelliğine sahiptir (166). Yapılan çalışmalar hareket sırasında AT uzunluğunun değiştiğini ortaya koymuştur (167). Bu duruma tendon uzaması adı da verilmektedir (63). Yapılan çalışmalar yürüme sırasında tendonun uzayıp kısılması ile birlikte elastik enerjinin ve kas kısılma hızının optimize edildiği belirtilmiştir. Aynı zamanda kas-tendon etkileşimi ile gerçekleşen bu uzunluk değişimi GKD içeren hareketlerde kuvvet üretme kabiliyetini artırmaktadır (168). Bu çalışmada AT uzunluğu ile YKS arasında bulunan anlamlı ilişki düzeyi kısa AT uzunluğuna sahip katılımcıların kısa YKS gerçekleştirdikleri bulunmuştur. Eşik değerlere göre gruplar arası farkın incelendiği Tablo 4.12 ve Şekil 4.9'a bakıldığında en uzun AT uzunluğuna sahip grubun Uzun YKS olduğu görülmektedir. Bu bulgu yürüme, koşma ve sıçrama gibi dinamik hareketlerde tendonun uzamasına bağlı olarak depolanan ve salınan elastik enerjinin dinlenik durumdaki tendon uzunluğu ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir (169, 170). İzometrik istemli maksimum kasılmalarda tendon uzunluğunun %90'ı kadar tendon uzamasının olduğu belirtilmiştir (171). Uzun AT'lerin kısa AT'lere göre daha fazla elastik enerji depolama kabiliyeti olduğu bilinmektedir (113). Ancak, yapılan çalışmalar dinamik hareketlerde tendon uzamasının tendon uzunluğunun % 4-10'u kadar olduğunu göstermektedir (172, 173).

Bu çalışmada Uzun YKS grubunun E-relatif YRK, E-relatif MG, K-relatif YRK ve E-zaman ile K-zaman değerlerinin diğer gruplarla olan anlamlı farkları dikkate alındığında, AT uzunluğunun eksantrik faz sırasında gerilmenin sonunda artan rezidüel kuvvetin hızla konsantrik faza aktarımını sağlamada olumsuz etkisi olabileceği düşünülmektedir. Buna karşın diğer iki grupta (Kısa YKS ile Orta YKS grupları) kuvvet aktarımının hızla gerçekleşmesi durumunun AT'nin daha kısa olması ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Bu konuda bu düşüncüyü destekleyecek bir çalışmaya rastlanmamıştır. YKS özelinde bu konuda daha çok çalışma yapılmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

### **5.3.2. Kas-tendon sertliği değişkenlerinin YKS ile ilişkisi ve YKS gruplarına göre karşılaştırması**

Literatürde kas ve tendon sertlik düzeylerinin özellikle sprint performansının önemli bir göstergesi olduğundan söz edilmektedir. Sprint performansının da göstergelerinden biri ise DS olduğu belirtilmektedir (85). Buna karşın; kas-tendon sertlik düzeyini sıçrama performansı ile ilişkilendiren çalışma sayısı az olduğu anlaşılmaktadır. Abdelsattar ve diğerlerinin yaptıkları çalışmada tendon sertliğinin DS YKS ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada sertlik düzeyi yüksek olan bireylerde YKS'nin de kısa olacağı anlatılmıştır (27). Ando ve diğerleri (23) yaptıkları çalışmada DS YKS'nin MGK sertlik düzeyi ile anlamlı korelasyona sahip olmadığını belirtmiştir ( $p>0.05$ ). Aynı alışmada MGK sertliğinin DS'nin diğer performans değişkenleri olan SY ve RKİ ile anlamlı ilişki düzeyi olduğu ve MGK sertliğinin DS performansını etkileyen faktörlerden biri olabileceği vurgulanmıştır. Soleus kas sertlik düzeyinin ise DS değişkenleri ile anlamlı bir korelasyon içinde olmadığı belirtilmiştir. YKS açısından değerlendirildiğinde çalışmamızda elde edilen bulgulara benzer bulguların mevcut olduğu gözlenmektedir. Bir başka çalışmada, Konrad ve Paternoster (174), AT ve MGK ve LGK sertlik düzeylerinin DS YKS ile anlamlı korelasyon içinde olmadıklarını belirtmişlerdir. YKS ile AT, MGK ve LGK arasındaki anlamlı olmayan korelasyon düzeylerinin nedeninin ölçümün dinlenik durumda gerçekleştirilmiş olması söylenebilir. Zira, pasif veya dinlenik sertlik düzeylerini etkileyen kas fibril tipi kompozisyonu, kas uzunluğu ve kollajen doku içeriğinin miktarı gibi faktörler yer alırken aktif halde ölçülen kas ve tendon sertliğinin faktörleri çok farklı değişkenleri içerebilmektedir (23).

### **5.3.3. Pennasyon açılarının YKS ile ilişkisi ve YKS gruplarına göre karşılaştırması**

Bu çalışmada pennasyon açılarının da YKS ile anlamlı bir ilişki düzeyi içinde olmadıkları grlmştir ( $p>0.05$ ). Yapılan alışmalar, geniş pennasyon açılarının daha çok sıçrama, dar pennasyon açılarının ise daha çok sprint hareketlerinde görüldüğünü belirtmektedirler (175). Literatürde yer aldığı şekli ile pennasyon açısı kuvvet-hız ilişkisi ve maksimum güç açısından önemli bir fizyolojik faktör olarak ifade edilmektedir. Sıçrama ve pennasyon açısı ile ilgili çalışmalar çoğunlukla SY

değişkeni üzerine yoğunlaşmakta oldukları görülmektedir. Earp ve diğerlerinin yaptıkları (176) çalışmada vastus lateralis ve gastrocnemius kası pennasyon açısının büyüklüğünün DS konuş fazı sırasındaki YRK'yı etkileyen bir faktör olduğu belirtilmiştir. Ancak yapılan çalışmada katılımcıların düzenli antrenman yapan bireylerden meydana gelmesi bu çalışmadaki bulgular ile karşılaştırıldığında önemli bir etken olabileceği düşünülmektedir. antrenmanlı bireylerin pennasyon açılarının antrenmansız bireylere göre daha geniş olduğu bilgisi ve bu açı genişliğinin kuvvet içerikli GKD hareketlerinde etkin faktör olduğu bilinmektedir (93). Earp ve diğerlerinin bir başka çalışmasında pennasyon açısı geniş olan kasların DS sıçrama yüksekliğini olumlu etkilediği belirtilmiştir (177). Anlatılan çalışmanın yine antrenmanlı bireylerin katılımıyla gerçekleştiği görülmektedir (düzenli antrenman yapan erkek; yaş:  $23.3 \pm 3.2$  yıl). Katılımcı grubun yaş ortalamaları benzer olsa da araştırma grubunun düzenli antrenman yapan bireylerden oluşması bu çalışma ile anlatılan çalışma arasındaki bulgu farkının önemli bir açıklayıcısı olduğu düşünülmektedir. Araştırma gruplarının yapısal farklarının dışında pennasyon açısı çalışmalarının sprint performansı yanı sıra sıçrama performansına odaklanmış olması çalışmamızın temel değişkeni olan YKS ile ilgili literatüre dayalı bir yorum yapılmasını zorlaştırmaktadır.

Bu çalışmada gerilme refleksi ve DS sırasında kalça, diz ve ayak bileği eklemlerindeki açısal değişimlerin incelenmemesi çalışmanın sınırlılıkları içinde yer almaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda gerilme refleksi ve DS sırasında eklemlerdeki açısal değişimler incelenebilir. Çalışmanın sınırlılıklarından biri çalışmada yalnızca AT ve ilgili kasların incelenmiş olmasıdır. İleri zamanlarda yapılacak çalışmalarda GKD ile ilişkili olduğu belirlenen diğer kas ve tendonlar çalışmaya dahil edilebilir. Çalışmada düzenli antrenman yapmayan bireyler gönüllü olarak katılmışlardır. Gelecekteki çalışmalarda düzenli antrenman yapan bireylerin de olduğu benzer çalışmalar planlanabilir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, 250 ms YKS eşik değerinden iki sınıflamaya ayrılan GKD'nin yerine üç sınıflamanın yapılabileceği görülmüştür. Bu çalışmada belirlenen YKS eşik değerlerinin  $YKS \leq 188$  ms,  $188 < YKS < 222$  ms ve  $YKS \geq 222$  ms YKS örnekleme özel olduğu düşünülmektedir. Bu çalışma kapsamında DS sırasında elde edilen kuvvet, zaman, güç değişkenleri ile AT uzunluğunun GKD'yi etkileyen değişkenler olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada  $40.1 \pm 9.6$  cm ODY elde edilmiştir. Antrenmansız bireylerde elde edilen bu yükseklik, literatürde de yer alan ve DS sırasında maksimum güç çıktısı için uygun olduğu belirtilen yükseklik ile uyumlu bulunmuştur.

SY'de gözlenen gruplar arası benzerlik ve SY'nin diğer değişkenlerden farklı olarak YKS ile ilişki düzeyinin anlamlı bulunmaması DS sırasında YKS'nin önemini göstermiştir.

DS sırasında elde edilen YRK, relatif YRK, E-relatif YRK ve K-relatif YRK değişkenlerin YKS ile korelasyonu olduğu gözlenmiştir. DS sırasında elde edilen YRK, relatif YRK, E-relatif YRK ve K-relatif YRK değişkenlerinin ortalamaları Kısa YKS grubundan Uzun YKS grubuna kadar bir azalış göstermektedir. Elde edilen bulgulara göre, kuvvet değişkenleri açısından Uzun YKS grubunun diğer gruplardan farklı bir yapıya sahip olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, Orta YKS grubunda bir geçişkenlikten söz etmek mümkün olabilir.

DS fazları sırasındaki kuvvet değerleri incelendiğinde eksantrik faz kuvvetinin konsantrik faz kuvvetine göre yüksek olduğu görülmüştür. YKS ve RKİ değerini etkileyen değişkenlerden birinin E-relatif YRK'nın büyüklüğü olduğu düşünülmektedir. E-relatif YRK'nın büyüklüğü, GKD sırasında fazlar arası geçiş zamanı düşünüldüğünde eksantrik faz kuvvetinin konsantrik faza aktarım miktarını etkilediği söylenebilir. Kuvvetin eksantrik fazdan konsantrik faza aktarımı sırasında E-zamanın kısa oluşu bu fazın hızının da bir göstergesi olduğu ve eksantrik fazın hızına bağlı olarak potansiyel enerjinin kinetiğe dönüşerek reaktif kuvvetin düzeyini etkilediği söylenebilir.

DS sırasında YKS'yi etkileyen kuvvet değişkenlerinden ziyade zaman değişkenleri olduğu ve AT uzunluğunun faz geçişleri arasındaki zamanı etkileyerek YKS'yi etkilediği düşünömektedir. AT uzunluğunun kısa olmasının DS sırasında potansiyel enerjinin kinetik enerjiye aktarım süresini kısalttığı düşünölmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde AT uzunluğunun YKS'yi etkileyen değişkenlerden biri olduğu ve kuvvet, zaman ve güç değişkenlerinin gruplar arasındaki değişimi bulgularını destekleyici olduğu söylenebilir.

## 6.2. Öneriler

1. Elde edilen YKS eşik değerleri ve YKS grupları arasındaki farklar farklı popöasyonlarda (kadınlar, yetişkinler, yaşlılar, zirve boy uzaman hızına göre çocuklar) uygulanarak incelenebilir.
2. YKS gruplarında özellikle pliometrik içerikli antrenman programı etkisi incelenebilir.
3. AT uzunluğunun plantar fleksiyon ve dorsifleksiyon içeren dinamik bir hareket sırasında ölçölmesi ve tendon uzamasının YKS gruplarına göre DS sırasındaki değişkenleri nasıl etkilediği araştırılabilir.
4. Kas-tendon mekanik özellikleri kapsamında farklı değişkenler ile çalışma tekrar edilebilir.
5. Farklı kasların pennasyon açıları ve sertlik düzeylerinin YKS gruplarına göre farkları ve ilişki düzeyleri incelenebilir.
6. Elde edilen YKS eşik değerleri ve YKS grupları arasındaki farklar farklı atletik popöasyonlara (sprinterler, dayanıklılık sporcuları) uygulanarak incelenebilir.



## 7. KAYNAKLAR

1. Fukutani A, Herzog W. The stretch-shortening cycle effect is prominent in the inhibited force state. *J Biomech.* 2021;115:110136.
2. Sahrom SB, Cronin JB, Harris NK. Understanding Stretch Shortening Cycle Ability in Youth. *Strength and Conditioning Journal.* 2013;35(3):77-88.
3. Suchomel TJ, Sole CJ, Stone MH. Comparison of Methods That Assess Lower-body Stretch-Shortening Cycle Utilization. *J Strength Cond Res.* 2016;30(2):547-54.
4. Earp J. The influence of external loading and speed of movement on muscle-tendon unit behaviour and its implications for training. 2013.
5. Rice PE, Goodman CL, Capps CR, Triplett NT, Erickson TM, McBride JM. Force-and power-time curve comparison during jumping between strength-matched male and female basketball players. *Eur J Sport Sci.* 2017;17(3):286-93.
6. Wang YC, Zhang N. Effects of plyometric training on soccer players. *Exp Ther Med.* 2016;12(2):550-4.
7. Haff GG, Triplett NT. *Essentials of strength training and conditioning 4th edition: Human kinetics;* 2015.
8. Flanagan EP, Comyns TM. The use of contact time and the reactive strength index to optimize fast stretch-shortening cycle training. *Strength & Conditioning Journal.* 2008;30(5):32-8.
9. Kummel J, Bergmann J, Prieske O, Kramer A, Granacher U, Gruber M. Effects of conditioning hops on drop jump and sprint performance: a randomized crossover pilot study in elite athletes. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2016;8:1.
10. Lazaridis S, Bassa E, Patikas D, Giakas G, Gollhofer A, Kotzamanidis C. Neuromuscular differences between prepubescents boys and adult men during drop jump. *Eur J Appl Physiol.* 2010;110(1):67-74.
11. Matic MS, Pazin NR, Mrdakovic VD, Jankovic NN, Ilic DB, Stefanovic DL. Optimum Drop Height for Maximizing Power Output in Drop Jump: The Effect of Maximal Muscle Strength. *J Strength Cond Res.* 2015;29(12):3300-10.
12. Komi PV. Stretch-shortening cycle. *Strength and power in sport.* 2003;3:184-202.
13. Bremec D. Practical applications of an optimized plyometric training—an overview. 2017.
14. Flanagan EP, Ebben WP, Jensen RL. Reliability of the reactive strength index and time to stabilization during depth jumps. *J Strength Cond Res.* 2008;22(5):1677-82.
15. Phillips JH, Flanagan SP. Effect of ankle joint contact angle and ground contact time on depth jump performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 2015;29(11):3143-8.
16. Schuster D, Jones PA. Relationships between unilateral horizontal and vertical drop jumps and 20 m sprint performance. *Phys Ther Sport.* 2016;21:20-5.

17. Walker J. Reactive strength index-modified in different plyometric tasks. 2016.
18. Pedley JS, Lloyd RS, Read P, Moore IS, Oliver JL. Drop jump: a technical model for scientific application. *Strength & Conditioning Journal*. 2017;39(5):36-44.
19. Schmidbleicher D. Training for power events.[in:] *Strength and Power in Sport*. PV Komi. Blackwell Scientific Publications: Oxford; 1992.
20. Merrigan JJ, Stone JD, Martin JR, Hornsby WG, Galster SM, Hagen JA. Applying force plate technology to inform human performance programming in tactical populations. *Applied Sciences*. 2021;11(14):6538.
21. Rogan S, Radlinger L, Imhasly C, Kneubuehler A, Hilfiker R. Validity Study of a Jump Mat Compared to the Reference Standard Force Plate. *Asian J Sports Med*. 2015;6(4):e25561.
22. Paluch Ł, Nawrocka-Laskus E, Wieczorek J, Mruk B, Frel M, Walecki J. Use of ultrasound elastography in the assessment of the musculoskeletal system. *Polish journal of radiology*. 2016;81:240.
23. Ando R, Sato S, Hirata N, Tanimoto H, Imaizumi N, Suzuki Y, ve ark. Relationship between resting medial gastrocnemius stiffness and drop jump performance. *J Electromyogr Kines*. 2021;58:102549.
24. Ando R, Sato S, Hirata N, Tanimoto H, Imaizumi N, Suzuki Y, ve ark. Relationship Between Drop Jump Training–Induced Changes in Passive Plantar Flexor Stiffness and Explosive Performance. *Front Physiol*. 2021;12.
25. Payne C, Watt P, Cercignani M, Webborn N. Reproducibility of shear wave elastography measures of the Achilles tendon. *Skeletal radiology*. 2018;47(6):779-84.
26. Wakker J, Kratzer W, Graeter T, Schmidberger J. Elasticity standard values of the Achilles tendon assessed with acoustic radiation force impulse elastography on healthy volunteers: a cross section study. *Bmc Musculoskel Dis*. 2018;19(1):1-7.
27. Abdelsattar M, Konrad A, Tilp M. Relationship between Achilles Tendon Stiffness and Ground Contact Time during Drop Jumps. *J Sports Sci Med*. 2018;17(2):223-8.
28. Fukutani A, Misaki J, Isaka T. Both the elongation of attached crossbridges and residual force enhancement contribute to joint torque enhancement by the stretch-shortening cycle. *R Soc Open Sci*. 2017;4(2):161036.
29. Komi PV. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *J Biomech*. 2000;33(10):1197-206.
30. Pierrynowski M. The Stretch-Shortening Cycle: A Model to Study Naturally Occurring Neuromuscular Fatigue Nicol C, Avela J, Komi PV (Univ of the Mediterranean, Marseilles, France; Univ of Jyväskylä, Finland) *Sports Med*36: 977–999, 2006. *Year Book of Sports Medicine*. 2007;2007:75-6.
31. Fukutani A, Joumaa V, Herzog W. Influence of residual force enhancement and elongation of attached cross-bridges on stretch-shortening cycle in skinned muscle fibers. *Physiol Rep*. 2017;5(22).

32. Fukutani A, Kurihara T, Isaka T. Factors of Force Potentiation Induced by Stretch-Shortening Cycle in Plantarflexors. *Plos One*. 2015;10(6).
33. Dantas M, Queiros VSd, Fonseca FdS, Almeida-Neto PFd, Teixeira RV, Silva LMd, ve ark. The stretch-shortening cycle efficiency is dependent on the maturational stage. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*. 2020;22.
34. Seiberl W, Power GA, Herzog W, Hahn D. The stretch-shortening cycle (SSC) revisited: residual force enhancement contributes to increased performance during fast SSCs of human m. adductor pollicis. *Physiol Rep*. 2015;3(5).
35. Turner AN, Jeffreys I. The stretch-shortening cycle: Proposed mechanisms and methods for enhancement. *Strength & Conditioning Journal*. 2010;32(4):87-99.
36. Van Hooren B, Zolotarjova J. The difference between countermovement and squat jump performances: a review of underlying mechanisms with practical applications. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2017;31(7):2011-20.
37. Ramos JLA, Meggiolaro MA, editors. Use of surface electromyography for human amplification using an exoskeleton driven by artificial pneumatic muscles. 5th IEEE RAS/EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics; 2014: IEEE.
38. Serbest K, ELDOĞAN O. İskelet kaslarının yapısı ve biyomekaniği. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*. 2014;2(3):41-51.
39. Biewener AA, Wakeling JM, Lee SS, Arnold AS. Validation of hill-type muscle models in relation to neuromuscular recruitment and force-velocity properties: Predicting patterns of in vivo muscle force. *Integr Comp Biol*. 2014;54(6):1072-83.
40. Jovanović K, Vranić J, Miljković N. Hill's and Huxley's muscle models: Tools for simulations in biomechanics. *Serbian journal of electrical engineering*. 2015;12(1):53-67.
41. Dick TJ, Biewener AA, Wakeling JM. Comparison of human gastrocnemius forces predicted by Hill-type muscle models and estimated from ultrasound images. *J Exp Biol*. 2017;220(9):1643-53.
42. Lee SS, Arnold AS, de Boef Miara M, Biewener AA, Wakeling JM. Accuracy of gastrocnemius muscles forces in walking and running goats predicted by one-element and two-element Hill-type models. *J Biomech*. 2013;46(13):2288-95.
43. Lemaire KK, Baan GC, Jaspers RT. Comparison of the validity of Hill and Huxley muscle-tendon complex models using experimental data obtained from rat m. soleus in situ. *J Exp Biol*. 2016;219(7):977-87.
44. Herzog W. Mechanisms of enhanced force production in lengthening (eccentric) muscle contractions. *J Appl Physiol (1985)*. 2014;116(11):1407-17.
45. Fukutani A, Isaka T, Herzog W. Evidence for muscle cell-based mechanisms of enhanced performance in stretch-shortening cycle in skeletal muscle. *Front Physiol*. 2021;11:1684.

46. Sweeney HL, Hammers DW. Muscle contraction. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. 2018;10(2):a023200.
47. Squire J. The actin-myosin interaction in muscle: Background and overview. *Int J Mol Sci*. 2019;20(22):5715.
48. MacDougall D, MacDougall JD, Sale D. *The physiology of training for high performance*: Oxford University Press; 2014.
49. Gehlert S, Bloch W, Suhr F. Ca<sup>2+</sup>-dependent regulations and signaling in skeletal muscle: from electro-mechanical coupling to adaptation. *Int J Mol Sci*. 2015;16(1):1066-95.
50. Irving M. Regulation of contraction by the thick filaments in skeletal muscle. *Biophys J*. 2017;113(12):2579-94.
51. Frontera WR, Ochala J. Skeletal muscle: a brief review of structure and function. *Calcified Tissue Int*. 2015;96(3):183-95.
52. Rossi AE, Dirksen RT. Sarcoplasmic reticulum: the dynamic calcium governor of muscle. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*. 2006;33(6):715-31.
53. Seiberl W, Hahn D, Power GA, Fletcher JR, Siebert T. The Stretch-Shortening Cycle of Active Muscle and Muscle-Tendon Complex: What, Why and How It Increases Muscle Performance? *Front Physiol*. 2021;12.
54. Tomalka A, Weidner S, Hahn D, Seiberl W, Siebert T. Power amplification increases with contraction velocity during stretch-shortening cycles of skinned muscle fibers. *Front Physiol*. 2021;12:391.
55. Freundt JK, Linke WA. Titin as a force-generating muscle protein under regulatory control. *J Appl Physiol*. 2019;126(5):1474-82.
56. Herzog W. The role of titin in eccentric muscle contraction. *J Exp Biol*. 2014;217(Pt 16):2825-33.
57. Nishikawa KC, Monroy JA, Uyeno TE, Yeo SH, Pai DK, Lindstedt SL. Is titin a 'winding filament'? A new twist on muscle contraction. *Proceedings of the royal society B: Biological sciences*. 2011;279(1730):981-90.
58. Brunello E, Fusi L. A new spring for titin. *The Journal of physiology*. 2020;598(2):213.
59. Nishikawa K. Titin: a tunable spring in active muscle. *Physiology*. 2020;35(3):209-17.
60. Fukutani A, Sawatsky A, Leonard T, Herzog W. Contribution of the Achilles tendon to force potentiation in a stretch-shortening cycle. *J Exp Biol*. 2019;222(14):jeb204032.
61. Hessel AL, Lindstedt SL, Nishikawa KC. Physiological Mechanisms of Eccentric Contraction and Its Applications: A Role for the Giant Titin Protein. *Front Physiol*. 2017;8:70.
62. Fukutani A, Leonard T, Herzog W. Does stretching velocity affect residual force enhancement? *J Biomech*. 2019;89:143-7.

63. Fukutani A, Sawatsky A, Leonard T, Herzog W. Contribution of the Achilles tendon to force potentiation in a stretch-shortening cycle. *J Exp Biol.* 2019;222(Pt 14).
64. Kato E, Kanehisa H, Fukunaga T, Kawakami Y. Changes in ankle joint stiffness due to stretching: The role of tendon elongation of the gastrocnemius muscle. *Eur J Sport Sci.* 2010;10(2):111-9.
65. Alcazar J, Csapo R, Ara I, Alegre LM. On the shape of the force-velocity relationship in skeletal muscles: The linear, the hyperbolic, and the double-hyperbolic. *Front Physiol.* 2019;769.
66. Pérez-Castilla A, Samozino P, Jukic I, Iglesias-Soler E, García-Ramos A. The linear regression model provides the force-velocity relationship parameters with the highest reliability. *Sport Biomech.* 2022:1-20.
67. Taber C, Bellon C, Abbott H, Bingham GE. Roles of maximal strength and rate of force development in maximizing muscular power. *Strength & Conditioning Journal.* 2016;38(1):71-8.
68. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power. *Sports Med.* 2011;41(1):17-38.
69. Moir GL, Snyder BW, Connaboy C, Lamont HS, Davis SE. Using Drop Jumps and Jump Squats to Assess Eccentric and Concentric Force-Velocity Characteristics. *Sports (Basel).* 2018;6(4).
70. Haeufle D, Günther M, Bayer A, Schmitt S. Hill-type muscle model with serial damping and eccentric force–velocity relation. *J Biomech.* 2014;47(6):1531-6.
71. Haff GG, Nimphius S. Training principles for power. *Strength & Conditioning Journal.* 2012;34(6):2-12.
72. García-Ramos A, Feriche B, Pérez-Castilla A, Padial P, Jaric S. Assessment of leg muscles mechanical capacities: Which jump, loading, and variable type provide the most reliable outcomes? *Eur J Sport Sci.* 2017;17(6):690-8.
73. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Pareja-Blanco F, Conceição F, Cuadrado-Peñafiel V, González-Badillo JJ, et al. Validity of a simple method for measuring force-velocity-power profile in countermovement jump. *Int J Sport Physiol.* 2017;12(1):36-43.
74. Makaruk H, Sacewicz T. THE EFFECT OF DROP HEIGHT AND BODY MASS ON DROP JUMP INTENSITY. *Biol Sport.* 2011;28(1).
75. Herzog W, Joumaa V, Leonard T. The force–length relationship of mechanically isolated sarcomeres. *Muscle biophysics: Springer;* 2010. p. 141-61.
76. Moo EK, Leonard TR, Herzog W. The sarcomere force–length relationship in an intact muscle–tendon unit. *J Exp Biol.* 2020;223(6):jeb215020.
77. Radnor JM, Oliver JL, Waugh CM, Myer GD, Lloyd RS. The Influence of Maturity Status on Muscle Architecture in School-Aged Boys. *Pediatr Exerc Sci.* 2020:1-8.
78. Folland JP, Williams AG. Morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med.* 2007;37(2):145-68.

79. Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Med.* 2016;46(10):1419-49.
80. Tillin NA, Pain MTG, Folland J. Explosive force production during isometric squats correlates with athletic performance in rugby union players. *J Sport Sci.* 2013;31(1):66-76.
81. Fukutani A, Isaka T. Influence of muscle length on the stretch-shortening cycle in skinned rabbit soleus. *Sci Rep.* 2019;9(1):18350.
82. Groeber M, Stafilidis S, Baca A. The effect of stretch–shortening magnitude and muscle–tendon unit length on performance enhancement in a stretch–shortening cycle. *Sci Rep-Uk.* 2021;11(1):1-14.
83. Muraoka T, Muramatsu T, Fukunaga T, Kanehisa H. Elastic properties of human Achilles tendon are correlated to muscle strength. *J Appl Physiol.* 2005;99(2):665-9.
84. Kalkhoven JT, Watsford ML. The relationship between mechanical stiffness and athletic performance markers in sub-elite footballers. *J Sport Sci.* 2018;36(9):1022-9.
85. Barr MJ, Nolte VW. Which measure of drop jump performance best predicts sprinting speed? *J Strength Cond Res.* 2011;25(7):1976-82.
86. Coratella G, Longo S, Rampichini S, Limonta E, Shokohyar S, Bisconti AV, ve ark. Quadriceps and gastrocnemii anatomical cross-sectional area and vastus lateralis fascicle length predict peak-power and time-to-peak-power. *Res Q Exercise Sport.* 2020;91(1):158-65.
87. Ema R, Akagi R, Wakahara T, Kawakami Y. Training-induced changes in architecture of human skeletal muscles: current evidence and unresolved issues. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine.* 2016;5(1):37-46.
88. Mpampoulis T, Methenitis S, Papadopoulos C, Papadimas G, Spiliopoulou P, Stasinaki A-N, ve ark. Weak Association between Vastus Lateralis Muscle Fiber Composition and Fascicle Length in Young Untrained Females. *Sports.* 2021;9(5):56.
89. Timmins RG, Ruddy JD, Presland J, Maniar N, Williams M. Architectural changes of the biceps femoris long head after concentric or eccentric training. *Med Sci Sport Exer.* 2016;48(3).
90. Fukunaga T, Ichinose Y, Ito M, Kawakami Y, Fukashiro S. Determination of fascicle length and pennation in a contracting human muscle in vivo. *J Appl Physiol.* 1997;82(1):354-8.
91. Fukutani A, Kurihara T, Isaka T. Factors of Force Potentiation Induced by Stretch-Shortening Cycle in Plantarflexors. *Plos One.* 2015;10(6):12.
92. Radnor JM, Oliver JL, Waugh CM, Myer GD, Moore IS, Lloyd RS. The Influence of Growth and Maturation on Stretch-Shortening Cycle Function in Youth. *Sports Med.* 2018;48(1):57-71.
93. Ikegawa S, Funato K, Tsunoda N, Kanehisa H, Fukunaga T, Kawakami Y. Muscle force per cross-sectional area is inversely related with pennation angle in strength

- trained athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2008;22(1):128-31.
94. Dick TJ, Wakeling JM. Shifting gears: dynamic muscle shape changes and force-velocity behavior in the medial gastrocnemius. *J Appl Physiol*. 2017;123(6):1433-42.
  95. Azizi E, Brainerd EL, Roberts TJ. Variable gearing in pennate muscles. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2008;105(5):1745-50.
  96. Fukutani A, Kurihara T. Comparison of the muscle fascicle length between resistance-trained and untrained individuals: cross-sectional observation. *Springerplus*. 2015;4:341.
  97. Kubo K, Miyazaki D, Ikebukuro T, Yata H, Okada M, Tsunoda N. Active muscle and tendon stiffness of plantar flexors in sprinters. *J Sport Sci*. 2017;35(8):742-8.
  98. Mendiguchia J, Conceição F, Edouard P, Fonseca M, Pereira R, Lopes H, ve ark. Sprint versus isolated eccentric training: Comparative effects on hamstring architecture and performance in soccer players. *Plos One*. 2020;15(2):e0228283.
  99. Canbolat M, Şenol D, Özbağ D. AT neden kopar? 2016.
  100. Doral MN, Alam M, Bozkurt M, Turhan E, Atay OA, Dönmez G, ve ark. Functional anatomy of the Achilles tendon. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2010;18(5):638-43.
  101. Egger AC, Berkowitz MJ. Achilles tendon injuries. *Current reviews in musculoskeletal medicine*. 2017;10(1):72-80.
  102. Apaydın N, Ünlü S, Bozkurt M, Doral MN. AT'nun fonksiyonel anatomisi ve biyomekanik özellikleri. *TOTBİD Dergisi*. 2011;10(1):61-8.
  103. Ho K-Y, Baquet A, Chang Y-J, Chien L-C, Harty M, Bashford G, ve ark. Factors related to intra-tendinous morphology of Achilles tendon in runners. *Plos One*. 2019;14(8):e0221183.
  104. Coombes BK, Tucker K, Hug F, Dick TJ. Age-related differences in gastrocnemii muscles and Achilles tendon mechanical properties in vivo. *J Biomech*. 2020;112:110067.
  105. [Available from: [https://www.hss.edu/condition-list\\_achilles-tendon.asp](https://www.hss.edu/condition-list_achilles-tendon.asp)].
  106. Monte A, Maganaris C, Baltzopoulos V, Zamparo P. The influence of Achilles tendon mechanical behaviour on “apparent” efficiency during running at different speeds. *Eur J Appl Physiol*. 2020;120(11):2495-505.
  107. Pękala P, Henry B, Ochała A, Kopacz P, Tatoń G, Młyniec A, ve ark. The twisted structure of the Achilles tendon unraveled: A detailed quantitative and qualitative anatomical investigation. *Scand J Med Sci Spor*. 2017;27(12):1705-15.
  108. Hunter GR, McCarthy JP, Carter SJ, Bamman MM, Gaddy ES, Fisher G, ve ark. Muscle fiber type, achilles tendon length, potentiation, and running economy. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2015;29(5):1302-9.

109. Barfod KW, Riecke AF, Boesen A, Hansen P, Maier JF, Døssing S, ve ark. Validation of a novel ultrasound measurement of achilles tendon length. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2015;23(11):3398-406.
110. Del Buono A, Chan O, Maffulli N. Achilles tendon: functional anatomy and novel emerging models of imaging classification. *International orthopaedics*. 2013;37(4):715-21.
111. Houghton LA, Dawson BT, Rubenson J. Effects of plyometric training on achilles tendon properties and shuttle running during a simulated cricket batting innings. *J Strength Cond Res*. 2013;27(4):1036-46.
112. Bayliss AJ, Weatherholt AM, Crandall TT, Farmer DL, McConnell JC, Crossley K, ve ark. Achilles tendon material properties are greater in the jump leg of jumping athletes. *J Musculoskel Neuron*. 2016;16(2):105.
113. Hunter GR, McCarthy JP, Carter SJ, Bamman MM, Gaddy ES, Fisher G, ve ark. Muscle fiber type, Achilles tendon length, potentiation, and running economy. *J Strength Cond Res*. 2015;29(5):1302-9.
114. Taube W, Leukel C, Gollhofer A. How neurons make us jump: the neural control of stretch-shortening cycle movements. *Exerc Sport Sci Rev*. 2012;40(2):106-15.
115. Helm M, Freyler K, Waldvogel J, Lauber B, Gollhofer A, Ritzmann R. Anticipation of drop height affects neuromuscular control and muscle-tendon mechanics. *Scand J Med Sci Sports*. 2020;30(1):46-63.
116. Cronin NJ, Carty CP, Barrett RS. Triceps surae short latency stretch reflexes contribute to ankle stiffness regulation during human running. *Plos One*. 2011;6(8):e23917.
117. Ishikawa M, Komi PV. The role of the stretch reflex in the gastrocnemius muscle during human locomotion at various speeds. *J Appl Physiol*. 2007;103(3):1030-6.
118. Leukel C, Taube W, Gruber M, Hodapp M, Gollhofer A. Influence of falling height on the excitability of the soleus H-reflex during drop-jumps. *Acta Physiol (Oxf)*. 2008;192(4):569-76.
119. Lesinski M, Prieske O, Beurskens R, Behm DG, Granacher U. Effects of drop height and surface instability on neuromuscular activation during drop jumps. *Scand J Med Sci Spor*. 2017;27(10):1090-8.
120. Arampatzis A, Schade F, Walsh M, Bruggemann GP. Influence of leg stiffness and its effect on myodynamic jumping performance. *J Electromyogr Kinesiol*. 2001;11(5):355-64.
121. Leukel C, Gollhofer A, Keller M, Taube W. Phase-and task-specific modulation of soleus H-reflexes during drop-jumps and landings. *Exp Brain Res*. 2008;190(1):71-9.
122. Taube W, Leukel C, Lauber B, Gollhofer A. The drop height determines neuromuscular adaptations and changes in jump performance in stretch-shortening cycle training. *Scand J Med Sci Spor*. 2012;22(5):671-83.



123. Marshall BM, Moran KA. Which drop jump technique is most effective at enhancing countermovement jump ability, "countermovement" drop jump or "bounce" drop jump? *J Sports Sci.* 2013;31(12):1368-74.
124. Ball NB, Zanetti S. Relationship between reactive strength variables in horizontal and vertical drop jumps. *J Strength Cond Res.* 2012;26(5):1407-12.
125. Struzik A, Juras G, Pietraszewski B, Rokita A. Effect of drop jump technique on the reactive strength index. *J Hum Kinet.* 2016;52:157-64.
126. Tong Z, Zhai F, Xu H, Chen W, Cui J. Variable Heights Influence Lower Extremity Biomechanics and Reactive Strength Index during Drop Jump: An Experimental Study of Male High Jumpers. *Journal of Healthcare Engineering.* 2021;2021.
127. Bobbert MF, Huijing PA, van Ingen Schenau GJ. Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med Sci Sports Exerc.* 1987;19(4):332-8.
128. Walsh M, Arampatzis A, Schade F, Bruggemann GP. The effect of drop jump starting height and contact time on power, work performed, and moment of force. *J Strength Cond Res.* 2004;18(3):561-6.
129. Newton RU, Young WB, Kraemer WJ, Byrne C. Effects of drop jump height and technique on ground reaction force with possible implication for injury. *Research in Sports Medicine: An International Journal.* 2001;10(2):83-93.
130. Tong Z, Chen W, Xu H, Zhai F. Optimal Loading Height: A Practical Research of Drop Jump from Biomechanics. *Journal of Healthcare Engineering.* 2022;2022.
131. Verkhoshansky N. Shock Methods And Plyometrics: Updates And In-Depth examination. *CVASPS, hh.* 2012:12-44.
132. Lees A, Fahmi E. Optimal drop heights for plyometric training. *Ergonomics.* 1994;37(1):141-8.
133. Di Giminiani R, Petricola S. The Power Output-Drop Height Relationship to Determine the Optimal Dropping Intensity and to Monitor the Training Intervention. *J Strength Cond Res.* 2016;30(1):117-25.
134. McMahon JJ, Suchomel TJ, Lake JP, Comfort P. Relationship between reactive strength index variants in rugby league players. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 2021;35(1):280-5.
135. Byrne PJ, Moran K, Rankin P, Kinsella S. A comparison of methods used to identify 'optimal' drop height for early phase adaptations in depth jump training. *J Strength Cond Res.* 2010;24(8):2050-5.
136. McClymont D, Hore A, editors. Use of the reactive strength index (RSI) as an indicator of plyometric training conditions. *Science and Football V: The proceedings of the fifth World Congress on Sports Science and Football, Lisbon, Portugal; 2003.*
137. Ebben WP, Petushek EJ. Using the reactive strength index modified to evaluate plyometric performance. *J Strength Cond Res.* 2010;24(8):1983-7.

138. Kipp K, Kiely M, Giordanelli M, Malloy P, Geiser C. The reactive strength index reflects vertical stiffness during drop jumps. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;13(1):44-9.
139. Siemens. Siemens Healthineers 2020 [Available from: <https://www.siemens-healthineers.com/tr/ultrasound/general-imaging/acuson-s3000-ultrasound-machine>].
140. Flanagan E, editor An examination of the slow and fast stretch shortening cycle in cross country runners and skiers. *ISBS-Conference Proceedings Archive*; 2007.
141. Healy R, Kenny IC, Harrison AJ. Reactive Strength Index: A Poor Indicator of Reactive Strength? *Int J Sports Physiol Perform.* 2018;13(6):802-9.
142. Morin J-B, Samozino P, Zameziati K, Belli A. Effects of altered stride frequency and contact time on leg-spring behavior in human running. *J Biomech.* 2007;40(15):3341-8.
143. Addie CD, Arnett JE, Neltner TJ, Straughn MK, Greska EK, Cosio-Lima L, ve ark. Effects of Drop Height on Drop Jump Performance. *International Journal of Kinesiology and Sports Science.* 2019;7(4):28-32.
144. KÖKLÜ Y, ÖZKAN A, ALEMDAROĞLU U, ERSÖZ G. Genç futbolcuların bazı fiziksel uygunluk ve somatotip özelliklerinin oynadıkları mevkilere göre karşılaştırılması. *Spor metre Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi.* 2009;7(2):61-8.
145. Hébert-Losier K, Beaven CM. The MARS for squat, countermovement, and standing long jump performance analyses: are measures reproducible? *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 2014;28(7):1849-57.
146. Ünver E, Cinemre ŞA. The effect of circadian rhythm on drop jump performance. *Isokinet Exerc Sci.* 2019;27(4):333-9.
147. Matheson GJ. We need to talk about reliability: Making better use of test-retest studies for study design and interpretation. *bioRxiv.* 2018:274894.
148. Allaire J. *RStudio: integrated development environment for R.* Boston, MA. 2012;770(394):165-71.
149. Derbentsev V, Matviychuk A, Soloviev VN. Forecasting of cryptocurrency prices using machine learning. *Advanced Studies of Financial Technologies and Cryptocurrency Markets*: Springer; 2020. p. 211-31.
150. Berk RA. *Classification and regression trees (CART). Statistical learning from a regression perspective*: Springer; 2008. p. 1-65.
151. Pinem AFA, Setiawan EB, editors. Implementation of classification and regression tree (CART) and fuzzy logic algorithm for intrusion detection system. *2015 3rd International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*; 2015: IEEE.
152. Mantovani RG, Horváth T, Cerri R, Junior SB, Vanschoren J, de Carvalho ACPdLF. An empirical study on hyperparameter tuning of decision trees. *arXiv preprint arXiv:181202207.* 2018.

153. Ball NB, Stock CG, Scurr JC. Bilateral contact ground reaction forces and contact times during plyometric drop jumping. *J Strength Cond Res.* 2010;24(10):2762-9.
154. Laurent C, Baudry S, Duchateau J. Comparison of plyometric training with two different jumping techniques on achilles tendon properties and jump performances. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 2020;34(6):1503-10.
155. Peng HT, Kernozek TW, Song CY. Quadriceps and hamstring activation during drop jumps with changes in drop height. *Phys Ther Sport.* 2011;12(3):127-32.
156. Markwick WJ, Bird SP, Tufano JJ, Seitz LB, Haff GG. The intraday reliability of the Reactive Strength Index calculated from a drop jump in professional men's basketball. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015;10(4):482-8.
157. Merrigan JJ, O'Toole KB, Wutzke CJ, Jones MT. Kinetic and Kinematic Analysis of Various Drop Jump Performances in Army Reserve Officer Training Corps Cadets. *J Strength Cond Res.* 2022;36(3):738-46.
158. Harper DJ, Cohen DD, Rhodes D, Carling C, Kiely J. Drop jump neuromuscular performance qualities associated with maximal horizontal deceleration ability in team sport athletes. *Eur J Sport Sci.* 2021(just-accepted):1-16.
159. Taube W, Leukel C, Lauber B, Gollhofer A. The drop height determines neuromuscular adaptations and changes in jump performance in stretch-shortening cycle training. *Scand J Med Sci Sports.* 2012;22(5):671-83.
160. Dell'Antonio E, Ruschel C, de Brito Fontana H, Haupenthal A, Pereira SM, Roesler H. Effect of Immersion on Ground Reaction Force and Contact Time During Drop Jump Exercise. *J Strength Cond Res.* 2016;30(12):3443-9.
161. Čoh M, Žvan M. Biodynamic diagnostics of the explosive power of the lower extremities: A case study. *AUC KINANTHROPOLOGICA.* 2015;47(1):16-25.
162. Fortuna R, Groeber M, Seiberl W, Power GA, Herzog W. Shortening-induced force depression is modulated in a time- and speed-dependent manner following a stretch-shortening cycle. *Physiol Rep.* 2017;5(12).
163. Fortuna R, Power GA, Mende E, Seiberl W, Herzog W. Residual force enhancement following shortening is speed-dependent. *Sci Rep.* 2016;5:21513.
164. Aboodarda SJ, Byrne JM, Samson M, Wilson BD, Mokhtar AH, Behm DG. Does performing drop jumps with additional eccentric loading improve jump performance? *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 2014;28(8):2314-23.
165. Peng HT. Changes in biomechanical properties during drop jumps of incremental height. *J Strength Cond Res.* 2011;25(9):2510-8.
166. Fukutani A, Hashizume S, Kusumoto K, Kurihara T. Influence of neglecting the curved path of the Achilles tendon on Achilles tendon length change at various ranges of motion. *Physiol Rep.* 2014;2(10):e12176.

167. Ishikawa M, Finni T, Komi PV. Behaviour of vastus lateralis muscle-tendon during high intensity SSC exercises in vivo. *Acta Physiol Scand.* 2003;178(3):205-13.
168. Fukutani A, Misaki J, Isaka T. Relationship between joint torque and muscle fascicle shortening at various joint angles and intensities in the plantar flexors. *Sci Rep.* 2017;7(1):290.
169. Kurokawa S, Fukunaga T, Fukashiro S. Behavior of fascicles and tendinous structures of human gastrocnemius during vertical jumping. *J Appl Physiol.* 2001.
170. Kurokawa S, Fukunaga T, Nagano A, Fukashiro S. Interaction between fascicles and tendinous structures during counter movement jumping investigated in vivo. *J Appl Physiol.* 2003;95(6):2306-14.
171. Kharazi M, Bohm S, Theodorakis C, Mersmann F, Arampatzis A. Quantifying mechanical loading and elastic strain energy of the human Achilles tendon during walking and running. *Sci Rep-Uk.* 2021;11(1):1-13.
172. Lichtwark GA, Wilson A. In vivo mechanical properties of the human Achilles tendon during one-legged hopping. *J Exp Biol.* 2005;208(24):4715-25.
173. Maganaris CN, Narici MV, Maffulli N. Biomechanics of the Achilles tendon. *Disabil Rehabil.* 2008;30(20-22):1542-7.
174. Konrad A, Paternoster FK. No Association between Jump Parameters and Tissue Stiffness in the Quadriceps and Triceps Surae Muscles in Recreationally Active Young Adult Males. *Applied Sciences.* 2022;12(3):1596.
175. Nadzalan AM, Mohamad NI, Lee JLF, Chinnasee C. Relationship between muscle architecture and badminton-specific physical abilities. *Human Movement.* 2018;19(1):44-50.
176. Earp JE, Kraemer WJ, Cormie P, Volek JS, Maresh CM, Joseph M, et al. Influence Of Muscle-Tendon Unit Structure On Rate Of Force Development During The Squat, Countermovement, And Drop Jumps. *J Strength Cond Res.* 2011;25(2):340-7.
177. Earp JE, Joseph M, Kraemer WJ, Newton RU, Comstock BA, Fragala MS, et al. Lower-body muscle structure and its role in jump performance during squat, countermovement, and depth drop jumps. *J Strength Cond Res.* 2010;24(3):722-9.

## 8. EKLER

### EK-1. Aydınlatılmış Onam Formu

Değerli Katılımcı,

Bu çalışma Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi öğretim üyelerinden Doç. Dr. Şükrü Alpan Cinemre'nin sorumluluğunda gerçekleştirilecektir. Sıçrama performansınızı etkileyen Gerilme kısılma döngüsü ile ilgili yeni bir araştırma yapmaktayız. Araştırmanın ismi "Derinlik Sıçraması Sırasında Gerilme Kısılma Döngüsünü Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi" dir. Bu amaçla bazı ölçümler gerçekleştirilecektir. Bu ölçümler için Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesine iki kez gelmen gerekiyor. Ölçümler; derinlik sıçraması ölçümleri ve kas-tendon ölçümlerinden oluşacaktır. Ölçümler, her ölçüm günü için en fazla 1-1.5 saat sürecektir.

Birinci ölçüm gününde, boy uzunluğu, vücut ağırlığı ölçümleri ile denge testi, derinlik sıçraması testi uygulanacaktır. Birinci ölçüm gününde derinlik sıçraması optimal düşüş yüksekliği belirlenecektir. Bu işlemler yukarıda belirtildiği gibi en fazla 1-1.5 saat arasında sürecektir. Derinlik sıçraması ölçümleri 20 cm yükseklikten başlayacak optimal düşüş yüksekliği belirleninceye kadar 5'er cm arttırılarak devam ettirilecektir. Her sıçrama arasında 1 dk dinlenilecektir.

İkinci ölçüm gününde, Sıçrama ve sprint koşusu sırasında önem taşıyan Aşil tendonuna bağlı kasların pennasyon açısı ve sertliği ile aşil tendonunun uzunluğu ve kalınlığı ölçülecektir. Bu ölçümler, Hacettepe Üniversitesi radyoloji anabilim dalında bulunan öğretim üyesi Doç. Dr. Adalet Elçin Yıldız tarafından gerçekleştirilecektir. Bu işlem için önceden birlikte belirleyeceğimiz gün ve saatte Hacettepe üniversitesi hastanesi radyoloji anabilim dalı ultrasonografi bölümünde uygun kıyafet ile (eşofman vb. spor kıyafeti) hazır bulunmanız gerekmektedir. Ölçüm sırasında sizden ultrasonografi odasında bulunan muayene masasına dominant bacağınız dize kadar açık olacak şekilde yüz üstü yatmanız istenecektir. Ölçüm en çok 15 dk sürecektir. Ölçüm için sizden hiçbir maddi talepte bulunulmayacaktır. Bu işlemin sağlık açısından hiçbir sakıncası bulunmamaktadır.

Ölçümler sırasındaki en büyük risk geçici bir süre için hissedeceğiniz yorgunluk olacaktır. Bunun dışında bu ölçümlerin hiçbirinin sağlığını tehdit edebilecek bir özelliği bulunmamaktadır. Bununla birlikte ölçümler sırasında oluşabilecek sağlık sorunları sonrasında gerekli işlemlerin yapılacağı konusunda araştırmacılara güvenebilirsiniz. Çalışmaya katılma kararını vermekte özgür olduğunuz gibi önceden haber vermek şartıyla çalışmadan ayrılmakta da özgür olduğunuzu bilmelisiniz. Çalışmanın hiçbir aşamasında sizden herhangi bir maddi talepte bulunulmayacaktır. Ulaşım masrafları araştırmacılar tarafından karşılanacaktır. Çalışma sırasında su ikram edilecektir. Ölçümler sonunda elde edilecek veriler yalnızca bilimsel amaçla kullanılacaktır. Siz değerli katılımcımız ile bilmemiz gizliliği önemli bilgilerin gizliliğine azami dikkat edilecektir.

Bu çalışmaya katılmayı düşünüyorsanız lütfen spor özgeçmiş bilgilerinizi ve size ulaşmamızı sağlayacak iletişim bilgilerinizi içeren katılım formunu doldurunuz.

Cep Tel: 05.....

e-posta:

**(Katılımcının/Hastanın Beyanı)**

Sayın Doç. Dr.Şükrü Alpan Cinemre ve Evrim Ünver tarafından Hacettepe Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi'nde bir araştırma yapılacağı belirtilerek bu araştırma ile ilgili yukarıdaki bilgiler bana aktarıldı. Bu bilgilerden sonra böyle bir araştırmaya "katılımcı" olarak davet edildim.

Eğer bu araştırmaya katılırsam araştırmacı ile aramda kalması gereken bana ait bilgilerin gizliliğine bu araştırma sırasında da büyük özen ve saygı ile yaklaşılacağına inanıyorum. Araştırma sonuçlarının eğitim ve bilimsel amaçlarla kullanımı sırasında kişisel bilgilerimin ihtimamla korunacağı konusunda bana yeterli güven verildi.

Projenin yürütülmesi sırasında herhangi bir sebep göstermeden araştırmadan çekilebilirim. (Ancak araştırmacıları zor durumda bırakmamak için araştırmadan çekileceğimi önceden bildirmemim uygun olacağına bilincindeyim) Ayrıca sağlık durumuma herhangi bir zarar verilmemesi koşuluyla araştırmacı tarafından araştırma dışı tutulabilirim.

Araştırma için yapılacak harcamalarla ilgili herhangi bir parasal sorumluluk altına girmiyorum. Bana da bir ödeme yapılmayacaktır.

İster doğrudan, ister dolaylı olsun araştırma uygulamasından kaynaklanan nedenlerle meydana gelebilecek herhangi bir sağlık sorunumun ortaya çıkması halinde, her türlü tıbbi müdahalenin sağlanacağı konusunda gerekli güvence verildi. (Bu tıbbi müdahalelerle ilgili olarak da parasal bir yük altına girmeyeceğim).

Araştırma sırasında bir sağlık sorunu ile karşılaştığımda; herhangi bir saatte, Doç.Dr. Şükrü Alpan Cinemre'yi 0 312 (iş) veya 0532 (cep), Evrim Ünver'i 0506 no'lu telefonlardan ve HÜ Spor Bilimleri Fakültesi adresinden arayabileceğimi biliyorum.

Bu araştırmaya katılmak zorunda değilim ve katılmayabilirim. Araştırmaya katılmam konusunda zorlayıcı bir davranışla karşılaşmış değilim. Eğer katılmayı reddedersem, bu durumun tıbbi bakımına ve hekim ile olan ilişkiye herhangi bir zarar getirmeyeceğini de biliyorum.

Bana yapılan tüm açıklamaları ayrıntılarıyla anlamış bulunmaktayım. Kendi başıma belli bir düşünme süresi sonunda adı geçen bu araştırma projesinde "katılımcı" olarak yer alma kararını aldım. Bu konuda yapılan daveti büyük bir memnuniyet ve gönüllülük içerisinde kabul ediyorum.

İmzalı bu form kağıdının bir kopyası bana verilecektir.

Katılımcı	Araştırmacı
Adı, soyadı:	Adı, soyadı:
Adres:	Adres:
Tel.	Tel.
İmza:	İmza:

## Ek-2. Katılımcı Formu

### Katılımcı Formu

**Adı-Soyadı:**

**Doğum Tarihi (gün/ay/yıl):**

**Branşı:**

- Atletizm
- Basketbol
- Boks
- Cimnastik
- Fitness
- Futbol
- Halter
- Hentbol
- Rekreatyonel amaçlı
- Tenis
- Voleybol
- Diğer .....

Branşınıza devam ediyor musunuz?  Evet  Hayır

Cevabınız HAYIR ise kaç yıldır devam etmiyorsunuz? : .....

Cevabınız EVET ise kaç yıldır spor yapıyorsunuz? : .....

Haftada kaç gün antrenman/egzersiz yapıyorsunuz: .....Gün

Bir antrenman gününde kaç saat egzersiz yapıyorsunuz: .....Saat

Antrenman yılının hangi dönemindesiniz?  Sezon içi  Sezon Dışı

Geçmişte hiç Sıçrama ve/veya Kuvvet egzersizi yaptınız mı?  Evet  Hayır

### Sağlık Problemleri ile ilgili Sorular

Herhangi bir sağlık sorunuz var mı?  Evet  Hayır

Aşağıdaki sağlık sorunlarından herhangi birini yaşadınız mı?

Çapraz bağ yırtılması  Menisküs  Aşil tendonu kopması  Diğer

Hiç fiziksel tedavi ve rehabilitasyon gördünüz mü? Evet  Hayır

İletişim Bilgileriniz:

Cep Tel: 05.....

e-posta:

### Ek-3. Elastografi Ölçüm Formu

**Dosya No:**

**ID:**

**Adı Soyadı:**

**Dominant Bacak:**

**Pennasyon Açıları:**

MGK	
LGK	
SOL	

**Aşil Tendonu:**

Uzunluk (cm)	
Kalınlık (mm)	

**Kas Sertliği:**

Sıra	MGK (m/sn)	MGK (kPA)	LGK (m/sn)	LGK (kPA)	SOL (m/sn)	SOL (kPA)
1						
2						
3						

**Aşil Sertliği:**

Sıra	AT (m/sn)	AT (kPA)
1		
2		
3		



## Etik Kurul Karar Dosyası



**T.C.**  
**HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ**  
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu

Sayı : 16969557 / 1624

Konu : ARAŞTIRMA PROJESİ DEĞERLENDİRME RAPORU

**Toplantı Tarihi** : 05 NİSAN 2022 SALI  
**Toplantı No** : 2022/06  
**Proje No** : GO 17/902 (Onay Tarihi: 02.01.2018)  
**Karar No** : 2022/06-69

Kurulumuzun 02.01.2018 tarihli toplantısında GO 17/902 kayıt numarası ile onaylanmış olan, Üniversitemiz Spor Bilimleri Fakültesi öğretim üyelerinden Doç. Dr. Şükrü Alpan CİNEMRE' nin sorumlu araştırmacı olduğu, Doç. Dr. Adalet Elçin YILDIZ ile birlikte çalışacakları ve Evrim ÜNVER'in doktora tezi olan, GO 17/902 kayıt numaralı, "**Derinlik Sıçraması Sırasında Gerilme Kısılma Döngüsünü Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi**" başlıklı projemiz için vermiş olduğunuz 22.03.2022 tarihli araştırmacı eklenmesi ve süre uzatma talebi dilekçeniz Kurulumuzun 05.04.2022 tarihli toplantısında görüşülmüş ve **uygun bulunmuştur**. Üniversitemiz Halk Sağlığı Enstitüsü öğretim elemanlarından Dr. Öğr. Gör. Hande Konşuk ÜNLÜ ve Spor Hekimliği Fakültesi öğretim üyelerinden Doç. Dr. Pınar Arpınar AVŞAR, Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin ÇELİK ile Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Fakültesi öğretim elemanlarından Ferhat ÖZTÜRK yardımcı araştırmacı olarak proje ekibine dahil edilmiş ve kayıtlarımıza eklenmiştir. Çalışmanın yeni sonlanım tarihi 05 Nisan 2023 olarak belirlenmiştir. Çalışma tamamlandığında sonuçlarını içeren bir rapor örneğinin Etik Kurulumuza gönderilmesi gerekmektedir.

1. Prof. Dr. G. Burça AYDIN	(Başkan)	8. Doç. Dr. Hande Güney DENİZ	(Üye)
İZİNLİ			
2. Prof. Dr. M. Özgür UYANIK	(Üye)	9. Doç. Dr. Tolga YILDIRIM	(Üye)
		İZİNLİ	
3. Prof. Dr. Ayşe Kin İŞLER	(Üye)	10. Doç. Dr. Merve BATUK	(Üye)
4. Prof. Dr. Sibel PEHLİVAN	(Üye)	11. Doç. Dr. Gülten KOÇ	(Üye)
5. Doç. Dr. H. Tuna Çak ESEK	(Üye)	12. Dr. Öğr. Üyesi Müge DEMİR	(Üye)
6. Doç. Dr. Nüket Paksoy ERBAĞDAR	(Üye)	13. Av. Buket ÇINAR	(Üye)
7. Doç. Dr. Betül Çelebi SALTIK	(Üye)		

## Ek-5 Turnitin Orjinallik Raporu Ekran Görüntüsü

### DERİNLİK SIÇRAMASI SIRASINDA GERİLME KISALMA DÖNGÜSÜNÜ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

#### ORJİNALLİK RAPORU

% <b>6</b>	% <b>6</b>	% <b>1</b>	% <b>3</b>
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

#### BİRİNCİL KAYNAKLAR

<b>1</b>	<a href="http://openaccess.hacettepe.edu.tr:8080">openaccess.hacettepe.edu.tr:8080</a> İnternet Kaynağı	% <b>3</b>
<b>2</b>	<a href="http://www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080">www.openaccess.hacettepe.edu.tr:8080</a> İnternet Kaynağı	% <b>1</b>
<b>3</b>	<a href="http://acikbilim.yok.gov.tr">acikbilim.yok.gov.tr</a> İnternet Kaynağı	% <b>1</b>
<b>4</b>	Submitted to Hacettepe University Öğrenci Ödevi	<% <b>1</b>
<b>5</b>	<a href="http://dergipark.org.tr">dergipark.org.tr</a> İnternet Kaynağı	<% <b>1</b>
<b>6</b>	Submitted to Eastern Mediterranean University Öğrenci Ödevi	<% <b>1</b>
<b>7</b>	Submitted to Istanbul Aydın University Öğrenci Ödevi	<% <b>1</b>
<b>8</b>	<a href="http://sbk2019.org">sbk2019.org</a> İnternet Kaynağı	<% <b>1</b>

[www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

9	İnternet Kaynağı	<% 1
10	<a href="http://acikarsiv.ankara.edu.tr">acikarsiv.ankara.edu.tr</a> İnternet Kaynağı	<% 1
11	<a href="http://acikerisim.akdeniz.edu.tr:8080">acikerisim.akdeniz.edu.tr:8080</a> İnternet Kaynağı	<% 1
12	<a href="http://www.androloji.org.tr">www.androloji.org.tr</a> İnternet Kaynağı	<% 1
13	<a href="http://www.gulhanesbhk2019.org">www.gulhanesbhk2019.org</a> İnternet Kaynağı	<% 1
14	ZORLU, FERHAT, Pervin CINAR, Enis FIRINCIOGULLARI, Ahmet SAHIN, and Emrah Mat. "COMPARISON OF DIFFERENT SURGICAL TECHNIQUES IN THE TREATMENT OF PTERYGIUM", Gaziantep Medical Journal, 2012. Yayın	<% 1
15	<a href="http://fr.scribd.com">fr.scribd.com</a> İnternet Kaynağı	<% 1
16	<a href="http://www.semanticscholar.org">www.semanticscholar.org</a> İnternet Kaynağı	<% 1
17	Erdem YÜKSEL, Esra KARABULUT, Betül BULUT. "The Evaluation of Unilateral Myopic Eyes and Review with Literature", Türkiye Klinikleri Journal of Health Sciences, 2018 Yayın	<% 1

18	<a href="http://acikerisim.dicle.edu.tr:8080">acikerisim.dicle.edu.tr:8080</a> İnternet Kaynağı	<% 1
19	<a href="http://acikerisim.gelisim.edu.tr">acikerisim.gelisim.edu.tr</a> İnternet Kaynağı	<% 1
20	<a href="http://library.cu.edu.tr">library.cu.edu.tr</a> İnternet Kaynağı	<% 1
21	<a href="http://9lib.net">9lib.net</a> İnternet Kaynağı	<% 1
22	<a href="http://abakus.inonu.edu.tr:8080">abakus.inonu.edu.tr:8080</a> İnternet Kaynağı	<% 1
23	<a href="http://burkonturizm.com">burkonturizm.com</a> İnternet Kaynağı	<% 1
24	<a href="http://iibfdergi.sdu.edu.tr">iibfdergi.sdu.edu.tr</a> İnternet Kaynağı	<% 1
25	<a href="http://jag.journalagent.com">jag.journalagent.com</a> İnternet Kaynağı	<% 1
26	<a href="http://media.dem.org.tr">media.dem.org.tr</a> İnternet Kaynağı	<% 1
27	<a href="http://polen.itu.edu.tr:8443">polen.itu.edu.tr:8443</a> İnternet Kaynağı	<% 1
28	<a href="http://www.scilit.net">www.scilit.net</a> İnternet Kaynağı	<% 1
29	<a href="http://www.ulusaltezmerkezi.net">www.ulusaltezmerkezi.net</a> İnternet Kaynağı	<% 1

## Ek-6 Dijital Makbuz

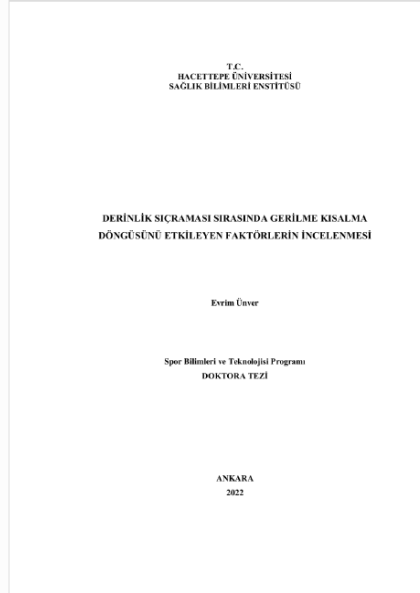


### Dijital Makbuz

Bu makbuz ödevinizin Turnitin'e ulaştığını bildirmektedir. Gönderiminize dair bilgiler şöyledir:

Gönderinizin ilk sayfası aşağıda gönderilmektedir.

Gönderen: Evrim Ünver  
Ödev başlığı: DERİNLİK SIÇRAMASI SIRASINDA GERİLME KISALMA DÖNGÜS...  
Gönderi Başlığı: DERİNLİK SIÇRAMASI SIRASINDA GERİLME KISALMA DÖNGÜS...  
Dosya adı: Evrim\_nver\_Doktora\_Tezi\_TURN\_T\_N\_01112022.docx  
Dosya boyutu: 4.15M  
Sayfa sayısı: 104  
Kelime sayısı: 22,379  
Karakter sayısı: 147,072  
Gönderim Tarihi: 01-Kas-2022 12:01ÖS (UTC+0300)  
Gönderim Numarası: 1941281914



## 9. Özgeçmiş